

Highway reconstruction and expansion of new and old roadbed width difference settlement control technology

You Li

China Railway First Bureau Group No. 5 Engineering Co., Ltd., Chongqing, 402460, China

Abstract

With the continuous increase of the traffic pressure of the existing expressway, the reconstruction and expansion project has become an important way to improve the efficiency of the road network, but the differential settlement problem at the interface between the old and new roadbed is seriously restricting the sustainable improvement of the project quality. The existing subgrade has formed a stable structure through long-term vehicle load and natural gravity, and the uneven settlement of the new fill in the process of consolidation and deformation is easy to cause structural cracks and driving bumps in the pavement risk. In current engineering practice, settlement control mostly relies on empirical process adjustment, and lacks systematic understanding of the synergistic effect between soil constitutive response and material interface. The solution of this technical problem is not only related to the service performance of the whole life cycle of the road, but also an important technical fulcrum to promote the implementation of the concept of green infrastructure, and it is urgent to form a scientific and refined control technology system to cope with the engineering challenges under complex geological conditions.

Keywords

highways; old and new roadbeds; Settlement control technology

高速公路改扩建新旧路基拼宽差异沉降控制技术

李游

中铁一局集团第五工程有限公司, 中国 · 重庆 402460

摘要

随着既有高速公路通行压力的持续攀升, 改扩建工程已成为提升路网效能的重要路径, 但新旧路基拼宽界面处的差异沉降问题严重制约着工程品质的持续提升。既有路基经长期车辆荷载与自然引力作用已形成稳定结构, 而新填筑体在固结变形过程中产生的非均匀沉降易引发路面结构性裂缝与行车颠簸风险。当前工程实践中, 沉降控制多依赖经验性工艺调整, 缺乏对土体本构响应与材料界面协同作用的系统认知。该技术难题的破解不仅关乎道路全寿命周期的服役性能, 更是推动绿色基建理念落地的重要技术支点, 亟待形成科学化、精细化的控制技术体系以应对复杂地质条件下的工程挑战。

关键词

高速公路; 新旧路基; 沉降控制技术

1 引言

高速公路改扩建工程中新旧路基协同变形机制的科学解析, 是保障拼接结构长效稳定的理论基石。差异沉降的产生根植于新老填筑体在材料属性、压实历程及边界条件等多维因素的非对称耦合效应, 其演化规律受控于地基处理工艺、填料改良策略与结构设计方法的协同优化水平。本文立足土力学基本理论, 系统剖析新旧路基界面沉降的力学成因与关键影响因素, 进而从地基加固、材料性能提升、拼接结构创新等维度构建差异沉降控制技术体系。通过工程应用效果的多维度评估, 揭示沉降控制在提升道路服役性能与

降低全周期养护成本方面的双重价值, 为同类工程提供可复用的技术范式。

2 新旧路基差异沉降机理分析

2.1 沉降产生机制

在高速公路改扩建工程的复杂地质环境中, 新旧路基结合部位的差异沉降现象, 本质上是由于既有结构体与新生填筑体在物理力学属性及变形响应上的异步演化所引发。既有路基经多年车辆荷载与自然压实作用已形成相对稳定的应力状态, 其内部土颗粒间的摩擦咬合效应与孔隙水压力消散过程基本完成, 呈现出低压缩性的固结平衡特征; 而新填筑路基在施工期及工后阶段需经历显著的土体重分布与孔隙比调整过程, 初始松散填料在自重应力与外部荷载叠加作用下产生持续压缩变形, 这种动态固结行为与旧路基的静态

【作者简介】李游 (1990-), 男, 中国湖南益阳人, 本科, 工程师, 从事道路或桥梁研究。

稳定形成力学响应的时差。地基土体作为承载介质的分区响应差异进一步加剧沉降不协调,旧路基下方土体因长期压实形成刚性支撑区,新路基区域土体则在附加应力作用下发生弹性变形与塑性流动的耦合位移。地下水位波动引起的土体含水率变化导致新旧区域基质吸力差异,间接改变土体抗剪强度与压缩模量的空间分布规律。施工机械振动对旧路基边坡的扰动可能破坏原有土体结构,诱发局部应力释放与微裂隙扩展,形成潜在的差异沉降发育通道^[1]。

2.2 影响因素分类

新旧路基差异沉降的演化幅度与空间分布受控于多层次因素的复合作用,其作用路径可归纳为地基承载基底的非均质响应、填筑材料力学行为的异化演变以及施工扰动对界面稳定性的递进式消解。地基条件的区域性差异是沉降分异的首要动因,旧路基下方土体经长期荷载固结形成刚性承载层,而新拓宽区域常存在软弱夹层或地下水位波动带,二者压缩模量与抗剪强度的显著差距导致拼接部位应力重分布不均。填筑材料的物理参数离散性进一步放大了沉降差异,旧路基填料因多年服役已形成稳定的颗粒咬合结构,而新填土体的含水率、压实度与加筑承载比(CBR值)若控制失准,将引发工后固结速率与变形量的时空错位。施工工艺的选择直接影响新旧路基协同变形能力,台阶开挖的几何参数若未与土体抗滑需求适配,易在界面处形成应力集中区;碾压设备的行进路径与激振力差异可能破坏旧路基边坡的原生结构,诱发次生变形叠加。环境应力的持续作用同样不可忽视,季节性冻融循环导致土体体积变化,地下水位升降改变基质吸力分布,这些因素通过改变土体刚度与渗透性间接调控沉降进程。揭示这些因素的作用权重与交互关系,是构建差异化沉降控制技术体系的前提条件。

3 差异沉降控制关键技术研究

3.1 地基处理技术

在高速公路改扩建工程的复杂地质交互体系中,地基处理技术作为新旧路基协同变形的底层逻辑,其核心在于重构地下土体的应力分布格局,消除因历史荷载与新施加载荷叠加引发的非对称沉降潜能。针对既有旧路基下卧层固结度饱和与新拓宽区地基松散状态的矛盾,创新性提出“三维渗透固结”与“刚度梯度过渡”复合处理策略,既强化地基整体承载性能,又平缓新旧区域刚度突变带来的剪切变形风险。对于浅层松散填土区域,采用高频振动压实法重塑土体骨架结构,通过激振波的多向传递促使颗粒重新排列,同步注入微膨胀胶凝浆液填补孔隙,形成兼具强度与弹性的复合地基。深层软弱夹层处理则依托静压注浆技术,选用触变型浆液沿特定角度注入,利用流体自适应性形成树根状加固网络,既提升土体抗剪强度,又维持必要透水性以规避孔隙水积聚。新旧地基交界带的处理尤为关键,通过阶梯式设置水泥土搅拌桩过渡区,桩体长度与密度随远离旧路基呈梯度

递减,巧妙化解刚度突变引发的应力集中效应。季节性冻胀区域的地基处理引入温控防渗理念,铺设双向拉伸土工膜阻断毛细水上升路径,结合X型排水盲沟构建立体导水体系,削弱冻融循环对地基稳定性的周期性扰动。施工过程中同步植入分布式光纤监测系统,实时捕捉注浆压力、土体压实度及地下水位变化参数,动态调整工艺参数形成闭环控制。全周期视角下的地基处理技术不仅关注施工期即时加固效果,更重视工后运营阶段长期蠕变特性的抑制,通过预留可调节加固节点为后续维护提供技术冗余^[2]。

3.2 路基材料改良

在高速公路改扩建工程的材料科学维度上,路基填料的物性重构成为平衡新旧结构变形差异的核心突破口,其本质在于赋予填筑体自主调适变形的智能响应能力。针对传统填料水敏性强、抗剪能力衰减快的缺陷,研发团队开创性地构建“多相协同活化”改良体系,将工业固废胶凝材料与天然土体进行分子级界面融合,利用火山灰效应激发材料二次水化反应,形成兼具刚性骨架与弹性缓冲的双重复合结构。改良工艺中引入微纳米级无机聚合物,通过表面电荷调控促使土颗粒定向排列,显著提升填料的压实度与抗渗性,同时预留微裂隙网络作为变形释放通道。针对频宽区域特殊荷载分布,开发梯度级配设计算法,依据新旧路基接触面应力场模拟结果,动态调整填料粒径分布曲线,使改良后的土体在受压时产生渐进式压实而非突变性滑移。为应对季节性温湿度循环影响,创新性植入有机-无机杂化改性剂,在土颗粒间构筑热膨胀系数自补偿的化学键合网络,有效抵消冻融或干湿交替引发的体积变化。施工阶段采用原位活化技术,借助高压旋喷将液态改良剂均匀渗入填土层,同步触发离子交换与胶结反应,避免传统外掺法易出现的材料离析问题。环保性改良路径方面,选择性活化粉煤灰、钢渣等工业副产品中的活性成分,通过晶格重构技术转化为稳定胶结相,既降低天然建材消耗,又赋予填料重金属固化功能。全周期性能验证环节建立智能传感网络,埋设温湿度-应力耦合传感器实时监测改良填料的变形协调性,结合大数据分析动态优化材料配比。

3.3 拼接结构设计

新旧路基的力学耦合效应直接决定了差异沉降的演化路径,而拼接结构设计的核心使命便在于构筑一种动态适配的界面传力机制,使新旧结构在车辆荷载与环境变迁中形成渐进式的协同变形模式^[3]。基于旧路基既有形态特征,创新性地采用“多维度应力弥散”设计理念,对拼接界面进行拓扑重构:通过旧路基边坡的阶梯式切削改造,形成锯齿状或波浪状的咬合接触面,既扩展了新旧材料的接触面积,又利用几何形态的错位分布将集中应力分解为多向分量。在垂直拼接方向嵌入柔性缓冲过渡层,选用高弹性模量的三维网状复合材料作为应力缓冲介质,其内部微孔隙结构可吸收新旧路基间的瞬时位移差,同时通过纤维增强骨架传递持续性荷

载。针对不同地质段落的地基刚度梯度变化,研发分区分级拼接技术,将拼接带划分为主传力区、过渡变形区与边界约束区,各区段分别配置差异化的加筋层数和锚固密度,形成由刚性向柔性递变的复合结构体系。水平向排水路径的协同设计尤为重要,沿拼接界面纵向布设多孔复合排水带,利用毛细疏导原理将渗流水定向导出,避免水分滞留引发的界面软化效应。对于软土地基与硬质路基过渡段,引入预应力土工格栅横向张拉系统,通过预加张力抵消新旧路基的初始变形势能差。施工过程中运用智能监测反馈技术,植入分布式光纤传感器实时捕捉拼接界面的应变场分布,动态优化结构参数配置。

4 沉降控制技术中的应用效果分析

4.1 沉降控制效果的评估

在高速公路改扩建工程全周期沉降控制效能验证体系中,差异沉降效果的评估需构建时空维度交织的多参数耦合分析模型,既关注施工期瞬时变形特征,更重视运营期长期稳定性演化规律。评估框架以“分层递进、动态反馈”为核心逻辑,从地基处理层、填料改良层到拼接结构层逐级建立变形传递链监测网络,采用分布式光纤传感与北斗高精度定位技术同步采集不同深度的位移场、应力场及渗流场数据。针对新旧路基拼宽区域特有的非对称变形特性,开发三维激光扫描与无人机倾斜摄影融合的立体监测方案,通过点云数据重构路基表面毫米级微变形趋势,结合有限元反演算法解析隐蔽部位的潜在滑移面。在时间维度上建立分级预警机制,将沉降过程划分为弹性调整期、蠕变稳定期与固结收敛期,每阶段设定差异化的变形速率阈值与累积量限值。对于拼接界面关键部位,植入智能压电传感器阵列实时感知接触面摩擦系数与应力重分布状态,借助机器学习算法挖掘荷载循环作用下的界面损伤演化规律。评估过程中同步整合气象水文数据,构建降雨入渗、地下水位波动与路基湿度迁移的关联模型,定量解析环境因素对差异沉降的驱动效应。基于多源异构数据的融合分析,采用贝叶斯概率统计方法动态修正评估结论,生成分级分区的沉降风险热力图,为后续养护决策提供可视化支撑^[4]。

4.2 经济效益分析

在全寿命周期成本管控视角下,沉降控制技术的经济效能不仅体现在初期投入的精准配置,更蕴含于全周期价值流的裂变式释放。基于材料改良与结构优化双轨并行的技术路径,工程团队将传统粗放式施工模式升级为精细化成本控

制体系。针对新旧路基拼接带差异沉降特性,开发动态配比填料工艺,通过就地取材与工业固废再生利用的协同模式,显著削减外购土石方的运输与采购成本。施工环节引入智能压实与变形预判系统,利用数字化模型预演填筑效果,减少传统试错法导致的人工与机械重复作业损耗。拼接结构的分区强化设计使钢材、土工合成材料等关键建材的用量较传统方案降低,同时模块化施工流程缩短封闭交通周期,间接降低区域路网分流维护的社会成本。全寿命周期经济模型中,差异沉降的有效抑制直接关联路面平整度保持率,大幅延缓车辙、裂缝等病害的生成速度,使大修周期平均延展,养护资金流的跨期配置更为均衡。环境成本内化方面,低扰动地基处理技术减少土方开挖量,结合渗水固结工艺降低边坡防护工程量,形成资源消耗与生态修复成本的双降格局。技术应用中同步构建供应链弹性优化机制,通过材料替代性研究与区域供应商协同,增强价格波动风险抵御能力。隐性经济效益层面,沉降控制带来的行车平稳性提升可降低车辆燃油消耗与部件磨损,为社会运输体系注入长期增益^[5]。

5 结语

差异沉降控制技术的系统化研究,揭示了新旧路基界面力学响应的内在规律,建立了从地基处理到结构优化的全链条控制方法。工程实践表明,通过精准匹配地基加固强度与填料变形模量,协同优化拼接结构的几何参数与材料界面性能,可有效消解非均匀沉降引发的结构性损伤风险。该技术体系不仅显著延长了改扩建道路的服役周期,更在资源集约利用与碳排放控制层面展现出工程技术的环境友好特性。未来研究需进一步融合智能传感技术与机器学习算法,实现沉降变形的实时预测与自适应调控,推动公路改扩建工程向数字化、可持续化方向深度演进。

参考文献

- [1] 张家豪.高速公路新旧路基拼宽连接加固施工技术分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023.
- [2] 尹波.高速公路新旧路基拼宽连接加固施工技术[J].工程建设与设计,2023(16):188-190.
- [3] 汪春.高速公路改扩建工程路基拼接施工技术探究[J].2024(7):13-15.
- [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.
- [5] 程军利.公路拼宽路段软土地基差异沉降控制措施[J].交通世界,2024(30):50-52.