

改扩建公路土建与养护衔接一体化施工管控要点研究

胡迪丽

新疆公路建设（集团）有限责任公司，中国·新疆 昌吉 831100

摘要：随着我国公路网建设重心从“增量扩张”全面转向“存量提质”，高速公路改扩建工程已成为交通基础设施建设的主战场。与传统新建项目不同，改扩建工程是在既有道路运营状态下进行的复杂系统工程，其核心难点在于新建土建施工与既有设施养护、保通保畅之间的深度交叉与动态博弈。长期以来，由于管理体制分割、技术标准脱节及信息交互滞后，土建与养护往往呈现“两张皮”现象，导致新旧路基拼接沉降差异大、路面结构层间结合不良、交通组织冲突频发、全寿命周期成本高昂等突出问题，严重制约了改扩建工程的质量、安全与效益。本文系统综述了改扩建公路土建与养护衔接一体化施工管控的理论演进、关键技术及管理创新，涵盖新旧结构协同设计、施工—养护动态耦合机制、智能感知与数字孪生赋能、全寿命周期性能导向管控等核心维度。

关键词：改扩建公路；土建施工；养护衔接；一体化管控；新旧拼接；数字孪生；全寿命周期

Research on Integrated Construction and Management of Civil Engineering and Maintenance for Highway Reconstruction and Expansion Projects

Hu Dili

Xinjiang Highway Construction (Group) Co., Ltd., China Xinjiang Changji 831100

Abstract: As China's highway network development shifts from "expansion-based growth" to "quality improvement of existing assets," reconstruction and expansion projects of expressways have become the main arena for transportation infrastructure development. Unlike traditional new construction projects, these projects are complex systems carried out under ongoing operation of existing roads, with core challenges arising from deep integration and dynamic interaction between new civil engineering construction and maintenance of existing facilities, as well as ensuring uninterrupted traffic flow. For a long time, due to fragmented management systems, disconnected technical standards, and delayed information exchange, civil engineering and maintenance operations have often operated in isolation—leading to significant differential settlement at new-old subgrade joints, poor bonding between pavement layers, frequent traffic organization conflicts, and high lifecycle costs. These issues severely constrain the quality, safety, and efficiency of reconstruction and expansion projects. This paper systematically reviews the theoretical evolution, key technologies, and management innovations in integrated construction and control of civil engineering and maintenance for highway reconstruction and expansion, covering core dimensions such as coordinated design of new and old structures, dynamic coupling mechanisms between construction and maintenance, intelligent sensing and digital twin-enabled management, and performance-oriented lifecycle control.

Keywords: Highway reconstruction and expansion; Civil engineering construction; Maintenance integration; Integrated management; New-old jointing; Digital twin; Lifecycle

0 引言

我国高速公路通车里程已居世界首位，其中大量早期建设的四车道、六车道主干线陆续进入改扩建高峰期。改扩建工程不同于新建项目，其本质是在“活体”上进行“外科手术”，既要保证新建部分的质量与安全，又要维持既有道路的通行功能与服务水平，更要确保新旧结构在力学性能、耐久性及服役行为上的协调统一。这一复杂性决定了土建施工与养护管理不能简单沿用新建项目的线性流

程，而必须建立贯穿规划、设计、施工、验收及后期运维的全生命周期一体化思维。然而，现实中“重建设、轻养护”“建养分离”的惯性思维依然根深蒂固：设计阶段对既有结构病害评估不足，导致拼接方案与实际状态脱节；施工阶段忽视对既有设施的动态监测与保护，引发次生病害或安全隐患；养护单位未能提前介入，对新建部分的隐蔽缺陷缺乏掌握，为后期运维埋下隐患。这种阶段性割裂不仅造成资源浪费与工期延误，更直接削弱了改扩建工程的

长期性能与投资效益。近年来,随着bim、物联网、人工智能及数字孪生等新一代信息技术的快速发展,为实现土建与养护的深度衔接提供了技术可能。同时,交通运输部大力推行“建养一体化”“全寿命周期成本管理”等政策导向,也为管理创新营造了良好环境。但碎片化的技术应用与局部管理改进尚未形成系统集成能力,衔接界面的技术标准、动态管控方法及跨主体协同机制仍显薄弱。因此,亟需以改扩建工程的特殊性为出发点,系统梳理土建与养护衔接一体化的关键管控要点,剖析现实痛点并探索系统性解决方案。这不仅是提升单个项目品质的技术问题,更是推动我国公路建设管理模式转型升级、实现高质量发展的战略性命题^[1]。

1 现实审视: 土建与养护衔接一体化管控的成效与瓶颈

要推动一体化管控从理念走向落地,必须客观评估其在改扩建工程中的实际应用效果与深层制约因素。

1.1 一体化理念初步落地显著提升工程综合效益

近年来,部分先行项目在土建与养护衔接方面进行了积极探索,取得了阶段性成效。在设计阶段,引入既有结构健康检测与性能评估,使拼接方案更具针对性,如某高速改扩建项目通过探地雷达与弯沉检测精准识别旧路基层隐性病害,优化了铣刨深度与补强措施,避免了后期反射裂缝;在施工阶段,建立新旧路基沉降协同监测系统,实时反馈拼接段变形数据,指导分层填筑速率与压实工艺,有效控制了差异沉降;在交通组织方面,将养护需求纳入施工组织设计,采用分幅分段、夜间施工、临时便道等组合策略,最大限度减少对通行的影响。更重要的是,部分项目开始尝试让养护单位提前参与施工图审查与关键工序验收,使运维需求前置化。这些实践表明,一体化管控能够有效减少新旧结构不协调引发的病害,降低全寿命周期养护成本,提升施工期间的安全性与通行效率。例如,某省改扩建项目通过建养协同,后期五年内养护费用较传统模式降低22%,用户延误时间减少35%。这些成果证明,土建与养护的有机衔接是实现改扩建工程“优质、高效、经济、安全”目标的关键路径,其价值已得到行业初步认可。这种从“各自为政”到“协同共治”的认知转变,为后续深度一体化奠定了实践基础。

1.2 衔接界面模糊与动态耦合失配制约长期性能

尽管初期成效显著,但一体化管控在深层次仍面临多重挑战。首要问题是衔接界面缺乏统一技术标准:新旧路基拼接台阶尺寸、结合面处理工艺、材料匹配要求等在规

范中规定笼统,各地执行差异大;路面结构层间粘结、排水系统对接、附属设施过渡等细节缺乏精细化指引,成为病害高发区。其次,施工与养护的动态耦合机制缺失:土建施工进度、工艺调整往往未考虑对既有结构应力状态、排水路径、交通安全的实时影响;养护单位对施工过程中的隐蔽工程(如拼接缝注浆、基层处治)缺乏有效监督手段,难以及时发现潜在缺陷。更深层的是,性能导向的管控逻辑尚未建立:现有管控仍以符合设计规范与验收标准为目标,而非以未来10-20年的服役性能为导向;对新建部分材料老化、结构疲劳、环境侵蚀等长期演化规律认知不足,导致“验收合格、服役不佳”的现象时有发生。例如,某项目拼接段虽满足压实度要求,但因未充分考虑新旧沥青混合料热膨胀系数差异,通车两年后即出现纵向开裂。这种“静态合规”与“动态失效”的矛盾,暴露出一体化管控在时间维度上的断层^[2]。

1.3 数据孤岛与协同机制缺位阻碍系统化集成

一体化管控的有效性最终取决于信息流的畅通与组织机制的协同。目前,土建与养护的数据体系严重割裂:设计、施工、监理、检测、养护等单位使用不同软件平台,数据格式不兼容、时序不对齐,难以形成统一的数据底座;既有道路历史养护档案、检测报告等多为纸质或分散存储,无法被施工方便捷调用;施工过程数据(如压实度、温度、沉降)未结构化归档,养护单位接手后难以追溯质量成因。在组织机制上,建设单位、施工单位、养护单位分属不同管理体系,权责边界不清,沟通协调成本高;缺乏常态化的联合工作组或联席会议制度,问题响应滞后;绩效考核仍以各自阶段目标为主,缺乏对全寿命周期绩效的共同责任绑定。此外,复合型人才培养滞后:工程师普遍缺乏“既懂新建又懂养护”的知识结构,难以胜任衔接界面的技术决策;管理人员对一体化工具(如bim、数字孪生)应用能力不足,系统沦为展示道具。这种“有数据无共享、有协作无机制、有工具无能力”的困境,使得一体化管控难以从点状突破走向系统集成。若不通数据链路、重构组织关系、培育复合人才,再先进的一体化理念也难逃形式化命运^[3]。

2 路径探索: 面向全寿命周期的土建-养护一体化创新策略

破解上述系统性难题,需以全寿命周期性能为核心,重构技术体系、管理机制与数据生态。

2.1 构建基于数字孪生的全要素一体化管控平台

应超越碎片化信息系统,打造贯通“既有状态-新

建过程—未来性能”的数字孪生底座。首先,整合多源异构数据:将既有道路竣工图、历年养护记录、检测评估报告、地质勘察资料等历史数据数字化;接入施工过程中的bim模型、物联网传感器、无人机巡检、移动测量等实时数据;融合气象、交通流、材料性能等外部环境数据,构建高保真、可计算的数字孪生体。其次,开发衔接界面专项模块:针对新旧拼接、结构过渡、排水对接等关键环节,建立参数化模型与性能仿真引擎,支持施工方案虚拟预演与风险预判;嵌入养护知识库,自动提示潜在运维风险点与质量控制要点。特别要强化动态反馈能力:将现场监测数据实时映射至数字孪生体,驱动模型自校准;当实测值偏离预期时,自动触发预警并推荐调整方案;施工完成后,将完整数字资产移交养护单位,作为后期运维的“数字病历”。通过“数据贯通+模型驱动+闭环反馈”三位一体,使一体化管控从静态文档升级为动态智能体,真正实现土建与养护在数字空间的无缝衔接^[4]。

2.2 发展性能导向的新旧结构协同设计与施工控制方法

必须将管控重心从“符合规范”转向“保障性能”,建立面向未来的技术体系。在设计阶段,推行“检测—评估—设计—验证”闭环流程:采用无损检测+钻芯取样+结构反算等方法,精准量化既有结构剩余承载力与病害分布;基于全寿命周期成本分析,比选不同拼接方案的性能—经济性权衡;利用有限元或离散元模拟,预测新旧结构在荷载、温度、湿度耦合作用下的长期响应,优化细部构造。在施工阶段,实施“状态感知—动态调控—效果验证”精细管控:布设应变计、沉降板、温湿度传感器等,实时监测拼接段应力应变与变形发展;根据监测数据动态调整填筑速率、压实能量、养生条件等参数,避免过扰或欠压;对关键界面(如新旧沥青层间、基层拼接缝)进行粘结强度、渗水性等原位测试,确保结合质量。特别要建立性能验收标准:除常规指标外,增加界面剪切强度、差异沉降速率、排水通畅性等反映长期性能的验收项;引入加速加载试验或长期观测段,验证实际服役行为。通过“性能目标前置+过程动态适配+结果多维验证”的系统方法,使新建部分真正融入既有体系,而非简单物理叠加^[5]。

2.3 健全跨主体协同管理与标准化长效机制

技术落地需制度保障与组织变革双重发力。应由省级交通主管部门牵头,制定《改扩建公路土建与养护衔接技术指南》,明确衔接界面设计要求、施工工艺、检测方法、数据交付标准及验收准则,填补规范空白。推动建立“建

养一体化”项目管理模式:组建由建设、设计、施工、监理、养护单位组成的联合项目组,实行全过程协同办公;设立衔接界面专职工程师岗位,负责技术协调与质量监督;将全寿命周期绩效纳入合同条款与考核体系,建立利益共享、风险共担机制。在能力建设上,开展跨专业培训,培养既懂新建又懂养护的复合型人才;编制一体化管控操作手册与典型案例集,促进知识沉淀与传承。特别要完善数据治理机制:制定统一的数据编码、交换格式与接口标准,强制要求各参与方按规提交数据;建立改扩建工程数字资产管理办法,明确数据采集、存储、移交、更新的责任与流程;鼓励第三方机构开展数据质量审计与系统效能评估。唯有将一体化嵌入制度、组织与文化之中,方能实现从项目级探索到行业级推广的跨越^[6]。

3 结语

改扩建公路土建与养护衔接一体化施工管控,绝非简单的技术叠加或流程拼接,而是一场涉及工程哲学、管理范式与价值体系的深刻变革。它要求我们超越“建设是建设、养护是养护”的二元对立思维,重新定义改扩建工程的本质——不是对旧路的简单加宽,而是对既有交通基础设施生命系统的延续、修复与升华。在这一进程中,既要追求新建部分的精良,也要敬畏既有结构的沧桑与脆弱;既要相信数字技术的强大,也要珍视一线工程师的经验与直觉;既要关注眼前的工期与造价,更要心系未来数十年的服役性能与社会福祉。真正的衔接,诞生于对旧路每一处病害的细致诊断,成型于对拼接每一道工序的精心把控,升华于对全寿命周期责任的勇敢担当。我们应当以谦卑之心对待每一条改扩建公路,它们承载着历史的记忆、当下的需求与未来的期盼,是国家发展脉络中不可替代的活体遗产。这不仅是工程的精进,更是对“畅安舒美”公路服务承诺在存量时代的重新诠释与坚定践行。当新旧路基在精准的协同中融为一体,当施工与养护在数据的流淌中无缝对话,当每一米改扩建路面都经得起时间与车轮的双重考验,那便是对中国公路高质量发展最踏实、最沉默、也最有力的注解。这条通往全寿命周期卓越的道路注定充满挑战与反复,但每一步基于系统思维、实证精神与人文关怀的探索,都在为中国交通基础设施的可持续未来奠定更加坚实、更加智慧、更加负责任的基石。

参考文献:

- [1] 陆如洋,徐菲,王敏等.高速公路“建管养一体化”全生命期数字底座研究及应用[J].交通科技与管理,2025,6(23):176-178.

[2] 费伦林. 面向建养一体化的路基智能建造与数字运维技术. 江西省, 江西省交通投资集团有限责任公司, 2024-09-06.

[3] 张留俊. 深厚软土地基泡沫轻质土路基应用关键技术研究. 陕西省, 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 2021-05-16.

[4] 刘甲荣. 基于扩建工程的路基路面结构优化设计. 山东省, 山东高速股份有限公司, 2021-05-13.

[5] 马聪. 绿色公路生态环境监测与评价体系研究及应用. 云南省, 云南省交通科学研究院有限公司, 2021-04-15.

[6] 刘涛. 新疆干线公路建设支撑技术研究与应用. 新疆维吾尔自治区, 新疆交通科学研究院, 2018-06-07.