

病害整治配套小修工程多专业一体化施工管控研究

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：随着我国基础设施全面进入存量养护时代，病害整治与配套小修工程已成为保障交通设施安全运营、延长使用寿命的核心手段。此类工程具有点多线长、专业交叉密集、作业窗口受限、对运营干扰敏感等显著特征，传统按专业条块分割的施工管控模式常导致工序冲突、资源浪费、工期延误及质量隐患，难以适应精细化、高效化养护需求。本文系统综述了病害整治配套小修工程多专业一体化施工管控的理论演进、关键技术与管理创新，涵盖多源病害诊断与方案协同设计、跨专业工序动态耦合机制、智能感知与数字孪生赋能管控、全要素资源统筹优化等核心维度。

关键词：病害整治；小修工程；多专业一体化；施工管控；工序协同；数字孪生；全寿命周期

Research on Multi-disciplinary Integrated Construction Management for Minor Repair and Defect Rectification Projects

Hu Dili

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

Abstract: As China's infrastructure enters an era dominated by asset preservation and maintenance, defect rectification and associated minor repair works have become essential measures to ensure safe operation and extend the service life of transportation facilities. These projects are characterized by extensive coverage, dense professional overlap, limited work windows, and high sensitivity to operational disruptions. Traditional construction management models based on siloed professional divisions frequently result in process conflicts, resource waste, schedule delays, and quality risks, making them inadequate for meeting the demands of precise and efficient maintenance. This paper systematically reviews the theoretical development, key technologies, and management innovations in multi-disciplinary integrated construction management for minor repair and defect rectification projects, covering core aspects including multi-source defect diagnosis and collaborative design, dynamic cross-disciplinary process coordination, intelligent sensing and digital twin-enabled control, and comprehensive optimization of resources across all elements.

Keywords: Defect rectification; Minor repair; Multi-disciplinary integration; Construction management; Process coordination; Digital twin; Lifecycle

0 引言

我国公路、铁路、市政等交通基础设施规模庞大，大量早期建设的项目陆续进入病害高发期与维护密集期。病害整治与配套小修工程作为预防性养护与修复性养护的重要载体，承担着消除安全隐患、恢复服务功能、延缓结构劣化的关键使命。与新改建工程不同，此类工程通常在既有设施运营状态下实施，作业空间狭小、时间窗口紧张、环境约束复杂，且往往涉及路基、路面、桥隧、排水、交安、机电等多个专业的交叉作业。长期以来，受管理体制、技术标准及信息交互等因素制约，各专业常按自身节奏独立组织施工，缺乏统筹协调，导致反复开挖、工序倒置、界面脱节、资源闲置等问题频发，不仅降低施工效率、增加综合成本，更易引发次生病害或安全风险。例如，路面

铣刨后未及时跟进排水修复，导致基层水损加剧；交安设施安装与路面标线施工时序错配，造成返工浪费。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，为实现多专业一体化管控提供了技术可能^[1]。同时，行业主管部门大力推行“综合养护”“集约化施工”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，跨专业协同的标准、机制与工具仍显薄弱。因此，亟需以病害整治配套小修工程的特殊性为出发点，系统梳理多专业一体化施工管控的关键要点，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，更是推动我国基础设施养护管理模式转型升级、实现高质量发展的战略性命题^[2]。

1 现实审视：多专业一体化施工管控的成效与瓶颈

要推动一体化管控从理念走向落地，必须客观评估其在病害整治与小修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，部分先行项目在多专业协同方面进行了积极探索，取得了阶段性成效。在方案设计阶段，引入多专业联合踏勘与病害综合诊断，使整治方案更具系统性，如某高速路段通过地质雷达、弯沉检测与排水调查联动分析，精准识别出路面车辙与边沟淤塞的关联性，同步设计了铣刨加铺与排水疏通方案，避免了后期重复作业；在施工组织方面，建立跨专业工序协调机制，采用“先地下后地上、先主体后附属、先隐蔽后表面”的原则统筹安排，有效减少了工序冲突；在资源调配方面，推行设备共享与人员复用，如将路面施工机械与交安安装车辆错峰使用，提高了设备利用率。更重要的是，部分项目开始尝试让运维单位提前参与方案审查与关键工序验收，使养护需求前置化。这些实践表明，一体化管控能够有效减少专业间摩擦，缩短工期，降低综合成本，提升工程质量与安全水平。例如，某市政道路综合整治项目通过多专业协同，工期较传统模式缩短 28%，返工率降低 40%，用户投诉减少 60%。这些成果证明，多专业一体化是实现病害整治与小修工程“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]。

1.2 专业接口模糊与动态耦合失配制约实施效果

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。首要问题是跨专业接口缺乏统一技术标准：不同专业的设计深度、施工工艺、验收标准存在差异，衔接部位（如路面与路缘石、排水口与铺装层、管线检查井与路面）常成为质量薄弱环节；各专业对同一病害的成因判断与处治措施可能矛盾，缺乏权威的协同决策依据。其次，施工过程的动态耦合机制缺失：现场条件变化（如发现隐蔽病害、天气突变、交通流调整）往往仅影响单一专业，其他专业未能及时响应，导致整体计划失衡；缺乏实时的工序状态反馈与预警手段，问题发现滞后，纠偏成本高。更深层的是，性能导向的管控逻辑尚未建立：现有管控仍以完成各专业工程量与符合验收规范为目标，而非以设施整体功能恢复与长期服役性能为导向；对多专业协同作用下的系统性能演化规律认知不足，导致“单项合格、整体不佳”的现象时有发生。例如，某隧道渗漏整治虽完成了注浆堵水，但因未同步修复排水系统与内装装饰，通车后

不久即出现二次渗水与饰面脱落。这种“局部达标”与“系统失效”的矛盾，暴露出一体化管控在系统思维上的断层^[4]。

1.3 信息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，各专业数据体系严重割裂：勘察、设计、施工、监理、检测、运维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；历史病害档案、维修记录等多为纸质或分散存储，无法被施工方便快捷调用；施工过程数据（如材料用量、工序时间、质量检测）未结构化归档，后续专业接手后难以追溯前序工作质量。在组织机制上，各专业队伍分属不同合同包或管理部门，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每日协调会制度，问题响应滞后；绩效考核仍以各专业自身指标为主，缺乏对整体绩效的共同责任绑定。此外，复合型人才培养滞后：工程师普遍精通本专业但缺乏跨专业知识，难以胜任接口部位的技术决策；管理人员对一体化工具（如 bim、进度模拟软件）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。若不打通数据链路、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^[5]。

2 路径探索：面向系统效能的多专业一体化创新策略

破解上述系统性难题，需以设施整体性能为核心，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多专业协同管控平台

应超越碎片化信息系统，打造贯通“病害诊断 - 方案设计 - 施工执行 - 效果验证”的数字孪生底座。首先，整合多源异构数据：将既有设施竣工图、历年养护记录、检测报告、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，开发跨专业协同专项模块：针对常见接口部位（如路面 - 排水、结构 - 交安、管线 - 铺装），建立参数化模型与碰撞检测引擎，支持施工方案虚拟预演与冲突预判；嵌入多专业知识库，自动提示潜在接口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跨专业调整方案；施工完成后，将完整数字资产移交运

维单位,作为后期养护的“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,真正实现多专业在数字空间的无缝衔接^[6]。

2.2 发展病害-结构-功能耦合的一体化设计与施工控制方法

必须将管控重心从“完成工程量”转向“恢复系统功能”,建立面向整体的技术体系。在设计阶段,推行“综合诊断-系统评估-协同设计-仿真验证”闭环流程:采用无损检测+钻芯取样+功能测试等方法,精准量化病害类型、程度及成因关联;基于设施整体性能目标,比选不同组合方案的功能-经济性权衡;利用多物理场仿真,预测各专业措施协同作用下的长期响应,优化细部构造与施工时序。在施工阶段,实施“状态感知-动态耦合-效果验证”精细管控:布设应变计、沉降板、温湿度传感器等,实时监测关键接口部位的应力应变与变形发展;根据监测数据动态调整各专业施工参数与工序安排,避免过扰或欠压;对关键接口(如新旧铺装结合面、管线回填区)进行粘结强度、压实度、渗透性等原位测试,确保协同质量。特别要建立系统性能验收标准:除各专业常规指标外,增加接口密封性、排水通畅性、结构整体性等反映系统功能的验收项;引入功能性测试或短期观测,验证实际服役行为。通过“功能目标前置+过程动态适配+结果多维验证”的系统方法,使各专业措施真正形成合力,而非简单叠加。

2.3 健全跨专业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。应由行业主管部门牵头,制定《病害整治配套小修工程多专业协同技术指南》,明确接口设计要求、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“综合养护”项目管理模式:组建由业主、设计、施工、监理、运维单位组成的联合项目组,实行全过程协同办公;设立跨专业协调专职岗位,负责接口技术协调与质量监督;将整体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,培养既懂本专业又了解相关专业的复合型人才;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;建立病害整治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。

3 结语

病害整治配套小修工程多专业一体化施工管控,绝非简单的工序合并或资源拼凑,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“专业至上”的狭隘视角,重新定义养护工程的本质——不是对各专业任务的机械执行,而是对设施生命系统的整体修复与功能再生。在这一进程中,既要追求各专业的精良,也要敬畏系统整体的复杂与脆弱;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,更要心系设施未来数十年的服役性能与社会福祉。真正的协同,诞生于对每一处病害关联性的细致洞察,成型于对每一个接口工序的精心把控,升华于对设施整体责任的勇敢担当。我们应当以谦卑之心对待每一项病害整治工程,它们承载着历史的痕迹、当下的需求与未来的期盼,是基础设施生命延续中不可替代的疗愈时刻。这不仅是工程的精进,更是对“安全、耐久、绿色、智慧”基础设施服务理念在存量时代的重新诠释与坚定践行。当各专业在精准的协同中融为一体,当施工与运维在数据的流淌中无缝对话,当每一处修复都经得起时间与使用的双重考验,那便是对中国基础设施高质量发展最踏实、最沉默、也最有力的注解。这条通往系统效能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] 沈凯祺,刘承,滕伟波.浆砌挡墙注浆微型桩复合加固工艺研究与应用[J].低碳世界,2026,16(3):148-150. DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2026.03.058.
- [2] 陈奎,韦程伟.城市道路桥梁病害成因分析与治理措施[C]//江西省汽车工程学会.工程技术创新发展学术研讨会论文集(第一册).[出版者不详],2026:71-74. DOI:10.26914/c.cnkihy.2026.011232.
- [3] 钟瑶.国省道公路沥青路面裂缝防治技术研究[J].内江科技,2026,47(2):26-27+29.
- [4] 练华洪.铁路桥梁墩身质量缺陷整治方案探析[J].福建建筑,2022(12):102-104+142.
- [5] 赵晓东.临近既有线铁路隧道口边坡危岩落石病害整治措施研究[J].产业科技创新,2022,4(2):17-19.
- [6] 宋树宝.基于BIM的无砟轨道智能建造维护技术及数据应用方法研究[D].北京交通大学,2021.DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2021.000485.