

水利工程施工技术与创新

余海龙 于 永

江苏地泽建设工程有限公司 江苏徐州 221000

摘要: 本文聚焦水利工程施工技术发展,系统阐释智能化与生态敏感性双重特征,研究指出传统工艺存在质量控制依赖经验、复杂地质适应不足等问题,绿色施工面临生态流量保障缺位与碳减排技术滞后挑战。通过智能装备研发、新材料应用及动态调控系统构建,形成“技术——管理”协同优化路径。实践表明智能建造系统可提升复杂地质作业精度,生态补偿工艺有效缓解工程建设对流域生态的干扰,固碳材料革新推动全生命周期减碳。研究为水利工程高质量发展提供系统性创新方案,对实现生态保护与工程效益双赢具有重要参考价值。

关键词: 水利工程施工技术;智能化建造;生态敏感性;绿色施工

引言

“十四五”水利发展规划背景下,施工技术创新成为推动行业高质量发展的核心驱动力^[1]。当前工程建设呈现技术集成化与生态敏感性双重特征,智能建造系统通过物联网与人工智能技术实现施工装备自主决策,数字化平台构建工程全生命周期数字孪生体系;同时流域生态连通性维护与生物多样性保护需求倒逼施工工艺向低影响开发方向演进。传统技术体系存在质量控制依赖经验、复杂地质适应不足等问题,绿色施工面临生态流量保障缺位与碳减排技术滞后挑战。本文通过系统性分析技术特性、现存瓶颈及优化路径,提出“技术——管理”协同创新方案,为水利工程可持续发展提供理论支撑与实践参考。

一、技术特性与创新趋势

(一) 技术集成化与智能化特征

当代水利工程施工技术呈现出显著集成化,智能化趋势^[2]。该智能建造系统将物联网,大数据和人工智能技术深度结合,实现施工装备自主决策和工艺参数实时优选,显著提高复杂地质条件作业精度。同时以BIM+GIS数字化管理平台为基础,搭建项目全生命周期数字孪生体系,并通过多维数据融合和动态模拟实现设计到运维全过程可视化管控。两大创新方向形成技术与管理层面的双重突破,前者聚焦施工过程的智能升级,后者强化工程系统的整体协同,共同构建起“感知——决定——实施”一体化的新型建造模式,对水利工程的高质量发展进行系统性的创新支持。

(二) 生态敏感性工程属性

水利工程作为一种具有生态敏感性的典型工程,在建设过程中与流域生态系统之间有错综复杂的交互关系。流域尺度下的工程布局需要严格按照生态基流保持和纵向连通性防护的原则进行,需要建设时序和水生生物的繁殖周期构成时空避让机制。典型实践表明,一些流域的过度开发造成河道脱水断流现象,不得不将生态流量动态补偿模块植入到施工方案中。从物种保护的角度看,坝工的建设对洄游性鱼类产生显著的影响。葛洲坝工程导致的中华鲟栖息地的破碎化问题,促使“工程补偿加人工增殖等”的综合保护模式的形成。生态敏感性迫使施工技术朝着低影响开发的方向发展,并催生仿生流道设计和临时生态通道建设等创新技术,使工程建设和生态保育之间达到动态平衡。

(三) 新材料与新工艺的应用

在水利工程向着绿色化和智能化发展的今天,新材料和新工艺的运用已经成为促进施工技术革新的关键动力。在材料方面纳米改性技术取得突破性进展,显著改善传统防水材料性能,具有超低渗透性与大变形适应能力双重特点,有效地解决复杂地质条件渗漏难题。根据地质聚合物理论开发的固碳轻质土材料通过刺激工业固废火山灰活性来矿化和封存二氧化碳,既减少工程碳排放又增强材料力学性能及耐久性,可持续发展水利工程提供一种新型解决方案。从工艺创新上看智能施工装备广泛使用,改变传统依靠人工经验进行作业的方式,如具备环境感知能力机器人群能够独立完成管道检测及修复工作,显著提高施工精度及效率。引入动态调控系统

对生态流量进行实时监测和精准管理，并通过整合水文模型和智能算法保证工程建设和流域生态保护协调统一。新材料和新工艺的运用，在打破传统技术局限性的同时，也构筑起一套由微观材料改性向宏观系统集成转变的全链条创新系统，为水利工程高质量发展打下坚实的基础。科技不断进步的背景下，新材料和新工艺会进一步促进水利工程朝着更加高效，更加环保，更加智能等方面发展，为达到生态保护和工程效益双赢的目的提供强有力的支持。

二、现存技术瓶颈与管理挑战

（一）传统技术体系局限性

传统施工技术体系对现代水利工程要求表现出明显适应性不足。从质量控制维度来看，传统工艺过多依赖于经验化的作业，如管道连接仍然一般为法兰式的机械固定方式，该刚性连接方式容易诱发复杂地形下的应力集中问题，材料消耗量较大，维护成本较高。但从地质适应层面上看，常规灌浆技术受工艺参数固化的限制，在喀斯特地貌这样复杂的地质条件下，浆液的扩散范围很难得到准确的把控，造成固结效率较低。技术瓶颈实质来自于传统方法缺乏动态施工环境感知，没有建立起材料特性、地质参数和施工工艺联动优化机制，它不仅限制工程质量的提高，而且加剧资源消耗和工期延误的风险。

（二）绿色施工落实困境

绿色施工理念在实践中面临着多重执行的阻碍。从生态保护维度上看，小型水电工程发展失控造成河道基流断流，体现生态流量动态监测体系的缺失和补偿机制的不完善，传统的施工方案无法构建与水生生物保护要求的时空耦合模型。但从低碳转型的角度来看，传统的爆破工艺仍然依赖于化石能源的推动作用，全生命周期的碳排放评价机制还不够健全，相对于生物质能爆破这种清洁技术来说，能量转化效率和污染物控制方面具有明显的代差。困境来自于绿色施工标准体系落实不到位、技术推广和监管机制脱节等问题，这限制生态修复的目标达成，推迟产业碳化进程并对技术创新和管理升级构成系统性阻碍。

（三）智能化技术推广的障碍

尽管智能化技术在水利工程施工中展现出显著优势，但实际推广仍面临多重障碍。一是问题的提出技术成本成为首要约束、智能装备研发、购置及维修所需投资较高，很多中小施工企业难以承受致使技术普及受到一定限制。二是专业人才匮乏，智能化系统运行与维护需要

跨学科知识技术人员，现有产业对人工智能，物联网复合型人才缺乏储备。传统施工模式中惯性思维阻碍智能化技术运用，一些企业及施工人员习惯依靠经验作业而对新技术产生抵触情绪，没有积极学习与适应的积极性。从管理层面上看智能化技术普及仍囿于标准体系不健全，既有施工规范未全面覆盖智能装备应用场景，造成监管与验收没有统一依据。数据安全和系统兼容性问题不可忽视，智能施工过程中涉及到海量实时数据采集和传输等环节，如何保障信息安全和实现各平台之间无缝连接仍然是技术推广工作的一个难题。最后是区域发展不平衡使得智能化技术推广更加困难，经济发达地区有可能首先采用先进技术，欠发达地区由于受基础设施、资金等因素的制约，进展较为缓慢。从整体上看要打破壁垒还需政府、企业以及科研机构共同努力，在政策扶持、人才培养、标准制定以及试点示范方面采取多种措施，逐渐促使智能化技术被广泛地应用到水利工程施工当中。

三、系统性优化路径与技术突破

（一）技术创新路径

技术创新路径主要集中在施工装备智能化和材料性能突破性提升两个维度^[9]。智能化设备研发方面，将物联网技术和机械工程深度结合，催生具有环境感知能力的施工机器人，该类设备能够独立完成对管道内壁的缺陷检测和修复操作，显著减少人工干预力度。同时基于工业4.0框架下全自动制浆系统动态优化浆液配比，并通过集成传感器网络和算法模型使得固结材料性能参数和地质条件之间形成准确匹配，有效解决复杂岩溶地层注浆效率低的问题。从材料创新的层面上看，纳米改性技术对传统防水材料进行革命性的改进，经过特殊表面处理后的卷材既具有超低渗透特性又能很好地满足大变形运行条件下连续服役的要求。通过材料和装备的共同创新，构建了一个“感知——决定——实施”的集成智能建筑系统，突破传统工艺中的质量控制难题，并对生态敏感区建设提供了低影响开发的解决思路，形成微观材料改性至宏观系统集成全链条技术突破。

（二）绿色施工体系构建

绿色施工体系构建以生态保护与低碳发展双重目标为核心，形成技术集成与管理创新协同推进的创新范式。生态流量管理维度，通过部署多参数感知设备网络与构建高精度水文模型，建立覆盖全流域的动态调控系统。该体系集成降雨径流监测、生态需水预测与闸门控制算法，形成“实时感知——智能预警——精准调控”的闭

环管理机制,有效解决传统工程中生态基流维持难题,确保下泄流量与河道生态需求形成时空匹配,在典型项目中验证对于维持河流连通性的显著效果。减碳技术领域,基于地质聚合物理论研发的固碳轻质土材料实现革命性突破。该材料通过机械活化与化学改性技术,激发工业固废中硅铝组分的火山灰活性,促使二氧化碳与凝胶组分发生矿化反应,形成稳定的碳酸盐结构。微观孔隙结构优化既保证轻质特性又提升力学性能,经工程验证表现出良好的耐久性。材料革新与智能调控技术的深度融合,构建起覆盖施工准备、主体建设到运维阶段的全周期减碳框架。施工期通过负碳材料实现碳封存,运维期借助动态调控系统降低能源消耗,形成从微观材料改性到宏观系统集成的全链条解决方案。创新范式显著降低工程建设对河流生态系统的扰动强度,更通过材料本身的碳汇能力推动工程自身碳中和,为全球气候变化背景下的水利工程可持续发展提供中国方案^[4]。

(三) 管理协同与政策支持

水利工程施工技术创新发展,离不开高效管理协同和政策支持体系^[5]。目前水利工程建设牵涉众多管理部门及利益相关方,没有统一的协调机制,常常造成审批流程过长,标准执行参差不齐等现象。要打破瓶颈,必须搭建跨部门协同管理平台、将水利、环保、国土部门监管职能有机结合、信息共享、共同决策。从政策层面上看,应健全技术创新激励机制采取税收优惠和专项补贴手段降低企业研发成本并同时建立智能化施工技术推广专项基金,着力扶持中小企业技术升级。行业标准体系落后也是一个限制因素,迫切需要加快智能建造和生态施工新技术标准的建立,并为工程实践奠定规范基础。应建设工程全生命周期监管体系,在施工评价系统中加入生态保护和碳排放指标,借助数字化监管平台进行实时监控。人才培养政策也是重点,提出高校应增加智能水利工程方向并加强对企业技术人员新技术培训。组建流域性技术推广联盟,以示范工程引领周边区域技术扩散。健全法律法规体系、明确新技术应用责任划分、数据安全要求等制度保障创新。只有不断优化管理机制、健全政策体系,才能够为水利工程施工技术创新创造有利环境,并最终达到工程质量生态效益与经济效益多赢。

总结

水利工程施工技术正在发生着智能化和生态化双重转变,给产业高质量发展带来了新的道路。文章对目前水利工程施工技术所表现出的技术集成化和生态敏感性等特点进行系统的阐述,并指出传统工艺在质量控制方面对经验的依赖性、复杂地质适应性不强及其他限制,绿色施工则面临生态流量保障缺失和碳减排技术落后等问题。技术创新领域,通过智能装备的研发和新材料的应用构建一个“感知——决定——实施”的一体化系统;从绿色施工的角度出发,构建生态流量动态控制体系大力推广固碳材料的应用;从管理协同的角度,健全政策支持体系和跨部门协作机制。实践证明该智能建造系统能显著提高复杂地质作业的精度,生态补偿工艺能有效减少项目对流域生态造成的扰动,固碳材料在该项目全生命周期内的使用为项目减碳提供一种切实可行的方案。技术推广还面临成本、人才、标准等诸多阻碍因素,需政策引导与行业协同才能有所突破。本论文创新价值体现在构建微观材料改性至宏观系统集成全链条技术体系和工程效益及生态保护动态平衡机制,为水利工程的可持续发展,提供一种既有理论深度,又有实践价值的解决方案。今后的研究可以进一步探讨智能技术如何与生态保护深度结合,并在更多地域、更多工程类型上进行推广^[6]。

参考文献

- [1]周明旭.水利工程施工技术与生态环境保护[J].人民黄河,2024(1):60-61.
- [2]王磊.水利工程施工监理工作中技术创新与现代化手段的应用研究[J].水上安全,2024(3):004.
- [3]陈磊.水利工程中电力施工技术与管理分析[J].水利水电科技进展,2022(6):0013.
- [4]祝成鹏.水利工程施工监理技术的创新与发展[J].建材发展导向,2024(4):83-85.
- [5]郑祥乐.水利工程隧洞开挖施工技术与质量控制分析[J].大众科学,2024(13):79-81.
- [6]蔡亚.中小型水利工程施工技术管理的创新进展[J].低碳世界,2022(10):142-144.