

# 水利水电施工中的新技术应用趋势

吴启凡

南水北调中线实业发展有限公司 北京 100038

**摘要:** 水利水电施工正加速向智能化、生态化与资源高效化转型。数字孪生技术构建全生命周期虚拟模型,实现动态监控与决策优化;AI与机器人技术提升施工精度与安全性,无人机巡检、智能钢筋绑扎机器人等设备广泛应用。生态修复技术融合自然解决方案与生物技术,促进防洪安全与生态保护协同发展。区块链水权交易与绿色建材应用推动资源优化配置,助力碳中和目标实现。

**关键词:** 水利水电施工;新技术;应用;趋势

引言:在水利基础设施建设持续推进、生态环境保护需求日益增长的当下,水利水电施工面临提质增效与绿色发展的双重挑战。传统施工模式受限于效率、安全与生态兼容性,而数字孪生、人工智能、机器人施工等新兴技术正加速渗透,推动行业向智能化、生态化、资源集约化转型。本文系统梳理智能建造、生态修复、资源优化三大技术方向,分析应用瓶颈与应对策略,展望技术融合与可持续发展的未来图景。

## 1 水利水电施工新技术体系构建

### 1.1 智能建造技术群

(1) 数字孪生技术:依托BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)的深度融合,构建覆盖设计、施工、运维的工程全生命周期虚拟模型。通过实时采集物理实体的地质条件、结构应力、水文数据等信息,虚拟模型可动态映射工程实际状态,不仅能提前预判结构安全隐患,还能为施工方案优化提供可视化决策支持,例如在大型水库建设中,可通过模型模拟不同工况下的水流运动,优化泄洪设施布局。(2) AI与机器学习:AI算法在水利水电施工中展现出极高的应用价值,在施工路径规划中,能结合地形、设备调度等多维度数据,生成最优作业路线,准确率超98%;在安全预警领域,可实时分析设备运行参数、人员位置信息,及时识别危险场景;搭配无人机巡检技术,相比传统人工巡检,效率提升40%,同时通过边缘计算技术,将数据采集时延降至5毫秒以下,确保关键信息的实时传输与处理。(3) 机器人施工:针对水利水电工程中高风险、高强度的作业场景,各类专业机器人逐步替代人工操作。自主巡检机器人可在大坝、隧洞等复杂环境中全天候巡检,精准捕捉结构裂缝、渗漏等问题;智能钢筋绑扎机器人能实现钢筋裁剪、绑扎的自动化作业,误差控制在毫米级;三维点云扫描机器人可快速获取工程结构的三维数据,为施工质量验收提供精准依据。这

些设备的应用,不仅将作业效率提升3-5倍,更有效保障了施工人员的生命安全<sup>[1]</sup>。

### 1.2 生态修复技术融合

(1) 自然解决方案(NbS):摒弃传统硬化河道的施工模式,模拟自然河道的弯曲形态、深浅变化,同时结合同地水生、陆生植物种植,构建完整的生态系统。这种方式在满足防洪排涝功能的同时,能为鱼类、鸟类等生物提供栖息地,提升水体自净能力,实现防洪安全与生态修复的双重目标,例如在河道整治工程中,通过构建生态护岸、恢复滨水植被,有效改善了区域水环境质量。(2) 生物技术:在水质净化与土壤修复方面发挥重要作用。人工湿地技术利用水生植物、微生物的协同作用,对施工区域的生活污水、施工废水进行净化处理,去除水中的COD、氮、磷等污染物,净化效率可达80%以上;针对水利工程建设中可能出现的土壤盐碱化问题,通过基因编辑技术培育耐盐碱植物,不仅能改善土壤结构,还能提升区域植被覆盖率,促进生态环境的恢复。

### 1.3 资源优化技术

(1) 区块链水权交易:依托区块链技术的去中心化、不可篡改特性,构建全国统一的水权交易平台。平台通过智能合约自动执行水权交易规则,明确交易双方的权利与义务,减少中间环节的干预,降低信任成本与交易成本。这一技术的应用,能实现水资源的合理配置,促进水资源从低效益领域向高效益领域流动,提升水资源的利用效率,助力节水型社会建设。(2) 绿色建材:在施工材料选择上,大力推广低碳、环保的绿色建材。高性能混凝土通过优化配合比,在提升强度、耐久性的同时,减少水泥用量,降低碳排放;石墨烯防水膜具有优异的防水性能与耐久性,相比传统防水卷材,使用寿命延长3-5倍,且生产过程能耗更低。这些绿色建材的应用,可显著降低水利水电工程全生命周期的碳排

放,推动工程建设与“双碳”目标的深度契合<sup>[2]</sup>。

## 2 水利水电施工中新技术应用的挑战与应对策略

### 2.1 技术瓶颈

(1) 环境适应性:在众多技术应用场景中,恶劣环境对设备的稳定性和耐久性提出了极高要求。以工业生产、户外监测等领域常用的传感器为例,在高湿度、强腐蚀的环境条件下,传感器的故障率仍高达5%。这一问题直接导致数据采集中断、设备维护成本增加,甚至可能引发生产安全事故或监测数据失真,影响决策的准确性。为解决这一难题,一方面需加大研发投入,重点开发自修复材料,使传感器在受到轻微腐蚀或损坏时能够自主修复,延长设备使用寿命;另一方面,应采用冗余设计,通过设置备用传感器或数据采集通道,当主设备出现故障时,备用系统能够迅速切换,确保数据采集的连续性和稳定性。(2) 数据孤岛:随着信息化建设的推进,各部门、各系统纷纷建立了自身的数据平台,但由于缺乏统一的规划和标准,跨部门、跨系统之间的数据共享机制不完善,形成了“数据孤岛”。这使得数据无法充分流动和整合,难以发挥数据的整体价值,例如在智慧城市建设中,交通、医疗、环保等部门的数据无法有效共享,导致城市管理效率低下,无法为居民提供更精准、便捷的服务。针对这一问题,首要任务是建立统一的数据中枢,作为数据共享和交换的核心平台,实现各部门、各系统数据的汇聚和存储。同时,制定统一的API接口标准,规范数据的接入和调用方式,打破数据壁垒,促进数据的开放共享和高效利用<sup>[3]</sup>。

### 2.2 成本与人才制约

(1) 智能设备单价高:当前,许多智能设备因技术复杂度高、生产规模小等原因,单价居高不下。以自主巡检机器人为例,其均价达到12万美元,这对于众多中小企业或资金有限的应用场景来说,购置成本过高,难以大规模推广应用。为降低智能设备成本,关键在于推动规模化生产。通过扩大生产规模,能够有效降低单位产品的生产成本,包括原材料采购成本、生产制造成本、研发分摊成本等。同时,还可以通过优化产品设计、提高生产自动化水平等方式,进一步提升生产效率,降低成本,让更多用户能够负担智能设备,推动智能技术的广泛应用。(2) 复合型人才短缺:技术的应用和创新离不开高素质的人才,尤其是既掌握专业领域知识,又具备信息技术、人工智能等跨学科能力的复合型人才。然而,目前市场上这类复合型人才短缺,例如在水利行业智能化发展过程中,急需既懂水利工程原理,又熟悉AI技术在水文监测、水资源管理等方面应用

的人才,人才的缺口严重制约了水利智能化的进程。为解决复合型人才短缺问题,一方面,高校应加强“水利+AI”“医疗+AI”等跨学科专业建设,调整课程设置,培养符合市场需求的复合型人才;另一方面,企业和相关机构应加强对在职人员的技能培训,通过开展专题讲座、实操培训、校企合作培训等方式,提升在职人员的跨学科知识和技能水平,满足技术应用对人才的需求。

### 2.3 政策与伦理风险

(1) 智能设备伦理标准缺失:随着智能设备在生产、生活中的广泛应用,如服务机器人、自动驾驶汽车等,其伦理问题日益凸显。目前,智能设备伦理标准缺失,导致在设备运行过程中可能出现安全隐患和伦理争议,例如自动驾驶汽车在面临道德困境时如何做出决策,服务机器人如何保护用户隐私等。为应对这一风险,相关部门需加快制定机器人作业安全规范,明确智能设备在不同应用场景下的安全操作标准和责任界定,保障人员和财产安全。同时,加强数据隐私保护条例的制定和执行,规范智能设备数据的采集、存储、使用和传输,防止用户隐私泄露。(2) 水权交易与碳市场联动机制不完善:在绿色低碳发展和水资源合理配置的背景下,水权交易与碳市场作为重要的市场化手段,其联动机制的完善与否直接影响资源的优化配置和绿色发展目标的实现。目前,水权交易与碳市场联动机制不完善,缺乏有效的立法保障和科学的市场化定价模型,导致两者之间无法形成协同效应,难以充分发挥市场在资源配置中的决定性作用。针对这一问题,一方面,需加强相关立法工作,明确水权交易与碳市场联动的法律地位、操作流程和监管机制,为联动机制的运行提供法律保障;另一方面,应建立科学的市场化定价模型,综合考虑水资源稀缺程度、碳排放成本、市场供求关系等因素,合理确定水权和碳配额的价格,促进水权交易与碳市场的有效联动,推动绿色低碳发展和水资源的可持续利用。

## 3 水利水电行业变革趋势与未来展望

### 3.1 技术融合趋势

(1) 硬科技+软技术:新型材料与数字技术的深度耦合,将重构行业对工程建设与运维的认知框架。例如,自修复混凝土等硬科技材料,可通过内置微胶囊技术实现裂缝自主修复,大幅提升大坝、隧洞等结构的耐久性;而数字孪生、元宇宙技术则能为这类材料的应用提供“虚拟预演+实时监测”的软支撑—在元宇宙场景中模拟自修复混凝土在不同水压、温度下的性能变化,提前优化施工方案;通过数字孪生模型实时追踪材料修复效

果,动态调整运维策略,实现“材料性能提升+数字精准管控”的双重突破。此外,量子传感技术与AI算法的结合,还将进一步提升工程监测的精度与效率,推动行业技术水平迈向新高度。(2)全产业链协同:传统“各自为战”的产业链模式难以适应新技术应用需求,未来龙头企业将牵头搭建开放共享平台,整合设计、施工、运维等全产业链资源。例如,大型水利工程企业可构建云端协同平台,接入设计单位的BIM模型、施工单位的智能设备数据、运维单位的监测数据,实现各环节信息实时互通;同时通过平台引入上下游中小企业,形成“技术共享、风险共担、利益共赢”的产业生态圈。这种模式不仅能降低中小企业的技术研发成本,还能提升全产业链的协同效率,推动行业从“单点技术突破”向“系统能力提升”转变。

### 3.2 管理模式创新

(1)协同治理:公众与第三方机构将深度参与工程决策与监管,推动管理模式向透明化、民主化升级。一方面,建立常态化公众参与机制,通过听证会、线上意见征集、公民科学家项目等形式,让公众参与工程规划、生态影响评估等关键环节,例如在水库建设项目中,邀请沿线居民参与讨论移民安置与生态保护方案,增强决策的科学性与可接受度;另一方面,引入第三方评估机构,对工程的生态效益、安全性能进行独立评估,确保工程建设符合生态标准与安全规范,避免“重建设、轻监管”的问题。(2)ESG投资驱动:绿色金融与PPP模式创新将为水利水电工程提供更可持续的资金支持。随着ESG(环境、社会和治理)投资理念的普及,绿色信贷、绿色债券等金融工具将向生态修复、智慧水务等绿色项目倾斜,例如对采用低碳建材、实现水资源循环利用的项目给予利率优惠;同时,创新PPP模式,通过“政府+社会资本+专业机构”的合作方式,明确各方在项目投资、建设、运营中的权责,降低社会资本的投资风险,吸引更多资金投入水利水电领域,缓解政府财政压力。

### 3.3 可持续发展目标

(1)碳中和路径:行业将从“能源消耗型”向“低碳减排型”转型,通过技术创新降低碳排放强度。在水资源利用方面,利用智能调度系统优化输水路线,减少输水过程中的渗漏与蒸发损耗,据测算,智能调度可使输水效率提升10%-15%,间接减少泵站等设备的能源消耗;在水资源循环方面,大力推广再生水利用,将污水处理后用于工程施工、农田灌溉等领域,降低对新鲜水资源的依赖,同时减少污水排放带来的环境压力。此外,还将通过光伏与水利工程结合(如水面光伏电站)、优化施工设备能源结构等方式,进一步推动行业实现碳中和。(2)乡村振兴衔接:水利水电工程将成为助力乡村发展的重要纽带,通过技术下沉提升农村水资源利用效率。例如,在农村灌区推广智能运维系统,利用传感器实时监测土壤墒情、作物需水量,结合AI算法实现精准灌溉,不仅能将水资源利用效率提升15%,还能减少化肥农药流失,提升农产品品质;同时,依托水利工程建设配套的交通、电力设施,改善农村基础设施条件,带动乡村旅游、特色农业等产业发展,为乡村振兴注入新动能。

### 结束语

水利水电施工新技术正引领行业迈向智能化、生态化与可持续的新阶段。从数字孪生的精准模拟到AI与机器人的高效作业,从生态修复的和谐共生到资源优化的创新实践,新技术不仅提升了工程效能与安全性,更推动了绿色发展理念的深化。未来,随着技术融合与管理模式创新的持续推进,水利水电施工将为全球水资源管理与生态文明建设贡献更多中国智慧与方案。

### 参考文献

- [1]韩小平.水利水电工程施工中的新技术的应用及其发展趋势[J].水上安全,2025,(05):70-72.
- [2]黄姿慧.水利水电工程施工过程中环保新技术的运用价值探析[J].皮革制作与环保科技,2021,(06):83-84.
- [3]黄玉红,周泽军.水利水电工程施工中的新技术应用模式[J].工程建设与设计,2021,(05):129-130.