

水利施工中的智能化技术应用研究

宋柏洁

南水北调中线实业发展有限公司 河北 保定 071000

摘要：水利施工具有规模大、环境复杂、安全要求高的特点，传统施工模式存在效率低、质量管控粗放、安全隐患突出等痛点。本文结合BIM、物联网、人工智能、数字孪生等智能化技术，探讨其在水利施工中的具体应用实践，分析技术应用中的现存问题及成因，提出针对性优化对策。研究表明，智能化技术可有效破解传统施工痛点，提升施工精细化水平，为水利施工行业转型升级提供支撑，同时指出行业标准化、人才培养等是推动技术深度应用的关键。

关键词：水利施工；智能化技术；应用

引言：水利工程是保障国计民生的重要基础设施，其施工质量与效率直接关系工程安全和使用效益。随着智慧水利政策推进，传统依赖人工的施工模式已难以满足行业高质量发展需求。智能化技术的快速发展为水利施工转型提供了技术可能，其与水利施工的深度融合成为行业发展必然趋势。基于此，本文聚焦智能化技术在水利施工中的应用，梳理相关理论，分析应用实践与现存问题，提出优化建议，为行业实践提供参考。

1 水利施工与智能化技术相关理论基础

1.1 水利施工核心特征与现存痛点

(1) 水利施工核心特征：工程规模普遍较大，常涉及河道治理、水库修建等大型项目，施工周期多为数年甚至更久；施工环境复杂，受水文、气象、地形等自然因素影响显著，且多位于偏远区域，施工条件艰苦；安全要求极高，直接关系国计民生，需防范坍塌、渗漏等安全风险；同时涉及土建、机电、水文等多专业协同，对统筹协调能力要求较高^[1]。(2) 传统水利施工现存痛点：依赖人工操作，施工效率低下，易出现工期延误；质量管控方式粗放，多依赖人工巡检，难以实现全流程精准管控；高空、水下等作业场景安全隐患突出，人工监测难以全面覆盖；材料调度不合理，易造成建材和人力资源浪费；各环节信息传递依赖纸质记录或口头沟通，存在滞后性，易形成信息孤岛。

1.2 智能化技术核心内涵与发展现状

(1) 核心内涵：以物联网、大数据、人工智能、BIM、数字孪生等技术为核心形成的技术集群，可实现数据采集、分析、决策、管控的全流程智能化，打破传统施工的信息壁垒，提升施工精细化水平。(2) 发展现状：当前智能化技术在工程领域应用日益广泛，呈现普及化、精细化趋势；在水利行业，智能化技术正逐步适配施工场景，从数据监测到流程管控的应用不断拓展，虽仍有适配性优

化空间，但已成为行业发展的重要方向。

1.3 水利施工与智能化技术的融合可行性

(1) 技术层面：智能化技术可精准对接水利施工痛点，物联网实现实时监测，AI优化调度，BIM与数字孪生实现可视化管控，有效提升施工全流程管控能力，解决效率、质量、安全等核心问题。(2) 政策与行业层面：国家出台多项智慧水利相关政策，为融合应用提供政策支持；同时，水利行业转型升级需求迫切，传统施工模式难以满足高质量发展要求，推动智能化技术与水利施工深度融合成为行业必然趋势。

2 智能化技术在水利施工中的具体应用实践

2.1 BIM与GIS协同技术的应用

(1) 工程设计阶段：依托BIM技术构建水利工程三维立体模型，整合地质、水文、结构等多专业设计数据，实现各专业协同设计，打破设计信息壁垒。通过碰撞检测功能，提前排查管道、钢筋、机电设备等之间的空间冲突，有效减少设计变更，降低因变更导致的工期延误和成本增加，同时结合设计需求优化施工方案，提升设计的科学性和可操作性。(2) 施工实施阶段：将BIM模型与施工进度计划结合，构建4D进度模拟体系，直观呈现各施工环节的时间节点和衔接关系，便于进度管控和调整；融入成本数据形成5D成本管控模式，实现工程量、造价的实时核算与动态管控。结合GIS技术的空间分析能力，适配水利施工复杂地形、地貌条件，优化施工便道、物料运输路径，提升施工效率^[2]。(3) 案例应用：某大型水利枢纽工程应用BIM+GIS协同技术，通过三维建模和碰撞检测，减少设计变更30%以上；4D进度模拟精准管控施工节点，使总工期缩短12%；5D成本管控实现物料损耗降低8%，累计节约工程成本约1800万元，显著提升了工程建设的精细化水平。

2.2 物联网与实时监测技术的应用

(1) 施工参数监测：在水利施工关键部位部署多类型传感器网络，实现对混凝土浇筑温度、坝体沉降变形、渗流量、边坡稳定性等关键施工参数的实时采集、传输与分析。通过数据异常预警机制，及时发现施工隐患，为施工调整提供数据支撑，保障工程施工质量和安全。(2) 设备与人员管控：将施工机械、智能设备接入物联网平台，实时监测设备运行状态、工作效率，实现设备调度优化和故障提前预警；采用人员定位技术，对施工现场人员进行实时定位、轨迹追踪，明确人员作业范围，实现施工过程可视化、可追溯，降低高空、水下等危险作业场景的安全风险^[3]。(3) 案例应用：金塘冲水库施工过程中，应用物联网实时监测技术构建智能温控、智能灌浆系统，实时监测混凝土浇筑温度并自动调控，将混凝土内外温差控制在规范范围内，减少裂缝产生；智能灌浆系统精准控制灌浆压力、流量，使灌浆合格率提升至99.2%，大幅提升了施工质量和效率。

2.3 人工智能与自动化作业技术的应用

(1) 施工决策优化：将机器学习算法应用于水利施工方案优化、施工风险预测，通过分析历史施工数据、现场实时数据，精准预测施工过程中可能出现的工期延误、质量隐患、安全风险，为施工决策提供科学依据，提升决策的合理性和前瞻性，减少盲目施工带来的损失。(2) 自动化施工设备：在水利施工现场广泛应用测量机器人、巡检机器人、水下ROV等自动化设备，替代人工完成高精度测量、高危区域巡检、水下探测等作业。测量机器人提升测量精度和效率，巡检机器人实现24小时不间断巡检，水下ROV完成水下结构检测、清淤等复杂作业，降低人工劳动强度，规避作业风险。(3) 案例应用：三峡工程检修过程中，应用智能巡检机器人对坝体、发电机组进行全方位巡检，巡检效率提升60%以上，有效发现潜在故障并及时处理；香港维多利亚港疏浚工程中，采用AR导航技术辅助疏浚设备作业，精准控制疏浚深度和范围，使疏浚效率提升45%，减少水下作业人员投入，保障施工安全。

2.4 数字孪生与云平台协同技术的应用

(1) 数字孪生平台构建：依托数字孪生技术，构建与水利施工实体完全对应的虚拟孪生模型，模拟施工全生命周期的施工流程、环境变化、设备运行等场景，实现施工过程的可视化仿真、动态监测与优化调整，提前预判施工难题，优化施工工艺，保障施工顺利推进。(2) 云平台与边缘计算协同：搭建水利施工云平台，整合施工过程中的各类数据，实现数据集中存储、高效管理和共享；结合边缘计算技术，对现场实时数据进行本地快

速处理，降低数据传输延迟，实现施工设备远程运维、多参与方协同管理，打破地域限制，提升施工统筹协调能力。

3 智能化技术在水利施工应用中的问题与成因分析

3.1 应用过程中存在的主要问题

(1) 技术层面：各类智能化技术多独立应用，BIM、物联网、人工智能等技术融合不足，难以形成协同效应；不同厂家的智能设备规格不一、兼容性差，导致数据无法高效互通；行业内缺乏统一的数据标准，数据采集、存储、分析的规范不统一，同时技术对复杂水文、地形等施工工况的适应性较弱，易出现监测偏差、设备故障等问题。(2) 成本层面：智能化设备、平台搭建的初始投入成本较高，超出部分施工企业的承受范围；后续设备折旧速度快，维护保养需要专业人员和资金支持，进一步增加成本负担，导致中小型水利项目因资金有限，难以推广应用智能化技术。(3) 人才层面：行业内严重缺乏兼具水利施工专业知识与智能化技术能力的复合型人才，现有人员要么精通水利施工但不懂智能化操作，要么擅长智能化技术但不熟悉水利施工流程，导致设备操作、系统维护能力不足，制约技术应用效果。

3.2 问题产生的核心成因

(1) 技术层面：目前水利行业智能化发展尚处于初级阶段，缺乏统一的技术标准和规范，导致各技术、设备难以协同适配；同时技术研发多侧重理论层面，与水利施工复杂的实际需求脱节，未能充分结合施工场景优化技术。(2) 管理层面：部分施工企业仍沿用传统施工管理模式，对智能化技术的重视程度不足，缺乏主动转型升级的意识，管理流程和机制未能适配智能化施工的需求，无法充分发挥智能化技术的管控优势。(3) 外部环境层面：针对水利施工智能化的专项政策扶持力度不足，缺乏针对性的资金补贴和引导；技术推广渠道有限，专业培训体系不完善，无法有效提升从业人员的智能化操作和管理能力，阻碍技术普及。

4 优化智能化技术在水利施工中应用的对策建议

4.1 技术层面优化对策

(1) 推动多技术深度融合，构建一体化智能施工平台，整合BIM、物联网、人工智能、数字孪生等核心技术，打破各技术独立应用的壁垒，实现数据互通、协同联动。重点解决不同技术、不同设备间的数据兼容问题，统一数据采集与传输模式，让平台能够集中处理施工全流程数据，实现设计、施工、监测、运维等环节的智能化协同管控，充分发挥技术融合的叠加效应。(2) 加强核心技术研发，聚焦水利施工复杂水文、地形、气象等

工况痛点,联合科研机构、行业企业开展专项技术攻关,重点提升智能化设备的环境适应性与运行稳定性。针对高温、高湿、强冲击、复杂地质等施工场景,优化传感器、自动化作业设备的防护性能与监测精度,解决设备易故障、监测偏差大等问题,同时简化设备操作流程、优化系统适配性,提升技术的实用性和可操作性,确保智能化技术能够适配各类水利施工场景^[4]。(3)加快行业标准化建设,由行业主管部门牵头,联合科研单位、骨干企业,结合水利施工实际需求,制定统一的数据接口、应用规范和技术标准,明确数据采集、存储、分析、共享的具体要求,规范智能化设备的规格参数、适配标准与应用流程。通过标准化建设,解决行业内技术应用混乱、数据无法互通、设备兼容性差等问题,为智能化技术的规模化、规范化应用奠定坚实基础。

4.2 成本与管理层面优化对策

(1)优化成本管控模式,结合不同规模水利项目的资金实力,合理规划智能化设备与平台的投入布局,重点推广模块化、轻量化智能设备,替代传统大型智能化设备,有效降低初始投入成本。建立设备全生命周期管理体系,优化设备维护保养流程,定期开展设备检修与校准,减少设备折旧损耗和维护成本;同时通过批量采购、校企合作联合研发等方式,进一步降低设备采购与技术研发成本,让中小型水利项目能够承担智能化技术应用成本,推动技术广泛普及。(2)转变施工管理理念,加强对施工企业的引导,推动企业树立智能化发展意识,摒弃传统粗放式管理模式,建立适配智能化施工的管理制度与流程。明确各岗位人员的职责分工,完善智能化施工的考核评价机制,将技术应用效果、数据管控质量纳入绩效考核,倒逼管理人员主动学习智能化管理方法,优化施工统筹协调流程,充分发挥智能化技术在进度、质量、安全、成本管控中的优势,提升施工管理的精细化和高效化水平^[5]。

4.3 人才与政策层面优化对策

(1)构建复合型人才培养体系,加强校企深度合作,

推动高校、职业院校开设水利施工与智能化技术融合相关专业,优化课程设置,定向培养兼具水利施工专业知识与智能化技术应用能力的复合型人才。同时,加强在职人员培训,针对现有从业人员开展智能化设备操作、系统维护、数据分析等专项培训,邀请行业专家、技术骨干授课,搭建实践操作平台,提升现有人员的智能化操作与管理能力,有效破解人才短缺难题。(2)加大政策扶持力度,行业主管部门出台针对性的资金补贴、税收减免、信贷支持等激励政策,重点扶持中小型施工企业应用智能化技术,降低企业投入压力。完善技术推广体系,搭建技术交流平台,推广优秀应用案例,引导施工企业主动引进、应用智能化技术;同时健全技术培训体系,扩大培训覆盖面,提升从业人员整体素质,推动智能化技术在水利施工行业的全面普及与深度应用。

结束语

综上所述,智能化技术在水利施工的设计、实施、管控等环节发挥着重要作用,可有效提升施工效率、质量与安全性,破解传统施工诸多痛点。尽管当前技术应用仍面临融合不足、成本较高、人才短缺等问题,但随着技术研发、行业标准化推进及政策扶持,智能化技术与水利施工的融合将不断深化。未来需持续完善技术体系、培育复合型人才,推动水利施工行业向数字化、智能化转型,实现高质量发展。

参考文献

- [1]谷文静.智能化技术在农田水利工程中的应用研究[J].农业科技创新.2025,(6).56-58.
- [2]刘坯.智能化技术在农田水利工程中的应用[J].农村科学实验.2024,(21).81-83.
- [3]盛江南.智能化技术在工程施工管理中的应用研究[J].房地产世界.2024,(12).161-163.
- [4]黄银香.水利工程中的智能化技术应用与管理[J].城市建设理论研究.2024,(25).57-59.
- [5]尹春维.建筑工程施工组织策划中的智能化应用技术研究[J].绿色建造与智能建筑.2024,(5):126-128.