

智能化技术在水利工程施工中的应用研究

顾文瀚

江苏省水利建设工程有限公司 江苏 扬州 225000

摘要: 智能化技术正深度融入水利工程施工, 其以感知、传输、分析、应用层构成的技术架构为支撑, 融合AI与机器学习、BIM+数字孪生、5G+边缘计算等关键技术。在勘测设计、施工管理、安全质量管控及运行维护各阶段发挥显著效能, 提升效率与质量。然而, 实际应用面临技术标准缺失、数据安全隐患、复合型人才短缺等挑战, 需通过标准化建设、安全防护体系构建和人才培养机制优化加以解决。

关键词: 智能化技术; 水利工程施工; 应用

引言: 随着科技的飞速发展, 智能化技术已成为推动各行业转型升级的重要力量。在水利工程施工领域, 智能化技术的应用不仅有助于提高施工效率与质量, 还能有效增强工程的安全性与可持续性。从精准勘测设计到高效施工管理, 从严格安全质量管控到智能运行维护, 智能化技术正逐步渗透到水利工程施工的各个环节。本文旨在深入探讨智能化技术在水利工程施工中的应用现状、挑战及优化策略。

1 智能化技术理论基础与核心组成

1.1 技术体系架构

(1) 感知层: 作为智能化技术的“神经末梢”, 核心依托各类高精度传感器实现环境与对象状态的全面感知。具体涵盖位移传感器(实时捕捉结构形变数据, 精度达毫米级)、渗流传感器(监测液体渗透速率与方向, 多用于水利工程)、应力传感器(采集材料受力变化, 预防结构疲劳损坏)、水质传感器(检测pH值、污染物浓度等指标)、流量传感器(统计流体输送量, 保障管网高效运行), 为后续数据处理提供原始依据。

(2) 传输层: 承担数据“高速通道”职能, 以5G网络和物联网技术为核心。5G网络凭借超大带宽、超低时延(端到端时延低至1毫秒)特性, 满足海量数据实时传输需求; 物联网通过感知设备与网络的互联互通, 构建全域数据传输网络, 确保感知层采集的多维度数据无间断、低损耗传递至分析层。(3) 分析层: 是智能化技术的“大脑中枢”, 整合大数据处理与AI算法技术。大数据处理技术实现对海量异构数据的清洗、整合与存储; AI算法则基于数据构建预测模型(如设备故障预测、环境变化趋势预测), 并开展风险评估(如工程安全风险、设备运行风险评估), 挖掘数据价值。(4) 应用层: 聚焦技术落地应用, 以BIM模型和数字孪生平台为核心工具。BIM模型实现工程全生命周期的三维可视化设计

与管理; 数字孪生平台通过构建物理实体的虚拟映射, 结合实时数据实现三维模拟与优化决策, 应用于工程施工管控、设备运维管理等场景^[1]。

1.2 关键技术解析

(1) AI与机器学习: 核心在于通过算法训练使系统具备自主学习与决策能力。在故障诊断领域, 通过分析设备运行数据识别故障特征, 实现故障提前预警; 在施工参数优化方面, 结合工程实际数据优化施工工艺参数, 提升施工效率与质量; 在自动化控制领域, 实现设备启停、运行状态的自主控制, 减少人工干预。(2) BIM+数字孪生: 通过两者融合构建工程全生命周期管理体系。在设计阶段, BIM模型提供三维设计方案, 数字孪生平台模拟设计方案的实际运行效果; 施工阶段, 实时采集施工数据, 在虚拟模型中同步更新, 实现施工进度与质量的动态管控; 运维阶段, 基于虚拟模型开展设备维护计划制定与故障排查, 实现全流程协同管理。(3) 5G+边缘计算: 解决高密度数据处理与远程操控的时效性问题。边缘计算将数据处理节点部署在靠近数据采集端的边缘侧, 减少数据传输距离, 实现高密度数据的实时处理(如工程现场多设备并发数据处理); 结合5G网络的低时延特性, 实现对远程设备的精准操控(如远程机械施工、无人设备运维), 提升系统响应速度与运行稳定性。

2 智能化技术在水利工程施工中的具体应用

2.1 勘测与设计阶段

(1) 无人机与卫星遥感: 在水利工程勘测环节, 无人机搭载高清摄像设备与激光雷达, 可快速覆盖大范围勘测区域, 获取高精度地形数据, 结合卫星遥感技术(分辨率达0.5米级), 构建全域地形三维模型, 清晰呈现河道走向、山体坡度、地表植被分布等关键信息。同时, 通过对历史遥感数据与实时监测数据的对比分析,

能识别地质隐患点（如松散岩层区域、潜在滑坡体），提前发出地质灾害预警，为工程选址与规划提供科学依据，相比传统人工勘测，效率提升3-5倍，且降低人员安全风险^[2]。（2）BIM模型：在设计阶段，借助BIM模型参数化特性，可对水利工程的管道、闸门、泵站等构件进行三维建模，通过碰撞检测功能，自动识别设计方案中管道与建筑物、不同管道之间的空间冲突（如给排水管道与电缆管道交叉碰撞），避免施工阶段的返工整改。此外，还能模拟不同施工方案的实施过程，如针对河道清淤工程，通过BIM模型对比机械清淤与水力清淤的工期、成本及对周边环境的影响，优化施工方案，减少资源浪费，提升设计方案的可行性与经济性。

2.2 施工管理阶段

（1）智能设备协同：1）智能挖掘机：配备传感器与自动控制系统的智能挖掘机，可通过实时采集土壤硬度、挖掘深度等数据，自动调整挖掘力度、铲斗角度等参数，避免人工操作导致的挖掘过量或不足问题。例如在堤坝土方填筑施工中，智能挖掘机能精准控制每斗土方量，配合土方压实设备实现分层均匀填筑，提升堤坝压实度，保障工程结构稳定性。2）混凝土喷涂机器人：在水利工程隧洞、涵洞衬砌施工中，混凝土喷涂机器人通过激光定位系统确定喷涂范围，以预设压力与速度均匀喷涂混凝土，厚度误差可控制在 ± 2 毫米内，远优于人工喷涂精度。同时，机器人搭载的粉尘收集装置能有效吸附施工产生的粉尘，粉尘浓度控制在 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，改善施工环境，保障施工人员健康。（2）实时监控系统：1）针对大坝、堤防等工程关键部位，布设位移传感器与渗流传感器，实时采集结构位移数据（精度达0.1毫米）与渗流量数据，通过传输系统将数据同步至监控平台。当位移量超出预警阈值或渗流量异常时，系统自动发出警报，便于管理人员及时采取加固、防渗等措施，防止结构失稳。2）在施工区域部署环境监测设备，动态感知温度、湿度、噪声等环境参数，温度监测范围覆盖 -30°C 至 80°C ，湿度监测精度 $\pm 5\%$ ，噪声监测量程 $30\text{-}130\text{dB}$ 。数据实时上传至管理平台，当环境参数超出施工标准要求（如混凝土浇筑时温度过高或过低），及时调整施工工艺，保障施工质量与环境合规^[3]。

2.3 安全与质量管控

（1）AI预测模型：基于水利工程历史施工数据（如塌方事故记录、设备故障数据）与实时监测数据，构建AI风险预测模型。模型通过机器学习算法分析施工荷载、地质条件、设备运行参数等影响因素，提前预测潜在风险，如在基坑开挖施工中，模型可根据土壤应力变

化、边坡位移趋势，提前24-48小时预警塌方风险；针对施工设备，通过分析设备振动、温度、能耗数据，预测设备故障概率，提前安排维修保养，减少设备停机时间，降低安全事故发生率。（2）无人机巡检：采用搭载红外热成像与高清变焦镜头的无人机，对水利工程结构（如大坝坝体、溢洪道）进行定期巡检。无人机飞行速度可达 $15\text{-}25\text{m}/\text{s}$ ，续航时间2-3小时，能快速完成大面积巡检任务，通过图像识别技术自动识别结构表面裂缝（最小可识别0.2毫米宽裂缝）、渗漏痕迹等质量隐患。发现问题后，系统自动定位隐患位置并生成巡检报告，管理人员可及时启动应急响应，相比人工巡检，效率提升4-6倍，且能覆盖人工难以到达的高危区域（如大坝顶部、陡峭边坡）。

2.4 运行与维护阶段

（1）数字孪生平台：1）依托数字孪生平台构建水利工程虚拟模型，整合气象数据、水文数据（水位、流量），模拟不同工况下的闸门调度方案，如根据洪水预报数据，模拟闸门开启高度、开启时长对下游水位的影响，优化调度策略，保障防洪安全。同时，平台可实时接收水文站监测数据，结合历史洪水数据，提升洪水预报精度，预报提前期延长至3-7天，为防汛决策提供充足时间。2）通过数字孪生平台对库区进行动态监测，实时采集水位数据（精度 ± 1 厘米）、水质指标（pH值、溶解氧、污染物浓度）与生态数据（水生生物分布、植被覆盖率），在虚拟模型中同步更新库区状态。当水位超出正常范围或水质指标异常时，平台自动发出预警；同时，结合生态数据模拟库区生态变化趋势，为库区生态保护与水资源合理利用提供决策支持^[4]。（2）自动化控制系统：在水利工程泵站与灌溉渠道管理中，部署自动化控制系统，通过PLC（可编程逻辑控制器）与传感器实现设备远程调控。泵站系统可根据管网压力、流量需求，自动调整水泵启停数量与运行频率，实现水资源高效输送，能耗降低10%-15%；灌溉渠道系统通过水位传感器与闸门控制装置，自动调节渠道水位与水流速度，满足不同区域农田灌溉需求，避免水资源浪费，提升灌溉效率。

3 智能化技术在水利工程应用中的挑战与优化对策

3.1 现存问题

（1）技术标准缺失：当前水利工程智能化领域尚未形成统一技术标准，不同厂商的智能设备（如传感器、智能挖掘机）接口规格各异，导致设备间难以实现无缝对接。例如，A品牌位移传感器的数据输出接口与B品牌监控平台的接入接口不兼容，需额外开发转接程序才能

实现数据传输。同时,各环节数据采集格式、存储方式缺乏统一规范,施工监测数据、设备运行数据、运维管理数据分散存储在不同系统中,形成“数据孤岛”,无法实现跨阶段、跨系统的数据共享与协同分析,制约智能化技术的整体应用效能。(2)数据安全隐患:水利工程智能化应用依赖海量敏感数据(如工程结构数据、闸门调度数据、库区水文数据),这些数据在传输、存储、使用过程中面临多重安全风险。一方面,网络黑客可能通过攻击数据传输通道或系统漏洞,窃取甚至篡改监测数据,若闸门调度数据被篡改,可能导致调度决策失误,引发洪水漫溢等严重事故;另一方面,部分工程单位数据安全防护措施薄弱,缺乏专业的安全管理团队,对数据访问权限管控不严,存在内部人员误操作或恶意泄露数据的风险。(3)复合型人才短缺:水利工程行业传统工程师虽具备丰富的工程实践经验,但普遍缺乏AI算法、大数据分析、数字孪生建模等智能化技术技能,难以熟练操作智能监测平台、数字孪生系统等先进工具。同时,企业人才培养体系滞后,多数培训仍聚焦于传统施工技术,针对智能化技术的专项培训频次少、内容浅,无法满足实际工作需求,导致智能化设备与系统的功能难以充分发挥,制约技术应用深度。

3.2 优化策略

(1)标准化建设:由行业主管部门牵头,联合科研机构、设备厂商、工程企业制定统一的技术标准体系。在数据层面,规范数据采集格式(如采用JSON或XML标准格式)、存储规范与共享接口;在通信层面,统一设备间通信协议(如MQTT协议用于物联网设备通信);在操作层面,制定智能设备操作流程、数据处理流程、系统维护流程等规范,实现设备互联互通与数据高效共享,打破“数据孤岛”。(2)安全防护体系:1)技术层面,采用AES-256加密算法对数据传输过程进行加密,防止数据被窃取;引入区块链技术对关键数据(如调度指令、监测报告)进行存证,确保数据不可篡改;

构建分级防火墙体系,针对核心业务系统(如数字孪生平台、自动化控制系统)设置高级别防护,抵御网络攻击。2)管理层面,建立常态化员工数据安全培训机制,要求每年培训时长不低于40学时,培训内容涵盖数据安全法规、网络攻击防范、数据保密操作等,提升员工安全意识与操作规范,从源头降低数据安全风险。(3)人才培养机制:1)高校层面,在水利工程专业增设“水利+AI”交叉学科课程,如《智能水力学》《数字孪生建模技术》《水利大数据分析》等,将智能化技术融入专业教学,培养具备跨学科知识的复合型人才。2)企业层面,建立“老带新”实训基地,由经验丰富的智能化技术骨干带领传统工程师参与实际项目(如智能监测系统搭建、数字孪生平台运维),并推行考核认证制度,员工需通过智能化技术操作认证方可上岗,提升团队整体技术水平,保障智能化技术高效应用。

结束语

智能化技术为水利工程施工带来了前所未有的变革,显著提升了工程建设的效率、质量与安全水平。尽管当前在技术标准统一、数据安全保障及专业人才储备等方面仍存挑战,但通过加强标准化建设、完善安全防护体系以及深化人才培养机制,定能突破瓶颈。未来,随着技术的持续创新,智能化技术将在水利工程中发挥更大作用,推动行业向更加智能、高效、绿色的方向迈进。

参考文献

- [1]张立峰.智能化节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J].农业工程技术,2023,43(23):62-64.
- [2]方志强.基于BIM的智能化技术在装配式桥梁工程施工管理中的应用[J].工程建设与设计,2023,(15):145-147.
- [3]马博.装配式建筑智能化技术在工程施工管理中的应用[J].佛山陶瓷,2022,32(12):72-74.
- [4]詹培军.智能化施工技术在装配式建筑工程施工管理中的应用[J].工程技术研究,2022,7(07):130-132.