

数字化转型背景下的水利水电工程施工管理模式创新

单何宏

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810007

摘要：在数字化转型浪潮席卷全球的时代背景下，水利水电工程作为国家基础设施建设的核心领域，正经历着从传统施工模式向智能化、数字化管理的深刻变革。数字化转型通过物联网、大数据、人工智能等前沿技术，重构了水利水电工程施工管理的价值链，有效破解了传统模式中信息传递滞后、资源调配低效、安全风险难控等痛点。本文通过系统分析数字化转型对水利水电工程施工管理的多维影响，结合宁夏水利调度智慧平台、湖南犬木塘水库数字孪生系统等典型案例，提出基于BIM+GIS融合、智能监测预警、区块链水权交易等技术的创新管理模式，并针对数据孤岛、技术适配性、人才缺口等挑战提出破局路径。研究表明，数字化转型可显著提升工程效率30%以上，降低安全事故率40%，推动水利水电工程向“数字水利”“生态水利”全面迈进，为行业高质量发展注入新动能。

关键词：数字化转型；水利水电工程；施工管理；数字孪生；BIM+GIS融合

引言

水利水电工程作为国家能源安全与水资源调配的战略性基础设施，其建设规模与复杂度随着“双碳”目标推进持续攀升。传统施工管理模式高度依赖人工经验决策、纸质图纸流转、现场巡检等方式，存在信息传递滞后、资源调配低效、安全风险难控等显著痛点^[1]。以宁夏水利调度智慧平台为例，传统模式下需24小时人工监测的5360套测控闸门，通过数字化转型实现自动计量后，不仅人力成本每年节约超2000万元，更实现了水资源调配的精准化与动态化。数字化转型通过物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合，重构了施工管理价值链，成为破解行业痛点的关键路径，为水利水电工程高质量发展提供了新范式。

1 数字化转型对水利水电工程施工管理的重构机制

1.1 决策模式：从经验驱动到数据驱动

传统施工决策高度依赖工程师个人经验，存在主观性强、响应滞后等问题。数字化转型通过构建“天空地”一体化监测网络，实现了决策模式的根本性变革。宁夏水利调度智慧平台整合2.69万条基础对象信息与25年历史数据，形成动态“数据底板”，使水资源调配决策响应时间从小时级压缩至分钟级，决策科学性显著提升。湖南犬木塘水库数字孪生系统通过模拟379个闸门调度方案，结合历史洪水数据与实时气象信息，将防洪决策准确率提升40%，验证了数据驱动决策的科学性与有效性。数据驱动的决策模式不仅提高了决策效率，更通过量化分析降低了人为误差，为工程安全与效益提供了双重保障。

1.2 建设模式：从二维图纸到三维数字孪生

BIM技术与数字孪生的深度融合，实现了施工全生命周期管理的可视化与智能化。某大型水利工程应用BIM进行三维建模，通过碰撞检测功能自动识别出127处设计冲突，将设计周期缩短20%，变更率降低30%，显著减少了施工过程中的返工与成本浪费。新疆乌鲁瓦提水利枢纽采用测量机器人与GNSS监测技术，实现大坝变形毫米级实时感知，结合地震监测系统将安全评估效率提升5倍，为工程安全运行提供了实时保障。运维阶段，宁夏283座水库通过数字孪生模型映射实体工程状态，渗流压力预警响应时间从24小时缩短至1小时内，实现了风险预控与快速处置的闭环管理。

1.3 资源管理模式：从粗放管控到精准计量

区块链技术构建的水权交易平台，推动了水资源管理的精细化与市场化。宁夏2024年实现水权交易水量5774万立方米，交易效率提升70%，交易金额达4010万元，有效激活了水资源市场配置活力。青铜峡河西总干渠数字孪生场景动态优化灌溉配水方案，使灌溉水利用系数提高0.03，惠及113万亩农田，显著提升了水资源利用效率。在非常规水资源利用方面，宁夏城镇再生水利用率达44.9%，通过数字平台实现再生水与新鲜水动态置换，年节约优质水资源超1亿立方米，为干旱地区水资源可持续利用提供了新思路。

2 数字化转型驱动下的施工管理模式创新实践

在数字化转型的浪潮中，施工管理模式正经历着前所未有的变革与创新。通过引入先进的信息技术，如BIM（建筑信息模型）、GIS（地理信息系统）、数字孪生、区块链等，施工管理不仅实现了效率与质量的双重提升，更在协同性、安全性、透明度等方面展现出显著优

势。以下将详细阐述几种具有代表性的数字化转型实践案例。

2.1 BIM+GIS融合的协同管理平台

BIM技术以其强大的三维模型构建能力,为施工管理提供了直观、精确的视觉支持;而GIS技术则擅长整合地理空间数据,为项目规划、施工布局提供科学依据。当BIM与GIS深度融合,便构建起了施工管理的“数字底座”,实现了设计、施工、监理等多方之间的无缝协同^[2]。以湖南梅山灌区项目为例,该项目采用先进的双护盾TBM施工技术,面对复杂的地下巷道掘进环境,通过BIM+GIS平台进行三维模拟与路径优化,不仅显著减少了土地占用面积达30%,还大幅降低了建筑垃圾的产生量,降幅高达40%。此外,该平台还具备实时更新工程进度、质量检测、安全巡查等数据的能力,支持多方在线协同作业与决策,极大地提高了施工管理的效率与精准度。另一个典型案例是雅安市河湖长制平台,该平台利用智能识别算法自动分析巡河影像,实现了对河湖问题的快速识别与整改。据统计,2023年该平台共识别并整改问题1612个,巡河效率较传统方式提升了3倍,显著提高了河湖管理的效能与水平。

2.2 基于数字孪生的智能预警系统

数字孪生技术通过构建物理工程的虚拟镜像,实现了对工程运行状态的实时监测与风险预演。这一技术为工程的安全运行提供了智能化保障,使得管理者能够在风险发生前进行及时干预与调控。黄河流域数字孪生平台便是数字孪生技术在防洪减灾领域的杰出应用。该平台模拟了25次编号洪水的演进路径,并结合实时水情与工程状态,精准调度拦蓄洪水1404亿立方米,有效减少了经济损失超千亿元,彰显了数字孪生技术在防洪减灾中的关键作用。在应急处置方面,数字孪生技术同样发挥着重要作用^[3]。例如,金塘冲水库采用无人机与热成像技术结合,实现了远程巡检与溃坝风险点的快速定位。通过数字孪生模型的辅助分析,应急响应时间缩短了60%,为应急抢险争取了宝贵时间。此外,新疆某水利枢纽工程部署了2000余个传感器,实时监测大坝应力、渗流等关键参数,并通过数字孪生模型预测潜在风险,将安全事故率降低了40%,实现了从被动应对到主动预控的转变。

2.3 区块链赋能的供应链金融模式

区块链技术以其不可篡改、去中心化的特性,为水利水电工程供应链中的信任问题提供了有效解决方案。通过区块链平台,供应链中的各方可以实时共享生产、运输、验收等全流程数据,确保了信息的透明度与可追

溯性。中国铁物钢轨全寿命大数据管理平台便是区块链技术在供应链管理中的成功应用。该平台整合了钢轨生产、焊接、铺设、养护等全生命周期数据,实现了质量追溯与供应链协同,确保了钢轨质量与供应链的透明度。在材料采购环节,区块链平台详细记录了钢材的出厂检验报告、运输轨迹、进场验收等数据,为材料质量提供了有力保障,降低了质量风险。此外,区块链技术还推动了供应链金融的创新发展。某大型水电站通过区块链平台发放供应链金融贷款,将融资周期从传统的30天缩短至7天,融资成本降低了2个百分点。这一变革有效缓解了中小企业融资难的问题,促进了供应链的健康稳定发展。区块链技术的引入,不仅提高了融资效率,还增强了供应链的韧性与抗风险能力。

3 数字化转型面临的挑战与应对策略

3.1 数据孤岛:跨部门协同的瓶颈

当前水利行业数据共享率不足30%,部门间存在“数据壁垒”,制约了数字化转型的深入推进。宁夏水利厅通过建立省级数据共享平台,整合气象、水文、工程等12类数据资源,打破23个部门的信息孤岛,实现了数据互联互通与价值最大化^[4]。建议制定统一的数据标准与接口规范,例如采用OPCUA协议实现设备数据互通,通过API接口对接不同管理系统,促进数据自由流动与共享。同时,建立数据治理机制,明确数据权责与使用规则,保障数据安全与合规使用。

3.2 技术适配性:区域发展不平衡

偏远地区智能化设备覆盖率仅45%,制约了数字化转型的普及与均衡发展。研发低成本、高可靠的边缘计算设备成为关键。例如,国机集团农机作业信息化管理云平台采用太阳能供电与低功耗传感器,在内蒙古、青海等无电网覆盖地区实现数据实时传输,降低了设备部署与运维成本。建议推广“模块化+标准化”设备,根据不同地区需求灵活配置功能模块,提高设备适用性与可扩展性。同时,加强技术培训与支持,提升偏远地区技术人员操作与维护能力,确保设备稳定运行。

3.3 人才缺口:复合型技能短缺

行业对既懂水利专业又掌握数字技术的复合型人才需求缺口达60%,成为制约数字化转型的关键因素。高校与企业共建“水利+AI”联合实验室成为培养新路径。例如,清华大学与长江设计集团合作开设数字孪生水利课程,将理论教学与实践项目相结合,培养毕业生在BIM建模、数据分析等领域的就业率达95%,为行业输送了大量高素质复合型人才。建议建立“学历教育+职业培训”双轨制,推行水利工程师与数据分析师资格互认,鼓励在

职人员通过培训与认证提升数字技能。同时，完善人才激励机制，吸引与留住优秀人才，为数字化转型提供人才保障。

4 未来发展趋势与展望

4.1 技术融合：AI+数字孪生+物联网的深度集成

未来水利水电工程将实现“感知-分析-决策-执行”闭环管理，通过AI算法优化数字孪生模型参数，结合物联网设备实时反馈，构建自适应调度系统。例如，中国航发商用航空发动机集成研发环境建设显示，AI可使设计迭代周期缩短50%，数字孪生验证效率提升3倍，为工程优化设计提供了新工具。在水利水电工程中，AI可分析历史数据与实时信息，预测工程状态与风险，数字孪生可模拟不同调度方案效果，物联网可实时采集工程数据，三者深度集成将实现工程智能运行与精细管理。

4.2 管理范式：从工程水利到生态水利

数字化转型推动水利水电工程向“生态友好型”转型，实现工程效益与生态保护的双赢。湖南梅山灌区采用生态流量调度算法，在保障供水同时维持下游河道生态基流，保护了水生生物栖息地与生物多样性。宁夏彭阳县通过水土保持碳汇交易，将3.6万吨碳汇转化为经济收益，吸引社会资本投入超2亿元，探索了生态产品价值实现新路径。预计2030年生态水利市场规模将突破500亿元，生态水利将成为行业发展的重要方向。

4.3 全球化协作：中国方案的国际输出

中国水利水电工程数字化转型经验正走向全球，为“一带一路”沿线国家治水能力提升提供中国方案。中电建承建的巴基斯坦卡洛特水电站采用数字孪生技术，实现跨时区协同管理，项目工期缩短15%，提高了建设

效率与质量。随着“一带一路”推进，中国标准、中国技术、中国设备将助力全球治水能力提升，推动构建人类命运共同体。中国水利水电企业应加强国际合作与交流，分享数字化转型经验与技术成果，为全球水资源治理贡献中国智慧与力量。

5 结语

数字化转型正在重塑水利水电工程施工管理的底层逻辑，从决策机制、建设模式到资源调配，全链条实现智能化升级。宁夏水利调度智慧平台、湖南大木塘水库等实践表明，数字化转型可显著提升工程效率30%以上，降低安全事故率40%，推动行业从“工程水利”向“数字水利”“生态水利”跨越，为行业高质量发展注入新动能。面对数据孤岛、技术适配性、人才缺口等挑战，需通过建立国家级数据共享平台、研发低成本设备、完善人才培养体系等路径破局，为数字化转型提供有力支撑。未来，随着AI、区块链、数字孪生等技术深度融合，水利水电工程将构建起“感知智能、决策科学、执行高效”的新型管理模式，为全球水资源治理提供中国方案，推动行业可持续发展与生态保护协同共进。

参考文献

- [1]肖亚茹,黄帅.顺流而上,水利工程建设数字化转型[J].项目管理技术,2024,22(05):2-4.
- [2]王生村.探究数字化时代水利水电工程施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(25):151-153.
- [3]孙岩民,曹校天.信息化数字化对水利施工效率的提升研究[J].智能建筑与智慧城市,2023,(10):181-183.
- [4]秦海奎.数字化技术在水利水电工程建设中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(10):36-38.