

数字孪生技术在水利工程全生命周期管理中的应用路径

唐向平

林州市水利服务中心 河南 安阳 456550

摘 要:传统水利工程管理模式存在信息割裂、管控粗放、数据衔接不畅等诸多问题,难以适配行业精细化、智能化的发展趋势。本文结合数字孪生的技术特征与水利工程管理的实际诉求,探析技术与工程全生命周期管理的适配机制,梳理该技术在工程设计、施工、运维、退役各阶段的具体应用路径,搭建一体化的数据融合、互联管控、协同运维及智能决策体系,同时提出全方位的落地优化策略,可为水利工程数字化管控体系的完善提供理论支撑。

关键词:数字孪生;水利工程;全生命周期;数字化管理;智慧运维

引言:水利工程建设运行流程繁琐、周期跨度长、涉及数据繁杂,各施工管理阶段易出现信息断层与管理脱节问题,传统管控模式难以实现全流程一体化统筹。数字化、智能化转型成为水利行业高质量发展的必然方向。数字孪生凭借动态映射、数据互联、模块化拓展的独特优势,能够有效衔接水利工程全生命周期各项管理工作,破解传统管理模式各类短板。依托技术适配逻辑探索全新应用路径,构建系统化管理体系,能够有效提升水利工程整体管理质效。

1 数字孪生技术与水利工程全生命周期管理适配逻辑

1.1 数字孪生技术基础特征

数字孪生技术拥有数据立体化映射属性,能够对水利实体工程的空间形态、内部结构、构件参数完成数字化复刻。支持多维度工程信息结构化整合,兼容各类工程原始数据的录入与收纳。动态映射属性可以跟进实体工程状态变动,完成数字载体信息的迭代更新。具备多维数据互联属性,打通分散独立的数据端口,实现各类信息要素的互通流转^[1]。模块化架构具备灵活拓展性能,可依据工程管理实际需求调整功能模块,适配不同规模、不同品类水利工程的数字化建设场景。

1.2 水利工程全生命周期管理流程与管理诉求

水利工程全生命周期管理分为设计、施工、运维、退役四个核心阶段,各阶段对应专属管理内容。设计阶段主要完成结构参数规划、施工方案排布、工程整体布局统筹。施工阶段重点把控工序推进节奏、现场资源调配、施工现场标准化管控。运维阶段落实设备状态管控、隐患排查治理、常态化养护、水资源调度等日常业务。退役阶段开展工程数据归档、拆除方案规划、废旧资源整理、工程建设资料留存。全流程管理涉及工序繁多,数据种类与数量繁杂,对信息留存、传输、调取质量有着严格标准。各作业阶段衔接紧密,需要稳定连贯

的信息体系填补阶段衔接产生的信息空缺。

1.3 数字孪生技术赋能水利工程管理的适配性机制

数字孪生技术可搭建覆盖水利工程全流程的数字化载体,破除各管理阶段的信息隔离问题。将工程实体结构参数、运行数据、建设档案转化为标准化数字信息,统一各类工程数据的存储与调用规范。数字化载体可对接工程各阶段业务,适配设计规划、施工管控、运维养护等各类管理工作。动态更新特性可以同步工程建设与运行的状态变化,实时迭代数字模型信息。模块化功能架构能够适配各阶段差异化管理内容,匹配不同环节的管控需求。数字化存储模式可实现工程全周期资料的长期留存、随时调取,补齐传统水利工程管理的短板,完善全生命周期管理运行模式。

2 数字孪生技术在水利工程全生命周期各阶段的应用路径

2.1 工程规划设计阶段的数字化赋能路径

数字孪生技术可对水利工程建设场地的地形地貌、水文环境、地质条件进行数字化复刻,搭建精准的场地数字场景。依托数字化场景完成工程布局排布、结构参数设定、构件选型统筹等设计工作。整合水文、地质、气象等多类基础数据,为方案设计提供充足的数据支撑。依托数字化平台完成多版设计方案的差异化排布,梳理不同设计方案的建设优势与短板^[2]。落实设计细节的数字化校验,排查结构布局、空间排布、参数设定中的不合理内容,优化设计方案精细度。统一设计资料的数字化归档格式,规整设计阶段各类图纸、参数、台账资料,为后续施工与运维工作留存完整数据依据。

2.2 工程施工建设阶段的智能化管控路径

数字孪生技术可对接施工现场各类采集设备,归集施工过程中的人员、设备、物料、工序等基础信息。对施工工序开展数字化排布,梳理各施工环节的先后顺序

与衔接要点,规范现场施工流程。完成施工资源的数字化统筹,合理调配建材、机械设备、人力班组,规避资源闲置或资源短缺问题。记录施工全过程的工序推进进度,实时更新施工现场建设状态,把控整体施工节奏。归集施工过程中产生的各类数据资料,留存工序施工、质量管控、现场作业的原始信息。依托数字化载体规范施工标准落地,统一现场作业管控要求,提升施工现场标准化作业水平。

2.3 工程运维运行阶段的精细化管理路径

数字孪生技术可实现水利工程各类设备、构筑物运行状态的数字化呈现,直观展示现场运行状态。分类归集设备运行参数、水文调度数据、结构状态信息,实现运维数据的系统化存储。开展工程隐患点位的动态追踪,记录隐患位置、隐患类型与整改推进情况,推进隐患闭环处置。统筹水资源调度相关数据,依据现场工况合理排布调度方案,规范水资源调度流程。落实日常养护工作的数字化排布,制定贴合工程运行状态的养护计划,明确养护内容与养护周期。规整运维阶段各类工作资料,实现运维作业数据的可查、可溯,夯实精细化管理基础。

2.4 工程退役改造阶段的科学化统筹路径

数字孪生技术可归集水利工程全周期建设、运行、运维的全部数据资料,完成全周期数据的系统化归档。依托完整数字信息梳理工程老化、损耗、病害分布情况,为退役拆除或改造工作提供数据支撑。排布退役阶段作业流程,统筹工程拆解、构件回收、场地复原等各项工作内容。对废旧构件、可复用资源进行数字化统计,梳理资源数量与可用价值,推进资源合理利用。留存工程全生命周期数字化资料,为同类水利工程的规划建设、运维管理提供数据参考,实现工程建设经验的有效沉淀。

3 数字孪生技术赋能水利工程全生命周期管理的体系构建

3.1 全要素数据采集与融合体系构建

全要素数据采集与融合体系是数字孪生水利工程搭建的底层基础。依托各类传感设备、智能采集终端、现场监测装置,捕捉水利工程场地地质、水文气象、结构变形、设备运行的各类原始数据。收纳工程设计图纸、施工参数、运维记录、改造档案等人工台账信息,拓宽数据采集覆盖范围^[3]。针对不同格式、不同维度、不同精度的零散数据设立标准化处理规则,完成数据清洗、筛选、归类作业。搭建统一的数据收纳端口与存储数据库,打破不同采集设备、不同业务板块的数据隔离

状态。整合空间地理数据、工艺参数数据、现场状态数据,形成统一标准的工程数据资源池,为各类数字化管理工作提供基础数据支撑。

3.2 全域动态互联管理体系构建

全域动态互联管理体系聚焦水利工程管理场景的互联互通建设。搭建覆盖工程实体、设备终端、管理平台的数字化互联框架,打通现场作业端与后台管控端的信息通道。对接工程现场各类智能硬件设备,实现硬件设备与数字平台的信息互通。划分工程管理全域单元,对各单元的运行状态、作业内容、数据信息进行互联绑定。搭建分层式互联架构,统筹底层设备数据、中层模型信息、高层管理业务。设置常态化信息更新机制,保证工程现场各类状态变化可以实时录入数字平台。贯通各管理单元的信息链路,实现水利工程全域信息的互通流转,支撑现场管理业务高效开展。

3.3 全流程协同管控体系构建

全流程协同管控体系服务于水利工程全生命周期的一体化管理需求。梳理工程设计、施工、运维、退役各阶段的业务内容与管控要点,搭建全流程覆盖的管控框架。划分各管理岗位、各作业班组的业务权限与工作范围,明确各环节管控职责。搭建跨阶段、跨板块的协同工作端口,破除阶段衔接与部门分工带来的管理壁垒。串联各阶段作业数据与工作进度,实现各环节作业内容的相互衔接、有序推进。搭建统一的管控调度端口,集中排布各阶段作业任务,统筹各类现场管控工作。规整全流程管控业务逻辑,构建连贯、有序、高效的一体化协同管控模式。

3.4 智能化决策支撑体系构建

智能化决策支撑体系依托数字孪生数据资源与平台功能搭建管理决策载体。归集工程全周期海量数据,搭建专属水利工程智能化数据智库,储备决策参考资源。植入水利工程行业管控标准、工艺要求、运维规范,搭建标准化决策判别依据。针对工程资源调度、隐患治理、养护排布、改造规划等业务搭建专属决策模块。依托平台归集的实时数据与历史资料,为各类管理工作提供数据参考与方案支撑。细化不同作业场景的决策维度,丰富平台决策功能覆盖面。依托数字化平台简化决策流程,提升水利工程各类管理决策的高效性与科学性。

4 数字孪生技术在水利工程全生命周期管理中的落地优化策略

4.1 技术融合迭代优化策略

数字孪生技术落地水利工程场景,需要持续的技术迭代与功能适配,满足各类复杂工程作业场景的管控需

求。结合水利行业数字化技术发展趋势,引入前沿数字化技术手段丰富平台功能层级。深耕水利工程建设、运维、改造等各类业务场景,针对性补齐数字孪生平台的功能短板。针对传统数字化技术单一、功能局限的问题,推进多类数字化技术深度融合,丰富数据处理、场景搭建、业务管控的技术手段。依据水利工程现场作业的实际反馈,调整平台技术架构,优化模型运行逻辑与数据处理方式^[4]。针对不同类型水利构筑物的结构特点,优化数字化复刻技术,提升工程场景数字化搭建质量。定期梳理技术应用中的短板问题,完成技术架构的迭代升级,让数字化技术适配水利工程不断更新的作业标准与管控需求。

4.2 数据资源规范化管理策略

数据资源是数字孪生水利工程运行的核心载体,规范化管理能够保障平台长效稳定运行。建立统一的数据采集标准,明确地质、水文、设备运行、施工工艺等各类数据的采集精度、录入格式与更新频次。搭建分级分类的数据管理模式,按照工程阶段、数据类型、应用场景完成各类数据的归类存储。完善数据清洗、甄别、筛选流程,剔除无效、错乱、重复的劣质数据,保障入库数据的真实有效。搭建专属数据权限管理机制,划分不同岗位的数据调取、录入、修改权限,规避数据误改、丢失、泄露等问题。建立数据动态更新机制,根据工程状态变化及时补充全新数据,淘汰老旧失效信息。

4.3 岗位运维能力提升策略

数字孪生平台稳定运行依赖在岗人员专业操作水平,人员综合能力会直接影响工程数字化管控整体效果。推行分层分类专项技能培训方案,针对一线操作、后台管理、技术运维三类岗位设置针对性教学内容。面向全体工作人员普及平台基础操作、数据填报、设备联动控制、模块功能调取等基础内容,筑牢数字化操作根基。增设水利工程业务与数字化平台融合实操课程,每年开展4次集中专项培训,强化人员现场工况处置实操水平。建立长效学习体系,定期组织实操演练、技术研讨、故障案例复盘,年均开展技术交流活动不少于8次,持续沉淀平台运维、工程数字化管控实操经验。细化各岗位技能考核规范,围绕平台操作规范、数据运维管

理、安全隐患处置设置对应考评指标,引导工作人员持续精进专业能力。

4.4 系统长效运维与更新策略

数字孪生水利管理系统需要长效运维机制支撑全周期稳定运行,规避系统卡顿、功能失效、数据滞后等问题。建立每日巡检、每周复盘、每月运维的常态化系统巡检机制,定期核查平台运行状态、硬件设备联动情况与数据传输链路,排查系统隐性故障。针对平台运行中出现的漏洞、卡顿、功能失灵等问题,建立24小时快速处置通道,及时完成修复调试。结合水利工程改扩建、设备更替、工艺升级等变动内容,同步完成数字系统的内容更新与功能优化^[9]。每半年升级一次系统底层架构,适配不断扩容的数据体量与新增业务需求。完善系统运维台账,完整记录巡检、维修、升级、调试等全部工作内容,为后续系统优化提供参考依据。

结束语

数字孪生技术与水利工程全生命周期管理具备高度适配性,能够贯穿工程各个建设运行阶段,重塑传统水利工程的管理模式。通过搭建标准化、一体化的数字化管理体系,可有效打通工程全流程信息链路,实现各环节管控工作的协同落地。落实技术迭代、数据规范、人员提能、系统运维等优化举措,能够持续夯实数字孪生技术的落地基础,推动水利工程管理朝着数字化、精细化、智能化方向稳步升级。

参考文献

- [1]周英.数字孪生技术在水利工程造价全生命周期管理中的集成应用研究[J].水上安全,2026(7):49-51.
- [2]张黎希.基于BIM+GIS的水利工程数字孪生全生命周期管理技术探析[J].电子元器件与信息技术,2025,9(5):218-220.
- [3]陈龙.基于数字孪生的水利工程全生命周期数智化管理研究[J].工程建设与设计,2026(3):229-231.
- [4]何泽兴.数字孪生驱动的水利工程全生命周期智慧化管理机制[J].中国水运,2026(12):95-96,139.
- [5]李新武.数字孪生技术赋能水利工程建设管理路径研究[J].水上安全,2025(17):63-65.