

数字孪生驱动的水库移民安置点基础设施建设与管理一体化研究

余晋

广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 广西南宁, 530023;

摘要: 随着水利工程建设的不断推进, 水库移民安置工作愈发重要。本文聚焦于数字孪生驱动的水库移民安置点基础设施建设与管理一体化研究。首先阐述了水库移民安置点基础设施建设与管理的现状, 分析了当前存在的问题。接着详细介绍数字孪生技术及其在水库移民安置点基础设施领域应用的优势, 包括实时监测、精准规划、高效维护等。深入探讨基于数字孪生技术实现基础设施建设与管理一体化的模式构建、实施路径及面临的挑战与对策, 旨在为提升水库移民安置点基础设施建设与管理水平提供新思路和方法, 促进水库移民安置工作的高质量发展, 改善移民生活环境, 推动区域经济社会协调发展。

关键词: 数字孪生; 建设与管理; 基础设施

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 02. 015

1 引言

1.1 研究背景

水库工程作为重要的水利基础设施, 在防洪、发电、灌溉、供水等方面发挥着不可替代的作用。然而, 水库建设往往伴随着大规模的移民安置工作。据统计, 我国因水利工程建设产生的水库移民数量众多, 妥善安置移民并保障其生活质量成为水利工程建设中的关键任务。

基础设施建设是水库移民安置工作的重要组成部分, 良好的基础设施能够为移民提供便利的生活条件, 促进移民安置点的经济发展和社会稳定。但在实际工作中, 水库移民安置点基础设施建设与管理面临诸多挑战, 如规划不合理、建设质量参差不齐、管理维护效率低等问题。

随着信息技术的飞速发展, 数字孪生技术逐渐兴起并在多个领域得到应用。数字孪生通过构建与现实物理系统相对应的虚拟数字模型, 实时反映物理系统的状态和行为, 能够为水库移民安置点基础设施建设与管理提供全新的解决思路。将数字孪生技术引入水库移民安置点基础设施领域, 实现建设与管理的一体化, 有望突破传统模式的局限, 提升整体工作水平。

1.2 研究目的与意义

1.2.1 研究目的

本研究旨在深入探究数字孪生技术如何驱动水库移民安置点基础设施建设与管理实现一体化。通过对相关理论和实践的研究, 明确数字孪生技术在基础设施全生命周期(规划、设计、建设、运营管理)中的应用方式, 构建一体化的运作模式, 提出具体的实

施路径, 并分析可能面临的挑战及应对策略, 为实际工作提供科学指导和技术支持。

1.2.2 研究意义

理论意义: 丰富和拓展了数字孪生技术在水利工程移民安置领域的应用理论, 完善了基础设施建设与管理一体化的相关研究体系。通过对数字孪生技术与水库移民安置点基础设施的交叉研究, 为后续相关研究提供理论参考和方法借鉴。

实践意义: 有助于提高水库移民安置点基础设施建设的科学性和精准性, 通过数字孪生模型提前模拟和优化建设方案, 避免建设过程中的失误和浪费。在管理阶段, 能够实现对基础设施的实时监测和智能维护, 提高管理效率, 降低管理成本, 改善移民生活环境, 促进移民安置点的可持续发展, 提升水库移民安置工作的整体质量, 推动区域经济社会协调发展。

2 水库移民安置点基础设施建设与管理现状

2.1 基础设施建设现状

2.1.1 建设规模与布局

近年来, 水库移民安置点基础设施建设投入增加。以忻城县为例, 2023-2024 年实施了多个后期扶持项目, 包括饮水、道路、环境整治工程等。但建设规模和布局存在问题, 如部分安置点基础设施规模未充分考虑移民人口增长和未来发展, 导致设施容量不足。基础设施布局不合理, 公共服务设施与居民区距离远, 给移民生活带来不便。

2.1.2 建设质量

大部分水库移民安置点基础设施建设质量达到基本标准, 但部分项目存在质量隐患。小型基础设施

项目因施工队伍技术有限、监管不足,出现建筑结构不稳固、材料质量不合格等问题。例如,部分安置点道路建成后不久出现破损、坑洼,影响通行;饮水工程管道质量差,易漏水,影响供水稳定性。

2.2 基础设施管理现状

2.2.1 管理模式与机制

水库移民安置点基础设施管理模式多样,有的由政府主导,有的尝试市场化。但普遍存在管理职责不明确和缺乏有效监督的问题。

2.2.2 维护与更新

基础设施维护与更新面临挑战,如资金不足和维护技术落后,导致设施老化损坏问题严重。

3 数字孪生技术及其在水库移民安置点基础设施领域的应用优势

3.1 数字孪生技术概述

3.1.1 数字孪生概念与原理

数字孪生利用数据和仿真过程,在虚拟空间映射实体装备全生命周期。核心是构建与实体相似的虚拟模型,实时数据驱动模型运行,实现状态监测、性能分析、预测诊断和优化决策。在基础设施领域,可为道路、桥梁等创建虚拟模型,实时反映运行状态。

3.1.2 数字孪生系统构成要素

数字孪生系统包括物理实体、虚拟模型、数据采集与传输系统、数据分析与决策系统。物理实体指现实中的基础设施;虚拟模型是物理实体的数字化表达;数据采集与传输系统负责采集传感器数据并传输;数据分析与决策系统处理数据,为基础设施建设与管理提供决策支持。

3.2 数字孪生技术在水库移民安置点基础设施领域的应用优势

3.2.1 实时监测与预警

数字孪生技术通过传感器实时采集基础设施数据,如道路承载压力、水压、排水流量等,并实时传输至虚拟模型。监测到异常数据时,系统发出预警,提醒管理人员采取措施。例如,供水管道水压下降时,系统可判断问题并通知维修人员,确保供水安全。这种功能有效避免故障扩大,降低损失。

3.2.2 精准规划与设计

数字孪生技术在基础设施规划与设计阶段发挥作用。通过虚拟模型,设计人员模拟分析不同方案和参数,评估实际效果。例如,模拟交通流量下道路通行情况,优化道路布局和宽度,提高交通流畅性。模型还考虑地形、地质、环境等因素,优化设计,确保方案满足需求且经济可行,提高精准度。

3.2.3 高效维护与管理

数字孪生技术为基础设施维护与管理提供新方式。基于监测数据和虚拟模型分析,管理人员了解运行状况和潜在问题,制定维护计划。例如,分析桥梁应力数据,预测部件疲劳寿命,提前维修更换,避免事故。系统合理调配维护资源,提高效率和质量。通过虚拟模型展示基础设施布局 and 状态,方便决策和协调,提升管理可视化和协同效率。

4 数字孪生驱动的水库移民安置点基础设施建设与管理一体化模式构建

4.1 一体化模式框架

数字孪生技术是核心,整合基础设施全生命周期的规划、设计、建设、运营管理。数字孪生系统贯穿全周期,提供数据支持和决策依据。框架包括:

感知层:部署传感器采集物理状态数据,如结构应力、温度变化、水流流量等,并传输至网络层。

网络层:传输感知层数据,结合有线和无线网络,保证数据传输稳定高效,并与外部系统交互,丰富数据来源。

数据层:存储、管理和预处理网络层数据,采用大数据技术整合分析各类数据,为模型层和应用层提供数据支撑。

模型层:构建数字孪生模型,包括几何、物理、行为模型,基于数据层数据实时更新优化,反映实际状态,具备模拟分析功能。

应用层:为建设与管理各环节提供应用服务,包括规划设计优化、施工进度管理、质量监控、状态监测、故障预警、维护决策支持、资产管理等,实现一体化协同运作。

4.2 建设与管理各阶段的协同机制

4.2.1 规划与设计阶段协同

在规划与设计阶段,数字孪生系统整合地理信息、移民人口数据等,为规划设计人员提供全面信息支持。规划人员利用模型模拟不同方案,如安置点布局、基础设施分布。设计人员基于规划方案进行详细设计,如建筑结构、管网布局。通过数字孪生系统,规划与设计人员实时沟通协同,优化方案,确保科学合理。例如,规划人员提出新布局方案后,设计人员在模型上适配基础设施设计,并评估影响,共同调整至最优。

4.2.2 建设与施工阶段协同

在建设施工阶段,数字孪生系统实时跟踪施工进度和质量。施工人员上传施工数据至系统,系统对比分析实际与计划进度,发现偏差发出预警。传感器监测关键施工质量,如混凝土浇筑、钢结构焊接,实时传输数据至模型。发现问题,系统通知整改。各方

通过系统协同管理,沟通解决施工问题,确保工程顺利。例如,施工单位发现现场与设计不符,通过系统反馈,各方共同分析讨论,制定解决方案。

4.2.3 运营与管理阶段协同

在运营与管理阶段,数字孪生系统持续监测基础设施运行状态。管理人员通过系统获取实时数据,评估分析运行情况。发现故障或问题,系统自动生成维护工单,合理调配资源。系统分析历史数据,总结运行规律,为维护计划和改造方案提供依据。运营管理部门与其他部门通过系统协同,应对突发事件。例如,洪水等灾害发生时,系统模拟影响,支持应急管理部门制定方案,运营管理部门采取措施保障安全运行。

5 数字孪生驱动的水库移民安置点基础设施建设与管理一体化实施路径

5.1 数据采集与处理

5.1.1 传感器选型与部署

为实时监测水库移民安置点基础设施,需合理选型和部署传感器。根据基础设施特点和监测需求,选择相应传感器。如道路监测用压力、位移传感器;供水系统用水压、水质传感器;排水系统用流量、液位传感器。传感器部署应全面覆盖关键部位,重点突出易故障或影响大的部位,如供水管道弯头、阀门处加密布压传感器。

5.1.2 数据采集频率与精度控制

数据采集频率和精度对数字孪生系统准确性至关重要。频率应基于基础设施运行特点和变化规律设定。稳定基础设施采集频率可降低;快速变化基础设施需提高频率。精度控制应考虑传感器性能和监测需求,平衡成本与精度,通过测试确定最佳设置。

5.1.3 数据清洗与预处理

传感器采集数据常含噪声、异常值,需清洗和预处理。清洗主要是去除错误、重复、无效数据。预处理包括数据归一化、插值等,以统一数据标准,补充缺失数据。清洗和预处理提升数据质量,为数字孪生模型提供可靠数据支持。

5.2 数字孪生模型构建

5.2.1 几何模型构建

几何模型是数字孪生模型的基础,用于描述基础设施的外观形状和空间位置关系。对于水库移民安置点的各类基础设施,如建筑物、道路、桥梁、管网等,可以利用三维建模软件(如 AutoCAD、SketchUp 等)进行几何模型的构建。在构建过程中,要准确获取基

础设施的设计图纸、实地测量数据等信息,确保几何模型与实际物理实体的一致性。对于一些复杂的基础设施,还可以采用三维激光扫描技术进行快速建模,提高建模效率和精度。例如,对于大型桥梁的建模,可以通过三维激光扫描获取桥梁的表面形状数据,然后利用专业软件进行处理和建模,生成高精度的桥梁几何模型。

5.2.2 物理模型构建

物理模型用于描述基础设施的物理特性和运行规律,如力学性能、热传导性能、流体力学性能等。根据不同基础设施的物理原理,建立相应的物理模型。例如,对于建筑物结构,采用有限元分析方法建立力学模型,模拟建筑物在不同荷载作用下的应力、应变分布情况;对于供水系统,利用水力学原理建立管网水力模型,分析水流在管道中的流动状态、压力分布等。在构建物理模型时,需要确定模型的参数,这些参数可以通过实验测试、理论计算或参考相关标准规范来获取。同时,要对物理模型进行验证和校准,通过与实际运行数据对比分析,调整模型参数,确保物理模型能够准确反映基础设施的物理特性和运行规律。

5.2.3 行为模型构建

行为模型用于描述基础设施在不同条件下的行为表现和故障模式。例如,对于道路,行为模型可以描述道路在不同交通流量、气候条件下的磨损情况和使用寿命;对于供水系统,行为模型可以模拟管道泄漏、设备故障等异常情况下的系统响应。行为模型的构建通常需要结合历史数据、故障案例分析以及机器学习算法等方法。通过对大量

参考文献

- [1] 李秋香,谷艳昌,庞琼,等.北大港水库数字孪生建设方案与要点探讨[J].水利信息化,2023(5):31-35. DOI:10.19364/j.1674-9405.2023.05.006.
- [2] 王一鑫,赵振龙,李明.白石水库标准化管理信息平台研究与建设[J].水利技术监督,2024(7):20-24.
- [3] 赵泽锋.数字孪生技术在灌区建设与管理中的应用研究[J].Water Conservancy & Electric Power Technology & Application,2025,7(1). DOI:10.37155/2717-5251-0701-17.

作者简介:余晋,男(1989——),壮族,广西南宁,本科,中级工程师,研究方向:工程移民