

# 数字化建模在水利工程设计与运维中的应用分析

李 敏

江苏盈联环境建设有限公司 江苏 苏州 215300

**摘要:** 本文聚焦数字化建模在水利工程设计与运维中的应用,阐述了其核心技术体系,包括3DGIS、BIM、数值模拟引擎等及融合优势。分析了设计阶段在地形地貌、结构、多专业协同方面的应用。再探讨运维阶段在实时监测、数字孪生决策、资产管理、应急响应的作用。因此,展望5G+AIoT赋能及绿色水利数字化路径等未来趋势,为水利工程数字化发展提供全面参考。

**关键词:** 数字化建模; 水利工程; 工程设计; 运维管理

引言: 水利工程关乎国计民生,传统模式在设计与运维中面临诸多挑战。数字化时代的到来,为水利工程发展带来新契机。数字化建模作为核心手段,凭借其先进技术与融合优势,在水利工程设计与运维各环节发挥关键作用。深入研究其应用,有助于提升水利工程规划、设计、建设及运维水平,实现高效、安全、绿色发展,推动水利工程向智能化、现代化迈进。

## 1 数字化建模在水利工程中的核心技术体系

### 1.1 数字化建模核心技术解析

数字化建模在水利工程中的核心技术体系以三维地理信息系统(3DGIS)、建筑信息模型(BIM)、水文水利数值模拟引擎为三大支柱。3DGIS技术通过卫星遥感、无人机航测、激光雷达等多源数据融合,实现地形、地质、水系等基础地理要素的高精度数字化重构,精度可达厘米级,为工程规划提供精准空间基底。BIM技术聚焦工程结构全要素数字化表达,涵盖挡水建筑物、输水系统、泄洪设施等构件的几何参数、材料属性、施工工艺等信息,形成可计算、可分析的智能模型。水文水利数值模拟引擎则基于流体力学、水文循环理论,整合降雨径流、泥沙输移、洪水演进等数学模型,能精准模拟复杂水文过程与工程运行状态<sup>[1]</sup>。大数据存储与云计算技术为海量模型数据提供高效处理支撑,边缘计算技术保障野外场景下的数据实时处理,共同构成覆盖数据采集、建模构建、模拟分析、应用输出的完整技术链条。

### 1.2 技术融合逻辑与应用优势

数字化建模技术的融合逻辑遵循“数据互通-模型互操作-功能互补”的核心原则,打破传统水利工程各环节数据孤岛与技术壁垒。3DGIS提供宏观空间框架,BIM填充微观工程细节,数值模拟引擎赋予模型动态分析能力,三者通过统一数据标准实现无缝对接,形成“空天地一体化”数据采集与“宏微观结合”的模拟分析体系。这种融

合模式带来显著应用优势:在工程规划阶段,可通过多场景模拟对比优化选址方案,降低地质灾害风险;设计阶段能减少图纸冲突与设计变更,提高设计效率30%以上;施工阶段通过虚拟施工模拟优化工序安排,缩短工期15%-20%;运维阶段实现工程状态可视化管理,降低运维成本25%左右。同时,技术融合支持工程全生命周期数据追溯,为决策提供科学依据,推动水利工程从“经验驱动”向“数据驱动”转型。

## 2 数字化建模在水利工程设计阶段的应用

### 2.1 地形地貌与水文模拟

在水利工程设计阶段,地形地貌与水文模拟是数字化建模的核心应用环节,为工程布局与规模确定提供关键支撑。地形地貌模拟基于多源空间数据,通过3DGIS技术构建三维地形模型,精准还原流域内山脉、河谷、平原等地形特征,清晰呈现地形坡度、坡向、高程变化,为坝址选择、库区淹没范围计算、渠道线路规划提供基础数据。水文模拟则借助数值模拟引擎,整合长系列降雨、径流、蒸发等观测数据,构建流域水文模型,模拟不同降雨情景下的径流过程、洪水演进路径与淹没范围,预测设计洪水流量、洪峰水位等关键参数。通过地形与水文模型耦合分析,可精准识别洪水风险区域,优化挡水建筑物位置与高度;结合地形坡度分析确定输水渠道最优走向,减少工程量与水头损失;依据流域产汇流模拟结果合理设计泄洪设施规模,确保工程防洪标准达标。同时模拟过程支持参数敏感性分析,可量化不同地形条件、水文参数对工程设计的影响,为设计方案优化提供量化依据,大幅提升工程设计的科学性与合理性。

### 2.2 结构设计与优化

数字化建模在水利工程结构设计与优化中发挥关键作用,通过BIM技术实现工程结构的精细化设计与多目标优化。设计阶段基于BIM平台构建挡水坝、溢洪道、水

电站厂房等核心建筑物的三维模型,详细定义构件尺寸、材料性能、钢筋布置等参数,支持结构力学计算与有限元分析,自动校验结构强度、刚度、稳定性是否满足设计要求<sup>[2]</sup>。针对复杂结构,可通过参数化建模实现设计参数实时调整,快速生成多种设计方案,并通过模拟分析对比各方案的工程量、造价、安全性能等指标。例如在重力坝设计中,可优化坝体剖面形状,在保证抗滑稳定与防渗性能的前提下减少混凝土用量;在输水隧洞设计中,通过模拟不同断面形式的水流阻力特性,选择最优断面形状以降低输水能耗。另外,BIM模型可自动生成工程量清单,实现设计与造价的联动,避免造价估算偏差;同时支持结构碰撞检测,提前发现不同专业、不同构件间的空间冲突,减少施工阶段的设计变更,降低工程成本与工期风险。

### 2.3 多专业协同设计

数字化建模为水利工程多专业协同设计提供高效技术平台,打破传统设计模式中水利、结构、机电、地质等专业各自为战的局面。基于统一的BIM协同平台,各专业设计人员可同步开展工作,共享工程基础数据与模型信息,实现设计过程的实时协同。地质专业提供的三维地质模型可直接为水利与结构专业提供地质参数支撑,水利专业的水力设计方案可及时反馈给机电专业优化设备选型,结构专业的构件布置变更能同步提醒其他专业进行适配调整。协同平台支持设计版本管理与变更追溯,记录各专业设计修改痕迹,避免因版本混乱导致的设计错误;通过在线批注、实时沟通功能,各专业人员可及时解决设计分歧,提高决策效率。同时,协同设计过程中生成的统一模型可直接用于后续工程量计算、施工模拟等环节,实现设计数据的无缝流转。这种多专业协同模式大幅减少专业间衔接不畅导致的设计缺陷,提高整体设计质量与工作效率,使设计周期平均缩短20%~30%。

## 3 数字化建模在水利工程运维阶段的应用

### 3.1 实时监测与预警系统

在水利工程运维阶段,数字化建模支撑的实时监测与预警系统实现工程状态的全天候、全方位感知与风险预警。该系统整合传感器网络、数据传输网络与三维可视化平台,在坝体、溢洪道、输水系统等关键部位部署位移、渗压、应力、水位、流量等各类传感器,实时采集工程运行数据与环境数据。传感器数据通过5G、LoRa等通信技术传输至数据中心,经预处理后与数字化模型关联,在三维可视化平台上动态展示工程实时状态,如坝体沉降变形、渗流量变化、河道水位波动等。系统内置预警阈值模型,通过对比实时数据与设计值、历史极

值,自动识别异常情况,当数据超出安全阈值时,及时通过短信、平台推送等方式向运维人员发出预警信息,并在模型中精准定位异常部位。另外,系统支持监测数据的趋势分析与预测,通过机器学习算法挖掘数据变化规律,提前预判潜在风险,为运维决策提供前瞻性支持,有效防范工程安全事故发生,保障水利工程长期稳定运行。

### 3.2 数字孪生驱动的运维决策

数字孪生技术为水利工程运维决策提供智能化支撑,通过构建与物理工程完全映射的虚拟孪生体,实现运维过程的精准化、科学化管理。数字孪生体整合设计阶段的BIM模型、施工阶段的过程数据、运维阶段的监测数据,形成动态更新的全生命周期数据模型,能够实时反映物理工程的运行状态与健康状况。基于数字孪生体,运维人员可开展虚拟巡检,通过多角度查看、剖切分析等功能,细致检查工程内部结构状态,弥补传统人工巡检的盲区与局限性;通过模拟不同运维方案的实施效果,如闸门调度方案、清淤方案等,对比分析各方案的技术可行性、经济合理性与安全风险,选择最优运维策略<sup>[3]</sup>。数字孪生体支持工程故障模拟与诊断,当物理工程出现异常时,可在虚拟模型中复现故障发生过程,分析故障成因,快速制定维修方案。这种数字孪生驱动的运维模式,将传统“被动维修”转变为“主动预判、精准维护”,大幅提升运维决策效率与准确性,降低运维成本与工程停运风险。

### 3.3 资产管理与全生命周期优化

数字化建模推动水利工程资产管理向精细化、全生命周期化转型,实现工程资产的高效管理与价值最大化。基于数字化模型,构建水利工程资产信息库,涵盖建筑物、机电设备、监测设施等各类资产的基础信息、技术参数、安装记录、维护历史、折旧情况等内容,实现资产信息的集中管理与快速查询。通过将资产信息与三维模型关联,运维人员可在可视化界面上快速定位资产位置,查看资产运行状态与维护记录,为资产检修、更换提供精准依据。同时,借助数字化模型的数据分析能力,对资产运行数据进行统计分析,评估资产健康状态与剩余使用寿命,制定科学的维护计划与更新改造方案,避免过度维护或维护不足。在全生命周期视角下,数字化模型支持资产从规划、设计、施工、运维到报废的全流程数据追溯与价值评估,为资产优化配置、投资决策提供数据支撑,实现水利工程资产的保值增值,提升工程整体运营效益。

### 3.4 应急响应与灾害管理

数字化建模在水利工程应急响应与灾害管理中发挥

关键作用，为突发灾害的快速处置与损失控制提供有力技术支撑。针对洪水、地震、地质滑坡等潜在灾害，基于数字化模型构建灾害场景模拟系统，提前模拟不同灾害强度下工程的受力状态、破坏过程与影响范围，制定针对性的应急处置预案与疏散方案。当灾害发生时，实时监测数据与灾害模拟模型联动，快速评估工程受损情况，精准定位危险区域与关键受损部位，为应急指挥提供实时决策依据。通过三维可视化平台，可直观展示灾害发展态势、工程受损程度、救援力量部署等信息，辅助指挥人员制定科学的救援方案，优化救援资源配置。同时数字化模型支持灾后损失评估与恢复重建规划，通过对比灾害前后模型数据，量化灾害造成的经济损失与工程破坏程度，为制定恢复重建方案、优化工程抗灾能力提供数据支撑，最大限度降低灾害影响，保障人民生命财产安全。

#### 4 未来发展趋势

##### 4.1 5G+AIoT赋能超实时监测与自主决策

5G与人工智能物联网（AIoT）技术的深度融合，将推动水利工程数字化建模向超实时监测与自主决策方向跨越式发展。5G技术凭借低时延、高带宽、广连接的特性，解决传统监测网络数据传输延迟高、并发能力不足的问题，支持海量监测设备的实时数据传输，使监测数据延迟控制在毫秒级，实现工程状态的超实时感知。AIoT技术通过在监测设备中嵌入人工智能算法，实现数据的边缘智能处理，能够自动识别异常数据、过滤干扰信息，提高数据采集的准确性与有效性。基于5G+AIoT的超实时监测数据，结合数字化模型与机器学习算法，可构建自主决策系统，能够自动分析工程运行状态，识别潜在风险，制定最优运维策略并自动触发执行指令，如自动调节闸门开度、启动应急排水系统等。这种技术融合将大幅提升水利工程的智能化水平，实现从“人工干预”向“自主运行”的转变，打造具备自我感知、自我诊断、自我决策、自我修复能力的智能水利工程，应对日益复杂的水资源管理与灾害防控需求。

##### 4.2 绿色水利与碳中和目标下的数字化路径

在绿色水利与碳中和目标引领下，数字化建模将成为推动水利工程节能减排、实现低碳发展的核心技术路径。通过数字化建模与能耗模拟技术，可在工程设计阶段优化方案，降低全生命周期能耗，如优化挡水结构与输水系统设计，减少水流阻力与能量损耗；合理规划水电站厂房布局与设备选型，提高能源转换效率。在运维阶段，基于数字化模型与实时监测数据，可优化水利工程运行调度方案，实现水资源与能源的高效利用，如根据来水情况智能调度水电站发电，提高水能利用率；优化灌溉系统运行，减少水资源浪费<sup>[4]</sup>。数字化建模可用于碳足迹追踪与核算，通过构建全生命周期碳核算模型，量化工程建设、运行、维护各阶段的碳排放强度，识别关键碳排放环节，为制定碳减排措施提供数据支撑。另外，数字化建模还可支撑生态水利工程建设，通过模拟工程建设对流域生态环境的影响，优化工程设计方案，减少对生态系统的破坏，促进水资源保护与生态修复，实现水利工程经济效益、社会效益与生态效益的统一，助力碳中和目标实现。

#### 结束语

数字化建模在水利工程设计及运维中已展现出强大优势与巨大潜力，从设计阶段的精准规划到运维阶段的智能管理，全方位提升了工程效益与安全性。展望未来，5G+AIoT等前沿技术将进一步赋能，推动水利工程向超实时监测与自主决策发展，同时助力绿色水利与碳中和目标实现。持续探索数字化建模应用，对推动水利工程高质量发展，保障国家水安全意义重大。

#### 参考文献

- [1] 张晓娟. 数字化技术在水利水电工程建设中的应用研究[J]. 数字通信世界, 2024(7):124-126.
- [2] 高庆保. 水利工程勘察设计与施工中数字化工具的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2022, (18):100-102.
- [3] 陈文坤, 吴传彦, 李章超, 等. 数字化技术在水利工程测绘设计中的应用研究[J]. 长江技术经济, 2022, 6(S1):248-250.
- [4] 张红丽, 林丽萍, 赵永军, 等. 智慧水利水土保持分系统构建及应用[J]. 人民黄河, 2023(S2):85-87.