

# 水库大坝三维可视化信息集成平台技术应用

杨根深

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 水库大坝三维可视化信息集成平台基于云架构设计, 涵盖多源数据采集处理、三维建模、核心功能模块实现等内容。关键技术包括数字孪生建模、物联网感知等, 核心功能有实时监测预警、运维管理、仿真分析等。平台还通过边缘计算节点部署、增量式数据更新等优化数据传输, 采用实例化渲染等提升渲染性能, 并通过分布式集群部署等保障系统稳定性。

**关键词:** 水库大坝; 三维可视化; 信息集成平台技术

引言: 水库大坝的安全稳定运行关乎国计民生, 传统管理方式面临数据处理、可视化呈现、功能集成等诸多挑战。在此背景下, 水库大坝三维可视化信息集成平台应运而生。该平台融合云架构、数字孪生、物联网等多项技术, 涵盖三维建模、数据集成、功能模块实现等内容, 还具备性能优化策略, 能为水库大坝管理提供全面、精准、高效的解决方案。

## 1 水库大坝三维可视化信息集成平台技术架构

### 1.1 系统总体架构设计

基于云架构的分布式系统设计原理, 依托分布式计算与存储能力, 实现系统资源的动态调度与高效利用, 保障大规模数据处理与多用户并发访问的稳定性。多源数据融合的分层架构模型包含数据采集层处理层应用层, 采集层负责各类数据的全面汇聚, 处理层完成数据的清洗转换与标准化处理, 应用层支撑各类可视化与业务功能的实现。三维引擎与GIS技术的耦合机制, 实现地理空间信息与三维场景的深度融合, 保障空间定位与三维可视化的精准协同。模块化开发框架与可扩展性设计, 通过组件化拆分实现功能模块的独立开发与集成, 预留标准化接口, 支撑后续功能扩展与技术迭代。

### 1.2 关键技术组件

数字孪生建模技术核心在于BIM模型轻量化处理与实时渲染, 通过模型简化与数据压缩技术降低模型存储与传输开销, 优化渲染算法提升模型加载与显示效率, 保障孪生模型与实体对象的精准映射与实时同步。物联网感知技术重点在于传感器网络部署与数据传输协议, 通过合理的网络拓扑规划实现感知覆盖的全面性与可靠性, 采用高效稳定的传输协议保障感知数据的实时传输与完整性<sup>[1]</sup>。虚拟现实交互技术聚焦三维场景漫游与设备操控接口, 构建流畅的三维场景导航机制, 优化交互响应逻辑, 实现对相关设备的远程操控指令传输与状态反

馈。大数据分析技术致力于时空数据挖掘与异常检测算法的应用, 通过对海量时空关联数据的深度分析, 提取数据内在规律, 依托高效异常检测机制实现潜在风险的精准识别与预警。

## 2 三维建模与数据集成方法

### 2.1 多源数据采集与预处理

倾斜摄影测量技术核心在于无人机航摄参数设置与影像处理, 通过合理配置航摄高度航向重叠度旁向重叠度等参数, 保障影像数据的分辨率与覆盖完整性, 后续通过影像匹配空三加密等处理流程, 生成高精度的三维点云与影像成果。激光扫描技术聚焦点云数据获取与噪声滤波, 依托激光扫描设备的高精度测距能力完成点云数据采集, 采用滤波算法剔除环境干扰产生的噪声点, 提升点云数据的纯净度与精度。传统测绘数据处理重点是地形图矢量化与高程模型构建, 通过对传统测绘成果的矢量化转换, 提取地形地物特征信息, 在此基础上构建连续精准的高程模型<sup>[2]</sup>。监测数据接入核心是渗流变形应力等传感器数据标准化, 通过统一数据格式采样频率与计量单位, 实现各类监测数据的规范化整合, 为后续建模与分析提供统一数据基础。

### 2.2 三维模型构建技术

几何建模方法关键在于参数化建模与实例化建模对比, 参数化建模依托参数驱动实现模型的灵活调整, 可快速响应设计变更; 实例化建模则通过复用基础模型组件提升建模效率, 两者在适用场景与建模精度上各有侧重。纹理映射技术核心是实景照片贴图与程序化纹理生成, 实景照片贴图可还原真实场景的材质细节, 提升模型视觉真实性; 程序化纹理生成通过算法构建纹理, 适用于批量生成规律化材质。模型优化策略重点是LOD分级与网格简化算法, LOD分级根据场景距离动态调整模型精度, 网格简化算法减少模型面数, 两者协同降低系

渲染压力。动态模型更新聚焦施工进度模拟与结构变形可视化,通过关联时序数据实现施工过程的动态推演,基于监测数据驱动模型变形,直观呈现结构状态变化。

### 3 核心功能模块实现

#### 3.1 实时监测预警系统

多参数监测数据三维空间定位技术通过构建监测数据与三维场景的精准映射体系,整合空间坐标校准与数据时序关联技术,实现各类监测指标与对应监测点位的实时动态绑定,清晰界定数据的空间归属边界与时间属性。该技术能够消除数据与实体场景的空间偏差,强化数据的空间关联性,为后续多维度数据分析、跨区域数据对比和可视化呈现提供稳定可靠的空间基准,同时保障监测数据在三维场景中的精准溯源,为后续预警研判和决策分析奠定扎实基础。阈值预警与趋势预测模型集成基于监测数据的历史演化特征、动态变化规律以及行业内的安全运行标准,科学设定多级别预警阈值区间,明确各级阈值的触发条件与响应机制。同时融合先进的时序数据趋势预测模型,通过对实时监测数据的持续追踪与动态研判,捕捉数据变化的细微趋势与异常征兆<sup>[3]</sup>。通过模型的协同运作,能够提前预判异常数据的发生趋势与发展态势,实现分级预警响应,并根据数据变化动态调整预警等级,有效提升预警的精准性、前瞻性与时效性,减少误预警和漏预警情况。预警信息三维空间标注与推送机制将各类预警信息按照预警等级分类,以直观的可视化形式精准标注在三维场景的对应位置,通过高亮显示、动态闪烁、色彩区分等多元方式强化预警提示,让预警位置与严重程度一目了然。同时依托标准化的多渠道推送体系,整合终端弹窗、消息通知、语音播报等多种推送方式,将预警信息快速、准确地传递至相关管理终端和责任人员。应急响应预案的三维场景推演依托高精度三维可视化环境,完整复现各类应急场景的关键要素、环境条件、风险点分布以及周边关联设施状态,构建与真实场景高度一致的推演环境。通过导入应急响应预案的流程节点与处置要求,精准模拟预案执行的全流程、关键操作环节、人员物资调配路径以及不同处置方案的实施效果。

#### 3.2 运维管理功能模块

##### 3.2.1 设备全生命周期管理

安装位置可视化与运行参数监控构建设备从安装调试、正常运行、维护检修到报废处置的全流程可视化追踪体系,通过三维场景精准呈现设备的安装位置、分布态势、安装精度以及与周边设施的空间关联关系。同时通过实时数据采集终端,持续采集并动态展示设备的核

心运行参数、运行状态以及故障征兆信息,同步自动记录设备全生命周期内的关键事件、维护检修记录、部件更换信息以及性能衰减趋势。该功能保障了设备运行状态的全程可查、可控与可追溯,为设备运维计划制定、故障提前预判、维修策略优化提供全面、精准的数据支撑,延长设备使用寿命并降低运维成本<sup>[4]</sup>。

##### 3.2.2 巡检路径规划

基于三维场景的最优路径算法综合考量设备分布密度、地形复杂程度、巡检任务优先级、通行限制条件、巡检人员能力以及设备运行状态等多重核心因素,通过算法迭代计算与路径优化筛选,生成兼顾效率与质量的最优巡检路线。该算法能够有效规避巡检盲区和冗余路径,减少巡检过程中的无效耗时与体力消耗,显著提升巡检工作的效率和质量。同时具备动态调整能力,可根据设备突发故障、临时巡检任务或现场环境变化,实时重新规划最优路径,保障巡检工作的灵活性、针对性与及时性,确保巡检任务全面覆盖且高效落地。

##### 3.2.3 维修工单管理

故障定位与维修资源调度通过三维场景快速锁定故障设备的具体位置、故障部件以及关联设备的分布情况,同步自动调取设备历史维修数据、部件规格参数、维修手册以及相关技术资料,为故障快速诊断提供全面、精准的支撑。基于故障类型、故障等级和故障位置,系统自动精准匹配具备相应技能的维修人员、专业工具、备品备件等维修资源,实现工单的快速派发。同时实时跟踪维修进度、资源使用情况以及维修效果,及时反馈维修结果,形成从故障发现、工单派发、维修实施到结果验收的闭环管理,大幅提升维修效率和资源利用效率,降低故障停机时间。

##### 3.2.4 资源消耗统计

三维空间内的能耗与物资分布实现能耗数据和物资信息在三维场景中的精准可视化呈现,通过与计量设备的实时对接,精准统计不同区域、不同设备、不同时间段的能耗消耗情况,清晰展示能耗变化趋势。同时全面记录各类物资的存储位置、数量分布、库存状态、消耗速率以及补充周期,形成完整的物资流转台账。通过三维空间的关联分析,深度挖掘能耗浪费点、节能潜力以及物资调配优化空间,为资源优化配置、能耗管控策略制定、物资采购计划优化提供数据支撑,显著提升运维管理的经济性、合理性与可持续性。

#### 3.3 仿真分析功能模块

##### 3.3.1 洪水演进与泄流能力分析

此功能基于水文动力学原理,构建高精度三维地形

与土工建筑物模型,融入降水数据、流域汇流特征等关键参数。可模拟不同水文条件与降水强度下,洪水的产生、汇流、蔓延路径、淹没范围及深度,同时呈现泄洪设施的泄流状态与过流能力。通过多场景仿真计算与数据对比,精准评估泄洪系统承载力、泄洪效率、安全储备,找出洪水防控薄弱环节,为相关方案制定、设施优化、物资调配及应急处置提供科学决策依据。

### 3.3.2 应力应变场可视化与安全系数评估

该功能整合结构力学分析结果与三维结构模型,运用数据映射技术,将结构内部应力应变分布以直观可视化形式展现,清晰呈现关键部位、受力薄弱区域的受力状态、应力集中程度及应变变化趋势。基于仿真结果,精准计算并分级评估结构各部位安全系数,明确安全稳定性能等级,及时发现潜在隐患及发展趋势,为结构维护加固、安全评估、寿命预判提供量化支撑,保障结构长期稳定运行。

### 3.3.3 土方开挖与混凝土浇筑进度模拟

依托三维施工模型与详细进度计划,整合施工资源配置、工序逻辑及现场条件等信息,动态还原土方开挖分层分区过程、开挖量变化、边坡稳定性,以及混凝土浇筑工序衔接、强度、顺序和进度推进情况。通过多工况仿真推演,直观展示施工关键环节,提前预判进度冲突、工序脱节、资源不足及安全风险等问题,为施工方案优化、进度管控、资源调配提供可视化支持,确保施工有序推进与质量达标。

## 4 平台性能优化策略

### 4.1 数据传输优化

在数据传输环节,边缘计算节点的合理部署是关键基础。通过在靠近数据源的位置设置边缘计算节点,能够对采集到的原始数据进行初步筛选与处理,剔除无效信息,减少后续传输的数据量。增量式数据更新机制则确保仅传输发生变化的部分数据,避免全量数据重复传输造成的资源浪费。网络带宽自适应传输协议可根据实时网络状况动态调整数据传输速率,在网络带宽充足时加快传输,在网络拥堵时降低传输压力,保障数据传输的稳定与高效<sup>[5]</sup>。

### 4.2 渲染性能提升

渲染性能直接影响三维可视化平台的用户体验。实例化渲染技术针对重复模型进行优化,将多个相同模型合并处理,通过一次绘制操作完成多个模型的渲染,大

幅降低渲染计算量。视锥裁剪与遮挡剔除算法通过判断模型是否在可视范围内以及是否被其他物体遮挡,仅对可见部分进行渲染,减少不必要的渲染工作。异步加载与预加载策略则合理安排数据加载顺序,提前加载即将显示的内容,避免因数据加载延迟导致的画面卡顿。多细节层次动态切换根据模型与视点的距离,自动选择合适精度的模型进行渲染,在保证视觉效果的同时提高渲染效率。

### 4.3 系统稳定性保障

系统稳定性是平台可靠运行的重要保障。分布式集群部署将系统任务分散到多个节点上,通过负载均衡技术合理分配计算资源,避免单个节点负载过高导致系统崩溃。故障自动检测机制能够实时监测系统运行状态,一旦发现异常立即发出警报。容错恢复机制则可在故障发生后自动切换至备用节点或采取其他恢复措施,确保系统持续运行。数据备份与恢复方案定期对重要数据进行备份,当数据丢失或损坏时能够快速恢复,保障数据的完整性与可用性。跨平台兼容性设计使平台能够在不同操作系统和硬件环境下稳定运行,扩大平台的应用范围。

结束语:水库大坝三维可视化信息集成平台,通过科学的架构设计、先进的技术组件、全面的功能模块以及有效的性能优化策略,实现了多源数据融合、实时监测预警、运维管理、仿真分析等多方面功能。不仅提升了水库大坝管理的智能化、精细化水平,更为保障其安全稳定运行、科学决策提供了有力支撑,具有广阔的应用前景和推广价值,将为水利行业数字化转型注入强大动力。

### 参考文献

- [1]贾真真,刘钦超,王茜.水库大坝三维可视化信息集成平台技术应用[J].山东水利,2022(7):54-56.
- [2]李玉超,李大可,张颖.基于水库信息化平台的GNSS大坝安全监测系统[J].自动化应用,2025,66(20):254-256,261.
- [3]安觅,李瑶.水库大坝三维可视化安全监测平台研究与应用[J].水利技术监督,2023(12):47-50.
- [4]安觅,林艳燕.三维可视化安全监测平台在锦江水库的研究与应用[C]//2023(第十一届)中国水利信息化技术论坛论文集.2023:1-7.
- [5]韩炜.水库大坝数字孪生安全管理平台设计研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(9):119-121.