

DOI: 10.19364/j.1674-9405.2023.06.004

数字孪生峡江水利枢纽工程多尺度建模及可视化渲染关键技术应用

张煜¹, 刘亮², 徐曙光², 万迪文¹, 张霁云¹

(1. 江西省峡江水利枢纽工程管理局, 江西 南昌 330000; 2. 江西省水投江河信息技术有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要: 为探索实现物理流域及水利工程的数字化映射, 提出多尺度建模和可视化渲染技术方案, 并深入探讨无人机倾斜摄影、BIM、三维激光扫描等多尺度建模技术, 以及实时渲染引擎、多细节层次处理、仿真渲染优化等可视化渲染技术。以数字孪生峡江水利枢纽工程应用为例, 采用 GIS 与 BIM 的可视化方法, 对模型数据进行层次划分, 实现可视化渲染, 构建峡江水利枢纽工程宏观、局部、微观等 3 个层面的可视化模型, 实现工程多时态、全要素地理空间数字化映射, 有效支撑上层智慧化业务应用建设, 为多尺度建模和可视化渲染在水利行业的应用提供参考。

关键词: 多尺度建模; 可视化渲染; 数字孪生; BIM

中图分类号: TV61; TP391.98

文献标识码: A

文章编号: 1674-9405(2023)06-0018-07

0 引言

智慧水利作为水利高质量发展的显著标志, 是推进新阶段水利高质量发展的六大实施路径之一, 数字孪生是水利行业向智慧化升级转型的必要技术^[1], 建设数字孪生流域和数字孪生工程已经成为当前智慧水利建设的核心任务和目标^[2-3]。水利部开展数字孪生流域和数字孪生水利工程先行先试, 各省和各大流域机构分别进行了数字孪生流域建设的初步探索^[4-5]。地理空间数据和可视化模型作为数字孪生流域的重要建设内容, 多尺度建模及可视化渲染技术的应用可助力建设内容落地实现。

在水利行业中, 利用多尺度建模及可视化渲染技术对流域和水利工程中涉水要素进行虚拟仿真, 可为水资源调度、工程安全监测、防汛抗旱、水生态保护等提供高效且准确的分析和决策支持。相关专家学者在多尺度建模和可视化渲染方面也有相应的研究, 如喻杉等^[6]研究了流域全要素建模、高保真高性能渲染、地形数据加工处理等模拟仿真关键技术, 全域、全过程实时准确再现流域物理世界中各要素之间的关系, 从而实现流域水流、信息流、业务流、价值流的全过程实时镜像; 饶小康等^[7]借助 GIS, BIM, IoT (物联

网), 人工智能等新兴技术, 利用数字孪生技术在信息空间中对堤防工程、外部工况、环境等实体进行复刻, 构建相应的堤防工程安全管理数字孪生平台; 陈建群等^[8]以鄱阳湖湿地为研究对象, 采用 3ds Max 建模方法对遥感影像进行处理, 使影像与真实场景更接近, 同时, 在场景中加入使用三维建模方法制作的鄱阳湖湿地水利枢纽工程仿真模型, 形象逼真地展现了工程的细部结构特征; 陈志鼎等^[9]设计了基于数字孪生技术的水轮机虚实交互系统, 实现了数字孪生体对物理实体和控制操作的实时反馈模拟, 基于高度集成虚拟模型, 进行水轮机运行状态优化和在线仿真分析。

江西省峡江水利枢纽工程位于赣江中游峡江县巴邱镇上游峡谷河段, 是国家 172 项重大水利工程、省重点水利工程。水库正常蓄水位为 46.0 m, 总库容为 11.9 亿 m³, 防洪库容为 6.0 亿 m³; 电站装机容量为 360 MW, 共装 9 台 40 MW 的灯泡贯流式水轮发电机组。库区工程包括同江、上下陇洲、柘塘、金滩、樟山、槎滩、吉水县城等 7 个防护区工程, 以及防护区内外同江、水田、沙坊等 20 片共计 25 km² 抬田, 12 座排涝站, 39 台套装机, 总容量为 15 995 kW。

本研究基于数字孪生峡江水利枢纽工程先行先试项目 (以下简称项目), 应用多尺度建模及可视化渲

收稿日期: 2023-02-19

作者简介: 张煜 (1976—), 男, 江西南昌人, 高级工程师, 研究方向为水利工程管理。E-mail: 342731077@qq.com

通信作者: 刘亮 (1991—), 男, 江西宜春人, 工程师, 研究方向为软件开发。E-mail: 719548710@qq.com

染关键技术, 构建峡江水利枢纽工程范围及影响区域内地理空间数据及可视化模型, 发挥数字孪生水利工程的数字映射、可视化模拟作用。

1 整体方案

多尺度方法能够实现微观、宏观及中间尺度的联合分析。多尺度建模是指在同一个计算模型中既包含高效率的宏观单元又包含高精度的精细单元, 不同单元在同一个模型中通过一定的方法进行耦合连接, 从而平衡建模的计算时间和精度。可视化技术是把无法直观显示的数据转化为能够直接感知的形状、字符、色彩、纹路等。可视化渲染是将数据或模型转化为立体或平面的图片或动画, 有助于更好地理解和分析复杂的数据或模型。通过交互式渲染工具, 手动或自动地控制数据或模型的可视化效果, 调整视角、光线和材料等属性, 呈现不同的场景和效果, 使数据或模型更具有动态性和真实感。

多尺度建模方面, 项目在宏观层面采用无人机倾斜摄影技术进行建模, 具备数据生产效率高、三维模型效果理想、建模精度高等优点, 建模范围覆盖坝区、库区工程及影响区域。在局部和微观层面, 采用三维激光扫描技术, 通过图纸进行 BIM 反向建模, 针对图纸缺失的情况则采用三维激光扫描技术进行三维数据采集, 可完整表达设备和结构的基础信息、空间位置等, 大大提高数据采集的效率和精度, 建模范围覆盖坝区、库区工程的重要站点和核心设备, 包括坝区工程的清污机、启闭机、泄水闸、船闸、鱼道等, 库区工程的 12 座电排站、36 座灌溉闸、提灌站、自排闸等站点和设备。

可视化渲染方面, 项目采用 UE4 (Unreal Engine 4) 进行三维可视化渲染。场景及功能制作完成后, 将标准插件及定制 API 接口在渲染服务器上打包封装, 发布上传至云渲染平台, 将服务器地址及网络端口进行配置, 配置完成后即可调用场景及 API 服务, 既能满足宏观大范围面积孪生场景的可视化展示需求, 又能满足微观场景的精细化还原需求, 同时还能保持系统运行的流畅程度。结合数字孪生峡江三维建模成果, 实现全要素场景可视化表达、实时三维渲染、空间分析、业务模拟仿真, 为峡江水利枢纽工程数字孪生场景创造更具有交互性、真实感、沉浸感的三维地理环境, 实现数字孪生峡江水利枢纽工程与物理世界同步仿真运行。多尺度建模和可视化渲染整体技术流程如图 1 所示。

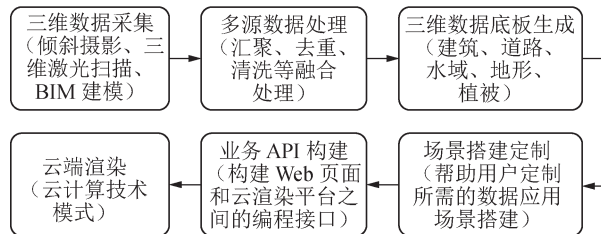


图 1 多尺度建模和可视化渲染整体技术流程

2 多尺度建模关键技术

数字孪生水利工程建设内容包括地理空间数据管理和可视化模型建设, 从而将真实的物理世界转化为孪生的数字世界。从宏观到局部再到微观, 还原不同尺度的物理世界, 需要用到多尺度建模手段^[10-11]。

2.1 无人机倾斜摄影

倾斜摄影技术是低空航空摄影测量领域的新兴技术, 通过无人机搭载相机, 从不同角度全方位拍摄地表真实情况, 为大规模建筑物或复杂地形等场景构建提供更完整的信息, 但对于光线、云层等环境的干扰比较敏感。无人机倾斜摄影建模技术可在获取传统正射影像的基础上, 进一步生成具有三维坐标的地物地貌真实模型, 将物理世界转换为数字世界, 作业、数据处理等流程分别如图 2 和 3 所示。



图 2 无人机倾斜摄影作业流程

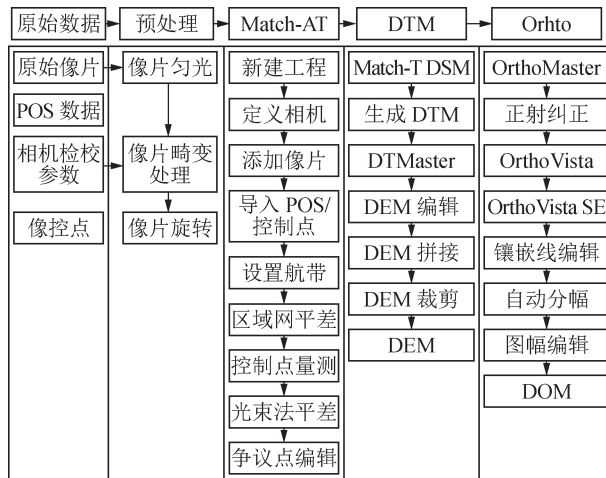


图 3 无人机倾斜摄影数据处理流程

无人机倾斜摄影航线设计中最重要的是航高设计, 需要根据使用的相机参数及要求的地面分辨率确定航高, 相对航高=地面分辨率×焦距/像元大小 (其中地面分辨率最好优于 2 cm)。以倾斜相机为例, 航高与地面分辨率对应关系如表 1 所示。

表1 航高与地面分辨率对应关系表

传感器尺寸/ mm × mm	像元大小/ um	焦距/ mm	地面分辨率 (倾斜)/cm	相对航高/ m
36×24	4.527	35	1.0	55
			1.5	82
			2.0	110

通过对原始像片、POS 数据、相机检校参数、像控点等原始数据,进行像片匀光、畸变处理、旋转等预处理,导入 Inpho 建模软件进行空三加密和 DEM(数字高程模型)生成,以及正射纠正、镶嵌、分幅,形成 DOM(数字正射影像)数据。在 Match-AT 模块实现完全自动化的高效空三处理,对所有加密点坐标和每张航片外方位元素进行解析;在 Match-T DSM 模块应用先进的多影像匹配技术,自动获取并生成各像对范围内的 DTM(数字地面模型);利用 DTMaster 模块对 DTM 数据进行编辑、拼接、剪裁,与实际地形保持一致,生成达到精度要求的 DEM;在 OrthoMaster 模块中结合生成的 DEM 进行单张像片正射纠正,在 OrthoVista 模块中利用纠正后的像片智能镶嵌出整个测区的初始 DOM,检查、编辑 DOM 和镶嵌线,自动分幅后完成 DOM 制作。

2.2 地面三维激光扫描

地面三维激光扫描技术突破传统的单点测量方法,最先在测绘领域应用,后凭借高分辨率、高精度、非接触测量等优点,逐渐应用于地质灾害测量、数字孪生等领域^[12-15]。利用激光测距原理,通过高速测量

和记录被测物体外表大量密集点的三维坐标、反射率和纹理等信息,能够准确生成建筑、地形等复杂的结构模型,快速复建被测目标的三维模型,以及线、面、体等各种图件数据,但扫描数据量较大,对计算机的处理能力要求较高。地面三维激光扫描作业流程如图4所示。

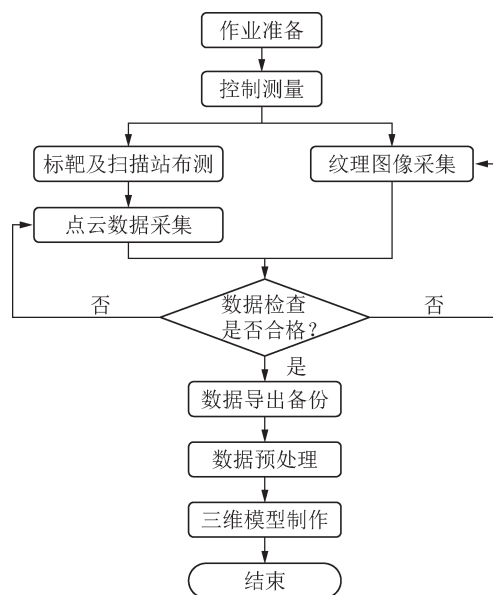


图4 地面三维激光扫描作业流程

地面三维激光扫描数据采集包括点云数据和纹理图像采集,点云数据精度划分等级与特征点间距中误差、点位相对于邻近控制点中误差、最大点间距及配准要求相关,纹理图像精度则与像元大小相关,具体技术指标和规定如表2和3所示。

表2 地面三维激光扫描点云精度与技术指标

等级	特征点间距中误差/mm	点位相对于邻近控制点中误差/mm	最大点间距/mm	配准要求
一等	≤ 5	—	≤ 3	应采用标靶进行配准、连续传递配准次数不应超过 4 次
二等	≤ 15	≤ 30	≤ 10	控制点之间连续传递配准次数不应超过 5 次
三等	≤ 50	≤ 100	≤ 25	控制点之间连续传递配准次数不应超过 5 次
四等	≤ 200	≤ 250	—	—

注:一等不宜通过控制点进行配准

表3 纹理投影像元技术规定

等级	一等	二等	三等	四等
像元大小	≤ 3 mm	≤ 10 mm	≤ 25 mm	≤ 50 mm

利用三维激光扫描仪自带的 Z+FLaser Control 软件对点云数据进行拼接、去噪等,输出高精度点云数据。采用 3ds Max 软件对规则模型进行三维建模,保持模型中所有物体的编辑使用 Edit Mesh 或 Edit Poly 方式完成,特殊情况下可使用 Surface 建模。采

用 Geomagic Studio 软件对不规则模型进行三维建模,导入所有 (x, y, z) 点云数据,在三维模型构建的形状阶段创建曲面片,构建格栅及生成曲面,在多边形阶段实现模型修补及优化,在模型合并后进行纹理贴图并渲染成型。

2.3 BIM 技术

BIM 以三维数字技术为基础,实现对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达,在数字孪生三维建模中,建筑物、设备等三维模型的建立可以简化为

BIM 数据库的建立, 利用 BIM 技术建立的三维模型更精确, 功能更强大^[16-17], 作业流程如图 5 所示。

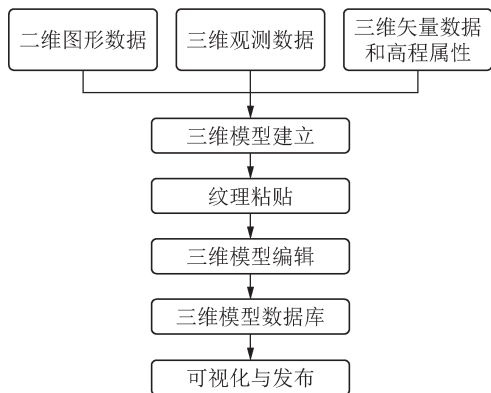


图5 BIM技术三维建模作业流程

在 BIM 构建过程中, 针对水库大坝等的规则模型, 先采用能表达实体特征的面域创建基本实体模型, 再进行平移、旋转、镜像等操作, 最后利用几何图形布尔运算求模型的差集、并集、交集等, 得到三维实体模型; 针对水轮机组等的不规则模型, 先采用曲面建模方法, 分解为若干个四边形或三角形网格, 再利用微平面逼近曲面的方法完成三维实体模型。同时基于 WebGIS 能力, 对 BIM 进行轻量化处理, 利用 WebGIS 的交互能力通过浏览器和智能手机端调用 BIM 数据, 进行各种问题标记、追踪等协调工作, 大大降低 BIM 使用难度。

在多尺度建模过程中, 针对大坝长宽比过大导致影像采集重叠率低、不易建模的难题, 通过提高采集的旁向和航向重叠率, 利用多种软件进行空三处理完成建模; 针对设备图纸缺失、内部管线众多的难题, 通过三维激光扫描技术采集大坝建筑及设备纹理、全景照片, 采集点云数据辅助建模, 提升建模效率和精度。

3 可视化渲染关键技术

通过整合三维全景数据库, 进行数据模拟和真实场景效果渲染, 充分利用实时渲染引擎对场景进行优化处理, 以弥补无法在三维建模过程中实现的不足, 并在数字孪生平台可视化模型中加以应用。

3.1 实时渲染引擎

目前主流的渲染引擎为 WebGL 和 UE4。WebGL 可在所有主流浏览器上运行, 无需安装额外的软件或插件, 同时提供了标准的 API, 允许开发人员使用 JavaScript 与 GPU 交互, 得到高效的动画效果和可交互的三维图形, 但渲染效果可能会受网络速度影响, 尤其是在使用大量粒子和纹理的情况下。UE4 提供了一

系列先进的渲染功能和可编程的动画特效, 可创建出极具现实感的 3D 效果, 但对 GPU 性能有一定要求, 并且需要调用 GPU 服务资源才能实现网页访问。采用 UE4 渲染引擎进行三维可视化渲染, 将模型数据计算、场景等渲染工作放在云端, 渲染结果以 WebRTC 等视频串流形式实时推送到客户端。用户无需下载安装客户端或浏览器插件, 只需要具备 Web 视频播放能力就可以体验到高画质效果, 为在移动端、信创等低算力环境中体验高保真水利模拟仿真预演创造了可能, 满足水利用户随时随地跨终端、可交互、高清、沉浸式的访问需求。

3.2 光源及天气处理与优化

基于图形学将球谐光照和实时光线追踪技术结合起来, 烘培动态场景中众多采样点的球谐光照信息, 实现 24 h 昼夜变换、大气渲染和自动光照变化效果, 赋予周围动态、静态物体丰富的全局光照信息, 实现对聚光灯、天光等多种光源类型的实时模拟。依靠定制的自动化工具查找并匹配对应天气效果参数, 根据云层高度、风向、边缘噪波尺寸等天气动态数据, 模拟阴、晴、雨、雪等多种真实天气, 支持场景时间现实仿真, 利用环境雾气技术创建雾化效果。

3.3 物理仿真特效优化

内置的高质量粒子系统可实现物理仿真特效优化, 通过编辑粒子效果, 场景中数百万的动态粒子可接受和反射光线, 控制各种粒子的大小、颜色、密度、下降散开和反弹运动轨迹等效果参数, 快速创建水体、植被、泥沙、道路等效果, 实现数字孪生场景中各种粒子效果动态控制和变化。引擎开发库中有丰富的水利场景元素和仿真素材, 开发者只需完成部分地貌、水工场景的构建, 引擎可自动填充优化完成其余部分。

3.4 多细节层次处理

多细节层次 (LOD) 技术根据物体模型节点在现实环境中所处的位置和重要度, 决定物体渲染的资源分配, 降低非重要物体的面数和细节度, 从而达到高效率渲染运算, 可充分展现精细化模型效果 (观察距离为 5 m~10 km, 纹素比为 1, 模型结构精度为 1 m, 纹理精度为 0.1 m)。对细小纹理进行映射处理, 较远的原始纹理贴图可自动产生较小的分辨率纹理。基于 GPU 多投影新架构, 镜头匹配阴影处理, 通过镜头阴影矫正技术, 实现像素着色性能的多重改进。该功能提高了多分辨率阴影渲染能力, 通过渲染最合适并接近镜头校正图像的表层, 避免对应在图像输出到显示端之前被丢弃的一些本像素点进行渲染。

3.5 渲染优化处理

为支持真实物理效果的材质渲染,还原最真实的材质,以更匹配高像素密度的镜头校正图像渲染,将单个画面分割成不同形状的几个分区,用不同的分辨率渲染不同分区,如中间区域用高分辨率渲染,周围区域用低分辨率渲染,分区渲染不会额外占用计算资源。统一模型的制作标准和规范,提交三维建模成果,从而减少可视化渲染过程中模型处理的工作量,以达到渲染优化处理的目的。

4 应用案例

4.1 多尺度建模

采用泡沫固定翼无人机搭载微单相机,在峡江水利枢纽工程库区 710 km² 作业范围内布设 250 余个测控点,实现倾斜摄影数据采集;采用三维激光扫描仪采集营区雕像、泵房建筑、设备外部结构等三维点云数据;根据工程及设备图纸,利用 BIM 对水泵机组、发电机组、大坝坝体等进行三维建模。采用 UE4 渲染引擎,利用云端 GPU 服务器资源,实现云端渲染,渲染结果以视频串流形式实时推送到客户端,客户端通过浏览器访问,并将交互操作通过指令流传回服务端,服务端响应交互操作,再将响应后的视频流实时推送至客户端。项目配置的渲染算力资源为 PR2510P2 服务器、4215R CPU 和 32GB 内存、960 GB SSD 硬盘、8 张 GeForce RTX 3090 24GB 显卡,满足支持 8 路用户同时在线的实时渲染要求。

4.2 多源数据集成

采用 UE4 实时渲染技术,将 BIM,DEM,DOM,

激光扫描点云等数据,以及 3ds Max 模型导入 UE4。其中,3ds Max 模型作为静态或骨骼网格,被视为场景的一部分,可在蓝图中引用模型资源,或在关卡编辑器中直接将模型拖放到场景中。导入的 BIM 数据用于创建精细化建筑场景,可编辑和优化 BIM 数据的细节,或添加光照、阴影、反射等效果,展示和交互 BIM 数据。导入的激光扫描点云数据用于生成真实感强的地形或物体模型,可在 UE4 中编辑和优化点云数据的密度、颜色、法线等属性,使用材质和贴图增强点云数据的视觉效果。导入的 DEM 数据用于生成地形,在 UE4 中编辑和优化地形的高度、坡度、细节等属性,使用材质和贴图增加地形的纹理和细节,或使用植被工具添加草地、树木等植物。导入的 DOM 数据用于生成地表纹理,在 UE4 中编辑和优化 DOM 数据的分辨率、投影、裁剪等属性,使用材质和贴图调整 DOM 数据的颜色、对比度、明暗等效果。

4.3 可视化模型应用

数字孪生峡江水利枢纽工程多尺度建模及可视化渲染成果应用主要体现在以下 3 个层面:

1) 宏观层面。三维可视化建模范围北至赣江大桥,南至井冈山大桥,沿赣江河岸、防护区,抬田范围外扩 2 km,总面积达 710 km²;内容包括分辨率为 2 m 的 DEM、分辨率为 0.2 m 的 DOM,以及 710 km² 范围内的道路、水系、植被、建筑等矢量数据,建模范围及成果如图 6 所示。

2) 局部层面。三维可视化建模范围包括枢纽大坝、营区、鱼类增殖站、电排站、堤防、导托渠,内容包

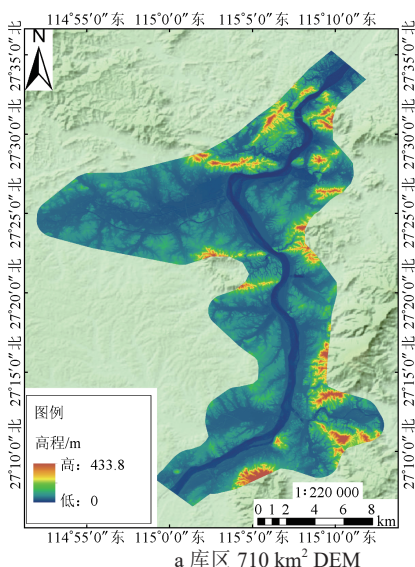


图 6 宏观三维可视化建模范围及成果

括灌溉闸室、鱼道闸室、泄水闸室、船闸闸室、营区办公楼、电排站建筑物、鱼类增殖站建筑物、51 km 堤防及 42 km 导托渠，建模成果示例如图 7 所示。

3) 微观层面。三维可视化建模范围包括枢纽大

坝、营区、鱼类增殖站、电排站、导托渠，内容包括水轮机、清污机、启闭机、泄洪闸、水泵、高低压柜、发电机组、灌溉闸、自排闸、育苗鱼缸、水轮机组内部零件，建模成果示例如图 8 所示。

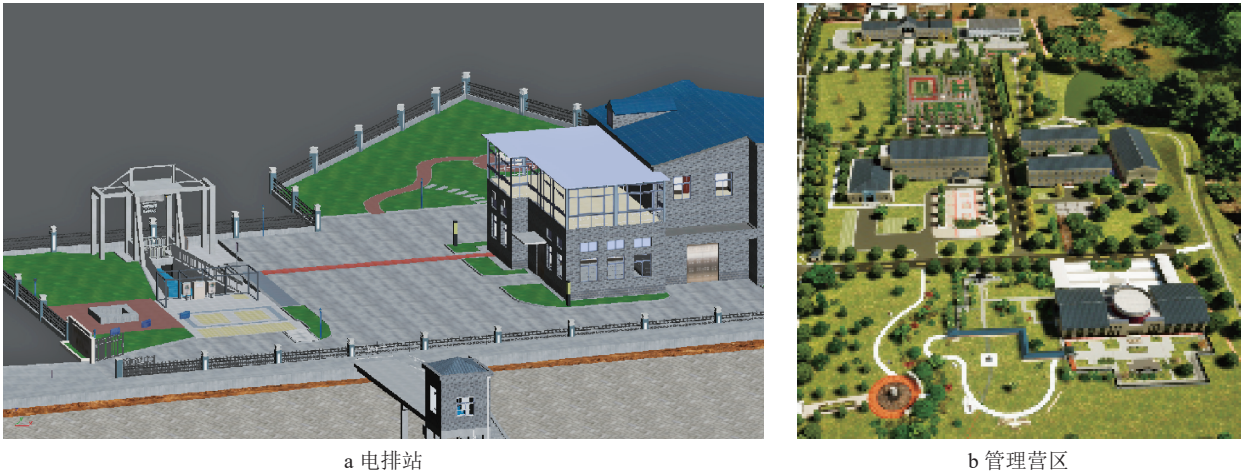


图 7 局部三维可视化建模成果示例

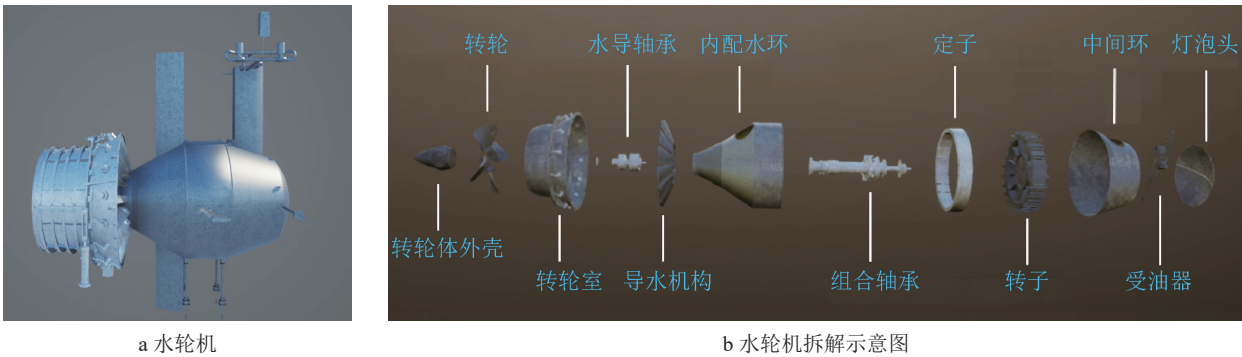


图 8 微观三维可视化建模成果示例

为解决水利枢纽工程建模不易、可视化不直观等问题，对多尺度建模和可视化渲染等技术进行了融合研究。在空间数据管理方面，集成宏观层面的 GIS 与微观层面的 BIM，GIS 完善 BIM 周边场景，BIM 优化 GIS 微观数据来源，两者优势互补。在 Web 端加载、渲染大规模空间数据方面，对 GIS 和 BIM 数据进行层次划分，获取 GIS 和 BIM 数据各层级子文件，在保证数据信息完整性的同时，提高空间数据在 Web 端渲染效率的预期，有效解决高效、准确地对峡江水利枢纽工程进行多尺度建模和渲染可视化的问题，对水利枢纽工程的科学治理与决策具有重要研究价值和社会意义，同时为仿真渲染与可视化提供思路。

4.4 创新点

本研究创新点可概括为以下几点：

1) 从可视化角度融合 BIM 与 GIS。将大场景分为多个小场景，先渲染宏观的 GIS 数据，随着视角的

切入再渲染微观的 BIM 模型，合理利用有限资源。

2) 将 LOD 技术应用于模型。可保障水利枢纽工程模型在全生命周期内不同阶段中的发展程度（完整度），既能完好地保存工程属性信息，又能达到与模型相同的可视化效果。

3) 实现了可视化模型云端渲染。创新性提出将云渲染技术运用于水利数字孪生场景中，实现了对峡江水利枢纽工程宏观、局部、微观等 3 个层面的可视化模型渲染，并将渲染结果以视频串流形式推送至客户端，满足用户在低算力环境下的访问需求。

5 结语

利用无人机倾斜摄影、三维激光扫描、BIM 等多尺度建模技术和 UE4 可视化渲染，有效构建了峡江水利枢纽工程宏观、局部、微观等 3 个层面的可视化模型，实现了工程多时态、全要素地理空间数字化映

射, 高效支撑了数字孪生峡江水利枢纽工程业务应用建设, 为实现模拟仿真及综合决策提供了基础, 为多尺度建模和可视化渲染在水利行业的应用提供了参考, 有力推动了基于数字孪生的智慧水利建设和高质量发展。目前仅对多尺度建模和可视化渲染关键技术进行了应用研究, 后期拟对三维建模数据处理过程、可视化渲染设备配置等方面展开研究。

参考文献:

- [1] 朱思宇, 杨红卫, 尹桂平, 等. 基于数字孪生的智慧水利框架体系研究 [J]. 水利水运工程学报, 2023 (3): 68-74.
- [2] 蔡阳, 成建国, 曾焱, 等. 加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系 [J]. 中国水利, 2021 (20): 2-5.
- [3] 高月明, 宁楚湘. 数字孪生水库建设初探——以博罗县大洞水库为例 [C]//水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 中国水利学会减灾专业委员会. 第十二届防汛抗旱信息化论坛论文集. 北京:《中国防汛抗旱》杂志社, 2022: 228-233.
- [4] 黄艳. 数字孪生长江建设关键技术与试点初探 [J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32 (2): 16-26.
- [5] 李文学, 寇怀忠. 关于建设数字孪生黄河的思考 [J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32 (2): 27-31.
- [6] 喻杉, 黄艳, 王学敏, 等. 长江流域水工程智能调度平台建设探讨 [J]. 人民长江, 2022, 53 (2): 189-197.
- [7] 饶小康, 马瑞, 张力, 等. 基于 GIS + BIM + IoT 数字孪生的堤防工程安全管理平台研究 [J]. 中国农村水利水电, 2022 (1): 1-7.
- [8] 陈建群, 吴颢, 王振兴, 等. 鄱阳湖湿地地理信息系统建设及其关键技术研究 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2012, 37 (8): 888-891, 896, 1012.
- [9] 陈志鼎, 梅李萍. 基于数字孪生技术的水轮机虚实交互系统设计 [J]. 水电能源科学, 2020, 38 (9): 167-170.
- [10] 于海洋, 封顺天, 崔立鹏. 面向城市数字孪生的多尺度三维建模方法研究 [J]. 电子技术应用, 2022, 48 (7): 78-80, 85.
- [11] 孙硕. 智慧城市建设中测绘地理信息系统的应用研究 [J]. 绿色环保建材, 2020 (4): 39, 42.
- [12] 胡国军. 地面三维激光扫描技术在历史建筑测绘工作中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45 (12): 188-190.
- [13] 余培永, 杨松勇. 基于三维激光扫描技术的古文物修复研究 [J]. 数码世界, 2017 (7): 266.
- [14] 党杰, 董吉, 何松标, 等. 机载 LiDAR 与地面三维激光扫描在贵州水城独家寨崩塌地质灾害风险调查中的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33 (4): 106-113.
- [15] 董秀军, 黄润秋. 三维激光扫描测量在汶川地震后都汶公路快速抢通中的应用 [J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 774-779.
- [16] 张洋. 基于BIM的建筑工程信息集成与管理研究 [D]. 北京: 清华大学土木水利学院, 2009: 31.
- [17] 李德超, 张瑞芝. BIM 技术在数字城市三维建模中的应用研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2012, 4 (1): 47-51.

Application of key technologies of multi-scale modeling and visual rendering for digital twin Xiajiang water conservancy project

ZHANG Yu¹, LIU Liang², XU Shuguang², WAN Diwen¹, ZHANG Jiyun¹

(1. Jiangxi Provincial Xiajiang Hydro-junction Project Administration, Nanchang 330000, China; 2. Jiangxi Provincial Water Conservancy Investment Jianghe Information Technology Co., Ltd, Nanchang 330000, China)

Abstract: In order to realize the digital mapping of physical watersheds and water conservancy projects, this paper proposes multi-scale modeling and visual rendering technology solutions. It discusses multi-scale modeling technologies of UAV oblique photography, BIM, and 3D laser scanning, as well as visual rendering technologies of real-time rendering engine, multiple levels of detail processing, simulation rendering optimization. Taking the application of digital twin Xiajiang water conservancy project as a case, the visualization method of GIS and BIM is applied to divide the model data into hierarchies and achieve visual rendering. The visual model of Xiajiang water conservancy project at macro, local and micro levels is constructed, which realizes multi-temporal and all-element geographical spatial digital mapping of the project, effectively supporting the construction of upper-level intelligent business applications. The research can serve as a reference for the application of multi-scale modeling and visual rendering in the water conservancy industry.

Key words: multi-scale modeling; visual rendering; digital twin; BIM

(责任编辑: 包鑫如)