

BIM+GIS 技术在水利工程规划中的空间分析精准度提升效果分析

陈淑青

(山东新汇建设集团有限公司济南分公司, 山东 济南 250000)

摘要 BIM+GIS 融合技术为水利工程规划内的空间分析提供了多源数据集成与精准建模的解决方案。本文就技术融合原理、精准度提升机制以及应用效果评价三个维度展开研究, 搭建空间分析精度的评价指标体系, 利用实际工程案例对比传统方法与 BIM+GIS 方法的应用不同。研究表明, BIM+GIS 技术可使空间定位误差降低幅度超 60%, 将水文模拟偏差控制在 5% 以内, 为水利工程规划的科学性及经济性提供有效支撑, 具有工程应用价值, 推广前景广泛。

关键词 BIM+GIS 技术; 水利工程规划; 空间分析; 精准度提升

中图分类号: TP3; TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.012

0 引言

传统的空间分析途径依赖二维图纸与单一地理信息数据, 不能有效整合工程设施三维的细节与复杂地理环境各要素, 可能引起地形分析结果失准、水文模拟偏差显著等问题, 影响规划方案的优化设计实施。BIM 技术可实现工程构件的参数化建模以及与属性信息的关联。GIS 技术具备十分强大的空间数据管理及地理环境分析能力, 二者深度融合为突破传统方法的局限开辟了技术路径。本文深入探究 BIM+GIS 融合技术在水利工程规划当中的应用基础及精准度提升办法, 采用构建科学的评价体系验证技术应用的实际效果, 为水利工程规划的数字化转型进程提供理论支撑与实践借鉴经验。

1 BIM+GIS 融合技术在水利工程规划中的应用基础

1.1 BIM 技术与 GIS 技术融合原理与方法

BIM 技术与 GIS 技术融合的核心要义是打破数据壁垒与技术藩篱, 实现工程实体信息与地理环境信息的深度协同互动。数据级融合借助统一的数据标准与存储格式, 把 BIM 的 IFC 格式构件数据和 GIS 的 GeoJSON 地理数据整合进时空数据库, 构建含有工程属性、空间位置、地理特征的一体化数据群。模型级融合借助三维可视化的引擎, 采用坐标基准统一、模型精度匹配等技术措施, 促成 BIM 构件模型与 GIS 地形模型的无缝拼接, 打造出涵盖自然地理环境与人工工程设施的三维综合场景^[1]。应用级融合依托二者技术优势的互

补, 开发专门的空间分析模块, 将 BIM 在构件级方面的细节分析能力与 GIS 的区域级宏观分析能力结合起来, 实现水利工程规划多尺度、多维度的空间分析需求。

1.2 水利工程规划中空间数据处理流程

在水利工程规划中, 空间数据处理遵循“多源采集—清洗整合—格式转换—集成存储—质检校验”的全流程规范, 保障数据质量达成精准分析的要求, 多源数据采集囊括了高分辨率遥感影像、GPSRTK 实测数据、水利工程设计图纸、水文监测数据与地理基础数据等多样数据种类。数据清洗按照 3 σ 准则去除监测数据里的极端异常值, 运用空间插值手段去填补数据的空白, 保证数据的完整与连贯一致, 采用 FME 等专业工具开展格式转换, 实现 IFC、CAD、Shapefile 等多样格式数据向统一地理空间数据格式的变换, 化解数据互操作性的相关问题^[2]。集成存储采用 PostgreSQL 及 PostGIS 的时空数据库, 构建支持三维空间查询与属性关联检索的数据管理体系, 质检校验利用空间一致性检查与属性完整性校验, 保障数据在空间位置与属性信息方面准确可靠, 为后续分析提供可靠的数据支撑。

1.3 三维建模与地理信息集成技术

三维建模技术针对水利工程规划特点, 构建“地形—工程—环境”三位一体的三维模型体系。地形三维重建采用无人机倾斜摄影测量技术获取工程区域点云数据, 结合 ArcGIS 的 3D Analyst 工具生成高精度 TIN 地形模型, 高程精度可达 ± 5 cm, 能够精准还原

作者简介: 陈淑青 (1993-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程。

地形起伏特征。工程设施建模基于 Revit、Bentley 等专业软件,采用参数化建模方法,依据水利工程设计规范与构件标准尺寸,构建闸坝、渠道、水库等核心工程设施的三维模型,模型包含材料类型、结构尺寸、设计参数等完整属性信息^[3]。地理信息集成技术通过唯一标识符(UUID)将 BIM 模型的工程属性与 GIS 的地理属性进行关联,实现“三维模型—空间位置—地理环境”的信息互通,支持在三维场景中同时查询工程构件细节与周边地理环境特征,为空间分析提供一体化的数据支撑。

2 基于 BIM+GIS 的空间分析精准度提升机制

2.1 空间定位精度优化技术

空间定位精度优化的核心是解决 BIM 局部坐标系与 GIS 大地坐标系的非一致问题,通过坐标转换模型实现二者的精准对齐。采用七参数坐标转换模型进行坐标系统一,该模型通过求解三个平移参数(ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)、三个旋转参数(ω 、 ϕ 、 κ)与一个缩放参数(m),实现不同坐标系下空间点的精准转换,其数学表达式为:

$$\begin{cases} X = X_0 + m(X' + Z'\omega - Y'r) + \Delta X \\ Y = Y_0 + m(Y' + X'k - Z'\phi) + \Delta Y \\ Z = Z_0 + m(Z' + Y'\phi - X'\omega) + \Delta Z \end{cases} \quad (1)$$

式(1)为七参数坐标转换模型,其中 X' 、 Y' 、 Z' 为 BIM 局部坐标系坐标; X 、 Y 、 Z 为 GIS 大地坐标系坐标; X_0 、 Y_0 、 Z_0 为坐标原点平移量。

在工程区域布设不少于 3 个高精度控制点,采用 GPS 静态测量技术获取控制点的大地坐标系坐标,同时通过全站仪实测其在 BIM 局部坐标系中的坐标,代入式(1)求解转换参数。通过该技术,BIM 模型与 GIS 地理数据的空间定位偏差可控制在 ± 3 cm 以内,较传统坐标转换方法的定位精度提升 70%,为后续空间分析的精准性奠定基础。

2.2 地形地貌分析算法改进

传统的地形地貌分析凭借自然地形数据构建 TIN 模型,未顾及水利工程区域内人工地形(如堤岸、渠道、消力池之类)的影响,致使分析结果与实际地形出现偏差,基于 BIM+GIS 的地形地貌分析算法利用融入 BIM 模型里的人工地形特征,完善 TIN 模型构建与分析的进程。首先,把 BIM 模型里的人工地形表面拆分成特征点,与自然地形点云数据融合在一起,建立包含自然及人工地形特征的混合 TIN 模型;其次,在坡度、坡向等地形因子的计算操作中,添加地形类型权重因子(自然地形权重取值 $\alpha=0.6$,人工地形赋予的权重 β 为 0.4),经过改进的地形坡度计算表达式为:

$$\text{Slope} = \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2} + \beta \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial H'}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial H'}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

式(2)为改进后的地形坡度计算模型,其中 H 为自然地形高程, H' 为人工地形高程, $\partial H/\partial x$ 、 $\partial H/\partial y$ 为自然地形高程在 x 、 y 方向的偏导数, $\partial H'/\partial x$ 、 $\partial H'/\partial y$ 为人工地形高程在 x 、 y 方向的偏导数)该算法能够精准刻画水利工程区域内复杂地形的起伏特征,坡度计算误差控制在 2% 以内,较传统算法的分析精度提升 45%,为工程选址、边坡稳定性分析等提供精准的地形数据支持。

2.3 水文要素空间分布模拟

水文要素空间分布模拟的精确程度直接关乎水利工程防洪标准的确定和水资源配置方案的设计。基于 BIM+GIS 的水文要素模拟技术依靠整合多源数据,构建融合下垫面特性与工程边界的模拟模型。在进行降水空间分布模拟的工作中,把气象站的实测降水数据与遥感反演数据联合起来,引入 BIM 模型内水库、渠道等工程设施的降水拦截效果,采用协同克里金插值手段精准描述降水的空间分布特征。在径流深模拟工作中,采用 GIS 技术对水文响应单元进行划分,结合利用 BIM 模型取得的工程区域地形坡度、土地利用类型、土壤类型等下垫面参数,采用 SCS 水文模型算出不同单元的径流深,同时将渠道输水损失、水库调蓄作用等工程影响因素考虑进去,对径流深空间分布的结果加以修正^[4]。此模拟技术可精准展现工程区域内水文要素的空间变异特性,径流深模拟偏差维持在 5% 以内,与传统模拟方法相比,精度提升 35%,为水利工程的水文局势分析提供可靠依据。

2.4 工程设施空间关系智能识别

工程设施空间关系识别是水利工程规划中优化设施布局、规避空间冲突的关键环节。基于 BIM+GIS 的空间关系智能识别技术通过融合拓扑关系理论与人工智能算法,实现工程设施之间及设施与地理环境之间空间关系的自动识别与分析。构建包含相邻、包含、相交、距离等多类空间关系的识别规则库,利用 BIM 模型的构件级细节信息与 GIS 的地理空间数据,通过拓扑关系查询算法检测闸坝与渠道的连接关系、水库与生态敏感区的空间距离、输水管道与地下管线的交叉冲突等。引入卷积神经网络(CNN)对 BIM+GIS 融合模型进行特征提取,优化空间关系识别算法的鲁棒性,提高复杂场景下空间关系识别的准确率^[5]。该技术能够自动识别工程规划中的空间冲突与不合理布局,识别准确率达 98% 以上,较传统人工识别效率提升 5 倍,为工程设施布局优化提供快速、精准的技术支撑。

3 BIM+GIS 技术应用效果评价

3.1 空间分析精度评价指标体系

构建涵盖空间定位、地形分析、水文模拟、空间关系识别四个维度的评价指标体系，全面衡量 BIM+GIS 技术的空间分析精准度。空间定位精度下设平面定位误差、高程定位误差 2 个二级指标，采用实地实测数据与分析结果的差值统计计算；地形分析精度下设坡度计算误差、坡向计算误差、地形起伏度计算误差 3 个二级指标，通过与高精度地形测量数据对比获取；水文模拟精度下设降水空间差值偏差、径流深模拟偏差、洪水淹没范围预测偏差 3 个二级指标，结合水文监测站实测数据与实地洪水调查结果验证；空间关系识别精度下设空间冲突识别准确率、设施布局合理性判断准确率 2 个二级指标，通过人工复核与工程实践验证相结合的方式评价。各指标均明确计算方法与分级标准，形成科学、可操作的精度评价体系。

3.2 传统方法与 BIM+GIS 方法对比分析

以某中型水库除险加固工程规划项目为案例，分别采用传统方法（CAD+ArcGIS 基础分析模块）与 BIM+GIS 方法（Revit+Bentley+ArcGIS Pro）进行空间分析，对比二者在各项评价指标上的表现，结果如表 1 所示。

表 1 传统方法与 BIM+GIS 方法对比分析

评价指标	传统方法表现	BIM+GIS 方法表现	精度提升幅度
平面定位误差 (cm)	±15.2	±2.8	81.6%
高程定位误差 (cm)	±12.5	±2.3	81.6%
坡度计算误差 (%)	8.5	1.8	78.8%
径流深模拟偏差 (%)	12.3	4.2	65.9%
洪水淹没范围预测偏差 (%)	15.7	4.8	69.4%
空间冲突识别准确率 (%)	72.5	98.3	35.6%
数据处理效率 (h/项目)	72	18	75.0%
工程规划返工率 (%)	8.2	1.5	81.7%

从表 1 内容可知，各项评价指标中，BIM+GIS 方法显著比传统方法要好，空间定位误差从传统方法的超过 ±12 cm 降到 ±3 cm 以内，地形分析及水文模拟的偏差均控制在 5% 以内，空间冲突识别的精准度提升至 98% 以上，与传统方法相比，BIM+GIS 方法的数据处理效率提高了 75%，工程规划的返工率降低至 18.3%，还明显强化了空间分析的精准水平，提升了工程规划的效率以及经济性。

3.3 技术应用效益与推广前景评估

水利工程规划中运用 BIM+GIS 技术，产生了明显的经济、社会及生态效益。从经济效益的视角看，采用

精准的空间分析优化工程布局，可降低工程量上的浪费与返工开支，如某水库项目采用此技术后在设计与建设成本上节约了 120 万元，占该项目总投资的 8.5%。就社会效益而言，以精确的洪水淹没范围预判为移民安置及防洪调度提供科学依据，减少了约 3 200 个受洪水威胁的人员，减少了工程运营阶段的安全风险。就生态效益而言，依靠精确识别生态敏感区与工程设施的空间关联，优化工程布局与路线，防止 1.2 公顷的植被被破坏掉，保护了区域生态环境。在推广前景方面，随着数字孪生水利建设的深入推进，BIM+GIS 技术作为数字孪生的核心支撑技术，将在流域综合规划、跨流域调水工程、防洪抗旱规划等更多水利工程领域得到广泛应用。未来可进一步融合人工智能、大数据、物联网等技术，开发动态更新的 BIM+GIS 融合模型，实现空间分析的实时化与智能化，拓展在水利工程施工监控、运营管理等全生命周期环节的应用场景，为水利行业向精准化、智能化方向高质量发展提供坚实的技术支撑。

4 结束语

BIM+GIS 融合技术通过多源数据集成、三维模型构建与智能算法优化，构建了水利工程规划空间分析精准化的技术路径。该技术突破了传统方法在数据整合与分析精度上的局限，通过坐标转换优化、算法改进、多要素协同模拟等机制，实现了空间定位、地形分析、水文模拟与空间关系识别的精准提升。未来需进一步完善技术融合标准与数据共享机制，优化分析算法与软件工具，拓展技术在水利工程全生命周期管理中的应用，为数字孪生水利建设提供更有力的支撑，推动水利行业实现高质量发展。

参考文献：

- [1] 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, 09(05): 218-220.
- [2] 梁爱萍, 张发清, 蔡运忠, 等. 基于 BIM+GIS+IoT 技术的水利工程数字孪生工地建设管理系统研究与应用[J]. 水利技术监督, 2024(02): 39-43.
- [3] 黄保强, 高建强, 赵晓林. 基于“BIM+GIS”技术的水利工程建设精细化管理[J]. 农业开发与装备, 2024(10): 128-130.
- [4] 苏强. 水利工程 BIM+GIS 协同管理平台研发与应用[J]. 人民黄河, 2024, 46(11): 133-136, 148.
- [5] 孙少楠, 宋宜昌. 基于 BIM+GIS 的水利工程全生命周期建设管理研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(10): 131-137, 142.