

Multi-scale Digital Twin River Basin Data Baseplate Construction Based on Geospatial Data

Lemin Chen

Shanghai Research Institute of Geological Exploration Technology, Shanghai, 200436, China

Abstract

The data baseplate is the data foundation for the construction of digital twin river basins and an important support for realizing digital and intelligent management of river basins. By improving and optimizing the data baseplate, the development and application of digital twin river basin technology can be promoted, providing strong guarantees for the sustainable development of river basins. According to the implementation plan of the Ministry of Water Resources for smart water conservancy and the needs of river basin informatization, this paper studies and proposes a construction plan for a digital twin baseplate based on geospatial data, clarifies the objectives of building a geospatial data floor, and proposes specific methods for constructing multi-source and multi-scale digital twin data baseplate. It also clarifies the theories and methods of data sources, data acquisition, data governance, and data fusion, details the construction content and technical roadmap of L1~L3 level data baseplate, supplements and improves the basic data of the river basin, and provides a complete thinking and method for the construction of the data baseplate for digital twin projects. Through the construction and sharing of three-level floors, the maximum application benefits of the construction achievements at all levels can be leveraged to build high-precision visualization scenarios and provide decision support for multiple fields such as flood warning, water resources management, water environmental protection, and ecological restoration.

Keywords

geospatial data; data baseplate; visualization scenario; data fusion; digital twin

基于地理空间数据的多尺度数字孪生流域数据底板建设

陈乐旻

上海市地质勘查技术研究院, 中国·上海 200436

摘要

数据底板是数字孪生流域建设的数据基础,是实现流域数字化、智能化管理的重要支撑。通过完善和优化数据底板,可以推动数字孪生流域技术的发展和运用,为流域的可持续发展提供有力保障。根据水利部智慧水利实施方案和流域信息化需求,论文研究提出了基于地理空间数据的数字孪生底板建设方案思路,明确了地理空间数据底板构建的目标,提出了多来源、多尺度数字孪生底板数据构建的具体方式,阐明了包括数据来源、数据获取、数据治理、数据融合的理论和方法,细化了L1~L3级数据底板的建设内容和技术路线,补充完善了流域基础数据,给出了完整的数字孪生项目数据底板建设的思路和方法。通过三级底板建设与共享,发挥各级建设成果最大应用效益,构建高精度可视化场景,为洪水预警、水资源管理、水环境保护、生态修复等多个领域的应用提供决策支持。

关键词

地理空间数据; 数据底板; 可视化场景; 数据融合; 数字孪生

1 引言

地理空间数据除了具备信息的一般特性外,还具有区域性、多维性和动态性等特点^[1]。通过GIS地理信息数据,包括矢量数据、高程数据、影像数据等多源异构数据,构建流域基于地理空间数据的数字孪生底板,可以还原流域的地形、植被、工程、建筑等多尺度时空场景,为智慧化模拟参数计算与迭代更新提供依据。实景三维模型技术是近年来测绘学科研究的热门问题,其以高精度、高还原度、信息丰富

的特点在各个领域承载着重要的数据支撑作用^[2],利用实景三维模型可以较好地实现地理实体与场景外部信息表达^[3]。

数字孪生流域类项目除注重地理实体的外部情况外,对一些险工、发电设施、泵站等内部模型效果也同样关注,为统筹室外一室内场景表达还需在数据底板建设中引入建筑信息模型(BIM)。BIM作为信息丰富且兼顾室内外的模型^[4],在数字孪生项目中更是承担着模型分析、情景推演等重要角色,在底板建设中可用BIM模型来对测绘成果进行有效的室内信息补充。

近年来,水利行业的发展呈现出各学科高度互联、交融的情况,依靠传统分专业、分部门开展研究的情况,已经

【作者简介】陈乐旻(1995-),女,中国山东德州人,硕士,助理工程师,从事摄影测量与遥感以及GIS方向研究。

无法全面、准确分析各种复杂的现象和情况,行业亟需有效手段提升对整个流域庞大、复杂系统的模拟及预测。论文结合近两年测绘行业不断发展,各类采集处理软硬件与技术不断丰富,融合实景三维技术与建筑信息模型(BIM),以数据底板建设为目标,从测绘专业出发融合其他学科优势,提出了数字孪生流域L1~L3级数据底板建设的具体方案。

2 数据底板建设方案

数字孪生的数据底板建设是对“水利一张图”的拓展升级,是实现水利信息化、智能化管理的重要基础。通过对基础地理信息数据、实景三维模型以及BIM模型等进行融合进一步优化分析计算、场景可视化等功能,在数据类型、数据范围、数据质量等方面实现进一步提升。根据数字孪生流域的建设目标以及数字孪生平台不同的业务需求,搭建L1~L3多尺度时空数据底板,如图1所示。

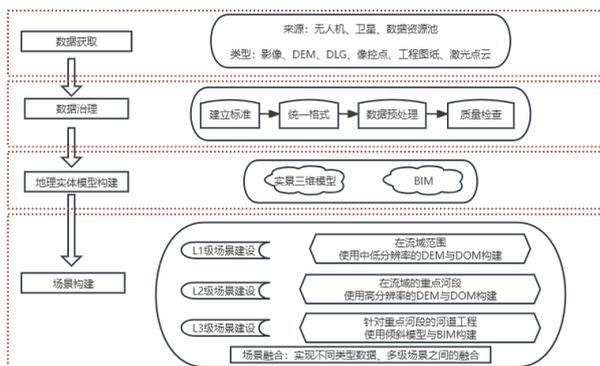


图1 数据底板建设方案

孪生流域的底板建设区域面积大、数据类型多样、格式不同、信息丰富,因此,通过空间跨度和分辨率尺度跨度构建一个兼顾大场景和部分险工等重要位置的融合场景十分重要;场景的构建要在适应不同尺度展示和分析基础上保障数据浏览加载的流畅性。因此,划分级别展开数据底板建设十分必要。

L1级数据底板是在流域范围内进行中低精度的建模,包括整个流域范围的DOM(数字正射影像)和DEM(数字高程模型)/DSM(数字地表模型)等数据。L2级数据底板是在流域的典型区段进行场景构建。L3级数据底板是对典型区段的重点堤防、险工、控导、防洪闸、分洪闸进行精细建模,采用实景三维模型和建筑信息模型(BIM)结合的方式,精细表达重要地理实体对象的内外部的信息。

3 数据底板建设流程

3.1 多源数据获取

3.1.1 影像数据

使用卫星遥感技术采集的流域分辨率为1m的影像数据,作为L1级场景建设的基础。收集遥感影像数据时,最好采用同时相或相邻时相的影像,避免由于季节变化、地物

变化等原因,造成影像数据的接边问题。收集数据时,还需注意云层遮盖等问题。

使用无人机的航飞影像采集流域重点区域分辨率为0.2m的影像数据,作为L2级场景建设的基础。使用无人机获取影像时,需注意天气,考虑风力、光照等因素,以防采集的影像存在过曝、色调不一致等问题。

在流域重点区域通过无人机倾斜摄影的方式获取高分辨率影像数据作为构建L3级场景所需的原始数据,具体参数如表1所示。

表1 倾斜摄影技术参数

地面分辨率	优于3cm	航向重叠度	80%
相机数量	5	旁向重叠度	70%
倾斜相机角度	45°	传感器尺寸	23.5mm×15.6mm
镜头焦距	下视25mm 侧视35mm	有效像素	2400万×5

3.1.2 高程数据

使用空间分辨率分别为15m、5m分辨率的DEM、DSM数据作为L1、L2级场景的高程数据。使用空间分辨率分别为2m或者0.5m分辨率的DEM数据作为L3级场景的高程数据。

3.1.3 DLG数据

使用1:100万、1:25万数据库中的水文站、水利枢纽、堤防、断面线、河道中心线、水库、流域分区等点线面矢量信息,通过符号化或者数据升维等手段,丰富可视化场景的内容。

3.1.4 像控点数据

像控点测量采用高精度双频GNSS接收机,基于千寻CORS网络RTK技术施测,精度参照国家相关规范执行,为保证L3级场景较好的数学精度像控点按照150~200m间距进行布设,为保证内业判读精度应在航飞前在硬化地面使用红色油漆喷涂布设“L”地标,测量地标拐角内角。

3.1.5 已建工程图纸数据

收集重点建、构筑物设计与施工图纸,用于构建L3级场景部分内部模型。

3.1.6 室内点云数据

由于数字孪生流域范围较大,各类建、构筑物情况复杂,且部分重点建筑物年代久远内部情况已发生变化,本着采集现实、现状的原则,在收集图纸的基础上还需获取室内点云构建现实性较强的室内模型。通过SLAM(simultaneous localization and mapping)技术,实现在无GPS信号的环境下进行位置测量,将它与移动测量相结合实现复杂环境下地理信息数据的获取^[5,6],通过全景影像与激光点云同步采集与匹配,提高地下空间三维数据采集的效率与精度。

3.1.7 激光雷达点云数据

激光雷达技术以其高精度和具有一定的穿透性为特点,常作为倾斜摄影数据的补充以及重点建、构筑物的高程精

化^[7]。本研究采用两种方式获取激光雷达点云数据：①采用机载激光雷达对重点堤防、大型水工建筑等进行航拍，获取高精度 DEM 数据，与 L2 级地形场景融合构建高精度地面高程模型。②对重点建筑物，在采集倾斜摄影影像的基础上补充采集地面激光扫描数据，作为对倾斜摄影数据的补充。

3.2 数据治理

数据治理是一种对底板建设的数据资产进行全面、系统管理的过程。为确保数据底板地理信息数据的准确性、完整性、安全性和共享性，需加强对其进行归一化处理、一致化处理、图斑处理、实体编码与关联、质量检查与入库等处理，整合形成面向对象建模、统一语义、分布式存储与管理的流域水利数据资源。

地理空间数据主要包括遥感数据、行政区划、道路、兴趣点、地名地址、地形要素数据等。治理过程包括数据梳理盘点、投影转换、匀光匀色、影像镶嵌、数据检查、数据入库等。

3.2.1 数据梳理

对地理空间数据的存量数据情况进行细致清点，描述各项数据的数据存储地点、方式、数据量、数据存储时长等情况，形成存量数据清册和存量数据分析报告。

3.2.2 投影转换

地理空间数据的坐标系统一转换为 CGCS2000 坐标系。

3.2.3 影像处理

针对不同时相的影像数据进行几何校正、影像拼接镶嵌、匀光匀色等处理，获取地物信息可读性更强，质量更好的影像数据。

3.2.4 数据检查

遵照数据真实性、数据准确性、数据唯一性、数据完整性、数据一致性、数据关联性、数据及时性等数据质量管理原则，编制数据质量标准和校验规则，并对已掌握的地理空间数据质量开展评价工作，并编制数据质量分析报告，对已掌握的数据质量问题进行分析和定位，努力提高数据质量水平。

3.2.5 数据入库

地理空间数据种类多样，内容丰富。为了将其有机地进行组织，有效地进行存储、管理和检索应用，需将数据按一定的规律进行分类编码，按类别进行存储。通过制定统一的分类代码标准，将多格式地理空间数据统一整理转换入库，形成统一的数据库，为地理空间数据共享与交换奠定良好的基础，同时通过建立统一的地理空间数据库，避免多部门协作时出现重复劳动。

3.3 地理实体模型构建

3.3.1 实景三维模型

实景三维模型采用自动生成的 MESH 模型和人工单体化模型融合的方式构建最终的精细化场景。

倾斜摄影模型构建主要包含以下三部分：

①空中三角测量：对获取的影像数据进行空中三角测量，采用光束法区域网进行整体平差。通过平差处理，优化摄影中心、像点和地面点之间的几何关系，使模型之间的公共光线实现最佳交会，从而恢复地物间的空间位置关系。

②生成白模：借助高精度的影像匹配算法，准确地识别并匹配出影像中的同名点。在此基础上，进一步从影像中抽取丰富的特征点，构建出密集的点云数据，从而更精细地刻画地物的细节，特别是在地物复杂、建筑物密集的区域，点云的密集程度会相应增加，而在较为简单的区域则相对稀疏。利用密集匹配的结果，结合空中三角测量所建立的影像间三角关系，构建出精确的三角 TIN 模型，再由三角 TIN 构成白模。

③纹理映射：根据白模与影像的空间位置关系，结合后方交会的方法对白模和影像色彩进行匹配，从影像中计算对应的纹理，并自动将纹理映射到对应的白模上形成实景三维模型。部分重点建、构筑物将采集的地面激光雷达扫描数据与倾斜摄影点云数据进行配准生成融合三维 MESH 模型。

重点建、构筑物采用单体建模的方式，采集单体模型并结合外业实地纹理补拍，构建高精度、结构清晰、纹理自然的单体化模型并与三维 MESH 模型进行融合构成精细化实景三维模型，作为 L3 级场景的外部场景表达。

3.3.2 建筑信息模型

对于现状与设计变更不大的建、构筑物，采用图纸翻模的方式进行三维模型构建。对于现状与设计图纸相差较大的建、构筑物，以采集的点云和影像为参照，对建、构筑物现状进行真实情况的还原，构建内部外模型，如图 2 所示。以建筑信息模型细腻的室内场景展示与表达构建 L3 及场景的内部场景部分。

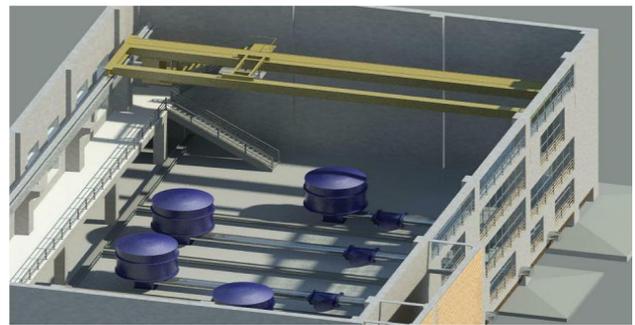


图 2 内部模型示意图

3.4 多层次场景构建 (L1\L2\L3)

3.4.1 L1 级场景构建

L1 级是进行数字孪生流域中低精度面上建模，建设流域级的可视化场景，如图 3 所示。L1 级场景主要以 2.5 维的数字高程模型 (DEM) 为主，叠加遥感影像作为正射影像 (DOM)，构建直观表达连续地形起伏特征的数字地形景观模型，或可量测地面高程的虚拟现实场景^[8]。

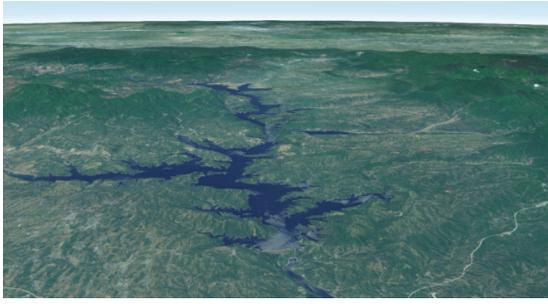


图3 L1级场景效果图

对DEM、DOM进行地形与影像的缓存切片,各种DLG数据包括水利枢纽、堤防等,都可叠加在该细节层级场景中,对流域宏观的范围在平台上进行可视化表达。

3.4.2 L2级场景构建

L2级是对数字孪生流域中的重点区域进行精细建模,主要是基于重点区域的5m分辨率DSM数据、0.2m分辨率的DOM数据、水下地形数据、河道断面数据等基础地理信息数据,进行场景构建。数字孪生流域的L2级场景展示的重点区域范围仍然较大,宜采用DSM叠加正射影像构建L2级场景,同样可以叠加断面数据、监测点位等数据。

3.4.3 L3级场景构建

L3级场景主要由重点区域的水利工程模型、单体化模型以及倾斜模型等三维数据融合构建。主要包括工程外观及其周边环境的精细化三维模型、工程内部和设施的建筑信息模型(BIM)等,是构建数字孪生流域重要实体场景的关键组成部分。其中,重要水利工程的相关范围倾斜摄影影像、激光点云、设计施工图纸、BIM等数据是不可或缺的。在L3级中,建筑物以单体化模型、点云模型或矢量表面模型等多种形态进行表示,如图4所示。这些模型在具备真实感外观的基础上,还赋予了地理实体更详细的语义信息。这不仅包含了实体的模型表面信息,还描述了实体的三维立体组成结构、属性、部件间的语义关联关系及其动态变化。



图4 L3级场景示意图

3.4.4 场景融合

通过可视化支撑平台对数据进行融合处理,集成基础数字化场景、倾斜摄影和BIM模型数据,实现不同分辨率、不同范围的空间数据之间的数据融合。数据融合工作涵盖了

对多种类型和精度的空间数据的整合,包括矢量数据、模型数据、BIM数据、地形数据、影像数据、激光点云数据以及倾斜摄影数据等。这一融合过程主要分为四个关键方面,即数据升维、多源地形融合、多源影像融合以及BIM与地形的融合匹配。通过这一系列融合步骤,可以制作多维多时空的数据底板,从而确保孪生流域数据底板能够实现数据的层级浏览、地形交接处的无缝贴合以及地形与模型、模型与模型之间的无缝衔接。

4 结语

论文深入探讨了数字孪生流域建设中数据底板构建的方法,详细阐述了L1至L3级数字孪生底板构建过程中涉及的数据获取、数据处理及数据融合等技术。这些工作为构建多尺度数字孪生流域底板提供了切实可行的技术路径和方案,为数字孪生平台提供了稳固的数据基础。然而,当前研究在某些方面仍有待深化。具体而言,下一步的研究应围绕以下几个关键问题进行技术攻关:

①尽管本研究中L3级场景内部模型通过BIM翻模及SLAM技术实现了良好的效果,但在效率方面仍有进一步提升的空间。未来研究可以考虑以外部MESH模型构建为思路,探索内部模型的自动构建方法,以提高建模效率。

②L3级场景已能实现MESH模型、BIM模型与外部地形的无缝衔接,且地形数据可作为精确数据用于洪水演进等模型计算,但仍需通过更多实验尝试来验证其稳定性和可靠性。

③不同可视化平台的选择可能会导致数据处理过程中的差异。因此,如何流程化、规范化数据底板的数据处理准备过程,以确保数据的准确性和一致性,也是下一步研究需要解决的重要问题。

参考文献

- [1] 张广运,张荣庭,戴琼海,等.测绘地理信息与人工智能2.0融合发展的方向[J].测绘学报,2021,50(8):1096.
- [2] 孙杰,谢文寒,白瑞杰.无人机倾斜摄影技术研究与应用[J].测绘科学,2019,44(6):145-150.
- [3] 李德仁,刘立坤,邵振峰.集成倾斜航空摄影测量和地面移动测量技术的城市环境监测[J].武汉大学学报:信息科学版,2015,40(4):10.
- [4] 孙少楠,张慧君.BIM技术在水利工程中的应用研究[J].工程管理学报,2016,30(2):103-108.
- [5] 刘浩敏,章国锋,鲍虎军.基于单目视觉的同时定位与地图构建方法综述[J].计算机辅助设计与图形学学报,2016,28(6):14.
- [6] 顾照鹏,刘宏.单目视觉同步定位与地图创建方法综述[J].智能系统学报,2015,10(4):9.
- [7] 谢云鹏,吕可晶.多源数据融合的城市三维实景建模[J].重庆大学学报,2022,45(4):143-154.
- [8] 王密,龚健雅,李德仁.大型无缝影像数据库管理系统的设计与实现[J].武汉大学学报(信息科学版),2003(3):294-300.