

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221897

数字孪生体系下长线水利工程可视化模型和地质剖面图信息联动展示研究及实践

尤林奇, 蔺志刚, 刘瑾程, 李彦

(黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要:为响应水利数字孪生要求,研究长线性水利工程数字孪生实现路径,实时反映工程全线任意位置的工程情况,以BIM+GIS技术和传统的地质剖面图结合为切入点,创新性提出一种二三维工程数据联动查询和空间最短距离匹配查询算法,通过数据融合、数据结构设计、软件开发等步骤实现了数字化场景与地质剖面图的视图联动、信息联动。用户通过鼠标移动悬浮在任意BIM模型上即可在地质剖面图中实时获取该段管线或建筑物对应的桩号、地质条件、设计断面、施工情况、运行状态等全要素信息。通过在某长线性深邃引水工程中的实践表明,基于实时监测和上报的数据,利用该联动查询方法,工程管理人员足不出户即可随机查询和掌握工程全线任意桩号的实时信息,为数据底板的实时更新查询及工程生产运营管理等业务应用奠定基础,在一定程度上实现了工程的数字孪生。

关键词: 数字孪生; BIM; GIS; 地质剖面图; 二三维联动; 最短距离匹配查询

中图分类号: TV67 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)09-0207-04

1 引言

当前,我国水利信息化正面临快速发展,水利部印发了《水利部关于开展数字孪生流域建设先行先试工作的通知》^[1]《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》^[2]及数字孪生流域和工程建设技术指导文件,加快构建具有预报、预警、预演、预案(以下简称“四预”)功能的智慧水利体系,各大流域机构、工程建设管理单位相继开展数字孪生建设。数字孪生工程建设的基础是工程全生命周期的数据底板。为此,对于面广、管理难度大的长线性水利工程,需基于BIM+GIS技术作为数字化场景中信息集成和可视化模型构建的基础要素,关联各类基础数据、监测数据等,并结合传统展示方式如地质剖面图进行展示。因此数字化场景的二三维联动查看、查询和模拟等成为该类工程实现数字孪生的关键技术。目前,关于工程二、三维数据联动的研究多是单独基于BIM三维模型引擎或GIS空间数据引擎。其中基于BIM三维模型引擎的工程二维三维数据联动多用于房建行业二维出图、校审、消防模拟演练等^[3-4];基于GIS

空间数据引擎的工程二三维数据联动已应用于城市规划^[5-7]、地下管线交叉分析^[6]和军事态势分析中^[9-11],实现了二维地图和三维场景的视图联动。其中坐标匹配^[7,10]和二三维度数据结构关联^[8]方法对本研究有一定借鉴意义。然而,现有研究多是二维地图与三维GIS场景的视角联动,数据查询也是基于GIS场景要素,未充分利用BIM技术集成建筑物全过程全要素信息,进而随鼠标移动实时查询该任意BIM模型属性信息,且对于与传统地质剖面图联动的研究尚为空白,难以满足数字孪生工程虚实合一的要求。鉴此,针对长距离、深邃水利工程线路长、工作面多、地质条件复杂、隐蔽工程多、管理难度大等特点,介绍了一种基于BIM+GIS工程可视化模型和传统地质剖面图的二三维场景联动、信息联动的展示方法,用于在工程数字孪生场景中随鼠标移动实时获取任意位置的桩号,并联动二维地质剖面图跳转到对应桩号位置,查看该位置地质条件,进而查询该桩号的设计断面、施工情况、运维工况等全过程全要素属性信息,反之在地质剖面图中移动亦然;最后通过实例应用验证了本文方法的可行性。

收稿日期: 2022-09-13, 修回日期: 2022-10-14

基金项目: 住房和城乡建设部研究开发项目(2018-K8-040)

作者简介: 尤林奇(1989-),男,硕士、工程师,研究方向为BIM设计和水利工程信息化, E-mail: yuq890928@163.com

2 实现途径和关键技术

综合水利工程、地质、BIM、GIS、软件工程专业多专业技术,支持主流 BIM 格式,由水工专业完成水工建筑物 BIM 设计、地质专业完成传统地质剖面图绘制、测绘专业完成 GIS 场景搭建、软件工程专业完成数据处理和融合、数据结构设计、算法编写、系统功能开发等,总体技术路线见图 1。

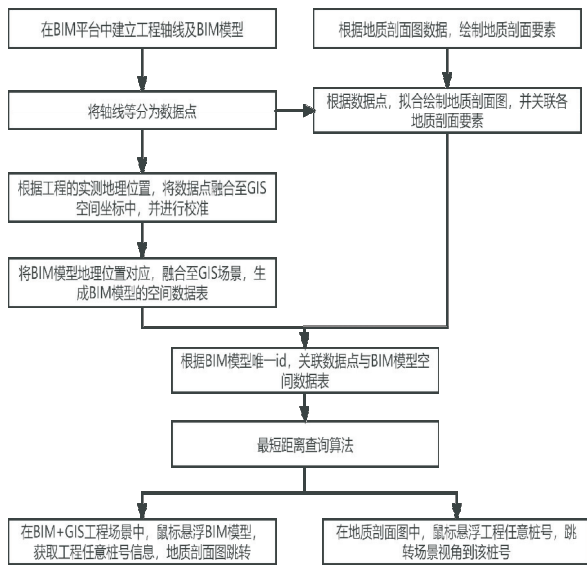


图 1 技术路线图

Fig. 1 Technique route

2.1 数据创建

(1)在 BIM 平台中开展线性工程线路设计,基于工程测绘成果建立真实坐标控制点,根据控制点生成线性工程走向轴线,基于设计断面等信息建立工程泵站、管线、取水口等建筑物 BIM 模型。

(2)将轴线通过点云化等分为数据点,并基于设计信息生成每个数据点的真实坐标、里程桩号、高程等。生成数据点的间距要足够小,以保证数据点拟合的轴线精度及查询的准确性。

2.2 数据融合

首先基于 DEM、DOM、工程基础矢量数据等 GIS 数据创建工程场景。随后根据工程的实测地理位置及坐标系,通过多源数据融合方法^[12]将等分数据点、不同格式 BIM 模型融合至 GIS 空间坐标中进行校准,并通过开挖、镶嵌等操作修饰和美化场景,从而形成 BIM+GIS 工程场景。

2.3 地质剖面图拟合

计算机前端开发技术作为地质剖面图数据可视化展示基础,数据点拟合成地质曲线,通过数据点交互实现工程三维模型与二维地质信息的结合展示。根据传统地质剖面图桩号、高程等数据绘

制地质剖面图要素,利用插值法拟合地质剖面图要素包括地质曲线、水工建筑物、重点地质断层、标注、重点交叉建筑物及当前显示位置,形成电子地质剖面图。地质曲线根据地质数据绘制,并使用简单的鼠标滑动查询地质信息,地质曲线是工程二维展示的基础;利用自定义标注特性进行输水建筑物重要节点气泡和地质断层编号标签的绘制;利用自定义标域特性,根据实际进度数据实时显示建设期施工进度(用颜色区别目前进度和当前桩号位置,图 2)。

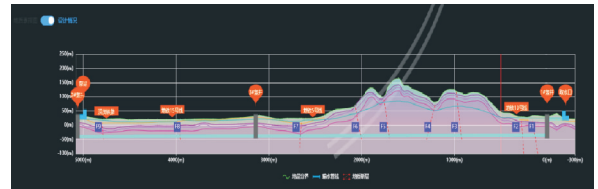


图 2 地质剖面图

Fig. 2 Geological profile graph

2.4 数据库设计

数据库设计主要涉及轴线分割后的点数据表、地质剖面图数据表和 BIM 模型空间数据表(图 3)。其中点数据表主要包括所述数据点的唯一 id、经纬度、高程、里程桩号等信息;地质剖面图表包含拟合点编号、桩号、高程及建筑物断层等标识,通过桩号外键关联数据点表;BIM 模型空间数据表主要包括模型唯一标识 guid,设计坐标信息(xyz)及 BIM 模型相关属性,通过设计坐标转换后的真实经纬度坐标与数据点表中的经纬度匹配后,查找最近数据点数据。

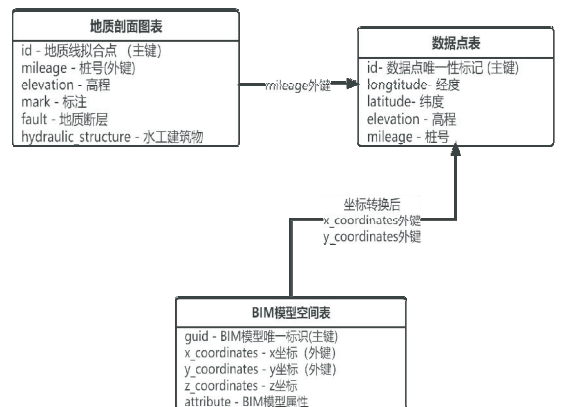


图 3 数据库设计

Fig. 3 Database design

2.5 最短距离算法

为使用户在鼠标移动悬浮至任意位置时能查询该位置 BIM 模型对应的桩号、设计、施工、运维等信息,需在获取鼠标悬浮点坐标后,通过最短距离查找确定距该坐标最近的数据点,从而调用后台数据库中对应数据,寻找并返回最近悬浮点信

息。此时根据工程线路轴线单调性分情况讨论。

当工程线路轴线在经度或纬度上拥有单调性时,采用二分法,计算最接近所述坐标的数据点,即:

$$f_{\min}(\alpha, \beta) = |\alpha_i - \alpha| + |\beta_i - \beta| \quad (1)$$

式中, α 、 β 分别为坐标的经、纬度; α_i 、 β_i 分别为轴线上第 i 个数据点的经、纬度。

否则,采用遍历法,计算最接近所述坐标的数据点,即:

$$f_{\min}(\alpha, \beta) = \sqrt{(\alpha_i - \alpha)^2 + (\beta_i - \beta)^2} \quad (2)$$

在获取到最近数据点后,根据数据表调用数据点表中的对应点信息。此外,根据地质剖面数据点稀疏情况设定不同的最短距离阈值,当计算的最短距离大于该阈值时,将不显示任何信息,直至鼠标移动至最短距离小于阈值的位置,以保证能反映场景中对应位置的精确信息。

2.6 功能实现

2.6.1 三维控制二维

在 BIM+GIS 工程场景中,用户通过动态桩号功能获取 BIM 模型的任意地理位置,通过最短距离查找确定距所述地理位置最近的数据点,根据所述空间数据表,确定所述最近数据点对应的里程桩号,进而在 BIM+GIS 工程场景中展示所述里程桩号的工程信息,同时地质剖面图自动移动到该桩号位置查看地质条件。

基于该功能描述,在功能开发时为数字化场景中的 BIM 模型、GIS 空间和地质剖面图中每个数据点设置鼠标悬浮监听事件,当用户在前端开启动态桩号显示功能,激活模型悬浮监听事件,当用户鼠标悬浮至模型上方或在模型上方移动时,触发监听函数。

模型悬浮监听事件将用户鼠标悬浮点对象传入动态桩号计算函数中,该函数执行桩号计算功能:①悬浮点对象通过 BIM 模型设计坐标 xyz 定位,通过地图对象的函数转换设计坐标系为 WGS84 坐标系。②调用后台数据库中数据点表数据,根据最短距离算法,寻找并返回最接近悬浮点的桩号设计、施工、运维等信息。③得到最接近悬浮点的桩号后,调用桩号自定义渲染函数渲染显示该位置桩号,完成单次动态桩号显示功能。④用户移动鼠标时,重复执行步骤中的监听函数,即可完成动态桩号实时显示功能。⑤根据三维模型中的鼠标悬浮在建筑物上显示动态桩号的功能,在显示桩号的同时将桩号处的经纬度数据传至二维地质图,通过地质剖面图数据表获取的数据进行动态渲染,显示三维模型对应的二维地质图位置,实现三维控制二维的功能。

2.6.2 二维控制三维

在地质剖面图中设置鼠标悬停触发事件,当用户鼠标悬停在地质曲线中任意一点时,获取该点的里程桩号,根据地质剖面图表的桩号外键关联数据表,确定里程桩号对应 GIS 空间的经纬度坐标,并传值至飞行事件函数,触发模型聚焦事件,进而在 BIM+GIS 工程场景中跳转至该桩号的 BIM 模型视角,展示该桩号的工程信息,实现二维地质剖面图控制三维场景功能。

2.6.3 信息关联

基于数据库中的桩号字段,关联视频监测点位、TBM 施工进度等工程现场业务管理信息,当用户实时获取对应位置桩号时,同时显示该桩号业务信息。

3 某引水工程应用实例及效益

在某长距离深邃引水工程施工阶段,利用本文技术将二维地质剖面图、三维 BIM 模型、GIS 空间位置信息充分结合。在地质剖面线图中添加取水口、倒虹吸、泵站等关键水工建筑物、主要地质断层位置、关键交叉建筑物、当前施工进度位置等剖面图全要素信息;充分利用 GIS 地理信息定位建筑物位置,与二维地质剖面图对应(图 4(a))。利用 BIM 的微观优势可视化展示设计断面、地质素描、施工进度、施工质量、安全监测(传感器布置位置、控制指标)、摄像头等信息(图 4(c)、(d)),真实反映全线工程任一 GIS 空间位置、任一桩号设计、施工全要素信息(图 4(b))。各类信息由各标段、各工作面的负责单位填报上传,自上而下推广,与评先进挂钩,切实做到信息的及时更新。

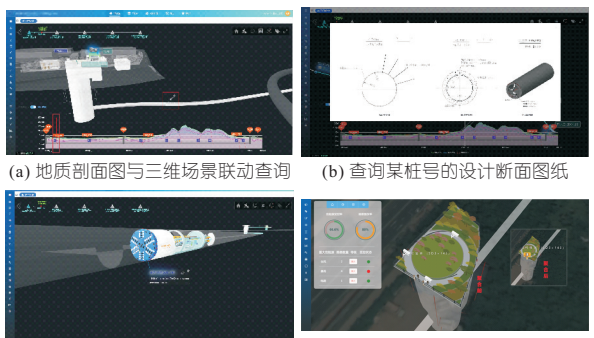


图 4 某引水工程应用情况

Fig. 4 The application in a water diversion project

工程应用表明,基于实时上报的监测和管理数据,工程管理人员摒弃了传统的全线现场巡查方式,足不出户通过系统就能随机查询和掌握工

程全线各工作面的实时施工情况及任意桩号地质条件变化对于设计和施工的影响,在一定程度上实现了工程建设期的数字孪生,为决策提供数据支撑,提高工程管理的可视化、实时化、精确化、智能化水平,大大提高了工程管理效率。

4 结 论

a. 在基于 GIS 二三维联动技术基础上,提出了一种基于 BIM、GIS 和地质剖面图的长线型工程二三维联动和可视化查询解决方案,能充分利用 GIS 大场景地理信息定位和 BIM 的微观展示功能展示隧洞典型断面及相关属性信息,为数字孪生数字化场景中的数据底板建立奠定了基础。

b. 基于隧洞轴线地理信息数据,根据鼠标悬浮的真实地理坐标,提出了一种数字孪生场景最短距离计算算法,自动匹配到距离查询点最近的隧洞轴线数据点。

参 考 文 献:

[1] 中华人民共和国水利部. 水利部关于开展数字孪生流域建设先行先试工作的通知(水信息〔2022〕79号)[Z]. 中华人民共和国水利部,2022.

[2] 中华人民共和国水利部. 水利部关于印发《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》《智慧水利建设顶层设计》《“十四五”智慧水利建设规划》的通知(水信息〔2021〕323号)[Z]. 中华人民共和国水利

部,2021.

[3] 魏国富,熊晓芸,王金龙. 基于 IFC 的二三维联动 BIM 可视化引擎[J]. 计算机应用与软件,2020,37(7):82-87.

[4] 李瑶. 基于 BIM 技术的道路三维联动设计方法探究[J]. 中国公路,2020(21):226-227.

[5] 李小敏,马庆勋,岳贵杰,等. 二三维一体化 WebGIS 在城市规划中的应用[J]. 北京测绘,2019,33(2):226-231.

[6] 李斌,陈利军,俞志强,等. 二三维联动的城市规划辅助决策系统设计与实现[C]//第十七届华东六省一市测绘学会学术交流会议论文集—浙江篇. 2015:21-26.

[7] 唐昊,刘建波,葛双全,等. 一种二三维联动地理信息系统的实现[J]. 科学技术与工程,2019,19(32):37-42.

[8] 万幼,边馥苓. 二三维联动的 GIS 系统体系结构构建技术[J]. 地理信息世界,2008(2):48-52,69.

[9] 张玉双,谢晓钢,苏华,等. 基于 GIS 地球的二、三维联动态势显示框架研究[C]//2019 中国系统仿真与虚拟现实技术高层论坛论文集,2019:95-99.

[10] 鞠震,廉东本. 态势可视化的二三维联动技术[J]. 计算机系统应用,2019,28(7):79-84.

[11] 员建厦,刘伟强,李文静,等. 二三维联动态势系统的设计与实现[J]. 计算机与网络,2020,46(22):67-70.

[12] 尤林奇,王楠,陶玉波,等. 基于 BIM+GIS 的水利水电工程多源数据融合方法及应用[J]. 水电能源科学,2021,39(8):169-173.

Research and Practice on Linkage Display of Long Line Water Conservancy Engineering Visual Model and Geological Profile Graph Information Under Digital Twin System

YOU Lin-qi, LIN Zhi-gang, LIU Jin-cheng, LI Yan

(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to response the request of hydraulic digital twin, this paper studied how it implement in long linear engine hydraulic project so that the manage system can show any position and any changes of the project. The data linkage inquiry method in both two and three dimension and the shortest distance algorithm innovatively were proposed based on BIM, GIS and geological profile graph. It is implemented through data fusion, data structure design, software design etc., which can make digital scene and geological profile graph's view move and inquire together. The user can immediately acquire mileage, geological conditions, design section, construction and operating state through moving and pre-clicking the cursor. It's proved in a certain water diversion project that the project manager can inquire and acquire real-time project information immediately by using this method without inspect the whole engineering. This method lays the foundation of real-time data inquiry, engineering safety intelligent analysis and production operation management, which implement engineering digital twin to some extent.

Key words: digital twin; BIM; GIS; geological profile graph; two and three dimension linkage; the shortest distance algorithm