·西部陆海新通道——平陆运河工程建设专栏(9)·

BIM+GIS+倾斜摄影融合技术在平陆运河工程规划阶段的应用研究*

王　帅，邓玉静，刘亚明，张　岩，张丽媛
(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：平陆运河工程建设规模巨大、涉及专业众多、集成协调难度大。围绕运河航道线路论证、平面布置方案优化等重点内容，探索建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)、倾斜摄影等数字技术手段在项目规划阶段的应用，并针对多尺度和多精度数据匹配、空间数据的坐标系转换等技术难点问题进行研究，实现项目多源数据的融合和信息模型的构建。同时，深入挖掘数字技术在规划方案比选、信息集成浏览、仿真模拟和虚拟漫游等多方面的应用价值，赋能项目前期工作阶段决策优化与质效提升。

关键词：平陆运河；规划阶段；BIM；GIS；倾斜摄影

中图分类号：U612　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2025)05-0001-07

Application of BIM+GIS+oblique photography integration technology in Pinglu Canal project planning stage

WANG Shuai, DENG Yujing, LIU Yaming, ZHANG Yan, ZHANG Liyuan
(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract Pinglu Canal project construction scale is huge involving many specialties integration and coordination are difficult. On the basis of the canal waterway route demonstration plane layout optimization and other key content applications of building information modeling BIM geographic information system GIS oblique photography and other digital technology means in the project planning stage are explored. In addition some technical difficulties such as multi-scale and multi-precision data matching and coordinate system transformation of spatial data are studied and multi-source data fusion and information model construction are realized. At the same time the application of the digital technology is dug deep into the planning scheme selection information integration browsing simulation virtual roaming etc and project pre-stage decision optimization and quality effect are assigned.

Keywords: Pinglu Canal; planning stage; BIM; GIS; oblique photography

随着建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)以及倾斜摄影等技术的出现，利用先进的数字技术手段推动水运工程建设转型升级已成为新的发展趋势[1]。平陆运河是西部陆海新通道的骨干工程，对推动广西及西南地区发展具有战略意义[2]。数字技术应用面临三大突出挑战：1）工程涉及专业众多，集成协调难度大，国内无同类运河工程数字技术应用先例，需要制定适用于运河工程数字化应用实施解决方案；2）工程技术难度大、专业间衔接问题复杂，需要结合新技术对项目重难点问题进行方案比选优化和仿真模拟，从而验证方案的合理性和适用性，辅助优化工程规

收稿日期：2024-07-20
*基金项目：国家重点研发计划项目（2023YFC3206105、2023YFB2604704）
作者简介：王帅（1983—），女，博士，正高级工程师，研究方向为水运工程科技研发与应用研究。

水运工程

划方案；3）项目涉及长距离航道线性工程，传统手段难以全面、直观地展示航道线路等布置方案，需要应用新技术手段结合数字模型进行全线巡游，并且集成浏览相关工程信息。

本文重点围绕平陆运河工程规划阶段开展数字化实践探索，针对其中技术难点问题进行分析研究，全面阐述和总结 BIM、GIS 以及倾斜摄影等技术融合应用的过程与方法，同时深入挖掘数字技术在项目前期工作中的应用价值，为今后类似工程相关工作的开展提供借鉴与参考。

1 数字化应用重点难分析

1.1 关键技术

1.1.1 BIM 构建技术

BIM 技术是以三维数字技术为基础[3]，集成建设工程各种相关信息的工程数据模型，是对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达。本工程应用 BIM 技术构建工程信息模型，首先确定模型的功能划分，对工程对象进行分解，从各功能区域的专业构件单元开始，依次对各专业模型进行搭建，最终以“模型文件→结构组装→专业组装→区域分装→项目总装”的顺序依次进行装配，得到整体 BIM。

1.1.2 GIS 平台多源数据融合技术

GIS 技术是以地理空间数据为基础的信息系统[4]。本工程结合该技术特点，对地理信息可视化展示和分析进行多源数据融合。采用 GIS 技术融合多源数据过程中，首先转换并集成 BIM 数据，实施轻量化手段实现不同级别细节的按需表达，依托 GIS 平台确保坐标系统对齐并统一；再加载地形数据实现 BIM 和 GIS 数据的顺畅融合，得到工程的完整信息。

1.1.3 倾斜摄影实景建模技术

倾斜摄影测量使用无人机搭载多镜头倾斜摄影影像传感器进行地形测绘并获得高清影像[5]。本工程应用倾斜摄影技术处理并展示地形、地貌数据，首先采集多角度倾斜摄影的照片捕捉地形的详细信息，通过专业化倾斜数据处理软件，实现高自动化影像匹配、空三计算、密集匹配、三角构网和纹理影射，结合控制点数据得到较高精度的实景环境模型，最终将数据导入 GIS 平台实现完整融合。

1.2 技术应用重难点

1.2.1 多源数据融合匹配问题

本工程多源异构数据尺度多样、结构多类、来源不一，数据融合程度不够。BIM 数据包括航运枢纽工程、运河航道工程、桥梁工程、航道服务区等；GIS 数据包括收集和整理矢量数据、栅格数据等地理信息数据；倾斜摄影数据主要为瓦片数据。数据融合处理过程中，需要注意模型三角面构建、地形曲面、重叠面片、不闭合网格面会导致融合运算时间拉长，地形数据与三维模型数据出现混乱交错等情况。针对大场景模型进行裁剪运算处理，从而避免单次运算范围过大，造成的软件崩溃报错或数据丢失[6]。

1.2.2 数据精度协调差异问题

GIS 数据与 BIM 数据各有应用侧重，在精度和应用范围上存在差异。BIM 侧重于建立工程构筑物内部的几何模型和对应属性信息，但不具备与城市环境共同展示的能力和地理信息分析的功能，空间分析能力相对微观。而 GIS 侧重于地理空间数据的分析和应用，旨在构建数字地表模型进行空间数据分析，宏观的三维地理空间数据的海量存储和大场景展示，但不能展现建构筑物内部结构。BIM 与 GIS 数据结合起到互补作用，须在前期定义 BIM 建模的精细度并合理分段，在 GIS 平台融合 BIM 数据过程中，将数据进行简化或增强等处理，同时对数据在模型对齐、重叠区域、属性一致性等方面进行质量复核，重点关注区域交接、项目核心、复杂地形等位置的完整衔接[7-8]。

1.2.3 地理坐标系转换问题

GIS 系统中，由于不同地理数据来源、测量和投影方法的差异，导致数据间存在不同的坐标系，

水运工程

由此会产生 GIS 数据位置错误、数据分析不准确等情况，因此采用统一的坐标系是空间信息进行相互运算的前提[9]。本工程既有部分 GIS 数据年份已久，采用北京 1954、WGS84 坐标系进行制作较多，而新的 GIS 数据采用 CGCS2000 坐标制作。为了保证新旧数据在同一坐标系下进行分析和应用，根据数据特点选择合适的坐标系和投影方法，将不同坐标系下的地理数据进行转换。

2　主要工作流程与方法

本工程数字化应用的主要范围包含航运枢纽工程、运河航道工程、桥梁工程、航道服务区等，需要将多专业的多源异构数据进行融合与处理，形成规划阶段工程数字模型并开展集成应用。主要工作流程包括工程数据收集和模型构建、多源数据融合与处理、模型综合应用与成果输出 3 个阶段，见图 1。

图 1　主要工作流程

Fig. 1　Main workflow

2.1　工程数据收集和模型构建阶段

2.1.1　前期数据收集与需求分析

此阶段收集前期方案及工程条件数据，对资料数据开展质量核查，以确保数据的准确性、完整性和时效性。面向宏观场景的应用需收集和整理项目区域范围内卫星影像、地形地貌 GIS 数据、倾斜摄影模型数据等。面向微观场景的 BIM 模型构建需要收集前期规划方案图纸、报告及相关的工程信息数据等。

完成数据收集后，开展需求分析并明确项目数字化应用目标，对几何数据、属性信息及文件格式进行梳理分析，制定建模与应用实施方案。

2.1.2　模型构建

基于前期收集的数据进一步开展 BIM 信息模型的构建，根据项目需求逐步建立模型，创建航运枢纽工程、运河航道工程、桥梁工程、航道服务区等结构框架与空间布局，参数化设置模型构件，添加尺寸/位置信息等属性数据，使模型文件间形成链接、嵌套等关系，整合整体 BIM 模型，便于后续使用。

2.2 多源数据融合与处理阶段

基于统一空间参考，实现 BIM、GIS、倾斜摄影等不同种类地理空间数据的精确匹配融合，构建数字场景。实施数据模型对齐、重叠区域、属性一致性等质量检查，将问题统一协调并提升数据成果质量，形成三维数据底板，为后续进一步数字化应用奠定基础[10]。

2.2.1 多源数据融合

BIM 模型的数据结构分为空间集合数据(空间位置、表现纹理等)及属性数据两部分。由于软件厂商多样化造成 BIM 数据格式各异，需要对 BIM 模型数据做进一步融合处理；GIS 中常见的类型为数字高程模型(DEM)数据，是对真实地形曲面形成高度概括的数据模型，根据项目适用性对数据优化，节省场景加载资源；倾斜摄影技术生成具有真实影像纹理的三维模型，对 GIS 平台加载效率和实时渲染性能要求较高，本工程采用直接加载与数据格式转换相结合的方式满足不同场景应用。此外，属性信息将地理数据空间信息、重点关注区域位置和其他属性字段保存在文档文件中，将其转化为矢量数据加载进 GIS 环境中并展示关键字段。

2.2.2 数据精度差异协调

BIM 侧重建构筑物内部结构与信息，GIS 侧重三维地理空间数据海量存储和大场景展示，针对数据精度差异协调处理，在项目前期定义建模精细度，建模过程中合理分段，避免超长构件、大纹理贴图等数据。

2.2.3 数据轻量化

大体量 BIM 数据模型加载时，GIS 平台终端会出现卡顿、崩溃等情况，因此需要对融合后的数据做进一步轻量化处理，以减轻模型场景的软件加载压力和硬件资源消耗。

2.2.4 地理坐标系统一

GIS 通过坐标转换实现数据准确性和一致性，坐标转换是通过一系列数学变换操作，将一个点在一个坐标系中的坐标转换为另一个坐标系中的坐标，并建立两者间对应关系。投影转换是坐标转换中的一种，是将已有地理数据从一种投影坐标系转换到另一种投影坐标系，实现不同投影方式之间数据整合，确保各类空间数据在统一的投影框架下进行分析和可视化。在项目实际应用中，根据数据的特点选择合适的坐标系和投影方法。

2.3 模型综合应用与成果输出阶段

2.3.1 模型综合应用

基于 BIM、GIS、倾斜摄影融合后的模型，进一步开展规划方案比选、信息集成浏览、仿真模拟、虚拟漫游等综合应用。对于方案优化比选和模拟分析等应用场景，结合 GIS 平台的多视窗对比及仿真计算等功能，对不同方案进行比选及模拟分析，为论证方案的合理性和适用性提供技术支撑和分析依据，辅助优化工程方案；对于信息集成浏览等应用场景，结合平台附加可视化数据标签或技术经济指标数据，实现工程方案信息集成展示，提高沟通效率；对于虚拟漫游等应用场景，丰富周边大气环境，选择航飞的视角整体巡游展示，提升汇报时所呈现的效果。

2.3.2 成果输出展示

围绕方案比选、仿真模拟、信息展示、虚拟漫游等多维度的数字化应用，主要的成果类型包括：虚拟化场景、分析数据以及可视化等相关文件。BIM、GIS、倾斜摄影融合后的数据模型，数据格式为 osgb 等；数据文件主要包括工程技术经济指标等数据资源文件，格式为 docx、xlsx、pdf 等；可视化成果文件主要包括视频、效果图以及虚拟漫游场景等文件，视频格式主要为 avi、mp4、gif 等，图片格式为 png、tif、jpg 等，原工程文件格式为 osgb、mpx、unity 等。

3 工程应用实例

3.1 规划方案优化比选

结合前期阶段工程规划方案，创建场地模型以及航运枢纽工程、运河航道工程、桥梁工程、航道服务区等多个区域模型，并围绕方案线路优化比选研究工作的开展，形成多个线路方案模型，

水运工程

作为评估规划方案选项的依据，提前发现潜在问题，实现对航运规划方案决策的直观和高效。基于数字技术的运河工程建设前与建设后规划方案对比界面见图 2。

图 2　基于数字技术的运河工程建设前后规划方案对比界面

Fig. 2　Comparison interface of planning schemes before and after canal project construction based on digital technology

3.2　信息可视化集成浏览

将 BIM、GIS、三维实景影像等不同类型模型信息进行融合，同时集成生态涵养区、动物通道、生物多样性观测站、村庄等信息，建立可视化数据标签，使方案沟通讨论可在三维可视化场景下进行，从而为项目提供了新的浏览展示手段。集成生态涵养区数据信息的应用成果见图 3。

图 3　生态涵养区数据信息的集成浏览界面

Fig. 3　Browsing interface of data information integration for ecological conservation area

3.3　淹没区仿真分析

本工程基于 GIS 平台开展淹没区动态仿真分析，整合卫星影像、数字高程等多种地理空间数据，并构建数值模型，通过模拟研究区域内积水随时间变化的动态进展，直观分析不同梯级布置方案对沿线的淹没影响；同时，在 GIS 场景中将水位淹没的模拟结果以图形化形式进行展现，实现淹没区域、淹没深度等信息的直观表达，从而为工程选址提供技术支撑和分析依据。青年枢纽上游区域的淹没分析结果见图 4。

图 4　青年枢纽上游区域的淹没分析结果界面

Fig. 4　Interface of inundation analysis results in upstream area of Qingnian shipping hub

3.4　船闸灌泄水模拟

马道枢纽作为平陆运河工程第一梯级枢纽，是世界在建的最大内河省水船闸，采用三级叠合式省水池创新型布置。结合 BIM、GIS 等技术开展船舶过闸仿真分析，对船闸灌水和泄水过程进行三维模拟，直观形象地展示了马道枢纽省水船闸的省水原理与船舶过闸过程。当船从上游进入船闸后，将水泄入省水池内进行储存，当船从下游进入船闸时，将原先储存在省水池的水补充到闸池里，从而保证船舶在正常通行的同时，最大限度地节约用水。马道枢纽船闸灌水过程三维可视化模拟成果见图 5。

图 5　省水船闸灌水过程三维可视化模拟界面

Fig. 5　Three dimensions visualization simulation interface for filling process of water-saving ship lock

3.5　全线三维虚拟漫游

本工程在三维模型基础上进一步结合数字孪生、实时渲染等技术实现工程可视化虚拟漫游，结合工程宏观与微观多个场景，进行材质、环境与灯光等视觉效果的处理与制作，全方位呈现复杂结构的空间特征，实现在虚拟环境中的交互式真实感体验，有助于各参与方更为直观地理解平陆运河工程整体规划建设方案。马道枢纽工程三维虚拟漫游展示界面见图 6。

图 6　马道枢纽工程三维虚拟漫游展示界面

Fig. 6　Three-dimensional virtual roaming interface of Madao shipping hub

4　结语

1）本文结合 BIM、GIS、倾斜摄影等新技术手段形成前期研究和规划阶段多专业数字模型，实现了多源数据融合与集成应用，形成适用于运河工程的数字化实施解决方案。

2）本文深入挖掘了数字技术在工程规划方案比选、信息集成浏览、仿真模拟、虚拟漫游等前期工作中多方面的应用价值，对项目关注的重难点问题和方案基于数字模型实现仿真模拟，为工程规划方案的决策优化提供科学支撑。

水运工程

3）通过立足工程宏观与微观场景，应用模型直观形象地展示复杂长距离航道线路布置方案，全方位呈现方案的空间特征并集成浏览相关工程信息，实现工程交互式虚拟漫游，提升了多个参与方的沟通效率。

4）今后将在此项目前期阶段应用经验基础上，进一步面向工程全生命期更多阶段实际需求，不断拓展应用的深度与广度，并在实现模型的快捷配置、完善数据底板的汇总融合、实体工程与数字场景的孪生交互等技术方面持续开展探索与实践，以数字技术赋能运河工程的规划与建设。

参考文献：

[1] 李超军, 叶雅思, 刘志敏. BIM 技术在船闸金属结构设计中的应用优势[J]. 水运工程, 2024(4): 145-149, 161.
LI C J, YE Y S, LIU Z M. Application advantages of BIM technology in metal structure design of ship lock[J]. Port & waterway engineering, 2024(4): 145-149, 161.

[2] 中交水运规划设计院有限公司. 平陆运河工程可行性研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Report of Pinglu Canal project feasibility study [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.

[3] 王天祥, 张宏喆, 李北振, 等. BIM 技术在液体化工码头建设中的应用[J]. 水运工程, 2023(S2): 134-137.
WANG T X, ZHANG H Z, LI B Z, et al. Application of BIM technologies in construction of liquid chemical terminal[J]. Port & waterway engineering, 2023 (S2): 134-137.

[4] 袁占全, 曾威, 郑松, 等. 航道整治工程 BIM+GIS 三维交互汇报系统设计与应用[J]. 水运工程, 2022(11): 184-190.
YUAN Z Q, ZENG W, ZHENG S, et al. Design and application of BIM + GIS three-dimensional interactive reporting system for waterway regulation project[J]. Port & waterway engineering, 2022(11): 184-190.

[5] 孙禄. 无人机航测技术在滑坡体地形测量中的应用[J]. 中国水运, 2024(8): 101-103.
SUN L. Application of UAV aerial survey technology in terrain survey of landslide [J]. China water transport, 2024(8): 101-103.

[6] 张丽媛, 郝有新, 蒋荣清, 等. BIM+GIS+倾斜摄影融合技术在双桥枢纽工程中的应用[J]. 水运工程, 2022(2): 172-178.
ZHANG L Y, HAO Y X, JIANG R Q, et al. Application of BIM + GIS + oblique photography in Shuangqiao hydro-junction project [J]. Port & waterway engineering, 2022(2): 172-178.

[7] 汪超, 杜文杰, 付晓东. 基于 BIM+GIS 集成模型的高填方边坡大变形失稳过程分析[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(27): 11624-11630.
WANG C, DU W J, FU X D. Analysis of large deformation and instability process of high fill slope based on BIM + GIS integrated model [J]. Science technology and engineering, 2024, 24(27): 11624-11630.

[8] 余青容, 郭涛, 宋成果. 基于 BIM 和 GIS 的航道整治建筑物维护分析方法[J]. 水运工程, 2022(9): 152-155, 191.
YU Q R, GUO T, SONG C G. A maintenance analysis method based on BIM and GIS for waterway regulation buildings and its application [J]. Port & waterway engineering, 2022(9): 152-155, 191.

[9] 余卓衡, 舒德伟, 白畯文, 等. 基于 GIS+BIM 的滇中引水工程数字场景构建研究[J]. 水利信息化, 2023(2): 34-38.
YU Z H, SHU D W, BAI J W, et al. Research on digital scene construction of central Yunnan water diversion project based on GIS + BIM [J]. Water resources informatization, 2023(2): 34-38.

[10] 傅饶, 王琦玮. BIM+GIS 技术在宿连航道整治一期工程设计中的应用[J]. 中国水运, 2023(11): 88-90.
FU R, WANG Q W. Application of BIM+GIS technology in first phase of Sulian channel regulation project design[J]. China water transport, 2023(11): 88-90.

（本文编辑　王璁）

水运工程