引文格式：徐健,徐坚,汪剑,等. 数字孪生汉江堤防工程管理平台建设研究与应用[J]. 地理空间信息, 2025, 23(11): 95-97. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.11.020

数字孪生汉江堤防工程管理平台建设研究与应用

——以汉江硚口段为例

徐　健[1,3]，徐　坚[1,3]，汪　剑[2]，黄高平[2]，郑学东[1,3]，魏俊伟[2]，李国忠[1,3]，赵保成[1,3]

（1. 长江科学院 空间信息技术应用研究所，湖北 武汉 430010；2. 武汉生态环境设计研究院有限公司，湖北 武汉 430050；
3. 武汉市智慧流域工程技术研究中心，湖北 武汉 430010）

摘　要：堤防工程是防洪体系的重要组成。在大力推进数字孪生水利的背景下，如何利用数字孪生技术提升堤防工程管理水平、保障城市防洪安全是水利行业需要重点研究的问题。以汉江硚口段为例，研究了数字孪生技术在河道堤防工程管理中的应用，介绍了数字孪生汉江堤防工程管理平台的建设思路，并进行了应用示范。实践表明，数字孪生汉江堤防工程管理平台可实现堤防运行态势感知、应急事件仿真、监督评价考核等全流程管理，有效支撑堤防智慧管理和城市防洪安全，为相关工程建设与推广提供有益参考。

关键词：数字孪生；堤防工程；数字孪生堤防；工程管理

中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）11-0095-03

Research and Application of Digital Twin Han River Embankment Project Management Platform Construction: A Case Study of the Qiaokou Section of Han River

XU Jian[1,3], XU Jian[1,3], WANG Jian[2], HUANG Gaoping[2], ZHEN Xuedong[1,3], WEI Junwei[2],
LI Guozhong[1,3], ZHAO Baocheng[1,3]

(1. Spatial Information Technology Application Department, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;
2. Wuhan Ecological Environment Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430050, China;
3. Wuhan Intelligent Drainage Engineering Technology Research Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: Embankment engineering is an important component of the flood control system. Against the backdrop of vigorous promotion of digital twin water conservancy, how to use digital twin technology to improve the management level of embankment engineering and ensure urban flood control safety is a key issue that needs to be studied in the water conservancy industry. Taking the Qiaokou Section of Han River for example, we studied the application of digital twin technology in the management of river embankment projects, and discussed the construction ideas of the digital twin Han River embankment project management platform and demonstrated its application. Practices show that the digital twin Han River embankment project management platform can achieve full process management of embankment operation situation perception, emergency event simulation, supervision and evaluation assessment, and effectively support intelligent management of embankment and urban flood control safety, providing beneficial references for related engineering construction and promotion.

Key words: digital twin, embankment engineering, digital twin embankment, engineering management

近年来水利部大力推进智慧水利建设，水利行业得以走向高质量发展[1-2]。数字孪生技术的不断成熟为水利行业创造了新质生产力，打造了智慧水利新生态。数字孪生水利建设成为当下提升水利决策管理能力的最优路径[3-5]。数字孪生水利正处于快速发展阶段，众多学者[6-13]对其展开了深入研究。堤防工程是防洪体系的重要组成部分，在保障人民群众生命财产安全和经济社会稳定发展大局中发挥着重要作用。虽然目前数字孪生水利建设全面开花，但针对堤防工程的数字孪生应用研究较少，因此本文以数字孪生汉江堤防工程建设为契机，以汉江硚口段为研究对象，围绕汉江堤防工程安全管理需求，在现有信息化基础设施和已建应用系统的基础上，综合运用数字孪生、物联网、云计算、大数据等新一代信息技术完善堤防工程数据底板，建设数字孪生汉江堤防工程管理平台，构建堤防智慧管理、防洪安全管理、工程安全管理、江滩公园管理等多个智

项目来源：武汉市重点研发计划资助项目（2023010402010586）；国家重点研发计划资助项目（2023YFC3209502、2023YFC3209503）；水利部重大科技资助项目（SKS-2022161）；中央级公益性科研院所基本科研基金资助项目（CKSF2023313/KJ、CKSF2023296/KJ）。

第一作者简介：徐健（1991—），硕士，工程师，研究方向为智慧水利、数字孪生水利，E-mail：j.xu.sres@whu.edu.cn。

能业务应用，实现了防洪安全“四预”功能，为堤防智慧管理和城市防洪安全提供决策支持。

1 平台总体设计

数字孪生汉江堤防工程管理平台基于开源三维地理信息开发框架，采用主流的前后端分离架构，前端展示交互采用Vue框架，后台逻辑实现采用SpringBoot框架，采用MongoDB和PostgreSQL实现空间数据、属性数据和文件数据的混合存储。平台总体架构分为物理设施层、数字孪生层和业务应用层3个层级。物理设施层是平台的基础支撑，包含各种物联感知设备、网络通信设备、数据存储设施和算力基础设施，负责信息的高效采集、稳定传输、安全存储和集群计算。数字孪生层是平台的核心驱动，包含数据底板、专业模型和知识引擎，负责集成基础数据、监测数据、地理空间数据、业务数据和跨行业共享数据，搭建数字孪生场景；建立水文水动力、视频AI识别和三维可视化等模型；构建以知识图谱、预案库、规则库和历史库为主体的知识引擎，实现对堤防工程全要素和管理活动全过程的数字映射、模拟预演，全面赋能业务应用层。业务应用层是平台的最终呈现，聚焦堤防智慧管理、防洪安全管理、工程安全管理和江滩公园管理四大业务，强化“四预”功能，形成虚实结合、孪生互动的水利信息化新形态，全方位支撑堤防工程安全运行工作，提高管理决策支撑能力。

2 关键技术

1）倾斜摄影测量借助无人机搭载高精度传感器，同时从5个角度（1个垂直、4个倾斜）采集影像，能快速获取堤防管理区域高精度地表影像数据，并通过技术校正消除数据误差确保数据的精度与时效性。利用提取的影像视差和深度信息解算空间关系，并将像素转为三维坐标点，从而生成覆盖地表的高密度点云；再对点云进行Delaunay三角剖分，以完成三维重建；最后通过纹理映射自动匹配多角度影像色彩，还原地表真实质感。该技术是对真实世界进行孪生场景重建的高效方式[14]。

2）多波束测深系统将测深维度由点、线扩展到面，具有测量精度高、覆盖范围广、扫描速度快等优点，同时具备记录数字化和成图自动化等功能，适合快速、高效开展大范围水下地形测绘。利用无人船搭载多波束测深系统对堤防河道水下地形进行扫描，可快速采集水下和近岸三维点云数据，并通过噪声消除和ICP算法融合水陆点云数据，高效完成河道水下和近岸地形的三维重建，直观反映河道区域地形地貌，从而完善堤防工程数据底板[15]。

3）实时云渲染是对云服务器和实时渲染技术的综合应用。首先利用云服务器的强大计算能力，将渲染任务分布到云端执行，从而实现高效、高质量的渲染效果[16]；再通过WebRTC低时延传输和自动负载均衡技术，使用户能在网页上快速、流畅地访问数字孪生场景，获得实时、稳定的交互体验，大幅降低应用门槛，提高数字孪生的传播广度和效率。

3 实践应用

本文以武汉市数字孪生流域建设先行先试为抓手，选取汉江硚口段作为应用示范，开展数字孪生汉江堤防工程管理平台建设。平台采用浏览器/服务器的架构，通过先进、成熟的技术体系构建了堤防智慧管理、防洪安全管理、工程安全管理、江滩公园管理4大智能业务场景。

3.1 一张图

利用BIM +GIS、云渲染、大数据、物联网等技术对基础地理空间数据、监测数据、水利业务数据、工程管理数据等进行一张图统一管理，打通不同网络与技术体系的数据壁垒，实时掌握数据状态和趋势，通过二三维可视化技术形象精确地表达堤防工程相关信息，实现数据共享的同时提高信息管理效率。该模块支持DSM、DOM、BIM、倾斜摄影模型、水下地形、矢量等多源数据的三维场景融合展示；提供地图浏览、查询定位、空间量算、漫游导览等功能。堤防工程河道水下地形数据呈现效果见图1。



图1 堤防工程河道水下地形示意图

3.2 堤防智慧管理

堤防智慧管理模块包括无人机巡查、视频AI识别、险工险段分析等智能化功能。该模块借助无人机巡查、视频识别等定制算法，能快速识别非法采砂、人员越界、违规捕捞等行为，及时发出违规告警；同时实现对险工险段数字孪生的展示与查询、数据共享与服务。基于现势和历史水下地形数据，实现深泓线分析、冲坑冲淤分析、岸坡分析、断面分析等自动计算和变化分析，为险工险段的管理提供自动分析、预报预警等智能分析手段，及时发现运行管理薄弱环节

和工程实体安全隐患，提升堤防管理工作效率。堤防工程无人机巡查效果见图2。



图2　堤防工程无人机巡查示意图

3.3　防洪安全管理

防洪安全管理模块重点在于实现河道防汛工作的预报、预警、预演和预案4个功能。通过耦合气象数据构建智能预报模型，为城市防洪安全提供精准的预报信息；基于水位、雨量、流量等实时监测数据，若监测指标超过阈值则触发预警机制，及时生成预警信息；集成水文水动力模型，利用数字孪生技术实现不同场景下洪水淹没、防洪应急预案的可视化推演；根据推演结果进行综合研判，匹配最优的防汛应急预案，为防汛抢险的科学合理调度提供技术支撑。堤防工程防汛“四预”效果见图3。



图3　堤防工程防汛“四预”示意图

3.4　工程安全管理

工程安全管理模块依托物联网、云计算、人工智能等新技术手段，结合现代软件信息技术，通过数据分析、机器学习等模式汇聚堤防、闸站等重点水利工程形变监测数据，实现工程安全可视化综合分析，包括数据在线分析、纵横对比、自动预警等功能，将业务数据化转变为数据业务化，实时监测堤防、水闸等工程结构安全，分析评估工程安全状况，及时发现隐患、智能预警，为堤防工程管理、应急抢险等业务提供决策支撑。堤防工程形变监测分析效果见图4。



图4　堤防工程形变监测示意图

3.5　江滩公园管理

江滩公园管理模块利用先进成熟的互联网、物联网技术，对公园相关管理事项进行智慧化建设，包括人流量管理、考核打分、活动申请、维修养护等功能。通过视频AI自动识别进出人数，实时监控公园内人员情况，若人员密度超限则及时报警，并提示管控人员采取限流措施；建立数字化台账，实现对服务、管理、养护过程的数字化表达和智能化管理，提高江滩公园整体管理效率，深化完善江滩公园长效管理机制。江滩公园考核打分效果见图5。



图5　江滩公园考核打分示意图

4　结　语

本文以汉江硚口段为例，探讨了数字孪生汉江堤防工程管理平台的建设思路与实践经验，建立了一套集三维动态渲染、智能分析应用于一体的综合管理平台，建成了物理空间与数字空间互馈的数字孪生堤防工程体系，创新了堤防管理模式，形成了“数字孪生‘四预’+堤防工程管理+无人巡查”的业务协同闭环，实现了堤防巡查、防汛安全、工程安全、江滩公园等业务的标准化管理，提升了堤防工程管理的精准化、智能化水平，有效支撑了硚口区堤防智慧管理和城市防洪安全，推动了数字孪生堤防工程的应用研究。研究成果可为相关工程建设提供一定的实践参考，随着人工智能和大模型的快速发展，仍需进一步探索，促进堤防工程管理各要素间的深入融合，构建更加强大、更为智能的数字孪生体。

参考文献

[1]　水利部参事咨询委员会. 智慧水利现状分析及建设初步设想[J]. 中国水利,2018(5):1-4

[2]　曾焱,程益联,江志琴,等. “十四五”智慧水利建设规划关键问题思考[J]. 水利信息化,2022(1):1-5

[3]　冶运涛,蒋云钟,曹引,等. 以数字孪生水利为核心的智慧水利标准体系研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版) ,2023,44(4):1-16

[4]　张绿原,胡露骞,沈启航,等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电,2021(11):58-62

[5]　蔡阳. 以数字孪生流域建设为核心构建具有“四预”功能智慧水利体系[J]. 中国水利,2022(20):2-6

[6]　蔡阳. 数字孪生水利建设进展与发展思考[J]. 水利信息化,2025(1):1-7

（下转第114页）