



基于 BIM 的船闸智慧管养技术应用

黄超天¹, 沈 婷¹, 王傲威²

(1. 杭州交通投资建设管理集团有限公司, 浙江 杭州 330100;

2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430060)

摘要: 针对目前船闸运维管养效率较低、智慧化水平不高、管养模式相对落后等问题, 进行建筑信息模型 (BIM) 数据治理与贯通、船闸运行智能管控、船闸健康状态实时感知、航道淤积智能监测、船闸数字化巡检等船闸智慧管养技术研究。采用物联网 (IoT)、BIM、地理信息系统 (GIS)、大数据等技术, 构建船闸智慧管养系统, 并在杭州八堡船闸工程进行示范应用。结果表明, 与传统的船闸管养模式相比, 船闸智慧管养关键技术能够有效提升船闸运维管理水平, 提高船闸设施设备养护效率, 实现船闸管养信息的数字化管理、可视化显示和智慧化应用。

关键词: 船闸管养; 数据治理; 船闸运行; 船闸健康; 淤积监测; 数字化巡检

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0156-08

Application of BIM-based intelligent management and maintenance technology for ship lock

HUANG Chaotian¹, SHEN Ting¹, WANG Aowei²

(1. Hangzhou Communications Investment Construction Management Group Co., Ltd., Hangzhou 330100, China;

2. CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430060, China)

Abstract: In view of problems of low efficiency, low level of intelligence, and relatively backward management and maintenance modes in the operation and maintenance of ship lock, we conduct research on key technologies for smart management and maintenance of ship lock, including building information modeling (BIM) data governance and integration, intelligent control of ship lock operation, real-time perception of ship lock health status, intelligent monitoring of channel siltation, and digital inspection of ship lock. We use internet of things (IoT), BIM, geographic information system (GIS), big data and other technologies to build a smart ship lock management and maintenance system, and apply it in Babao ship lock project in Hangzhou. The results show that compared with the traditional ship lock management and maintenance mode, key technologies of smart ship lock management and maintenance can effectively improve the level of ship lock operation and maintenance, increase the maintenance efficiency of ship lock facilities and equipment, and realize the digital management, visual display, and intelligent application of ship lock maintenance information.

Keywords: ship lock management and maintenance; data governance; ship lock operation; ship lock health; sedimentation monitoring; digital inspection

建筑信息模型 (BIM) 是建筑行业由二维图纸设计向数字化建模的技术革新, 能够将工程设计、建设、运维全生命周期中的信息资源集成到建筑模型中^[1], 具有可视化、集成化、协同化的优势,

在建筑、桥梁、隧道等领域已被广泛应用。近年来随着水运工程向智能化和信息化方向发展, 不少专家学者进行了 BIM 技术在水运工程领域的应用研究。

收稿日期: 2024-06-07

作者简介: 黄超天 (1980—), 男, 高级工程师, 从事水运工程建设管理。

交通运输部组织制定 JTS/T 198-1—2019《水运工程信息模型应用统一标准》^[2]、JTS/T 198-2—2019《水运工程设计信息模型应用标准》^[3]等行业标准,推进 BIM 技术在水运工程中的规范应用,完善水运工程标准体系;侯立俊等^[4]在临淮岗复线船闸工程中开展 BIM 技术在进度管理中的初步探索,为船闸施工进度可视化管理提供技术支持;周钦等^[5]为解决船闸施工过程沟通效率低等问题,开展 BIM 技术在船闸设计、施工模拟等环节的应用研究,并在大源渡二线船闸工程开展示范应用;张耀坤^[6]以岷江犍为航电枢纽工程作为研究对象,开展 BIM 技术在船闸工程施工监理中的应用研究;李玲君等^[7]以秦淮河洪蓝船闸为研究对象,提出 BIM 技术在协同设计、工程量统计等环节的应用思路;樊金甲等^[8]为解决船闸工程投资管理难度大的问题,开展 BIM 技术在船闸投资管理中的应用研究,提出 BIM-5D 投资管理模式,提高船闸投资管理效率;李超军等^[9]利用 BIM 技术模块化设计、协同设计、参数化设计等特性,进行船闸金属结构的正向设计,有效缩短船闸金属结构的设计周期;丘仕能等^[10]利用 BIM 技术建立工程数字化交付平台,实现工程进度的施工模拟,有效协助大藤峡水利枢纽工程施工进度管理。

综上,BIM 技术在船闸工程设计、建设阶段已取得明显成果,能够创造较好的应用价值,但鲜有学者进行 BIM 技术在船闸运维阶段的应用研究。高质量的运维管养是延长船闸工程服役寿命、创造最大经济价值的有效手段,如何将 BIM 技术延伸应用至船闸运维阶段,并发挥出其特性是本文的研究重点。因此本文针对船闸运维典型应用场景,以实现船闸智慧运维为导向,深度融合 BIM+地理信息系统(GIS)+物联网(IoT),开展船闸智慧管养技术研究,并以八堡船闸工程进行示范应用。研究成果可为内河船闸工程智慧管养建设提供一套可借鉴的技术方案和示范案例。

1 船闸管养现状

近年来,随着内河航运的快速发展,船闸规模和数量都显著增长。在长时间使用过程中由于自然和人为因素,如船闸结构物变形或由于船舶过闸操纵不当撞击闸门等,使船闸内部结构的稳定性遭到一定破坏,给船闸生产运营带来安全隐患。

对船闸运营阶段的管理模式进行调研可知,目前仍采用人工驻点、人工巡检、人工排班、视频监控等方式进行船闸现场隐患排查,或借助常规的信息化系统进行船闸的状态监测。由于船闸内部空间构造较为复杂,具有专业门类众多、多维度空间交叉等特点,人工巡检不易察觉较为隐蔽的安全隐患,易存在漏检、误检等情况,对船闸水工建筑物健康状态、设备设施的运行状态不能实现精准监测,无法就船闸潜在的安全风险进行预判,存在明显的滞后性。

因此针对船闸管养现状,本文从船闸数据治理与贯通、船闸运行智能管控、健康状态实时感知、航道淤积智能监测、数字化巡检等方面开展船闸智慧管养技术研究与应用,旨在提升船闸运维智慧化水平、提高运维管理效率、保障船闸运营安全。

2 系统设计

2.1 技术路线

为实现船闸运维阶段智慧化养护与管理,需要建立一套船闸 BIM+GIS 模型作为船闸智慧管养平台底座,并通过开展 BIM 数据治理与贯通技术研究,打通设计-建设-运维阶段的模型传递和数据壁垒,使不同类型的数据能够在 BIM+GIS 的船闸模型底座融合共享;并针对业务管理需求,通过集成船闸运行智能管控、船闸健康状态实时感知、航道淤积智能监测、数字化巡检等关键技术,研发一套满足船闸实际管养需求的船闸智慧管养平台。本文的技术路线见图 1。

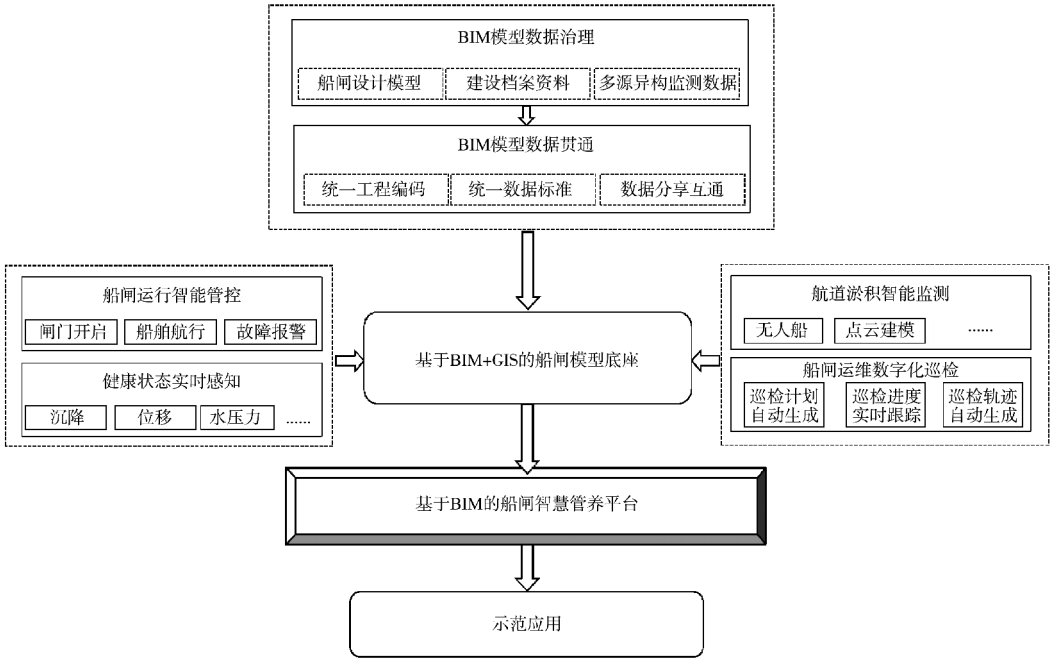
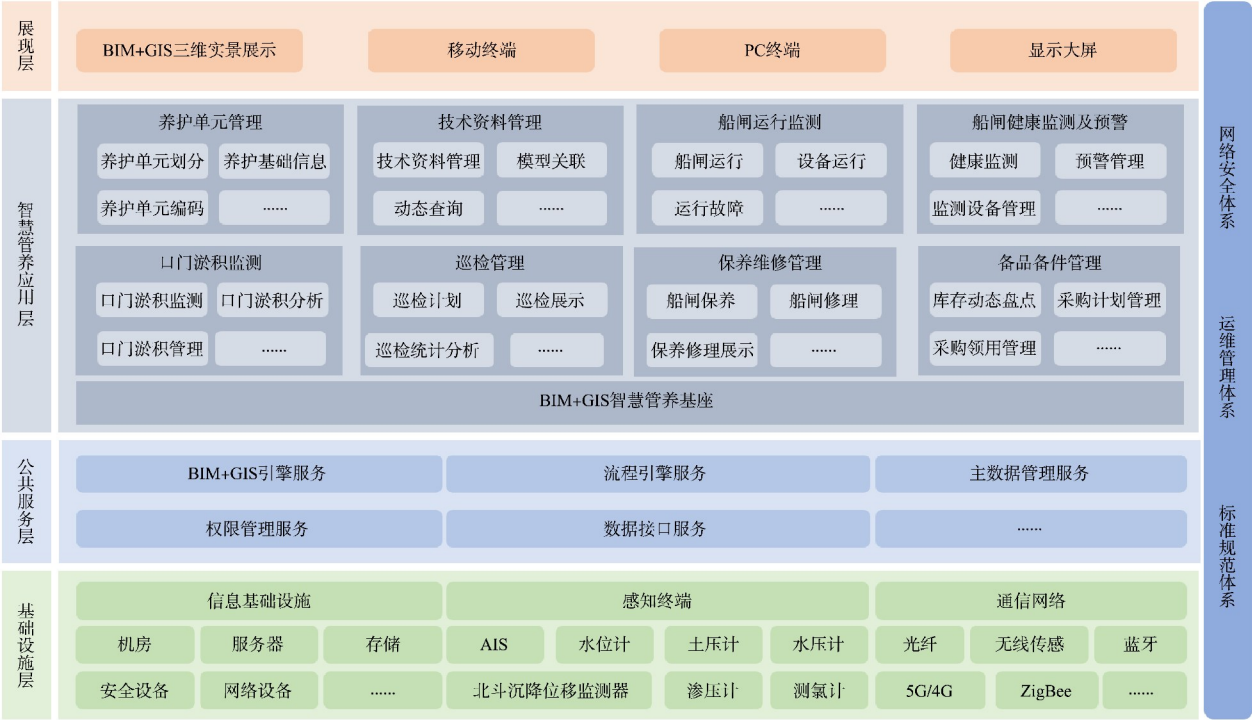


图 1 研究技术路线
Fig. 1 Research technical route

2.2 管养平台架构设计

智慧管养平台可采用浏览器/服务器 (B/S) 架构，从下至上依次是基础设施层、公共服务层、智慧管养应用层和展现层，见图 2。



注：AIS 为船舶自动识别系统。

图 2 智慧管养平台架构
Fig. 2 Architecture of intelligent management and maintenance platform

各层的功能为:1)基础设施层提供信息基础设施、感知终端、通信网络等基础设施,是系统的公共物理基础;2)公共服务层提供BIM+GIS引擎服务、流程引擎服务、主数据管理服务、权限管理服务、数据接口服务等,是系统的公共服务基础;3)智慧管养应用层包含BIM+GIS智慧管养基座及智慧管养平台主要功能模块,主要包括养护单元管理、船闸运行监测、船闸健康状态监测、口门淤积监测、巡检管理、保养维修等功能模块;4)展现层提供BIM+GIS三维实景、移动端、电脑端等展示形式,是系统的展示前端。

3 关键技术

3.1 BIM模型数据治理与贯通

船闸智慧运维需要以船闸设计阶段到运维阶段的全生命周期数据作为驱动。由于设计阶段、建设阶段和运维阶段的数据来源、数据类型、存储标准等存在明显差异,需要建立一套标准的数据格式,进行多源异构信息融合,打通不同阶段、不同专业之间数据壁垒,实现信息的集中存储、共享和管理,为船闸智慧管养提供数据支撑。

本文以BIM为载体,基于JTS/T 198-1—2019《水运工程信息模型应用统一标准》、JTS/T 198-2—2019《水运工程设计信息模型应用标准》等标准体系,通过统一工程编码、统一工程数字模型配置管理,实现跨阶段、跨业务、跨类型统一标识,打造全生命周期智慧管理数据中心,在统一数据资源标准下,制定各阶段数据采集与治理技术方案;通过统一的数据服务接口实现信息共享,将船闸设计模型、施工期资料、GIS等数据集成到BIM模型中,形成并建立一套完整的BIM数字化信息资产,移交给运营养护管理单位,为运营养护提供基础资料,并为后续的数据分析打下基础。

3.2 船闸运行智能管控

船闸运行智能管控是指以BIM+GIS模型为展示载体,通过集成各类传感器及感知设备数据,借助参数化建模及动态展示等各类技术手段真实展现船闸的运行状况,并集成空间分析、模型分

析等功能,实现管理人员对船闸运行的智能管控。

船闸运行智能管控可通过布设可编程逻辑控制器(PLC)限位开关、传感器、监控摄像机等感知设备,对船闸的闸门开启状态、水位变化、船闸设备设施进行实时感知。同时,利用物联网感知技术,将各闸门启闭机的运行数据、人字门和输水门的开度、液压缸压力等参数接入BIM,一旦出现人字门全开/全关限位故障、输水门全开/全关限位故障、液压系统超压/失压故障、泵站液位异常、水位计异常时,对应模型高亮闪烁显示,并弹出悬浮标签显示报警,同时启动故障排除流程,根据故障等级,自动推送相关报警至相应责任人,形成船闸运行闭环智能管控系统。

3.3 健康状态实时感知技术

为保证船闸的安全运行,针对船闸水工建筑物渗流、沉降、位移等异常现象,通过在特定位置布设渗压计、土压计、水压计、北斗沉降位移监测器等仪器设备对船闸的渗压力、基础压力、沉降位移等参数进行实时监测,见表1,并构建与实际安装位置对应的监测设备BIM,一旦出现参数异常,平台自动弹出异常数据的报警信号,实现对船闸水工建筑物健康状态的智能监测。

表1 船闸健康监测设备

Tab.1 Health monitoring equipment for ship lock

监测设备名称	监测内容	安装位置
土压计	监测闸室底板上的土压力分布、最大基底压力和内墙最大墙后土压力	闸室上中下断面、基底和闸墙后
水压计	闸室墙体水压力变化	闸室闸墙后上、中、下断面
渗压计	监测闸室、闸首渗透压力的情况	上闸首上游护坦、下闸首下游护坦、闸室断面、下游引航道
水位计	充泄水过程中的闸室和引航道水位变化	预留观测井
测氯计	检测水中余氯值	上游引航道、下游观测井
北斗沉降位移监测器	船闸的位移和沉降	上游引航道、船闸、下游引航道

3.4 航道淤积智能监测技术

船闸的航道通航条件是船闸运维期需要重点关注的问题之一。口门区和上下游引航道的泥沙淤积可能导致航道水深不足，产生船舶搁浅的风险。为保证船舶航行安全，采用无人船自主航行技术，利用搭载 GIS、北斗、多波束系统的无人船水下测量设备，配合无人机点云扫描技术，对航道淤积情况进行精准扫描，自动生成扫描区域的地形图及河道淤积量；并利用可视化技术，基于船闸航道 BIM，三维显示口门淤积状态，智能分析淤积趋势，并建立淤积超限预警机制，实现船闸航道的泥沙淤积智能监测体系，全面辅助管理人员制定航道清淤决策。

3.5 数字化巡检

传统船闸巡检流程一般是提前制定巡检计划，现场人员按照巡检计划逐一检查，并手动记录巡检设备的故障情况，巡检效率较低，易发生漏检、误检等情况，导致一些安全隐患不能及时发现，

不利于船闸的安全运行。针对此问题，为充分发挥 BIM+GIS 技术优势，提出船闸运维数字巡检技术。即基于 BIM 模型建立电子巡检计划，将巡检设备和巡检路线与船闸 BIM 模型精准关联，并利用 GIS 技术，工作人员完成巡检计划后，自动获取巡检轨迹数据，在 BIM 平台上实现精准映射，以实现船闸的智慧化巡检管理。

4 应用案例

4.1 工程概况

八堡船闸位于钱塘江下游，为Ⅲ级双线船闸，是连接京杭运河与钱塘江的重要节点工程，运维难度大、管养标准高。在建设阶段 BIM 技术已深度应用，具备船闸智慧管养关键技术示范应用的数据基础和模型基础。通过深度调研八堡船闸运维管养实际需求，梳理出重点示范应用场景，采用船闸智慧运维系统设计方案，利用船闸智慧管养关键技术，研发了八堡船闸 BIM 运维管理平台，见图 3。

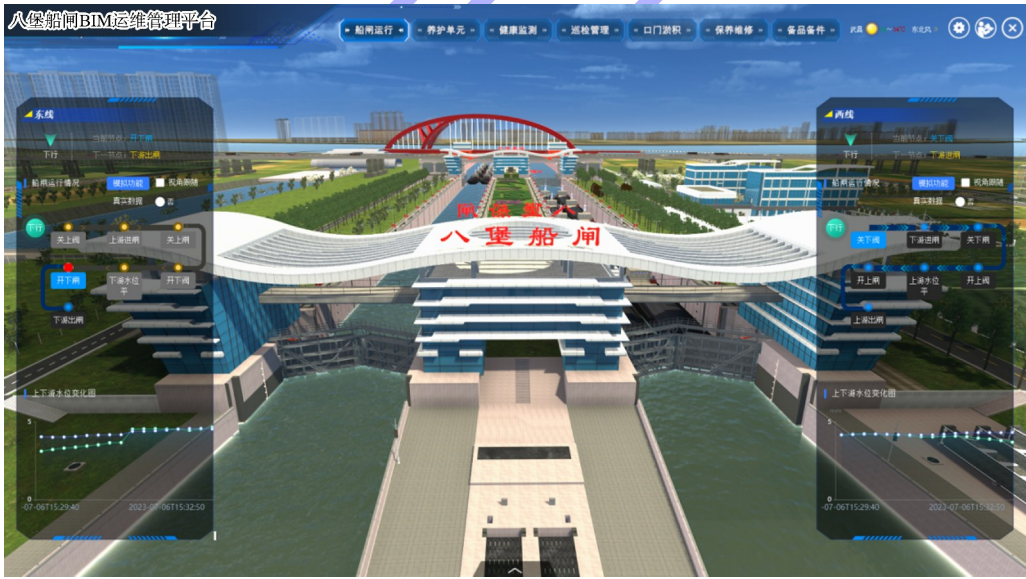


图 3 八堡船闸 BIM 运维管理平台

Fig. 3 BIM operation and maintenance management platform for Babao ship lock

4.2 关键技术示范应用

4.2.1 船闸 BIM 模型数据治理与贯通技术应用

以八堡船闸建设阶段 BIM 为基础，通过重新梳理船闸重点管养对象，按照金属-控制-建筑-电气-通信等类别对船闸管养结构进行模型编码重

组，对非管养对象进行模型的轻量化处理和编码合并，实现运维阶段 BIM 精细化管理和轻量化运行的兼顾，最后利用 BIM 数据治理和贯通技术，实现船闸设计-建设-运维阶段的管养数据传递，见图 4。



图 4 八堡船闸 BIM 模型治理与数据贯通结果（底枢装置）

Fig. 4 Integration result of BIM model governance and data interconnection for Babao ship lock (bottom pivot device)

4.2.2 船闸运行状态智能管控技术应用

利用船闸运行智能管控技术，将船闸现场运行感知设备数据实时传输至 BIM 数据库，实现船

闸实际运行状态在平台上的实时映射，实时显示船闸各类机械设备的运行状态，对设备故障进行实时监控，见图 5。



图 5 船闸运行状态智能管控

Fig. 5 Intelligent control of ship lock operation status

4.2.3 船闸健康状态实时感知技术应用

通过集成八堡船闸建设阶段布设的各类监测设备数据，以智慧管养平台为模型底座，建立与实际安装位置对应的各类监测设备 BIM，在平台

展示各类监测设备的实时数据，并根据后台数据分析功能对异常情况进行报警。以某水压计监测状态为例，进行应用展示，见图 6。



图 6 船闸健康状态实时感知
Fig. 6 Real-time perception of ship lock health status

4.2.4 航道淤积智能监测技术应用

受钱塘江潮汐影响明显，八堡船闸上闸首口门区易产生淤积，是八堡船闸管养难点。在示范应用过程中，利用航道淤积智能监测技术，通过无人船水下测量，获取口门区水下高程数

据，以八堡船闸 BIM 为底座，将口门淤积测量数据在平台进行三维模型展现，见图 7，直接获取口门淤积厚度、淤积位置及淤积趋势分析，为制定清淤方案、合理调度船闸运营计划提供辅助决策。

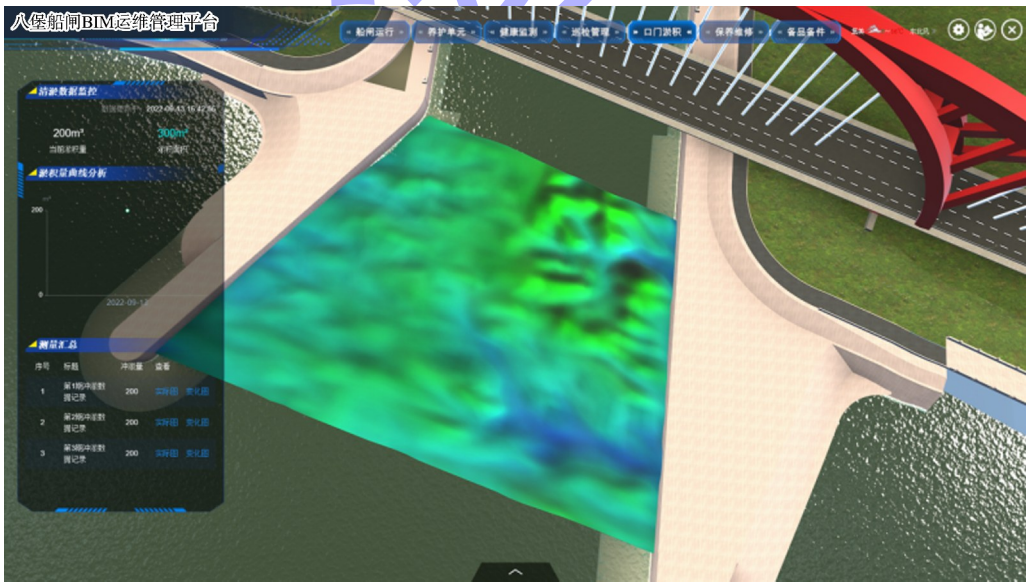


图 7 口门淤积三维显示
Fig. 7 Three-dimensional display of entrance siltation

4.2.5 船闸数字化巡检技术应用

为实现八堡船闸日常巡检的数字化管理，利用数字化巡检技术，通过全球定位系统(GPS)数据与 BIM 的 GIS 坐标转换软件，将日常巡检线路

同步反映至智慧管养平台，见图 8，有效提高了船闸巡检效率，保障船闸设备安全运行。

示范应用结果表明，船闸智慧管养能够有效提升船闸管养效率，预计可节约养护成本达 30%。



图8 巡检轨迹可视化

Fig. 8 Visualization of inspection trajectory

5 结语

1) BIM 技术在设计和建设阶段研究较多,但在运维阶段研究成果较少。通过 BIM 技术在船闸管养中的应用研究,充实行业研究成果,实现 BIM 技术在船闸设计-建设-运维的全生命期应用。

2) 船闸管养阶段业务场景多、涉及专业广,传统管养模式已不能满足现代船闸管养高标准要求。通过示范应用可知,船闸智慧管养技术能够基本满足船闸管养实际需求,一定程度上实现船闸智慧化、数字化管养,提升了船闸管养水平,节约船闸养护成本,保障船闸运行安全,在促进船闸工程数字化转型升级、助力船闸智能化发展等方面具有积极意义。

3) 随着信息技术的不断迭代更新,下一步将针对不同船闸类型的管养需求,深化船闸智慧管养技术,为进一步提升船闸智慧管养水平提供技术支撑。

参考文献:

- [1] EASTMAN C, TEICHOLZ P, SACKS R, et al. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors[M]. Hoboken: Wiley Publishing, 2008.
- [2] 水运工程信息模型应用统一标准: JTS/T 198-1—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.

2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.

- [3] 水运工程设计信息模型应用标准: JTS/T 198-2—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.

Application standard for building information modeling in port and waterway engineering design: JTS/T 198-2-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.

- [4] 侯立俊, 李为, 张金峰. BIM 技术在临淮岗复线船闸施工进度管理中的应用[J]. 水运管理, 2023, 45(2): 23-25.

HOU L J, LI W, ZHANG J F. Application of BIM technology in construction progress management of Linhuai gang double line ship lock [J]. Shipping management, 2023, 45 (2): 23-25.

- [5] 周钦, 陈虹宇, 刘永胜. 基于 BIM 的船闸工程研究与应用[J]. 中国水运, 2022(17): 116-118.

ZHOU Q, CHEN H Y, LIU Y S. Research and application of ship lock engineering based on BIM [J]. China water transport, 2022(17): 116-118.

- [6] 张耀坤. BIM 技术在犍为船闸工程施工监理的管控应用[J]. 水运工程, 2021(12): 11-13.

ZHANG Y K. Application of BIM technology in construction supervision of Qianwei ship lock project [J]. Port & waterway engineering, 2021(12): 11-13.

- [7] 李玲君, 陈璐. BIM 技术在船闸三角闸门设计中的应用[J]. 水运工程, 2019(6): 147-151.

LI L J, CHEN L. Application of BIM technology for design of triangle gate design [J]. Port & waterway engineering, 2019(6): 147-151.

(下转第 190 页)