



BIM 技术与智慧工地 在内河航道整治工程中的综合应用

赵建豪¹, 秦 斌², 邬德宇²

(1. 中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300461; 2. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461)

摘要: 内河航道整治工程具有长线型、多区域、隐蔽工程多的特点, 并存在施工质量溯源难、过程管控难度大、施工管理效率低等问题。针对内河航道工程施工中的重难点, 依托京杭运河长江口门段航道整治项目, 基于 BIM 技术和智慧工地管理平台, 应用相应的施工智能化设备, 实现施工 BIM 模型深化创建、多源模型集成应用, 并解决大体量混凝土浇筑、长线型施工过程管控、复杂隐蔽工程工序报验、施工及监测数据管理等典型难题, 实现了 BIM 技术与管理平台在施工阶段的融合应用, 提升了工程建设项目的施工质量和技术管理水平。

关键词: 航道整治; 智慧工地; 智能化管控; 施工阶段; GIS; BIM; 倾斜摄影

中图分类号: U 615

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)03-0139-07

Comprehensive application of BIM technology and intelligent construction sites in inland waterway regulation works

ZHAO Jian-hao¹, QIN Bin², WU De-yu²

(1. CCCC (Tianjin) Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: The inland waterway regulation works have the characteristics of long lines as well as multiple areas and concealed works, and they are exposed to problems such as difficulties in construction quality tracing and process control and low efficiency of construction management. In view of the key difficulties in the construction of inland waterway engineering, we realize the in-depth creation of building information modeling (BIM) and integrated application of the multi-source model by using corresponding intelligent construction equipment. Relying on the waterway regulation project of the Yangtze River Estuary of the Beijing-Hangzhou Grand Canal, the modeling and integrated application are based on the BIM technology and intelligent construction site management platform. In addition, we have solved typical problems such as mass concrete pouring, long-line construction process control, process inspection of complex concealed works, as well as construction and monitoring data management, realized the integration of the BIM technology and management platform in the construction stage, and improved the construction quality and technical management level of engineering construction projects.

Keywords: waterway regulation; smart construction site; intelligent control; construction stage; GIS; BIM; oblique photography

航道整治工程具有施工工期长、影响因素多等特点, 并存在返工成本高、质量溯源难、管控

难度大等问题。随着经济社会的发展和航运需求的日益增长, 内河航道整治工程的建设规模不断

收稿日期: 2021-06-07

作者简介: 赵建豪(1994—), 男, 硕士, 工程师, 从事 BIM 技术研究与应用工作。

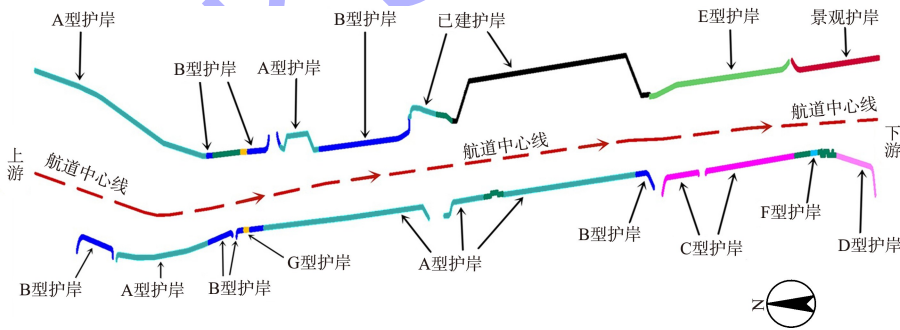
扩大、工程构筑物更加复杂，传统的实施方法已不能满足施工管理、强度和精度的要求，亟需向可视化、信息化、智慧化发展^[1-2]。

BIM 技术因具有可视化、协调性、优化性等优势而逐渐深入到各个工程领域，显著提高了工程质量和投资效益^[3]。而已有 BIM 技术在航道整治工程中的应用多集中在设计阶段^[4-7]，并主要从正向设计、工程量计算、构筑物创建、可视化交底、施工进度和工艺模拟等方面进行应用，增强了施工人员对拟建工程的整体认知，极大地方便了施工前期工作的开展，但对施工阶段的全过程管控还有待深入结合。为此，以物联网、云计算、大数据等新一代信息技术为主的智慧工地管理平台应运而生，通过对施工生产、技术管理等过程加以改造，提升施工现场的管理效率、工作效率和决策能力^[8]。但相较于房建领域，内河航道整治工程具有长线型、多区域、隐蔽工程多的特点，因此如何结合工程需求和 BIM 技术的全生命周期性^[9]，在管理平台中将 BIM 技术与施工管控进行全面融合，是实现内河航道整治工程智慧化建设的重点。

本文以京杭运河长江口门段航道整治工程为例，首先通过可视化编程和实景模型技术实现施工 BIM 模型深化创建、复杂航道模型构建和多源模型轻量化集成等应用，为施工阶段提供精准 BIM 数据；并将 BIM 技术与智慧工地平台相结合，集成应用于内河航道施工全过程管控，实现了混凝土质量溯源、灌注桩智能化管控、工序线上报验、施工过程实时管理等创新应用。

1 工程概况

京杭运河长江口门段航道整治工程位于长江和京杭运河两条水道交汇处，项目起自施桥船闸止于六圩长江口，全长 5.37 km，施工内容为灌注桩加钢板桩承台式护岸、格宾生态护岸、水下航道疏浚等工程(图 1)，具有施工管控难度大、安全环保压力大、征地拆迁难度大、质量安全标准高的特点。工程着重解决灌注桩施工过程管控、护岸工序报验、混凝土质量溯源、施工过程实时管理和拆迁统计等难题，通过智能化管控方式指导工程项目建设。



注：A、B、F 型为桩基承台式护岸，C、D、E、G 型为格宾式护岸。

图 1 整治工程分布

2 施工阶段 BIM 技术深化应用

2.1 BIM 模型划分

以往 BIM 模型的创建多在设计阶段，主要依据设计思路和工程需求开展，但要实现 BIM 模型的全生命周期应用，更好地实现工程量统计、施工模拟、施工过程 BIM 管控等功能，还需结合施工进度计划和施工工艺进行 BIM 模型的二次深化，以真正符合施工阶段的应用需求。

项目根据工程划分原则和施工进度计划进行了施工 BIM 模型的命名和划分，该过程遵循唯一性、简明性、完整性等基本原则，利用文字、字母、数字进行一定规律的排列对 BIM 构件进行命名(图 2)，同时通过 Dynamo 可视化编程，添加各个构件 ID 进行唯一性标识、添加坐标信息以准确定位，方便后续工序报验、施工智能化管控。

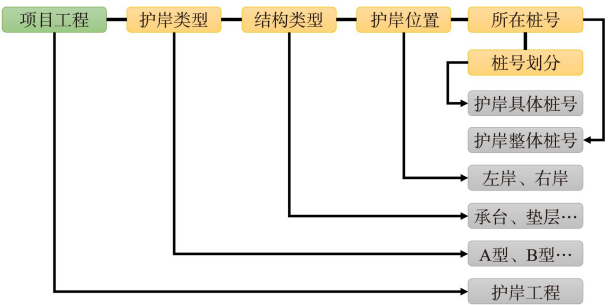


图 2 BIM 模型划分规则

2.2 BIM 模型的创建及应用

内河航道工程 BIM 模型创建多集中在护岸^[10]、桩基、地形和航道等结构上。针对航道施工桩基数量多、护岸走势复杂的难点，通过 Dynamo 可视化编程，解决了复杂护岸前沿线中的桩模型放置问题，实现沿特定角度、特定间距、特定路径下的钢板桩、灌注桩模型自动放置，具有放置精度高、

间隔排列准确、搭接紧密且连续的优点(图 3)。

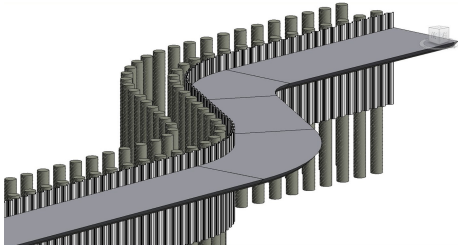


图 3 采用 Dynamo 自动放置桩模型

针对航道断面结构多、各过渡段衔接不明确的难题，采用部件编辑器建立了标准航道部件，通过自动找寻护岸边界和高程信息对航道进行精确建模，用于施工疏挖技术交底；通过 Civil 3D 建立三角网格体积曲面，进行土石方量计算，直观展现三维土石方量分布情况(图 4)，相对于传统的断面法，其计算效率和精度均有所提高^[11]。

三维土石方量高程分布表				
编号	最小高程/m	最大高程/m	颜色	面积/m²
1	-14.00	-12.00	红色	3 096.89
2	-12.00	-10.00	橙色	10 659.79
3	-10.00	-8.00	黄色	14 264.98
4	-8.00	-6.00	浅黄色	32 340.40
5	-6.00	-4.00	浅绿色	98 764.29
6	-4.00	-2.00	绿色	130 212.10
7	-2.00	0.00	浅蓝色	235 971.60
8	0.00	2.00	蓝色	647 589.30
9	2.00	4.00	深蓝色	2 092.00
10	4.00	6.00	紫色	346.72
11	6.00	8.00	深紫色	3.45

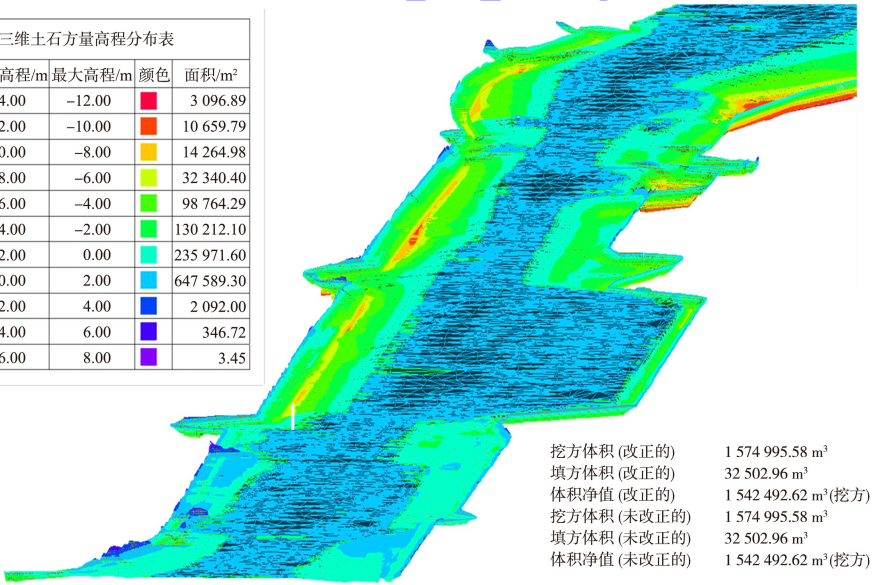


图 4 三维土石方量计算

基于施工 BIM 模型，实现了施工图纸的三维化表达(图 5)，通过提前优化施工方案和结构布置，降低施工返工风险；同时采用 VR 设备并结合 Fuzor 软件进行沉浸式体验，直观展示工程重难点，对施工人员进行可视化技术交底。

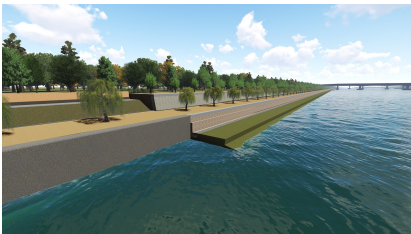


图 5 施工图纸三维表达

2.3 多源模型轻量化集成及应用

针对征地拆迁难度大、场地配置规划难的问题，项目使用无人机倾斜摄影技术，通过控制点布设、测区航线规划获取数据，通过空中三角测量解算、控制点设置进行数据处理，创建了施工区域实景模型^[12-13]，为区域拆迁、场地布置、工程量核算提供数据支持。

以往研究中在 BIM 模型与三维实景模型融合时存在坐标信息不统一、模型体量大、匹配效果不佳等问题^[14]。项目基于国产 BIM 引擎 Black Hole 建立 BIM 轻量化平台，使用 Worm Hole Editor 编辑器对实景模型进行二次优化和单体化，解决了模型空洞、变形扭曲、模型悬浮等问题；并采用 Raster Tools 将 GIS 底图进行坐标定位，通过 WMTS 地图服务坐标系对各源文件进行定位整合，最终将 BIM 模型、GIS 底图、实景模型相融合，实现网页端多源模型的集成(图 6)，为施工智能化管控提供数据支持。

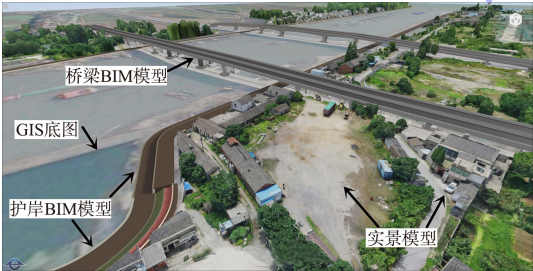


图 6 网页端多源模型集成

通过多源模型的轻量化集成实现以下应用：
1) 实现施工现场全要素信息三维可视化，可对施工场地进行快速布置，有利于管理人员综合评估施工条件，制定有针对性的资源调度与配置方案；
2) 针对目前航道工程房屋拆迁采用的实地测量方法，可通过轻量化平台对拆迁面积、层数、结构及拟建工程部位进行准确统计；
3) 可直观简洁地点击每个 BIM 模型构件，便于技术人员快速查看。

3 BIM+智慧工地在航道整治工程中的应用

智慧工地平台基于物联网和移动互联的软硬件优势，针对施工现场管理特点，实现人员考勤、车辆识别、施工质量安全管理、现场监控和机械

设备监测等功能，并在房建市政等领域进行了广泛应用，但受限于航道整治工程施工特点，已有通用化功能并不满足水运施工的开展。本节基于施工 BIM 模型和智慧工地管理平台，解决航道工程中大体量混凝土浇筑、长线型施工过程管控、隐蔽工程工序报验、施工及监测数据管理等典型难题。

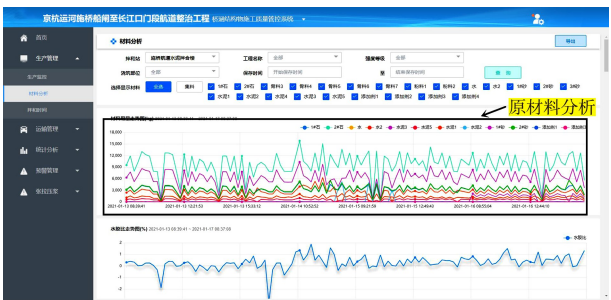
3.1 混凝土动态管控

通过物联网技术实时传输原材料数据，管理平台依据传输的数据自动进行数据处理、分析，并生成原材料统计报表，供管理人员总体把控，实现材料来源的动态管理；基于智慧工地平台，通过对原材料入仓配比、拌和时间、试验检测等信息进行统计分析，从源头上加强了拌和数据收集，实现了拌和过程的实时管控。

通过将每仓混凝土与运输车辆绑定联动，可查询该运输车辆的接料时长、接料强度、接料量、浇筑部位等信息，并实时获取车辆的运输轨迹，确保在接料、运输中信息的准确性和可溯性；同时将每仓混凝土用量与施工 BIM 模型中的浇筑部位进行绑定联动，确保各仓混凝土与所浇筑部位的精准匹配，减少因人工调配错误导致浇筑位置不符，并可自动统计出料与入仓浇筑的间隔时间，确保混凝土始终处于最佳状态(图 7)。



a) 混凝土材料来源管理



b) 混凝土拌和过程管理



c) 混凝土运输过程管理



d) 混凝土浇筑过程管理

图 7 混凝土动态管控

3.2 施工过程实时管控

针对长线型航道整治工程现场管控难的问题,通过 AI 智能抓拍、电子围栏、手持人员门禁、单兵记录仪、智能安全帽等手段,实现对现场分散人员的动态管理;通过移动布控球、定位、传感装置等对工程车辆、机械、挖泥船等设备实时监管,实现“云监工”;环境监测系统自动对扬尘、噪音、气象等参数进行采集、存储、分析,扬尘超标自动启动喷雾降尘,实现环保自动化管理;施工人员使用手机 APP 对工程质量、安全进行“随手拍”,可进行定期巡查与安全质量监督,数字化赋能航道整治工程智慧建设(图 8)。



b) 施工机械安全管理

图 8 施工过程实时管控

3.3 施工阶段协同管理

在基于 BIM 技术、物联网、移动互联的基础上,为进一步提升航道整治工程信息化、智慧化管理水平,各参建方基于智慧工地平台和手机 APP 进行施工线上协同管理。平台涵盖通知公告、科技创新、党政廉洁、班组管理、档案管理、设备管理、合同管理、应急管理等功能,实现数据信息共享、资料查询有序、线上审批操作,提升了参建各方管理效率(图 9)。针对航道整治工程安全管理难的问题,平台实现了风险源点管控、安全教育、安全考试等功能加强人员培训,提高了质量安全管理水平。



图 9 施工协同管理

3.4 施工工序线上报验

航道整治工程中隐蔽部位较多, 针对施工工序的质量控制要点, 如何利用先进的管理手段和管理办法加强对工序质量的控制与管理是有效提升施工质量水平的重要方式。

项目结合施工需求，通过管理平台对报验流



a) 施工人员定位

程、单元划分进行预先设置，将 BIM 模型信息与 BIM 轻量化平台和智慧工地管理平台相关联(图 10)，最后利用手机 APP 在施工现场对隐蔽工程进行线上报验，实现图片、视频在上传，检测表格在线填写，报验位置自动记录等功能，报验全过程线上操作，提高了施工信息化水平。

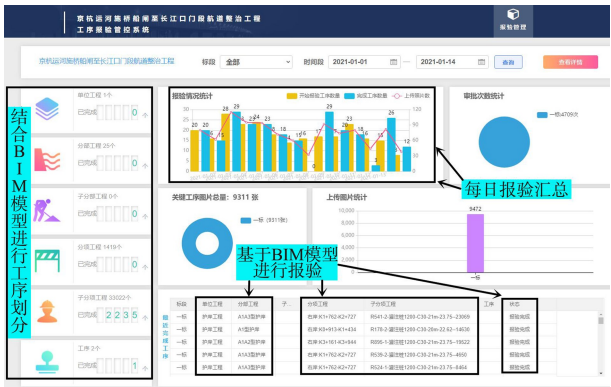


图 10 施工工序报验管理

工序报验具有如下特点：1)将模型 ID 作为报验信息传递的依据，实现报验部位与 BIM 模型动态关联，报验结果可与 BIM 轻量化平台进行实时联动；2)通过 BIM 模型颜色区分，直观展现已完工和未完工段的所在位置，便于对施工进度进行总体把控；3)通过點選平台各个构件，可显示工程部位、工序信息、责任人员和浇筑信息，提高质量管控和溯源能力；4)通过拖拽时间进度线，可直观查看施工先后顺序，方便管理人员进行进度规划。相较于传统的 4D 施工进度模拟，该技术具有实时性、可溯性、自动性的优点，真正实现了 BIM 模型在施工阶段质量、进度管控中的融合应用。

3.5 施工数据实时管理

灌注桩须在施工现场短时间内连续完成，作为隐蔽工程其施工质量较难监测。首先采用 Revit 和 Dynamo 精确创建施工 BIM 模型并添加施工信息，上传至管理平台作为数据基础；并基于北斗导航的载波相位差分定位技术^[15]，实现对打桩位置的自动定位与导航，将打桩坐标与平台模型信息进行比对，以精确控制钻孔误差；通过接触式仪器组合法和谐振音叉传感技术，运用物联网手

段将成孔检测、泥浆监测数据自动上传至管理平台进行整理分析，实现对灌注桩施工全过程智能化管控(图 11)^[16]。



图 11 灌注桩智能化管控

针对工程钢筋、混凝土用量大，试验检测效率低等问题，基于管理平台、物联网技术，实现对混凝土抗折抗压、钢筋力学性能试验数据的动态监测、自动上传、分析整理、待办信息自动推送等功能(图 12)，试验数据全程可查，确保试验、检测全过程可追溯，保障工程材料质量安全。



图 12 试验监测过程管控

4 结论

- 1) 为了实现 BIM 技术与施工管控的融合，须结合现场环境因素、施工进度和施工工艺对 BIM 模型进行二次深化；在航道整治工程中，使用可视化编程能较好地完成施工 BIM 模型深化创建、复杂航道模型构建和航道土石方量计算。
- 2) 通过轻量化 BIM 管理平台，可将 BIM 模型、GIS 底图、实景模型相融合，实现施工现场全要素信息三维可视化，为施工场地快速布置、房屋拆迁统计和 BIM 模型信息查询提供数据支持。
- 3) 结合施工 BIM 模型及管理平台，可对混凝土

土材料来源、拌和、运送、浇筑全过程进行实时管控,提升混凝土质量溯源能力。

4) 基于移动互联和物联网技术,对分散人员、施工机械、固定监测设备进行动态管控;可依据航道整治工程特点和管理需求,将管理平台从物联网端向线上协同管理端进行扩展,实现工程智慧化综合管理。

5) 基于 BIM 模型进行结构划分,并将模型信息与管理平台关联,实现对隐蔽工程线上工序报验,提高施工信息化水平。

6) 基于管理平台、物联网技术,可实现对混凝土、钢筋试验数据的动态监测、自动上传、分析整理等功能,保障检测全过程可追溯。

参考文献:

[1] 郭涛.BIM 技术在航道建设中的作用[J].水运工程, 2018(12): 21-25.

[2] 郭涛,余青容,宋成果.航道整治工程 BIM 关键技术研究及应用[J].水运工程,2018(11): 1-4.

[3] 陈洋,余美娟.BIM 技术应用于航道整治工程的分析研究[J].中国水运(下半月),2020,20(1): 150-151.

[4] 李锐,李正,王飞.BIM 正向设计在内河航道疏浚工程中的应用[J].水运工程,2019(12): 123-126.

[5] 金瑞,肖春红,朱明,等.基于 Civil 3D 的航道整治 BIM 设计平台开发[J].水运工程,2021(4): 169-174.

[6] 叶文欣.BIM 技术在航道疏浚工程设计中的应用研

究[J].中国水运,2021(3): 141-144.

[7] 徐茂兴.BIM 技术在航道整治工程中的应用探析[J].珠江水运,2019(15): 74-75.

[8] 郑小云.BIM 技术在设计优化及智慧工地建设的应用研究[D].杭州:浙江大学,2018.

[9] 李国杰,刘松,郭涛,等.BIM 技术在航道整治工程全生命期的应用[J].水运工程,2018(8): 118-122, 134.

[10] 田会静,赵建豪,李兴建,等.BIM 技术在马鞍山河段护岸整治中的应用[J].水运工程,2020(S1): 174-180.

[11] 邬德宇,赵建豪,郭扬扬,等.BIM 技术在京杭运河长江口门段航道整治中的应用[J].水运工程,2021(6): 188-193.

[12] 杜伸云,梁昊.无人机倾斜摄影实景建模技术在施工中的应用[J].土木工程信息技术,2018,10(2): 72-77.

[13] 闫文娟,王水璋.无人机倾斜摄影航测技术与 BIM 结合在智慧工地系统中的应用[J].电子测量与仪器学报,2019,33(10): 59-65.

[14] 童钟,王刚,李国杰,等.BIM 与 GIS 融合技术在航道整治工程中的应用[J].水运工程,2021(4): 163-168, 179.

[15] 杨元喜,李金龙,王爱兵,等.北斗区域卫星导航系统基本导航定位性能初步评估[J].中国科学(地球科学),2014,44(1): 72-81.

[16] 邬德宇,曲贝贝,赵建豪,等.智能化管控在钻孔灌注桩施工全过程中的应用[J].水运工程,2021(9): 206-211, 221.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 121 页)

参考文献:

[1] 薛淑,肖海斌,王新.景洪升船机上游对接流程优化[J].水运工程,2020(10): 7-11, 51.

[2] 胡亚安,李中华,王新.景洪水力式升船机运行流程优化研究[R].南京:南京水利科学研究院,2019.

[3] 李飞,鄢玲祉.三峡升船机船厢与航道解除对接工艺流程优化[J].水运工程,2020(2): 90-93.

[4] 长江三峡集团.长江三峡水利枢纽升船机主体设备制

造(第三卷):电气系统设计说明[R].宜昌:长江三峡集团,2011.

[5] 胡亚安,王新,陈莹颖,等.三峡升船机 145 m 水位上游对接厢内水面波动特性实船试验研究[J].水运工程,2020(12): 1-6.

[6] 张银婷,彭享文,陈新.三峡升船机上下游水情分析及运行应对建议[J].水运工程,2020(12): 131-135.

(本文编辑 武亚庆)