



基于无人机+BIM 的实景融合技术 在航道工程中的应用*

杨 琪, 曹子行, 王 飞

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 针对现有工程方案展示方法的缺陷和不足, 基于开源软件 Blender 提出一种新方法。以某航道工程为例, 通过无人机航拍及视频前处理、摄像机轨迹反求、三维建筑信息模型(BIM)建模及动画制作、合成输出等关键技术, 实现在航拍照片/视频插入三维 BIM/动画, 并结合虚拟摄像机和渲染, 达成两者在透视、材质、光影等多方面的融合嵌入。此方法既可保留航拍照片/视频低成本、高清晰、高还原度的优点, 又可通过 BIM/动画展示水下航道等此类遮蔽对象以及未建护岸、拌和站等目前不存在的对象及其施工建造过程。此方法学习和使用成本低, 可推广性强, 可应用于工程投标、方案评审以及对外汇报展示。

关键词: Blender; BIM/动画; 航拍照片/视频; 实景融合; 航道工程; 工程方案展示

中图分类号: U612; TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)05-0193-07

Application of synthesizing three-dimensional model with real image in waterway engineering based on BIM and unmanned aerial vehicle

YANG Qi, CAO Zihang, WANG Fei

(Shanghai Waterway Engineering Design & Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: In response to the deficiencies and limitations of the existing engineering project presentation methods, We propose a new approach based on the open-source software Blender. Taking a waterway project as an example, we use key techniques such as aerial photography and video preprocessing, camera trajectory reconstruction, 3D building information modeling (BIM) and animation creation, as well as synthesis and output. This method inserts 3D BIM/animation into aerial photos/videos and achieves the fusion of the them in multiple aspects such as perspective, material, and light-shadow through virtual cameras and rendering. This method retains the advantages of low cost, high definition, and high fidelity of aerial photos/videos, and enables the display of obstructed objects such as underwater waterway and non-existent structures such as revetment, mixer station and their construction processes through BIM/animations. With its low learning and implementation cost, this method holds strong potential for widespread adoption and can be applied in engineering project bidding, scheme evaluations, and external presentation.

Keywords: Blender; BIM/animation; aerial photo/video; synthesizing three-dimensional model with real image; waterway engineering; engineering project presentation

收稿日期: 2023-08-31

***基金项目:** 上海市科技创新行动计划项目(21DZ1201001)

作者简介: 杨琪 (1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事水运工程 BIM 及信息化研发。

近年来,针对工程方案展示的要求越来越高,传统的“PPT+CAD”的汇报展示方式已无法满足。建筑信息模型(BIM)/动画和航拍照片/视频可提供形象直观的展示素材,是传统工程方案展示手段的良好补充,但是两者又各自具有一定的局限性: BIM/动画在展示效果方面与真实视频影像仍然具有一定的差距,并且在大型复杂工程中,存在 BIM 建模难度高、工作量大等困难; 航拍照片/视频只能实现现有真实场景的外观复现,无法展示水下航道等此类遮蔽对象以及未建护岸、拌和站等目前不存在的对象。实景融合技术是指在真实照片/视频中插入三维模型/动画,其最先应用于科幻电影行业的特效制作,通过“实景+特效”展现现实生活中并不存在或者不方便拍摄的场景镜头。早期受制于计算机软硬件和拍摄装备的性能限制,仅在拍摄周期较长、投资额度较大的科幻电影中有少量应用^[1]。后来,随着技术发展,其逐步向其他领域渗透,相关研究也逐渐增多。韩立龙等^[2]以 Maya 为创作工具,论述一种三维动画与实拍影像合成技术的设计与实现方法; 黄向军^[3]针对镜头畸变素材,基于 Boujou 软件探讨其对应的摄像机轨迹反求问题; 任达等^[4]、许云鹏^[5]、陈亦^[6]也针对摄像机反求在影视领域的应用开展研究; 潘福等^[7]、向秀华^[8]分别以某建筑工程、轨道交通工程为例,介绍三维模型与实拍影像合成的技术实现方法; 此外还有少数相关的专利^[9-10]。目前实景融合技术在工程领域已有的少数应用案例一般实现过程复杂,须采用多套商业软件,学习和使用成本高,不易推广; 航道工程领域尚未有相关应用。

本文基于开源软件 Blender,介绍实现实景融合的技术路线和关键技术,并以广西某航道工程

为例,论述该技术在航道工程领域中的应用,以期类似工程提供借鉴和参考。

1 技术路线

实景融合技术以航拍照片/视频和三维 BIM/动画作为原始基础素材,通过无人机航拍及视频前处理、摄像机轨迹反求、三维 BIM 建模及动画制作、合成输出等关键技术,实现真实照片/视频与三维模型/动画的融合互补,并最终输出合成后的视频/图片,具体技术路线步骤如下。

1) 无人机航拍及视频前处理。获取大范围真实场景的现状影像,1:1 还原真实物理世界。外业航拍前一般应明确具体航拍需求,包括视角范围等; 内业视频前处理采用 Blender 中 video editing 模块,将原始航拍视频输出成稳定的帧序列,以供摄像机反求和后期合成使用。

2) 摄像机轨迹反求。实现实景融合技术的核心,主要基于 Blender 中 motion tracking 模块,根据实际情况设置场景帧、焦距、追踪方法等参数,通过追踪和解算的不断迭代,求解虚拟摄像机轨迹路径。

3) 三维 BIM 建模及动画制作。获得遮蔽对象(水下航道等)、未建对象(护岸结构等)模型及其施工建造过程动画的主要手段,通过 Blender 中 modeling 模块实现三维建模、材质贴图和动画制作等全过程。

4) 合成输出。合成输出是指在 rendering 渲染中将 BIM 模型/动画与航拍照片/视频进行定位叠加,并调节光影和材质,按照反求出的摄像机轨迹渲染输出,最终得到合成后的视频/图片。

整体技术路线见图 1。

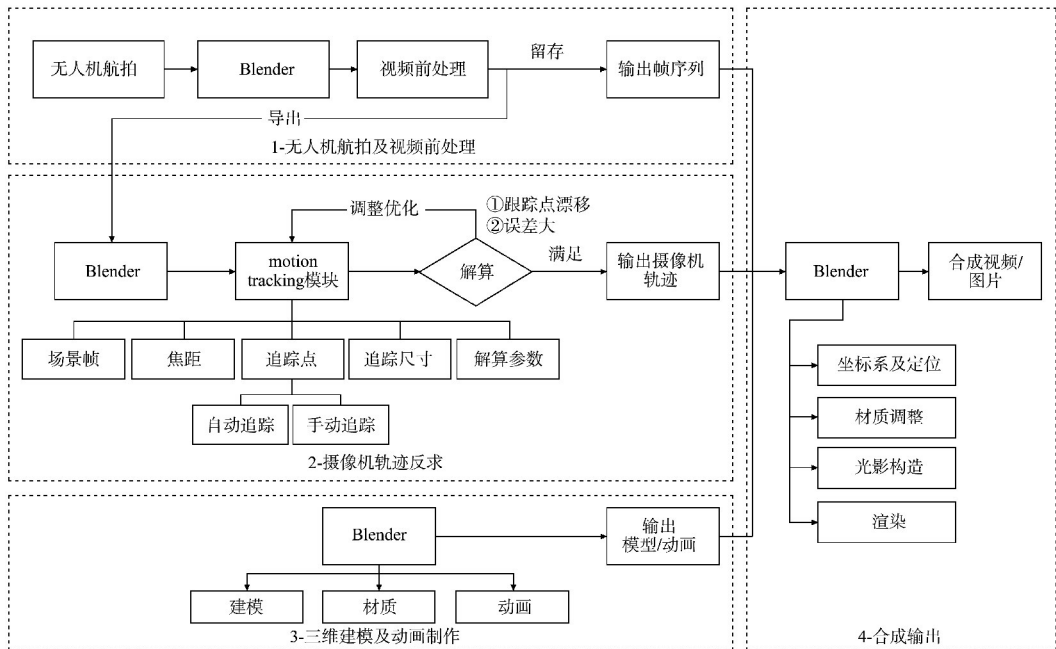


图 1 技术路线

2 关键技术

2.1 无人机航拍及视频前处理

优质的无人机航拍照片/视频素材是实现实景融合的基础和前提，主要包括无人机航拍(外业)和视频前处理(内业)两部分。

1) 无人机航拍(外业)。一般作业技术要求包括：画质清晰，分辨率高；宜选择多云天气，光照强度适中，画面不宜过暗或过亮，视角平稳抖动少，避免短时间内大范围镜头转动；目标对象宜位于航拍画面的居中位置，宜尽可能多地包含有建筑、道路、河流或者其他具有规则几何形状的点、线、面参考体，方便后续摄像机追踪及模型定位。

2) 视频前处理(内业)。航拍视频可直接导入 Blender 进行剪辑处理，若原视频素材光照、色泽、对比度不理想，也可通过 Blender 进行色彩对比度的调整。最终目的是输出得到画质清晰、画面稳定且含较多可追踪特征点的 png 序列帧。

2.2 摄像机轨迹反求

摄像机轨迹反求是实现实景融合技术的核心内容。主要思路是利用视差和透视原理，根据画面中像素的明度、饱和度、色相三大要素筛选出画面中具有“特征”的像素，即“跟踪点”，并计算

分析每一帧中跟踪点的位移和旋转变化，从而反求出摄像机轨迹；若求解得到的虚拟摄像机轨迹参数与真实航拍摄像机一致，即可实现虚拟摄像机镜头下的三维 BIM/动画与真实航拍摄像机镜头下的航拍影像的视觉匹配。Blender 中 motion tracking 模块是实现摄像机反求的核心，反求计算流程见图 2。

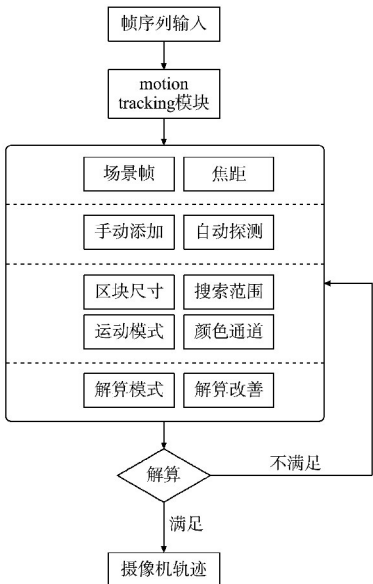


图 2 摄像机反求技术流程

添加跟踪点时，推荐在自动追踪的基础上，手动补充部分典型位置点，并保证每一帧跟踪点

数量不小于 8 个。解算完成后可根据“solve error”数值以及追踪点“漂移”情况确定解算质量,一般 solve error 数值较小(低于 3.0)、追踪点无大范围“漂移”,说明解算质量较高;若解算质量较差,则应重复上述步骤,重新筛选合适追踪点,并手动跟踪关键帧,通过反复调整和优化提高解算质量。

2.3 三维建模及动画制作

常用的 BIM 建模及动画制作软件包括建筑行业广泛应用的 Revit、适合制造业机械零件设计的 Solidworks、动画渲染强大的 3Ds Max 等。Blender 功能强大,包括建模、动画、仿真、渲染等,一个软件即可覆盖众多功能;另外软件内置了丰富的 API 接口方便进行二次开发和批量建模;更重要的是 Blender 免费开源、方便快捷,Blender 是本文得到遮蔽对象(水下航道等)、未建对象(护岸结构等)模型及其施工建造过程动画的主要工具。

2.4 合成输出

2.4.1 模型定位

合成输出首先应实现三维 BIM/动画在航拍视频中的准确定位,合理的坐标系设定可提高模型定位的准确性和便捷度,需要在前述追踪点设置时提前考虑;定位时,对于确定的 xOy 平面, BIM 应匹配对应的附着点,匹配完成后不可进行 z 向平移,否则将产生较大位移。

2.4.2 模型材质及光影

模型材质及光影是实现模型与视频真正“融合”的关键。模型材质一方面按照结构真实情况选取,另一方面也应根据视频中周围场景已有的类似结构进行灵活调整;光影是三维区别于二维的显著特点,是提高三维模型整体效果的重要手段,光影的设置也应尽可能的参考场景中已有的投影位置和长度,并通过增加辅助阴影收集面等方法构造和调试。

2.4.3 渲染输出

一般采用 cycles 渲染器实现 BIM/动画和帧序列图片背景的合成输出。因渲染速度限制,对于文件较大、时间较长的视频可以采用分布式渲染,最后再合成完整视频。

3 案例应用

3.1 工程概况

工程位于广西省钦州市,标段起点为 K58+900、终点为 K63+900,全长 5 km,共分 4 个工区。建设内容包括陆上土石方工程、疏浚工程、炸礁工程、护岸工程、水土保持工程、景观绿化、临时工程、搬迁安置点的“三通一平”等。航道设计最低通航水位为 8.0 m,设计底高程为 1.7 m,全段不设纵坡,航道基本尺度为 6.3 m×80 m×360 m(水深×宽度×最小弯曲半径)。工程平面布置见图 3,航道典型断面见图 4。

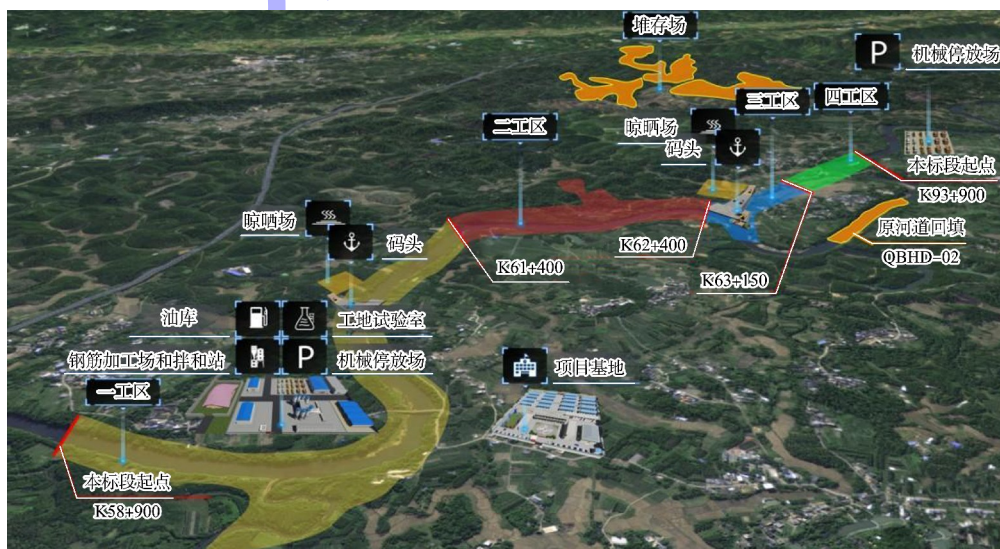


图 3 工程平面布置

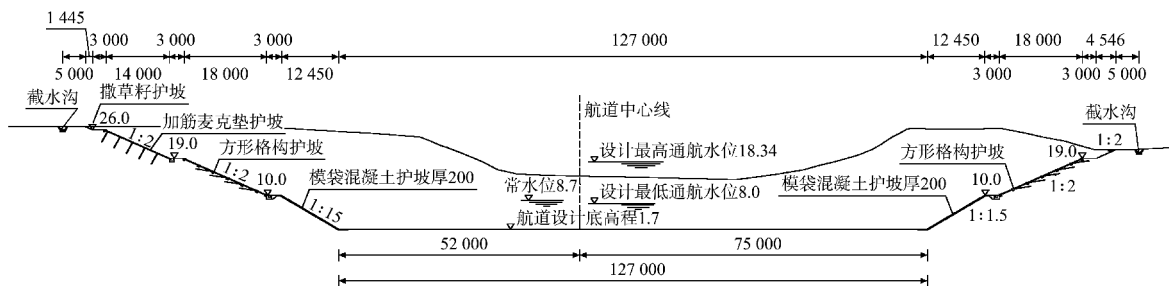


图 4 典型断面 (尺寸: mm; 高程: m)

3.2 试点应用

3.2.1 无人机航拍及视频前处理

本标段目前处于施工初期，已完成施工前期部署，正在开展土石方开挖和拌和站建设工作。工程包含河道裁弯取直、多级护岸施工等，完工后效果与工程现状场景大相径庭，因此如何形象展示施工方案及竣工效果对于本工程对外汇报展示具有重要意义。

采用大疆经纬 M300 RTK 型无人机，搭载禅思 P1 镜头，焦距 35 mm，输出视频帧率 60 帧/s，单张照片 830 万像素；航拍时天气晴朗，画面中光线强度适中，成像饱和度较高，对比分明，并有部分建筑物可供参考，满足要求；航拍时，飞机沿着航道设计轴线匀速飞行。航拍原视频效果见图 5。



图 5 原视频截图

3.2.2 摄像机轨迹反求

本工程在自动追踪基础上，手动添加额外典型特征点(如地基建化基础边界点、水面结构边界点、对比明显的屋顶边缘等)；由于本工程航道总长 5 km，航拍视角范围内对象变化较大，因此追踪区块尺寸和搜索范围在默认参数基础上可适当扩大；选择“关键帧”解算，并根据解算结果反

复调整修改；最终 solve error 值约为 0.90 px，追踪点无大范围“漂移”，添加测试模型后，模型滑动较小，因此解算结果满足实景融合要求。轨迹追踪效果见图 6。



图 6 摄像机轨迹追踪效果

3.2.3 三维建模及动画制作

根据图纸和实景融合技术要求，本工程通过 Blender 按照航道平纵横设计图纸，建立航道三维模型包括航道边坡、多级护岸等对象；根据场布设计图纸建立混凝土拌和站三维建模并按照施工顺序制作“生长动画”模拟展示拌和站施工进度。建模效果及动画制作界面见图 7。

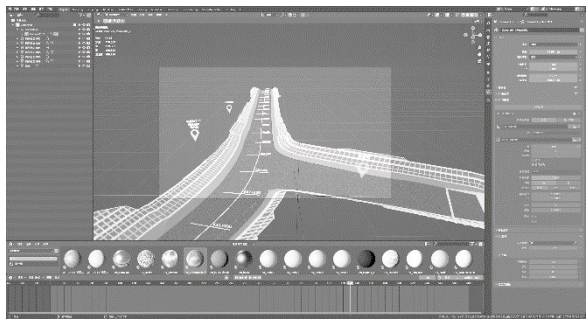


图 7 三维建模及动画制作界面

3.2.4 合成输出

航道工程多为数公里长的线型工程，轴线方向尺寸远大于断面尺寸，针对航道模型定位的要

求一般比普通结构(比如拌和站)要求高,本工程采用分段匹配定位的方式提高定位准确性。

3.3 应用成果

基于试点应用,得到 10 s 的航道完工效果合成视频,截图见图 8;得到 20 s 的拌和站建造动画合成视频,截图见图 9。可以看出,完工后三维

航道模型(包括航道边坡、多级护岸、航道轴线、航道桩号等)、混凝土拌和站模型在现状航拍视频中定位准确,与周围场景匹配度较高、融合效果较好;视频播放过程中,模型基本无滑移;成果可形象展示航道完工后效果及拌和站建造过程动画。



图 8 航道完工效果

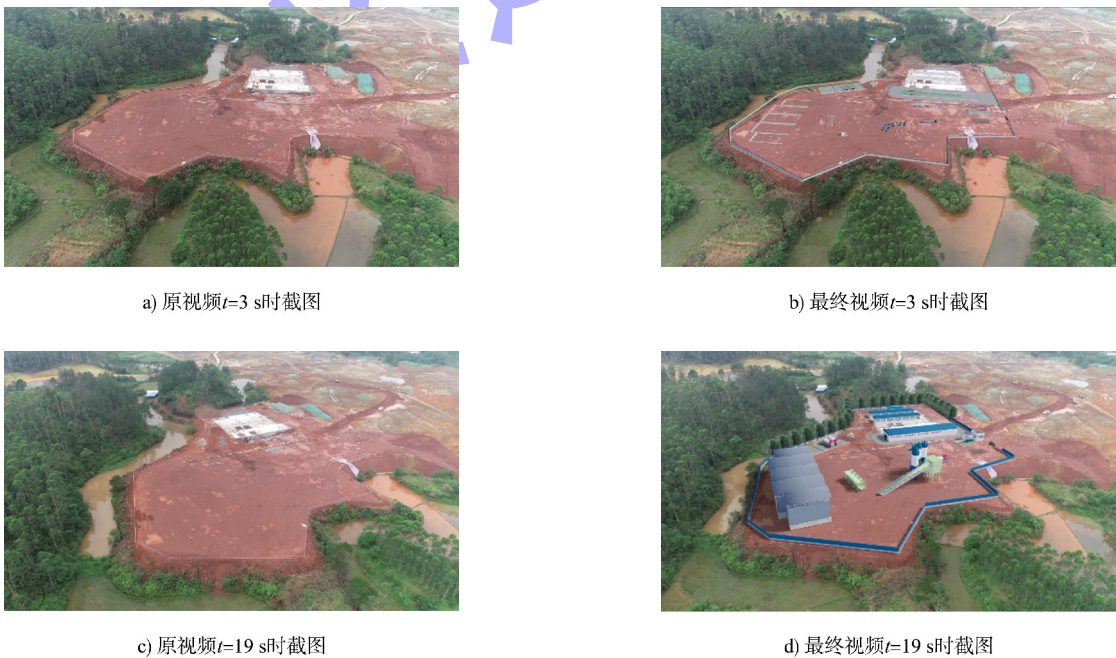


图 9 拌和站建造动画截图

4 结语

1) 本文所提及的实景融合技术方法,可实现在航拍照片/视频插入三维 BIM/动画,既可保留航拍照片/视频低成本、高清晰、高还原度的优点,又可通过 BIM/动画展示遮蔽对象以及目前不存在的对象及其施工建造过程。

2) 本文将实景融合技术引入工程行业,并首次应用于航道工程领域,试点案例应用成果表明该技术可形象展示完工后航道、拌和站等对象的三维效果及其建造过程,模型定位准确、场景匹配度较高、融合效果较好;试点应用过程中归纳总结的经验和结论可供类似工程参考和借鉴。

3) 全流程皆基于开源软件 Blender,学习和使用成本低,可推广性强,可提高对外展示水平,助力工程项目投标、方案评审以及对外汇报展示。

参考文献:

[1] 张辉.论三维动画与实景拍摄结合影片的创作:《本心》角色动画制作项目解析[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2017.

- [2] 韩立龙,周吉.一种三维动画与实拍影像合成技术的设计与实现[J].计算机与数字工程,2012,40(9):90-93,130.
- [3] 黄向军.影视动画合成中镜头畸变素材的摄像机轨迹反求问题[J].现代电影技术,2006(7):20-22.
- [4] 任达,冯雪宁.摄像机运动轨迹跟踪技术在影视制作中的应用[J].科技传播,2012,4(16):8,10.
- [5] 许云鹏.摄像机反求技术及其软件浅析[J].记者摇篮,2018(11):23-24.
- [6] 陈奕.电影数字合成中的运动匹配:摄影机运动轨迹反求技术在数字电影合成中的应用[J].贵州大学学报(艺术版),2007,21(4):66-68,86.
- [7] 潘福,张后利.BIM模型匹配照片制作虚实融合全景图的应用[J].建筑技术开发,2022,49(3):108-110.
- [8] 向秀华.三维动画与实拍影像合成技术在轨道交通工程投标中的应用[J].铁道勘察,2013,39(5):83-85.
- [9] 谢铭,崔瑞国,敖雪峰,等.基于Blender+BIM+无人机的施工进度模拟与管控方法:202210530168.8[P].2022-05-16.
- [10] 张琪峰,侯兆军,袁超.一种交通规划工程项目成果展示方法、装置和存储介质:202011395564.1[P].2020-12-03.

(本文编辑 王璁)

(上接第135页)

- [5] STOCKSTILL R L, NEILSON F M, ZITTA V L. Hydraulic calculations for flow in lock manifolds [J]. Journal of hydraulic engineering. 1991(117): 1026-1041.
- [6] 卜美飞,孙保虎,胡峰军,等.碾盘山船闸输水系统设计及试验研究[J].水运工程,2022(5):104-109,138.
- [7] 傅陆志丹,胡亚安,严秀俊,等.犍为船闸335 m库水位输水系统水力特性原型调试研究[J].水运工程,2023(2):116-122.
- [8] 张庆亮,吴星.船闸闸底长廊道输水系统水力特性模拟研究[J].中国水运(上半月),2022(7):119-121.
- [9] 张星星,许光祥,陈明栋,等.船闸闸墙长廊道侧支孔输水系统水力学研究综述[J].水运工程,2018(12):110-118.

- [10] 李云,胡亚安,宣国祥.通航船闸水力学研究进展[J].水动力学研究与进展(A辑),1999,14(2):232-239.
- [11] 杨朝东,宣国祥,张瑞凯.船闸复杂分散输水系统输水数学模型研究[J].水利水运科学研究,1997(3):189-200.
- [12] MORIASI D N, ARNOLD J G, VAN LIEW M W, et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations[J]. Transactions of the ASABE, 2007, 50(3): 885-900.
- [13] 王彪,王晓刚,安建峰,等.船闸末级闸首超长输水廊道泄水水力特性数值模拟[J].水利水运工程学报,2021(4):92-98.

(本文编辑 赵娟)