

文章编号:1000-4653(2025)02-0010-06

长江上游复杂航道桥梁全周期通航安全保障关键技术研究

母德伟¹, 何进朝¹, 袁浩¹, 刘浩¹, 胡瑞昌¹, 刘勇²

(1. 重庆交通大学 重庆西南水运工程科学研究所, 重庆 402247;

2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要:长江上游河段具有河道形态复杂、弯急滩多、水位变幅大等特点,航道建设条件复杂多变。近年来国家加大了对长江上游航道建设的力度,但新建跨江大桥的工程往往面临着选址受限、跨度受限、规模受限、船撞风险高、通航条件恶化等问题,对航运的发展造成不可逆的影响,构建一套适合长江上游复杂航道的桥梁通航安全保障技术迫在眉睫。基于长江上游复杂桥梁通航条件,本文提出桥梁全周期通航安全评价体系,从规划、设计、建造、运维和拆除等五个阶段进行分析,提出适应长江上游山区复杂航道桥梁全周期通航安全保障关键技术体系。该技术可为长江上游航道复杂桥梁通航提供一定的指导,具有实际意义。

关键词:长江上游;复杂航道;桥梁;全周期通航;关键技术

中图分类号:U61 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2025.02.002

Research into key technologies for ensuring the safety of full-cycle navigation on bridges over complex waterways in the upper reaches of the Yangtze River

MU Dewei¹, HE Jinchao¹, YUAN Hao¹, LIU Hao¹, HU Ruichang¹, LIU Yong²

(1. Southwest Research Institute of Water Transport Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 402247, China; 2. Chongqing Shipping Engineering Survey and Design Institute of the Yangtze River, Chongqing 401147, China)

Abstract: The upper reaches of the Yangtze River are characterized by a complex channel shape, numerous curved shoals, and significant variations in water level. The conditions for constructing the waterway are complex and changeable. In recent years, the Chinese government has increased investment in waterway construction in this area. However, the new cross-river bridges often face problems such as limited site selection, limited span and scale, a high risk of ship collision, and deteriorating navigation conditions. These issues have an irreversible impact on navigation development. Therefore, it is urgent to develop a technology to guarantee bridge navigation safety that is suitable for the complex waterway in the upper reaches of the Yangtze River. Based on the navigation conditions of complex bridges in the upper reaches of the Yangtze River, this paper proposes a safety evaluation system for full-cycle bridge navigation, analyzed in five stages: planning, design, construction, operation and demolition. This paper also proposes a key technical system for full-cycle bridge navigation safety, adapted to complex waterway bridges in mountainous areas in the upper reaches of the Yangtze River. This technology can provide guidance for navigating bridges over complex waterways in the upper reaches of the Yangtze

收稿日期:2024-10-14

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3800505)

作者简介:母德伟(1968—),男,正高级工程师,硕士生导师,研究方向为通航安全保障技术。E-mail:398097820@qq.com

通信作者:何进朝(1978—),男,正高级工程师,硕士生导师,研究方向为山区河流水工水力学。E-mail:he_98@163.com

引用格式:母德伟,何进朝,袁浩,等.长江上游复杂航道桥梁全周期通航安全保障关键技术研究[J].中国航海,2025,48(2):10-15.

MU D W, HE J C, YUAN H, et al. Research into key technologies for ensuring the safety of full-cycle navigation on bridges over complex waterways in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Navigation of China, 2025, 48(2): 10-15. (in Chinese)

River and is of practical significance.

Key words: upper reaches of the Yangtze River; complex waterway; bridge; full-cycle navigation; key technology

长江黄金水道作为沟通中国东、中、西部地区的运输大动脉,在航运中具有独特优势和巨大发展潜力^[1]。随着水路交通的大力发展,长江上游宜宾至重庆河段现已发展为Ⅲ级航道^[2],通过航道整治可达到Ⅱ级航道 $3.5 \times 100 \text{ m}$ 及Ⅰ级航道 $4.5 \times 150 \text{ m}$ 的标准^[3]。根据相关文件规划,2035年长江上游规划布局过江通道121座,其中重庆段75座^[4]。陆运交通的快速发展急需修建大量的涉河大桥,其对航道的通航能力产生一定的影响,尤其是复线桥、多线桥建设与航道维护和升级之间的矛盾日益突出。桥梁密度过大时严重影响船舶通航效率,甚至导致船舶撞事故发生。此外,三峡库区回水变动区的复杂水力学特性、支流入汇等因素导致航道水力特性复杂多变,航道维护困难加大,维护尺度和标准偏低,通航评价标准存在较大差异。

为了保障长江上游跨江桥梁自身结构安全与船舶通航安全,本文针对长江上游复杂航道条件下桥梁通航安全问题,通过分析规划、设计、施工、运维及拆除等五个阶段内桥梁全周期通航过程中的疑难点,提出合理的技术操作,进而构建了适用于长江上游山区复杂航道桥梁全周期通航安全关键技术体系,为黄金水道的大力发展提供实际指导。

1 桥梁全周期通航安全评价体系

桥梁通航安全评价体系是一个复杂系统。该系统从桥梁通航的全周期过程出发,以“规划、设计、施工、运维、拆除”五方面进行综合性评价。

1) 规划:主要包括桥梁通道规划与桥梁功能规划等。

2) 设计:主要包括工程可行性评价,如航道通航评价与桥区水域论证;模型试验部分,如水工物理模型试验与船舶仿真模拟;桥区通航安全保障设计,如桥墩防撞设计与桥区航标设计等。

3) 施工:主要包括施工期通航保障方案、施工期航标设计、施工期通航维护方案与钢梁拖带方案等。

4) 运维:主要包括通航安全核查与航标及防撞设施维护更新等。

5) 拆除:主要包括拆除施工期航道转换方案与通航保障方案等。

为了更好地评价桥梁通航全周期过程中各环节要素对船舶在长江上游复杂航道航行安全的影响,参考相关通航安全评价方面的研究成果^[5],基于船

舶操纵、引航学、河流动力学、水文学、系统建模与仿真等基础理论,遵循充分性、适应性、系统性、针对性、合理性原则,贯穿桥梁通航全过程中规划、设计、施工、运维和拆除等阶段,最终构建全周期过程下长江上游复杂航道桥梁通航安全评价体系,如图1所示。

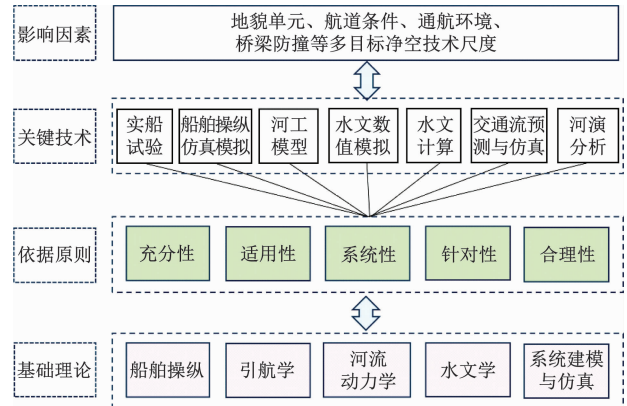


图1 长江上游航道桥梁全周期通航安全评价体系

Fig. 1 The safety evaluation system of bridge over complex channel in the upper reaches of Yangtze River

2 桥梁建设规划环节

在桥梁规划环节中,桥梁通道选址是一个综合性的问题,需要考虑城市规划、防洪标准、地质条件、陆路及水路交通等因素^[6]。桥址、桥型桥跨和桥墩位、桥区河道特性及通航环境多因素之间相互影响,相互制约。为保障山区河流桥梁通航安全,桥梁选址应满足河床稳定、航道平顺、水流条件良好及航道水深充裕等条件,尽可能避开港区、弯道、滩险、汇流口和通航控制河段,避免船舶航行对桥梁造成威胁^[7]。除考虑桥梁选址外,长江上游桥梁需考虑功能规划,主要为单功能桥梁如公路桥、铁路桥、轨道交通专用桥等;多功能桥梁如公铁两用桥、公轨两用桥等。在桥梁规划时需根据桥梁承担的不同功能,充分利用桥位资源,确定合理的桥墩位置与跨度以满足防洪、船舶通航和公路交通要求。

3 桥梁通航设计环节

3.1 通航试验

在桥梁通航安全设计环节中,需要考虑不同因素对通航的潜在影响,因此多采用试验来模拟计算桥区河段的通航水流条件,进而分析桥梁建设对船舶通航的影响,主要方法有物理模型试验、数学模型试验。

综上可知,通过进行物理模型试验或数学模型试验可以分析桥区水流泥沙特性,采用工程措施加以改善;论证船模速度等要素与桥梁净宽、净空等通航尺度的合理性,减少船舶撞桥事件的发生,是桥梁通航安全设计环节中的重要部分。

3.2 桥墩防撞设计

根据相关研究,近40年来长江上十余座大桥共发生172起船撞桥事故,长江流域船撞事故呈增长趋势,船撞桥概率与桥梁跨度、水流速度、现场可视范围等有关,尤其是水流流速较大时对船舶运行稳定影响最大。由此可见,长江上游复杂航段存在较大船撞桥风险,需在桥梁通航设计阶段考虑桥墩防撞相关设计。

余葵等^[17]采用物理模型试验的方法,通过分析船舶艏向角、漂角等船舶航行参数的变化以研究山区桥梁布设防撞装置对于船舶航行的影响,得出桥墩水流交角在 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 变化时对船舶影响较为明显。张贵宾等^[18]采用数值模拟方法对船桥碰撞进行有限元分析,验证新型防撞方案的防撞效果并选择填充沙粒作为防撞装置耗能材料。付旭辉等^[19]采用有限元计算方法判断桥墩结构是否满足防撞要求,并提出采用自浮式钢浮箱防撞装置、两引桥采用橡胶护舷进行防护的方案。余鸿等^[20]针对荆州长江公路大桥面临的航道等级高、代表船型大、水位落差大、墩身变截面等技术难点采用浮动式柔性钢套箱防撞设施进行防撞保护,并通过数值模拟方法验证了防护效果与设计方案的可行性。

3.3 航标设计

为保证桥区船舶通航效率,减少船撞桥事故的发生,桥区航标的科学配布是通航安全设计中的重要一环。对于山区复杂桥梁航道,上、下游水域应有足够长的引航段,两桥之间的航标过渡平顺、航标在标示船舶驶离桥区的同时能够正确引导船舶进入下一座大桥的桥区水域。山区河流桥区航道条件随水位变化大时还应分水位期设置,并采用增大航标尺度、增加视距等措施,配布方法如图5所示。

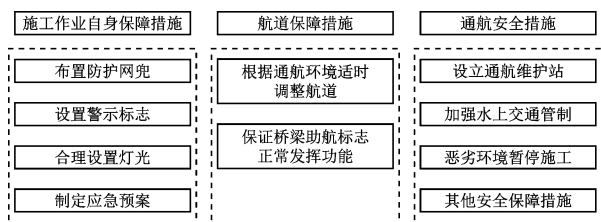


图5 连续设置航标配布方法

Fig.5 Method of continuous buoy setting

Matlab GUI开发平台构建了适应于三峡库区航标布设的分析系统平台。刘兴龙等^[22]研究山区航道布设虚拟航标基站的距离问题,推导得出船舶接收到基站信号的可靠性高于80%的航标基站布设间距模型。根据各自桥梁特点,长江上游桥区航标配布有着相应实例工程研究。

4 桥梁施工环节

桥梁施工中的临时栈桥、围堰、临时码头等临时设施对航道通航条件可能会产生一定影响,而涉水桥墩施工、材料运输作业、钢梁吊装施工等环节对航道通航安全也可能存在一定安全影响。因此,桥梁施工环节主要包括临时设施通航评价、施工通航保障与维护方案、施工期航标设计等内容。施工期航道尺度易发生变化,如何合理配布施工水域航标,保证桥区河段船舶通过能力,降低施工期通航条件变差造成的不良影响是桥梁施工环节的关键问题。相关研究中,蒋友祥等^[23]以永川长江大桥施工为例,给出包括施工期航标布置,钢梁施工与施工期通航保障在内一系列施工期安全保障措施及建议。李瀛等^[24]采用分类研究的方法,按照干线航道布置和河口地形特点对重要支流河口归类,并提出在整体航标布设的基础上设计相应的航标布设方案。

5 桥梁运维环节

桥梁运维环节主要包括通航安全核查与桥墩防撞防护维护。为了核查桥梁航评审核意见执行情况、施工临时设施及残留物的清除情况,桥梁建成后需要开展通航安全核查。桥梁防撞预警系统是桥墩防撞防护维护的重要组成部分,主要由超高监测单元、偏航监测单元、警示信息单元、视频监控及取证单元、水位监测单元、控制主机等系统单元及对应的系统分析软件和服务器组成。该系统利用雷达、AIS、视频监控等技术对过往船舶的高度和航行态势进行监控,通过对船舶的各项数据进行分析,实时监测船舶航行状态。一旦船舶发生违章超高或偏航事件,通过声、光等技术发出告警提示,同时通过VHF语音、AIS短信息警告风险船舶,并且自动拍摄录像记录事件,对过往船舶进行安全提示和预警,以对大桥结构安全进行保护。桥墩主动防撞系统方案如图6所示。

6 桥梁拆除环节

桥梁拆除环节中,桥面拆除吊装、涉水桥墩切割吊装、材料运输等施工环节对航道通航条件、通航安

相关研究中,曾科伟等^[21]基于Mysql数据库和

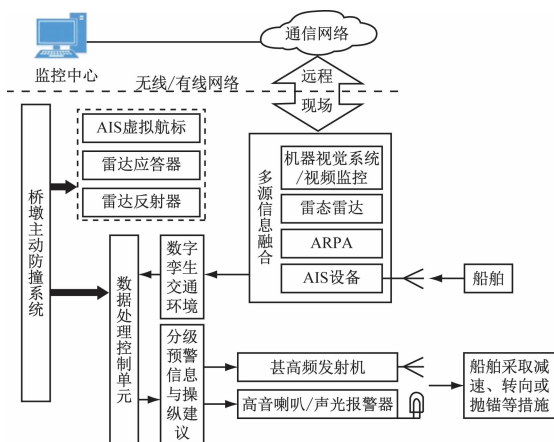


图6 桥墩主动防撞系统方案

Fig. 6 Pier active anti-collision system scheme

全可能存在一定的安全影响。为保障航道通航安全,桥梁拆除环节主要包括航道转换方案与通航保障方案,具体方案如下:为降低桥梁拆除对船舶通行的影响,在完成非主航道水域内的桥面或桥墩的拆除后,进行河道扫测,确保具有足够的航深、良好的水流条件后,实施航道转换,再进行主航道水域内的桥面或桥墩的拆除施工(如图7)。在满足通航安全的条件下,通过航道转换及相关通航安全保障措施最大限度降低桥梁拆除对船舶通行效率的影响。

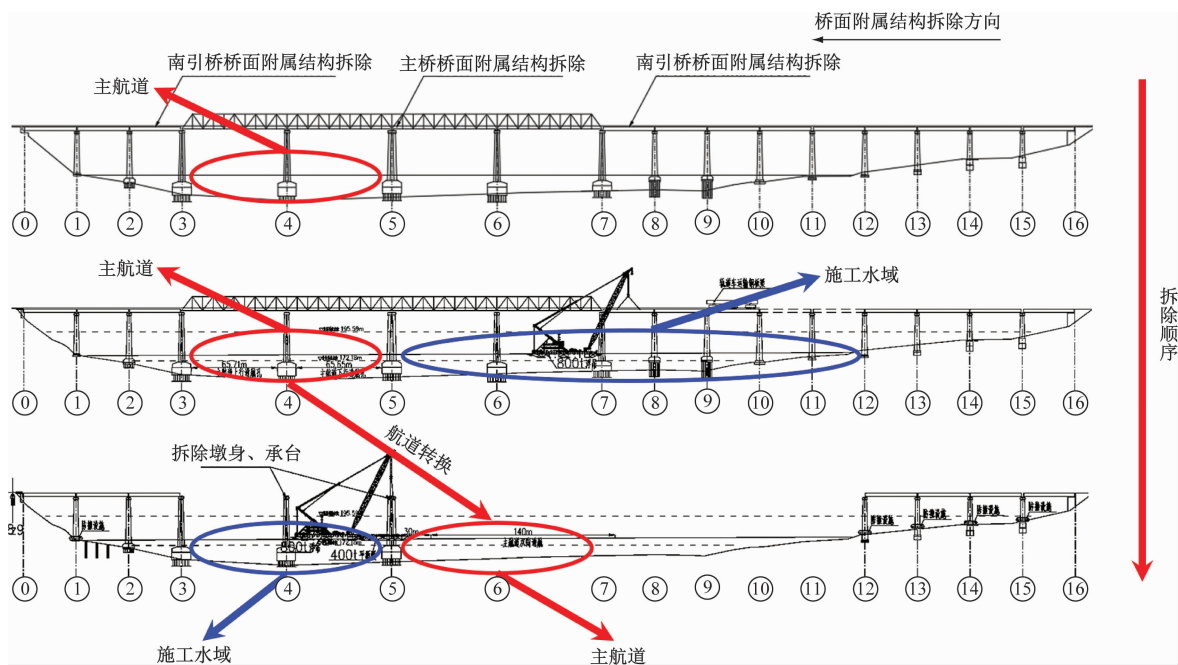


图7 桥梁拆除通航安全保障方案

Fig. 7 Bridge demolition navigation safety guarantee scheme

7 结论与展望

本研究针对长江上游航道复杂通航条件,提出桥梁全周期通航安全评价方法,并构建了适应长江上游山区复杂航道条件的桥梁全周期通航关键技术体系。结论与展望如下。

1) 构建了长江上游山区复杂航道全周期桥梁通航条件影响评价技术,适应不同水域、不同涉水工程特征,同时提出合理的防控和应急措施。该技术最大限度地缓解了长江上游山区航道上新建桥梁对航道通航条件和通航安全的影响,促进了国家综合立体交通网建设与长江黄金水道水路运输的协调发展。

2) 本研究包含的航道-船舶-桥梁仿真模拟技

术、桥墩防撞技术及航标设计等内容可以促进长江上游航道-航运数字化、信息化、智能化发展,有效缓解复杂航道桥梁修建与通航能力之间的矛盾,为长江黄金水道建设提供了必要的技术支撑,提高航道资源利用率。

3) 为适应内河航道高质量发展需要,建议开展面向智慧航运的内河生态航道网运能提升与高效服务的关键技术研发工作,强人类活动下航道通航安全、通航能力与陆面交通之间相互影响关系、船舶-桥梁-航道协同下航道全要素智联化构架体系等关键科学问题,并攻克桥梁-水沙条件下内河高等级航道网运能提升、融合航道扩能与生态效应的绿色航道建设养护、面向智慧航运的内河航道全要素智联与服务等关键技术。

参 考 文 献

- [1] 刘怀汉,杨胜发,曹民雄. 长江黄金航道整治技术研究构想与展望[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(2): 17-27.
LIU H H, YANG S F, CAO M X. Advances in 'Golden Waterway' Regulation Technologies of the Yangtze River [J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(2): 17-27. (in Chinese)
- [2] 李文杰,唐伯明,杨胜发,等. 长江上游黄金航道生态可持续发展评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(10):7-13.
LI W J, TANG B M, YANG S F, et al. Ecological sustainable development assessment of golden waterway in the upper Yangtze River [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2021, 40(10): 7-13. (in Chinese)
- [3] 李文杰,王皓,龙浩,等. 长江叙渝段航道最大开发尺度研究[J]. 水利水运工程学报, 2021(2):20-26.
LI W J, WANG H, LONG H, et al. Study on the maximum waterway dimension of the Yibin-Chongqing reach in the upper Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2021(2):20-26. (in Chinese)
- [4] 国家发展改革委. 长江干线过江通道布局规划(2020—2035年)[R/OL]. (2020-03-31) [2020-03-31]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-04/08/5500124/files/0dfd9795be8b47c2a6e3fcd19bfec723.pdf>.
National Development and Reform Commission. Layout Plan for Yangtze River Main Line Cross River Channels (2020-2035) [R/OL]. (2020-03-31) [2020-03-31]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-04/08/5500124/files/0dfd9795be8b47c2a6e3fcd19bfec723.pdf>. (in Chinese)
- [5] 邱文钦,唐存宝,唐强荣. 不确定条件下内河航道通航环境风险评价[J]. 中国航海, 2019, 42(1):52-55.
TANG W Q, TANG C B, TANG Q R. Navigation environment risk assessment of uncertain inland waterway [J]. Navigation of China, 2019, 42(1):52-55. (in Chinese)
- [6] 孔宪卫. 桥区水域船舶通航安全研究[D]. 天津:天津大学, 2020.
KONG X W. Study on safety of ship navigation in the waterway of bridge area [D]. Tianjin: Tianjin University, 2020. (in Chinese)
- [7] 中华人民共和国国家标准. 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.
National Standard of the People's Republic of China. Navigation standard of inland waterway: GB 50139-2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014. (in Chinese)
- [8] 赵志舟,陈明栋,林巧,等. 长江菜园坝桥群河段通航条件试验[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2012, 31(6):1240-1243.
ZHAO Z Z, CHEN M D, LIN Q, et al. Navigation condition experiment of caiyuanba bridge group reach of the Yangtze River [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2012, 31(6):1240-1243. (in Chinese)
- [9] 何进朝,李霞. 重庆南纪门长江大桥桥区河段通航水流条件模型试验[J]. 中国水运, 2021(12):124-126.
HE J C, LI X. Model experiments of navigation water conditions in Chongqing Nanjimen bridge over Yangtze River [J]. China Water Transport, 2021(12):124-126. (in Chinese)
- [10] 龚梁爽. 回头弯曲航道船模试验及数值模拟研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2023.
GONG L S. Research on ship model test and numerical simulation for turning back curved channel [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023. (in Chinese)
- [11] 蔡创,蔡新永,赵传波. 嘉陵江草街航电枢纽施工导流明渠通航船模试验研究[J]. 水道港口, 2010, 31(5):492-495.
CAI C, CAI X Y, ZHAO C B, et al. Research on navigable ship model experiment of Caojie Hydro-junction open diversion channel during construction period in Jialing River [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2010, 31(5):492-495. (in Chinese)
- [12] 须清华,张瑞凯. 通航建筑物应用基础研究[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
XU Q H, ZHANG R K. Basic research on the application of navigation structures [M]. Beijing: China Water & Power Press, 1999. (in Chinese)
- [13] 蔡创,龚梁爽,杨硕,等. 小半径弯曲航道整治船模试验及数值模拟研究[J]. 中国水运, 2023(9):90-92.
CAI C, GONG L S, YANG S, et al. Study on ship model test and numerical simulation for regulating small radius curved channel [J]. China Water Transport, 2023(9):90-92. (in Chinese)
- [14] 蔡创,李林,李科,等. 沅水桃源枢纽左岸船闸桥区船模通航条件试验研究[J]. 水运工程, 2024(3):74-81.
CAI C, LI L, LI K, et al. Navigation conditions of ship model test in left bank lock bridge area of Yuanshui Taoyuan hub [J]. Port & Waterway Engineering, 2024(3):74-81. (in Chinese)
- [15] 罗伟林,甘浪雄,邹早建. 桥墩附近流场分布及对通航船舶的影响[J]. 中国航海, 2014, 37(1):66-70.
LUO W L, GAN L X, ZOU Z J. Flow field in vicinity of pier and its effect on navigation ship [J]. Navigation of China, 2014, 37(1):66-70. (in Chinese)

- [16] HUANG J C, NIEH C Y, KUO H C. Risk assessment of ships maneuvering in an approaching channel based on AIS data [J]. *Ocean Engineering*, 2019, 173: 399-414.
- [17] 左潇懿,程亮,楚森森,等.南海海上搜救困难性评价[J].*热带地理*,2022,42(7):1138-1147.
ZUO X Y, CHENG L, CHU S S, et al. Difficulty assessment of maritime search and rescue in the South China Sea [J]. *Tropical Geography*, 2022, 42 (7): 1138-1147. (in Chinese)
- [18] SILJANDER M, VENALAINEN E, GOERLANDT F, et al. GIS-based cost distance modelling to support strategic maritime search and rescue planning: a feasibility study [J]. *Applied Geography*, 2015, 57: 54-70.
- [19] MANNARINI G, COPPINI G, ODDO P, et al. A prototype of ship routing decision support system for an operational oceanographic service [J]. *Transnav International Journal on Marine Navigation & Safety of Sea Transportation*, 2013, 7(1): 53-59.
- [20] 陈志伟,王鸿鹏.基于NSGA-II算法的福建省海港-陆港网络构建研究[J].*中国航海*,2023,46(1):114-119.
CHEN Z W, WANG H P. Construction of Fujian seaport-landport network by means of NSGA-II algorithm [J]. *Navigation of China*, 2023, 46 (1): 114-119. (in Chinese)
- [21] DEB K, PRATAP A, AGARWAL S, et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II [J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, 6(2):182-197.
- [22] 刘培德,秦西友.基于区间语言直觉模糊集及信息熵的TOPSIS方法[J].*经济与管理评论*,2018,34(3):87-94.
LIU P D, QIN X Y. An extended TOPSIS method based on interval-valued linguistic intuitionistic fuzzy numbers and information entropy [J]. *Review of Economy and Management*, 2018, 34(3): 87-94. (in Chinese)

(上接第15页)

- [16] 王磊.长江上游弯曲河道的形态特征及有效航宽研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
WANG L. Study on the morphological characteristics and effective width of curved channel in the upper reaches of the Yangtze River [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2018. (in Chinese)
- [17] 余葵,吴威力,刘宪庆,等.山区涉河桥墩布设防撞装置对通航的影响[J].*水运工程*,2022(6):119-126.
YU K, WU W L, LIU X Q, et al. Influence of anti-collision devices for skew bridge piers on navigation[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2022(6):119-126. (in Chinese)
- [18] 张贵宾,张绪进,郭昊天,等.张靖皋长江大桥南航道桥南塔防撞方案研究[J].*桥梁建设*,2024,54(2):16-21.
ZHANG G B, ZHANG X J, GUO H T, et al. Research on collision protection schemes of south tower of south navigation channel bridge of Zhangjiagang-Jingjiang-Rugao Changjiang River Bridge [J]. *Bridge Construction*, 2024, 54(2): 16-21. (in Chinese)
- [19] 付旭辉,田鹏,余葵,等.珠海淇澳大桥船撞能力评估及防撞设计[J].*科学技术与工程*,2021,21(10):4205-4210.
FU X H, TIAN P, YU K, et al. Assessment of the collision capability and collision prevention design of Qi'ao Bridge, Zhuhai, Guangdong [J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21 (10): 4205-4210. (in Chinese)
- [20] 余鸿,贾小龙,张俊立.大型通航桥梁防撞设施的设
计及分析[J].*公路*,2024,69(3):165-170.
YU H, JIA X L, ZHANG J L. Design and analysis of anti-collision facilities for large navigable bridges [J]. *Highway*, 2024, 69(3): 165-170. (in Chinese)
- [21] 曾科伟,毛熊磊,金健灵,等.基于大数据的三峡库区航标布设分析平台[J].*中国水运*,2021(10):72-74.
ZENG K W, MAO X L, JIN J L, et al. Analysis platform of navigation beacon layout in Three Gorges reservoir area based on big data [J]. *China Water Transport*, 2021(10):72-74. (in Chinese)
- [22] 刘兴龙,初秀民,马枫,等.山区航道虚拟航标基站布设间距研究[J].*哈尔滨工程大学学报*,2016,37(3):382-387.
LIU X L, CHU X M, MA F, et al. Base station spacing of virtual aids to navigation in mountain waterways [J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2016, 37 (3):382-387. (in Chinese)
- [23] 蒋友祥,文岑,张晓明.永川长江大桥施工期通航安全评估[J].*中国水运(下半月)*,2013,13(2):28-30.
JIANG Y X, WEN C, ZHANG X M. Navigation safety assessment of Yongchuan Yangtze River Bridge during construction period [J]. *China Water Transport*, 2013, 13 (2):28-30. (in Chinese)
- [24] 李瀛,曾乐,李有为.长江干线重点支流河口航标配布方案[J].*水运工程*,2019,(6):126-131.
LI Y, ZENG L, LI Y W. Distribution schemes of navigation marks for key tributary estuaries of the Yangtze River trunk line [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2019, (6):126-131. (in Chinese)