



三峡库区航道维护性疏浚技术方案分析*

刘辛愉, 苏丽, 邵伟峰, 王涛

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 针对175 m 试验性蓄水初期泥沙淤积碍航问题, 结合实测水文、河道地形资料、2010—2022 年度三峡库区航道维护性疏浚方案, 对三峡库区近十年来的航道条件变化、滩险碍航成因及疏浚技术进行全面分析。结果表明: 通过适当增加挖槽水深、“疏堵”结合等方法, 可利于卵石输移、保持航道稳定, 疏浚效果显著。在疏浚时机方面, 有效结合三峡水库调度及疏浚滩险特点, 合理安排施工时机, 既提高施工效率, 又可缓解施工与通航矛盾。

关键词: 三峡库区; 维护性疏浚; 175 m 试验性蓄水

中图分类号: U616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0187-06

Technical scheme of channel maintenance dredging in Three Gorges Reservoir area

LIU Xinyu, SU Li, SHAO Weifeng, WANG Tao

(Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Aiming at the problem of sediment deposition obstructing navigation in the initial stage of 175 m experimental impoundment, we make a comprehensive analysis of changes of channel conditions, causes of shoal navigation obstruction and dredging technology in the Three Gorges Reservoir area in the past ten years based on the measured hydrological and river terrain data, as well as the channel maintenance dredging scheme of the Three Gorges Reservoir area from 2010 to 2022. The results show that by properly increasing the water depth of the trench and combining dredging with blocking, it is beneficial to the transportation of pebbles, the stability of the channel and the remarkable dredging effect. From the perspective of dredging timing, the effective combination of the Three Gorges Reservoir scheduling and dredging beach risk characteristics, reasonable arrangement of construction timing, not only improve the construction efficiency, but also alleviate the contradiction between construction and navigation.

Keywords: Three Gorges Reservoir area; maintenance dredging; 175 m experimental impoundment

三峡水库175 m 试验性蓄水运行后, 回水末端上延至江津红花碛, 见图1。三峡水库蓄水期水位抬高、流速降低, 库区航道条件得到较大改善, 然而水库蓄水打破了天然条件下“洪淤枯冲”的规律, 汛后冲刷时间缩短, 汛期淤积的泥沙不能有效输移, 导致低水位期航道出浅碍航^[1]。近十余年来, 针对库区175 m 试验性蓄水初期泥沙淤积碍航问题, 《三峡后续工作规划》^[2]中安排专门

资金, 通过对重点碍航河段实施维护性疏浚, 保障消落期三峡库区航道畅通, 取得了很好的成果, 目前关于维护性疏浚主要是基于当年水文泥沙及河道地形资料, 对疏浚方案方面进行研究^[3-5]。本文在已有研究成果的基础上, 结合近十年来的维护性疏浚方案, 对三峡水库泥沙淤积特点、碍航滩险成因以及疏浚技术方法进行总结。研究成果可为库区航道日常维护及其他类似库区航道治理

收稿日期: 2023-11-29

*基金项目: 三峡后续工作科研项目 (SXHXGZ-2021-1)

作者简介: 刘辛愉 (1991—), 女, 硕士, 工程师, 从事航道整治工程设计。

提供技术支撑。

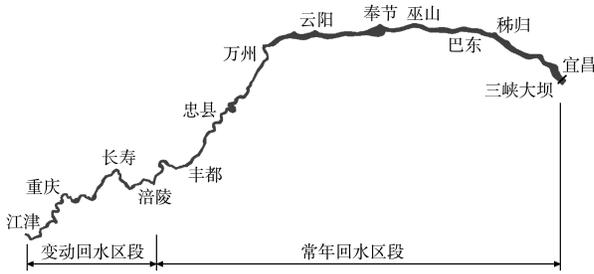


图1 三峡库区分段

1 水库调度与航道条件变化

1.1 调度方案

三峡工程初步设计提出的三峡水库运行方式为：175 m→155 m→145 m。水库年度蓄水可分为汛末蓄水期、蓄水运行期、汛前消落期3个阶段。通过分析三峡水库试验性蓄水期间实际调度(图2)可以看出，水库调度方式不断试验优化，具体体现在以下4点^[6]。

1) 三峡水库消落初中期(1—4月)在满足下游补水条件下，水库保持较高库水位运行。消落初期(1—2月)消落速度主要取决于当年满蓄情况与下游补水需求，消落中期(3—4月)消落速度主要取决于上游来水与下游补水需求。

2) 三峡水库汛期对洪水实施调蓄，特别是对中小洪水(流量低于3万 m³/s)调蓄，短时间蓄水位上升，对大洪水实施调蓄，蓄水位长时间抬高。如2010年坝前水位高于150 m时间约为34 d，2012年坝前水位高于150 m时间约为52 d。

3) 考虑到水库满蓄问题，三峡水库蓄水时间提前，由初步设计提出的9月30日蓄水提前至目前的9月10日蓄水。

4) 三峡水库起蓄水位均较汛限水位高。如2014年坝前起蓄水位最高，为162.88 m，比汛限水位高17.88 m；2009年起蓄水位较低，为145.60 m，仅比汛限水位高0.6 m。

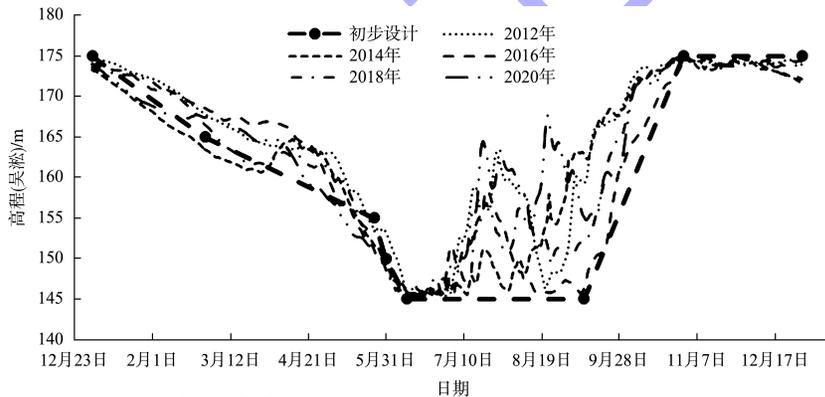


图2 三峡水库坝前水位变化过程

1.2 航道条件变化

1.2.1 维护标准变化

三峡库区航道维护性疏浚的维护标准是保障库区各段航道的尺度满足最小维护尺度，维护标准随着最小维护尺度的提高而提高。

表1 三峡库区航道维护尺度变化

河段	年度(阶段)	最小维护尺度/m		
		水深	航宽	弯曲半径
江津—羊角滩	2010—2014	2.7	50	560
	2015—2022	2.9	50	560
羊角滩—李渡	2010—2022	3.5	100	800
	2011—2020	4.5	150	1 000
李渡—万州	2020年12月起的汛期6—9月	4.5	150	1 000
	2020年12月起的非汛期试运行	5.5	150	1 000

1.2.2 航道条件变化

三峡水库的蓄水大幅改善库区航运环境，促进了长江航道船舶大型化、标准化，提高长江水路的运输效率。在三峡工程发挥巨大效益的同时，在局部时段、局部区段出现的泥沙淤积碍航问题，主要表现为：1) 变动回水区上段，受三峡蓄水影响天然航道冲淤规律被打破，河道泥沙冲淤过程发生改变，由天然河道“洪淤枯冲”的冲淤过程转化为汛期淤积、消落期冲刷，但消落期上游来流小，航道水深浅、流速小，冲刷强度弱，无法完全冲走淤积的泥沙，消落期主航槽流速和水深相对较大，输沙强度较大，造成枯水主航道成为泥

沙主要输移通道, 泥沙淤积和泥沙输移运动对航道条件影响很大, 极易造成船舶出浅碍航; 2) 变动回水区中下段, 由于汛期受坝前水位和上游来水交替影响, 主要淤积颗粒较大的卵砾石, 淤积速度相对常年回水区慢, 但淤积物颗粒较大, 汛后不易冲刷, 且汛后蓄水提前, 冲刷力度减弱, 造成淤积不断发展, 对航道尺度造成威胁; 3) 常年回水区河段, 全年均受三峡蓄水影响, 水深增加较大, 泥沙累积性淤积非常显著, 部分重点水道短期内出现主航道出浅碍航的现象, 其他重点

淤沙水道泥沙淤积不断侵蚀和压缩主航道, 可利用的航道尺度逐年缩窄^[7]。

2 碍航滩险成因

依据三峡水库变动回水区航道泥沙原型观测资料, 结合航道维护具体情况, 2010—2022 年三峡库区航道维护性疏浚共计完成 12 个水道(26 滩次)维护性疏浚工作^[8-9], 各年度维护疏浚实施情况见图 3。

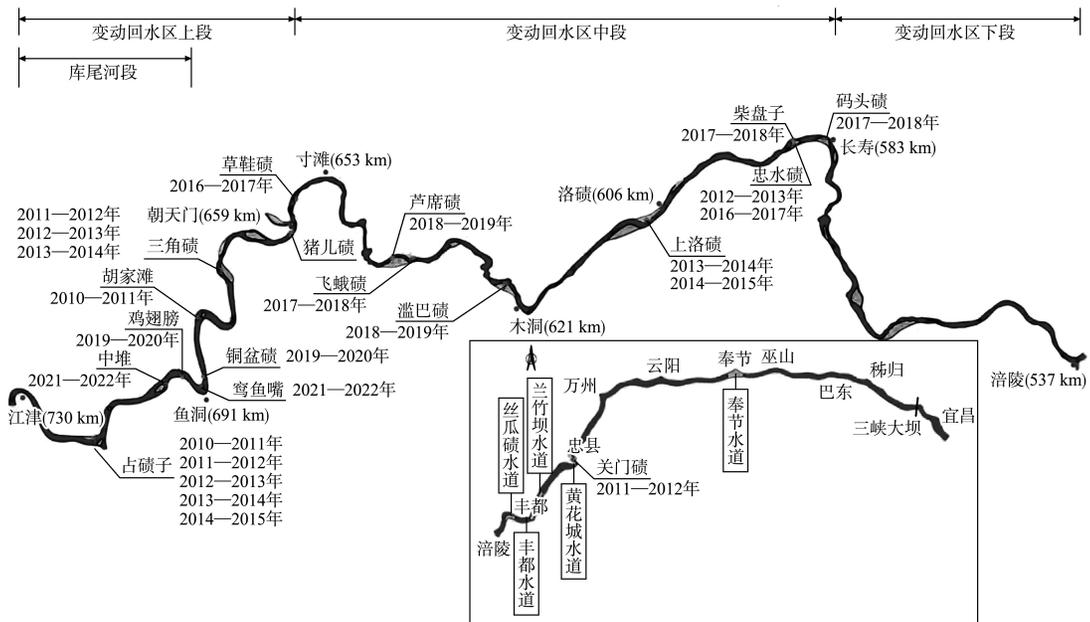


图 3 各年度维护性疏浚滩险

近年来通过连续开展三峡库区航道泥沙原型观测, 取得了系统成果, 支撑各年度维护性疏浚开展实施。从连续多年疏浚实施效果来看, 库区航道维护性疏浚是缓解泥沙淤积碍航问题的有效手段。2010—2022 年维护性疏浚实施过程中发现, 重点碍航河段主要有两种类型^[10-14]: 1) 两个浅滩间的过渡期浅区, 此类浅滩航槽布置沿用现行航槽布置即可, 如胡家滩水道胡家滩、朝天门水道草鞋碛、广阳坝水道芦席碛等; 2) 另一类浅滩是礁石与卵石

共存的滩险, 在三峡库区中存在较多此类滩险, 单从航道尺度上看, 满足最低维护尺度, 但由于礁石附近流态差, 船舶不宜靠近, 为避免与礁石触碰, 船舶航行期间应远离礁石航行, 但距离过远则易在浅滩河段擦浅, 因此有效航道尺度较小, 考虑到目前库区船舶的大型化, 此类滩险航槽布置应靠近卵石浅滩一侧, 扩大有效航道尺度, 为船舶航行留有更大的安全空间, 如长寿水道码头碛、木洞水道滥巴碛、巫木桩水道铜盆碛等, 见表 2。

表2 典型滩险维护疏浚情况

滩险类型	滩险	疏浚方案	疏浚工程量/万 m ³	疏浚效果
第一类 浅滩	胡家滩	疏浚胡家滩碛翅	6.10	保障了消落期航道尺度达到维护标准Ⅲ级航道维护标准(水深2.7 m、航宽50 m、弯曲半径560 m)
	草鞋碛	疏浚草鞋碛翅	6.29	疏浚后消落期航道尺度满足最小维护标准(水深3.5 m、航宽100 m、弯曲半径800 m),保障了2017年消落期草鞋碛航道畅通
	芦席碛	疏浚芦席碛翅	2.53	疏浚后消落期主航道尺度满足最小维护标准(水深3.5 m、航宽100 m、弯曲半径800 m),保障了2019年消落期芦席碛航道畅通
第二类 浅滩	码头碛	疏浚码头碛翅	9.68	疏浚后消落期航道尺度能够满足最小维护标准(水深3.5 m、航宽100 m、弯曲半径800 m),保障了2018年消落期码头碛航道畅通
	滥巴碛	疏浚滥巴碛脑	2.94	疏浚后消落期航道尺度满足最小维护标准(水深3.5 m、航宽100 m、弯曲半径800 m),保障了2019年消落期滥巴碛航道畅通
	铜盆碛	疏浚铜盆碛翅	2.12	疏浚后消落期航道尺度满足最小维护标准(水深2.7 m、航宽50 m、弯曲半径560 m),保障了2020年消落期铜盆碛航道畅通

3 疏浚技术与方法

1) 适当增加挖槽水深, 利于卵石输移, 防止回淤。考虑到疏浚过程中出现边疏浚边回淤的问题, 以及施工后航道内出现泥沙回淤, 在疏浚方案设计时考虑一定的备淤深度, 以减小泥沙回淤的影响。根据疏浚实施情况, 通过每年疏浚后效果分析, 提出三峡变动回水区疏浚备淤深度的设计参考值为0.3 m, 疏浚实施后航槽可保持相对稳定, 能够有效保障航道尺度。

疏浚滩险主要位于三峡水库变动回水区, 泥沙运动剧烈, 疏浚过程中存在边疏浚边回淤以及施工后航道内泥沙回淤的问题。在疏浚方案设计时考虑一定备淤深度, 增大设计水深, 以减小泥沙回淤影响。以胡家滩水道为例, 2009年消落期按照当年维护水深2.7 m设计和开挖, 开挖后当年即出现回淤, 疏浚效果仅能保持当年消落期, 第2年又出现维护尺度不足的情况。2010—2011年疏浚设计时, 就考虑增加备淤深度, 开挖深度达到3.0 m(当年维护水深2.7 m), 由于胡家滩泥沙输移通道位于主航道, 航槽开挖后, 上游输移泥沙能够顺畅的通过挖槽区输移到下游, 胡家滩3 m等深线变化见图4。疏浚后, 航道尺度能够满足最小航道维护尺度, 疏浚效果能够有效持续。2016年长江上游九龙坡—朝天门河段航道建设工程按水深3.5 m、航宽150 m、弯曲半径1 000 m的航道尺度对胡家滩实施综合航道治理, 治理后

该段航道尺度提升, 航道条件将明显改善。

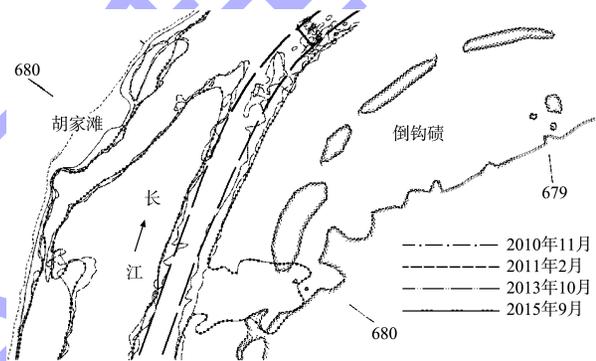


图4 胡家滩3 m等深线变化

2) “疏堵”结合, 增强主航道分流比, 巩固疏浚效果。在分汊河段采取疏浚和堵汊相结合的方法, 利用疏浚土堵塞分流汊道, 增强主航道分流比, 增大冲刷效果, 巩固疏浚效果, 维持航槽稳定, 使疏浚效果能有效持续。以占碛子为例, 大中坝将长江分为两汊, 占碛子位于左汊, 为主航道, 中洪水期右汊分流, 右汊粹鱼浩流速减缓, 造成航道淤积, 浅碛逐渐增大, 并不断形成新的淤积体, 汛后及枯水期淤积泥沙不能完全冲刷, 枯水期出浅碍航。2010—2011年对其实施维护性疏浚, 切除占碛子右侧碛翅浅区, 疏浚土弃于下游猫跳深槽, 但经过汛期后疏浚区泥沙大量回淤; 2011—2012年继续对其实施维护性疏浚, 疏浚部位与上一年度相同, 即切除占碛子右侧碛翅浅区, 该年度设计中采取疏浚和堵汊相结合的方法, 将疏浚土弃于右汊粹鱼浩, 利用疏浚土堵塞

分流的右汉,增强主航道左汉分流比,左右汉分流比为3:1,增大冲刷效果,巩固疏浚效果。后续年份疏浚实施情况及疏浚效果见图5、6。可以看出,2011—2012年疏浚后占碛子仍然存在疏浚区泥沙回淤现象,并于后续3年也连续进行了疏浚维护,但是回淤量明显减少,后续年份疏浚工程量逐年减少。占碛子水道2014—2015年维护性疏浚以来,疏浚后回淤不明显,主航道没有出现淤积,航槽保持相对稳定。

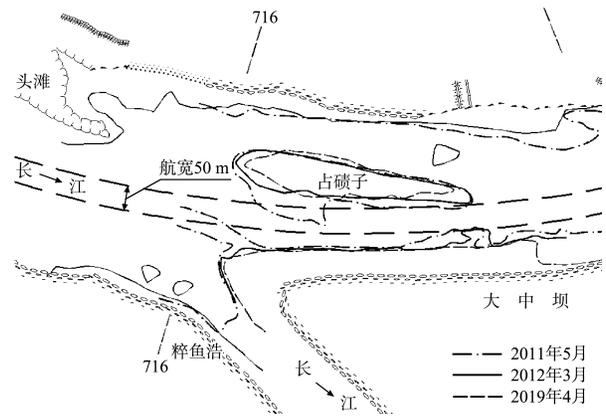


图5 占碛子3m等深线变化

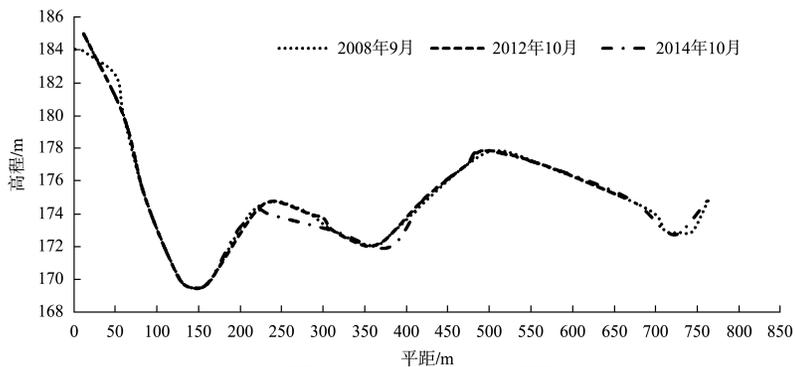


图6 占碛子典型横断面变化

3) 积极探索最佳疏浚时机,有效提高疏浚效率。2011年消落期2—3月对占碛子进行疏浚,此时占碛子已经转变为天然航道,且处于枯水期,施工区航道较窄,施工时船舶无法正常航行,进行了封航施工,导致大量船舶积压;在后续的疏浚设计中,提出在水道进入天然航道之前提前疏浚的措施,能有效缓解施工引起的通航矛盾,是解决消落期变动回水区航道问题的有效方法。但在最高水位期施工水深大,对施工机具要求较高,且施工效率相对较低、工程造价高。为了平衡施工期通航与工程费用的矛盾,在设计中加强来水来沙条件的分析,积极探索最佳施工时机,缓解施工与通航矛盾的同时,可以有效提高疏浚效率、降低工程费用。比如2012—2013年王家滩疏浚施工时机的安排,不再一味安排在12月—次年1月最高水位时施工,而是根据来流条件,结合疏浚工程量,安排在消落高水位期2—4月进行施工,此时航道条件能够满足施工期航道布置,同时施工水深最为适宜,能有效提高施工效率、降低工程

费用。

4 结论

1) 三峡水库175m试验性蓄水后,水深增加,大部分河段航道维护尺度得到提升,航道条件有较大改善,但在局部河段在消落期仍出现泥沙淤积碍航问题。

2) 针对175m试验性蓄水期泥沙淤积问题,通过对重点河段实施维护性疏浚,保障消落期三峡库区航道畅通,从连续多年疏浚实施效果看,库区航道维护性疏浚是缓解泥沙淤积碍航问题的有效手段。

3) 通过对2010—2022年三峡库区航道维护性疏浚经验进行总结,采用适当增加挖槽水深、“疏堵”结合等方法,可利于卵石输移,保持航道稳定,疏浚效果显著。

4) 根据疏浚滩险不同特点,结合三峡水库调度,合理安排施工时机,既提高施工效率,又减缓施工通航矛盾。

参考文献:

[1] 胡春宏. 三峡水库 175 m 试验性蓄水十年泥沙冲淤变化分析[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 18-26.

[2] 国务院三峡办. 三峡后续工作规划[A]. 北京: 国务院三峡办, 2011.

[3] 邵伟峰, 刘辛愉, 王涛, 等. 三峡库区变动回水区上段鱼洞水道中堆、鳊鱼嘴疏浚方案[J]. 水运工程, 2023(11): 126-130, 197.

[4] 王涛, 张璠, 刘天云, 等. 三峡水库变动回水区三角碛河段消落期维护疏浚方案[J]. 水运工程, 2015(1): 120-125.

[5] 苏丽, 王涛, 刘陈, 等. 三峡库区上洛碛河段消落期维护疏浚方案[J]. 水运工程, 2016(7): 158-164.

[6] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡库区航道泥沙原型观测(2009—2019 年度)总结分析[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2020.

[7] 袁晶, 许全喜, 董炳江, 等. 近 20 年来三峡水库泥沙淤积及其对库区的影响[J]. 湖泊科学, 2023, 35(2): 632-641.

[8] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡库区航道维护性疏浚总体方案(2011—2020 年)[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2011.

[9] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡库区航道维护性疏浚(2010—2022 年)项目验收设计单位工作报告[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2023.

[10] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡水库变动回水区航道维护性疏浚技术方案[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2011.

[11] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2014—2015 年度三峡库区航道维护性疏浚技术方案[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2014.

[12] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2017—2018 年度三峡库区航道维护性疏浚技术方案[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2018.

[13] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2018—2019 年度三峡库区航道维护性疏浚技术方案[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2018.

[14] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2019—2020 年度三峡库区航道维护性疏浚技术方案[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2019.

(本文编辑 王璁)



(上接第 186 页)

[5] AMAECHI C V, CHESTERTON C, BUTLER H O, et al. Review on the design and mechanics of bonded marine hoses for Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) buoys [J]. Ocean engineering, 2021, 242: 110062.

[6] AMAECHI C V, WANG F C, YE J Q. Numerical studies on CALM buoy motion responses and the effect of buoy geometry cum skirt dimensions with its hydrodynamic waves-current interactions [J]. Ocean engineering, 2022, 244: 110378.

[7] AMAECHI C V, WANG F C, YE J Q. Mathematical modelling of bonded marine hoses for single point mooring (SPM) systems, with Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) buoy application: A review[J]. Journal of marine science and engineering, 2021, 9(11): 1179.

[8] 李尚宇, 邓健, 马泽泰, 等. 面向内河船舶污染应急的溢油浮标系统[J]. 船舶工程, 2021, 43(7): 102-106.

[9] 田国昊, 谢磊, 祝添权, 等. 内河复杂航段船舶会遇场景及交通流特征分析[J]. 武汉理工大学学报, 2021, 43(11): 27-34.

[10] 徐晓明, 习倩倩, 张星星. 三峡库区航道高质量发展示范区建设方案研究[J]. 中国水运(上半月), 2022(4): 75-77.

[11] 叶应明, 施洪标, 毛睿, 等. 超高分子量聚乙烯材料在航标中的研究与应用[J]. 中国水运(上半月), 2022(7): 61-64.

[12] 马巧萍, 伞文豪. 浮鼓在三峡库区河段的研究与应用分析[J]. 中国水运· 航道科技, 2021(5): 45-50.

(本文编辑 赵娟)