



2022—2023 年度特殊水情下 三峡库区航道条件分析*

刘辛愉, 苏丽, 邵伟峰, 朱俊凤
(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 针对2022年汛期长江流域罕见的“汛期反枯”现象, 基于实测水沙资料及三峡水库变动回水区水位观测资料, 结合三峡坝前水位以及向家坝下泄流量资料, 进行2022—2023年度三峡库区航道条件特性分析。结果表明: 2022年汛期至2023年汛期三峡坝前长时间持续较低水位(155~160 m), 向家坝增大下泄流量期间, 变动回水区实际航道维护水深大于计划水深, 而减小下泄流量期间, 水深随之减小, 甚至出现了达不到计划维护尺度的情况。建议深入开展枯水期流域水工程联合调度研究工作, 根据实时水雨情信息及三峡调度情况, 在三峡坝前水位较低时(160 m以下), 科学精细化流域水工程联合调度, 进一步充分发挥水利工程应对流域旱情的航道效益。

关键词: 三峡库区; 特殊水情; 航道条件

中图分类号: U61; TV145

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)11-0160-07

Channel conditions in Three Gorges Reservoir area under special hydrological conditions from 2022 to 2023

LIU Xinyu, SU Li, SHAO Weifeng, ZHU Junfeng

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

Abstract: In view of the rare phenomenon of “anti-dry in flood season” in the Yangtze River Basin during the flood season of 2022, based on the measured water and sediment data and the water level observation data of the fluctuating backwater area of the Three Gorges Reservoir, combined with the water level in front of the Three Gorges Dam and the discharge data of Xiangjiaba, the characteristics of the channel conditions in the Three Gorges Reservoir area from 2022 to 2023 are analyzed. The results show that the water level in front of the Three Gorges Dam continues to be low (155–160 m) for a long time from the flood season of 2022 to the flood season of 2023. During the period of increasing the discharge of Xiangjiaba, the actual channel maintenance depth in the fluctuating backwater area is greater than the planned water depth, and the water depth decreases during the period of reducing the discharge. There are even cases where the planned maintenance scale is not reached. It is suggested to carry out in-depth research on the joint operation of river basin water projects in dry season. According to the real-time water and rainfall information and the operation of the Three Gorges Reservoir, when the water level in front of the Three Gorges Dam is low (below 160 m), the joint operation of river basin water projects should be scientifically refined to further give full play to the channel benefits of water conservancy projects to cope with the drought in the river basin.

Keywords: Three Gorges Reservoir area; special water regime; channel condition

三峡水库175 m试验性蓄水以后, 变动回水区末端上延至江津^[1](图1), 其中江津—涪陵李渡

河段为变动回水区段, 涪陵李渡—大坝河段为常年回水区段。

收稿日期: 2024-01-31

***基金项目:** 交通部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工作。

2 三峡水库调度运行

受2022年极端干旱天气影响,2022—2023年度三峡水库调度主要呈现2022年汛期水位低、坝前水位未蓄满,2023年消落期持续低水位运行的特点(图3)。

1) 2022年汛期:6月9日—6月24日,三峡水库坝前水位持续维持145~146 m低水位。主汛期7—8月,长江流域遭遇1961年以来最严重的气象干旱,长江流域降雨量较常年同期偏少四成半,为1961年以来历史同期最少,出现了罕见的“汛期反枯”;6月25日—8月15日,近2个月的时间,坝前一直维持146~149.5 m的较低水位;针对长江流域旱情发展,为遏制长江中下游干流水位的下降趋势,三峡水库加大下泄流量,于8月16日12时起向长江中下游补水,三峡水库坝前水位从147.23 m逐日消落,至8月22日上午8时三峡水库水位从147.23 m下降至145.81 m,5 d时间

水位下降1.42 m;8月22日—8月31日,坝前维持145~146 m低水位。整体上2022年7—8月坝前水位均较低,平均水位仅147.34 m,为175 m蓄水以来最低值。

2) 2022年蓄水期:9月10日三峡水库启动了汛后蓄水,受“汛期反枯”影响,起蓄水位仅147.94 m,低于往年同期。此后坝前水位缓慢抬升,但均低于典型调度线,11—12月坝前水位在159 m小幅波动,未超过160 m。

3) 2023年消落期:受2022年三峡水库未蓄满的影响,其坝前水位呈现出与以往年份不同的特点,2023年消落期1—5月上旬,水位持续在150~159 m之间波动,没有明显的水位消落;至6月中旬下降至2023年以来最低水位149.83 m,而低于150 m水位仅持续3 d(6月16日—6月18日),此后随着上游来流变化,水位随之变化,但均未低于150 m。

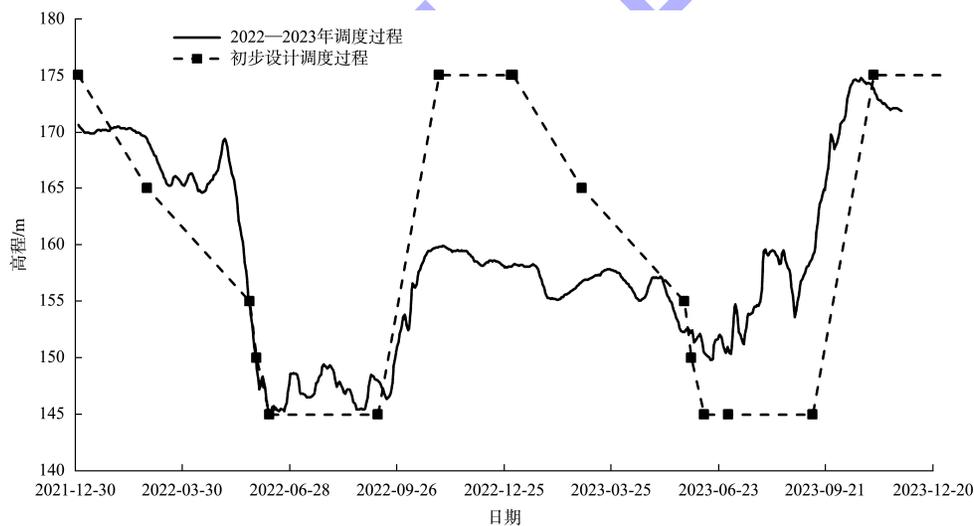


图3 2022—2023年度坝前水位变化过程

3 金沙江梯级水库对三峡库区航道的影

3.1 金沙江梯级水库调度运行概况

金沙江是长江上游的干流河段,目前三峡水库上游、金沙江下游已(在)建向家坝、溪洛渡、白鹤滩、乌东德四级梯级电站^[8](图4)。

向家坝水利枢纽为金沙江下游最后一个梯级,是影响三峡库区河段水文条件的重要因素。电站于2006年11月正式开工建设,2014年7月10日

全面投产发电。水库设计调度原则为:汛期6月中旬—9月上旬按汛期限制水位370 m运行,9月11日开始蓄水,9月底蓄至正常蓄水位380 m;10—12月一般维持在正常蓄水位或附近运行;12月下旬—6月上旬为消落期,一般在4、5月份来水较丰时段回蓄部分库容,至6月上旬末水库水位降至370 m。

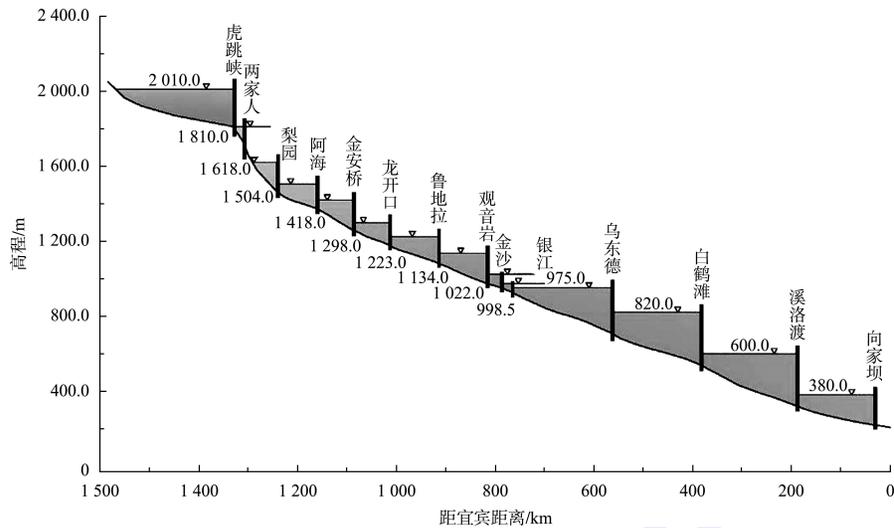


图 4 金沙江中下游梯级电站纵剖面

溪洛渡水利枢纽是金沙江下游干流河段的第 3 个梯级电站。于 2013 年 5 月 4 日开始第一阶段蓄水，2014 年 6 月 30 日电站所有机组全部投产。水库设计调度原则为：汛期（7 月—9 月 10 日）按汛期限制水位 560 m 运行；9 月 11 日开始蓄水，9 月底水库水位蓄至 600 m，每旬库水位平均上升 20 m；12 月下旬—5 月底为消落期，5 月底水库水位降至死水位 540 m。

白鹤滩水利枢纽是金沙江下游干流河段的第 2 个梯级电站。于 2021 年 4 月 6 日首次下闸蓄水，2021 年 4 月 5 日，坝前水位抬升至 660.35 m；4 月 10 日坝前水位抬升至 690 m；4 月 20 日坝前水位抬升至 720 m；4 月 30 日坝前水位抬升至 740 m；5 月中旬坝前水位抬升至 760 m；6 月逐步蓄水至 775 m；8 月底，在保障工程安全，库岸滑坡塌岸可控的条件下，库水位逐步抬升至 800 m，并维持至 2021 年 12 月底，各时段库尾回水水位稍高于坝前水位。2022 年 6 月 16 日白鹤滩水电站顺利通过蓄水至正常蓄水位 825 m 验收，2022 年 10 月 26 日蓄水至正常蓄水位 825 m。

乌东德水利枢纽是金沙江下游 4 个梯级电站的第 1 梯级。2015 年 12 月 24 日乌东德水电站全面开工；2020 年 6 月 29 日首批机组正式投产发

电；2021 年 6 月 16 日全部机组正式投产发电。乌东德水电站库区有防洪库容 24.4 亿 m^3 ，每年汛期前夕会将水位由正常蓄水位 975 m 降至汛期限制水位 952 m，腾出库容拦蓄洪水。

3.2 向家坝下泄流量变化

目前金沙江下游 4 级水库均已蓄水运行，对三峡库区航道条件产生了较为明显的影响。向家坝位于最下游一级，三峡库区航道条件受向家坝下泄流量变化影响明显。2022—2023 年度向家坝下泄流量变化特点(图 5)：

1) 2022 年蓄水期：9—10 月向家坝明显减小了下泄流量，由往年同期平均约 5 800 m^3/s 减小至 3 200 m^3/s ，11 月中旬—12 月向家坝加大了下泄流量为下游补水，特别是 12 月由往年同期平均约 2 200 m^3/s 增加至 3 500 m^3/s 。

2) 2023 年消落期：1—3 月向家坝整体增大了下泄流量，其平均下泄流量由往年同期的 2 300 m^3/s 增大至 3 800 m^3/s ，但在 1 月 20—25 日短暂降低下泄流量至 1 700 m^3/s ，随后 3—4 月向家坝下泄流量进一步减小，由 4 200 m^3/s 减小至 2 500 m^3/s 。

3) 2023 年汛期：6 月下旬—8 月上旬向家坝较往年同期减小了下泄流量，特别是 6 月下旬—7 月上旬下泄流量维持在 1 700~2 000 m^3/s 。

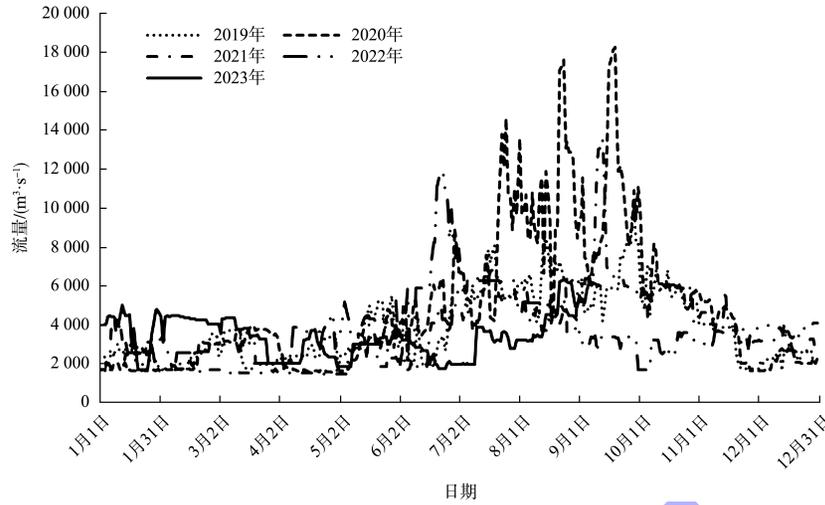


图 5 2019—2023 年向家坝下泄流量变化

4 2022—2023 年度特殊水情对三峡库区航道的影响

2022 年 6—10 月，长江流域平均降水量为 458.0 mm，较 30 a 均值偏少 30%，为 1961 年以来同期最少。另一方面，受持续高温少雨影响，长江干支流来水偏少，长江流域出现汛期流域性严重枯水的异常现象^[9]。

受上述特殊水情影响，库区航道条件呈现不同的变化特点，主要表现为增大下泄流量期间，实际航道维护水深大于计划水深，而减小下泄流量期间，水深随之减小，甚至出现了达不到计划维护尺度的局面。

4.1 2022 年汛期航道条件变化

2022 年汛期 7—8 月，三峡坝前水位持续 145 m 低水位^[10]，朱沱和寸滩流量虽然明显小于往年同期，但仍大于枯水期流量，因此该时段并未出现极端低水位情况；但 8 月中下旬三峡加大下泄流量为下游补水的时段，一些困难河段出现了航道尺度紧张、调标工作量增大的局面，如长寿水道由于为下游补水，从 8 月 16 日开始到 8 月 30 日水位持续降低，每天都需要调整航标适应航道尺度的变化，调标工作量增加；从 8 月 19 日持续到 8 月 30 日长寿水道水位维持在 152 m 以下的低水位，且 8 月 21 日—8 月 30 日持续 10 d 航道宽度小于维护航宽 100 m，最小维护 70 m(表 1)。

表 1 变动回水区不满足维护尺度的水道

水道	日期	实际维护尺寸 (深×宽)/ (m×m)	计划尺寸 (深×宽)/ (m×m)	天数/ d
鱼洞水道	2023-6-24—2023-6-25	2.9×50		5
	2023-6-26	3.4×50	3.5×50	
	2023-6-27	3.3×50	(6月)	
	2023-6-28	3.2×50		
朝天门水道	2023-1-26—2023-1-27	4.0×100	4.5×100	4
	2023-1-28—2023-1-29	3.8×100	(1月)	
长寿水道	2022-8-21	4.2×80		21
	2022-8-22—2022-8-29	4.2×70		
	2022-8-30	4.5×70		
	2022-9-10—2022-9-11	4.2×70		
	2022-9-12	4.3×65	4.0×100	
	2022-9-13—2022-9-14	4.2×65	(8—9月)	
	2022-9-15—2022-9-16	4.1×65		
	2022-9-17	4.2×65		
	2022-9-18	4.3×65		
2022-9-19—2022-9-20	4.2×65			

注：根据各航道维护部门公布数据绘制。

4.2 2022 年蓄水期航道条件变化

2022 年蓄水期为 9—12 月，由于 9—10 月向家坝明显减小了下泄流量(由往年同期平均约 5 800 m³/s 减小至 3 200 m³/s)，朱沱(由 1.3 万 m³/s 减小至 6 000 m³/s)、寸滩(由 1.9 万 m³/s 减小至 9 000 m³/s)流量也相应减小，加上坝前水位持续低于初步设计调度线，导致汛后蓄水期 9 月中旬变动回水区沿程出现了年内最小水位(图 6)，且均低于消落期水位；此时长寿水道又连续出现了航道尺度紧

张的局面, 9月10日—9月20日共持续 11 d 航道宽度小于维护航宽 100 m(表 1), 最小仅 65 m, 且每天需调整航标适应航道尺度的变化, 维护压力较大。随后 11 月中旬—12 月向家坝加大下泄流量为下游补水, 特别是 12 月由往年同期平均约 2 200 m³/s 增加至 3 500 m³/s, 朱沱流量由往年同期平均约 4 500 m³/s 增加至 5 600 m³/s, 寸滩流量由往年同期平均约 5 500 m³/s 增加至 6 300 m³/s, 重庆朝天门以上库尾河段的维护水深由计划 2.9 m 提高到实际 3.5 m。

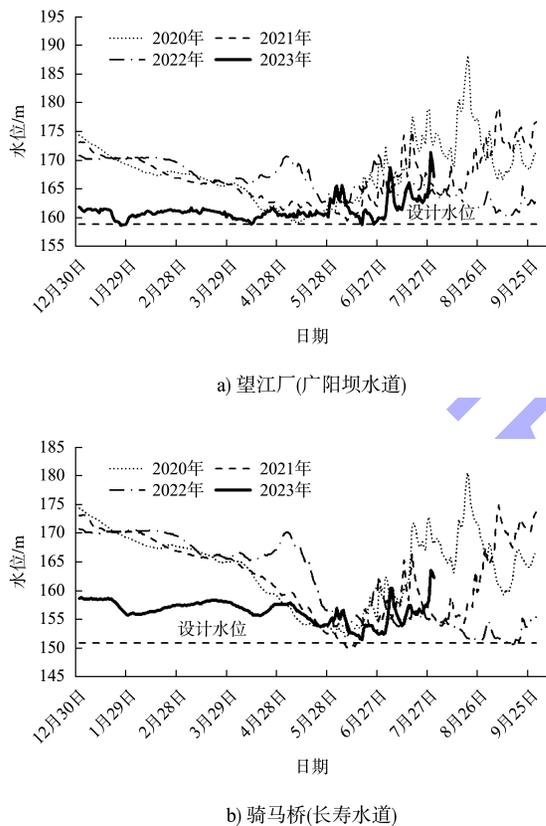


图 6 变动回水区典型水尺水位变化

4.3 2023 年消落期航道条件变化

2023 年消落期 1—5 月, 向家坝整体增大了 1—3 月的下泄流量, 其平均下泄流量由往年同期的 2 300 m³/s 增大至 3 800 m³/s; 但在 1 月 20—25 日向家坝短暂降低了下泄流量至 1 700 m³/s, 朱沱流量也随之减小至 3 700 m³/s, 寸滩流量减小至 5 050 m³/s; 向家坝降低下泄流量期间, 果园港以上库尾河段出现了低水位, 朝天门以上库尾河段仅能维持 2.9 m 最小维护水深, 朝天门以下朝天

门水道的航道尺度达不到维护尺度, 1 月 26 日—1 月 29 日共持续 4 d 航道水深小于当月维护水深 4.5 m, 最小水深仅 3.8 m(表 1); 其余时段由于来流增加, 库尾河段航道条件较好, 朝天门以上河段维护水深由计划的 2.9 m 提高到实际维护 3.5 m。另外, 由于 2—4 月向家坝下泄流量有一个减小的过程(4 200 m³/s 减小至 2 500 m³/s), 朱沱(5 800 m³/s 减小至 3 900 m³/s)、寸滩流量(7 000 m³/s 减小至 5 500 m³/s)随之减小, 大流量时上游输移的泥沙来不及冲刷, 落淤于朝天门以上库尾鱼洞水道鸢鱼嘴处, 造成该处 3.5 m 等深线从 2—9 月向航道内淤长了约 80 m。

4.4 2023 年汛期航道条件变化

2023 年汛期 6—8 月, 由于 1—6 月长江流域降水总体偏少, 中下游较为明显, 为保障中下游用水需求, 汛前坝前水位仅消落至 150 m, 比汛限水位高 5 m, 回水末端在长寿附近, 因此长寿以下河段均为库区河段, 总体航道条件较好。但 6 月下旬—8 月上旬向家坝较往年同期减小了下泄流量, 特别是 6 月下旬—7 月上旬下泄流量维持在 1 700~2 000 m³/s, 朱沱流量仅 3 400~3 600 m³/s, 寸滩流量 4 900~6 000 m³/s, 导致变动回水区又出现了低水位, 甚至鱼洞水道出现了航道尺度达不到维护尺度的局面, 6 月 24 日—6 月 28 日共持续 5 d 航道水深小于当月维护水深 3.5 m, 最小水深仅 2.9 m(表 1); 受持续低水位影响, 随后 7 月维护部门调整航道计划尺度, 变动回水区上段维护水深由往年同期的 3.7 m 调整为 2.9 m。

5 结论

1) 2022—2023 年度三峡水库按 175 m 试验性蓄水方案调度运行, 受 2022 年极端干旱天气影响, 2022—2023 年度三峡水库调度主要呈现 2022 年汛期水位低、坝前水位未蓄满、2023 年消落期持续低水位运行的特点。

2) 2022 年汛期—2023 年汛期三峡坝前长时间持续较低水位(155~160 m), 向家坝增大下泄流量期间, 变动回水区实际航道维护水深大于计

划水深, 而减小下泄流量期间, 水深随之减小, 甚至出现了达不到计划维护尺度的情况。

3) 建议深入开展枯水期流域水工程联合调度研究工作, 根据实时水雨情信息及三峡调度情况, 在三峡坝前水位较低时(160 m 以下), 科学精细化流域水工程联合调度, 进一步充分发挥水利工程应对流域旱情的航道效益。

参考文献:

[1] 胡春宏. 三峡水库 175m 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] 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.

[3] 雷雅文. 三峡水库变动回水区整体泥沙冲淤研究[J]. 人民长江, 2018, 49(S2): 1-5.

[4] 马浩平. 新水沙条件下三峡库区泥沙淤积变化规律研

究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.

[5] 肖毅, 杨胜发, 王涛, 等. 三峡水库蓄水初期库区航道条件分析[J]. 水运工程, 2019(11): 92-99, 138.

[6] 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.

[7] 胡江, 杨胜发, 王兴奎. 三峡水库 2003 年蓄水以来库区干流泥沙淤积初步分析[J]. 泥沙研究, 2013(1): 39-44.

[8] 长江重庆航运工程勘察设计院. 三峡工程库区航道泥沙原型观测 2022~2023 年度分析报告[R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2024.

[9] 长江重庆航运工程勘察设计院. 2021—2022 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, 2023.

[10] 张明波, 熊丰, 王栋. 2022 年长江流域汛期枯水情势分析[J]. 人民长江, 2023, 54(4): 1-6, 22.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 138 页)

4) 金沙江下游水库蓄水拦沙和增大枯水期下泄流量有利于改善三峡库区航道条件。一方面上游来沙锐减, 三峡水库泥沙淤积速度变缓, 由于泥沙淤积而碍航的情况得到缓解; 另一方面向家坝增大 1—5 月下泄流量, 朝天门以上库尾河段流量增加明显, 该段航道条件得以改善, 枯水期航道最小维护水深由 1—4 月的 2.7 m 提升至 12 月的 2.9 m, 而朝天门以下河段除了受上游干流来流影响外, 还受嘉陵江来流及坝前水位等的影响, 其航道条件受向家坝下泄流量的影响相对较小。

参考文献:

[1] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 53-89.

[2] 刘辛愉, 邵伟峰, 苏丽, 等. 三峡水库 175 m 试验性蓄水以来库区河床冲淤特性分析[J]. 水运工程, 2022(1): 95-99, 156.

[3] 肖毅, 杨胜发, 王涛, 等. 三峡水库蓄水初期库区航道条件分析[J]. 水运工程, 2019(11): 92-99, 138.

[4] 李文杰, 杨胜发, 付旭辉, 等. 三峡水库运行初期的泥沙淤积特点[J]. 水科学进展, 2015, 26(5): 676-685.

[5] 苏丽, 刘辛愉, 汪剑桥, 等. 三峡水库变动回水区洛碛河段年内冲淤变化过程[J]. 水运工程, 2018(4): 115-121.

[6] 肖毅, 杨胜发, 邵学军. 三峡水库水沙条件时序变化趋势研究[J]. 泥沙研究, 2017, 42(6): 22-27.

[7] 张毅, 刘勇, 张帅帅. 向家坝日调节运行对长江叙渝段航道维护影响研究[J]. 水运工程, 2017(1): 108-114.

[8] 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.

[9] 长江水利委员会水文局. 2020 年度三峡水库进出库水沙特性、水库淤积及坝下游河道冲刷分析[R]. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2021.

[10] 长江航道局. 长江干线航道养护管理基础资料汇编(2010—2020 年)[G]. 武汉: 长江航道局, 2011-2021.

(本文编辑 王传瑜)