



# 汛期反枯水情下长江上游航道养护对策

张 璐

(长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

**摘要:** 采用实测资料分析了长江上游近年的水沙条件变化, 认为2022年汛期反枯水情将给航道养护工作带来不利影响。通过总结近年的航道养护疏浚实践, 提出了长江上游航道养护疏浚工作主要存在重点浅滩不利演变趋势加剧、碍航浅滩数量增加、碍航时间和维护疏浚时机高度集中、疏浚组织难度大等问题。为应对可能出现的不利水文条件下多水道集中出浅问题, 提出加强中长期水情预测预报、对重点浅滩进行精准设计、采取将航道养护疏浚和整治建筑物维修相结合的综合养护方式, 可为航道养护和航道治理提供参考。

**关键词:** 长江上游; 浅险滩; 航道养护

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)08-0157-06

## Maintenance countermeasures in upper reaches of the Yangtze River under flood season drought

ZHANG Fan

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

**Abstract:** We analyze the changes in water and sediment conditions in the upper reaches of the Yangtze River in recent years based on the measured data. It is concluded that the flood season drought of 2022 can have adverse effects on waterway maintenance. By summarizing the practice of waterway maintenance and dredging in recent years, we point out that waterway maintenance in the upper reaches of the Yangtze River mainly has the following problems. The adverse evolution trend of key shoals is getting worse; the number of shoals obstructing navigation is increasing; the time of obstructing navigation and the timing for maintenance and dredging are highly concentrated; the organization for maintenance and dredging is difficult. To deal with the problem of concentrated shallowing in multiple channels under possible adverse hydrological conditions, we propose to strengthen the medium and long-term water regime forecasting, carry out the accurate design of key shoals, and adopt a comprehensive maintenance mode that combines waterway maintenance and dredging with the maintenance of waterway regulation structures, which can provide a reference for future waterway maintenance and regulation.

**Keywords:** upper reaches of the Yangtze River; shoal; waterway maintenance

长江干线航道全长2 843 km, 是世界上运量最大的内河水运通道之一。长江上游航道上起宜宾合江门, 下至宜昌九码头, 全长1 044 km, 是长江干线航道的重要组成部分。在三峡枢纽和金沙江向家坝等梯级电站运行后, 该段航道条件得到大幅改善, 但枢纽运行后的清水下泄、非恒定

流影响及库区累积性淤积问题仍不容忽视<sup>[1]</sup>。根据肖毅等<sup>[2]</sup>、刘辛渝等<sup>[3]</sup>的研究和养护疏浚设计工作总结, 近年来长江上游航道存在上段天然河床及洲滩冲刷演变加剧、下段三峡库区宽浅段累积性淤积凸显的不利变化趋势。

近年来, 长江上游航道枯水期存在香炉滩、

收稿日期: 2022-11-03

作者简介: 张璐 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程研究与设计。

小米滩、东溪口、弯鱼嘴等多处梗阻河段，严重影响了通航安全。开展航道养护疏浚是确保航道畅通的主要手段，据统计，一般水文年需开展重点浅滩养护疏浚约 10 余处，年养护疏浚工程量约 40 万  $m^3$ <sup>[4]</sup>。2022 年长江流域出现汛期反枯及汛后持续低水位的不利水文条件，航道养护工作面临新的更大困难。根据预测，长江上游航道的筲箕背、香炉滩、井口、小米滩、东溪口、苦竹碛、鱼洞、长寿等约 15 个水道将出现枯水期不满足维护尺度的碍航浅区，较近年一般水文年的数量增加约 50%。为保障航道畅通，合理组织养护疏浚工作，本文在总结分析近年长江上游水情变化及航道养护疏浚工作特点的基础上，结合重点浅滩演变特点，对不利水文条件下长江上游航道的养护疏浚对策进行探讨，旨在为航道养护工作预案编制和实施提供技术参考。

## 1 航道现状

长江上游为典型的山区河流，河床组成主要为砂卵石，间或有部分基岩。河段枯水期河面宽度大都在200~400 m，洪水期河面宽度在500~1 000 m，

个别河宽最宽可达 2 000 m。枯水期的水面流速一般为 2.0~3.0 m/s, 个别滩险河段可达 4.0 m/s, 平均纵比降 0.27%。在滩险河段, “斜流”、“滑梁水”、“泡漩水”等不良流态较为普遍。

图 1 为长江上游航道滩险分布。从航道维护尺度看, 目前宜宾合江门—重庆羊角滩河段最小维护尺度为  $2.9\text{ m} \times 50\text{ m} \times 560\text{ m}$  (水深  $\times$  航宽  $\times$  弯曲半径), 枯水期可通航 1 500 吨级船舶, 河段内有香炉滩、井口、小米滩、东溪口等重点碍航水道<sup>[5]</sup>。为了满足船舶大型化的要求, 适应沿江经济社会发展的需要, 并充分发挥航运效益, 该河段在中、洪水期利用自然水深提高了航道维护尺度。重庆羊角滩—涪陵李渡长江大桥段在三峡工程实现 175 m 蓄水后, 成为变动回水区河段。该河段具有库区和天然河流的双重特性, 目前最小航道维护尺度为  $3.5\text{ m} \times 100\text{ m} \times 800\text{ m}$ , 可常年通航 3 000 吨级船舶。近年来, 三峡变动回水区河段的弯鱼嘴、猪儿碛、草鞋碛、洛碛等部分滩段已发生累积性泥沙淤积, 消落期航道维护十分困难<sup>[6]</sup>。涪陵李渡长江大桥—三峡大坝为常年库区河段, 通航条件优良, 最小航道维护尺度为  $4.5\text{ m} \times 150\text{ m} \times 1 000\text{ m}$ , 可常年通航 5 000 吨级船舶。

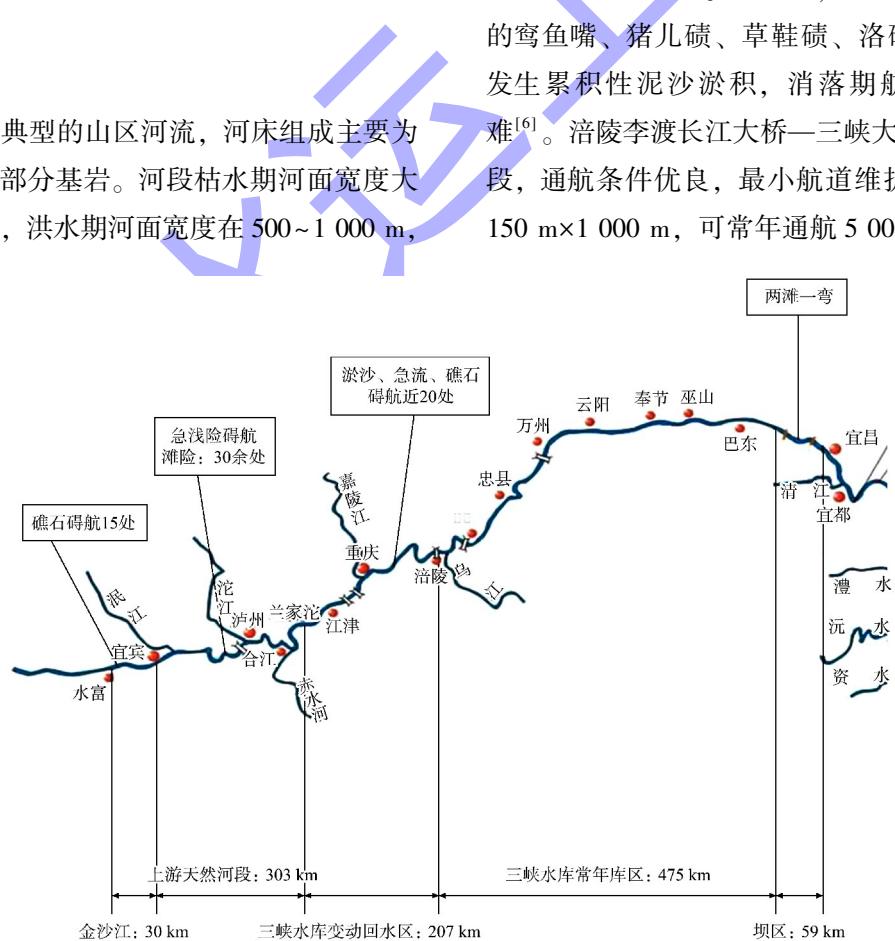


图 1 长江上游航道滩险分布

## 2 水情分析

### 2.1 年径流量变化

金沙江向家坝电站于2012年10月开始蓄水, 以2013年为节点分析向家坝蓄水前后长江上游水沙条件的变化。从向家坝(金沙江)、朱沱(长江)、寸滩(长江)水文站的年径流量统计情况看(表1), 向家坝蓄水后的2013—2021年各站年径流量平均值与多年平均值基本相当,

最大变幅是向家坝站径流量略有4.1%的下降, 总体则无趋势性变化。从各站间的比例看, 向家坝电站运行后的2013—2021年向家坝站平均年径流量占寸滩站的比例由多年平均的41.6%略降为39.4%, 朱沱站则基本稳定在77%。从近3a水情看, 2020年为大水年, 各站均值较2013—2021年偏大15.3%~20.9%, 其他年份总体相当。

表1 长江上游主要水文站年径流量统计值

| 水文控制站 | 多年                    |                       | 2013—2021年 |                     | 2019年  |                     | 2020年  |                     | 2021年  |  |
|-------|-----------------------|-----------------------|------------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|--|
|       | 平均径流量/亿m <sup>3</sup> | 平均径流量/亿m <sup>3</sup> | A变化率/%     | 径流量/亿m <sup>3</sup> | B变化率/% | 径流量/亿m <sup>3</sup> | B变化率/% | 径流量/亿m <sup>3</sup> | B变化率/% |  |
| 向家坝   | 1 435                 | 1 376                 | -4.1       | 1 344               | -2.3   | 1 586               | 15.3   | 1 229               | -10.7  |  |
| 朱沱    | 2 668                 | 2 693                 | 0.9        | 2 748               | 3.3    | 3 179               | 18.0   | 2 440               | -9.4   |  |
| 寸滩    | 3 448                 | 3 491                 | 1.2        | 3 577               | 4.1    | 4 221               | 20.9   | 3 605               | 3.3    |  |

注: 多年平均径流量统计年份: 向家坝站(屏山站)为1956—2020年, 朱沱站为1954—2020年, 寸滩站为1950—2020年; A变化率为相对多年平均值的变化, B变化率为各年份相对2013—2021年均值的变化; 年输沙量统计方法同年径流量。

### 2.2 年内流量分配变化

向家坝水文站1956—2012年实测最大流量为2.9万m<sup>3</sup>/s(1966-09-02), 最小流量为0.106万m<sup>3</sup>/s(1960-04-03)。向家坝运行以来的2013—2018年, 最小流量为0.142万m<sup>3</sup>/s, 最大流量为1.5万m<sup>3</sup>/s。对比可以看出, 枯水期最小下泄流量较蓄水前有所增加, 洪水期最大流量大幅减小。从向家坝蓄水前后向家坝水文站多年月平均流量及年内分配情况看(图2), 向家坝蓄水后, 枯水期1—4月平均流量增加, 5、11、12月流量变化不大, 汛期6—9月流量减小; 但从近年枯水期最低水位看, 并未随着平均流量增加而有所增大。

### 2.3 年输沙量变化

从向家坝、朱沱、寸滩水文站的年输沙量统计情况看(表2), 2013年后各站的年输沙量较多年平均值均大幅减少, 2013—2021年各站平均年输沙量较多年平均值分别减少99.3%、81.2%和76.7%, 说明向家坝蓄水对于减少长江上游河段的

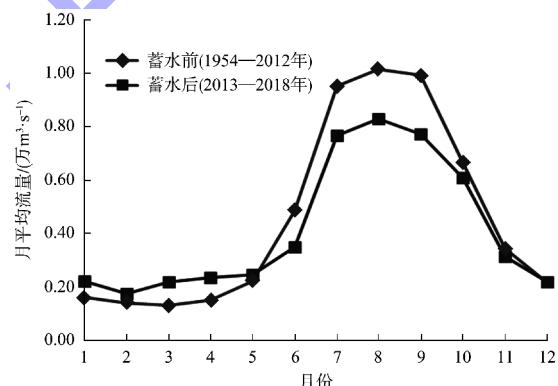


图2 向家坝蓄水前后向家坝水文站月平均流量对比

输沙量影响显著, 但由于清水下泄沿程冲刷以及区间来沙, 输沙量沿程逐步恢复。从各站间的比例看, 向家坝电站运行后的2013—2021年向家坝站平均年输沙量占寸滩站的比例由多年平均的58.4%下降为1.8%, 朱沱站则由71.1%下降为57.2%。从近3a输沙量看, 2020年大水年年输沙量较2013年来各站均值偏大108.5%~127.2%, 其他年份总体偏小。

表 2 长江上游主要水文站年输沙量统计值

| 水文控制站 | 多年平均输沙量/亿 t | 2013—2021 年 |       | 2019 年  |       | 2020 年  |       | 2021 年  |       |
|-------|-------------|-------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|       |             | 平均输沙量/亿 t   | 变化率/% | 输沙量/亿 t | 变化率/% | 输沙量/亿 t | 变化率/% | 输沙量/亿 t | 变化率/% |
| 向家坝   | 2.06        | 0.015       | -99.3 | 0.007   | -53.3 | 0.013   | -13.3 | 0.011   | -26.7 |
| 朱沱    | 2.51        | 0.471       | -81.2 | 0.449   | -4.7  | 0.982   | 108.5 | 0.229   | -51.4 |
| 寸滩    | 3.53        | 0.823       | -76.7 | 0.639   | -22.4 | 1.870   | 127.2 | 0.735   | -10.7 |

## 2.4 2022 年水情分析

从河段内泸州二郎滩航行水尺的水位过程来看(图 3), 2022 年 1—4 月枯水期与近年水情总体类似, 最低水位 0.61 m, 出现在 2 月上旬。1—6 月受枢纽调蓄和降水增加共同影响, 水位较近年同期偏高约 1.5 m。7—11 月水位偏低 0.83~3.77 m, 其中汛期 7—9 月分别偏低 2.08、3.26 和 3.77 m,

汛后 10 月偏低 2.50 m, 传统枯水期 11 月偏低 0.83 m。从寸滩水文站近年月径流量来看(图 4), 受枢纽枯水期流量补偿作用, 1—6 月月均径流量较多年平均值均有所提高, 2022 年偏多约 50%; 7—10 月则明显低于多年平均值和近年月径流量, 仅为多年平均值的 52%。



图 3 长江上游典型水尺水位日变幅对比

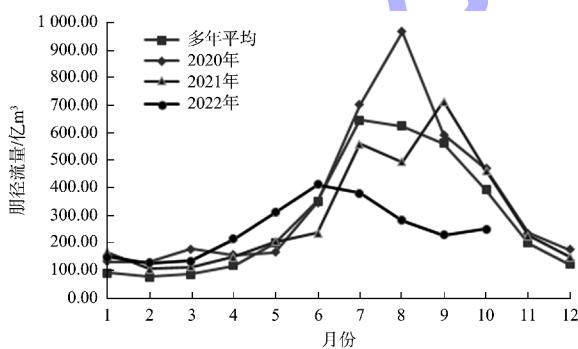


图 4 长江上游寸滩水文站月径流量对比

## 3 航道养护工作特点分析

1) 受多重不利因素影响叠加, 长江上游浅滩河段河床演变趋势有所加剧, 碍航浅滩数量增加。

近年金沙江下游白鹤滩、向家坝等水电梯级和岷江多个电站相继投用, 受清水下泄、电站日

调节非恒定流及人为活动等因素影响叠加, 长江上游宜宾—泸州段河床和洲滩逐渐冲刷下切, 如位于向家坝坝下约 90 km 的香炉滩水道, 从 2009 年与 2018 年滩段地形对比可见, 该水道南汊和江心打鱼碛洲滩冲刷严重, 从而导致北汊主航槽分流比从 80% 减小至同级流量下的 60%, 存在航槽内水位下降、实际水深不足和汛后冲刷动力不足的维护难题。从 2013 年起, 香炉滩水道在每届枯水期均需通过养护疏浚才能确保航道畅通。类似由于河道滩槽格局发生较大变化而导致航道条件恶化的还有小米滩、瓦窑滩、东溪口、温中坝等水道。

位于三峡水库回水区的重庆江津—涪陵段则由于三峡蓄水进程的不断推进, 累积性泥沙淤积

问题正逐步由库区向变动回水区延伸,致使该段航道内的苦竹碛、占碛子、鱼洞、猪儿碛、朝天门、长寿等水道航道出浅,在三峡消落期碍航问题日益突出,因而从2010年起对上述多处水道开展了维护疏浚。

2) 受浅滩年内冲淤演变特点和适用于山区河流的船机设备的工艺限制,开展航道养护疏浚的时机相对集中,点多线长的现状给航道疏浚组织带来巨大挑战。

长江上游航道中,三峡常年库区以上需维护航段564 km,历史上共有50余处重点碍航浅滩散布其中,经整治后目前存在重点维护浅滩20余处,多数滩险具有洪淤枯冲的河床演变规律,碍航出浅时段集中在11月至次年的4月。从河床地质看,长江上游主要为砂卵石河床,对其可挖性较好的航道疏浚设备主要为抓斗挖泥船,包括硬臂式和绳斗式。考虑长江上游汛期流速大、安全风险高及施工工效偏低、汛期回淤量大等问题,养护疏浚施工期主要安排在中枯水期,这就造成枯水期需维护里程长,疏浚滩段数量多,给航道养护疏浚的组织工作带来了巨大挑战。

2022年汛期水位明显偏低,汛后9—10月实测最低水位为1.3 m,已接近传统枯水期12月水位,香炉滩、小米滩、东溪口等浅滩部位实际水深较计划航道维护水深3.7 m和3.5 m均存在较大不足,需要采取调标和养护疏浚的措施来确保航道畅通。根据汛后实测地形核查,共计约15余处浅滩可能在枯水期集中碍航,对本年度疏浚设备的调度和养护疏浚组织提出了更高的要求。

#### 4 航道养护对策分析

1) 加强中长期水情预测预报,为航道维护尺度制定和航道养护提供先导性技术支撑。

近年的航道养护实践表明,长江上游航道受向家坝等枢纽调蓄的影响程度逐渐增大,多因素影响下航道演变趋于复杂。目前,长江航道系统

已开展了中短期的水位预测,航道维护尺度也实现了周预报,对船舶企业灵活配载带来了极大的便利。但从2022年的枢纽调度和水情分析看,目前的水位和航道条件预测周期偏短,不能有效指导航道维护尺度的制定、发布和航道养护工作的准备及组织,仍属于看水行船、被动养护的维护方式。因此,为变被动为主动,需进一步加强水文情势的中长期预报,并据此提前做好不利条件下的资金安排、设备调度、预案编制等工作,确保长江航道安全、畅通、高效。

2) 针对航道维护点多线长的难题,需结合不同类型滩段的演变特点和碍航程度,对重点浅滩进行精准设计,结合加密测量、调标等手段,做到突出重点、兼顾全域。

根据预测,不利水文条件下,长江上游航道的香炉滩、小米滩、东溪口等约15个水道将出现枯水期不满足维护尺度的碍航浅区。河床演变分析表明:①对于香炉滩、小米滩、东溪口等水道汛期淤积严重<sup>[7-8]</sup>、枯水期必定出浅碍航的滩段,可考虑在汛后退水初期9—10月即进场实施,一方面确保水位异常情况下的通航尺度,另一方面适度提前疏浚可提高退水期滩段冲刷能力,提高疏浚效率。②对于筲箕背、梭子碛等滩段,退水期在整治建筑物作用下汛期淤积物存在冲刷下移至下深槽的可能,可考虑在退水期加强观测和调标,疏浚时机以退水期结束时航槽实际水深确定。③对于弯鱼嘴等三峡变动回水区碍航滩段,10月以前该滩段具有一定冲刷能力,随着三峡蓄水推进,滩段流速减缓,逐渐形成累积性淤积。三峡消落期水位则快速回落,滩段航道条件非常复杂,加之重庆段船舶通航流量大,施工与通航矛盾突出。因此,该类型的三峡变动回水区淤积浅滩需在高水位期(蓄水期)开展养护疏浚工作,以保障航道畅通和正常的通航秩序。

3) 针对单纯疏浚回淤量大的浅滩,需采取多种养护手段的组合应用,以解决航道维护难题。

近年余家湾、小米滩等重点浅滩的养护疏浚实践表明,对于洲滩边界变化引起的碍航浅滩,单纯对航槽的养护疏浚难以改变滩段的冲淤演变规律,从而导致频繁出浅。因此对于这类浅滩,有必要在维护方案中考虑整治建筑物与疏浚的组合应用。如香炉滩水道余家湾滩段,由于支汊及江心洲滩滩面高程的降低,主航槽枯水期分流比大幅减小,在2014—2018年枯水期多次实施养护疏浚才能确保航道畅通。在2018年整治建筑物维修中,对支汊的冲刷坑采用抛石和四面体进行了护底,工程实施有效改善了余家湾滩段主航槽分流比,进口段的回淤程度也大幅减小。2018年10—12月维护疏浚后,进口段航道条件总体保持稳定。

## 5 结语

1) 向家坝电站蓄水运行后,长江上游年径流量较蓄水前无显著变化,输沙量减少约81%(朱沱水文站)。在电站的调峰填谷作用下,长江上游航道枯水期航道条件得到一定改善,但受电站非恒定流下泄影响,低水位值与蓄水前无明显提高。2022年受降雨偏少影响,长江上游出现了汛期反枯及汛后持续低水位的不利水文条件,给航道维护工作带来新的不利影响。

2) 从近年的航道养护疏浚实践看,长江上游航道受上下游枢纽运行和人为活动共同影响,上段向家坝坝下的浅滩河段河床演变趋势有所加剧,碍航浅滩数量增加;下段三峡库区累积性淤积凸显。受浅滩年内冲淤演变特点和适用于山区河流的船机设备的工艺特点限制,开展航道养护疏浚的时机相对集中于中枯水期,点多线长的现状给航道养护疏浚的组织工作带来了巨大挑战。

3) 为应对可能出现的不利水文条件下多水道集中出浅问题,针对目前航道水情预测周期

较短的问题,提出加强中长期水情预测预报,旨在为航道维护尺度制定和航道养护提供先导性技术支撑;针对航道维护点多线长的难题,提出结合不同类型滩段的演变特点和碍航程度,对重点浅滩进行精准设计,结合加密测量、调标等手段,做到突出重点、兼顾全域的养护思路;针对滩槽格局及河势变化大的滩段单纯养护疏浚难以改变河段的泥沙输移特点,需采取将航道养护疏浚和整治建筑物维修相结合的综合养护方式。

## 参考文献:

- [1] 张瑞瑾.河流泥沙动力学[M].2版.北京:中国水利水电出版社,2002.
- [2] 肖毅,张帅帅,杨胜发,等.长江上游采砂分布及破坏滩群恢复能力模拟研究[J].水运工程,2020(11):127-131,154.
- [3] 刘辛渝,邵伟峰,苏丽,等.三峡水库175m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.
- [4] 曾涛,樊书刚,李俊青,等.2022年度长江干线航道养护疏浚项目(合江门至丰都段)总体方案[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,2021.
- [5] 樊书刚,曾涛,包明金.长江上游斗笠子滩近期航道条件变化及维护对策分析[J].水运工程,2022(9):128-134.
- [6] 张璠,樊书刚,李俊青,等.2018年度长江干线航道维护疏浚项目(合江门至丰都段)鱼洞水道(弯鱼嘴)单项设计[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,2018.
- [7] 樊书刚,曾涛,李俊青,等.2022年度长江干线航道养护疏浚项目(合江门至丰都段)东溪口水道(庙角碛)单项设计[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,2022.
- [8] 曾涛,李俊青,刘岩,等.2022年度长江干线航道养护疏浚项目(合江门至丰都段)香炉滩水道单项设计[R].重庆:长江重庆航运工程勘察设计院,2022.

(本文编辑 王传瑜)