



长江下游福姜沙水道深水航道维护特性分析*

曾乐¹, 吴文刚², 蔡昊¹

(1. 长江上海航道处, 上海 200010; 2. 长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 针对福姜沙水道深水航道维护特性问题, 采用航道演变、水沙运动基本理论和实测维护量资料分析相结合的研究手段, 重点研究福姜沙水道近期航道维护量分布及其响应变化特征。研究表明, 在多年自然演变和人工治理工程控制作用下, 福姜沙水道已形成福中、福北和福南 3 条靠疏浚维护的航道并存的态势。上游径流量与航道内疏浚浅区回淤量总体呈良好的正相关关系, 航槽疏浚区呈现洪季回淤快、枯季回淤慢的特点。建议下阶段加强福北水道减淤措施研究。

关键词: 长江; 福姜沙水道; 航道维护; 水沙; 减淤

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)12-0181-04

Deep-water channel maintenance characteristics of Fujiangsha Waterway in lower reaches of the Yangtze River

ZENG Le¹, WU Wen-gang², CAI Hao¹

(1.Changjiang Shanghai Waterway Bureau, Shanghai 200010, China; 2.Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: Considering the deep-water channel maintenance characteristics of Fujiangsha Waterway in the lower reaches of the Yangtze River, this paper combines the basic theory of channel evolution and water-sediment movement and the analysis of the measured maintenance data to analyze the distribution of the recent channel maintenance of Fujiangsha Waterway and its response change characteristics. The results show that under natural evolution and the control of artificial management engineering for many years, Fujiangsha Waterway has formed a trend of the coexistence of three channels maintained by dredging, namely, Fuzhong, Fubei, and Funan. There is a good positive correlation between upstream runoff and dredging amount in the shallow dredging area of the channels, and the dredging area of the channels features fast dredging in flood seasons and slow dredging in dry seasons. It is suggested that the silt reduction measures for Fubei Waterway should be strengthened in the next stage.

Keywords: the Yangtze River; Fujiangsha waterway; channel maintenance; water-sediment; silt reduction

长江下游福姜沙河段河势见图 1, 在平面上呈现“两级分汊、三汊并存”的格局。河段进口鹅鼻嘴处江面宽 1.4 km, 河床窄深, 主流傍南岸, 至长山江面放宽至 4.1 km, 其后长江主流被福姜沙分为左右两汊, 右汊为鹅头形弯道, 长约 22.2 km,

江面宽约 950 m, 分流比约为 20%; 左汊顺直, 为主汊, 江面宽约 3 km, 长约 19 km, 分流比约为 80%。福姜沙左汊下段又被双涧沙分为福北水道和福中水道, 水流走福中水道至福姜沙尾和福南水道汇合, 进入浏海沙水道, 福北水道部分水流

收稿日期: 2022-04-04

*基金项目: 长江水科学研究联合基金(U2040221); 三峡后续工作项目(126302001000200002); 江苏省水利科技项目(2021004)

作者简介: 曾乐(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事航道航标管理工作。

经双涧沙进入浏海沙水道，部分进入如皋中汊。如皋中汊长约 10 km，江面宽 850~1 000 m，分流比约 30%；浏海沙水道江面宽约 2.5 km，分流比约 70%。浏海沙水道和如皋中汊在九龙港一带汇合，此处江面宽约 1.6 km。其后长江主流紧贴南岸，经九龙港至十二圩港，脱离南岸过渡到南通

姚港至任港一带，主流紧贴左岸顺通州沙东水道下泄。福姜沙河段受上游径流和下游潮汐共同影响，落潮流是塑造河床的主要动力，河床沙细易动，造床泥沙以底沙运动为主，临底悬沙参与造床，水沙条件复杂。

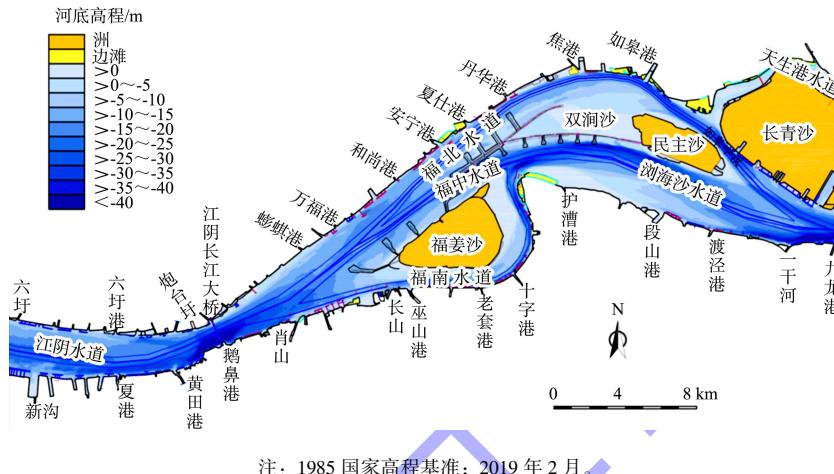


图 1 工程河段河势

为守护江中关键洲滩、稳定河势及航道条件，先后实施了双涧沙护滩工程（2010 年底开工，2012 年 5 月完工）和福姜沙水道 12.5 m 深水航道整治二期工程（2015 年 6 月开工，2019 年 5 月竣工验收后进入正式运行期），福北和福中水道为国家 12.5 m 深水航道，福南水道为地方进港航道。

1 近年航道演变分析

20 世纪 60—70 年代以来，一系列护岸、码头、深水航道整治等工程相继实施完成，且在鹅鼻嘴—炮台圩和九龙港等处有天然及人工节点控制，工程河段河势格局总体稳定。近年来，特别是三峡等枢纽工程蓄水运行后，上游来沙显著减少，新水沙条件下工程河段河床总体呈冲刷态势，河床稳定性总体有所提升。自 20 世纪 60 年代以来，福姜沙左汊分流比稳定在 80% 左右，且分沙比大于分流比。20 世纪 70—80 年代，如皋中汊迅速发展，90 年代以来分流比基本在 30% 左右，且分流比小于分沙比，见图 2。

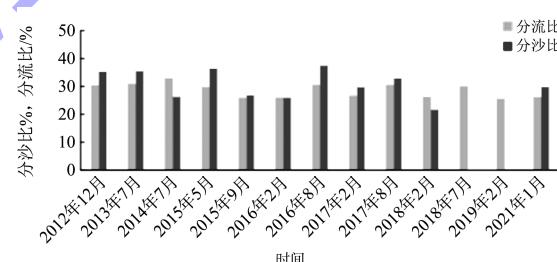


图 2 如皋中汊近期分流分沙比变化

福姜沙水道 2015—2021 年 12.5 m 等深线变化见图 3。

福北水道进口段和尚港—夏仕港段 12.5 m 槽受福北水道自身内部条件和外部双涧沙和靖江边滩变化（江阴以下至六助港）等影响显著，经常出现中断和摆动现象；夏仕港以下段 12.5 m 槽受弯曲水道水沙输移和人工维护疏浚影响，保持相对稳定态势，2018 年深水航道工程实施后福北水道进口段和弯顶焦港段附近经常需要维护疏浚才能保证航道畅通运行；如皋中汊本世纪以来 12.5 m 槽总体较为稳定，但出口段受来水来沙等影响，有时出现 12.5 m 槽中断现象。

福中水道的发展变化与双涧沙沙体发展变化密切相关，自 2006 年双涧沙滩面窜沟形成发展以来，福中水道 12.5 m 槽逐步拓宽延展。随着 2012 年双涧沙守护工程和 2018 年福姜沙水道深水航道整治双涧沙头部和福姜沙左缘丁坝工程实施后，福中水道 12.5 m 槽平面位置相对稳定，2018 年以来发展态势呈趋缓态势。受双涧沙下段和民主沙右缘冲刷后退影响，浏海沙水道上段 12.5 m 槽坐弯有

所北偏，下段 12.5 m 槽受民主沙尾部和护漕港边滩尾部冲淤变化影响，稳定性相对较差，年际间冲淤有所摆动。

福姜沙右汊福南水道分流比多年来维持在20%左右，12.5 m 槽深槽总体相对稳定，年际间受来水来沙影响，存在小幅的冲淤变化，进口段巫山港 12.5 m 槽一直中断，弯顶段 12.5 m 槽时有冲淤变化。

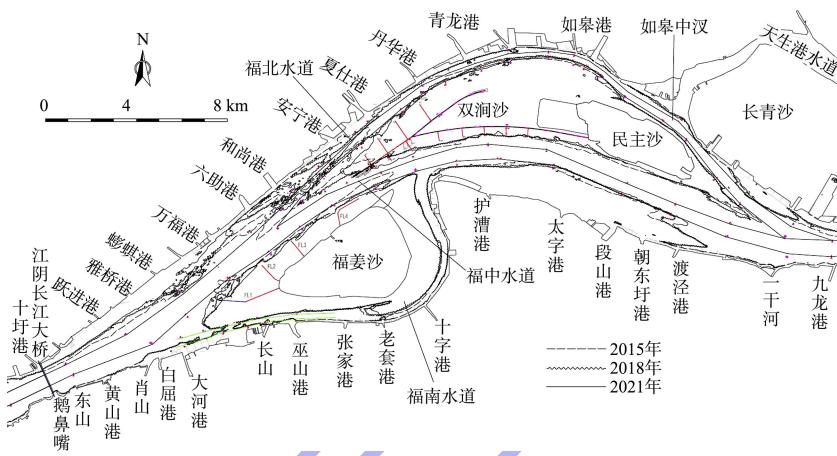


图 3 2015—2021 年福姜沙水道 12.5 m 等深线变化

2 近年航道维护情况

福姜沙河段从左到右依次为福北水道(含如皋中汊)、福中水道(含福姜沙左汊进口、浏海沙水道)、福南水道,见图1。福姜沙水道的最小维护尺度为:1)福北水道 $12.5\text{ m} \times 260\text{ m} \times 1500\text{ m}$ (水深 \times 航宽 \times 弯曲半径,下同);2)福中水道 $12.5\text{ m} \times 420\text{ m} \times 1500\text{ m}$ 、浏海沙水道 $12.5\text{ m} \times 500\text{ m} \times 1500\text{ m}$;3)福南水道巫山港以上理论最低潮面下 $10.5\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$ 、巫山港以下 $12.5\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1050\text{ m}$ 。

2018年1—4月南京以下12.5m深水航道工程处于航道疏浚基建期，2018年5月交工验收进入为期1a的试运行阶段，2019年4月底竣工验收进入正式运行阶段。2019—2021年南京—浏河口深水航道年维护量平均约2178万m³，其中福姜沙水道航道维护量约占50%，平均约1059万m³；福北水道航道维护量平均约945万m³。福北水道维护部位主要位于福北水道进口段安宁港、弯顶段焦港和出口段民主沙尾附近。

3 航道维护特性分析

福姜沙水道 12.5 m 深水航道的维护疏浚浅区主要集中在福北水道，其碍航因素主要有以下几个方面：1) 福姜沙左汊相对较宽，河床活动性较大，滩槽变化频繁。2) 靖江边滩仍处于自然状态；在特定水情、地形条件下，靖江边滩切割形成活动心滩，下移进入福北水道淤塞航槽，从而形成碍航；心滩下移过程中，部分并靠双涧沙、部分经福北水道下泄，在此过程中，沙体跨越航槽造成大幅淤积。3) 在弯道环流作用下，泥沙输移至凸岸，使得焦港一带航槽宽度不足^[1-2]。

福北水道受上游径流和下游潮汐的共同作用，水流泥沙运动及河床演变、航道演变规律十分复杂，水中悬沙组成以黏性细颗粒泥沙为主，河床底质组成以粉细沙为主，底沙中值粒径为 $0.10\sim0.25$ mm，航道内回淤泥沙来源主要是底沙和悬沙中的部分床沙质，其中以底沙运动回淤为主。就上游来水来沙影响因素而言，航槽开挖后总体呈现泄季同淤快、枯季同淤慢的特点，汛期较大流

量作用下,水流动力强劲,水体悬沙挟沙能力、底沙输沙率均将加大,从而增大了心滩冲淤变化速度和碍航淤积量^[3-5]。

实测水文资料分析表明,上游来水增大后,来沙量也相应增大,南京以下河段水体含沙量总体呈增加态势,且航槽内水流动力相应有所增加。

根据窦国仁底沙单宽输沙能力公式对南京以下河段水沙输移关系分析:

$$N_b = \frac{0.1}{C_0^2} \cdot \frac{\rho_s \rho}{\rho_s - \rho} (v - v_c) \frac{v^3}{gw} \quad (1)$$

式中: N_b 为底沙输沙量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$); C_0 为谢才系数; ρ_s 为底沙密度(kg/m^3); ρ 为水的密度(kg/m^3); v 为水流流速(m/s); v_c 为底沙起动临界流速(m/s); w 为底沙沉速(m/s)。

由公式(1)可见,底沙输沙率与水流流速呈 4 次方关系,因此水动力增加后,河床底沙活动性将有所增强,底沙运动引起的航槽内河床冲淤变化幅度将增大。

根据福北水道 2018 年 6 月—2021 年 7 月深水航道运行以来实测维护疏浚资料分析,航道维护月疏浚量与上游大通站月平均流量存在较好的正相关关系,见图 4。总体来说,随着上游径流量的增大,航道维护疏浚量呈增加趋势^[6]。研究成果可为航道疏浚施工船只力量配备等提供技术支持。

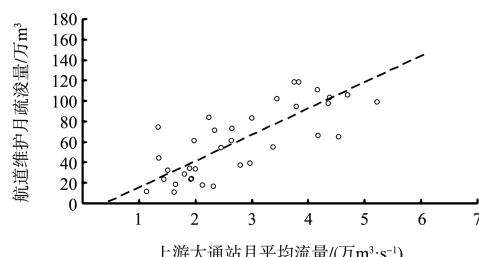


图 4 福北水道月维护量与月平均流量关系

4 结论

1) 福姜沙水道总体为藕节状弯曲多分汊河型,受上游径流和下游潮汐共同影响,落潮流是塑造河床的主要动力,造床泥沙以底沙运动为主。

2) 在多年自然演变和人工控制工程作用下,福姜沙水道基本形成了两级分汊、三槽两沙交错的总体河势格局,已形成福中、福北和福南 3 条靠疏浚维护的航道并存的态势。福北水道流路长、泄流阻力大,进口段和弯顶段航槽稳定性差,年维护量大。

3) 当上游径流来水较大时,来沙量也相应较大,航道内疏浚浅区总体回淤量同步增大,航道维护量也相对较大,航槽疏浚区总体呈现洪季回淤快、枯季回淤慢的特点。

4) 建议加强靖江边滩的动态监测分析研究,深入研究福北水道减淤措施,以缓解深水航道维护压力。

参考文献:

- [1] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 陈晓云. 福姜沙水道深水航道选汊分析[J]. 水运工程, 2014(3): 1-7.
- [3] 夏云峰, 徐华, 闻云呈, 等. 长江福姜沙、通州沙和白茆沙河段深水航道整治关键技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [4] 夏云峰, 闻云呈, 徐华, 等. 长江河口段水沙运动及河床演变[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [5] 杜德军, 夏云峰, 闻云呈, 等. 福姜沙水道双涧沙守护工程水动力特性[J]. 水运工程, 2015(4): 1-7.
- [6] 徐华, 王晓俊, 张帆一, 等. 2022 年度长江西陵以下深水航道维护量预测分析报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2021.

(本文编辑 王传瑜)