

· 航道及通航建筑物 ·



长江南京以下 12.5 m 深水航道治理工程 福姜沙水道整治工程效果对比分析

付 桂^{1,2}

(1. 交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003; 2. 上海航鸿工程管理有限公司, 上海 200137)

摘要: 为达成长江口深水航道上延至南京的目标, 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程在福姜沙水道实施航道整治工程, 主要包括福姜沙左缘丁坝、双涧沙头部潜堤、潜堤北侧丁坝及南侧丁坝。根据福姜沙水道航道整治工程实施后的实测数据, 与设计阶段数物模预测结果进行对比分析, 综合分析工程前后在河势变化、流场变化、航道维护量等方面实现情况。结果表明: 1) 工程实施以后, 双涧沙沙头冲刷趋势得到较好的控制, 上游侧沙头及潜堤北侧丁坝附近淤积明显, 沙体体积明显增大。2) 福姜沙左缘中上段冲淤相对稳定且总体呈现淤积态势, 下段局部存在冲刷。福姜沙左缘沙体体积及面积总体有所增大, 整治工程护滩固沙效果较好。3) 福姜沙水道整体分流格局未发生显著变化, 仅整治建筑物周边水域流场存在调整。4) 航道维护量有所增加。工程达到了预期的航道整治目标, 工程治理方案合理, 航道整治效果符合预期, 可为长江中下游潮汐分汊河段航道整治提供参考。

关键词: 长江南京以下 12.5 m 深水航道; 福姜沙水道; 航道整治; 整治工程; 效果分析

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)01-0104-07

Comparative analysis on the effect of Fujiangsha waterway regulation project of 12.5 m deepwater channel project in the Yangtze River below Nanjing

FU Gui^{1,2}

(1. Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOC, Shanghai 200003, China;

2. Shanghai Hanghong Engineering Management Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract: In order to reach the goal of extending the deepwater channel to Nanjing, the navigation channel regulation projects were carried out at Fujiangsha waterway by the phase II of 12.5 m deepwater channel project in the Yangtze River below Nanjing. Regulation project is mainly including spur dike at the left edge of Fujiangsha, submerged dike at the head of Shuangjiansha, spur dike at the north side of submerged dike and spur dike at the south side. Based on the measured data after the implementation of the channel regulation project of Fujiangsha waterway, this paper makes a comparative analysis with the predicted results of the digital and physical model in the design stage, and comprehensively analyzes the realization of river regime changes, flow field changes, and channel maintenance volume and other aspects before and after the project. The results show that: 1) After the implementation of the project, the scour trend of Shuangjiansha head has been well controlled. So the siltation near the sand head on the upstream side and the spur dike on the north side of the submerged dike is obvious, and the volume of sand body is obviously increased. 2) The scour and siltation in the upper middle section of the left edge of Fujiangsha is relatively stable and generally presents the siltation trend, and there is scour in the lower part. The volume and area of sand body on the left edge of Fujiangsha are generally increased. Remediation project has better effect of bank protection and sand fixation. 3) The overall distributary pattern of Fujiangsha waterway has not changed

significantly, only the flow field around the regulation building has been adjusted. 4) The amount of channel maintenance has increased. The project has achieved the expected goal of channel regulation, the project regulation scheme is reasonable, and the effect of channel regulation is in line with the expectation. It can be used as a reference for channel regulation of tidal branches in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Keywords: 12.5 m deepwater channel in the Yangtze River below Nanjing; Fujiangsha waterway; navigation channel regulation; regulation project; effect analysis

长江南京以下 12.5 m 深水航道工程是国家打造黄金水道、建设长江经济带的重点工程。根据长江黄金水道建设总体推进方案, 长江南京以下 12.5 m 深水航道建设工程按照“整体规划、分期实施、自下而上、先通后畅”的治理思路分期实施^[1-2]。其中, 一期工程建设范围为南通天生港区至太仓荡茜闸, 建设标准为 5 万吨级集装箱船实载全潮双向通航, 一期工程于 2012 年 8 月开工, 2015 年 12 月竣工验收; 二期工程建设范围为南京新生圩港区至南通天生港区, 建设标准为 5 万吨级集装箱船实载双向通航; 二期工程于 2015 年 6 月开工, 2016 年 7 月实现初通, 2018 年 4 月底交工验收并进入试运行期^[3]。

二期工程整治河段里程长, 整治河段受径流、潮汐双重作用, 水动力条件复杂, 局部河段宽浅, 水下沙体活动较活跃, 工程河段河床演变较复杂。同时, 在整治建筑物实施过程和完工后, 因所处水下地形与边界条件的变化, 整治建筑物周边冲淤环境将产生相应调整。为对二期工程实施后的治理效果进行评价, 及时总结分析相关经验和不足, 并为后续工程提供指导, 开展长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程整治效果分析研究十分必要^[4-6]。

二期工程河段全长 227 km, 在长江下游福姜沙、口岸直、和畅洲和仪征水道实施航道整治工程, 使 12.5 m 深水航道由南通天生港区上延至南京新生圩港区。本文重点研究福姜沙水道, 根据航道整治工程实施后的实测数据, 与设计阶段数物模预测结果进行对比分析, 综合分析工程前后在河势变化、流场变化、航道维护量等方面的表现情况。最后对福姜沙水道航道整治工程实施

后的整治效果进行评价, 可为长江中下游潮汐分汊河段类似航道整治工程的设计和施工提供参考。

1 水道自然条件及航道整治工程概况

福姜沙水道 12.5 m 深水航道建设存在的主要河势问题是福姜沙左汊相对较宽、河床活动性较大、滩槽变化频繁; 靖江边滩和福姜沙左缘边滩处于自然演变状态, 已建的双涧沙护滩工程虽已为本区域滩槽格局的稳定奠定了重要基础, 但工程规模有限, 对沙头和上段的控制力不足。因此, 上述沙体的冲淤变化是引起福北水道进口段和福中水道进口段深槽不稳定的主要因素。从航道治理的要求出发, 需要对上述 3 个滩体实施或强化整治工程, 以达到控制局部河势、稳定航道边界条件的目标。福姜沙水道的治理思路如下: 实施福姜沙左缘丁坝工程, 以守护福姜沙左缘边滩、束窄福姜沙左汊河宽, 改善二级分汊口的入流条件; 在双涧沙守护工程基础上实施双涧沙头部潜堤和丁坝工程, 以进一步加强双涧沙头部守护, 稳定滩槽格局, 并增加福北进口段浅区水动力, 从而改善航道建设及维护条件。

根据工程治理思路, 福姜沙水道航道整体实施方案为“福中单向+福北单向”, 设计水深为 12.5 m(理论最低潮面), 最小航宽。试运行期航道维护尺度: 维护水深为 12.5 m(理论最低潮面), 维护航宽为福中水道最小航宽 260 m、福北水道最小航宽 260 m。基于工程整治思路, 福姜沙水道整治建筑物包括福姜沙左缘丁坝、双涧沙头部潜堤、潜堤北侧丁坝及南侧丁坝。整治建筑物方案见图 1。

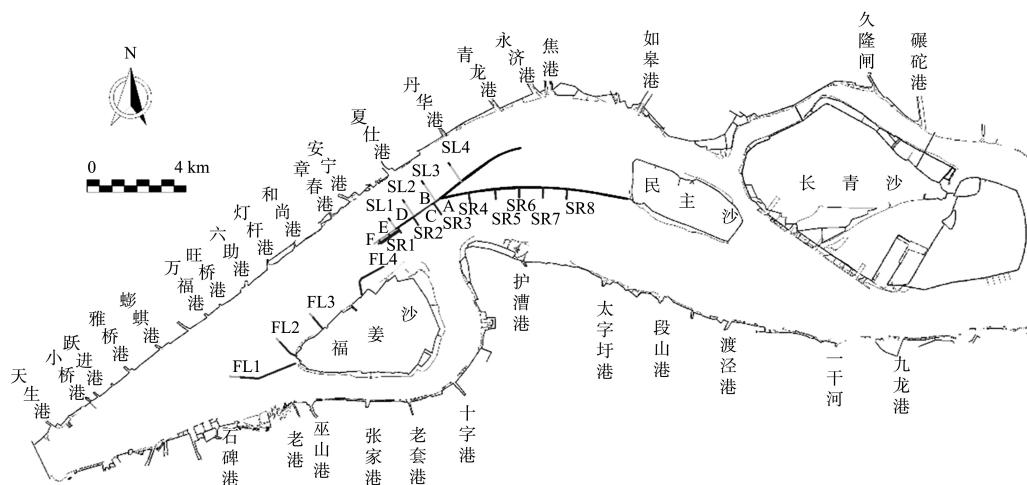


图 1 福姜沙水道整治建筑物平面布置

2 整治方案数物模预测效果

2.1 地形冲淤变化预测

根据设计阶段预测，在平水平沙年条件下，工程实施后，工程掩护范围内地形明显淤积，福姜沙左缘和双涧沙沙体最大淤积均达3 m以上。福中和福北进口冲刷，福北水道进口章春港—丹华

港深槽冲刷，平均冲刷幅度 1.0~2.0 m，但在丹华港下游段泥沙有所落淤，淤积幅度 0.5~1.0 m；如皋中汊冲淤变化幅度很小，冲淤幅度小于 0.5 m。福中水道进口段至下段深槽冲刷，其中进口段平均冲刷幅度 1~3 m；浏海沙水道深槽发生局部淤积，淤积幅度 0.5~1.0 m，见图 2。

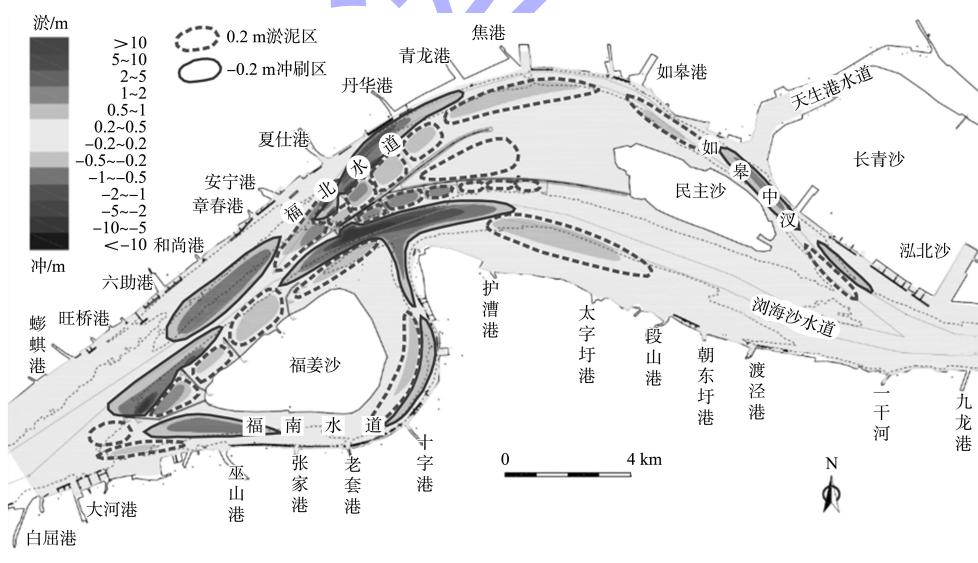


图2 工程实施引起的地形淤淤变化

2.2 流场变化预测

根据设计阶段预测，在流量为 5.75 万 m^3/s 条件下，工程实施后，工程掩护范围内流速减小，其中双涧沙沙体头部及福美沙左缘流速最大减小

幅度均达 0.3 m/s 以上。福北水道水流流速增幅较大区域出现在夏仕港—丹华港之间，最大增幅约 0.3 m/s ，焦港附近流速增幅约 0.10 m/s ，如皋中汊流速增幅约 0.05 m/s 。福中水道进口浅段航道

内水流流速最大增幅约 0.2 m/s, 浏海沙水道水流流速减小 0.02~0.05 m/s。福姜沙左汊中下段航道内水流流速均有所增加, 六助港—和尚港对开水

域增加 0.05~0.10 m/s。福南水道沿程水流流速均有所增加, 增幅 0.10~0.20 m/s, 见图 3。工程实施后, 如皋中汊分流比增加约 0.45%。

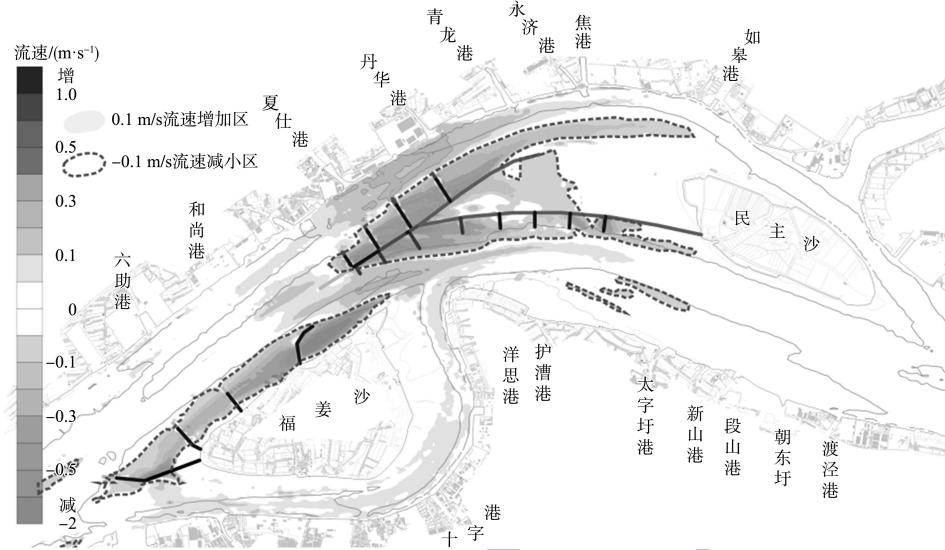


图 3 工程实施前后洪季落潮流速变化

2.3 航道维护量预测

2.3.1 初通航道维护量预测

初步设计阶段采用数学模型预测福姜沙水道仅实施初通基建疏浚后一个平水平沙年的航道回淤量, 航道淤积部位主要位于福姜沙左汊进口、福中进口及南通水道, 淤积强度 0.5~1.0 m, 主要表现为航宽不足。初通方案实施后年维护量约 50 万 m³。

2.3.2 试运行航道维护量预测

根据设计文件, 工程方案实施后, 福中和福北进口冲刷, 福北水道进口章春港—丹华港深槽冲刷, 平均冲刷幅度 1.0~2.0 m, 但在丹华港下游段泥沙有所落淤, 淤积幅度 0.5~1.0 m; 如皋中汊冲淤变化幅度很小, 冲淤幅度小于 0.5 m。福中水道进口段至下段深槽冲刷, 其中进口段平均冲刷幅度 1~3 m; 浏海沙水道深槽发生局部淤积, 淤积幅度 0.5~1.0 m。

根据泥沙数模研究成果, 平常水沙年条件下航道的年维护量为: 福北水道 432 万 m³, 福中水道 37 万 m³, 南通水道 43 万 m³, 合计 512 万 m³。

3 整治工程前后预测与实测效果对比分析

3.1 河势变化对比

3.1.1 冲淤变化

福姜沙水道试运行期内丁坝坝田等工程掩护区淤积, 坡头导流区冲刷的基本冲淤格局没有发生大的变化。福姜沙水道滩槽基本稳定, 局部地形略有调整, 地形变化符合预期。其中, 双涧沙沙头潜堤南北两侧坝田区持续淤长, 淤积厚度约为 1 m, 沙头冲刷态势得到有效控制; 福姜沙左缘边滩丁坝坝田淤积, 最大淤积厚度约为 1 m, 福姜沙左汊航道冲淤平衡, 略有冲刷, 冲刷幅度 0~1 m; 福中水道进口段冲刷, 冲刷深度 3~5 m, 中下段略有淤积, 淤积厚度 1~3 m; 福北水道夏仕港—焦港段水深刷深, 冲刷幅度 1~5 m。与设计阶段整治效果数模预测结果相比, 主要冲淤部位、冲淤幅度好于预期。

3.1.2 河床容积变化

福北水道深槽总体表现为 10 m 深槽扩容、15 m 深槽淤浅。2014 年 7 月—2018 年 11 月 10 m 以深河槽容积增加约 11.2%, 15 m 以深河槽容积

减小约 28.3%。2014 年 7 月—2018 年 11 月福中水道 10、15 m 深槽容积大幅增加, 增加幅度分别

为 13.0% 与 31.2%。由河床容积变化可知, 福中水道大幅冲刷, 发展超预期, 见表 1。

表 1 福北水道、福中水道河床容积、面积变化

时间	福北水道河床				福中水道河床			
	10 m 深槽		15 m 深槽		10 m 深槽		15 m 深槽	
	容积/万 m ³	面积/万 m ²						
2014 年 7 月	9 108.79	668.22	3 307.17	184.93	12 048.78	551.61	9 996.25	392.47
2015 年 8 月	7 550.31	531.81	2 971.26	160.02	12 253.67	551.42	10 560.73	421.91
2015 年 11 月	7 425.18	524.75	2 871.16	156.35	12 341.71	554.63	10 745.07	432.56
2016 年 2 月	7 395.53	529.51	2 557.47	137.96	12 399.49	556.24	11 015.32	451.21
2016 年 5 月	7 873.81	573.01	2 491.98	136.21	12 550.25	563.96	11 363.79	473.43
2016 年 8 月	8 379.02	633.06	2 073.15	111.83	12 765.76	564.83	11 879.17	497.81
2016 年 11 月	8 303.94	625.35	1 967.59	104.73	12 876.10	567.11	12 175.95	514.08
2017 年 2 月	8 423.46	631.96	1 942.35	103.33	12 949.45	569.21	12 411.30	528.77
2017 年 5 月	8 293.31	624.33	1 761.16	95.39	12 951.67	568.26	12 440.64	529.73
2017 年 8 月	8 766.96	654.06	2 053.93	114.04	13 176.26	566.82	12 710.22	531.50
2017 年 11 月	8 916.60	670.93	1 752.90	98.87	13 183.83	565.23	12 715.59	529.66
2018 年 2 月	9 766.37	728.76	1 885.31	107.34	13 277.92	566.79	12 793.82	529.96
2018 年 5 月	10 222.25	768.34	1 840.04	105.92	13 320.48	568.94	12 805.88	529.72
2018 年 8 月	10 095.49	753.32	2 281.60	132.58	13 514.22	570.94	13 025.63	533.46
2018 年 11 月	10 129.93	750.74	2 369.55	136.47	13 615.87	573.43	13 114.14	535.41

3.1.3 分流比变化

如皋中汊实际分流比减小 2.6%, 与设计阶段预测的如皋中汊分流比增加 0.45% 相比, 增减趋势有所偏离, 但幅度较小, 效果基本符合预期。

3.2 流场变化对比

整治工程实施后, 福姜沙水道整体分流格局未发生显著变化, 仅整治建筑物周边水域流场存在调整。双涧沙头部、福姜沙左缘丁坝坝田等掩护区域流速减小幅度较大, 最大达 0.35 m/s 左右, 福姜沙左汊受左缘丁坝束窄河宽作用, 流速略有增大, 福北水道夏仕港—焦港一线流速增大, 增幅约 0.3 m/s, 福中水道进口段受双涧沙头部潜堤与福姜沙左缘 FL4 丁坝共同作用, 流速增幅约 0.3 m/s。与设计阶段流场变化预测结果相比, 流速增减区域基本相同, 仅范围与量值略有差异, 效果符合预期。

3.3 航道维护量对比

3.3.1 初通维护量

初通期 22 个月 (2016 年 7 月—2018 年 4 月) 航道维护疏浚上方量 (按测算泥舱装载量、观察自动土方计量仪读数或其它经验方法求得的疏浚土方量, 又称船方) 为 274.9 万 m³, 与设计阶段预测

的初通年维护量 50 万 m³ 相比有一定增加, 主要原因是 2016 年与 2017 年为连续大水年, 河床局部调整较大。

3.3.2 试运行航道维护量

试运行期前 10 个月 (2018 年 5 月—2019 年 2 月) 维护疏浚上方量 674.4 万 m³, 与设计阶段预测的平常水沙年条件下航道的年维护量 512 万 m³ 相比有一定增加。主要原因: 设计阶段数模预测试运行年维护量时仅考虑工程本身建设引起的新增航道维护疏浚量, 实际运行维护过程中受靖江边滩底沙输移活动影响, 导致航道维护量增加。

3.4 其他方面变化

3.4.1 深泓线变化

福中水道试运行期深泓线继续保持稳定, 福北水道深泓线总体稳定, 在六助港对开水域存在一定的摆动, 摆动幅度约有 700 m, 该处深泓线的摆动原因主要为靖江边滩切割下移、底沙过境福北水道并靠双涧沙。

3.4.2 航道尺度变化

工程前福姜沙水道 (除福北水道外) 12.5 m 深槽整体较宽, 最窄处位于夏仕港; 设计初通航道范围内最小水深浅于 12.5 m 的区段主要分布于

生港—西界港、福姜沙中下段。初通期夏仕港处 12.5 m 深槽宽度得到大幅改善; 初通航道范围内天生港—西界港段航道水深已疏浚至 12.5 m 以上, 福姜沙中下段水深已大幅改善。试运行期, 福中水道 12.5 m 深槽宽度全面展宽至 1 000 m 左右, 设计航道范围内原浅于 12.5 m 航段均得到刷深, 除浏海沙水道南岸边滩淤长导致局部最小水深不足外, 其余区段水深条件均满足设计水深要求。

福北水道工程前(2014 年 7 月)12.5 m 深槽宽度不足, 夏仕港处 12.5 m 深槽断开, 丹华港处深槽宽度为 244 m, 不满足设计最小航道宽度要求。设计航道沿程不满足 12.5 m 水深条件的区段较长, 特别是丹华港—万福港最小水深仅 6 m 左右, 碍航里程约 11.8 km, 里程长、水深浅。试运行期(2018 年 8 月), 12.5 m 深槽最窄处位于焦港与章春港, 最窄处宽度约 260 m, 原不满足设计宽度要求的丹华港与夏仕港 12.5 m 深槽宽度已拓展为

527 m 与 565 m。航道水深条件有了一定幅度改善, 长段碍航浅段基本消失, 但部分航段平均水深刚达到设计水深要求。从试运行期的深槽宽度与航道沿程水深条件看, 福北水道试运行期航道尺度基本满足设计尺度要求, 但部分航段主要依靠疏浚措施维持。

3.4.3 航道水流条件变化。

图 4 为工程前、后洪季落急流速变化, 由图可见, 工程前后航道沿程流速变化范围主要集中于整治建筑物周边水域, 其中工程后福中水道安宁港—丹华港段、福北水道夏仕港—四号港段流速均呈增大趋势, 增大幅度约为 0.3 m/s, 其余航段流速变化较小。图 5 为工程前后洪季落急流向与航道轴线夹角变化情况, 由图可见, 工程后航槽内导流效应较为明显, 航道沿程大部分落急流向与航道轴线夹角减小, 夹角减小幅度一般在 5° 以内, 水流更加贴合航道走向。

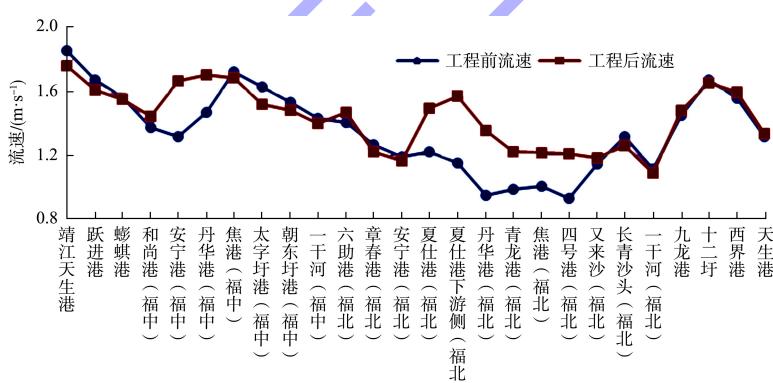


图 4 福姜沙水道工程前后航道沿程落急流速变化($Q=5.75$ 万 m^3/s)

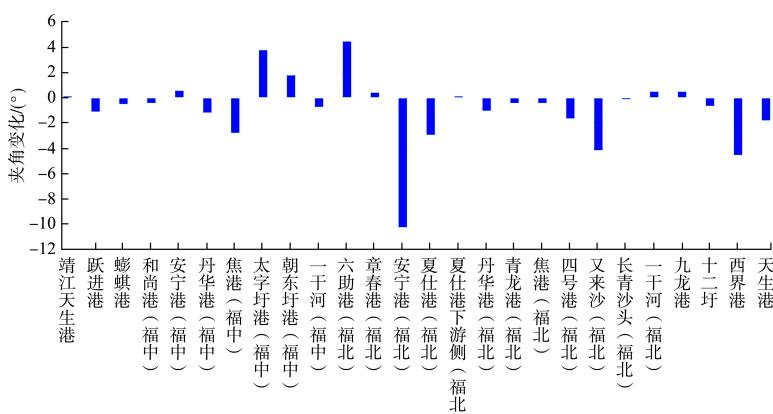


图 5 航道沿程水流与航道轴线夹角变化

3.4.4 固滩效果分析

福姜沙左缘丁坝整治工程实施后,福姜沙左缘中上段冲淤相对稳定且总体呈现淤积态势,下段局部存在冲刷。经统计,福姜沙左缘 5 m 以浅沙体体积及面积均有所增大,福姜沙左汊河宽有所减小,局部河势得到了有效控制。

双涧沙头部潜堤及丁坝工程实施后,沙头冲刷趋势得到良好控制,上游侧沙头及潜堤北侧丁坝附近淤积明显,等深线逐年向上游移动。双涧沙头南侧冲刷明显,但丁坝坝根处有所淤积。工程后,双涧沙 5 m 以浅沙体体积明显增大,整治工程护滩固沙效果明显。

3.4.5 排边冲淤情况

福姜沙左缘丁坝周边较为稳定,冲淤变化幅度较小,仅 FL4 丁坝北侧冲刷较为明显。双涧沙头部潜堤北侧以淤积为主,南侧以冲刷为主,头部南侧冲刷相对较为明显。双涧沙北侧丁坝周边以淤积为主,南侧丁坝周边以冲刷为主,且靠近双涧沙头部的丁坝周边冲刷较为明显。

3.4.6 整治建筑物自身稳定性

在监测时段内,整治建筑物各监测断面未发生较明显水平位移,也未发生较明显沉降,表明整治建筑物结构安全可靠。

4 结论

1)整治工程实施后,双涧沙沙头冲刷趋势得到较好控制,上游侧沙头及潜堤北侧丁坝附近淤积明显,沙体体积明显增大;福姜沙左缘中上段冲淤相对稳定且总体呈现淤积态势,下段局部存在冲刷,福姜沙左缘沙体体积及面积总体有所增大,整治工程护滩固沙效果较好。整治建筑物监测点未发现明显水平位移与沉降。福中水道进口段发展超预期,附近的双涧沙南侧丁坝 SR1~SR2、福姜沙左缘丁坝 FL4 存在异常冲刷区。

2)初通基建工程量 111.3 万 m^3 ,初通期

22 个月(2016 年 7 月—2018 年 4 月)维护疏浚量 274.9 万 m^3 。后续基建工程量 224.5 万 m^3 ,试运行期前 10 个月(2018 年 5 月—2019 年 2 月)维护疏浚上方量 674.4 万 m^3 ,维护量主要集中在洪季福北水道。靖江边滩目前仍处于自然演变状态,边滩“淤长-切割-下移”过程形成的底沙输移对保持福北水道的水深条件形成较大压力。

3)福姜沙水道整治工程实现了 12.5 m 深水航道贯通,整治建筑物总体实现了整治意图。福中水道整治效果优良,发展好于预期,航道条件较好,福北水道虽实现了深水航道的贯通,但受靖江边滩底沙活动影响,航道维护量较大。

4)福姜沙水道航道整治工程达到了预期的航道整治目标,工程治理方案总体合理,航道整治效果符合预期。

参考文献:

- [1] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司,长江航道规划设计研究院.长南京以下 12.5 m 深水航道二期工程工程可行性研究报告[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2013.
- [2] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司,长江航道规划设计研究院.长南京以下 12.5 m 深水航道二期工程初步设计[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2015.
- [3] 寇军.长南京以下 12.5 m 深水航道治理工程仪征水道整治效果分析[J].中国港湾建设,2019,39(6):41-47.
- [4] 中设设计集团股份有限公司.长南京以下 12.5 m 深水航道二期工程整治效果分析报告[R].南京:中设设计集团股份有限公司,2019.
- [5] 中设设计集团股份有限公司.长南京以下 12.5 m 深水航道二期工程整治效果及效益分析总报告[R].南京:中设设计集团股份有限公司,2019.
- [6] 曲红玲,马洪亮.长南京以下 12.5 m 深水航道福姜沙河段整治效果分析[J].水运工程,2019(12):7-13,38.