



闽江通海航道进一步治理方案

刘丽玲

(福建省港航勘察设计院有限公司, 福建 福州 350002)

摘要: 闽江通海航道二期整治工程和闽江口拦门沙航道加深工程分别已竣工 26 a 和 16 a, 其间上游径流来水来沙条件发生了巨大变化, 口外海滨滩槽分布格局改变较大, 且已发生个别航段频发通航船舶险情及淤积等一系列问题。河口区航道受径流、潮流及波浪等多重因素影响, 处于不断的冲淤动态变化之中, 整治难度大。依据近 16 a 维护测图及相关资料, 总结目前闽江通海航道存在问题, 分析其原因, 得出为确保船舶通航安全对闽江通海航道进一步治理是必要的; 同时, 提出调整局部航段航线、口外抛筑袋装沙连锁块固滩拦沙等进一步治理方案, 并提出如发现倒鱼嘴坝及潜坝有局部冲垮, 可不必维护和恢复等建议。

关键词: 闽江; 通海航道; 整治工程; 来水来沙; 分流比; 治理方案

中图分类号: U617.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)07-0150-08

Further governance schemes for seaward channel of Minjiang River

LIU Liling

(Fujian Provincial Port and Waterway Survey and Design Institute Co., Ltd., Fuzhou 350002, China)

Abstract: The second phase of the remediation project of Minjiang River Passage and the deepening project of the Minjiang River Estuary Barrage Sand Channel have been completed for 26 and 16 years respectively. During the period the conditions of upstream runoff and sediment have undergone great changes. The distribution pattern of the seashore and trough outside the mouth has changed greatly, and a series of problems such as the danger and siltation of navigable ships have occurred in individual sections. The waterway in the estuary area is affected by multiple factors such as runoff, tidal currents and waves, and it is in the process of continuous dynamic changes of scouring and silting, which is difficult to remediate. Based on the maintenance mapping and related data in the past 15 years, this paper summarizes the existing problems and analyzes the reasons for the current Minjiang waterway, and concludes that further governance of seaward channel of Minjiang River is necessary to ensure the safety of ship navigation. At the same time, further governance schemes such as adjusting the route of local sections, throwing bagged sand chain blocks outside the mouth to fix the beach and sand are put forward. It is also suggested that maintenance and restoration may not be necessary if local erosion of the inverted fish mouth dam or submerged dam is found.

Keywords: Minjiang River; seaward channel; remediation project; inflow and sand; diversion ratio; governance scheme

国内外大河口外拦门沙航道整治有很多成功经验, 其整治多采用两侧双导堤加丁坝、并疏浚的工程方案, 如长江口深水航道治理工程修筑南北导堤总长达 60.78 km, 导堤内侧丁坝 13 座, 再

通过疏浚将 6.0 m 的拦门沙航道建设为 12.5 m 水深的双线航道; 美国的密西西比河拦门沙滩顶自然水深只有 2.7 m, 通过 4 个阶段的整治, 抛筑双导堤及疏浚后, 西南水道加深至 12.2 m 并一直维

收稿日期: 2024-10-09

作者简介: 刘丽玲 (1978—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道设计工作。

持至今; 法国塞纳河口原水深不足, 航道很不稳定, 1848 年开始第一期整治工程, 在口门段 60 km 范围内建造 2 条顺堤, 堤间距 300~500 m, 于 1867 年完工后, 航道水深增加 3 m。闽江通海航道二期整治工程和闽江口拦门沙航道增深工程借鉴国内外河口区拦门沙航道治理成功经验, 并考虑到闽江河口区与国内外其他河口区不同, 即闽江河口区分布有内、外 2 道拦门沙。为此, 内沙浅滩采取半封堵熨斗水道、双导堤加丁坝的工程及疏浚方案, 1988 年外沙浅滩口外海滨南、中、北 3 槽共存, 后南槽淤积萎缩, 中槽处于发展即将冲开的状态, 通过采取疏浚开通了外沙航道, 据近 16 a 实测资料分析, 表明当年选取中槽开通航道决策是正确的。

本文就闽江通海航道二期工程及口外拦门沙增深工程实施后, 加之上游来水来沙条件发生了

格局性改变, 通过对综合因素影响下的各汉道分流比变化及滩槽稳定性的分析, 就目前存在的问题进行探讨和研究, 得出闽江通海航道进一步治理的必要性。根据大量调研, 结合近 16 a 维护测图及相关资料, 提出调整局部航段航线及采取抛筑袋装沙连锁块固滩拦沙等进一步治理方案, 以期工程设计提供参考。

1 闽江通海航道治理沿革

历史上, 闽江下游(马尾—口外)长约 50 km 的通海航道沿线共有 6 处碍航浅滩, 自上而下为大屿浅滩、新丰浅滩、中沙浅滩、马祖印浅滩、内沙浅滩及外沙浅滩, 见图 1。通海航道的全面整治从 20 世纪 80 年代开始, 经历了一期、二期航道整治工程和闽江口拦门沙增深工程。



图 1 闽江通海航道河势及浅滩分布

Fig. 1 River regime and shoal distribution of seaward channel of Minjiang River

闽江通海航道一期整治工程 1981 年开工, 于 1987 年竣工, 整治后马尾万吨码头淤积问题得到有效解决, 通海航道沿线各浅滩水深普遍大幅提高(一般在 1.5 m 左右), 航道达到乘潮通航万吨级海轮的标准, 特别是实施前后马尾万吨级码头水深从治理前 -0.1~4.0 m 增至治理后 8.0~12.0 m, 并长期保持稳定。

闽江通海航道二期整治工程 1991 年 1 月开

工, 于 1998 年 4 月竣工, 整治后达到乘潮通航 2 万吨级海轮的标准。在整治工程陆续实施过程中, 各浅滩逐渐进一步刷深; 1998 年工程全面竣工时, 各浅滩段航道水深增幅均大于 1.0 m。

闽江口拦门沙航道增深工程 2005 年 8 月开工, 于 2008 年 7 月竣工, 工程实施后, 通海航道从口外七星礁—粗芦岛南侧航段可达到乘潮通航 3 万吨级杂货船的标准, 航道现状见表 1。

表1 闽江通海航道现状

Tab. 1 Current situation of seaward channel of Minjiang River

航段	规模	航程/km	航道通航宽度/m	设计底高程/m
外沙—粗芦岛	3万吨级船舶乘潮单向航道	20.3	150	-7.7~-7.3
粗芦岛—华能电厂煤码头	2万吨级船舶乘潮单向航道	24.1	125	-7.7~-6.3
华能电厂煤码头—马尾万吨级码头	万吨级船舶乘潮单向航道	4.2	100	-5.2

2 闽江口河势及各浅滩治理效果

2.1 闽江口河势

闽江口河势总体为三级分流、五口入海，即闽江干流在马尾闽安峡谷出口处受琅岐岛阻隔，被分割为南支梅花水道和北支长门水道2条水道，形成第1级分流。南支梅花水道单独入海，水道从亭江—出海口长约15 km，亭江处口门宽约1 km，向下游迅速展宽，最宽处达6 km，河床宽浅，水道内有蝙蝠洲、新行沙等洲滩分布，梅花水道口门外分布有佛手沙、鱗鱼沙等浅滩和沙洲，其沙洲的变迁直接影响外沙航道的水深和航槽的稳定性；北支长门水道亭江—长门口长约9.3 km，沿线河段宽约1.5 km，向下游至长门窄口急剧缩窄，在接近末端长门窄口不到1 km河段内，河宽由1.3 km急剧收缩为350 m，该河段沿线分布有大屿浅滩、新丰浅滩和中沙浅滩。

长门水道出长门窄口后受粗芦岛(熨斗岛)阻隔，形成乌猪水道和川石水道2条水道，形成第2级分流；川石水道受川石岛和壶江岛阻隔又分流出熨斗水道和壶江水道，形成第3级分流。受岛屿阻隔形成的3级分流后，闽江出海口从北到南展布有乌猪水道、熨斗水道，川石水道、壶江水道及梅花水道五口入海的河势总体格局，川石水道是入海主干道和航运通道。川石水道内有马祖印浅滩、口门附近有内沙浅滩、口门外有外沙浅滩，内拦门江沙位于壶江岛外侧、外拦门江沙为口门外北侧的铁板沙、腰子沙及口门外南侧的佛手沙、鱗鱼沙等洲滩。

闽江河口区与国内其他河口区不同的是分布有2道拦门沙，以口外1934年(历史海图)以来至今一直存在的10 m深槽为界，分为内、外拦门江沙，海图上内、外拦门江沙位置见图2。

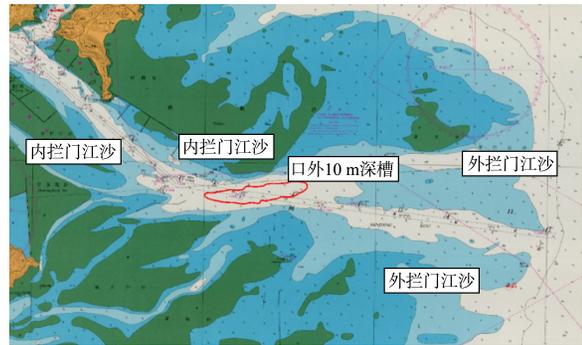


图2 内、外拦门江沙位置

Fig. 2 Location of inner and outer barricades

2.2 各浅滩整治效果

2.2.1 长门口内浅滩

闽江通海航道经历了上述3次航道整治工程后，马尾—闽江口的河段水文动力要素发生了一系列较大的变化，体现在闽江河口区历史上的6处碍航浅滩演变历程。长门口内浅滩自上而下分布着大屿、新丰及中沙3处浅滩。

整治工程竣工后的1999年，各浅滩水深普遍大幅提高，大屿、新丰、中沙浅滩水深增幅一般均为1.5 m，最大达6.8 m(大屿浅滩)。根据1999—2023年历年维护测图分析，马尾—长门口河道总体处于冲刷状态，河床整体平均刷深1.5 m，最大刷深达28 m(长门口附近)，目前大屿、新丰及部分中沙浅滩均已萎缩消失，整治工程治理效果明显。

2.2.2 长门口外浅滩

长门口外主要有马祖印、内沙、外沙3处浅滩，通海航道二期整治工程竣工后，根据1999—2004年历年维护测图分析，马祖印浅滩水深维持较好，内沙和外沙航段属闽江口拦门沙段航道，每年需疏浚维护，但航道水深维持仍然困难。为此，于2005年8月—2008年7月实施了闽江口拦门沙航道增深整治工程：延长川石岛东侧北导堤3 058 m、新建壶江岛东侧南导堤5 700 m及其他

丁坝、护滩并辅以疏浚等措施,见图3,内沙航道基本处于南北导堤之间,外沙航道仍主要以疏浚方式进行维护。根据2009—2023年历时14 a维护

测图分析,马祖印浅滩水深维持较好,内、外沙航槽淤积大为减轻,每年辅以少量疏浚即可维持设计水深。



图3 马祖印、内沙、外沙航段整治建筑物

Fig. 3 Renovation buildings in navigation sections of Mazuyin, Neisha and Waisha

2.2.3 整治效果

综上所述,闽江口多级分流、多汊道入海的河势格局为整治工程提供了空间和条件,但也增加了治理难度。实践证明,闽江通海航道通过采取整治工程措施并辅以少量疏浚,大屿、新丰及中沙浅滩已萎缩消失;内沙浅滩通过抛筑倒鱼嘴坝和潜坝后有效限制熨斗水道的落潮分流比,川石水道流速增加约20%~40%;通过延长北导堤、抛筑南导堤等工程措施,大大加强了川石水道的落潮水动力条件,达到冲刷浅滩及维持航槽水深的目的。

通过外拦门江沙自1886年以来滩槽历史演变过程分析得出,作为横亘于主流出海口前的外沙堆积体,不可能没有通道而长期封堵,主流总是要冲出一条通道入海,完全淤堵或多汊入海的格局均不会持久。依据该结论,结合1988年口外海滨南中北槽共存、南槽淤积萎缩、中槽处于发展即将冲开状态的趋势,采取疏浚中槽开通外沙航道,通过近16 a来维护疏浚,航槽水深得以维持。

3 现状分析

3.1 问题分析

通海航道二期整治工程1998年4月竣工至今已26 a;闽江口拦门沙航道加深工程于2008年7月竣工至今已16 a,根据历年维护测图及相关资料,经综合分析,通海航道目前存在主要问题

如下:

1) 中沙航段在金牌门上游近2.6 km河段水下地形变化较大,河道持续刷深,最大冲刷深度达28 m。根据1998年维护测图,长门窄口处航道转向点E点附近的航槽内水深10.0~37.6 m,目前水深14.3~44.6 m,水下地形变化较大,涨落急时段水流湍急紊乱,船舶在此处转向受水流影响较大,操作困难,2018年11月—2021年3月,该水域已发生9起重载船舶出港时偏离航道搁浅事故。

2) 马祖印航段长约926 m,航道通航宽度125 m,临近航道边线两侧分布较多零星浅礁。该航段在有限的水域范围内分布有桥梁、浅滩、礁区且水深变化大,致使该区水流紊乱、横流较大,存在通航安全隐患。船舶在该航段已多次发生险情。

3) 根据历年维护测图及相关资料,经综合分析,内外拦门沙航道历年淤积部位多年保持不变;内沙段淤积区集中在南北导流堤之间、外沙段淤积区集中在腰子沙南侧航段。经初步分析,淤积泥沙主要来自周边滩地;闽江口为强潮河口,潮汐动力强劲,加上上游供沙不丰,这些都是导致口门一带多年来冲淤变幅不大、河床相对稳定的重要原因。

3.2 成因分析

3.2.1 河口区来沙量大幅减少

水口水电站大坝于1993年4月下闸蓄水,至

今已 31 a, 水口电站调节库容仅 7 亿 m³, 库容系数 1.4%, 水口电站的建设改变了下游河口区来水来沙条件, 同时距水口大坝下游约 9 km 处, 于 2021 年建成的水口水电站枢纽坝下水位治理与通航改善工程(简称“反调节坝”)对水口电站下泄水流再一次拦截, 进一步减少了下泄泥沙量。

通过分析上游电站及反调节坝建设引起的下游河道来水来沙的变化, 得出:

1) 大坝下游河道来水从蓄水前有汛期、中水期和枯水期之分, 变成蓄水后仅有汛期和非汛期。

2) 电站建成后拦蓄了闽江流域 86% 的推移质泥沙, 坝上流域内悬移质泥沙 48% 落淤在库内, 根据电站下游 44 km 处闽江干流竹岐水文站历年实测资料统计, 见表 2, 上游电站建成后下游来沙量骤减, 年平均输沙量由建成前的 555.8 万 t 减至建成后的 255.3 万 t(减少 54%); 年平均含沙量由建成前的 0.104 kg/m³ 减至建成后的 0.040 kg/m³(减少 61.5%); 反调节坝建成后沙量进一步减少, 年平均输沙量由建成前的 255.3 万 t 减至建成后的 201.4 万 t(减少 21.1%), 年平均含沙量由建成前的 0.040 kg/m³ 减至建成后的 0.032 kg/m³(减少 20%)。由统计数据可明显看出, 在年平均径流量接近的情况下, 电站及反调节坝建成后的下游年平均输沙量仅为建成前的 36.2%, 水体悬移质含沙量仅为建成前的 30.8%。

表 2 竹岐水文站来水来沙变化
Tab. 2 Variation in water and sediment at Zhuqi hydrological station

年份	年平均径流量/ 亿 m ³	年平均流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	年平均输沙量/ 万 t	年平均含沙量/ (kg·m ⁻³)
1985—1992	506.3	1 605.3	555.8	0.104
1993—2013	538.1	1 709.5	255.3	0.040
2014—2022	554.8	1 782.1	201.4	0.032

3.2.2 河口区潮流量增大

根据 1973 年 10 月枯水期实测资料, 枯水期大潮潮区界可抵达干流侯官(距水口大坝 55 km), 潮流界可达洪山桥(距大坝 63 km), 见图 4。

根据 2013 年 6 月、2023 年 2 月大潮期实测资料和现场船舶锚泊情况, 潮流界已上提至格洋站(上距水口电站 8.5 km), 超过反调节坝位置。河道沿程低水位下跌, 高潮位仍保持不变, 自侯官至水口电站下游反调节坝长约 48.4 km 的河道已形成一个巨大的天然蓄水库(平均低水位与平均高水位之间的库容约 1 亿 m³), 非汛期侯官处具有明显的每天两涨两落的潮汐特征, 涨潮历时 4.47 h, 潮差达 2.24 m。根据 2013 年 6 月 24—25 日实测资料, 水口电站下泄流量 1 100~1 300 m³/s, 落潮流量 3 400~4 000 m³/s, 表明即使电站流量为 0, 侯官处也有落潮流量约 2 000 m³/s; 另据 2023 年 2 月实测资料, 水口电站下泄流量 650~820 m³/s 时, 测得侯官处落潮流量 3 200~4 800 m³/s, 表明即使电站流量为 0, 侯官处也有落潮流量约 3 000 m³/s。

3.2.3 各汉道分流比稳定并将保持持续稳定

根据 1986、2013 年汛期和枯水期实测潮量分流比资料统计分析, 整治工程实施前后各汉道分流比情况见表 3。

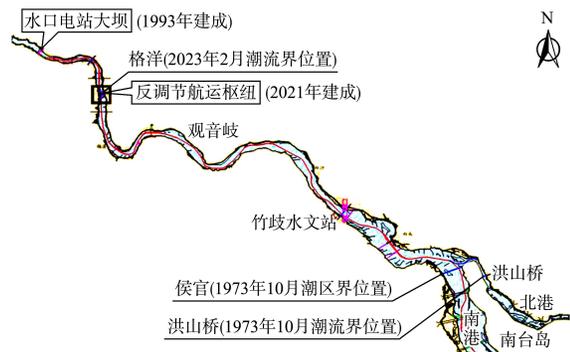


图 4 闽江干流潮区界、潮流界
Fig. 4 Tidal location limit and tidal current limit of main stream of Minjiang River

表3 整治工程前后各水道分流比
Tab.3 Diversion ratio of each waterway before and after remediation project

工况		涨潮分流比/%				落潮分流比/%			
		川石水道	乌猪水道	熨斗水道	壶江水道	川石水道	乌猪水道	熨斗水道	壶江水道
洪水期	工程前	29.6	17.6	41.5	11.3	43.6	17.5	30.2	8.7
	工程后	43.1	21.5	29.6	5.8	46.2	20.3	28.7	4.8
枯水期	工程前	37.8	14.0	39.1	9.1	43.8	16.6	33.4	6.2
	工程后	42.8	22.0	29.6	5.7	42.8	20.8	32.4	4.0
平均值	工程前	33.7	15.8	40.3	10.2	43.7	17.1	31.8	7.4
	工程后	45.9	21.0	27.1	6.0	46.1	19.9	29.4	4.7

经对比整治前(1986年)、整治后(2013年)各水道的分流比数据,综合分析得出,采取抛筑倒鱼嘴坝和潜坝主体工程半封堵熨斗水道后,增加了川石水道分流比,增强了川石水道潮流动力条件,治理目标已基本达到。工程竣工26a来,川石水道潮流动力条件持续保持稳定,为下一步治理提供了有利条件。

3.2.4 闽江口外洲滩演变有利于外沙航槽稳定和水深维持

由于上游电站及反调节坝的建设使得闽江干流来沙量骤减,加之20世纪90年代水口大坝下游河道长距离、大规模挖采河沙,及近十多年来口外海滨大量开采海沙等人类活动,导致通海航道已基本无径流泥沙补给,辅以整治工程的综合作用,潮流动力条件增强,外沙主槽近30a来一直处于微冲状态,口外海滨洲滩大面积萎缩,主要体现在主槽北侧的铁板沙萎缩、腰子沙大面积缩小、主槽南侧的佛手沙被分割为多条带状洲滩并萎缩,洲滩变化均朝着有利于外沙人工航槽维持的方向发展。

4 治理建议

4.1 中沙航段航道局部改线

中沙航段水域上、下深槽交错,中间沙梗横卧。据2022年金牌门附近扫海测图及水文测验等实测资料分析,自二期于1998年4月竣工至今,长门口最窄处(金牌门)河段基本处于冲刷状态,尤其是E点附近最大冲刷深度达28m,目前E转向点附近航道内水深在14.3~44.6m,水深变化较大,船舶行至此桥区航段有诸多不利因素:航

段直线段短;转向点距大桥过近;此段水域流态紊乱;行船通航视野受限;船舶操控困难等,存在较大通航安全隐患。

进一步治理方案:将现航道桥区段航线整体向北调整,使得航轴线居于长门大桥主通航孔中心,同时拉长桥区航道直线段长度,使其上下游直线段距离均满足规范要求,调整后航线通过疏浚挖槽从沙梗穿过,将长门水道深槽全线连通,清除临近局部礁石,因势利导,利于该区域深槽的稳定,见图5。

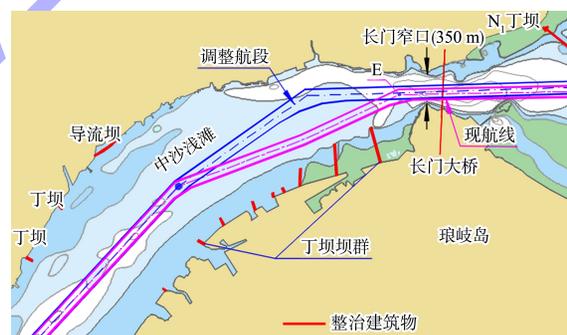


图5 中沙航段进一步治理方案
Fig.5 Further governance scheme of Zhongsha navigation section

4.2 马祖印航段清除航道边线的零星浅礁

从近十多年测图分析,马祖印浅滩淤积部位集中在紧邻马祖印封锁线叠石堆附近(图3),其原因主要由于抗战时期所抛沿线叠石堆阻水导致的淤积。

进一步治理方案:清除马祖印浅滩毗邻航道边线的浅礁和抛石,理顺水流,改善航槽内流态,以有利于船舶通航安全。

4.3 外沙航段整治措施

外沙航段两侧边界条件无约束,河床形态宽

浅,主泓线有一定摆动,随着上游径流无泥沙补给,再加上近年来大量挖采海砂等,口外海滨洲滩大面积萎缩,滩槽格局演变有利于外沙航槽水深的维持,但仍需辅以一定疏浚以维持航道水深。

进一步治理方案:外沙航段每年辅以一定疏浚,并在历年淤积部位局部区段的航槽边线外洲滩突出位置抛筑袋装沙连锁块固滩拦沙,见图6。



图6 外沙航段进一步治理方案

Fig. 6 Further governance scheme of Waisha navigation section

4.4 其他整治措施

1) 长门口外马祖印航段按乘潮通航3万吨级杂货船标准进行改扩建。

2) 每2~3 a对内沙航段的丁坝、导堤坝、倒鱼嘴坝及潜坝等建筑物开展1:1 000的测量,并依据测图资料分析确定是否需要维护和维修方案。基于目前内外沙航槽已贯通且水动力条件强劲,倒鱼嘴坝及潜坝如发现局部冲垮,建议可以不维护恢复,但应加密每年对坝体开展多波束扫测1次,根据冲刷情况及趋势再研究是否修复和维护。

3) 建议每5 a对闽江口外海滨开展1:25 000全面扫测1次,以便了解其演变概况及趋势,指导下一步维护工作。

5 结语

1) 闽江通海航道整治是一个完整的采用丁坝、清理封锁线乱石堆、潜水坝加倒鱼嘴坝、导堤坝加丁坝的工程体系,符合多级分流、多汊入海河口治理原则,其束水攻沙和减淤作用显著;半封堵熨斗水道有效增加主水道分流比,导堤加丁坝的治理工程对内沙航道开通和水深维持起到

重要作用。

2) 闽江通海航道二期整治工程和闽江口拦门沙航道增深工程分别已竣工26 a和16 a,其间上游径流来水来沙条件发生了巨大变化,口外海滨滩槽分布格局改变较大,同时已发生个别航段频发通航船舶险情及淤积等一系列问题,为确保船舶通航安全,对闽江通海航道进一步治理是必要的。

3) 通过综合研究分析,本文提出调整局部航段航线、口外抛筑袋装沙连锁块固滩拦沙等进一步治理方案;同时对倒鱼嘴坝及潜坝如发现局部冲垮,不会对内沙航道产生重大影响,可不维护和恢复。

4) 闽江通海航道受径流、潮流及波浪等多重因素影响,处于不断冲淤动态变化之中,属于动态工程,整治难度大,需不间断进行现场观测,不断提高研究手段,持续进行跟踪研究。

参考文献:

- [1] 福建省航运管理局航运养护大队. 闽江航道与航运[R]. 福建:福建省航运管理局航运养护大队,1979. Shipping Maintenance Brigade of Fujian Provincial Shipping Administration. Minjiang waterway and shipping[R]. Fujian: Shipping Maintenance Brigade of Fujian Provincial Shipping Administration, 1979.
- [2] 寇军. 长江南京以下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. KOU J. Regulation effect at Yizheng waterway of 12.5 m deepwater channel project in the Yangtze River below Nanjing[J]. China harbour engineering, 2019, 39(6): 41-47.
- [3] 周海, 郭豫鹏. 长江口深水航道治理一期工程设计简介[J]. 水运工程, 2002(10): 65-69. ZHOU H, GUO Y P. Yangtze estuary deepwater channel regulation phase I project design[J]. Port & waterway engineering, 2002(10): 65-69.
- [4] 张功瑾, 路川藤, 罗小峰, 等. 长江口一期治理工程局部地形冲淤的分析与控制[J]. 水运工程, 2017(9): 121-125. ZHANG G, LU C T, LUO X F et al. Analysis and control of local topographic scouring and silting in the first phase of the Yangtze River Estuary treatment project[J]. Port & waterway engineering, 2017(9): 121-125.

- [5] 王谷谦, 阮伟, 周海, 等. 长江口深水航道治理一期工程整治效果分析[J]. 水运工程, 2002(10): 70-76.
WANG G Q, RUAN W, ZHOU H, et al. Regulation effect analysis of Yangtze Estuary deepwater channel regulation phase I project [J]. Port & waterway engineering, 2002(10): 70-76.
- [6] 陈怡君, 江凌. 长江口中下游航道工程建设及整治效果评价[J]. 水运工程, 2019(1): 6-11, 34.
CHEN Y U, JIANG L. Evaluation of channel engineering construction and regulation effect in the middle and lower reaches of Yangtze River Estuary [J]. Port & waterway engineering, 2019(1): 6-11, 34.
- [7] 张晓鹤, 李九发, 朱文武, 等. 近期长江河口冲淤演变过程研究[J]. 海洋学报, 2015, 37(3): 134-143.
ZHANG X H, LI J F, ZHU WW, et al. Study on recent bed changes of erosion and siltation in Yangtze River Estuary [J]. Acta oceanologica sinica, 2015, 37 (3): 134-143.
- [8] 乐嘉钻. 长江口拦门沙航道的治理[J]. 水运工程, 2002(10): 58-64.
LE J Z. Channel regulation at the entrance bar of Yangtze Estuary [J]. Port & waterway engineering, 2002 (10): 58-64.
- [9] 杨婷, 陶建峰, 张长宽, 等. 长江口整治工程对分水分沙年际变化的影响分析[J]. 人民长江, 2012, 43(5): 84-88.
YANG T, TAO J F, ZHANG C K, et al. Analysis on annual variation of diversion ratio of flow and sediment in Yangtze River Estuary after regulation project [J]. Yangtze River, 2012, 43(5): 84-88.
- [10] 福建省港航勘察设计研究院. 闽江通海航道三期工程工程可行性研究报告[R]. 福建: 福建省港航勘察设计研究院, 2016.
Fujian Provincial Port and Waterway Survey and Design Institute. Minjiang River navigation channel phase III project feasibility study report [R]. Fujian: Fujian Provincial Port and Waterway Survey and Design Institute, 2016.
- [11] 福建省港航勘察设计研究院有限公司. 闽江通海航道历年维护设计[R]. 福建: 福建省港航勘察设计研究院有限公司, 2023.
Fujian Province Port and Waterway Survey and Design Institute Co., Ltd. Maintenance design of Minjiang seaway over the years [R]. Fujian: Fujian Province Port and Waterway Survey and Design Institute Co., Ltd., 2023.
- [12] 福州海事局. 金牌门水域搁浅险情分析[R]. 福州: 福州海事局, 2020.
Fuzhou Maritime Safety Administration. Analysis of stranding danger in Jinpaimen water area [R]. Fuzhou: Fuzhou Maritime Safety Administration, 2020.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第104页)

- [10] 徐一凯, 胡松, 朱宇航, 等. 孟加拉湾陆架对潮汐的影响研究[J]. 热带海洋学报, 2023, 42(3): 67-74.
XU Y K, HU S, ZHU Y H, et al. Impact of continental shelf on tide in the Bay of Bengal [J]. Journal of tropical oceanography, 2023, 42(3): 67-74.
- [11] 周相乾, 胡松, 张瑜. 南极布兰斯菲尔德海峡正压潮数值模拟[J]. 极地研究, 2019, 31(1): 56-68.
ZHOU X Q, HU S, ZHANG Y. Numerical simulation of barotropic tide in the Bransfield Strait, Antarctica [J]. Chinese journal of polar research, 2019, 31(1): 56-68.
- [12] 夏泽宇, 蔡辉, 谭亚. 闽江河口三维潮流数值模拟及特性分析[J]. 水运工程, 2017(6): 57-64, 91.
XIA Z Y, CAI H, TAN Y. 3D numerical simulation and analysis of character of tidal currents in Minjiang Estuary [J]. Port & waterway engineering, 2017 (6): 57-64, 91.
- [13] CHEN C S, LIU H D, BEARDSLEY R C. An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: application to coastal ocean and estuaries [J]. Journal of atmospheric and oceanic technology, 2003, 20(1): 159-186.
- [14] CHEN C S, BEARDSLEY R, COWLES G. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system [J]. Oceanography, 2006, 19(1): 78-89.
- [15] 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
Design code of general layout for sea ports: JTS 165-2013 [S]. Beijing: China Communications Press, 2013.

(本文编辑 赵娟)