



闽江下游河势演变分析及航道治理方案探讨

汪邵英

(福建省港航勘察设计院有限公司, 福建 福州 350002)

摘要: 闽江是福建省最大的河流, 在区域经济发展、防洪安全、航运交通及生态环境等方面具有举足轻重的地位。1998年以来, 受人类活动和自然因素的双重影响, 南港河床全面刷深、水位全线下跌, 水流畅通, 分流量急剧加大; 北港河道口门淤堵, 全线微淤积, 水流处于上堵下阻状态, 分流量急剧减少。南北港分流比格局性变化, 河床刷深及流态流场剧烈改变, 导致南北港船舶通航安全、桥梁安全、防洪及福州饮用水质量、生态环境和城市景观等面临严峻威胁。综合运用历史资料和近期多年实测资料, 全面剖析南北港河势变化规律和存在问题, 提出疏浚北港口门大片浅梗并疏通长约5 km北港主通道、将南港峡南桥群单孔双向调整成双孔单向通航方案等针对性治理方案, 同时应用数学模型分析, 初步预测北港的分流量由现状的20%调高至28%, 并应用船模验证南港桥群区新航线方案的船舶通航安全性, 为闽江下游南北港综合开发与治理提供参考。

关键词: 南北港; 分流比; 河势演变; 航道治理

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)12-0177-08

Analysis of river regime evolution in lower reaches of Minjiang River and discussion on channel regulation scheme

WANG Shaoying

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

Abstract: The Minjiang River is the largest river in Fujian Province, playing a pivotal role in regional economic development, flood control safety, shipping transportation, and ecological environment. Since 1998, under the dual influence of human activities and natural factors, the riverbed of the South Port has been comprehensively deepened, water levels have dropped, water flow has become unobstructed, and the diversion volume has increased sharply. While the estuary of the North Port has been silted up, with overall slight siltation, the water flow is in a state of blocked upstream and hindered downstream, and the diversion volume has decreased sharply. The pattern change of the diversion ratio between the North and South Ports, as well as the drastic changes in riverbed deepening and flow pattern, have posed severe threats to the shipping safety of ships in the North and South Ports, bridge safety, flood control, drinking water quality in Fuzhou, ecological environment, and urban landscape. This paper comprehensively uses historical data and measured data in recent years to fully analyze the laws of river regime changes and existing problems in the North and South Ports, and proposes targeted governance schemes such as dredging the large shallow ridges at the estuary of the North Port and dredging the main channel of the North Port with a length of about 5 km, and adjusting the single-hole two-way navigation of the Xia'nán bridge group in the South Port to a double-hole one-way navigation scheme. At the same time, a mathematical model is applied to preliminarily predict that the diversion volume of the North Port will be increased from the current 20% to 28%, and a ship model is used to verify the shipping safety of the new route scheme in the bridge group area of the South Port, providing reference for the comprehensive development and governance of the North and South Ports in the lower reaches of the Minjiang River.

Keywords: North and South Ports; division ratio; river regime evolution; channel regulation

收稿日期: 2025-05-06 录用日期: 2025-06-03

作者简介: 汪邵英(1978—), 女, 高级工程师, 从事航道工程设计工作。

福州市南台岛把闽江下游淮安—马尾河道分为南港和北港,南港河道长约35 km,呈微弯且宽浅,平均宽约1.5 km,在新岐和峡南枕峰纳大樟溪和陶江两条支流后往下游接近南台岛下端部,受道庆洲阻隔分为马杭水道和炎山水道,两水道与北港汇合部是马尾大港池水域;北港河道长约30 km,呈弯曲且深窄,平均宽约0.4 km。南北港汇合到白岩潭进入闽安峡谷。随着福州市“东扩南进,沿江向海”发展战略的实施,北港水运功能转为旅游功能,通航闽江旅游客船;南港已成为闽江内河货船的主通道,2022年闽江干流(南平延福门经南港至马尾罗星塔)内河Ⅳ级航道全线贯通,满足1 000吨级闽江干流标准船型通航需求。

闽江作为连接闽西北山区与沿海地区的黄金水道,国内已有诸多学者对其开展了一定的研究。王立辉等^[1]基于闽江下游竹岐站1950—2019年长序列径流量数据,采用Mann-Kendall法和Morlet小波分析相结合的分析方法,对闽江下游径流量序列的演变特征进行研究;夏厚兴^[2]利用MIKE 21模型结合长期观测地形图和实测水文数据研究了闽江下游南北港的分流比;叶燕贻^[3]对水口电站建设对闽江河口区的影响进行了分析;徐心群^[4]对闽江下游分汉口航道整治效果进行了分析。

本文综合运用近30多年实测资料,全面剖析南北港河势演变规律,针对南北港航道现状提出针对性的治理方案,旨在为闽江下游综合开发与治理提供参考。

1 闽江南北港航道治理历史沿革

在近现代早期,闽江南北港面临着频繁的水患威胁以及航运条件不佳的问题。为应对这些情况,当地先民采取了一系列初步的治理手段,例如人工疏挖河道、在河岸地区修筑低矮的堤坝等,这些早期治理措施在一定程度上缓解了当时面临的水患和航运难题。

新中国成立后,闽江南北港迎来了大规模的现代治理阶段,相继开展了河道沿程及淮安口抛筑丁顺坝、马尾万吨码头淤积治理、南港航道整

治、马尾罗星塔(经南港)至水口坝下航道整治等系统的河道整治工程,提高了航道的通过能力,改善了河道的行洪能力;同时1993年建成的水口大坝拦截了大量泥沙并控制下泄流量,对闽江下游河势变化产生了深远影响。

2 闽江干流来水来沙及河口区潮区界和潮流界

2.1 闽江干流来水来沙条件变化

闽江下游径流量变化季节性较强且变化大,有明显的洪、中、枯水季节之分。1993年4月水口大坝蓄水后,坝下径流过程已无洪、中、枯水期的划分,仅为汛期和非汛期。

闽江干流的泥沙主要来源于上游山区的水土流失以及河流自身的侵蚀作用,汛期输沙量占全年输沙量的90%以上。1993年4月水口大坝蓄水后,推移质泥沙基本拦截在库中,坝下来沙量大幅减少。2022年水口坝下反调节坝建成,大坝下泄泥沙再一次被拦截,多年平均悬移质含沙量由 0.128 kg/m^3 减少为 0.037 kg/m^3 ,减少了71.1%;多年平均悬移质输移量由703万t减少为236万t,减少了66.4%。

2.2 河口区潮区界和潮流界

闽江口是一个陆相强潮河口,潮汐为正规半日潮型。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)。

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位置(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,但高潮位仍保持不变,目前从侯官至反调节坝长约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 m^3),非汛期侯官处已有明显的每天两涨两落的潮汐特征,涨潮历时4 h 47 min,潮差达2.24 m。根据2023年2月实测资料:水口电站下泄流量 $650 \sim 820 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,侯官处落潮流量 $3\,200 \sim 4\,800 \text{ m}^3/\text{s}$,数据表明即使电站下泄流量为0,侯官处也有落潮流量约 $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

上述资料表明，1995 年前闽江南北港仅局部(北港—洪山桥)处于潮流区，2013 年后至今非汛期潮区界已上提至水口电站，水口电站以下河段均为受潮汐、潮流影响的感潮河段^[5]，见图 1。

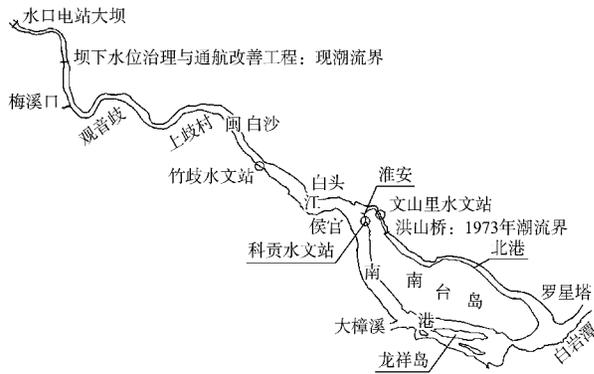


图 1 闽江河口区潮流界位置

Fig. 1 Location of the tidal current limit in Minjiang River estuary area

3 南北港分流比巨变及分析

闽江下游南北港是相互影响的两条汊道，从 1994—2024 年 30 a 时间，南港经历了由断流转变为闽江干流来水 80% 进入其中的巨大变化。

3.1 1995 年前分流比概况

通过对历史水文资料的分析可知，1995 年前南北港分流比相对较稳定，年内分流比随季节变化呈现一定规律。这一时期，南北港河道地形地貌为南港宽浅、北港窄深；在汛期，由于南港河道相对宽阔、行洪能力较强，南港分流比有所增加；在非汛期，北港分流比略有上升，历史上有过非汛期“三七开”、汛期“倒三七开”之说，即汛期南港分流量约占 70%、北港约占 30%；而枯水期则相反，南港分流量仅约占 30%、北港约占 70%，见表 1。根据 1995 年前南北港多次实测地形图计算及水位观测资料分析，落潮全过程南港河道水面沿程高程比同断面北港高 1~2 m、南港水面始终高于北港，导致出现非汛期北港分流占干流的 70%。

表 1 闽江下游南北港分流比 (1975—1993 年)

Tab. 1 Division ratio of North and South Ports in lower reaches of Minjiang River from 1975 to 1993

年份	干流竹岐水文站 流量/(m ³ ·s ⁻¹)	北港 分流量/%	南港 分流量/%	北港分 流增量/%
1975—1976	600	48.3	51.7	-
	1 000	46.0	54.0	-
	2 000	42.0	58.0	-
1977—1987	3 000	39.7	60.3	-
	600	71.7	28.3	23.4
	1 000	63.5	36.5	17.5
1988—1993	2 000	54.5	45.5	12.5
	3 000	50.3	49.7	10.6
	600	100.0	0	51.7
1988—1993	1 000	87.5	12.5	41.5
	2 000	73.5	26.5	31.5
	3 000	67.0	33.0	27.3

3.2 1995—2024 年分流比变化

1995 年之后，南北港分流比发生了显著变化，南港分流量逐渐上升，北港分流量相应下降。根据 2013 年 6 月 24—25 日和 2023 年 2 月 22 日实测资料，见表 2，侯官流量 3 400~4 000 m³/s 时，南港分流量约 80%，北港分流量约 20%，可见非汛期南北港的分流比已发生格局性变化，非汛期南港的分流量由原来的 30% 增加至 80%，南港的水动力大幅提升。同时，2013 年 6 月 24—25 日闽江南北两港同步实测潮位资料首次揭示，落潮全过程南港河道水面沿程高程始终低于同断面北港水面高程，北港口门淤积，落潮水流受阻。

表 2 2013 年和 2023 年实测落潮流量及分流比

Tab. 2 Measured ebb tide volume and division ratio in 2013 and 2023

时间	落潮流量/(m ³ ·s ⁻¹)			分流量/%	
	干流 (侯官)	南港 (科贡)	北港 (文山里)	南港	北港
2013 年 6 月	3 400~4 000	2 984~3 635	523~1 249	79.41	20.59
	4 000~4 500	3 399~4 138	582~1 144	80.05	19.95
	4 500~5 300	3 703~4 484	689~1 607	77.80	22.20
2023 年 2 月	2 400~4 000	2 185~3 750	360~808	82.35	17.65
	4 000~4 500	3 233~3 778	632~1 053	80.12	19.98
	4 500~5 000	3 836~3 846	881~1 088	79.09	20.91

3.3 南北港分流比变化原因分析

南北港分流比在 1995 年后发生巨大变化，主要原因如下。

1) 1993 年 4 月水口大坝截流后基本无下泄推移质泥沙，悬移质泥沙大幅减少，南北港河道基本无泥沙补给。河口区潮流界上溯至水口大坝附近，非汛期南北港落潮水动力条件大幅提升。

2) 北港河道自 20 世纪 70 年代开始大量无序采砂，是南港分流量持续减小甚至出现南港断流的主要原因；1997 年北港禁止采砂后河道下切得到遏制，北港分流量逐步减少至 20%，目前处于微淤状态。

3) “1998-06-23”特大洪水期间南港入口段河床冲刷，南港进口被打通；再加上 1998 年南港开始大规模、大范围无序开采河沙，导致南港河道全面加深，低水位大幅下跌，南港分流量逐步加大至 80%。2015 年南港禁采河砂后河道下切趋势得到遏制，分流量趋于稳定。

4 水口大坝截流后南北港河道冲淤演变分析及趋势预测

4.1 南北港河道冲淤演变分析

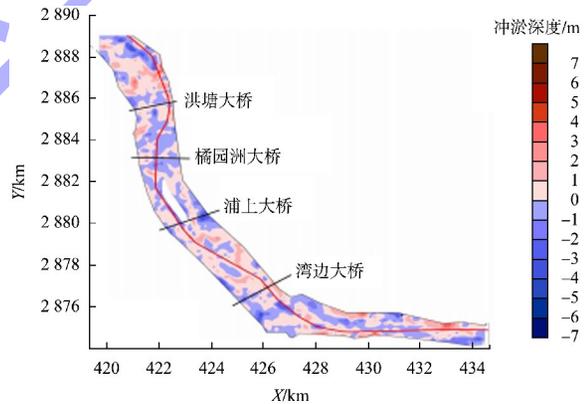
闽江水口电站大坝于 1993 年 4 月下闸蓄水，水库调节库容为 7 亿 m³，库容系数仅 1.4%，基本上属于径流式电站。水口大坝截流后，改变了河流天然条件下的径流分配，坝下径流过程已无洪、中和枯水期的区分，仅为汛期和非汛期。水口大坝截流后，南北港河道冲淤演变如下。

1) 1993—1995 年北港河道仍处于冲刷状态，南港处于淤积状态，1994 年 1 月 11 日在南港科贡站施测，流量为 0，南港断流^[8]。

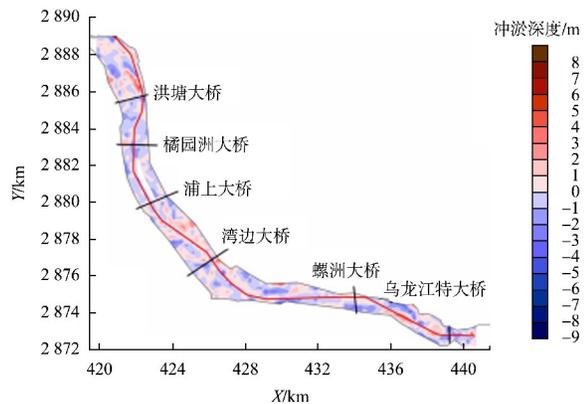
2) 1995—2024 年，北港由于分流量下降导致水流挟沙能力减弱，部分河段出现淤积现象，淤积厚度为 0.5~1.5 m，尤其是在进口段，北港口淤堵导致北港落潮过程受阻。而南港由于分流量增加，水流动力增强，河道整体以冲刷为主，尤其是在进口段、部分桥墩和弯曲河段，冲刷深度

达 2~3 m。

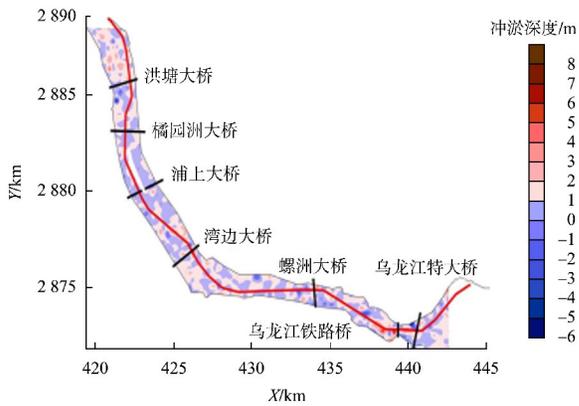
根据 2013—2023 年南港河道冲淤平面分布分析，见图 2，南港河道淤积区淤积厚度多为 0~2.5 m，局部淤积较严重的区域如洪塘大桥上游人工航槽附近及螺洲大桥至乌龙江铁路桥航段中段靠近左岸区域，淤积厚度达 3~7 m，此类现象多为深坑回淤。冲刷区冲刷深度多为 0~2 m，局部冲刷较严重的区域如 2015 年 12 月—2017 年 12 月湾边大桥至螺洲大桥中段的吴凤洲附近及螺洲大桥至乌龙江铁路桥航段中段靠近右岸区域，冲刷深度达 2~8 m，但均为局部小范围深坑，主要由人为活动导致。以龙祥岛附近河道内吴凤洲变化情况为例：根据对 2009、2014、2016、2018 和 2020 年南港河道实测地形图，吴凤洲（江中洲）2009 年面积约 0.15 km²（高潮位时露滩面积），以后逐年缩小，2018 年面积仅为 0.01 km²，至 2020 年完全消失，见图 3。



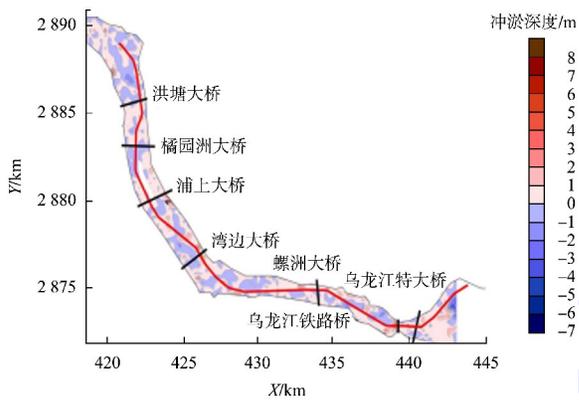
a) 2013年7月—2014年12月



b) 2015年12月—2017年12月



c) 2019年11月—2021年10月



d) 2021年10月—2023年2月

注：正值表示淤积，负值表示冲刷。

图 2 2013—2023 年南港河道冲淤平面分布
Fig. 2 Sediment deposition and erosion distribution of South Port waterway from 2013 to 2023

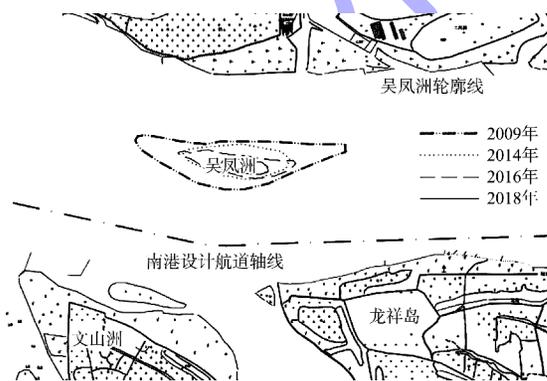


图 3 吴凤洲演变

Fig. 3 Evolution of Wufengzhou

4.2 南北港河道冲淤演变趋势预测

导致河道河床大冲大淤主要因素为：河道边界条件、上游来水来沙，水流动力条件。1) 南北港河道两岸有防洪堤岸控制，还有丁坝、顺坝控

导，河道边界条件稳定并将保持长期稳定；2) 水口电站及下游的反调节坝对闽江干流来沙的拦截导致南北港基本无推移质底沙补给，悬移质泥沙大幅减少；3) 潮流动力条件大幅增强，非汛期上游来水量不受水口电站下泄流量控制，以潮流为主，特别是南北港落潮水流分流比现有格局不可能有大的变化；4) 目前南北港河道已严禁开采河砂，并已得到有效实施。

运用数学模型对南北港河道未来冲淤演变趋势进行预测，结果表明：在现状条件下，北港将继续保持微淤趋势，尤其是在水流不畅的河段；南港将保持冲刷趋势^[9]。总之，南北港河道冲淤变化幅度不大，将持续保持稳定，为航道治理提供了有利条件。

5 南北港航道进一步治理方案

5.1 南北港航道现状及跨江桥梁

马尾罗星塔经南港至侯官的南港航道现为内河IV级航道，航道全长约 37 km，单线航道宽度 30 m，双线航道宽度 55 m，航道最小弯曲半径 300 m，航道水深 2.5 m，满足 1 000 吨级闽江干流过闸运输船舶标准船型通航要求。航道上现有桥梁 13 座(含在建 1 座)，其中有 5 座桥梁桥区航道为双孔单向，其余桥梁桥区航道为单孔单向或单孔双向。

闽江北港航道从淮安分流口至罗星塔长约 30 km，其中淮安分流口至福州鳌峰大桥航段长约 16.1 km，为内河IV级航道，通航 500 吨级内河货船，双线航道宽度 50 m，设计水深 1.9 m，最小弯曲半径 330 m；闽江福州鳌峰大桥至福州市马尾航道长约 13.9 km，为内河II级航道，通航 1 000 吨级海轮，航道宽度 70 m，底高程-3.8 m(基面为当地理论最低潮面)。航道上现有桥梁 13 座，其中有 2 座桥梁桥区航段为双孔单向，其余桥梁桥区航段为单孔双向或单孔单向。

5.2 南北港航道存在问题及治理方案

5.2.1 南北港航道存在问题

近几十年来,受人为大范围大规模采砂、潮流界上提等因素影响,闽江南北港河床形态发生了格局性的变化,南北港分流比由原来的3:7转变为8:2。若分流比继续扩大,对船舶通航、桥梁安全、防洪、生态环境都将产生不利影响。

目前南北港航道存在的主要问题:北港河道口门淤堵,航道沿线部分航段淤积、水深不足。南港航道部分航段弯曲度较大,增加了船舶航行难度和安全风险;航宽受限,尤其是在桥区航段船舶交汇困难,通航效率较低。

5.2.2 进一步治理方案

5.2.2.1 北港航道治理方案

为了缓解北港部分航段淤积,解决北港河道口门淤堵,提高北港分流量,对北港口门大片浅梗进行疏浚并疏通淮安口至北港主通道,确定主通道的疏浚长度和疏浚深度是治理的关键。

通过数学模型比较北港航道疏浚长度2 km(淮安大桥附近)、3 km(文山里附近)、5 km(洪山桥上游)时,不同疏浚深度(1~3 m)对于南北港分流比的影响。疏浚位置见图4。

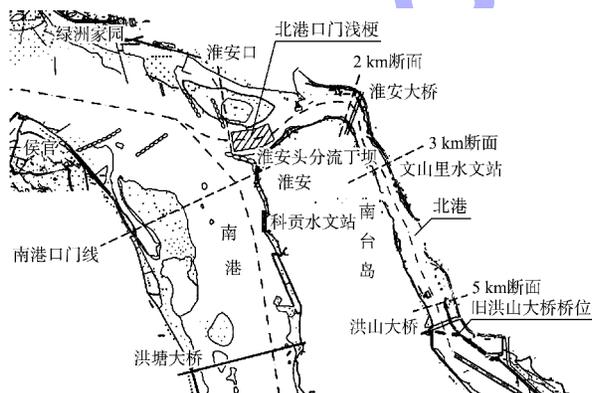


图4 闽江北港疏浚位置

Fig. 4 Dredging location in North Port of Minjiang River

经分析,对北港主通道进行疏浚可增加北港分流量,当疏浚长度保持不变时,随着疏浚深度加深北港分流量明显增大;当疏浚深度相同时,随着疏浚长度增加北港分流量逐渐增加。经综合比较分析,采用淮安口至北港5 km主通道(洪山桥上游)疏浚2 m的整治方案,该方案使北港分流量由现状的20%提高至28%左右,北港(金山大桥点位)流速由0.62 m/s增加至0.77 m/s,增幅约23%;南港(峡南点位)流速由0.99 m/s降低至0.88 m/s,降幅约11%。

5.2.2.2 南港航道治理方案

为提高南港航道通过能力,降低船舶通航风险,采取部分桥区通航孔由单孔双向调整为双孔单向模式,并优化局部航线。

1) 峡南桥群新增通航孔^[10],调整为双孔单向通航模式。峡南窄口处280 m河段现有5座桥梁均为单孔双向通航。峡南窄口桥群区水中桥墩林立,通视条件差,各桥主墩沿航道方向不相对应,同时涨落潮水流速急且流态紊乱,通航安全隐患大。

为改善桥群区航道通航条件,将桥群区5座桥梁新增南侧通航孔,由单孔双向通航改为双孔单向通航,即采用“上行孔+下行孔”分离布置;福泉高速桥取消北侧通航孔,在原下行通航孔南侧新增通航孔,下行通航孔改为上行,并对福厦铁路桥上游及福泉高速桥下游转弯区域进行拓宽,与上下游航道平顺衔接,见图5。为此开展了桥群区船舶操纵模拟试验研究,研究表明在6级风况且流速不大于1 kn条件下,2 000吨级闽江内河船舶可单向通过峡南桥群通航孔。

经评估,桥群航道采用双孔单向通航模式使桥群段通行能力提升40%,单孔通过能力从30艘次/d提升至50艘次/d。

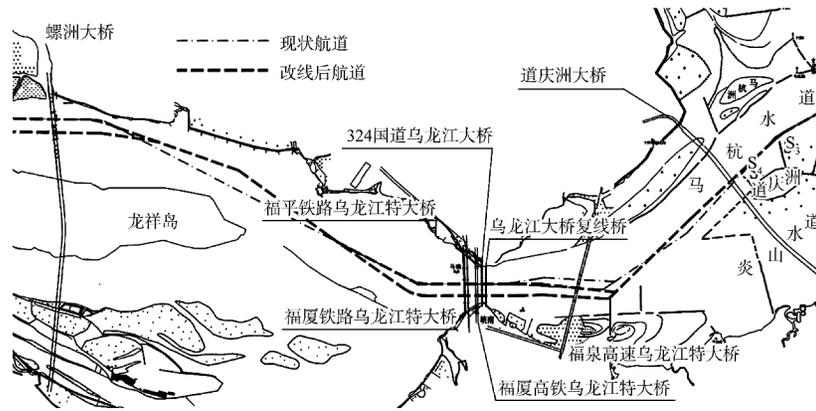


图 5 峡南桥群航段航道改线方案

Fig. 5 Waterway rerouting scheme for Xia'nan bridge cluster section

2) 南港湾边特大桥与螺洲大桥航段航道改线。据调研,南港湾边特大桥与螺洲大桥航段由于河道普遍刷深,导致江心洲(吴凤洲)消失,通航条件已大为改善。近 10 多年来通航船舶均不沿贴近龙祥岛岸边设计的微弯曲航线通航,而沿近

河道中部直线通航(习惯航路),因此将该航段航线按习惯航路更改,同时将湾边大桥和螺洲大桥通航方式由单孔双向调整为双孔单向,见图 6。经评估,航道改线可使南港航道通航效率提高 30%~40%,有效改善通航条件。

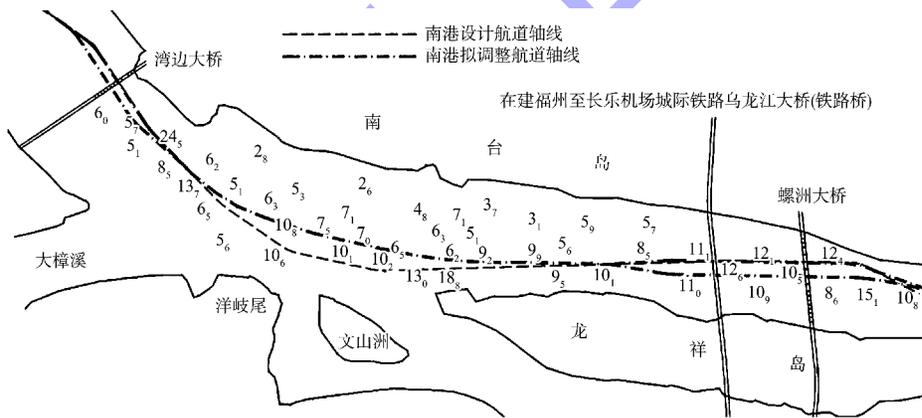


图 6 湾边大桥至螺洲大桥航段航道改线

Fig. 6 Waterway rerouting for the section from Wanbian Bridge to Luozhou Bridge

3) 浦上大桥桥区航段治理方案。浦上大桥 2[#]~3[#]~4[#]孔跨均为 110 m,其中 2[#]~3[#]通航孔是通过疏浚开挖百七股洲头形成的,经常回淤。西侧毗邻桥孔跨度仅 72 m,但水深条件好,多年来存在船舶沿西侧毗邻桥孔通航,安全隐患大。提出新增东侧通航孔(3[#]~4[#]),将浦上大桥由单孔双向改为双孔单向通航模式;并在历年淤积部位的航槽边线外百七股洲抛筑人工袋装沙连锁排固滩拦沙,以减少航道淤积。

6 结语

1) 闽江下游南北港河道是相互影响和制约的两条穿越福州主城区的分汊河道,在人类活动和自然因素共同作用下,非汛期南北港分流比由原来的 3:7 转变为 8:2,南港河道全面冲刷,北港河道口门淤堵,部分航段淤积。

2) 为了提高北港分流量,缓解北港淤积,采取疏浚北港口门大片浅梗、疏通长约 5 km 北港主通道的整治工程措施,经数模初步分析北港的分

流量由现状的 20% 提高至 28% 左右, 增强落潮水动力条件, 使落潮水流畅通无阻, 改善船舶通航条件和生态环境。

3) 目前南港河道已趋于稳定状态, 通过将峡南桥群、湾边大桥、螺洲大桥和浦上大单孔双向调整成双孔单向通航方案并优化局部航线, 可有效改善船舶通航安全、提升航道通过能力并为将来航道等级提升创造条件。

4) 南北港受上游水口电站下泄水沙、河口区上溯潮流及两汉河道相互制约等多重因素影响, 处于不断地冲淤动态变化之中, 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] 王立辉, 钟昊林, 余志明, 等. 1950—2019 年闽江下游径流量变化特征分析[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2022, 50(5): 681-686.
WANG L H, ZHONG H L, YU Z M, et al. Analysis of the runoff variation characteristics in the downstream of Minjiang River from 1950 to 2019[J]. Journal of Fuzhou University (natural science edition), 2022, 50(5): 681-686.
- [2] 夏厚兴. 闽江下游南北港分流比变化数值模拟分析[J]. 人民珠江, 2023, 44(4): 71-78.
XIA H X. Numerical simulation analysis on change of diversion ratio of North and South Ports in the lower reaches of the Minjiang River [J]. Pearl river, 2023, 44(4): 71-78.
- [3] 叶燕贻. 水口电站建设对闽江河口区的影响[J]. 水运工程, 2000(6): 33-36, 38.
YE Y Y. Influence of construction of Shuikou hydropower station on Minjiang River Mouth area[J]. Port & waterway engineering, 2000(6): 33-36, 38.
- [4] 徐心群. 闽江下游分汉口航道整治效果分析[J]. 水运工程, 1987(11): 11-17.
XU X Q. Analysis on regulation effect of braided channel in the lower reaches of Minjiang River [J]. Port & waterway engineering, 1987(11): 11-17.
- [5] 朱贵青, 林晓皓, 陈瑶, 等. 闽江下游感潮河段涨落潮过程对水体重金属和砷分布特征的影响[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2024, 40(3): 1-11.
ZHU G Q, LIN X H, CHEN Y, et al. Influence of tidal fluctuations on the distribution characteristics of heavy metals and arsenic in the lower Minjiang River[J]. Journal of Fujian Normal University (natural science edition), 2024, 40(3): 1-11.
- [6] 杨家坦, 江传捷. 闽江下游南北港河床演变及治理的研究[J]. 水利水电技术, 1996(2): 2-5.
YANG J T, JIANG C J. Study on the riverbed evolution and governance of the north and south branches in the lower reaches of Minjiang River[J]. Water resources and hydropower engineering, 1996(2): 2-5.
- [7] 林勇. 对闽江下游河道整治方案的分析和建议[J]. 水利科技, 2002(2): 3-4.
LIN Y. Analysis and suggestions on the regulation scheme of the lower reaches of Minjiang River [J]. Hydranlic science and technology, 2002(2): 3-4.
- [8] 郑鸣芳. 水沙平衡演变对闽江下游河道的影响[J]. 水利科技, 2007(1): 6-8.
ZHENG M F. Influence of water and sediment balance evolution on the lower reaches of Minjiang River [J]. Hydraulic science and technology, 2007(1): 6-8.
- [9] 潘东曦. 闽江下游南北港近期演变特点和分析[J]. 水利科技, 2017(1): 1-8.
PAN D X. Characteristics and analysis of recent evolution of north and south ports in the lower reaches of Minjiang River [J]. Hydraulic science and technology, 2017(1): 1-8.
- [10] 陈婷婷, 胡阳, 周玉洁, 等. 航道疏浚对复杂桥群河段通航水流条件影响的试验研究[J]. 水运工程, 2022(9): 99-105, 111.
CHEN T T, HU Y, ZHOU Y J, et al. Research on influence of channel dredging on navigable flow conditions in complex bridge-group reach [J]. Port & waterway engineering, 2022(9): 99-105, 111.

(本文编辑 王传瑜)