

· 航道及通航建筑物 ·



后12.5 m时期长江口航道面临的机遇、 挑战与对策*

赵德招, 刘 杰, 程海峰, 王珍珍

(上海河口海岸科学研究中心 河口海岸交通行业重点实验室, 上海 201201)

摘要: 历时40年研究和13年建设的长江口深水航道治理工程已于2011年5月实现了12.5 m深水航道正式通航, 长江口航道体系格局因此发生了历史性变化, 跨入了后12.5 m时代。在对长江口航道现状及问题分析的基础上, 探讨后12.5 m时期长江口航道可能面临的各种机遇和挑战, 并提出相应的治理对策。

关键词: 长江口航道; 后12.5 m; 机遇和挑战; 治理对策

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)04-0106-07

Opportunity, challenge and measure of Yangtze estuary waterway in the period of post 12.5-meter navigation channel

ZHAO De-zhao, LIU Jie, CHENG Hai-feng, WANG Zhen-zhen

(Key Lab of Estuarine & Coastal Engineering Ministry of Communications, PRC,

Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: Due to Yangtze Estuary Deepwater Channel Regulation Project with 40 years of research and 13 years of construction, the 12.5-meter-deep waterway was officially navigational in May 2011, and thus the pattern of Yangtze estuary waterway system had a historic change and stepped into the period of post 12.5-meter navigation channel. Based on analysis of current situation and problems of Yangtze estuary waterway, various kinds of opportunities and challenges of Yangtze estuary waterway in the period of post 12.5-meter navigation channel are discussed, and relevant channel regulation measures are preliminarily presented.

Key words: Yangtze estuary waterway; post 12.5-meter navigation channel; opportunity and challenge; regulation measure

长江口航道是长江水运船舶入海的必经之路, 是长江黄金水道中通航条件最好、货流密度最大的区段, 是关系到国民经济发展全局的重要战略运输通道^[1]。自1843年上海港开埠以来, 长江口航道逐步成为长江三角洲地区乃至长江流域的重要运输通道, 也是上海港建设和发展的重要基础。经过1998—2011年长江口深水航道治理一期、二期和

三期工程的艰苦建设, 长江口深水航道(主航道)南港北槽航段水深由工程前的7.0 m 加深到12.5 m, 5万吨级集装箱船(实载吃水11.5 m)可全潮进出长江口。长江口深水航道的成功治理极大地改善了长江口航道的通航条件, 提高了航道通过能力和大型船舶营运水平, 取得了显著的经济和社会效益。至此, 长江口航道体系格局发生

收稿日期: 2012-09-27

*基金项目: 长江科学院开放研究基金资助项目(CKWV2012304/KY); 国家自然科学基金重点项目(50939003); 国家自然科学基金面上项目(50979053)

作者简介: 赵德招(1982—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事河口海岸泥沙及港口航道工程研究。

了历史性变化,正式跨入了后12.5 m时期。本文从长江口航道现状出发,针对后12.5 m时期长江口航道可能面临的各种机遇和挑战进行全面的分析,并提出相应的治理对策,可为长江口航道体系建设、深水航道维护管理以及航道资源保护等提供科学依据,对充分发挥长江黄金水道作用、加快推进上海国际航运中心建设具有一定的积极意义。

1 长江口航道现状及存在的问题

1.1 航道现状

长江口上起江苏常熟的徐六泾,下迄长江

入海口的长江口灯船,全长约182 km,是“三级分汊、四口入海”的大型复杂河口。河口区域内水道众多,航道资源十分丰富(图1),现有主要航道包括主航道(由南支航道、南港航道和北槽航道组成)、南槽航道、北港航道、北支航道、横沙通道、白茆沙北航道、宝山南航道、外高桥沿岸航道、新桥水道、长兴水道等众多航(水)道。其中,除主航道和北支航道(灵甸港—连兴港)为有确定维护标准的人工航道外,其余各航道总体上均为自然水深航道或由企业维护的进出港航道。长江口主要航道尺度现状如表1所示。

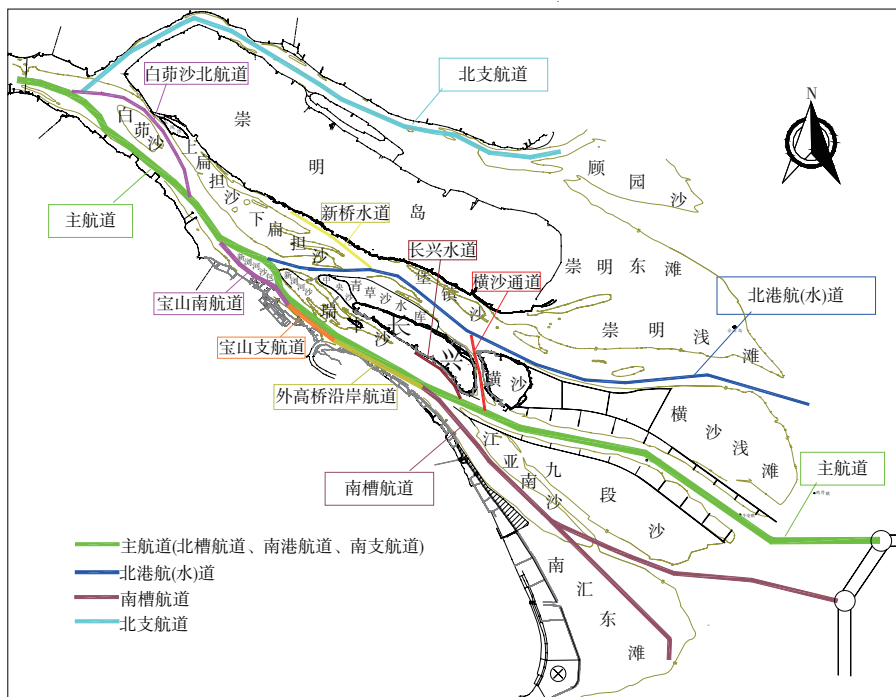


图1 长江口航道现状

表1 长江口主要航道尺度现状

航道	航段	里程/km	航道类型	设标情况	航道尺度(水深×航宽)或自然水深/(m×m)
主航道	南支上段(徐六泾—荡茜闸)	21.6	人工维护	已设标	10.8×(500~800)
	向上延伸段(三期航道上口—荡茜闸)	56.0	人工维护	已设标	12.5×(350~460)
	南港北槽段	92.2	人工维护	已设标	12.5×(350~400)
南槽航道	南槽航道上段	20.0	自然水深	已设标	水深约10 m
	南槽航道下段	55.0	自然水深	已设标	水深约5.5 m
北港航(水)道	新桥通道段	15.0	自然水深	已设标	水深约10 m
	北港中段	30.0	自然水深	未设标	水深约10 m
	北港拦门沙段	45.0	自然水深	未设标	水深约6 m
北支航道	北支口—灵甸港	30.0	自然水深	已设标	水深约2 m
	灵甸港—红阳港	15.0	人工维护	已设标	2.5×200
	红阳港—五仓港	20.0	人工维护	已设标	3.0×400
	五仓港—连兴港	12.0	人工维护	已设标	5.0×250

1.2 存在的主要问题

近年来,虽然长江口航道的开发治理已取得了显著成效,太仓港以下12.5 m主航道全线贯通,长江口航道条件得到了根本性的改善,航道体系格局日趋完善,但目前长江口航道的建设发展仍存在着一些深层次矛盾和突出问题,主要有以下几大方面:

1) 长江口12.5 m深水航道(长达92.2 km的南港北槽航段)回淤总量大,航道养护费用高。根据对2010年3月试通航以来的航道回淤资料分析和泥沙数模计算,12.5 m深水航道年维护疏浚量约7 500万~8 000万 m^3 (包含台风、大洪水、寒潮等恶劣水文气象因素引起的骤淤量),年维护费用高达约15亿~16亿元(根据20元/ m^3 的处理单价测算)。加之整治建筑物维护、测量监测与试验研究、船舶及设施运行等其他维护内容,显然当前长江口航道维护压力较大。

2) 长江口大部分河段总体仍处于非受控自然状态,多处局部河势不良,深水航道不能确保长期稳定运行,也制约了航道资源的开发和利用。如南支上段的白茆沙头部冲刷后退、沙体缩小,南水道进口航槽向宽浅方向发展,对白茆沙水道现有航道格局的稳定不利^[2];南支中段主槽北侧的扁担沙南沿冲刷明显,主槽向北拓展,深泓水深大幅淤浅^[3];南港河段的瑞丰沙中部窄沟发展、下沙体冲刷,受此影响南港下段落潮主流北偏、12.5 m深槽上提;南槽河段的江亚南沙沙尾持续淤涨下延、侵入南槽中段航道,导致局部航槽水深不足5.0 m;尚未进行航道开发的北港河段尚存在较长尺度(约45 km)、不足10 m目标水深(滩顶最小水深仅5.5 m左右)的拦门沙浅滩;等等^[4]。以上这些局部河势的不良因素在一定程度上制约了长江口航道资源的开发和利用。

3) 长江口潜力巨大,沿江水运需求稳步增长,航道资源有待进一步开发利用和保护。长江口水深测图显示,除拦门沙和局部浅段外,南支、南港、北港、南槽、北支下段等水域航道自然水深优良,均具有进一步开发的潜力。尤其,随着沿江沿海地区社会经济发展以及航运发展对

航道需求的提升,长江口主航道南港段的船流密度大,通航压力日趋增大,北港、北支、南槽等航道资源的后续开发已迫在眉睫。

4) 长江口现有研究成果仍难以满足当前工程需要,航道科研与信息化管理水平亟需提高。尽管长江口深水航道治理工程取得了成功,但长江口是一个丰水多沙、多级分汉、滩槽交错、径潮流交互作用的巨型复杂河口,其航道开发治理及日常维护仍将是一项长期、复杂的探索性和创新性的技术问题,研究工作任重道远。就目前而言,长江口航道仍存在大量需从理论和实践方面研究解决的技术难题,如河口拦门沙河段回淤规律及机理、北槽12.5 m深水航道进一步减淤的技术方案、大风诱发航道骤淤的预报和对策、疏浚施工对航道回淤的影响等。

2 长江口航道面临的机遇和挑战

2.1 机遇

2.1.1 长江口12.5 m深水航道的成功建设为长江口航道的系统治理积累了经验

长江口深水航道治理工程是一项史无前例的大型复杂河口治理工程。经长期、多学科的联合攻关研究,基本掌握了长江口水、沙运动及河床演变的基本规律,提出了新的治河理念及“中水位整治、稳定分流口、采用宽间距双导堤加长丁坝群,结合疏浚工程”的总体治理方案^[1]。在工程实践过程中,解决了一期工程航道骤淤、二期工程地基软化、三期工程航道回淤严重、增深困难等一系列重大技术难题,获得了大量丰富的治理经验。

长江口深水航道治理工程是我国河口治理和水运事业的伟大创举,是世界上巨型复杂河口航道治理的成功范例,形成了一整套先进技术(成套技术创新成果多达74项),从而促进了我国巨型河口航道治理技术的进步。《国务院关于加快长江等内河水运发展的意见》(国发[2011]2号,以下简称《意见》)中明确指出,为加快实现长江下游航道规划标准,应巩固长江口12.5 m深水航道建设成果,稳步推进长江口12.5 m深水航道向上延伸工程。总体而言,长江口深水航道治理工程

成功开启了长江口及长江下游航道的系统治理,并为后续的治理开发积累了经验。

2.1.2 长江口航道发展规划的编制为长江口航道资源的后续开发指明了方向

《长江口航道发展规划》是在密集的调研以及广泛专题研究的基础上,以国务院批准的《长江口综合整治开发规划》和《长江干线航道总体规划纲要》为指导,结合长江口航道发展面临的新形势和新要求编制完成的,并于2010年8月获得交通运输部的正式批复,是长江口航道发展史上首个科学完整的规划。

该规划明确了长江口航道“一主”(主航道)、“两辅”(南槽航道和北港航道)、“一支”(北支航道)的航道体系格局,并确定了规划的总体目标为“争取利用10~20 a长江口主航道12.5 m水深畅通并进一步向上延伸,北港、南槽和北支等航道资源得到合理开发利用和有效保护,适应流域经济发展对长江口航道的需求”^[1]。《长江口航道发展规划》是今后一个时期内长江口航道体系建设的重要指导性文件,因此它的及时出台无疑为长江口航道资源的后续开发指明了方向。

2.1.3 良好的水运经济形势和政策环境为长江口航道体系的建设加快了进程

沿江经济社会和长江水运发展对长江干线航道的需求越来越高。近年来,随着沿江经济的快速发展以及沿海产业加快向内陆的转移,长江流域已经成为我国发展活力最强、产业聚集度最高的区域。长江沿线港口码头大规模持续建设,船舶大型化、深水化发展趋势明显,带来了日益旺盛的水运需求。特别是沿江地区和沿线中心城市的发展更加重视和依托长江黄金水道,提出了新的更高的要求,如上海市要求“十二五”期将长江口12.5 m深水航道加深拓宽;江苏省要求将12.5 m深水航道延伸到南京;安徽省要求将10.5 m深水航道延伸到芜湖。据悉,长江南京以下12.5 m深水航道工程(一期)已于2012年8月28日正式开工,待二期、三期工程陆续建成后将全面实现长江口航道与南京以下12.5 m深水航道无缝对接,五万吨级海轮可直达南京。

国家对长江航道建设发展的重视和支持力度也越来越大。为进一步发挥水运优势和潜力,2011年1月国务院出台了《意见》,明确提出“到2020年建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系”,加快内河水运发展已经上升为国家重要的发展战略。对长江水运而言,要加快长江干线航道系统治理。此外,《意见》中还明确要求加快上海国际航运中心建设。2012年5月出台的《上海市加快国际航运中心建设“十二五”规划》在推进港口基础设施建设方面也提及,争取国家相关部委支持,实施长江口深水航道通航宽度全线拓宽工程,实现超大型船舶进出港双向交会无限制,充分发挥长江主航道作用,满足船舶大型化的需要。

综上,作为长江干线航道体系和上海国际航运中心基础设施的重要组成部分,长江口航道发展进入了新的战略机遇期。当前长江口航道体系建设发展的政策环境更加优越,战略机遇更加凸显,基本具备了进一步加速建设和跨越发展的外部条件。

2.2 挑战

2.2.1 深水航道回淤问题的复杂性

根据疏浚资料监测分析,2010年3月试通航以来长江口12.5 m深水航道回淤情况比原10 m航道更为复杂,呈现出了一些新特点^[5],具体表现在以下几方面:

1) 12.5 m航道年回淤总量较10 m航道增大,维护费用较高。二期10 m航道维护期,航道年回淤量约6 000万 m^3 (维护疏浚单元为IIN-B-Z,总长66.5 km);而三期12.5 m航道年回淤量则高达约8 000万 m^3 (维护疏浚单元为III-A~III-I,总长92.2 km),其中在未采取工程治理措施的圆圆沙航道段,航道增深2.5 m,年回淤量增加约1 300万 m^3 。

2) 12.5 m航道回淤量沿程分布不均匀(图2),纵向分布呈“两高两低”的双峰状分布。12.5 m航道维护期,南港及圆圆沙航道段与北槽中下段的回淤强度较大,与10 m航道维护时呈单峰状分布有明显差异。

3) 北槽中下段12.5 m航道回淤量季节差异大,更加集中在每年的6—11月,造成短期内疏浚

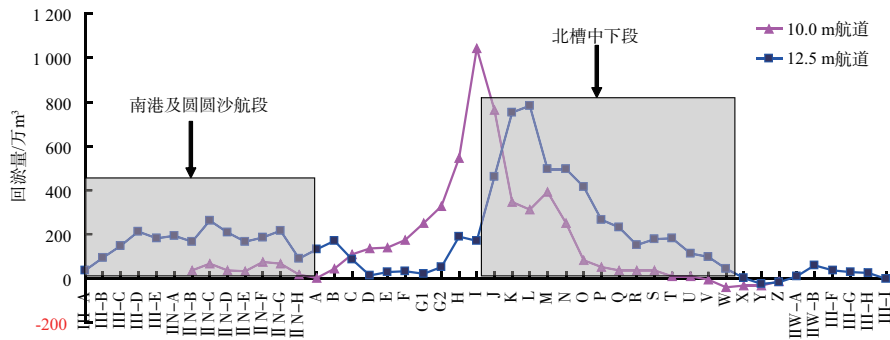


图2 长江口12.5 m航道与10 m航道年回淤量沿程分布的比较

维护压力大。与10 m航道相比，12.5 m航道回淤量呈洪季大、枯季小的年内分布特征没有发生根本性的改变。但据统计，12.5 m航道维护期该航段6—11月回淤量占全年回淤量的比例高达95%以上，回淤量年内分布差异较10 m航道更明显。

4) 12.5 m航道更易受台风、寒潮等恶劣气象条件影响^[6]，航道骤淤量大，短时间内的航道保畅通压力增大。比如2011年“梅花”台风期间，在航道中产生的回淤量约有750万m³，维护费用高达1.5亿元左右。

2.2.2 局部不利河势调整的危害性

长江口的河床演变主要受泥沙条件、动力条件、河床边界条件以及人类活动等多种因素共同作用。河势分析表明^[4]，近十几年来，随着上游大洪水发生几率降低（三峡水库蓄水对径流过程的调节）和长江口两岸岸线固定（长江口岸线的开发、护岸和圈围造地等工程）等边界条件逐步改善，尤其在第三级分叉口（南北槽分叉口）和第二级分叉口（南北港分叉口）分别实施了鱼嘴工程、新浏河沙护滩及南沙头通道潜堤工程和中央沙圈围及青草沙水库工程以后，长江口河床大幅冲淤变化、主航道大范围摆动的可能性已明显减弱，长江口“三级分叉、四口入海”总体河势格局的稳定性显著增强，这为航道的治理开发奠定了基础。

但另一方面，长江口多数河段尚未得到有效的人工控制，加之流域来沙持续减小、河道采砂、疏浚抛泥等河口区域人类活动的影响，河道两侧岸线范围内的主要滩槽仍处于自然冲淤状态，白茆沙、扁担沙、瑞丰沙、堡镇沙、江亚南

沙等沙体活动性大，局部河段河势演变尚存在一定的复杂性和不确定性^[7]。总的来看，未来一段时间内若规划中的河势控制工程和航道整治工程仍未实施，长江口将会按近期的演变趋势发展，部分河段的不利变化态势将会对该区段的航道开发建设和水深维护产生一定的负面影响，这增加了航道治理的必要性和紧迫性。

2.2.3 河口航道治理技术的局限性

长江口是世界上最复杂、治理难度极大的巨型、丰水、多沙、多汊河口。与国内同类型河口治理相比，长江口航道治理具有自身的复杂性和特殊性，不可能照搬密西西比河口、莱茵河口、黄浦江口等国内外其它河口治理的成功经验。尽管长江口深水航道治理工程的成功建设取得了大量丰富的工程经验和技术创新，但当前长江口航道出现的维护疏浚量大等新情况和新问题也反映出河口航道治理技术仍存在一定的局限性，主要表现在以下3个方面：

1) 对河口拦门沙航道回淤规律和机理的认识尚显不足。拦门沙航道通常是河口航道治理中最为困难的部分和必须克服的重大障碍，对其治理是一个世界性难题。作为长江口12.5 m深水航道的第一回淤高峰区段，北槽中下段航道水深最难维持，其水、沙、盐分布具有潮汐河口高浑浊带和拦门沙的一般特征，初步分析认为是该航段回淤集中和强度高的一个主要成因。然而，目前北槽地区的泥沙输运规律复杂和航道淤积原因不清楚，还有很多问题待解，如北槽区域泥沙具体的运动过程及航道泥沙的淤积机理并不清晰，不同区段航槽淤积形式（底沙输移和悬沙落淤）的差

异、洪枯季航道回淤的巨大差异的内在机理尚不能合理解释,上游径流量与北槽回淤量和回淤分布的关系,航道回淤与流场、泥沙场、盐度场及河床地形调整的关系也暂未理顺。

2) 现有数学、物理模型研究技术手段难以有所突破。河工物理模型与数学模型是研究河口水沙及河床地形的变化规律及预测水工建筑物等治理工程修建对周边河势影响的重要技术手段。但由于研究对象的复杂和人们认识水平的限制,目前在长江口应用的数模和物模技术均存在一定的局限性^[8]。如长江口拦门沙河段的泥沙运动受径流、潮汐、波浪作用以及盐水等的影响,悬沙絮凝沉降的物理化学过程及规律极为复杂,在目前开发的泥沙数学模型中尚难综合考虑上述因素对地形变化、航道回淤等的影响。同时限于认知水平和物模变态比尺效应等的影响,目前还难以在河工物理模型中模拟河口咸淡水混合、悬沙絮凝沉降以及最大浑浊带等,考虑河口底沙、悬沙和含盐度等多要素共同作用的全沙物理模型仍处于研究阶段。

3) 河口航道整治基础理论和技术规范尚未成熟。由JTJ 312—2003《航道整治工程技术规范》可知,现行的航道整治设计参数确定方法多是建立在平衡河流的基础之上,难以适应非平衡状态下河床调整过程中出现的新问题,出现治理理论滞后的问题。对长江口航道治理而言,同样如此。长江口深水航道治理工程实施后,北槽河床(尤其航槽)基本处于冲淤调整的不平衡状态,水沙动力条件、拦门沙演变特性等相应发生了一定变化,由原经验公式确定的治导线放宽率、整治建筑物高程等整治参数可能已难以适应新的河道环境。又如,长江口各河段径潮流水沙动力条件不同,沿程特征潮位不同,涨落潮流均可塑造河床,合理的整治水位不应是简单的某一固定值,而需要通过分析潮汐特性和输沙动力条件等因素来综合确定。因此,目前潮汐河口航道整治技术规范和基本理论仍不完善,尤其河口拦门沙航道整治技术参数选取方面更有待于加强研究。

2.2.4 河口综合治理需求的全面性

现阶段长江口正处于高速开发期,区域内除

航道开发外,还有水利防洪、淡水资源利用、港口码头岸线利用、滩涂圈围造地以及生态湿地环境保护等综合开发,各涉水工程之间关系密切、相互影响大,这一新形势决定了河口综合治理需求的全面性和航道治理研究的困难度。因此,长江口航道治理需要兼顾中央和地方、流域和局部、国土、岸线、水利、环保、渔业等多方利益需求,任一河段的航道治理均需考虑对周边及大范围河势变化的影响,以保证航道开发治理与防洪防潮、水土资源开发、岸线开发等其它相关涉水工程的相互协调和有机配合。

3 长江口航道的治理对策

3.1 加深长江口深水航道回淤原因的认识

前文述及,长江口12.5 m深水航道面临回淤总量大、回淤时空分布不均匀等诸多难题,导致疏浚施工组织难度和航道维护成本增加。为此,2012年3月交通运输部专家委员会在上海组织召开了长江口12.5 m深水航道回淤原因分析研究专家研讨会,一致认为为保证12.5 m深水航道安全稳定运行和降低航道长期维护费用,开展12.5 m航道回淤主要原因的分析及减淤工程措施的研究是十分必要的^[5]。根据讨论意见,初步认为导致航道不同区段回淤时空分布的主要原因是不同的,应对长江口南港及圆圆沙航道、北槽航道2个航段分别进行研究,并由此编制形成了《长江口南港及圆圆沙段12.5 m航道回淤原因分析研究》和《长江口北槽12.5 m航道回淤原因分析研究》2个课题研究工作大纲。目前正在抓紧开展相关专题研究,以期进一步加深对长江口深水航道回淤原因的认识,有望从根本上摸清导致航道回淤时空分布巨大差异的原因和航道淤积泥沙的主要输移路径,为后续深水航道减淤工程方案研究提供技术支撑。

3.2 加快推进《长江口综合整治开发规划》等规划实施

完善的长江口航道体系建设,与《长江口综合整治开发规划》的落实密切相关。该规划已于2008年获得国务院批复,但由于多种因素,长江口综合整治规划未能同步实施。近年来,在总体

河势格局保持稳定的背景下,徐六泾以下的长江口局部河势发生了一些不利变化,已对深水航道的长期稳定运行和航道资源的进一步开发利用产生了一定影响,建议加快推进《长江口综合整治规划》的实施。同时为贯彻落实《长江口航道发展规划》,也应加快北港航道建设和南槽航道维护的步伐,完善长江口“一主、两辅、一支”的航道体系,更好地为区域经济社会发展服务。

3.3 加大长江口的系统监测和基础研究力度

长江口12.5 m深水航道的治理目标虽已实现,但鉴于长江口水沙及河床环境的复杂性和多变性仍可能对深水航道的维护和后续的系统治理产生不利影响,应保持长期的、系统的观测研究工作,加强河口泥沙特性和运动规律的基础性研究。尤其,在工程建设实践过程中发现的一些现有成果难以支撑的技术难题,如北槽拦门沙河段淤积机理、数模高精度回淤预报方法、流域来沙减少对长江口河床演变及深水航道维护的影响、滩面泥沙对航道回淤的贡献及权重等,必须开展专题研究来解决。因此,在进行大规模系统治理的同时,应结合航道治理和维护中所面临的新问题不断地开展科研攻关工作,更加注重科技创新,为长江口航道系统治理和实现规划建设目标提供技术支持。

3.4 加强长江口的综合协调与统一管理

长江河口是我国最大的河口,是长江流域精华的汇集地,也是黄金水道的咽喉。长江河口的开发治理涉及航道开发、河势控制、防洪防潮、水土资源开发利用、港口岸线利用以及生态环境保护等多项内容。加强长江河口的综合协调与统一管理,是促进长江河口科学治理、合理开发和有效保护的有力保障^[9]。为切实加强长江河口的管理,水利部门在继《珠江河口管理办法》、《黄河河口管理办法》之后拟于近期制定出台《长江河口管理办法》,这对确保防洪纳潮安全,合理开发和保护岸线、航道、滩涂及水资源等具有积极意义。总体上,随着长江三角洲地区社会经济的高速发展,着力构建有效的长江河口协商合作机制、加强交流沟通与协作的要求迫在眉睫,当前长江口

航道的建设发展已逐渐认识到这一重要性。

4 结语

长江口航道是长江黄金水道的咽喉,是关系国民经济和社会发展全局的水上运输通道,战略地位非常重要。但目前长江口航道仍存在一些深层次矛盾和突出问题,在一定程度上制约了长江口航道的建设发展。长江口深水航道治理工程成功建设、《长江口航道发展规划》获批以及当前我国水运经济形势和政策环境为后12.5 m时期长江口航道的系统治理和后续开发提供了良好的机遇。同时由于深水航道回淤问题的复杂性、局部不利河势调整的危害性、河口航道治理技术的局限性等,也给长江口航道的治理开发提出了前所未有的挑战。为了更好地适应后12.5 m时期航道建设发展要求,应加深对长江口深水航道回淤原因的认识,加快推进《长江口综合整治开发规划》等规划实施,加大长江口的系统监测和基础研究力度,加强长江口的综合协调与统一管理。

参考文献:

- [1] 交通运输部长江口航道管理局. 长江口航道发展规划[R]. 上海: 交通运输部长江口航道管理局, 2010.
- [2] 刘怀汉, 袁达全, 裴金林, 等. 长江下游白茆沙水道航道整治对策[J]. 水运工程, 2010(11): 86-92.
- [3] 刘杰, 赵德招, 程海峰. 长江口南支河床近期冲淤演变机制[J]. 水运工程, 2011(7): 113-118.
- [4] 赵德招, 刘杰, 张俊勇, 等. 长江口不同河段近期河床演变特点及碍航特性分析[J]. 水道港口, 2010, 31(6): 583-588.
- [5] 交通运输部长江口航道管理局. 长江口12.5 m深水航道回淤原因分析研究进展情况[R]. 上海: 交通运输部长江口航道管理局, 2012.
- [6] 赵德招, 刘杰, 吴华林. 近十年来台风诱发长江口航道骤淤的初步分析[J]. 泥沙研究, 2012(2): 54-60.
- [7] 朱博章, 付桂, 高敏, 等. 长江口近期水沙运动及河床演变分析[J]. 水运工程, 2012(7): 105-110.
- [8] 高敏, 顾峰峰, 范期锦. 长江口航道治理研究中数、物模技术的应用[J]. 水运工程, 2011(11): 166-180.
- [9] 胡四一. 人类活动对长江河口的影响与对策[J]. 人民长江, 2009, 40(9): 1-4.

(本文编辑 郭雪珍)