

长江口深水航道回淤强度与潮汐动力相关性分析

李文正¹, 万远扬²

(1. 交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003; 2. 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: 长江口 12.5 m 深水航道的回淤监测资料表明, 航道回淤强度大小和潮汐动力强弱存在较好的负相关关系, 即大潮-中潮-小潮过程(动力减弱期), 北槽实测回淤强度大; 而小潮-中潮-大潮过程(动力增强期), 北槽回淤强度则变小, 目前的疏浚工程仅考虑大通流量的影响而忽略了外海潮汐的贡献, 疏浚强度的安排明显与回淤强度不匹配。根据疏浚强度、回淤强度、潮汐动力间的相关关系来看, 未来可深入研究长江口北槽深水航道潮汐动力过程和疏浚安排对回淤强度的影响, 探索“疏浚-回淤”与“大通流量-外海潮汐”间的制衡关系, 以及该关系对航道的宏观、微观冲淤环境的影响, 这样才有利于寻找出一套较为合理的疏浚力量配置管理原则, 有利于最大限度地提高疏浚效率, 为长江口深水航道疏浚资源的优化配置及航道减淤提供新的思考空间。

关键词: 航道淤积; 长江口; 深水航道; 疏浚效率; 潮汐动力

中图分类号: U616

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)05-0029-05

国内外的挖槽航道, 如密西西比河航道^[1]、泰晤士河出海航道^[2]、亚马逊航道^[3]、法国 Gironde 河口航道^[4]、荷兰鹿特丹港水道^[5]、瓯江口^[6]、黄桦港^[7]、天津港^[8]、椒江口^[9]、连云港^[10]和长江口出海航道^[11]等, 其疏浚效率优化问题都引起了诸多学者广泛兴趣, 并开展了系统的研究。以往对提高疏浚效率问题多从船机设备改良、疏浚作业自动化、施工管理措施改进、环保疏浚、疏浚土扩散控制等角度开展研究, 也取得了丰硕的研究成果, 对疏浚行业发展起到了积极的推进作用。

长江口 12.5 m 深水航道治理工程是我国水运史上“投资巨大、工程条件差、技术极为复杂”的一项跨世纪治理工程。工程位于长江口南港北槽水域(见图 1), 于 1998 年开工建设, 分 3 期实施, 工程分别已于 2002 年、2005 年和 2010 年竣工, 分阶段地使长江口入海航道水深由治理前的 7 m (理论深度基准面, 下同) 逐步增至 8.5、10.0 和 12.5 m。最终建成的长江口深水航道长约 92.2 km, 航道水深 12.5 m, 航道底宽 350 ~ 400 m, 可满足 5 万 t 级集装箱船(实载吃水 ≤ 11.5 m) 全潮、5 万 t 级船舶满载乘潮双向通航, 兼顾 10 万 t 级集装箱船和 10 万 t 级散货船及 20 万 t 级散货船减载乘潮通航。长江口深水航道的建成极大地改善了长江入海航道的通航条件, 提高了航道通过能力和大型船舶的营运水平, 对整个长江三角洲地区和长江流域经济社会的发展发挥了至关重要的作用。

长江口深水航道属于人工维护航道, 从近年来长江口航道维护的实际情况来看, 航道回淤量巨大, 年回淤总量约 8 000 万 m³, 航道维护的压力较大, 对航道维护性疏浚的需求很大。以往工程界对减少航道回淤量、提高疏浚效率的关注点大多在于挖泥船软硬件设备的不断升级改进, 以及一些减少沙源、降低泥沙活动性等工程措施, 鲜有从航道疏浚效率与河口潮汐动力关系入手开展研究的。而对于潮汐输动力较强的长

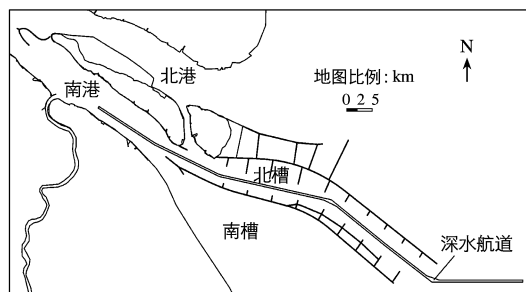


图 1 长江口北槽深水航道

Fig. 1 North deepwater navigation channel (DNC) of the Yangtze River estuary

收稿日期: 2014-03-12

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2012AA112508); 交通运输部基础理论重点资助项目(2012329A06040)

作者简介: 李文正(1976-), 男, 云南丽江人, 高级工程师, 硕士, 主要从事航道工程治理的研究、规划和管理等工作。

E-mail: liwz@cjkh.com

江口而言,通过对潮汐动力与回淤强度关系的分析,来直接指导维护疏浚的开展,这样的研究成果对未来长江口航道的日常维护具有一定的应用价值和现实意义。从这个角度出发,本文将以 2010 年上半年长江口深水航道 18 次回淤实测资料为基础,初步探讨分析航道回淤强度与潮汐动力的相互关系,并指出下一步研究的方向。

1 航道回淤强度与潮汐动力相关性分析

1.1 资料来源

本文利用的资料为 2010-03-26/2010-08-28 长江口 12.5 m 深水航道全段航道地形监测和相应时间大通实测流量(上游来水量)、北槽中站潮位(站点位置位于北槽航道中段偏南侧位置)、实际疏浚作业施工统计数据等资料。其中航道地形实测资料共 18 次,各次测量所间隔时间见图 2(各测次平均间隔时间为 8.6 d),一般情况下,如无不可抗因素,航道地形的监测频率约为 7 d;各测次相关指标见表 1。表中统计每个测次所含潮型是指上次测量时刻到本次测量时刻内所经历的天文潮潮型(大中小潮),潮型转换指标是指潮汐动力(能量)变化的过程。如果在 1 个测次周期内,潮汐动力由强变弱(如潮型从大潮或者中潮转换为小潮),则潮型转换指标为-1;如果潮汐能量由弱变强,则该指标为 1。如果测次周期内,既包含潮汐能量由弱变强,又包括由强变弱的过程(如测次 1、8),则该指标为“-”。航道地形测量采用双频测声仪(航道水深值选取的是高频信号值,高频频率为 210 kHz),地形测量涵盖航道两侧边坡(距航道边线 250 m),测量点距沿航道方向为 100 m,垂直航道方向为 50 m。

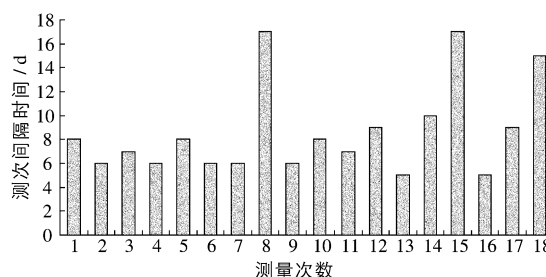


图 2 各次测量间隔时间

Fig. 2 Duration of each measurement

表 1 各次测量的潮型统计

Tab. 1 Statistics of tidal types of each measurement

测 次	历时/ d	测次所含潮型	潮型转换指标	测 次	历时/ d	测次所含潮型	潮型转换指标
1	8	中大中	-	10	8	小中	1
2	6	中小	-1	11	7	大中小	-1
3	7	小中大	1	12	9	小中大	1
4	6	中小	-1	13	5	中小	-1
5	8	小中大	1	14	10	小中大	1
6	6	中小	-1	15	17	大中小中大中	-
7	6	小中	1	16	5	中小	-1
8	17	中大中小中大	-	17	9	小中大	1
9	6	大中小	-1	18	15	中小中大中	-

注:在长江口海域,一般农历的十六、十七和初二、初三为大潮,初九、十和廿三、廿四为小潮。

1.2 航道回淤统计指标

本研究所用航道回淤资料的主要统计指标有:①测图方量,即各航道单元(不包括航道边线)本次测量水深平均值与上一次的差异乘以单元面积,正值代表冲刷,负值代表淤积;②船载方量,即各航道单元本次测量期间的累计疏浚总量,该值为正值,0 代表无疏浚;③冲淤方量,即测图方量减去船载方量,正值代表冲刷,负值代表淤积;④回淤强度,即各航道单元日平均冲淤方量除以单元面积;⑤疏浚强度,即各航道单元日平均船载方量除以单元面积;⑥成槽率,即测图方量除以船载方量。

1.3 疏浚作业及疏浚土处理方式

目前,长江口航道维护疏浚采用自航耙吸式挖泥船装舱溢流的作业方式。疏浚泥土处理方式有两

种^[12-13]:一是直接外抛至经批准的海洋倾倒区,二是抛至吹泥站贮泥坑,再由站内绞吸船进行二次吹泥上滩。根据2010年3—8月贮泥坑和抛泥区维护管理统计资料,疏浚土外抛和二次抛吹比例各占约50%。

长江口航道维护疏浚过程中的溢流和疏浚土的处理均可能会对航道回淤造成一定影响,且由于疏浚工艺的要求和泥土处理可选择方式的限制,这样的影响暂时无法消除。考虑到该影响十分有限,因此本文所作的航道回淤强度统计分析没有剔除该影响。

1.4 资料分析

依据前述回淤监测资料,北槽回淤强度存在着随水动力强弱变化的负相关关系,见图3(图中的“大”“中”“小”排列表示上次测量时刻到本次测量时刻之内所经历的天文潮潮型)。即大潮-中潮-小潮过程(动力减弱),北槽回淤强度变大;而小潮-中潮-大潮过程(动力增强),北槽回淤强度则变弱。图4为实际疏浚强度与实际大通流量的关系。

由图3和4可见:①疏浚强度变化趋势基本和大通流量变化趋势一致,由此可见,疏浚力量基本是按大通流量的趋势来配置,而与潮汐动力变化过程无关;②在7次明显的动力减弱期,北槽全槽整体回淤强度相对较大;而在7次明显动力增强期,北槽整体回淤强度相对较弱。③回淤强度的变化总体上存在着锯齿波动特征,该特征与潮型转换指标的波动有明显的相关性,而该变化特征与疏浚强度变化过程明显不匹配,这说明航道的疏浚量并非按照实际回淤强度来安排。

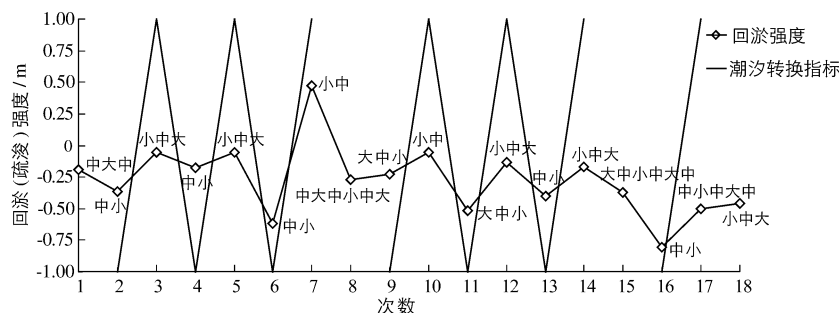


图3 全航道日回淤强度与潮型转变的关系

Fig. 3 Relationship between the daily backfilling in the DNC and the transformation of tidal type

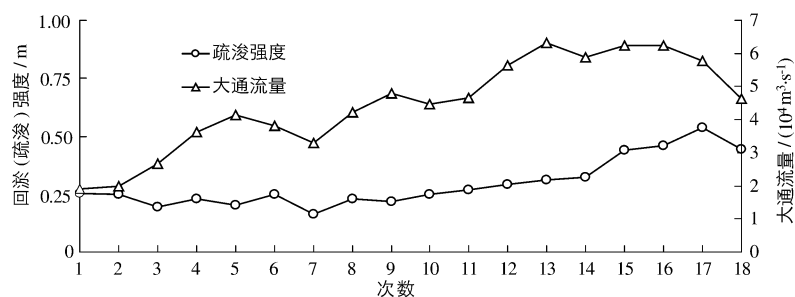


图4 全航道日疏浚强度与大通流量的相关关系

Fig. 4 Dependency of daily backfilling in the DNC and the freshwater inflow at the Datong gauging station

2 讨论分析

潮型由小变大的过程中,部分回淤(新淤)的泥沙由于动力的逐渐增加处于冲刷环境中,这些泥沙可以利用自身潮汐动力而被携带或输运;或者在潮型由大变小的过程中,航道总体上处于落淤环境,此时的疏浚可能因起到减小底部含沙浓度差异的作用而加剧了局部的泥沙落淤速率。不过对于长江口深水航道而言,是需要讲究“多淤多挖少淤少挖”的原则,还是因为“多挖而多淤、少挖而少淤”,是一个非常值得深入探讨的因果关系问题。从目前已有的实测资料来看,至少疏浚力量的配置仅考虑大通流量的影响是存在一定局限

性的,至于此种疏浚管理是否会导致一定的无效疏浚量或者引起回淤量的增加同样也有待进一步研究,尤其是应该考虑潮汐动力强弱和大通流量对北槽底部泥沙冲淤环境的双重影响。分析“疏浚-回淤”这对因子与“大通流量-外海潮汐”间的制衡关系,以及深入探讨航道的宏观、微观冲淤环境,这样才有利于寻找出一套较为合理的疏浚力量配置管理原则,有利于最大限度地提高疏浚的效率。

现阶段,对长江口航道淤积问题和维护疏浚效率优化已经开展了大量卓有成效的工作,但仍存在进一步优化的空间:

(1)对不同季节、不同区段航道回淤的时空特性已有了深刻的了解和把握,但对不同潮型(大小潮、涨落潮)条件下航道回淤时空特性的掌握与了解则较为缺乏,疏浚力量的配置与管理还存在进一步精细化的空间。

(2)关于疏浚效率、疏浚管理优化等问题长期以来得到了业界足够的重视,但主要的研究大多聚焦于船机设备软硬件的升级与改造来规模化提高疏浚效率以及湿地修复、减少岸坡坍塌、降低对环境的影响等工程措施上,对于如何结合水沙动力特性来减少无效或低效疏浚作业的研究较少。

(3)由于受限于试验条件和观测手段,对于疏浚效率与航道回淤动力过程的关系问题尚缺乏研究,关于如何利用水沙动力优势来减少回淤率的问题仍有待深入研究。

综合上述疏浚效率优化问题和北槽航道回淤强度与潮汐动力的相关性,可见:北槽航道的回淤强度与潮汐动力强弱变化良好相关性的存在,为航道维护疏浚作业的安排、疏浚效率的提高和航道水深保证(航道成槽率)提供了新的思考空间和参考因素。即可在充分分析北槽水沙环境特性的基础上,因势利导地把疏浚船的作业安排与潮汐动力特征有机结合起来,从而达到利用长江口强大的潮汐动力及其运动特征提高航道维护疏浚效率,以期削减无效疏浚量,降低维护疏浚成本的目的。

3 结 语

(1)北槽航道回淤强度存在着随潮汐动力强弱变化的负相关关系。即大潮-中潮-小潮过程(动力减弱),北槽航道回淤强度变大;而小潮-中潮-大潮过程(动力增强),北槽航道回淤强度则变弱。

(2)北槽航道的回淤强度与潮汐动力强弱变化良好相关性的存在,为航道维护疏浚作业的安排、疏浚效率的提高和航道水深保证(航道成槽率)提供了新的思考空间和借鉴,为疏浚的力量配置与作业安排提出了进一步精细化管理的方向。

(3)对回淤强度和潮汐动力相关性的研究将丰富疏浚工程效率优化、港口航道治理方面的研究内涵和研究范畴。

(4)对于长江口深水航道,如何有效地利用自身水流动力合理安排疏浚作业、减少低效疏浚,建议可加强以下方面的研究:①加强监测及机理分析,研究长江口深水航道回淤微观过程与水沙动力过程间的响应关系;②通过实测资料和施工数据统计分析,深入研究航道回淤与潮型转变间的关系;③通过现场资料分析、理论研究和模型试验,研究疏浚效率最大化及疏浚资源最优配置问题,为不断完善航道日常管理提供依据。

参 考 文 献:

- [1] HOEKSTRA D J. Strategies to reduce the maintenance dredging cost of the Mississippi River Gulf Outlet Channel [R]. Netherlands: Delft University of Technology, 2003.
- [2] INGLIS C C, ALLEN H H. The regime of the Thames Estuary as affected by currents, salinities and river flows [C] // Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Maritime and Waterways Engineering Division Meeting, 1957: 827-879.
- [3] KINEKE G C, STERNBERG R W, TROWBRIDGE J H, et al. Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf [J]. Continental Shelf Research, 1996, 16(5): 667-696.
- [4] LE HIR P, BASSOULLET P, JESTIN H. Application of the continuous modeling concept to simulate high-concentration suspended sediment in a macrotidal estuary [C] // Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes, Proceedings in Marine Science. Elsevier Science, Amsterdam, 2001: 229-248.

- [5] WINTERWERP J C. On the dynamics of high-concentrated mud suspensions[D]. Delft: Delft University of Technology, 1999.
- [6] 陆永军, 李浩麟, 王红川, 等. 强潮河口拦门沙航道回淤及治理措施[J]. 水利学报, 2005, 36(12): 1450-1456. (LU Yong-jun, LI Hao-lin, WANG Hong-chuan, et al. Back silting and regulation of waterway with sand bar in strong tidal estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(12): 1450-1456. (in Chinese))
- [7] 罗肇森. 大风期黄骅港外航道的骤淤估算及防淤减淤措施探讨[J]. 水运工程, 2004(10): 69-73. (LUO Zhao-sen. Estimation of sudden sedimentation in outer channel of Huanghua Port during rough climate and measures for reduction of sedimentation[J]. Port & Waterway Engineering, 2004(10): 69-73. (in Chinese))
- [8] 丁乃庆, 刘富强, 张建国, 等. 天津港的强淤现象及其对策研究[J]. 水道港口, 2000(2): 1-5. (DING Nai-qing, LIU Fu-qiang, ZHANG Jian-guo, et al. Study on strong silting phenomenon in Tianjin Port and its counter-measures[J]. Waterway & Port, 2000(2): 1-5. (in Chinese))
- [9] GUAN W B, KOT S C, WOLANSKI E. 3-D fluid mud dynamics in the Jiaojiang Estuary, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2005, 65(4): 747-762.
- [10] 李孟国, 李文丹, 时钟, 等. 田湾核电站海域潮流泥沙数值模拟研究[J]. 泥沙研究, 2008(2): 16-23. (LI Meng-guo, LI Wen-dan, SHI Zhong, et al. Numerical modeling of tidal current and sediment movement in the coastal area near Tianwan Nuclear Power Station[J]. Sediment Research, 2008(2): 16-23. (in Chinese))
- [11] 谈泽伟, 范期锦, 郑文燕, 等. 长江口北槽航道回淤原因分析[J]. 水运工程, 2009(6): 91-102. (TAN Ze-wei, FAN Qi-jin, ZHENG Wen-yan, et al. Reasons for the backfilling in the north passage deepwater navigation channel of the Yangtze estuary[J]. Port & Waterway Engineering, 2009(6): 91-102. (in Chinese))
- [12] 戚定满, 吴华林, 万远扬, 等. 长江口北槽泥沙运动现场示踪分析研究[J]. 海洋工程, 2010, 28(1): 64-69. (QI Ding-man, WU Hua-lin, WAN Yuan-yang, et al. Application of tracer sediment in studying sediment movement at the north passage of the Yangtze estuary[J]. Ocean Engineering, 2010, 28(1): 64-69. (in Chinese))
- [13] 吴华林, 严以新, 周宜林. 抛泥运动研究述评及展望[J]. 泥沙研究, 2008, 10(5): 76-80. (WU Hua-lin, YAN Yi-xin, ZHOU Yi-lin. Prospection and review on the transport of dumped sediment[J]. Sediment Research, 2008, 10(5): 76-80. (in Chinese))

Analysis of relationships between backsilting and hydrodynamics in deepwater navigation channel of the Yangtze River estuary

LI Wen-zheng¹, WAN Yuan-yang²

(1. Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200003, China; 2. Key Laboratory of Estuarine & Coastal Engineering, MOT, Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: According to in-situ measurement data of the 12.5 m deepwater navigation channel (DNC) of the Yangtze River estuary, the backsilting intensity is highly dependent on the variation of tide types. It means that from the neap tide to the spring tide, the hydrodynamic condition becomes stronger, and the sedimentation in the channel decreases respectively; and from the spring tide to the neap tide, the sedimentation is increasing with the tide energy reduction. But the current dredging management only takes account of the influence of freshwater inflow, so the relation of dredging and backsilting intensity is very poor. According to the intensity of dredging, and the correlation between backsilting intensity and tidal hydrodynamics, in the future, the study of the impacts of the tidal dynamic process combined with the dredging arrangement for the north deepwater navigation channel of the Yangtze River estuary upon the backsilting intensity can be carried out, and the relationships between “dredging versus backsilting” and “freshwater inflow versus tidal forcing” and their influences on macro and micro erosion-deposition environments can be explored, so as to find out a reasonable dredging power allocation management principle, to maximize the dredging efficiency, and to provide a new thinking space for the optimal allocation of the deepwater channel dredging resources and waterway sedimentation reduction.

Key words: backsilting; Yangtze estuary; deepwater navigation channel (DNC); dredging efficiency; hydrodynamics