

长江口北港重大工程对河势演变的影响*

莫若瑜¹，郭兴杰^{2,3}，杨忠勇⁴

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032；2. 上海市地质调查研究院，上海 200072；
3. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室，上海 200062；4. 三峡大学 水利与环境学院，湖北 宜昌 443002)

摘要：北港是长江口的二级入海汊道。近年来，北港修建了诸多水利工程，如南北港分流口固沙工程、青草沙围水工程和横沙东滩促淤圈围工程等，它们对北港河势有一定的稳定作用，但在流域来沙锐减的背景下，也带来一些新的潜在问题。分流口固沙工程的建设一定程度上增强了新桥通道南侧沙体的稳定性，但与此同时，由于扁担沙尾部继续向新桥通道挤压推移，导致北港分流比减小。青草沙水库建设后，北港上段继续冲刷，由于横沙通道的不断发展，致使北港主槽曲率进一步增大。北港拦门沙河段的淤积和横沙东滩的促淤圈围工程促使了北港北汊的发展，但该汊道中增强的涨潮流对青草沙水库“蓄淡避咸”产生了一定的影响。

关键词：长江口北港；水利工程；河势演变

中图分类号：TV 148 文献标志码：A 文章编号：1002-4972(2015)12-0098-06

Effect of large-scale hydraulic projects on river regime evolution in north channel of Yangtze estuary

MO Ruoyu¹, GUO Xing-jie^{2,3}, YANG Zhong-yong⁴

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China; 2. Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072, China; 3. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 4. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: As a secondary inlet of the Yangtze estuary, the north channel experienced several large-scale hydraulic projects in recent decades, such as sand stabilization project in the separating pass of the south and north channels, Qingcaosha reservoir project and siltation promotion project in the Hengsha east shoal, etc., which made the river regime more stable to some extent. Meanwhile, many new unexpected situations occurred following them, especially under the background of drastic decline in river sediment supply. The stability of sand bodies over the south side of Xingqiao channel was enhanced during the sand stabilization project in the separating pass of the south and north channels. However, the spilt ratio of the north channel decreased owing to the northward movement of the Biandansha shoal in this period. After the project of Qingcaosha reservoir, the upper part of the north channel kept scouring, with the development of Hengsha passage, the channel’s curvature increased. Due to the siltation promotion project in the Hengsha east shoal as well as the natural deposition in the north channel mouth bar area, the north-inlet of the north channel developed. However, the water-intaking program of “avoiding saltwater and storing freshwater” was seriously influenced by the strong flood current in this inlet.

Keywords: north channel of the Yangtze estuary; large-scale hydraulic project; river regime evolution

长江口平面形态为喇叭形，呈“三级分汊，游三峡大坝等工程建设，长江口来沙量持续减小^[2]，且北港近期建设大量河口工程，工程建设四口入海”的河势格局^[1]。由于近期长江流域上

收稿日期：2015-05-17
*基金项目：国家自然科学基金 (41506103)
作者简介：莫若瑜 (1990—)，女，助理工程师，从事港口、桥梁和围堤设计。

必将对河槽地貌变化有一定影响。2010 年 8 月, 交通部正式批复《长江口航道发展规划》, 明确把北港规划为长江口辅航道之一。因此对地貌演变研究将为未来航道的规划和开发提供一定的依据。

北港作为长江口第二级北汉道, 曾经是入海的主泓^[3]。陈吉余等^[4]对长江口历史上动力沉积、河槽演变等做了全面研究; 由于近期一些大型工程的建设, 对北港研究日趋增多, 包括北港河槽

演变研究^[1,3-9]; 通过实测水沙数据对北港泥沙变化特征研究^[10-11]; 利用 GIS 方法对北港演变研究^[12-15]; 以及北港航道开发研究^[16-17]。

本文对长江口近期工程建设前后地貌变化特征进行对比研究, 对上游来沙减少和局部工程效应双重作用下的地貌演变特征进行分析, 并提出北港的一些潜在问题, 为未来北港航道建设提供一定的科学依据。

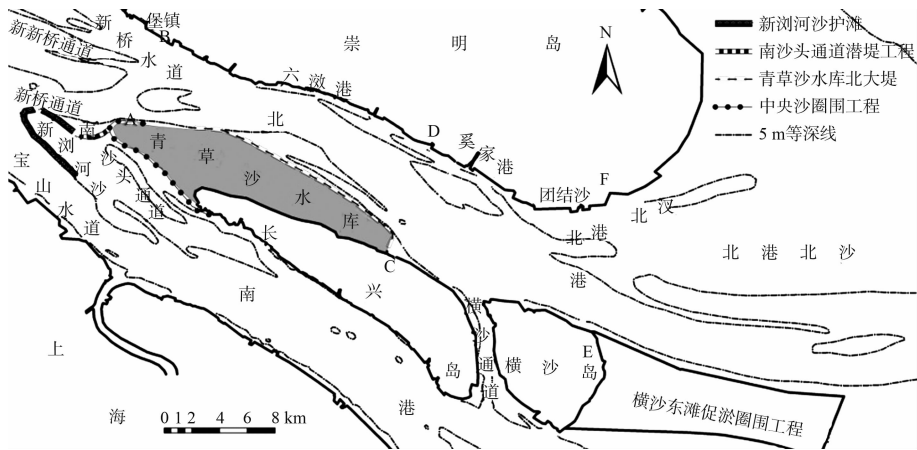


图 1 长江口北港河势

1 长江口径流与输沙

大通水文站为长江口径流量的控制站, 根据其统计资料显示, 多年(1960—2011 年)平均径流量为 $890 \times 10^9 \text{ m}^3$, 最大值(1998 年)为 $1\,250 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。多年平均含沙量为 0.486 kg/m^3 , 多年平均输沙量为 $4.33 \times 10^8 \text{ t}$ 。近年来输沙量有所减弱, 1960—1986 年输沙量与径流量基本保持正相关关系, 在 1986 年后大通站径流量变化不大, 但是其输沙量开始减少(图 2)。

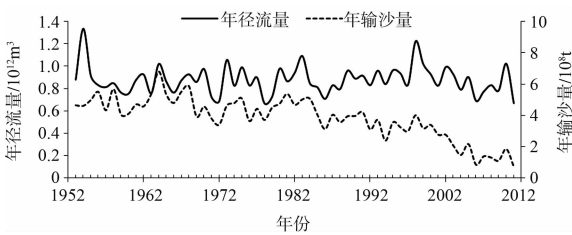


图 2 1953—2011 年长江口大通站实测年径流量与输沙量

2 长江河口大型工程

近 20 a 来长江流域修建了一些举世瞩目的水利工程, 如三峡工程(1994—2003 年)、溪洛渡

水电站工程(2005—2007 年)、南水北调工程(2002 年至今)及一些水土保持工程等, 这些工程对长江上游拦河截流, 导致下游输沙持续减少。

长江口毗邻上海市, 根据国家对长江黄金水道的建设及上海市“2020 年建成国际航运中心”等规划, 近年来在长江口各个汉道建设了大量的水利工程, 其中长江口北港建设的主要工程见表 1。

表 1 长江口北港大型近岸工程			
工程范围	工程名称	工程性质	工程建设时间
南北港分流口	新浏河沙护滩工程	圈围	2007—2009 年
	南沙头通道潜堤工程	潜堤	2007—2009 年
北港主槽	中央沙圈围工程	圈围	2004—2005 年
	青草沙水源地工程	圈围	2007—2009 年
	上海长江大桥	桥梁	2005—2008 年
拦门沙河段	长兴岛潜堤工程	潜堤	2007—2009 年
	横沙东滩促淤圈围工程	圈围	2003 年至今
	崇明东滩团结沙与东旺沙围垦	圈围	1990—1991 年

3 河口工程对河势演变的影响

3.1 南北港分流口演变与相关河口工程关系

长江口南北港分流口在潮流和径流的共同作

用下,形成多个汉道和岸滩交互相间的复杂格局,南北港分流口有宝山通道、南沙头通道、新桥通道、新新桥通道和新桥水道共 5 条通道,其中新桥通道、新新桥通道和新桥水道为北港分流的通道。新新桥通道和新桥水道近年来已经逐渐淤浅退化,新桥通道成为北港主要分流通道。分流口附近存在多个沙体,主要沙体有扁担沙、新浏河沙、中央沙和青草沙。沙体的演变与分流通道的河槽冲淤变化有直接的关系。历史上南北港分流口极不稳定,南北港分流口沙体和汉道的演变对南港和北港分水分沙比有很大影响。

1986 年新桥通道产生以来,逐渐发展成为北港的主要分流通道。新浏河沙和中央沙体在新桥通道的东岸,处于南支和新桥通道的弯曲衔接点,由于横向环流的“凹岸冲刷”作用,新浏河沙体和中央沙岸线一直被冲刷蚀退,且南沙头通道逐渐变宽。新浏河沙护滩工程、中央沙圈围工程的建设稳定了沙体岸线,沙体不再随着上游水流冲刷下移,在 2006—2010 年间新桥通道中 -5 m 等深线向沙体岸线逼近,2010—2013 年 -5 m 等深线变化相对较小,且已接近堤坝岸线,但是扁担沙尾由于上游水流的推移,向下游移动,尤其是 2006—2010 年,下移近 1 km。南沙头通道是新桥通道向南港的一个分流通道,过去一直处于发展状态,2007 年南沙头通道潜堤工程的建设,减缓了通道的水流,通道不再发展, -5 m 深河槽逐渐萎缩消失,南沙头通道逐渐淤浅,由于南沙头通道分流的减少,新浏河沙和南港上游瑞丰沙逐渐连成一体(图 3)。

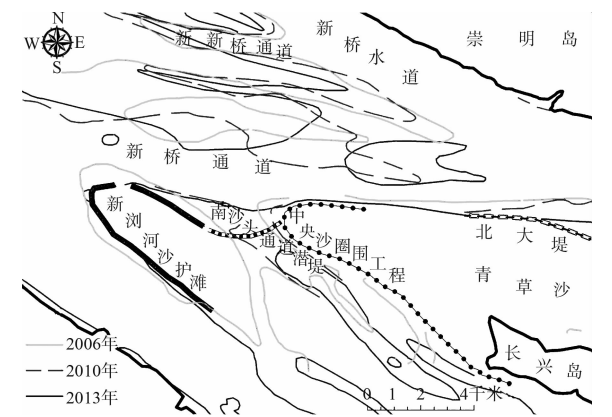


图 3 2006—2010 年南北港分流口 -5 m 等深线变化

2006—2013 年新桥通道内 -5 m 深河槽随着水流的冲刷作用整体向下游移动,由于新桥通道径流冲刷作用,扁担沙尾沙体向下游逐渐推移,部分沙体在通道中淤积形成心滩。且由于 3 个工程堤坝的建设,新桥通道南岸线不再向下游推移,但北岸线继续向下游推移,导致通道河槽束窄(图 3)。

分流口滩槽演变是水沙变化的主要原因,历史上南北港滩槽演变剧烈,由于近期河口工程稳定了南北港分流口,其分流分沙比基本趋于稳定。根据长江口水文水资源勘测局 1998—2008 年南北港水沙分流比可知,南北港分沙比与分流比有一定的正比关系。近期南北港分流比基本在 50%,上下浮动小于 10% (图 4)^[18],分流口趋于稳定。

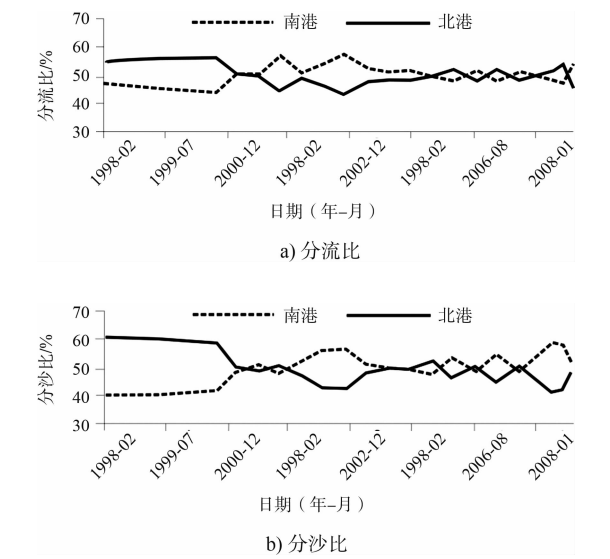


图 4 近期南北港分流、分沙比

3.2 北港主槽演变与大型河口工程的关系

北港是长江口主要分流通道之一,2001—2006 年北港上段两侧发生冲刷,冲刷深度小于 2 m,河槽中央发生淤积,整体北港上段以淤积为主;北港中段河槽冲刷明显,尤其是横沙通道附近水域,但河槽中间淤积,部分淤积达 4 m;拦门沙河段淤积较为严重,尤其是横沙东滩一侧,发生较大范围淤积,淤积厚度在 2 ~ 4 m (图 5a))。2006—2010 年,由于此时段内青草沙水源地工程和上海长江大桥的建设,对北港上段有较大的束窄效应,此时段内河槽基本都为冲刷,局部地区

略有淤积。青草沙水库北大堤北侧由于过去沙体堆积, 2009 年青草沙水库龙口合龙后, 堤前河床冲刷严重, 深度达 4 ~ 6 m; 主槽中段横沙通道北口河床继续冲刷, 且河槽中间部分冲刷达 4 m 以上; 拦门沙河段由于北港的落潮优势效应和科氏力作用, 在横沙东滩北侧发生冲刷, 刷深达 4 ~ 6 m (图 5b))。2010—2013 年, 北港上段继续大面积冲刷, 平均刷深 2 ~ 4 m; 中段崇明岛一侧略冲刷, 横沙通道一侧略淤积, 变化相对较小; 拦门沙河段发生大范围淤积, 淤积厚度约 2 ~ 4 m, 仅在北港北汊一侧发生小范围冲刷 (图 5c))。

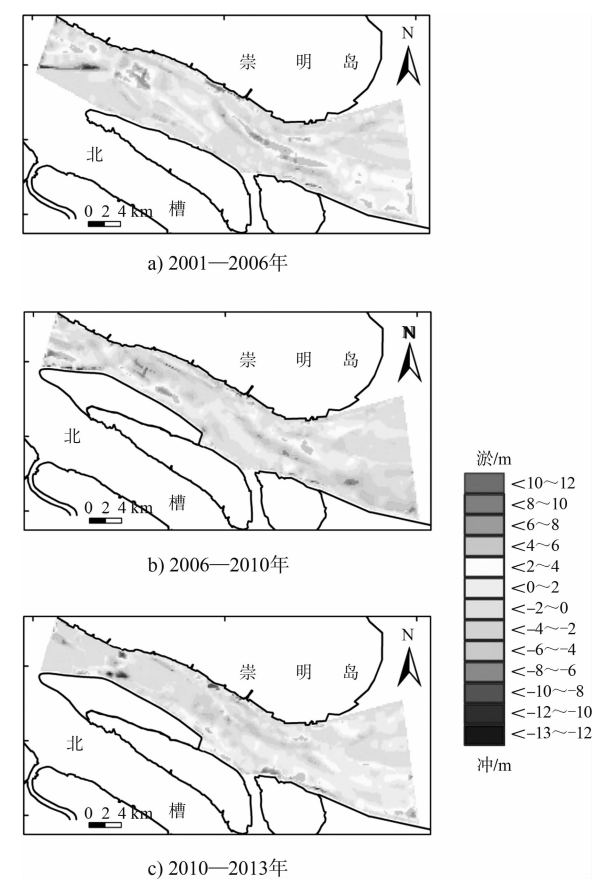


图 5 近期北港主槽冲淤

青草沙水源地工程的建设导致北港上段河槽缩窄了 1/3, 上海长江大桥的建设也对北港的河槽有一定的束窄效应, 工程建设导致北港中上段河槽发生明显冲刷, 北港上段 - 5 m 等深线向北略有偏移, - 10 m 等深线偏移较为明显; 工程建设后北港上段南侧 - 5 m 等深线已逼近青草沙水库大堤, 对水库堤坝稳定产生一定影响; 由于横沙通

道近年来河槽容积发展^[19-21], 北港中段 - 5 m 等深线集中于北侧, - 10 m 等深线有向横沙通道集聚态势, 2006—2010 年崇明岛侧 - 5 m 等深线向北偏移, - 5 m 深河槽变宽 (图 6a)), 南侧 - 10 m 等深线向横沙通道偏移 (图 6b))。总之, 由于青草沙水源地工程 and 上海长江大桥的建设, 北港上段等深线向北偏移。当水流流过水库围堤后, 河槽变宽, 水流由于科氏力及横沙通道落潮分流增加^[21], 水流在北港中段向横沙通道一侧偏移。

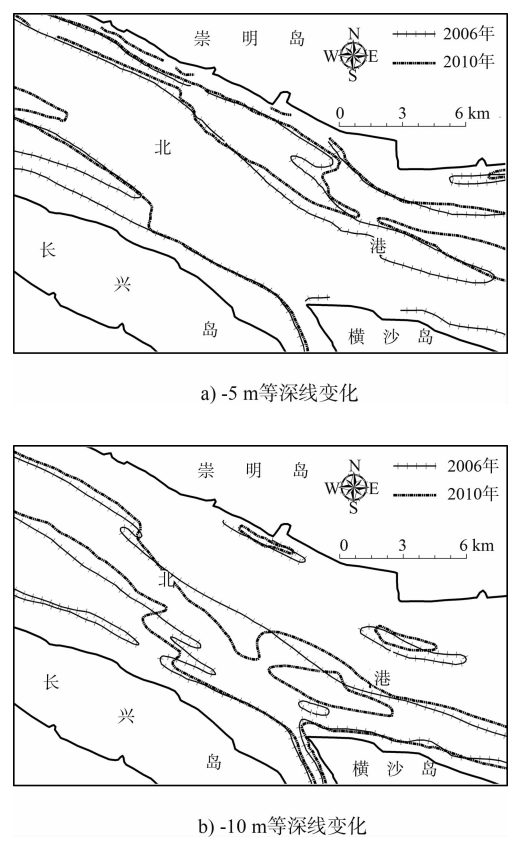


图 6 2006—2010 年北港中上段

3.3 北港拦门沙河段演变与大型河口工程的关系

北港落潮流在科氏力作用下向右偏, 2001—2013 年河槽两侧 - 5 m 等深线整体向横沙东滩一侧偏移。其中河槽中央深泓处 - 5 m 等深线在 2001—2006 年向南偏移, 但 2006—2013 年 - 5 m 等深线向北偏移 (图 7a))。

崇明岛与北港北沙之间的北港北汊是北港的另一条水流交换通道, 2001—2013 年汊道 - 5 m 等深线继续向东北向推进, 河槽发展态势明显 (图 7b))。

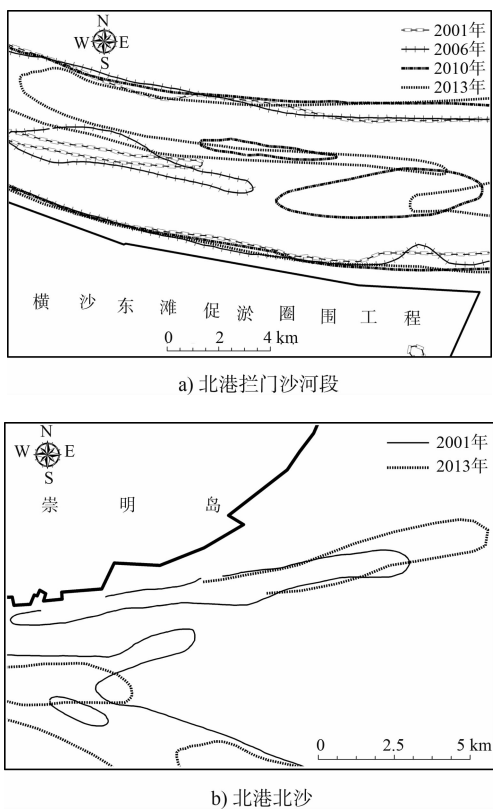


图 7 2001—2013 年 -5 m 等深线变化

对比北港 2010—2013 年平均水深和河槽容积变化,堡镇—奚家港河段平均水深和河槽容积增大,平均水深增大 1 m 左右,河槽冲刷;奚家港—团结沙平均水深略有增加,河槽容积变化很小;团结沙到口外拦门沙河段平均水深略有减小,河槽容积变化较大,容积减小 $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ 左右,河槽淤积(图 8)。

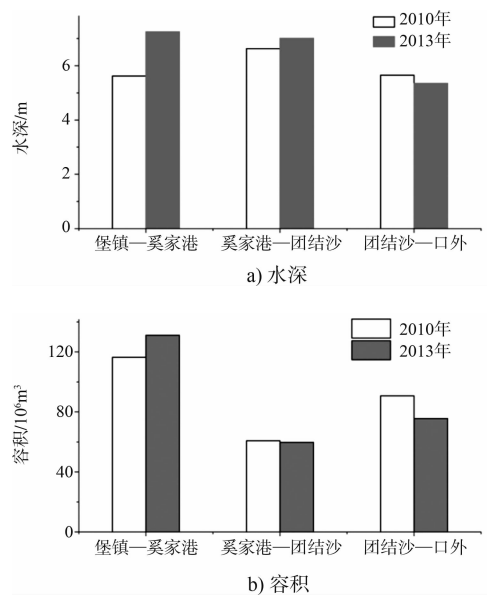


图 8 北港 2010—2013 年平均水深和河槽容积变化

总之,由于上游来沙减少及北港工程束窄效应,北港河槽发生了剧烈变化,其河槽泥沙被大量冲刷运输至下游,上游河槽加深,下游拦门沙河段河槽容积减小,河槽淤积。由于地转偏向力的作用及横沙通道的发展促使水流在北港中段向南偏移,上游泥沙大量冲刷下移。由于长江口北槽深水航道和横沙东滩促淤圈围工程的建设,对横沙东滩串沟进行封堵,阻止了北港和北槽下游的水沙交换。北港拦门沙河段的淤积进一步促使横沙通道与北港北汊分流增加,未来河槽演变将继续适应新的格局变化,北港深泓线会继续向横沙东滩一侧偏移。

4 未来潜在河势问题及航道选址

4.1 工程建设导致的潜在问题及建议

北港工程的建设稳定了河槽两侧的岸线,对北港河势发展有一定的稳定作用,但其工程效应也不可避免带来一些新的潜在问题:

1) 南北港分流口堤坝工程建设稳定了新桥通道南侧沙体,但其北侧扁担沙体由于径流冲刷作用将导致沙体继续向下游移动,对新桥通道产生挤压,形成心滩并导致河槽束窄,进而影响北港的分流比。

2) 堤坝稳定性对上海市供水有重要的影响,未来对堤坝的稳定性监测应引起一定的注意。上游径流对堤坝冲刷,现新浏河沙护滩工程、中央沙促淤圈围工程及青草沙水库工程的涉水堤坝前平均深度已达到 4~6 m,特别要关注青草沙水库两侧受力不均及环流冲刷的作用。

3) 由于青草沙水库等的束窄作用,导致北港泥沙向下推移,拦门沙河段淤积,且横沙东滩促淤圈围工程阻隔了北港下游与北槽水沙的交换,进而导致北港北汊的发展,北港北汊衔接北港与东海,汊道方向正对青草沙水库下游水闸,若北港北汊河槽继续发展,东海涨潮流对青草沙水库“避咸蓄淡”将会产生一定的影响。

4.2 对未来北港工程的建议

1) 加强对扁担沙动态的监测及新桥通道的疏浚,未来对沙体建设围堤阻止其继续推移,以维持新桥通道的分流比。

2) 加大对已建设堤坝附近地貌的测量,并在冲刷较深的区域采取抛石等措施,以维持其稳定。

3) 对北港北汊涨潮流进行数值模拟或野外考察, 以防止未来青草沙水库水流交换时盐水入侵。

4.3 北港航道建设选址建言

北港主槽为微弯型河道, 落潮优势明显^[22], 近年来北港中段河槽水流向横沙通道一侧偏移, 河槽曲率增大。由于青草沙水源地工程束窄了上段河道, 稳定了河槽深泓位置, 横沙通道河槽发展, 其北口附近水深较大, 最深处达 30 m, 且接近北槽航道, 适宜作为航道通航。

拦门沙河段为潮流径流动力交汇点, 水动力较弱, 大部分泥沙在此落淤, 且口门水域宽阔、水深较浅, 横沙东滩促淤圈围工程固定了北港下段南沿岸线, 尽管上游冲刷导致泥沙在拦门沙河段淤积、深泓线向北偏移, 但由于科氏力的作用, 未来落潮流继续向南岸冲刷, 横沙东滩一侧河槽会继续加深。未来建设横沙东滩深水大港, 北港深水航道适宜在此建设。

5 结语

1) 北港工程建设稳定了河槽两侧的岸线, 对北港河势的稳定有一定的积极作用。

2) 南北港分流口固沙工程稳定了新桥通道南侧沙体, 北侧扁担沙的活动对通道有一定的挤压作用; 青草沙水库等工程的建设缩窄了北港上段河槽, 导致主槽中上段冲刷, 拦门沙河段淤积。北港等深线上段北偏、下段南偏, 主泓曲率增加; 拦门沙河段淤积和横沙东滩促淤圈围工程导致横沙通道和北港北汊发展, 汊道涨潮流可能对青草沙水库的“蓄淡避咸”产生一定的影响。

3) 建议对扁担沙建设围堤以维持新桥通道的畅通; 监测已建设堤坝的稳定性, 并对工程较危险区域抛石加固; 掌握北港北汊涨潮流动向, 以防止青草沙水库盐水入侵。

参考文献:

[1] 李伯昌, 王珏, 唐敏炯. 长江口北港近期河床演变分析与治理对策[J]. 人民长江, 2012(3): 12-15.
[2] Yang S L, Zhang J, Zhu J, et al. Impact of dams on Yangtze River sediment supply to the sea and delta wetland response[J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 110. doi: 10. 1029/2004JF000271.

[3] 恽才兴. 长江河口近期演变基本规律[M]. 北京: 海军出版社, 2004: 142-178.
[4] 茅志昌, 武小勇, 赵常青, 等. 长江口北港拦门沙河段上段演变分析[J]. 泥沙研究, 2008(2): 41-46.
[5] 陈吉余, 沈焕庭, 恽才兴, 等. 长江河口动力过程和地貌演变[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988: 390-403.
[6] 茅志昌, 武小勇, 赵常青. 长江口北港拦门沙河段演变分析[J]. 上海水务, 2006(2): 48-51.
[7] 武小勇, 茅志昌, 虞志英, 等. 长江口北港河势演变分析[J]. 泥沙研究, 2006(2): 46-53.
[8] 刘玮玮, 唐建华, 缪世强. 长江口北港河势演变趋势及工程影响分析[J]. 人民长江, 2011(11): 39-43.
[9] 王维佳, 蒋雪中, 薛靖波, 等. 长江口横沙附近河势变化与可利用港航资源分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014(1): 39-45.
[10] 姚弘毅, 李九发, 戴志军, 等. 长江河口北港河道泥沙特性及河床沙再悬浮研究[J]. 泥沙研究, 2013(3): 6-13.
[11] 徐敏, 李九发, 李占海, 等. 长江河口南、北港河道挟沙能力研究[J]. 海洋学研究, 2012(2): 51-57.
[12] 王艳姣, 张鹰, 陈荣. 基于 GIS 长江口北港河段冲淤变化的可视化分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006(2): 223-226.
[13] 陈荣, 张鹰. 基于数字高程模型的长江口北港多年槽蓄量变化及可视化研究[J]. 水运工程, 2007(3): 8-11.
[14] 潘雪峰, 张鹰. 基于 GIS 的长江口北港冲淤演变及河道特征可视化分析[J]. 长江科学院院报, 2007(3): 5-7.
[15] 张艳杰. 基于 GIS 的长江口北港冲淤演变规律的定量分析研究[J]. 海洋信息, 2004(2): 13-17.
[16] 张俊勇, 吴华林, 吴桂初, 等. 长江口北港航道开发技术方案初步研究[J]. 水运工程, 2011(8): 102-105.
[17] 楼飞, 阮伟. 长江口北港航道开发条件评价及开发时序探讨[J]. 水运工程, 2012(4): 111-116.
[18] 张志林, 胡国栋, 朱培华, 等. 长江口南港近期的演变及其与重大工程之间的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2010(12): 1 433-1 441.
[19] 陈维, 匡翠萍, 顾杰, 等. 南沙头通道及横沙通道对长江口深水航道的影响分析[J]. 海洋科学, 2013(4): 75-80.
[20] 陈吉余, 蒋雪中, 何青. 长江河口发育的新阶段、上海城市发展的新空间[J]. 中国工程科学, 2013(6): 20-24.
[21] 郭兴杰, 程和琴, 计娜, 等. 长江口横沙通道演变对北槽深水航道上段回淤的影响[J]. 泥沙研究, 2015(3): 21-26.
[22] 计娜, 程和琴, 杨忠勇, 等. 近 30 年来长江口岸滩沉积物与地貌演变特征[J]. 地理学报, 2013(7): 945-954.