

近期(2000—2008年)长江口南港河槽的冲淤变化 ——兼议外高桥新港区岸段强烈淤积的原因

闫龙浩^{1,2}, 杨世伦¹, 李鹏^{1,3}, 吴创收¹, 徐晓君^{1,4}

(1. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 2. 国家海洋技术中心, 天津 300112;
3. 国家海洋局东海标准计量中心, 上海 200080; 4. 上海市浦东教育发展研究院, 上海 200135)

摘要: 长江口南港是上海外高桥新港区所在岸段, 其冲淤变化对该港区水深的维护具有重要影响。本文利用 ArcGIS 对 2000—2008 年长江口南港海图资料进行数字化, 建立不同时期此河槽的数字高程模型, 定量计算南港河槽尤其是主槽的冲淤变化, 分析其演变规律。结果表明: (1) 2000—2004 年南港河槽整体上冲刷 $21.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ (平均冲刷速率为 3.5 cm/a); (2) 2004—2008 年南港河槽整体上转为淤积, 河床共淤积 $26.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ (平均淤积速率为 4.1 cm/a); (3) 2004—2008 年外高桥新港区净淤积 73 cm, 其中 2006 年 7 月—2007 年 7 月 1 年淤积 57 cm。结论包括: (1) 南港复式河槽中间沙脊的大量采砂导致的过水断面调整可能是近期沙脊两侧深槽出现淤浅趋势的重要原因; (2) 2006 年 7 月—2007 年 7 月南港主槽 (包括外高桥新港区) 的强烈淤积可能还与该水文年长江径流量特低有关; (3) 南港作为长江入海水沙的过境通道, 其冲淤变化与河流来沙量变化的关系不大, 而流域极端气候事件导致的径流变异、河口人类活动以及河槽的自适应调整可能是该河槽年际冲淤变化的更重要诱因。

关键词: 河槽演变; 南港; 外高桥新港区; 长江口

中图分类号: P737.12¹; P736.21²; TV148

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2010)04-0378-07

The change of the amount of accretion/erosion of the South Channel at the Yangtze Estuary from 2000 to 2008: Moreover demonstrate the strong accretion in Waigaoqiao new harbor

YAN Long-hao^{1,2}, YANG Shi-lun¹, LI Peng^{1,3}, WU Chuang-shou¹, XU Xiao-jun^{1,4}

(1. State Key Lab of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
2. National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China; 3. China East Center of Standard and Metrology, SOA, Shanghai 200080, China;
4. Shanghai Pudong Institute of Education Development, Shanghai 200135, China)

Abstract: The accretion/erosion of the South Channel of the Yangtze River has significant influence to maintain the new harbor of Waigaoqiao. The article use the ArcGIS to digitize the topographic maps of the South Channel from 2000 to 2008 and establishes the DEM model of the South Channel between different periods to calculate the accretion/erosion rates. The results show that: (1) from 2000 to 2004, the amount of erosion in south channel was $21.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ (the erosion rate was 3.5 cm/a); (2) during 2004-2008 it turned to accretion, the amount was $26.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ (the accretion rate was 4.1 cm/a); (3) from 2000 to 2004, the average accretion in the new harbor of Waigaoqiao was 73 cm, and the accretion was 57 cm during 2006.7-2007.7. Conclusion: (1) the abundant sand-digging on the sand ridge of south channel leads to the adjustment of the flow sections, which might cause the accretion in the deep channels sideward; (2) the intensively accretion during 2006.7-2007.7 in the main channel of South Channel (including the new harbor of Waigaoqiao) is related to the water discharge change in the extreme drought year; (3) as a passage to the transportation of sediment, the fluvial process of the South Channel doesn't show good response to the decrease in riverine sediment supply. The main inducement of the change may based on the runoff variation due to the extreme climate event in basin, anthropic activities and the adjustment of the channel itself.

Keywords: delta evolution; South Channel; Waigaoqiao new harbor; Yangtze Estuary

收稿日期: 2009-09-03; 修订日期: 2009-12-04

基金项目: 上海市科委重点科技项目 (07DJ14003-1); 科技部河口海岸国家重点实验室专项课题 (2008KYYW01); 国家海洋局海洋公益性项目 (200705020); 科技部中荷合作项目 (2008DFB90240); 国家自然科学基金委创新群体项目 (40721004)

作者简介: 闫龙浩 (1984—), 男, 河北衡水人, 硕士研究生, 主要从事河口海岸沉积环境演变方面的研究。电子邮箱: reed1984@163.com

通讯作者: 杨世伦, 电子邮箱: slyang@sklec.ecnu.edu.cn

长江是我国第一大河,也是世界重要河流之一。由于流域大量修建水库等原因,20 世纪 70—80 年代以来长江入海泥沙出现减少趋势^[1]。特别是 2003 年三峡水库蓄水以来,大通站输沙率已降至 1.5×10^8 t/a (2003—2008 年平均值),仅相当于过去的 1/3 左右。河流入海泥沙减少通常引起三角洲前缘的淤积减慢甚至侵蚀^[2]。这种影响是否也发生在河口口门以内的河槽,研究较少。

长江口南港是上海外高桥港区所在河段,也是长江口深水航道的必经之地。因此,其河床的冲淤变化对航道和港区水深维护有着重要作用。长期以来,国内外学者对长江口南港的冲淤演变进行了大量的观测研究:吴华林^[3]等利用 1842—1997 年多幅海图资料,计算南北港河槽容积,分析并总结了南北港冲淤演变过程;巩彩兰^[4]等利用 GIS 技术根据 1988—2000 年长江口南港海图对其底沙的运动规律进行了定量的分析。但是,这些研究主要针对三峡工程运行之前的情况。据有关部门信息,近两年外高桥新港区出现了强烈淤积。这种变化的原因何在,值得探讨。为了更好地了解近年外高桥新港区的淤积原因并加深河口河槽演变规律的认识,本文将根据 2000—2008 年南港水下地形资料,利用 ArcGIS 建立水下数字地形模型,计算南港河段尤其是南港主槽的年际和年内冲淤变化,并结合同期长江来水来沙资料和研究区自然和人类活动进行冲淤机制分析。

1 研究区概况

长江口是典型的分汊河口。徐六泾以下,长江被崇明岛分隔为南支和北支,南支河段又被长兴岛和横沙岛分隔为南港和北港,南港在九段沙以下再被九段沙分隔为南槽和北槽,形成三级分汊、四口入海的格局。南港是上海外高桥新港区所在河段,也是长江口深水航道的必经之地。上海港是世界最大的港口之一,20 世纪 90 年代开始在外高桥岸段开辟新港区,目前外高桥一、二、三、四、五期码头都已经投入使用,六期码头也已投入试运行。据上海港务部门统计,2007 年上海外高桥港区进出口集装箱吞吐量突破 1 500 万标准箱大关,约占整个上海港集装箱吞吐量的 60%,单港集装箱吞吐量稳居全国首位。长兴岛南岸长达 8 km 的岸线建设世界最大的造船基地,一期工程已于 2008 年 6 月竣工。

研究区域为南港,其经纬度范围为: $121^{\circ}30'00''$ E— $121^{\circ}45'30''$ E, $31^{\circ}17'00''$ N— $31^{\circ}26'24''$ N (图 1)。考虑到沿岸区域受人为活动干扰较大且岸线曲折,研究区域进行了适当的优化,不包括码头区域,并在部分位置进行了裁弯取直,面积为 157 km^2 ,其中南港主槽面积为 81 km^2 。瑞丰沙上个别区域高于理论最低潮位面,高程信息不完整,故把该区域全部插值为 0 m 高程。从上至下依次设立剖面 1—剖面 4 进行对比。

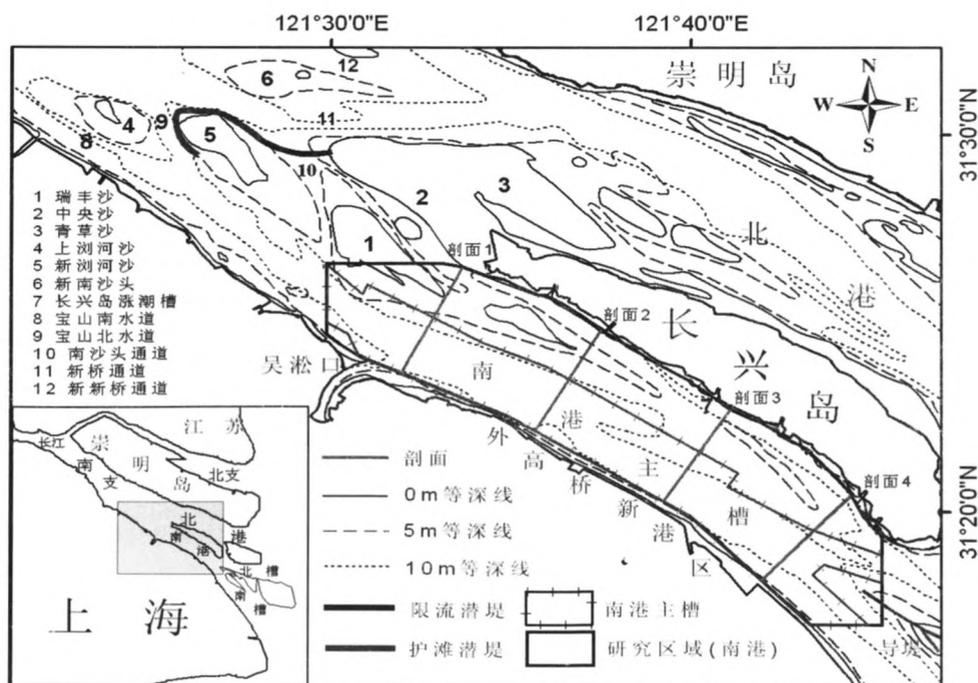


图 1 南港及南港主槽位置示意图

Fig. 1 A sketch map of South Channel area

长江水沙约一半经由南港入海^[3]。长江来沙以细颗粒为主,约 2/3 泥沙的粒径<0.05 mm^[5]。据长江水利委员会大通站监测资料,本文研究时段(2000—2008 年)内,长江平均年入海径流量和输沙率分别为 8 497 亿 m³/a 和 2.01 亿 t/a。南港水域潮汐为非正规半日潮,平均潮差 2.43 m (高桥);多年平均涨落潮历时分别为 4.83 h 和 7.58 h (高桥),1989 年平均波高为 0.2 m (高桥)。南港流速通常大于南支和北港,表层最大流速超过 2 m/s^[6]。南港涨、落潮流向均与水道轴线方向大致平行,为 NW 向和 SE 向,具有典型的往复流性质^[7]。1996 年南港枯季平均含沙量为 0.45 kg/m³,洪季平均含沙量为 0.355 kg/m³,较 1987 年 8 月平均含沙量 0.85 kg/m³ 下降一半左右^[8]。河床质 $\Phi_{50}=2.83-6.80$,平均 4.52^[9]。

2 研究资料与方法

研究采用的海图资料为中华人民共和国海事局出版的 2000 年 7 月(瑞丰沙及附近区域采用 2000 年 6—8 月和 1999 年数据)、2004 年 7 月(瑞丰沙及附近区域采用 2003 年数据)、2005 年 9 月、2006 年 7、10 月、2007 年 1、4 月、7—8 月、10—11 月、2008 年 1、4 月、7—8 月测量的海图,这些海图的比例尺(1:25 000),投影(墨卡托投影)、坐标系(1954 年北京坐标系)和基准面(理论最低潮面)均相同。大通站水沙资料来源于长江水利委员会,采沙资料来源于上海海事局。

将海图资料扫描入计算机,运用 ArcGIS 软件对海图进行配准、校正,并进行数字化,在 3D Analyst 模块中采用 Kriging 法对数据进行插值,从而建立各个年份的栅格文件,生成规则网格的数字地形模型(DEM)。并在 3D Analysis 和 Spatial Analyst 模块中对选定年份的研究区地形进行空间叠置分析计算,包括冲淤量、冲淤厚度、冲淤速率、剖面水深等。绘制输出冲淤平面分布图,并对其进行分析。

3 研究结果

3.1 不同时段南港的冲淤变化

2000 年 7 月—2004 年 7 月南港河槽整体上冲刷,河床净冲刷 $21.9 \times 10^6 \text{ m}^3$,平均刷深 13.9 cm,刷深速率 3.5 cm/a;而在 2004 年 7 月—2008 年 7 月南港河槽总体上转为净淤积 $26.0 \times 10^6 \text{ m}^3$,平均

淤积厚度 16.6 cm,淤积速率 4.1 cm/a。两时段最大冲淤幅度都>2.0 m;冲淤呈条带状分布,长轴与河槽方向一致(图 3-4)。

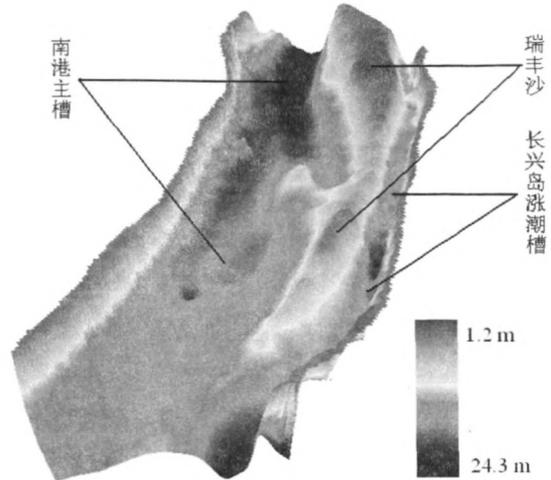


图 2 南港地形三维模型(2000 年)

Fig. 2 Three-dimensional model of South Channel in 2004

如图 1 所示,研究区内的瑞丰沙为实际瑞丰沙的中、下段(剖面 1、2 位于中段,剖面 3、4 位于下段)。2000—2004 年冲刷主要发生在 2000 年瑞丰沙 9 m 等深线以浅部位,而淤积主要分布在该等深线的两侧、下游末端以及外高桥新港区沿岸外围区域(图 3)。2004—2008 年冲刷主要发生在 9 m 等深线所包围的沙嘴下游末端(该区域在前一时段发生淤积);淤积主要发生在南港主槽上段和外高桥新港区沿岸外围区域(图 4)。

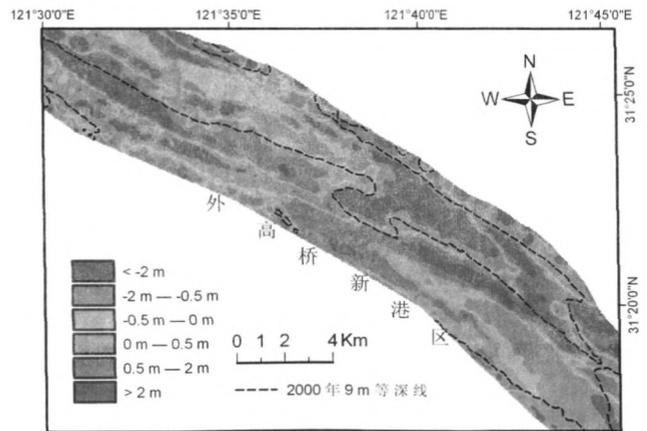


图 3 南港 2000—2004 年冲淤演变图(“-”为冲刷)

Fig. 3 Accretion/erosion of South Channel from 2000 to 2004

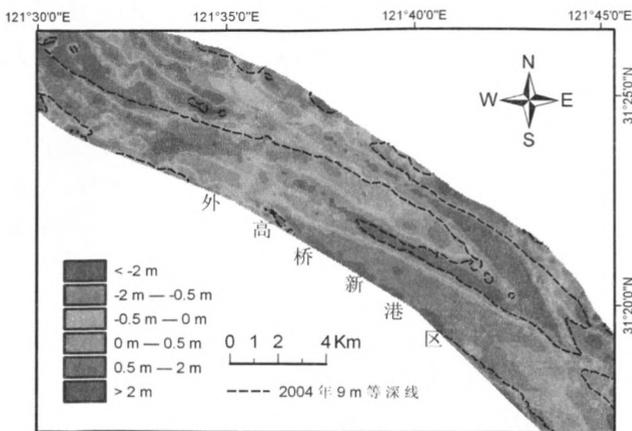


图 4 南港 2004—2008 年冲淤演变图 (“-”为冲刷)

Fig. 4 Accretion/erosion of South Channel from 2004 to 2008

瑞丰沙嘴的变化发展以 5 m 等深线迁移及其包围的面积、体积、水深等的变化为标志。瑞丰沙中段从 2000—2004 年的全面冲刷转为 2004—2008 年

的两侧淤积、中央冲刷。2000、2004、2008 年 5 m 等深线以浅区域分别为 22.2 km^2 、 18.5 km^2 和 20.4 km^2 。虽然 5 m 等深线以浅区域变化不大,但瑞丰沙中段尤其是高于 0 m 等深线区域不断缩小:从 2000 年的 9.7 km^2 减少到 2004 年的 5.9 km^2 和 2008 年的 2.8 km^2 。瑞丰沙中段和下段之间在 2000—2004 年间发育了串沟,中、下段之间 5 m 等深线分离。瑞丰沙下段尾端由 2000—2004 年的淤积转为 2004—2008 年的冲刷,其余部分持续冲刷(图 3,图 4,图 5c,图 5d)。瑞丰沙下段 5 m 等深线以浅区域由 2000 年的 6.0 km^2 减少到 2004 年的 4.5 km^2 ,和 2008 年的 0.4 km^2 ,现已基本消亡。2000 年瑞丰沙 5 m 等深线包围区域内,2000—2008 年间总冲刷量为 $64.2 \times 10^6\text{ m}^3$,最大侵蚀厚度达 9.1 m,平均冲刷 2.28 m(注:推断上述瑞丰沙的“冲刷”多为采砂所致)。

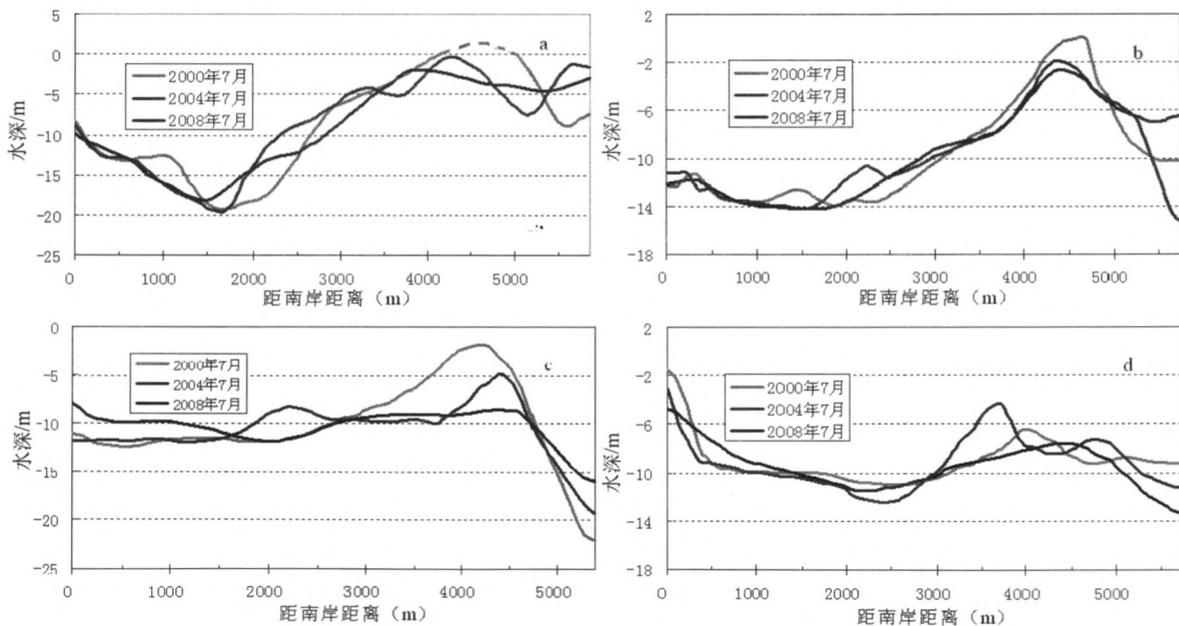


图 5 a (剖面 1)、b(剖面 2)、c(剖面 3)、d(剖面 4)的冲淤对比图

Fig. 5 Temporal changes in profile a、b、c、d

剖面 2 上游深泓线位置基本保持不变。其中南港主槽剖面 1 上游区域冲淤转换剧烈,由 2000—2004 年的南部冲刷、北部淤积转为 2004—2008 年的南部淤积、北部冲刷。南港主槽剖面 1 至剖面 2 之间区域一直保持南部冲刷北部淤积的格局(图 3,图 4,图 5a,图 5b)。

剖面 2 下游深泓线不断北移,其中外高桥新港区码头外围区域深泓线北移最为显著:2000—2008 年平均北移距离达 1.5 km。南港主槽剖面 2 下游区域除南槽分岔口航道向上延伸段冲刷区域有所减少外,大部分区域保持强烈淤积。外高桥新港区码头外围区域发生大范围持续淤积,其中码头向外延

伸 1.5 km 区域内, 2000—2004 年平均淤积厚度 36.5 cm, 最大淤积厚度达 302 cm; 2004—2008 年平均淤积厚度达 72.6 cm, 最大淤积厚度达 545 cm。南港北侧长兴岛码头沿岸由于人工疏浚的原因冲淤间隔分布、冲淤转换剧烈(图 3-5)。

长兴岛涨潮槽冲淤转换剧烈, 冲淤间隔分布(图 3-5)。涨潮槽上段因淤积消亡(图 5a), 中段淤浅(图 3, 图 4, 图 5b-c), 而下段不断刷深, 在瑞丰沙尾冲刷萎缩的过程中保持着深槽的状态(图 5d)。

3.2 南港主槽年际变化

如图 6 所示, 南港主槽的年际冲淤时空变化复杂。平均而言, 2004 年 7 月至 2006 年 7 月连续两年冲刷; 而 2006 年 7 月至 2007 年 7 月在大通输沙率急剧降低的情况下出现强烈淤积, 平均淤积 23 cm; 此后的一年又出现 7.7 cm 的净冲刷(表 1)。其中外高桥新港区码头向外延伸 1.5 km 区域内, 2004 年 7 月至 2005 年 9 月平均淤积厚度 13.8 cm, 2005 年 9 月至 2006 年 7 月平均淤积厚度 11.5 cm, 2006 年 7 月至 2007 年 7 月平均淤积厚度 57.0 cm, 2007—2008 年平均冲刷深度 9.7 cm。

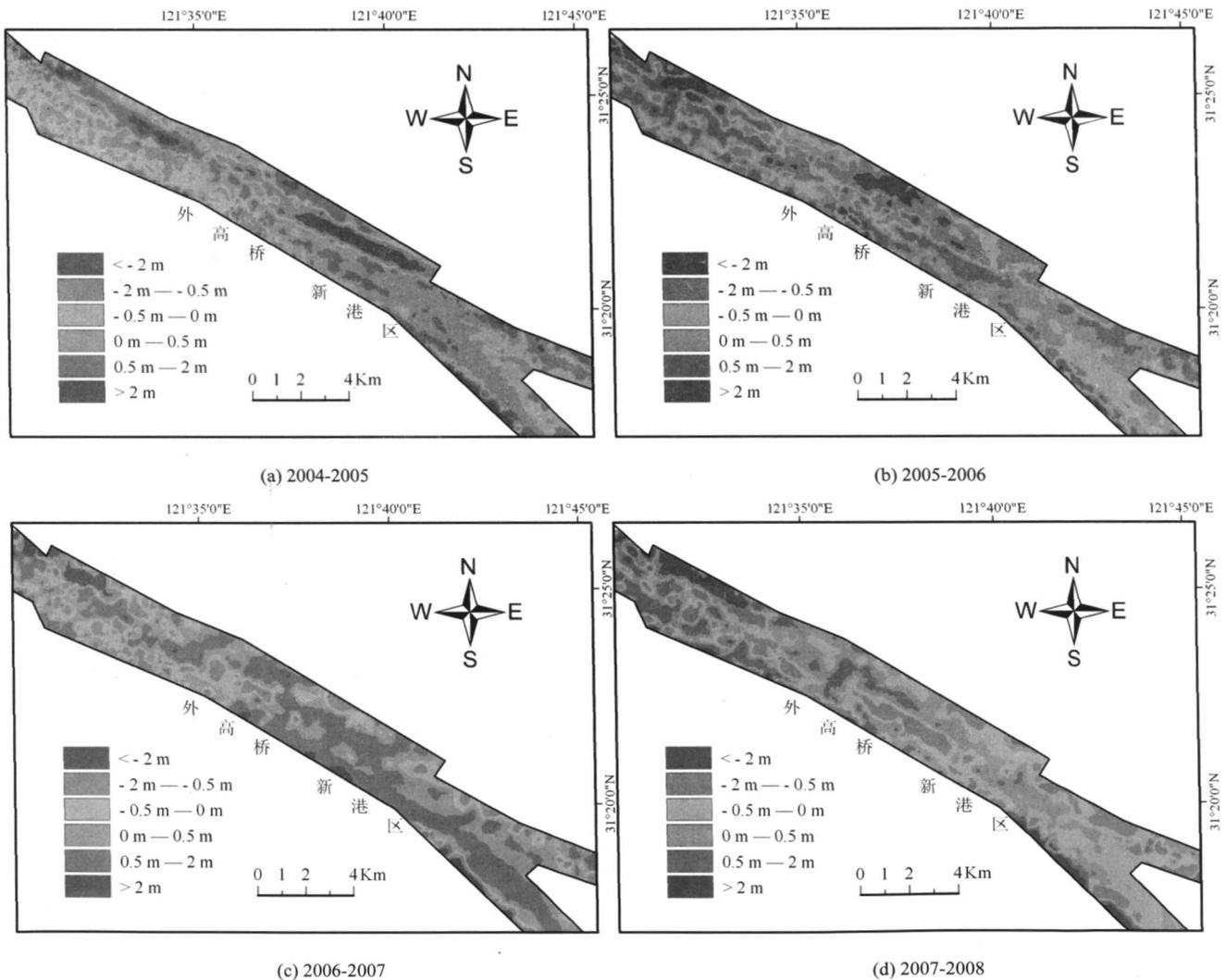


图 6 南港主槽年际冲淤变化

Fig. 6 Accretion/erosion of main Channel from year to year

表 1 南港主槽年际冲淤变化

Tab. 1 Accretion/erosion of main channel from year to year

时段	冲淤体积 (m^3 , +: 淤积, -: 冲刷)	平均冲淤厚度 (cm, +: 淤积, -: 冲刷)	长江入河口流量* / m^3	长江入河口输沙量* /t
2004.7-2008.7	$+0.09 \times 10^7$	+1.1	31.3×10^{11}	5.6×10^8
2004.7-2005.9	-0.19×10^7	-2.4	8.5×10^{11}	1.7×10^8
2005.9-2006.7	-1.02×10^7	-12.5	8.8×10^{11}	1.9×10^8
2006.7-2007.7	$+1.90 \times 10^7$	+23.3	6.2×10^{11}	0.8×10^8
2007.7-2008.7	-0.62×10^7	-7.7	7.8×10^{11}	1.2×10^8

*大通站, 为对比方便, 流量和输沙率都采用前一年的 7 月到第二年 7 月的流量、输沙率

3.3 南港主槽季节性冲淤变化

南港主槽季节性冲淤复杂多变, 冲淤格局没有显示出明显的特点。如图 7 所示, 2006 年 7 月—2008 年 7 月南港主槽虽然不断地在冲淤转换, 但并没有显示出出洪、枯季冲淤差异, 并以淤积为主。

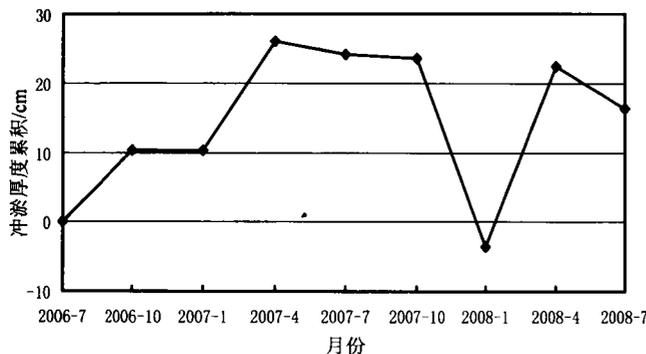


图 7 南港主槽季度冲淤厚度

Fig. 7 Accretion/erosion cumulation of main Channel from quarter to quarter

4 讨论

4.1 瑞丰沙嘴衰退的原因

由于科氏力的作用, 长江口涨、落潮流路分歧(落潮流偏南, 涨潮流偏北), 两者间出现相对的缓流区, 有利于泥沙的淤积和沙体的形成^[10]。这既是长江口历史上多次分汊的原因, 也是 20 世纪 50—60 年代以来南港瑞丰沙嘴逐渐形成并长期存在的原因。由此, 南港河段分为南港主槽、瑞丰沙嘴、长兴岛涨潮槽三个地貌单元这一格局, 并一直保持到现在。近几十年来 95% 以上的长江来水来沙经由南支系统入海^[11], 南港的分流分沙比也一直稳定在 50% 左右^[12]。

现阶段南、北港分汊口处于剧烈变动时期, 北港分流口新桥通道处于萎缩阶段, 新新桥通道有望成为新的北港分流主通道; 南港分流通道有 3 条, 分别为宝山北水道、宝山南水道和南沙头通道。其

中宝山北水道为主通道, 并且在进一步扩大。新浏河沙头和中央沙头持续侵蚀后退有逐渐并靠的趋势, 使南沙头通道扭曲与萎缩, 同时新桥通道更替又加强了这一趋势^[13,14]。而 2009 年 2 月完工的长江口深水航道南北港分汊口河段关键性河势控制工程(图 1, 护滩潜堤: 堤顶标高+2.0 m, 限流潜堤: 顶标高±0 m, 吴淞零点)又将加快新浏河沙头和中央沙的并靠以及南沙头通道的衰退。南沙头通道的衰退势必造成的南沙头通道输水、输沙的减少, 减少对瑞丰沙的供沙量。与此同时, 南港瑞丰沙区域存在着大范围采砂行为, 虽然目前无法获得准确的采砂数据, 但相关部门和研究人员经常发现同时有多条船在南港瑞丰沙一带采砂。其中有部分可查询采砂活动, 如 2005 年 1 月 20 日至 12 月 30 日在瑞丰沙沙尾进行了大规模的采砂, 因此采砂量可观。瑞丰沙区域的采砂不但直接导致瑞丰沙沙体萎缩, 还会对南港流场造成影响。1987 年水文测验资料显示: 南港主槽、南岸落潮流速均大于涨潮流速, 而长兴岛涨潮槽落潮流速均小于涨潮流速^[15]。1998 年 2 月现场水文测验资料, 长兴岛涨潮沟在大潮期间涨潮流占明显优势, 平均流速、平均流量、平均输沙率、全潮潮量及全潮输沙量均大于落潮, 水、沙由下口向上口方向倒流, 小潮期落潮流占优势, 水、沙均为上口向下口输送, 潮量与大潮相近, 但输沙率仅为大潮的 1/2^[16]。2005 年 8 月实测水文资料计算优势流, 瑞丰沙头两侧南沙头通道和瑞丰沙涨潮沟的优势流均为下泄流^[14,17]。瑞丰沙嘴和长兴岛涨潮槽萎缩的同时, 长兴岛涨潮槽的涨潮功能已经开始弱化, 输沙方向由下向上转为由上向下不但减少对瑞丰沙的供沙量, 加剧了瑞丰沙的萎缩刷深的情况。

4.2 近年南港河槽的冲淤演化

河槽的过水断面大小倾向于适应径潮流量。当后者不变时, 河槽横断面的一侧刷深往往会带动另

一侧淤浅,以期维持过水断面面积的稳定。瑞丰沙刷深的后果是使过水断面增大,而其两侧河槽的淤浅则是一种使过水断面面积恢复的反馈机制。2006年7月至2007年7月的南港主槽淤积可能还与该水文年径流量特小有关。由于2006年夏秋季节长江流域大旱,2006年7月至2007年7月水文年大通站流量比多年平均值小31%,比此前的两个水文年径流量小27%~30%,是自1865年以来仅次于1900年的特枯水文年。径流量的大幅度降低可能倾向于使河槽过水断面缩小,而实现过水断面缩小的自然机制就是河槽淤积。值得指出的是,2006年7月至2007年7月水文年在三峡工程二期蓄水和径流量大幅度下降的双重背景下,长江来沙量也特低,仅相当于多年平均值的20%左右和此前两年的42%~49%,成为大通站有记录以来输沙率最低的水文年。然而,南港主槽不仅未出现冲刷,反而发生淤积。这说明长江口内的河槽对于上游来沙而言仅仅是一个过境通道,而不像口门外的水下三角洲那样是泥沙的“汇”^[18]。因此,南港主槽的冲淤与上游来沙的多少关系不大。

作为南港主槽的一部分,近年外高桥新港区的淤积原因可能主要与南港主槽的淤积原因一致。其中,外高桥新港区外围深泓线大幅度北移而造成的港区码头附近水域流速减小起了重要作用。在长江口地区,分歧了的涨落潮流路之间的缓流区,使得水流挟带的泥沙容易沉积造成淤积。因此假如南港停止采砂,在自然状态下瑞丰沙可能会逐渐恢复。加之径流量恢复,由于河槽过水断面倾向于适应径流量,外高桥新港区的淤积可望减轻。

南港近年来流量减少并不显著,而南港输沙量在长江整体来沙剧减的情况下急剧减少。在这种情况下,南港却由2000—2004年整体冲刷转为2004—2008年的整体淤积,部分区域发生强烈的冲淤转换,且局部的冲淤差异明显,冲淤主要呈条带状分布,长轴与河槽方向一致,说明冲淤与河槽的侧向摆动有关^[18],南港作为长江入海水沙的通道(而不是长江入海泥沙的“汇”),其冲淤变化对河流来沙减少的响应不敏感,局部的冲淤主要与人为影响及河槽的调整有关。

5 结 语

近期南港出现的强烈冲淤变化反映了流域和河口、自然和人类活动等重要事件的影响。河口深槽与其相邻的浅沙之间往往是相互依存、相互制约

的关系,前者的稳定往往依赖于后者的稳定。在河口治理和资源开发时应遵循这种基本的自然法则。要维持南港主槽的水深,有必要在相邻的浅滩(特别是瑞丰沙)停止采砂,使其在张落潮流路分歧的有利条件下逐渐得以恢复。鉴于河口河槽冲淤的复杂性和南港主槽和外高桥新港区在航运中的重要地位,有必要继续进行研究区的监测和研究。

参考文献:

- [1] Yang S L, Zhao Q Y, Belkin I M. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze River and the influences of the human activities [J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 263: 56-71.
- [2] Syvitski J P M, Vorosmarty C J, Kettner A J, et al. Impact of humans on flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean [J]. *Science*, 2005, 308: 376-380.
- [3] 吴华林,沈焕庭,茅志昌.长江口南北港泥沙冲淤定量分析及河道演变[J].*泥沙研究*,2004,(3):75-80.
- [4] 巩彩兰,恽才兴.应用地理信息系统研究长江口南港底沙运动规律[J].*水利学报*,2002,(04):62-67.
- [5] Shi-lun Yang, Ping-xing Ding, Shen-liang Chen. Changes in progradation rate of the tidal flats at the mouth of the Changjiang (Yangtze) River, China [J]. *Geomorphology*, 2001, 38: 167-180.
- [6] 上海市海岛资源综合调查报告编写组.上海市海岛资源综合调查报告[R].上海:上海科学技术出版社.1996.
- [7] 杨许侯,金成法,马道华.长江口南港水道潮流特征分析[J].*海洋通报*,2004,18(1):1-11.
- [8] 戚秀莲,朱元生.长江口南港河段水文泥沙特性及河床演变分析[J].*海洋工程*,2000,(04):74-79.
- [9] 杨世伦.长江口沉积物粒度参数的统计规律及其沉积动力学解释[J].*泥沙研究*,1994,(3):23-31.
- [10] 陈吉余,恽才兴,徐海根,等.两千年来长江河口发育的模式[J].*海洋学报*,1979,01(01):103-111.
- [11] 恽才兴.长江河口近期演变基本规律[M].北京:海洋出版社,2004:5-8,142-178.
- [12] 楼飞.长江口深水外航道海域沉积和冲淤环境研究[D].华东师范大学,2005:38.
- [13] 薛鸿超.长江口南、北港分汊口演变与治理[J].*海洋工程*,2006,(01):27-33.
- [14] 应铭,李九发,虞志英,等.长江河口中央沙位移动变化与南北港分流口稳定性研究[J].*长江流域资源与环境*,2007,(4):476-481.
- [15] 戚秀莲,朱元生.长江口南港河段水文泥沙特性及河床演变分析[J].*海洋工程*,2000,(04):74-79.
- [16] 巩彩兰,恽才兴,虞志英.长江口南港底沙输移及其对南、北槽分汊口的影响[J].*海洋工程*,2003,(03):62-67.
- [17] 郭建强,茅志昌.长江口瑞丰沙嘴演变分析[J].*海洋湖沼通报*,2008,(1):17-24.
- [18] Yang S L, Belkin I M, Belkina A I, et al. Delta response to decline in sediment supply from the Yangtze River: Evidence of the recent four decades and expectations for the next half-century. *Estuarine [J]. Coastal and Shelf Science*, 2003, 57: 689-699.