

近期长江河口南汇南滩水域水沙变化特征

刘高伟^{1,2}, 程和琴¹, 李九发¹, 计娜¹, 胡浩¹, 乔远英¹

(1. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 2. 上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 基于南汇南滩水域 2011 年 12 月和 2012 年 6 月洪、枯季大潮的现场水文观测资料及 2003 年 2 月枯季大潮、2004 年 9 月洪季大潮的历史观测资料, 分析潮流历时、流速、优势流和含沙量等水沙现状和变化特征, 探讨近年来该水域水沙变化的主要影响因素。结果表明: (1) 目前, 南汇南滩水域洪季大潮落潮流占主导优势, 枯季大潮涨潮流占主导优势; (2) 东海大桥及其周边促淤围垦工程后, 洪季大潮落潮优势增强, 涨潮垂线平均含沙量减少, 落潮垂线平均含沙量增多; 枯季大潮落潮优势减弱, 涨、落潮垂线平均含沙量均减少; (3) 近岸工程建设是南汇南滩水域洪季落潮优势增强、枯季落潮优势减弱的主要影响因素; 涨、落潮垂线平均含沙量的变化主要与工程建设、流域来沙量减少、近岸沙体变迁等作用有关。可为河口河槽治理提供理论依据。

关键词: 南汇南滩; 水沙变化; 近岸工程; 特征分析; 长江河口

中图分类号: TV882.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)10-0108-08

doi: 10.11759/hyqx20131216001

南汇边滩位于长江口和杭州湾交汇处, 东临东海, 南靠杭州湾, 北与南槽毗邻。以石皮勒断面为界, 靠近长江口一侧称为南汇东滩, 靠近杭州湾一侧称为南汇南滩^[1]。南汇南滩水域流场以潮流为主, 基本呈东西方向的往复流动, 主流向与沿岸等深线大致平行。潮流性质属非正规半日潮型, 顺时针向旋转^[2]。

长江大通站 1950 至 2010 年平均年径流量为 $8964 \times 10^8 \text{ m}^3$, 1951 至 2010 年平均年输沙量为 $3.90 \times 10^8 \text{ t}$ ^[3], 为南滩的形成提供了丰富的泥沙来源。南汇咀附近水域是长江口泥沙向杭州湾输移的泥沙通道。受南汇咀两侧的水面比降、潮流差异及锋面等的作用, 长江口水沙以多种方式直接或间接地通过泥沙通道进入杭州湾^[4]。近年来随着流域筑坝建库、“南水北调”、水土保持工程的实施, 使得长江流域来沙量急剧减少, 再加上东滩促淤围垦、临港新城、东海大桥等工程的建设, 从而加速了南汇近岸海床的冲刷^[5]。至 2003 年南汇边滩已先后被圈围了 $1.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (约合 150 km^2), 其中包括浦东国际机场, 南汇东滩一、二期工程, 人工半岛一、二期工程以及芦潮港两侧的临港工程, 如此大范围 0 m 以上浅滩被圈围后, 必将对南汇嘴沿岸水域的水流、泥沙和地形冲淤带来严重的影响^[6]。同时, 受潮滩海洋动力作用、长江入海泥沙变化及近岸工程建设的影响, 使得南汇南滩水域原有水沙状况已发生了显著的变化。目前该水域水沙现状如何, 亟待开展研究。

本文拟根据最新长江口南汇南滩水域洪、枯季大潮水沙实测数据及历史水沙资料, 利用潮汐-潮流比较法进行同化处理, 分析该水域水沙现状及其变化特征, 并探讨近年来水沙变化的影响因素, 为今后河口河槽治理和工程建设提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 现场测量及历史数据收集

2011 年 12 月 11~12 日枯季大潮和 2012 年 6 月 8~9 日洪季大潮两条船分别同时利用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)对东海大桥以东(N1 测点)、东海大桥以西(N2 测点)作水流连续定点 26 h 同步测量。其中, ADCP 测量的声学频率为 600 kHz, 流速和流向采用六点法测量, 垂线平均流速和流向根据六点法加权计算得到。为了分析南汇南滩水域水沙变化特征, 本文收集了 2003 年 2 月(K0315 测点)枯季大潮、2004 年 9 月(H0415 测点)洪季大潮南汇南滩水域大潮实测资料。其中流速观测使用 SLC9-2 型直读式电磁

收稿日期: 2013-12-16; 修回日期: 2014-02-19

基金项目: 国家自然科学基金专项基金项目(41340044); 国家自然科学基金面上项目(41476075); 国家自然科学基金中荷合作专项(51061130544)

作者简介: 刘高伟(1987-), 男, 河南周口人, 硕士, 助理工程师, 主要从事河口海岸水动力环境及工程应用研究, 电话: 18818208587, E-mail: liugaoweigufan@126.com; 程和琴, 通信作者, 教授, 博士生导师, E-mail: hqch@sklec.ecnu.edu.cn

海流计同步观测 26 h, 并采用六点法测量流速和流向, 测点位置如图 1 所示。

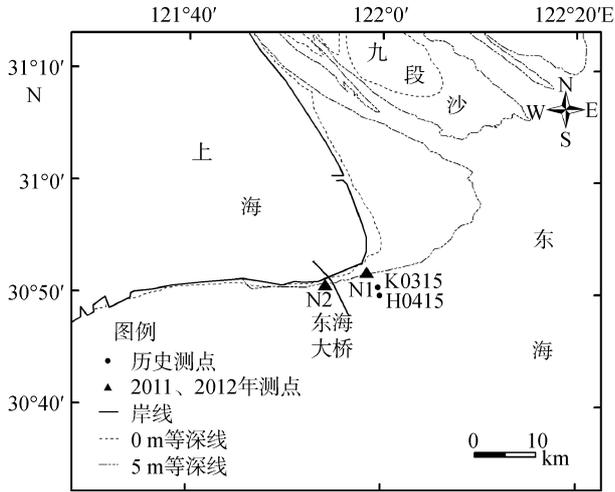


图 1 研究区域及测点位置图

Fig.1 Sketch map of the study area and observation sites

工程前后测点位置虽有所差异, 但其潮流性质、地形条件、气象条件等要素相近。洪季时两次测量的盐度均约为 10, 水体平均温度约为 20℃; 枯季时两次测量的盐度约为 16, 水体平均温度为 15℃。并且洪、枯季观测时段分别对应的月平均流量差异不大, 上游来水条件相似, 并且同时为大潮期间的实测数据, 故认为具有一定的可比性。

1.2 水样采集及含沙量分析

水样分层采集时采用“六点”法: 表层(水面下 0.5 m)、0.2H, 0.4H, 0.6H, 0.8H, 底层(离床面 0.5 m), 当水深 $H < 3$ m 时, 采用“三点”法, 即表层、中层和底层。逐时于整点时刻分层采集水样, 按照各层水样 600 mL, 送实验室经 45 μ m 滤纸过滤, 105℃ 恒温箱内烘干, 再放入干燥缸里冷却 6~8 min 后称质量并计算单位水体的含沙量, 各时刻的垂线平均含沙量采用六点法加权平均计算。其中, 2003, 2004, 2011 和 2012

年含沙量测量方法均相同。由于 ADCP 底表层存在盲区, 6 点取水样时分别与 ADCP 所测的流速相对应。

1.3 数据同化处理

在杭州湾北部湾口处(包括南汇南滩), 主要日分潮和半日分潮波都是前进波^[7], 无论涨潮或落潮过程, 潮流流速与潮差的相关系数约为 0.95, 均属高相关^[8]。故本文可以采用潮汐—潮流比较法将相同潮型不同潮差下的流速归算到相同潮差下的流速进行分析。以工程前测点附近潮位站潮差为标准, 将工程后实测流速(此时段对应测点附近潮位站的潮差)按潮差正比关系换算出相对流速^[9-10]。

1.4 优势流计算

优势流最早见于 Simmons^[11]的研究, 即在感潮河口将各测点的全潮流速过程线中落潮单宽流量过程线包围面积除以涨潮和落潮单宽流量绝对值之和, 若商大于 50%, 代表落潮优势流为主, 商小于 50%, 代表涨潮优势流为主, 其商为 50%时, 表明涨落潮流量相等, 这个位置为滞流点位置^[12-13]。

优势流计算公式:

$$\text{优势流} = \frac{\text{平均落潮流历时} \times \text{平均落潮流速}}{\text{平均落潮流历时} \times \text{平均落潮流速} + \text{平均涨潮流历时} \times \text{平均涨潮流速}}$$

2 南汇南滩水域水沙现状特征

2.1 洪、枯季大潮潮流特征

2.1.1 涨、落潮平均历时

南汇南滩水域(N1、N2 测点)洪季涨潮平均历时为 6 h, 落潮平均历时为 6.7 h; 枯季涨潮平均历时为 6.7 h, 落潮平均历时为 5.8 h(表 1)。

2.1.2 垂线平均流速

南汇南滩水域洪季涨潮垂线平均流速为 0.85 m/s, 落潮垂线平均流速为 0.86 m/s; 枯季涨潮垂线平均流速为 1.01 m/s, 落潮垂线平均流速为 0.68 m/s。东海

表 1 2012 年 6 月洪季、2011 年 12 月枯季大潮南汇南滩水域潮流特性

Tab. 1 The characteristics of tidal current in the Nanhui south shoal during the flood season in June 2012 and dry season in December 2011

站位	季节	平均历时(h)		垂线平均流速(m/s)		垂线平均含沙量(kg/m ³)		优势流
		涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	
N1	洪季	6.19	6.74	0.91	1.01	1.231	2.839	0.55
	枯季	6.66	5.85	0.93	0.61	1.669	1.308	0.37
N2	洪季	5.72	6.69	0.78	0.70	1.316	2.705	0.51
	枯季	6.79	5.76	1.09	0.74	1.490	1.290	0.37

大桥以东(N1 测点)洪季垂线平均流速大于枯季, 东海大桥以西(N2 测点)则相反(表 1)。

2.1.3 优势流

南汇南滩水域优势流洪季约为 0.53, 枯季为 0.37, 说明该水域洪季落潮流占主导优势, 枯季涨潮流占主导优势(表 1)。

2.1.4 流速垂向分布

南汇南滩水域潮平均流速从表层至底层基本呈逐渐减小的变化趋势, 表面两层流速大小相近, 底部两层流速大小基本相等, 垂线分布结构大致呈倒“S”型分布(图 2)。洪季东海大桥以东(N1)从表层至底层流速相差较大为 0.25 m/s, 东海大桥以西(N2 测点)相差较小为 0.12 m/s。枯季从表层至底层流速之

差东海大桥以东(N1 测点)为 0.24 m/s, 东海大桥以西(N2 测点)为 0.34 m/s(图 2)。

2.2 洪、枯季大潮含沙量特征

2.2.1 垂线平均含沙量

潮周期内南汇南滩水域垂线平均含沙量洪季大于枯季。东海大桥以东(N1 测点)洪季垂线平均含沙量涨潮为 1.231 kg/m^3 , 落潮为 2.839 kg/m^3 ; 枯季垂线平均含沙量涨潮为 1.669 kg/m^3 , 落潮为 1.308 kg/m^3 。东海大桥以西(N2 测点)洪季垂线平均含沙量涨潮为 1.316 kg/m^3 , 落潮为 2.705 kg/m^3 ; 枯季垂线平均含沙量涨潮为 1.490 kg/m^3 , 落潮为 1.290 kg/m^3 (表 1)。

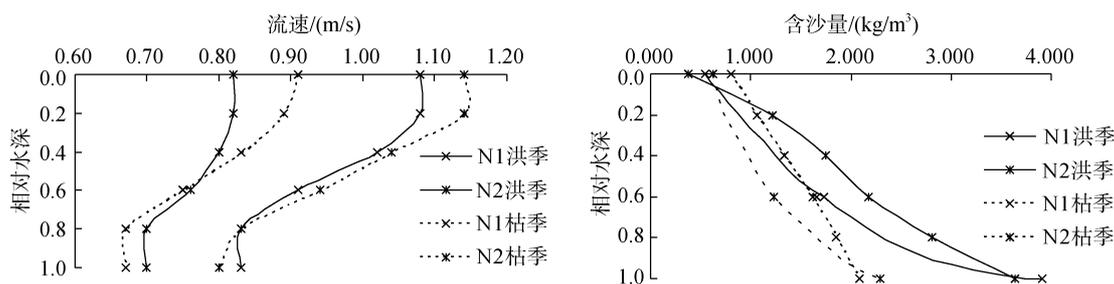


图 2 2012 年 6 月洪季、2011 年 12 月枯季大潮南汇南滩水域流速、含沙量垂向分布图

Fig. 2 The vertical profiles of tide current velocity and suspended sediment concentration in the Nanhui south Shoal during the flood season in June 2012 and dry season in December 2011

2.2.2 含沙量垂向分布

一般而言长江口平均含沙量由表层至底层逐渐增大, 由于复杂水动力条件作用使得平均含沙量的垂线结构很少符合 Rouse 公式的指数分布形式, 可大致归纳为准直线型、斜线型、抛物线型和混合型^[14]。洪季含沙量从表层至底层变化范围较大, 东海大桥以东(N1测点)呈抛物线型分布, 东海大桥以西(N2测点)基本呈斜线型分布; 枯季含沙量垂向分布变化范围与洪季相比较小, 东海大桥以东(N1测点)呈斜线型分布, 东海大桥以西(N2测点)基本呈抛物线型(图2)。

2.3 流速、含沙量之间相关关系

南汇南滩附近水域处于最大浑浊带上, 絮凝作用、河口环流、泥沙再悬浮表现较为活跃, 尤其是泥沙再悬浮^[12, 15]。一般潮汐河道中一个潮周期内在涨、落急附近悬沙出现两次沙峰, 泥沙发生两次再悬浮^[16](图 3)。在 2011 年 12 月和 2012 年 6 月的两次实测数据中, 南汇南滩水域泥沙颗粒极细, 大潮时悬沙 D_{50}

粒径范围为 $4\sim 8 \mu\text{m}$, 属粉砂类, 受潮径流影响比较大^[17]。东海大桥以东(N1 测点)垂线平均含沙量变化特征表现为洪季落潮大于涨潮、枯季落潮小于涨潮, 含沙量的峰值滞后于流速落急、涨急 $1\sim 2 \text{ h}$, 含沙量的最小值也出现在落憩、涨憩后的 $1\sim 2 \text{ h}$ (图 3)。整体而言, 洪季泥沙运动更为剧烈, 但泥沙含量变化率小于流速变化率, 泥沙依附于水流运动。

3 近期南汇南滩水域水沙变化特征

3.1 大潮落潮优势洪季增强、枯季减弱

洪季大潮 2004 至 2012 年南汇南滩水域落潮优势增强, 涨、落潮垂线平均流速均增大, 且落潮流速增加更为明显。2004 年涨潮垂线平均流速为 0.77 m/s , 2012 年增至 0.91 m/s ; 2004 年落潮垂线平均流速为 0.67 m/s , 2012 年增至 1.01 m/s ; 垂线平均流速落/涨由 2004 年的 0.87 增至 2012 年的 1.11 (表 2)。

枯季大潮 2003 至 2011 年南汇南滩水域落潮优势减弱, 涨潮优势增强, 且由原来的落潮流占主导

优势转变为目前的涨潮流占主导优势; 涨、落潮流速均减小, 且落潮流速减少较多。2003 年涨潮垂线平均流速为 1.13 m/s, 2011 年减至 0.93 m/s, 2003 年落

潮垂线平均流速为 1.00 m/s, 2011 年减至 0.61 m/s; 垂线平均流速落/涨由 2003 年的 0.88 减为 2011 年的 0.66(表 2)。

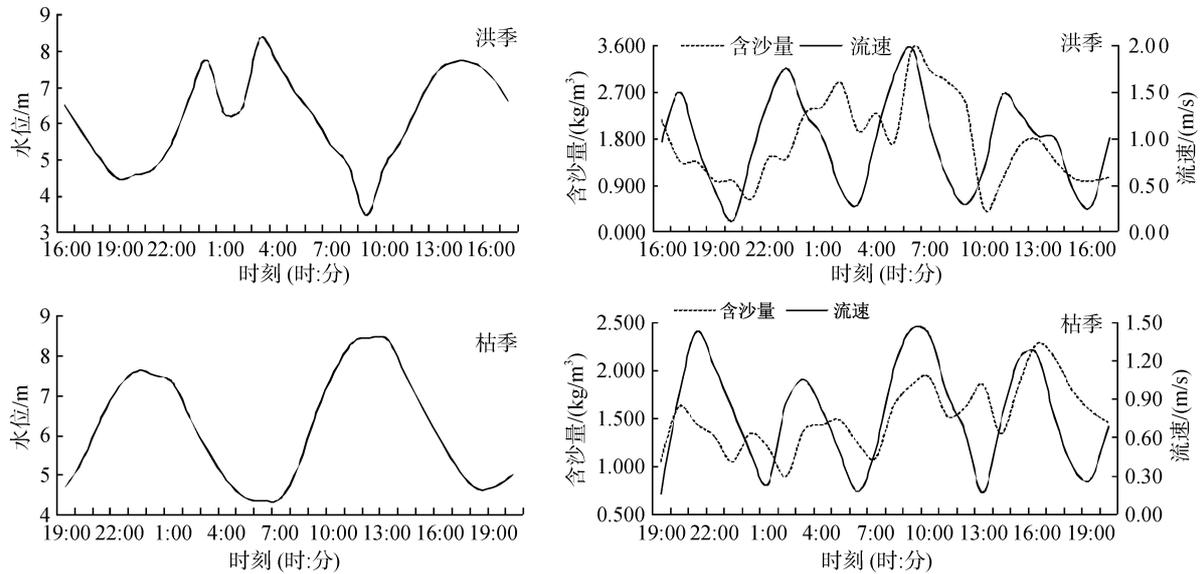


图 3 东海大桥以东 N1 测点洪季、枯季大潮水位、垂线平均含沙量及流速过程线

Fig. 3 The graphs of water stage, velocity and sediment concentration at N1 observation site in the east of East China Sea Bridge during flood and dry seasons

表 2 2003~2012 年南汇南滩水域垂线平均流速及垂线平均含沙量

Tab. 2 The depth averaged velocity and SSC in the Nanhui south shoal during 2003~2012

时间	测站	潮型	垂线平均流速(m/s)			垂线平均含沙量(kg/m ³)		
			涨潮	落潮	落/涨	涨潮	落潮	落/涨
2004 年 9 月	H0415	洪季大潮	0.77	0.67	0.87	2.433	2.183	0.90
2012 年 6 月	N1		0.91	1.01	1.11	1.231	2.839	2.31
2003 年 2 月	K0315	枯季大潮	1.13	1.00	0.88	2.712	2.579	0.95
2011 年 12 月	N1		0.93	0.61	0.66	1.669	1.308	0.78

注: 垂线平均值均为潮周期内的平均值

3.2 潮周期内含沙量减少

洪季大潮 2004 至 2012 年南汇南滩水域涨潮垂线平均含沙量明显减少, 落潮含沙量增多, 且潮周期内含沙量呈减少趋势。2004 年涨潮垂线平均含沙量为 2.433 kg/m³, 2012 年减至 1.231 kg/m³; 2004 年落潮垂线平均含沙量为 2.183 kg/m³, 2012 年增至 2.839 kg/m³, 垂线平均含沙量落/涨由 2004 年的 0.90 增至 2012 年的 2.31(表 2)。

枯季大潮 2003 至 2011 年南汇南滩水域涨、落潮平均含沙量均减少, 且落潮含沙量减幅较大, 潮周期内含沙量同样减少。2003 年涨潮垂线平均含沙量为 2.712 kg/m³, 2011 年减至 1.669 kg/m³; 2003 年落潮垂线平均含沙量为 2.579 kg/m³, 2011 年减至

1.308 kg/m³; 垂线平均流速落/涨由 2003 年的 0.95 减少至 2011 年 0.78(表 2)。

4 水沙变化影响因素分析

南汇边滩近岸水域水动力特征, 一方面受东海潮波传播的影响, 另一方面受长江下泄巨大径流影响。来自东海潮波中的北支同时传播入长江口和杭州湾北岸的过程中, 在南汇嘴岸外海域潮流即发生分流(涨)和汇流(落)现象^[18]。南滩附近水域流场基本表现为东西向的往复流, 由于钱塘江来水来沙对杭州湾的影响甚小, 则南滩附近水域的主要动力为强劲的潮流; 又由于南汇南滩邻近长江口, 直接受长江径流的影响, 在潮径流的作用下, 含沙量变化较

为活跃。近 10 年来, 南汇南滩水域水沙变化明显, 是对近年来流域来沙量减少、周边促淤围垦工程及东海大桥建设、近岸沙体变迁的直接响应。

4.1 近岸工程建设的影响

东海大桥及其周边促淤围垦工程后, 洪季大潮落潮优势增强, 枯季大潮落潮优势减弱。南汇南滩附近的围垦工程及东海大桥建设将使得通过口门沿河道上溯的纳潮量相对减少, 同时洪季较强的径流作用也进一步减少了潮流的影响范围, 径潮比有所提高; 但与此同时, 南汇南滩附近的围垦工程也在一定程度上使得径流下泄受阻, 进而流速将会增大。枯季上游来水量较小, 南汇南滩将以潮汐作用为主, 围垦工程和大桥建设后口门总的纳潮量减少, 进而导致潮汐动能减弱, 流速将减小^[19-20]。

2003、2004年东海大桥处于建设期, 南汇边滩东滩二期围垦、芦潮港临港围垦刚刚完工, 此时南汇南滩水域垂线平均流速表现为“枯高洪低”, 垂线平均含沙量较高。2011、2012年东海大桥及其周边围垦工程已完工多年, 与2003、2004年相比, 洪季大潮涨、落潮垂线平均流速变大, 潮周期内含沙量减少, 并且涨潮垂线平均含沙量减少, 落潮含沙量增多; 枯季大潮涨、落潮垂线平均流速变小, 涨、落潮垂线平均含沙量减少(表2)。2004年9月和2012年6月、2003年2月和2011年12月大通站来水量基本相当(表3), 且钱塘江来水来沙对杭州湾影响甚小, 2003至2012年南汇南滩水域除东海大桥及周边促淤围垦工程外, 其他条件变化并不大, 可以初步判断近年来南滩水域流速变化与东海大桥及周边促淤围垦工程的建设有关。

1994 年至今南汇边滩进行了大规模的围垦, 其中南滩部分包括人工半岛一期、人工半岛二期以及临港新城(表 4), 促淤围垦工程在施工上一般采取先促淤后围堤, 即在围堤工程前先建堤顶较低的促淤半潜堤, 以引长江泥沙随涨潮水越堤进入堤内自然落淤以加快滩面高程, 当堤内滩面淤高 1~2 m 后再

表 3 大通站月径流量和月输沙量
Tab. 3 Monthly runoff and sediment load of the Changjiang Estuary as measured at Datong

时间	径流量($\times 10^8 \text{ m}^3$)	输沙量($\times 10^4 \text{ t}$)
2003 年 2 月	420	470
2004 年 9 月	990	3650
2011 年 12 月	370	260
2012 年 6 月	1240	1780

表 4 南汇边滩主要促淤围垦工程情况^[21]
Tab. 4 The land reclamation projections in the Nanhui foreland^[21]

时间	工程	围垦面积(km^2)
1994~1999 年	人工半岛(一期)	8.67
1995~2000 年	浦东国际机场	18
2006~2020 年	浦东机场外侧	13.3(圈围)
1999~2000 年	南汇东滩(一期)	40
2000~2001 年	南汇东滩(二期)	33.7
2000~2001 年	人工半岛(二期)	33.3
2000~2002 年	临港新城	4.67

行圈围构筑大堤, 由于促淤工程截留了大量长江下泄过境入海的泥沙, 使本来已趋降低的长江入海输沙量又进一步造成减少^[5]。由于促淤工程拦截泥沙的作用, 使得进入杭州湾的泥沙量再次减少, 进而南汇南滩水域含沙量也有所减少。

4.2 近岸沙体变迁的影响

近十几年来, 在流域工程及近岸工程和促淤围垦工程等人类驱动力的作用下, 南汇边滩近岸的沙体发生了显著的变化。2001~2013年南汇东滩0, -2, -5 m 等深线整体呈向外海推移的趋势, 沙体逐渐与陆地相连。以0 m 等深线中没冒沙的变化为例, 与2001年相比2006年沙体下移1~3 km, 2009年沙体与陆地相连, 与2009年相比2013年沙体下移10 km左右(图4), 其面积不断逐年淤大。从0, -2 m, -5 m 等深线(图4)的变化都可以看出南汇东滩近年来不断呈淤涨之势。尽管南汇南滩0, -2, -5 m 等深线之间的距离并不大, 但仍可以看出0, -2, -5 m 等深线整体呈向内陆退缩之势(图4)。由此可以判断, 近年来南汇东滩呈现淤涨的趋势, 而南汇南滩却呈现出冲刷的趋势。近岸沙体向陆内移, 使得南汇南滩水域岸坡冲刷、坡度增大^[22], 表明南滩附近水域涨潮流作用增强, 并且水体含沙量有减少的趋势, 这与上述南汇南滩枯季大潮涨潮优势增加, 潮周期内洪、枯季大潮含沙量减少的趋势是相一致的。另外, 南汇东滩0, -2, -5 m 等深线逐年向外扩展将使大量泥沙在此落淤, 进而随径流作用进入南汇南滩附近水域的泥沙有所减少, 从而使南汇南滩水域水体含沙量减少。

4.3 流域来沙量减少作用

长江来水量丰富, 输沙量较大, 大量径流和泥沙在河口扩散入海后, 部分泥沙堆积在长江口门附近, 其中一部分泥沙经反复搬运继续向外扩散, 另

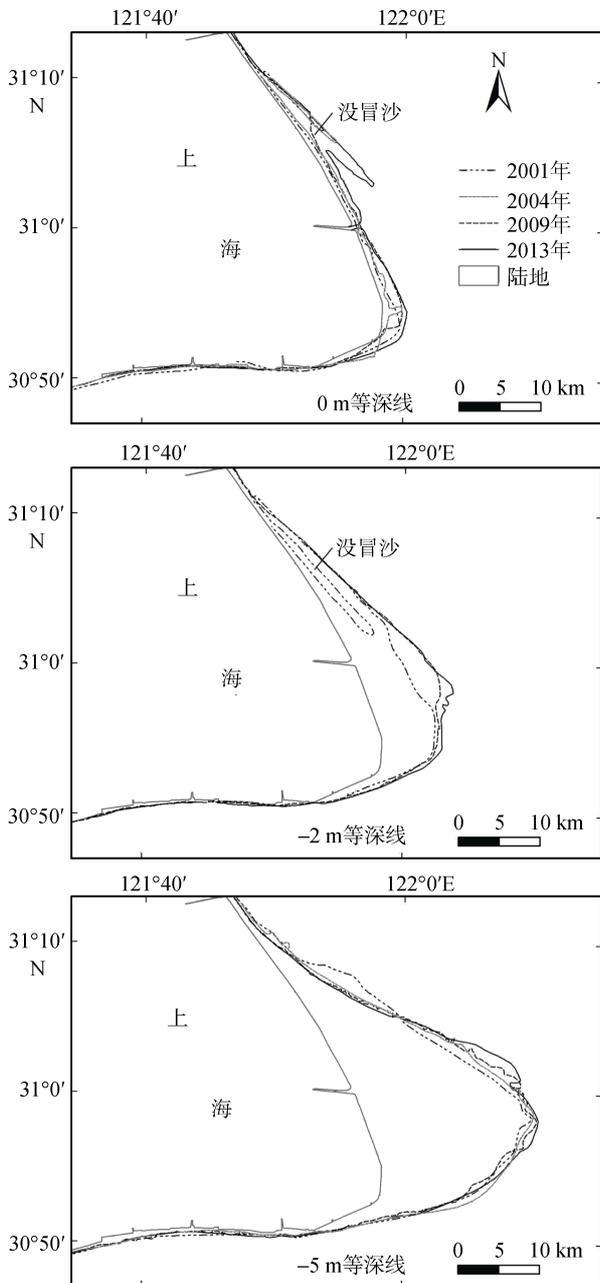


图4 2001年至2013年长江口南汇边滩0, -2, -5 m等深线变化图

Fig. 4 The changes of 0, -2 and -5 m depth contours in the Nanhui foreland during 2001~2013

一部分则在水流作用下向南运移进入杭州湾^[23]。据大通站输沙观测资料统计,近年来长江来沙量逐渐呈减少趋势,尤其是2003年三峡大坝蓄水以来,输沙量减少严重,2003、2004年年输沙量分别为 2.06×10^8 t、 1.17×10^8 t,2011年年输沙量仅为 0.718×10^8 t,不足1亿t(图5)。长江口输沙量减少,进入南汇南滩的泥沙量也势必减少,泥沙量的减少将使该水域含沙量发生变化。

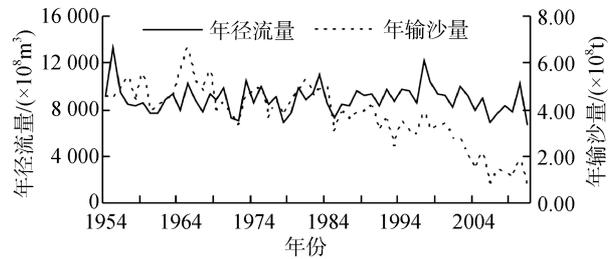


图5 历年长江口大通站径流量及输沙量

Fig. 5 Annual runoff and sediment load of the Changjiang Estuary as measured at Datong during 1954~2011

2004年9月洪季大通站来沙量约是2012年6月的2倍,径流量二者相近(表3),2004年9月潮周期内含沙量约比2012年6月高 0.500 kg/m^3 ;2003年2月枯季大通站来沙量比2011年12月多近1倍为 2.1×10^6 t(表3),而2011年12月涨、落潮垂线平均含沙量均比2003年2月减少近50%(表2),说明近年来长江口来沙量减少对南汇南滩水域含沙量的减少有一定影响。

5 结语

1) 目前,南汇南滩水域洪季大潮优势流约为0.53,说明落潮流占主导优势;枯季大潮优势流为0.37,说明涨潮流占主导优势。

2) 长江河口及杭州湾水沙分布特征具有明显的季节性变化,南汇南滩水域垂线平均含沙量洪季大于枯季。在一个潮周期内,含沙量大小与流速大小呈现一定的相关关系,并且含沙量与流速存在一定的滞后性,滞后时间为1~2 h。

3) 东海大桥及其周边促淤围垦工程建设后,南汇南滩水域洪季大潮涨、落潮流速增大,落潮优势增强,涨潮垂线平均含沙量减少,落潮垂线平均含沙量增多;枯季大潮涨、落潮流速减小,落潮优势减弱,涨、落潮垂线平均含沙量减少。

4) 近岸工程建设是南汇南滩水域洪季落潮优势增强,枯季落潮优势减弱的主要原因;近年来南汇南滩水域含沙量减少,主要受近岸工程建设、近岸沙体变迁、长江流域来沙量减少等因素的影响。

致谢: 本文在前期资料收集过程中得到了张二凤老师、袁庆老师、王冬梅博士、杨忠勇博士、宋泽坤硕士、周莹硕士及郭兴杰硕士的大力帮助,谨致谢忱!

参考文献:

[1] 李九发,戴志军,刘新成,等. 长江河口南汇嘴潮滩

- 圈围工程前后水沙运动和冲淤演变研究[J]. 泥沙研究, 2010, 3: 31-37.
- [2] 李身铎, 胡辉. 杭州湾流场的研究[J]. 海洋与湖沼, 1987, 18(1): 18-38.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报 2011 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [4] 陈吉余, 陈沈良, 丁平兴, 等. 长江口南汇咀近岸水域泥沙输移途径[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(2): 166-172.
- [5] 虞志英, 楼飞. 长江口南汇边滩近岸海床近期演变分析——兼论长江流域来沙量变化的影响[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 47-53.
- [6] 付桂, 李九发, 应铭, 等. 长江河口南汇边滩潮滩近期演变分析[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 105-112.
- [7] 章渭林. 杭州湾潮波特性及影响因素的讨论[J]. 海洋通报, 1989, 8(1): 1-10.
- [8] 章渭林. 杭州湾潮波性质对潮流速度与潮差的相关性影响[J]. 水利水运科学研究, 1991, 1: 75-84.
- [9] 胡方西. 杭州湾风暴潮特征及有关潮位设计标准的探讨[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 1980, 2: 93-101.
- [10] 刘玮玮. 东海大桥沿线及邻近海域海床冲淤分析[D]. 上海: 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 2007.
- [11] Simmons H B. Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics[C]. ASCE. Proceedings ASCE Vol. 81, Separate Paper No. 792. Reston, VA: ASCE Press, 1955: 792-812.
- [12] 沈焕庭, 朱慧芳, 茅志昌. 长江河口环流及其对悬沙输移的影响[J]. 海洋与湖沼, 1986, 17(1): 26-35.
- [13] 杨云平, 李义天, 王冬, 等. 长江口滞流点研究进展[J]. 泥沙研究, 2011, 6: 1-6.
- [14] 李九发, 何青, 张琛. 长江河口拦门沙河床淤积和泥沙再悬浮过程[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(1): 101-109.
- [15] 沈焕庭, 潘定安. 长江河口最大浑浊带[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 39-61, 91-116.
- [16] 潘定安, 孙介民. 长江口拦门沙地区的泥沙运动规律[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(3): 279-286.
- [17] 陈珺, 嵇敏, 张洪记, 等. 甬江洪枯季水沙特性分析[J]. 水利水运工程学报, 2012, 5: 48-54.
- [18] 黄广, 陈沈良, 张国安. 南汇边滩水沙运动特性及其围涂工程影响[J]. 人民长江, 2007, 38(1): 60-63.
- [19] 陈道信, 陈木永, 张弛. 围垦工程对温州近海及河口水动力的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2009, 37(4): 457-462.
- [20] 倪勇强, 林浩. 河口区治江围涂对杭州湾水动力及海床影响分析[J]. 海洋工程, 2003, 21(3): 73-77.
- [21] 王冬梅, 程和琴, 张先林, 等. 新世纪上海地区相对海平面变化影响因素及预测方法[J]. 上海国土资源, 2011, 32(3): 35-40.
- [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, 68(7): 945-954.
- [23] 曹沛奎, 谷国传, 董永发, 等. 杭州湾泥沙运移的基本特征[J]. 华东师范大学(自然科学版), 1985, 3: 75-84.

Recent variations in tidal current and suspended sediment concentration in the Nanhui south Shoal of the Changjiang Estuary

LIU Gao-wei^{1, 2}, CHENG He-qin¹, LI Jiu-fa¹, JI Na¹, HU Hao¹, QIAO Yuan-ying¹

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Shanghai Estuarine & Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Received: Dec., 16, 2013

Key words: the Nanhui south Shoal; changes in tidal current and suspended sediment concentration; nearshore projects; characteristics analysis; the Changjiang Estuary

Abstract: According to the hydrological data observed at the Nanhui south Shoal of the Changjiang Estuary during the dry season in December, 2011 and flood season in June, 2012, and using the method of tidal range's proportion conversion to assimilate the measured field data of current velocities in 2003 and 2004, this paper analyzed the variations in average fluctuation-tide duration, current velocity, preferential flow and suspended sediment concentration (SSC). The influence of typical engineering projects at the Changjiang Estuary such as the East China Sea Bridge and land reclamation on the ebb and flood tidal current and SSC in the Nanhui south Shoal for the last 10 years was discussed. The results showed that (1) around the Nanhui south Shoal the ebb tide dominated during flood season and the flood tide dominated during dry season at spring tide at the present time, which are mainly contributed to intensifying ebb tidal current with decreasing depth-averaged flood SSC during flood season while decreasing ebb tidal current and depth-averaged ebb SSC during dry season after the construction of the typical projects; (2) the controlling parameters of the intensive ebb tidal current in flood season and attenuated ebb tidal current in dry season are those large-scale engineering projects around the Nanhui south Shoal; variations of the depth-averaged flood and ebb SSC may be related to the reduction of basin annual sediment load, large-scale nearshore projects, and sand ridge migration. These results provide a theoretical basis for the estuarine river channel management.

(本文编辑: 刘珊珊)