

沈淇, 高钦钦, 顾峰峰, 等. 长江口深水航道三期工程后北槽洪枯季水沙运动特征研究[J]. 海洋学报, 2013, 36(7): 118—124, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.07.013

Shen Qi, Gao Qinqin, Gu Fengfeng, et al. Analysis of the sediment motion at north passage in flood and dry season after 3rd phase engineering of the deep waterways in Changjiang Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2014, 36(7): 118—124, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.07.013

长江口深水航道三期工程后北槽洪枯季水沙运动特征研究

沈淇¹, 高钦钦², 顾峰峰¹, 戚定满¹

(1. 上海河口海岸科学研究中心 交通部河口海岸重点实验室, 上海 201201; 2. 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200062)

摘要: 利用长江口深水航道三期整治工程前后, 北槽洪枯季各测点水沙资料初步探讨了北槽洪枯季水沙运动特征。研究结果表明, 北槽洪枯季潮周期平均含沙量分布自上而下总体呈“低-高-低”的分布态势, 中段含沙量较高。洪季北槽各测点潮周期平均含沙量与潮周期平均流速相关性较差, 北槽泥沙输运以平流输移为主。枯季两者相关较好, 北槽泥沙运动则以起悬输运为主。北槽悬沙输运主要以欧拉输运为主, 洪季北槽悬沙净输运率要明显大于枯季。洪季北槽中段潮泵及垂向环流作用最为明显, 枯季, 除北槽上段外, 潮泵及垂向环流作用较小, 水沙输运方向较为相近。造成洪季北槽中段潮泵作用及垂向环流输沙较大的原因是由于北槽中段滩槽泥沙交换频繁, 涨潮流经南槽拦门沙及九段沙滩面后, 挟带一定高含沙水体进入北槽, 进而造成北槽中段潮泵及垂向环流输沙明显。

关键词: 泥沙输运; 含沙量; 北槽; 机制分析

中图分类号: P333.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2014)07-0118-07

1 前言

长江口深水航道工程位于长江口北槽, 是长江口主要的通航要道。深水航道整治工程的实施, 顺利打通了北槽 12.5 m 航道, 为上海及周边产业发展做出了巨大贡献。

长江口深水航道工程始于 1998 年, 计划分三期完成, 依次实现通航水深 8.5 m、10.0 m 和 12.5 m 的建设目标^[1], 至 2010 年 3 月长江口航道 12.5 m 全线贯通。但从二期航道水深维护开始, 航道回淤量急速上升, 回淤沿航道呈不均匀分布, 其对航道 12.5 m 水

深维护造成了较大的影响。研究三期工程实施前后, 北槽水沙变化特征及输运特性具有非常重要的实践意义。

以往, 不少学者针对长江口深水航道各期整治工程实施前后, 北槽水沙变化及河势响应进行分析研究。例如, 刘杰等针对长江口深水航道一期工程实施后, 北槽拦门沙变化、河势变化进行分析研究^[2-3]。杜景龙等从河势变化角度, 探讨了深水航道工程实施后, 其对九段沙及周边主槽冲淤的影响^[4-5]。王兆华等分析了深水航道一、二期工程建设以来, 北槽河段冲淤演变过程^[6]。而针对整治工程实施前后, 北槽水

收稿日期: 2013-05-10; 修订日期: 2013-10-11。

基金项目: 上海市自然科学基金(11ZR1415800); 国家自然科学基金(41206072)。

作者简介: 沈淇(1985—), 男, 江苏省南京市人, 主要从事河口海岸水动力学、泥沙数值模拟研究。E-mail: shenqimath@hotmail.com

沙变化研究方面,张国安等^[7]利用长江口徐六泾、横沙和余山 3 站 3 年逐日表层含沙量、盐度和气象观测资料,以及北槽河段沿线含沙量洪、枯季准同步资料,分析了长江口深水航道一期工程实施后北槽水沙变化特征。鉴于深水航道三期工程实施后,北槽水沙环境变化较大,目前对三期工程以来北槽水沙变化特征的相关研究成果较少。因此,本文针对深水航道三期工程实施后,北槽水沙特征进行分析研究,望在这方面进行必要的补充。

2 现场观测资料

本文研究采用北槽定点水沙观测资料,洪季资料取 2009 年 8 月、2010 年 8 月以及 2011 年 8 月资料,枯季资料取 2009 年 2 月及 2010 年 2 月资料,测点位置见图 1,其流速流向资料取自 ADCP 定点测流数据,含沙量数据为现场“六点法”泥沙采样数据,观测

期间主要对北槽各固定测点流速流向、含沙量进行观测收集。各站点实测数据同步性良好,基本保持在同一时间内开始观测,观测持续时间约在 27~30 h 之间,满足潮周期封闭条件。观测期间大通流量(7 d 前)、风速风向、潮差等信息见表 1,其中潮差资料为各年潮汐表北槽中潮位站统计数据,文中潮周期统计数据为各观测数据起始后 25 h 内平均数据。

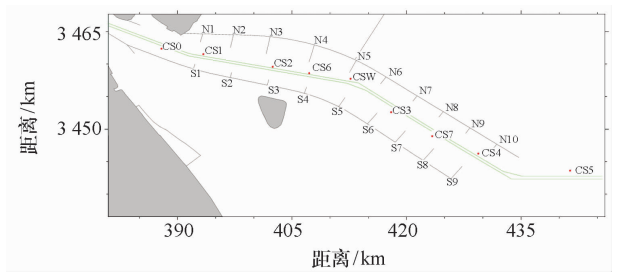


图 1 北槽固定测点位置分布图

Fig.1 The location of the observation site at the north passage of Changjiang Estuary

表 1 观测资料基本信息表

Tab.1 The basic information of the observation data

时间	起始时间	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	风向	径流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	潮差/m	潮型
2009 年 8 月	2009-08-20 05:00	0.0~6.1	南风	43 600	3.79	大潮
2010 年 8 月	2010-08-12 07:00	0.5~6.8	南风和东南风	60 400	2.42	大潮
2011 年 8 月	2011-08-14 07:00	1.8~9.4	西南风	28 500	3.47	大潮
2009 年 2 月	2009-02-9 17:00	0.0~8.5	西风和西南风	11 150	3.57	大潮
2010 年 2 月	2010-01-31 18:00	2.5~11.5	北风和东北风	12 100	3.96	大潮

3 北槽含沙量分布及其变化规律

3.1 北槽含沙量纵向分布

利用 2009—2011 年期间洪枯季大潮固定测点观测资料,分析在一个潮周期平均下,北槽纵向含沙量分布情况。表 2 为各测点潮周期垂向平均含沙量及流速统计表。

北槽含沙量自上而下呈“低-高-低”的分布形态,在北槽上段(CS0~CS2),含沙量普遍较低,除 2010 年 2 月枯季高含沙水体上溯较为明显外,北槽上段潮周期垂向平均含沙量普遍约在 $0.36 \sim 1.72 \text{ kg/m}^3$ 之间。对于 2010 年 2 月高含沙水体上溯较为明显,其可能的原因是该观测期间,北槽风速较大,且以北风及东北风为主,已有的研究表明^[8],东北风向有助于长江口水体向上游输送,进而增强了北槽高含沙水体上溯能力。

对于北槽中段(CS2~CS7),该河段潮周期平均含沙量较高,考虑到各年径流、风浪及潮汐的影响不同,测点最大含沙量位置每年均略有不同,该河段洪季最大含沙量约在 $1.96 \sim 2.25 \text{ kg/m}^3$,枯季最大含沙量约在 $1.26 \sim 1.52 \text{ kg/m}^3$ 之间。

而对于北槽下段(CS7~CS5),尤其在 CS4 及 CS5 测点处,洪枯季含沙量均较低,说明北槽洪枯季外来含沙水体含沙量较低,不是直接造成北槽中段高含沙主要的泥沙来源,其平均含沙量约在 $0.24 \sim 1.11 \text{ kg/m}^3$ 之间。

同时,通过统计洪枯季潮周期平均含沙量及潮周期平均流速相关系数(见表 2)可以看出,洪季两者相关性较差,相关系数约在 $0.56 \sim 0.63$ 之间,枯季相关性较高,相关系数约在 $0.75 \sim 0.82$ 左右。一般认为,泥沙局地再悬浮量与该处水动力条件有关,若在某潮汐过程中,当地含沙量与水体流速有较强相关性,说

明该地含沙量主要是由于流速增加,底部泥沙冲刷起悬造成,反之,则说明该处泥沙以平流输移为主。吉晓强等^[9]利用该方法,分析了崇明东滩 4 个观测点水沙相关系数,证实了对于浅滩区域,存在潮流引起泥沙悬浮的现象,其相关系数约在 0.8~0.9 之间。

由此,我们可以认为,洪季,北槽泥沙变化与局地水动力强弱相关性较差,其含沙量变化主要是以潮流输移为主,而枯季,两者相关性较好,北槽泥沙主要以泥沙起悬输运为主,这与北槽“洪淤枯冲”^[3]的河势变化特征相一致。

表 2 固定测点潮周期水沙特征统计

Tab. 2 The statistics of the current velocity and sediment concentration averaged in a tidal cycle at each observation site

站点 位置	潮周期垂向平均含沙量/kg·m ⁻³					潮周期垂向平均流速/m·s ⁻¹				
	洪季—大潮			枯季—大潮		洪季—大潮			枯季—大潮	
	2009-08	2010-08	2011-08	2009-02	2010-02	2009-08	2010-08	2011-08	2009-02	2010-02
CS0	0.36	0.45	0.42	0.66	0.72	0.98	1.05	0.94	0.91	0.93
CS1	0.54	0.71	0.76	0.96	1.07	0.90	1.05	1.01	1.04	1.03
CS2	0.88	0.61	1.72	1.04	1.22	1.16	1.16	1.07	1.16	1.10
CS6	1.07	1.17	1.73	1.09	1.15	1.28	1.37	1.29	1.18	1.27
CSW	1.06	1.96	2.25	0.76	1.26	1.14	1.41	1.20	1.14	1.14
CS3	2.18	1.76	1.39	1.52	1.14	1.16	1.12	1.13	1.18	1.10
CS7	1.32	1.52	1.04	1.14	—	1.36	1.46	1.35	1.25	1.15
CS4	0.57	1.11	0.47	0.50	—	1.04	1.15	1.10	0.98	0.85
CS5	0.27	0.32	0.24	0.35	—	1.01	1.15	1.00	0.84	—
相关系数	0.63	0.63	0.56	0.82	0.75					

3.2 北槽含沙量潮周期变化过程

为了了解北槽含沙水体在单个潮周期内,洪枯季水沙变化过程,本文分别以 2009 年 2 月及 2009 年 8 月北槽水沙实测资料来分析其洪枯季潮周期水沙变化过程。图 2 为北槽上、中、下段(分别对应测点 CS0、CSW、CS5)水沙潮周期过程变化图。

从图中可以看出,对于北槽上段(CS0),洪枯季涨潮含沙量均要大于落潮含沙量,其中枯季北槽上段平均含沙量要大于洪季,导致该现象的原因可能是由于枯季上游径流量小,南槽涨潮高含沙量水体在涨潮过程中流入北槽上段,进而增加北槽上段的含沙量值。

对于北槽中段(以 CS7 为例),洪枯季潮周期过程中含沙量变化过程差异较大,枯季落潮含沙量要略大于涨潮含沙量,而洪季则相反。造成北槽中段洪枯季差异的原因可能是,根据 3.1 所述,枯季水沙相关性较好,北槽泥沙运动可能以泥沙起悬为主,而中段北槽落潮平均流速略大于涨潮(落潮平均流速 1.35 m/s,涨潮平均流速 1.23 m/s),落潮挟沙能力略强,进而造成落潮含沙量略大于涨潮含沙量。而在洪季,由于北槽水沙运动以平流输移为主,其含沙量变化

受周边滩槽水沙交换影响较大,洪季高水位条件下,南槽高浊度泥沙经由九段沙滩面(九段沙部分沙体起悬)进入北槽,进而使得洪季北槽涨潮含沙量要明显大于落潮。

对于北槽下段(CS5),洪枯季含沙量均较小,普遍在 0~1.0 kg/m³ 之间,其含沙量变化特点表现为枯季落潮含沙量大于涨潮含沙量,洪季则是涨潮含沙量大于枯季,但涨落潮含沙量总体差异不大。

4 北槽悬沙净输分析

通过对泥沙输运机制分解方法,可以定量研究各项动力因子对输运量的贡献,该方法多次应用于长江口及洋山港水沙输运的研究^[11-18]。根据机制分解方法,悬沙潮周期内平均单宽输运的表达式为:

$$Y = \frac{1}{T} \int_0^T H u c \, d\sigma dt = \langle H \overline{u c} \rangle = \langle H \rangle \langle \overline{u} \rangle \langle \overline{c} \rangle + \langle H_i u_i \rangle \langle \overline{c} \rangle + \langle H_i c_i \rangle \langle \overline{u} \rangle + \langle H_i u_i c_i \rangle + \langle H \rangle \langle u_i c_i \rangle + \langle H \rangle \langle \overline{u' c'} \rangle + \langle H_i \overline{u' c'} \rangle = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7, \quad (1)$$

式中, H 为水深, u 为流速, c 为含沙量,对于任意物

理量 F , 记 $\bar{F}$ 表示垂向平均值, $F' = F - \bar{F}$ 为潮振荡项, $\langle F \rangle$ 表示时间平均值, $F_t = \bar{F} - \langle \bar{F} \rangle$ 为潮时间振荡项, Y_1 为欧拉余流输运项, Y_2 为斯托克斯余流输运项, $Y_1 + Y_2$ 为平流输运项, 它表达的水体净输移的输沙效应, 其输运方向与水体输运方向一致, Y_5 为潮

汐捕集输沙项, Y_3 、 Y_4 、 Y_5 都含有 c 因子, 均与水体与底部的泥沙双向交换有关, $Y_3 + Y_4 + Y_5$ 共同组成“潮泵效应”输移项, $Y_6 + Y_7$ 组成垂向环流输移项, 反映了垂向环流对输沙的贡献。

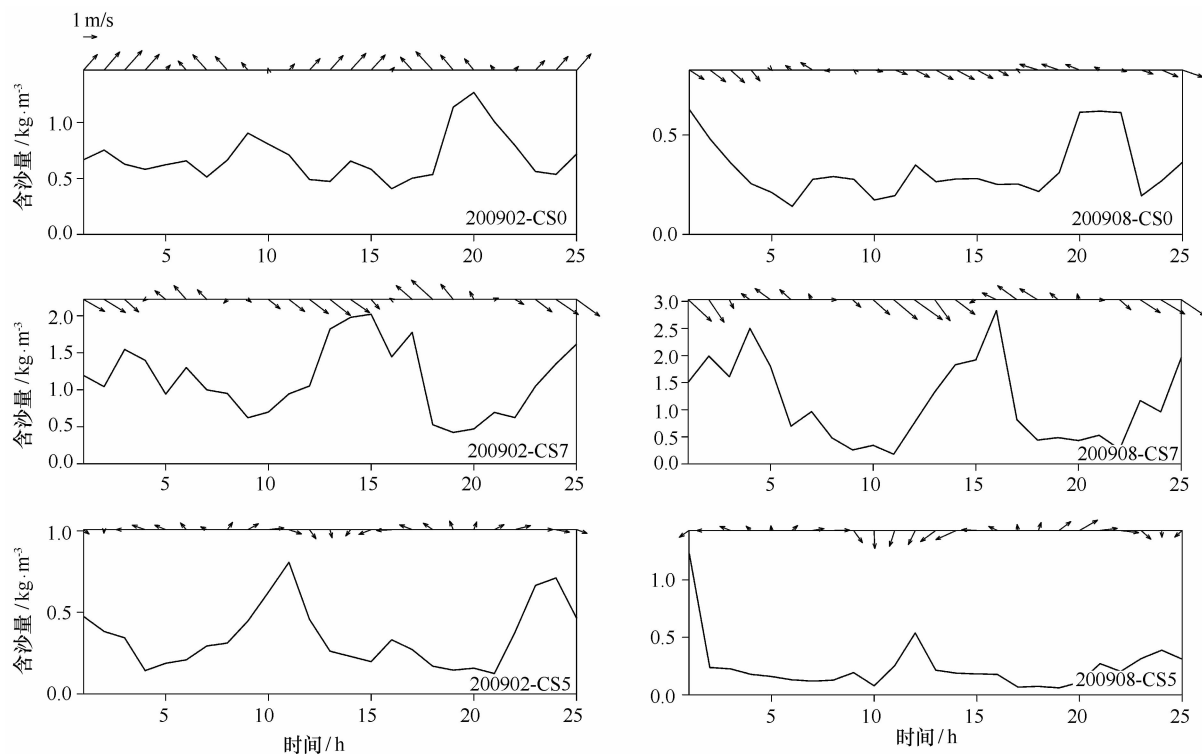


图2 洪枯季北槽固定测点水沙潮周期变化图

Fig. 2 The variations of the flow and sediment at the north passage of Changjiang Estuary during a tidal cycle

运用公式(1)对2010年北槽洪枯季潮周期内悬沙平均单宽输运率进行计算(见表3),洪、枯季北槽潮周期单宽悬沙输运矢量见图3、图4。利用潮周期内悬沙输运量,可以大致掌握在单个潮周期内,北槽各区域悬沙活动性强弱及输运方向。从计算结果可以看出:

(1)北槽悬沙输运主要以欧拉输运为主(见表3),斯托克斯输运为辅,其中受径流作用的影响,洪季悬沙欧拉输运要明显大于枯季。洪季条件下,北槽悬沙净输运较大区域(悬沙活动性较强区域)多集中在CS6~CS7区段,该区段在大潮潮周期平均内,悬沙输运率约在 $4.48 \sim 9.57 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$,而在其上下游区域,悬沙输运率约在 $0.93 \sim 2.76 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$,因而在北槽中段区域,洪季大潮期间悬沙输运率约是上下口悬沙输运率的2~10倍。而在枯季条件下,由于径流量较小,悬沙输运率较大区域略向上移,多集中在CS2~CS3区域。其悬沙净输运率约在 $2.92 \sim 5.10$

$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$,约是上下口悬沙输运率的2倍左右。

(2)从悬沙输运方向(净输运)与水体输运方向(平流输运)差异来看,洪枯季水沙输运特征存在明显差异。河口潮泵现象及垂向环流输沙作用是造成北槽水沙输运方向不一致的基本原因。在特定条件下,北槽存在水体向海输运而沙体向陆输移的现象(2010年2月CS1测点)。枯季条件下(见图3),除北槽上段(CS0~CS1)区域潮泵及垂向环流作用较为明显外,其余河段两者作用均较小,水沙输运方向基本一致。枯季北槽上段悬沙输运存在泥沙富集现象,易造成该区段泥沙的淤积。而在洪季条件下(见图4),北槽上段潮泵及垂向环流作用均较小,水沙输运方向较为一致。对于北槽中下段,其潮泵及垂向环流作用则明显增加,在CSW测点潮泵及垂向环流作用最大,使得该点水沙输运方向差异较为明显。由此可见,洪季,北槽潮泵及垂向环流较大区域多集中在北槽中段

区域,而枯季,由于径流较小,南槽存在一定水沙倒灌

现象,在北槽上段潮泵及垂向环流作用较大。

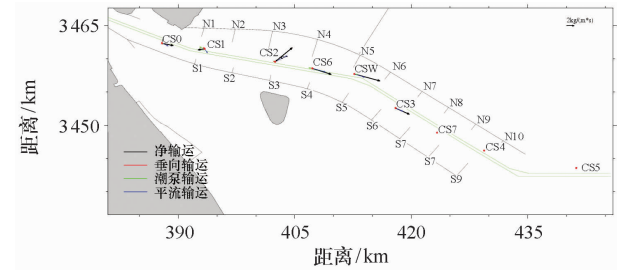


图 3 2010 年 2 月枯季北槽潮周期单宽悬沙输运矢量图
Fig. 3 The residual sediment transport in the dry season of February 2010

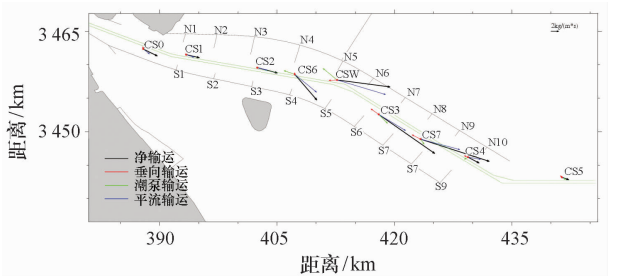


图 4 2010 年 8 月洪季北槽潮周期单宽悬沙输运矢量图
Fig. 4 The residual sediment transport in the wet season of August 2010

表 3 单宽悬沙输运因子统计表 (单位: kg/(m · s))												
Tab. 3 The decomposed components of residual sediment transport												
测点	2010 年 8 月						2010 年 2 月					
	欧拉	斯托克斯	平流	潮泵项	垂向项	净输沙	欧拉	斯托克斯	平流	潮泵项	垂向项	净输沙
CS0	2.57	0.48	2.11	0.38	0.62	2.06	2.19	0.39	1.80	0.07	0.41	1.50
CS1	2.65	0.44	2.21	0.16	0.33	1.77	2.37	1.13	1.35	1.44	0.55	0.88
CS2	3.53	0.79	2.74	0.23	0.22	2.76	4.71	1.31	3.58	0.49	0.46	2.94
CS3	10.39	2.18	8.30	3.31	2.51	9.02	2.92	0.82	2.14	0.16	0.26	2.00
CS4	4.25	1.03	3.39	1.07	1.03	1.66	—	—	—	—	—	—
CS5	0.64	0.25	0.42	1.10	0.61	0.93	—	—	—	—	—	—
CS6	9.47	2.04	7.49	2.98	0.40	4.48	5.10	1.47	3.63	0.92	0.07	2.65
CS7	13.14	2.60	10.75	1.63	2.51	9.57	—	—	—	—	—	—
CSW	15.86	2.58	13.40	4.77	2.14	7.07	4.70	1.82	2.89	0.89	0.22	3.55

(3) 针对北槽水沙输运分离现象,以洪季北槽 CS2 点(潮泵、垂向环流输沙均很小)及 CSW(潮泵、垂向环流输沙均较大)两测点潮周期过程中垂向含沙量分布特点初步探究北槽不同区段潮泵及垂向输运差异的原因(图 5)。从两测点涨落急、涨落憩垂向含沙量剖面看,在潮泵及垂向环流作用较大区域(CSW),其涨落急含沙量垂向分布差异明显,涨急含沙量垂向分布更偏向 L 型分布且垂向平均含沙量要明显大于落急,在单个潮周期过程中由于涨急时刻含沙量较高,含沙量垂向差异较大,进而造成该区域潮泵作用及垂向环流作用明显。而对于 CS2 测点,仅在涨憩时段,含沙量垂向差异较大,但由于此时流速较小且涨落急时刻垂向含沙量分布较为接近,故在 CS2 测点区域,潮泵及垂向环流输沙作用较小。可见,造成北槽潮泵及垂向环流输沙作用明显是由于涨落急期间北

槽垂向平均含沙量及含沙量垂向分布差异较大而造成的。其中,洪季北槽中段潮泵及垂向环流输沙现象明显,是由于洪季涨潮期间北槽中段滩槽泥沙交换明显,涨潮流经拦门沙滩面泥沙起悬,挟带一定高含沙水体进入北槽,进而使得中段潮泵作用明显。

5 结论

(1) 北槽洪枯季含沙量分布除枯季上段含沙量较高外,自上而下总体呈“低-高-低”的分布态势,其中以洪季含沙量分布最为明显。通过北槽沿程各测点潮周期平均含沙量与潮周期平均流速相关性分析表明,洪季两者相关性较差,北槽泥沙输运以平流输移为主。枯季两者相关较好,达 0.82 左右,北槽泥沙运动则以起悬输运为主,其洪枯季相关性与北槽“洪淤枯冲”的河势变化特点相似。

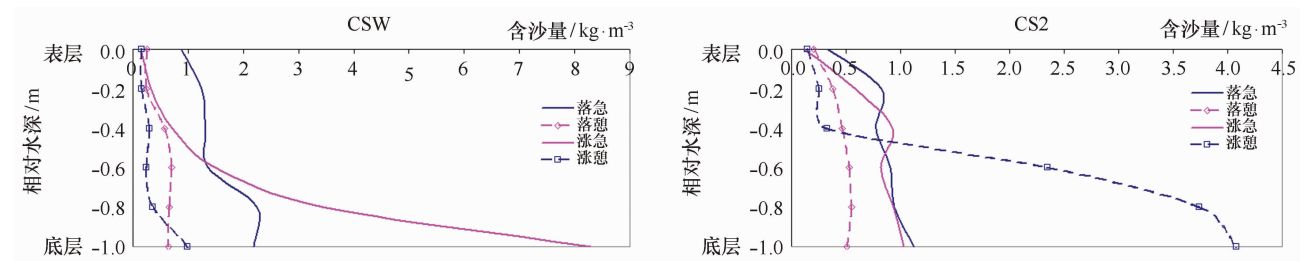


图5 2010年8月洪季北槽测点含沙量垂向分布

Fig. 5 The vertical distribution of sediment concentration at the station CSW and CS2 in the north passage of Changjiang Estuary

(2)从涨落潮平均含沙量变化过程看,北槽上段洪枯季涨潮平均含沙量均要大于落潮平均含沙量,其中,枯季由于受到南槽高含沙水体上溯的影响,其潮周期平均含沙量较大。北槽中段,由于枯季北槽泥沙以起悬输运为主,中段落潮平均流速略大于涨潮,因而枯季北槽中段落潮平均含沙量大于涨潮平均。而洪季北槽泥沙以平流输运为主,滩槽泥沙交换明显,在洪季高水位条件下,南槽高浊度泥沙经由九段沙滩面(九段沙部分沙体起悬)进入北槽,进而使得洪季北槽涨潮含沙量要明显大于落潮。对于北槽下段,洪枯季含沙量均较小,普遍在 $0\sim 1.0\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间。

(3)利用机制分解方法,分析了北槽各区段悬沙潮周期平均单宽输运量,结果表明,北槽悬沙输运主要以欧拉输运为主,斯托克斯输运为辅,洪季大径流条件下,北槽悬沙净输运量要明显大于枯季。洪枯季悬沙输运量较大区域多集中在北槽中段区域,洪季北槽悬沙输运率约在 $4.48\sim 9.57\text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$,其是上下口悬沙输运的 $2\sim 5$ 倍,枯季悬沙净输运率约在 $2.92\sim 5.10\text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$,约是上下口悬沙输运率的2倍

左右。

(4)河口潮泵现象及垂向环流输沙作用是造成北槽水沙输运方向不一致的基本原因。洪季,北槽中段潮泵及垂向环流作用最为明显,使得水沙输运方向存在一定夹角。枯季,除北槽上段外,潮泵及垂向环流作用较小,水沙输运方向较为相近。造成洪季北槽中段潮泵作用及垂向环流输沙较为明显的原因是由于北槽中段滩槽泥沙交换明显,涨潮流经拦门沙滩面泥沙起悬,挟带一定高含沙水体进入北槽,涨急含沙量垂向分布更偏向L型分布且垂向平均含沙量要明显大于落急,在单个潮周期过程中由于涨急时刻含沙量较高,含沙量垂向差异较大,进而造成该区域潮泵作用及垂向环流作用明显。

本文利用深水航道三期整治工程前后,北槽各测点水沙资料初步探讨了北槽含沙量分布特征及悬沙输运特点。考虑到实测资料有限,本文仅初步讨论了造成北槽含沙量分布及悬沙输运特征的原因,弄清北槽泥沙分布及运动特征需要后期进行更为深入研究。

参考文献:

- [1] 交通部长江口航道管理局. 长江口深水航道治理工程成套技术(总报告)[R]. 2006.
- [2] 刘杰,乐嘉海,胡志峰,等. 长江口深水航道治理一期工程实施对北槽拦门沙的影响[J]. 海洋工程, 2003, 21(2): 58—64.
- [3] 刘杰,陈吉余,乐嘉海,等. 长江口深水航道治理一期工程实施后北槽冲淤分析[J]. 泥沙研究, 2004, (5): 15—22.
- [4] 杜景龙,杨世伦,张文祥,等. 长江口北槽深水航道工程对九段沙滩淤积影响研究[J]. 海洋工程, 2005, 23(3): 79—83.
- [5] 杜景龙,杨世伦. 长江口北槽深水航道工程对周主槽淤积影响研究[J]. 地理科学, 2007, 27(03): 390—394.
- [6] 王兆华,杜景龙. 长江口深水航道一、二期工程建设以来北槽河段的冲淤演变[J]. 海洋通报, 2006, 25(06): 55—62.
- [7] 张国安,虞志英,何青,等. 长江口深水航道治理一期工程前后泥沙运动特性初步分析[J]. 泥沙研究, 2003, (06): 31—38.
- [8] Li Lu, Zhu Jianrong, Wu Hui. Impacts of wind stress on saltwater intrusion in the Yangtze Estuary[J]. Science China(Earth Sciences), 2012, 55(07): 1178—1192.
- [9] 吉晓强,何青,刘红,等. 崇明东滩水文泥沙过程分析[J]. 泥沙研究, 2010, (01): 46—57.
- [10] 王康璋,苏纪兰. 长江口南港环流及悬移物质输运的计算方法[J]. 海洋学报, 1987, 9(5): 627—637.
- [11] 石伟荣,李九发. 长江河口南北槽输沙机制及浑浊带发育分析[J]. 海洋通报, 1993, 12(4): 69—76.
- [12] 沈健,沈焕庭,潘定安,等. 长江河口最大浑浊带水沙输运机制分析[J]. 地理学报, 1995, 50(5): 411—420.
- [13] 沈焕庭,等. 长江河口物质通量[M]. 北京: 海洋出版社, 2001.
- [14] 吴家学,沈焕庭,吴华林. 潮汐河口悬沙通量组分模式及其在长江口的应用[J]. 海洋学报, 2002, 24(6): 49—58.

- [15] 刘高峰,朱建荣,沈焕庭. 河口涨落潮槽水沙输运机制研究[J]. 泥沙研究,2005,(5):51—57.
- [16] 英晓明,丁平兴. 洋山港海域水体和悬沙输运机制研究[J]. 海洋通报,2011,30(2): 135—141.
- [17] 朱首贤,丁平兴,沙文钰,等. 河口物质和水体长期输运分离的理论分析和观测验证:I. 物质和水体长期输运分离的理论分析[J]. 海洋学报,2008, 30(6):24—29.
- [18] 沈淇,顾峰峰,戚定满,等. 洋山港及邻近海域悬沙输运特征研究[J]. 水运工程,2012,(6):21—27.

Analysis of the sediment motion at north passage in flood and dry season after 3rd phase engineering of the deep waterways in Changjiang Estuary

Shen Qi¹, Gao Qinqin², Gu Fengfeng¹, Qi Dingman¹

(1. Shanghai Estuarine & Coastal Science Research Center, Key Laboratory of Ministry of Communications, Shanghai 201201, China; 2. Shanghai Water Engineering Design and Research Institute, Shanghai 200062, China)

Abstract: In this paper, the sediment motion at north passage has been analyzed on the basis of the observations of water current and sediment concentration before and after the third phase engineering of the deep waterways in Changjiang Estuary. The result shows that: the distribution of the sediment concentration of north passage in both flood and dry season appears low-high-low pattern from the upper stream to the down stream where the midstream region of north passage has the highest sediment concentration. The correlation of sediment concentration and water current averaged in a tide cycle is poor in the flood season so that the sediment advection plays a more important role in north passage while in the dry season, the correlation is good so that the sediment suspension plays more. The main form of sediment transport in north passage is the lagrangian advection. The net sediment transport in the flood season is bigger than the dry season. The tidal pumping effect as well as the vertical-circulation effect are big in the midstream of north passage in the flood season while in the dry season, they are so small that make the water and sediment move nearly in the same direction excluding the upper stream of north passage. The reason that the tidal pumping effect as well as the vertical-circulation effect play an important roles in the midstream of north passage is that the sediment exchanging is very frequent in the midstream of north passage where there exist a high concentration of sediment flowed into north passage generated from both the mouth bar of south passage and Jiuduansha tidal shoal in a flood tide.

Key words: sediment transport; suspended sediment concentration; north passage; mechanism analysis