

长江口北槽浮泥周期性变化初探

蒋国俊¹, 姚炎明¹

(1 浙江大学 港口海岸及近海工程研究所, 浙江 杭州 310028)

摘要: 根据 2000 年长江口北槽浮泥的实测资料, 分析浮泥厚度和体积等几何尺度随时间的变化, 发现长江口北槽浮泥存在日、半月和年际三种周期变化; 日周期的变化受潮动力周期的控制, 这是由潮流冲刷浮泥形成的悬沙并再絮凝沉积造成的; 半月周期的变化受潮流半月周期变化引起的泥沙供给量的变化控制; 年周期的变化主要是由影响细颗粒泥沙絮凝沉积的长江口水温的年度变化所控制, 泥沙供给和动力的年周期变化也有一定的影响。

关键词: 浮泥; 周期变化; 控制因素; 长江口北槽

中图分类号: P731.2; P331

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2006)02-0135-05

1 引言

浮泥(mud fluid)一词,最早出现在 20 世纪 50 年代 Inglis 和 Allen^[1]对泰晤士河口泥沙运动的研究中,是对含沙浓度范围很广的泥水混合物的描述,自此以后大量的河口海岸学家对这类高含沙泥水混合物进行了广泛深入的研究,发现在淤泥质河口浮泥是泥沙存在的普遍现象,如密西西比河口、泰晤士河口、纪龙德河口、瓯江口、椒江口和长江河口等都存在浮泥,而且是河口拦门沙演变的主要影响因素,对河口航道有重要影响。多年来研究者采用现场观测和试验研究的方法,对浮泥的消长过程、分布规律、与河口拦门沙的关系等进行了大量研究,取得了丰硕的成果^[2-10]。

长江口浮泥研究始于 20 世纪 70 年代中期,张志忠等^[4]认为,长江口浮泥是汛期进入河口咸水环境的含大量黏土的细颗粒物质发生絮凝形成。任汝述等^[11]通过长江口黏性泥沙动力絮凝沉降和浑水流变特性试验研究,提出了长江口浮泥的流变方程和最小淤积切应力概念。上海航道局、华东师范大学等先后三次对长江河口浮泥调查,研究长江口浮泥

特性、分布、发育条件、形成机理和演变规律^[6,7,9,12,13]。长江口北槽开通为入海航槽后,曾在 1985 和 1987 年观测到浮泥发育,厚度在 0.2~0.4 m^[14],但在 20 世纪 90 年代多次观测均未发现长江口北槽有浮泥。

2000 年 7 月在长江口观测发现北槽航道内存在大规模浮泥^[15],有关专家随后对长江口北槽浮泥进行监测^[1],并就长江口北槽浮泥的物质组成、物理特性、分布位置、分布规模、影响因素及应用开展研究^[15-18],但对长江口北槽浮泥的演变周期,尤其是控制浮泥周期演变的主要因素尚缺乏深入的研究,这对于认识长江口北槽浮泥的演变规律和发育机制、把握浮泥对长江口深水航道的影响、采取有效措施减轻浮泥对深水航道的影响、保障航道正常运行、丰富河口学理论有着重要意义。本文拟根据 2000 年 7~11 月共计 11 个航次的浮泥观测资料,结合 2000 年的水文资料,分析探讨长江口北槽浮泥的周期性变化及其控制因素。

2 浮泥监测手段

在 2000 年长江口北槽浮泥监测以双频水深观测

收稿日期: 2005-06-28; 修订日期: 2005-09-29

作者简介: 蒋国俊(1962—),男,江苏省溧阳县人,教授,从事河口泥沙及动力沉积研究。E-mail: jianguj@zju.edu.cn

1) 上海航道勘察设计研究院和浙江大学港口航道及近海工程研究所. 长江口深水航道浮泥勘察研究. 2001.

为基础,配合容重垂线分布观测、底质采样分析。

对双频水深观测采用丹麦 E-SEA SOUND206 (简称 206) 双频测深仪,该仪器在 200 Hz 的工作频率探测到浮泥容重大于 10.3 kN/m^3 时能产生反射,但穿透率差;在 18~24 Hz 的工作频率浮泥容重小于 14 kN/m^3 时具有比较理想的穿透率,在容重 14 kN/m^3 时能产生反射,正确反映浮泥的下界面。在长江口北槽采用 24~200 Hz 组合换能器进行观测,满足了浮泥层分辨率,并兼顾到泥层穿透深度,可正确测定浮泥的厚度和分布范围。

容重及其垂线分布是确定浮泥的重要参数,一般将容重在 $10.3 \sim 13.5 \text{ kN/m}^3$ 的泥水混合物定义为浮泥。对长江口北槽浮泥容重的测定采用中国科学院上海东海站研制的 UBD-1 超声容重测量仪现场观测,该仪器工作频率为 500 Hz,观测水深在 0~999 m,测定容重范围在 $10 \sim 15 \text{ kN/m}^3$,分辨率达 0.01 kN ,该仪器可测定任何深度的浮泥容重的垂线分布。

用垂直浮泥分层取样器采集底质样,该仪器可对不同深度浮泥作直观物理采样分析,一次采样深度为 1 m,平均分 5 层,每层厚 20 cm。该仪器操作方便,受水流影响小,层与层之间搅动小,可用来采集原状浮泥样。

浮泥和水文观测由上海航道勘察设计研究院勘察室实施,观测区域及位置如图 1 所示。

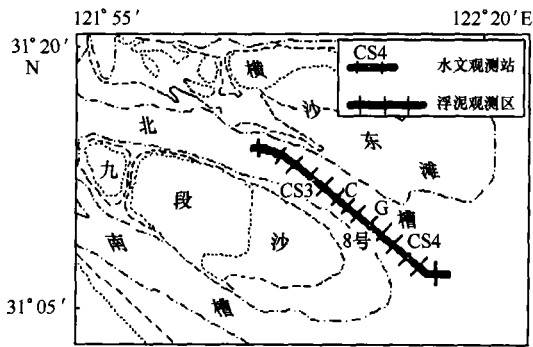


图 1 长江口北槽浮泥监测区及位置概图

3 潮周期变化

对浮泥规模和潮流含沙量过程的同步观测发现(图 2),随着涨潮流速的增大,长江口北槽含沙量升高,浮泥厚度减小,在涨潮急流时含沙量最大,浮泥厚度最小;随着涨潮流速的减小,悬浮细颗粒泥沙发

生絮凝沉降,大量悬浮泥沙在河床底部堆积,含沙量降低,浮泥厚度增大,在涨潮憩流时出现最大浮泥厚度,含沙量也对应出现低值;转流后落潮流逐渐增大,部分浮泥再悬浮,含沙量迅速升高,浮泥厚度再次变薄,并在落潮急流前达到含沙量最大值和浮泥厚度较小值;其后随着落潮流的减小,悬沙再度发生絮凝沉降,含沙量降低,浮泥增厚,并在落潮憩流前后达到新的含沙量低值和最大浮泥厚度,可见潮动力的日周期变化制约着长江口北槽浮泥的日变化过程。涨落潮流在高流速时冲刷浮泥,减小浮泥的规模,提高悬沙含量,在低流速时,与适宜的盐度场、水温场和泥沙场相结合,造成悬沙的絮凝沉降,降低悬沙含量,增大浮泥规模,控制浮泥的发育演变。

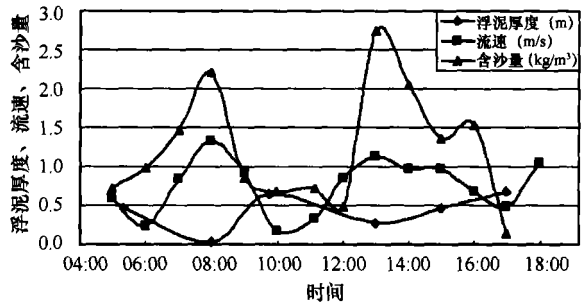


图 2 长江口北槽 G 断面航槽中部 8 号垂线浮泥厚度和流速、含沙量变化过程线
(据 2000 年 7 月 13 日实测,寻常潮)

4 半月潮周期变化

2000 年在长江口北槽共进行了 11 次浮泥观测,其中对大潮观测三次,对寻常潮观测五次,对小潮观测三次。根据实测资料,利用 SURFER 软件计算每次观测到的浮泥的主要几何尺度,并按潮型统计,发现长江口北槽浮泥规模在大潮作用时增大,在小潮作用时减小(见图 3)。

实测资料显示,与小潮相比,在长江口北槽大潮期的潮流速较大(见图 4a),含沙量明显大于小潮的(见图 4b)。图 4 所用资料来自浮泥监测区下游段的 CS4 站,该站上游河段更接近于最大浑浊带核心,含沙量更高,大潮时有更丰富的泥沙供给,更有利于河口浮泥形成。

研究发现长江口最适宜于细颗粒泥沙絮凝的盐度为 $9 \sim 24$ ^[20],这正是长江口北槽浮泥发育区在潮流作用下经常出现的盐度值(见图 4c),当最适宜于细颗粒泥沙絮凝的水动力和水温条件耦合时,细颗粒泥沙发生絮凝沉积,导致浮泥发育,主要几何尺度

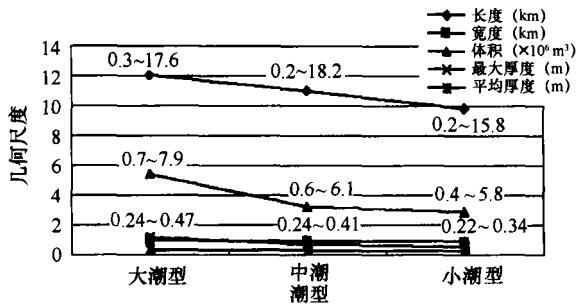


图3 浮泥几何尺度的潮型变化

图中观测点数字为长度、体积和最大厚度对应不同潮型时的变化范围

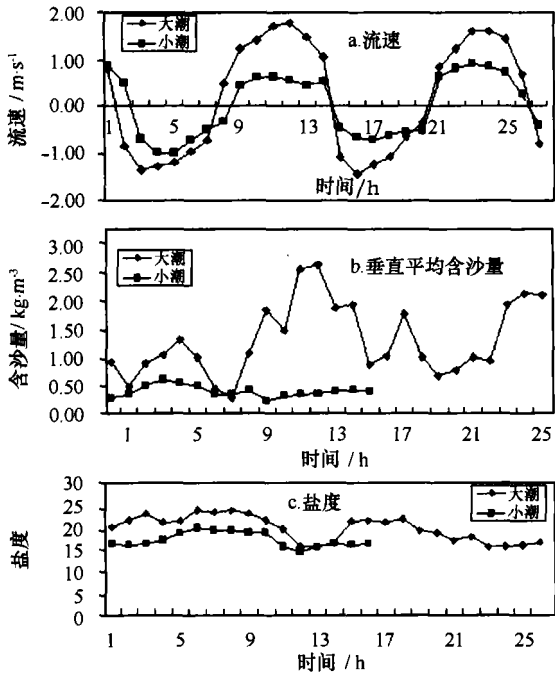


图4 大小潮流速、含沙量和盐度过程对比

在CS4站大潮观测时间为2000-08-15-17:00至2000-08-19:30。小潮观测时间为2000-08-22-09:00至2000-08-23-00:00。流速负值表示涨潮流

增大。长江口北槽夏季水温基本上在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,满足细颗粒泥沙絮凝的水温要求;长江口动力基本上受潮动力控制,约在24.83h内出现两涨两落的潮流过程,必能出现两次有利于细颗粒泥沙絮凝的憩流动力条件,能满足细颗粒泥沙絮凝的动力条件要求。因此,动力作用及其控制下的泥沙供给量变化是浮泥发育规模及其变化的重要控制因素。

大潮期潮流作用强劲,在涨落潮急流时浮泥受冲刷,大量泥沙再悬浮,同时大潮动力也将滩地和航槽沉积物冲刷再悬浮,更多细颗粒泥沙进入有利于

絮凝沉降的河段,为浮泥发育提供了丰富的物质。当有利于细颗粒泥沙发生絮凝的动力场、盐度场、水温场和丰富的泥沙场耦合时,大量细颗粒泥沙絮凝沉积不仅补足涨落潮急流冲刷悬浮的浮泥,而且更多的泥沙加入导致大潮期浮泥规模扩展。

小潮作用时潮流速减小,有利于浮泥稳定和细颗粒泥沙沉降,河床沉积物不再悬浮,悬沙浓度显著降低(图4b),细颗粒泥沙供给减少,不利于浮泥发展,但未经固结的高含水浮泥受涨落潮急流作用仍能产生冲刷,导致小潮浮泥规模减小。因此,长江口北槽浮泥的半月周期变化也是潮动力周期变化的结果。

5 年周期变化

对长江口北槽浮泥的监测发现,长江口北槽浮泥在6月下旬至7月初开始发育,盛夏季节达浮泥规模的最高峰,9月中下旬浮泥规模开始逐渐减小,并在10月底至11月初逐渐消失(图5)。这种演变过程既受长江来水来沙年周期变化的影响,也受长江口水温年周期变化影响下的细颗粒泥沙絮凝沉积的作用。

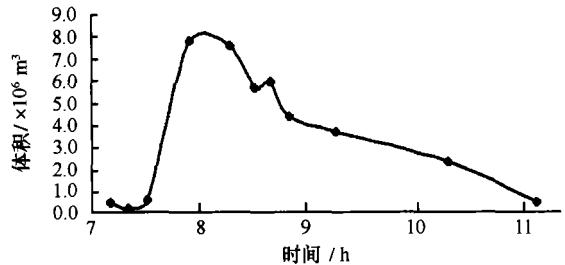


图5 2000年长江口北槽浮泥体积的年内变化

研究发现^[18],细颗粒泥沙的絮凝沉降受水温的控制,当水温低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,细颗粒泥沙基本不发生絮凝沉降,水温低于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,细颗粒泥沙絮凝沉降量十分有限,当水温高于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,细颗粒泥沙在适宜的水动力作用下在盐水中能发生迅速的絮凝沉降。长江口水温在6月中下旬开始超过 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,细颗粒泥沙的絮凝沉降速度增大,同时长江流域汛期到来,来水量增大,河口来沙量同步增加,絮凝沉降的泥沙量开始超过涨落潮急流作用下冲刷的泥沙量,细颗粒泥沙富集并导致浮泥开始发育;随着夏季接近,长江口水温逐渐升高,长江汛期输水输沙也进入长江口,泥沙供给量增大,细颗粒泥沙絮凝沉降的数量也增大,浮泥规模相应发育增长,8月份长江口水温为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,细颗粒泥沙的絮凝沉降速度最大,

与涨落潮急流冲刷相抵, 剩余的细颗粒泥沙絮凝沉积物也最多, 在航槽底部富集的细颗粒泥沙量最大, 浮泥发育达到最盛; 9 月下旬开始随着水温的降低, 长江流域来水来沙也开始减少, 细颗粒泥沙的絮凝沉积速度减弱, 细颗粒泥沙的沉降量逐渐小于涨落潮流急流造成的冲刷量, 浮泥规模逐渐减少; 到 10 月底至 11 月初, 水温已降低到细颗粒泥沙基本不发生絮凝沉降的程度, 枯季流域输水输沙量少, 浮泥发育所需细颗粒泥沙供给量减少, 浮泥不可能发展。

由此可见, 长江口北槽浮泥的年周期变化受水温控制的细颗粒泥沙絮凝沉降速度、长江径流输沙量供给^[21]等因素的影响。风浪作用冲刷滩面使含沙量升高^[22], 为浮泥发育提供较多的细颗粒泥沙, 促进浮泥发育增大, 但风浪的扰动也加剧浮泥冲刷再悬浮, 促进浮泥消退。

6 结论

综上所述, 对长江口北槽浮泥周期性变化得出以下几点结论:

(1) 长江口北槽浮泥厚度存在涨落潮急流减小、涨落潮憩流增大、涨潮急流时接近于 0 的潮周期变化, 这种变化受潮流涨落潮周期控制, 涨落潮急流时潮动力强劲, 冲刷浮泥, 导致泥沙再悬浮, 浮泥规模减小;

(2) 在大小潮周期变化控制的泥沙供给量影响下, 长江口北槽浮泥的主要几何尺度存在大潮增大小潮减小的半月周期变化; 大潮时潮流冲刷沉积物, 细颗粒泥沙供给增加, 在适宜于细颗粒泥沙絮凝的盐度环境中与适宜的动力和水温条件相结合, 促成细颗粒泥沙絮凝沉降, 浮泥规模增大; 小潮时泥沙供给量减少, 细颗粒泥沙絮凝沉降减少, 易于冲刷的浮泥在急流时被冲刷再悬浮, 浮泥规模减小;

(3) 长江口北槽浮泥呈现 6 月底至 7 月初开始发育、8 月盛夏发育最盛、9 月以后开始萎缩、10 月底前后基本消失的年变化规律, 这种变化除了受长江来沙来水年周期变化影响外, 还受控制细颗粒泥沙絮凝作用的长江口水温的年周期变化影响。

参考文献:

- [1] INGLIS C C, ALLEN H H. The regime of the Thames Estuary as affected by currents, salinities and river flows [A]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Vol 7[C]. London: Thomas Telford Services Ltd, 1957. 827—879.
- [2] WELLERSHAUS S. Turbidity maximum and mud shoaling in the Weser estuary [J]. Arch Hydrobiology, 1981, 92: 161—198.
- [3] SCHUDEL J. The turbidity maximum in the upper Chesapeake Bay [J]. Science, 1968, 161: 1 013—1 015.
- [4] 张志忠. 长江河口浮泥若干特性的初步研究[J]. 杭州大学学报, 1977, 1: 83—94.
- [5] KIRBY R. High concentration suspension (fluid mud) layers in estuaries[A]. DRONKERS J, LEUSSEN W V. Physical Processes in Estuaries [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 463—487.
- [6] 周程喜. 长江河口浮泥研究简况[J]. 水运工程, 1979, (1): 25—27.
- [7] 徐海根, 徐海涛, 李九发. 长江河口浮泥层“适航水深”初步研究[J]. 华东师范大学学报, 1994, 2: 91—97.
- [8] LEUSSEN W V. Aggregation of particles settling velocity of mud flocs: a review [A]. DRONKERS J, LEUSSEN W V. Physical Processes in Estuaries [M]. Berlin: Springer-Verlag: 1988. 348—402.
- [9] 李九发, 何青, 徐海根. 长江河口浮泥形成机理及变化过程[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 302—310.
- [10] 李炎, 夏小明, 董礼先. 椒江河口浮泥的分布和调整[J]. 海洋学报, 1998, 20(4): 72—82.
- [11] 任汝述, 曾小川. 长江口粘性泥沙动水絮凝沉降与浑水流变特性试验报告[J]. 长江河口综合治理研究, 1987, 3: 247—258.
- [12] 徐建益, 袁建忠. 长江口深水航道建设中的浮泥研究及述评[J]. 泥沙研究, 2001, 3: 74—81.
- [13] LI Jiu-fa, ZHANG Chao. Sediment re-suspension and implications for turbidity maximum in the Changjiang River Estuary [J]. Marine Geology, 1998, 148: 117—124.
- [14] 曾守源. 北槽挖槽段近期冲淤问题分析[J]. 上海航道科技, 1989, (1): 85—93.
- [15] 张华, 阮伟. 长江口北槽浮泥初步研究[J]. 水运工程, 2000, 323(12): 96—102.
- [16] 张华, 阮伟. 长江口北槽深水浮泥的研究与应用[J]. 水运工程, 2002, 345(10): 98—102.
- [17] 朱雪琪. 长江口北槽深水浮泥测试仪器简介[J]. 水运工程, 2002, 345(10): 103—104.
- [18] 李九发, 何青, 向卫华, 等. 长江河口北槽浮泥消长过程的现场观测[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(5): 407—412.
- [19] 蒋国俊, 姚炎明, 唐子文. 长江口细颗粒泥沙絮凝沉降影响因素分析[J]. 海洋学报, 2002, 20(4): 51—57.
- [20] 张志忠, 阮文杰, 蒋国俊. 长江口动水絮凝沉降与拦门沙淤积的关系[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(6): 632—638.
- [21] 赵庆英, 杨世伦, 王海波. 长江口南槽季节性冲淤变化及其对河流入海水沙响应关系的初步研究[J]. 上海地质, 2001, (B12): 3—6.

[22] 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, (6): 31—38.

Periodical changes of mud fluid in the Northern Channel of Changjiang Estuary in China

JIANG Guo-jun¹, YAO Yan-ming¹

(1 *Institute of Harbor Coastal and Nearshore Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China*)

Abstract: On the basis of measured mud fluid data in the Northern Channel of Changjiang Estuary in China, the periodical changes of mud fluid are discussed. It is thought that the mud fluid changes in three kind of periods in the Northern Channel of Changjiang Estuary. It is pointed out that the tidal period is influenced by the tidal velocity change, at which the flood current erodes the mud fluid and results in the mud fluid scale reducing and the slack current makes fine sediments flocculation and deposition and results in the mud fluid scale increasing. The semi-monthly changes of the mud fluid are controlled by the amount of fine sediments supply. The annual period change of the mud fluid is controlled by the water temperature, which controls the fine sediments flocculation in the Changjiang Estuary. The annual change of sediment supply and the dynamics are also important influencing factors.

Key words: mud fluid; periodical changes; controlling factors; Northern Channel of Changjiang Estuary