



长江口12.5 m深水航道大风浪后浮泥变化分析*

刘杰, 程海峰, 王元叶, 李为华
(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 利用长江口12.5 m深水航道三次大风浪后的浮泥观测资料, 对浮泥的发育、输移及消散过程进行分析。结果表明: 长江口12.5 m深水航道大风浪后浮泥发育明显, 厚度最大可达3.5~3.8 m, 体积达2 700万m³左右; 浮泥的发育规模与大风浪的持续时间和大风浪期间的潮汐有关; 浮泥主要发育航槽内, 并在涨落潮流的作用下上、下运移, 移动幅度达13~18 km; 大潮期形成的浮泥, 在之后的中小潮期会整体向上运移; 浮泥的消散主要与潮动力的增强有关, 存续时间5~10 d。

关键词: 长江口; 12.5 m深水航道; 大风浪; 浮泥

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0055-06

Analysis of fluid mud changes in the Yangtze estuary 12.5 m deepwater channel

LIU Jie, CHENG Hai-feng, WANG Yuan-ye, LI Wei-hua

(Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: Using the observation data of fluid mud after three huge stormy waves in the Yangtze estuary, we analyze the development, transportation and dissipation process of the fluid mud in 12.5-meter deepwater channel. The results show that the fluid mud in the channel develops clearly after huge stormy waves in the flood season. Its maximum thickness can reach about 3.5 to 3.8 meters and the volume can reach about 27 million cubic meters. The scale of fluid mud's development relates to the duration of stormy waves and the tidal regime during stormy waves. The longer the stormy waves continue, the larger the fluid mud develops. And when the stormy waves meet the spring tide, the large-scale fluid mud can be formed; When the stormy waves meet the neap tide, the scale of fluid mud is smaller relatively. Fluid mud mainly develops in 12.5-meter channel, and there is little fluid mud on the riverbed of both sides of the channel. After the fluid mud is formed, it will move up and down in the channel under the effect of tidal current, with an amplitude of fluctuation about 13~18 kilometers. The fluid mud formed in the spring tide will migrate upward as a whole during the following neap tide. Fluid mud in deepwater channel exits about 5~10 days, and the dissipation of fluid mud is mainly connected with the enhancement of tide power. The fluid mud formed after stormy waves will disappear gradually with the subsequent spring tides.

Key words: the Yangtze estuary; 12.5m deepwater channel; stormy waves; fluid mud

浮泥是一种高含沙浓度的流体, 主要由细颗粒泥沙与水共同组成, 含沙量在每立方米几十公斤到几百公斤, 常常出现在淤泥质河口、海岸地

区^[1-2]。而在这些地区的港口航道内, 浮泥的存在会增加航道淤积量并给通航安全带来影响, 因此, 近几十年国内外专家学者对浮泥特性、观测

收稿日期: 2013-08-25

***基金项目:** 上海市科学技术委员会科研计划项目(12231203103); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301020); 长江科学院开放研究基金(CKWV2012304/KY); 交通运输部科技项目(2011 328 A06 70); 交通运输部科技项目(2012-329-A06-040)

作者简介: 刘杰(1975—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事河口海岸泥沙研究。

方法、变化规律和适航水深利用等问题开展了大量的研究。

长江口是细颗粒泥沙供给丰富、中等强度的潮汐河口。20世纪70年代，在长江口拦门沙航道的疏浚航槽内发现最大厚度达1.2 m的浮泥层，随后浮泥特性和适航水深问题引起了关注^[3-4]，并认为挖槽增深可导致浮泥厚度增大^[4]。2000年，在长江口深水航道治理工程8.5 m水深的航槽内发现有明显的浮泥发育^[5]。与国内外海岸港口地区，浮泥发育部位相对稳定和几何尺度变化相对缓慢有所不同的是，长江口径流大、潮流强，浮泥形成后其厚度和体积等几何尺度具有明显的随大小潮和涨落潮变化的特性^[6-7]。除此之外，河口受往复潮流的影响，浮泥形成后还会纵向运移，如在吉伦河口曾经发现，浮泥层在潮周期内除厚度变化外，还有明显的纵向运动。

浮泥的纵向运动影响航道的淤积部位，同时，也增加了适航水深利用的难度。长江口12.5 m深水航道建成后，现场多次观测发现北槽航道内浮泥发育明显，尤其是在洪季经历大风浪之后^[8]。为此，本文利用长江口12.5 m深水航道的现场观测

资料，对12.5 m深水航道的浮泥变化，尤其是浮泥随潮流变化和纵向运移进行分析。本研究将进一步加深对浮泥运移规律的了解，并可为长江口深水航道维护疏浚管理和非常态减淤措施的制定提供参考。

1 工程概况

长江口平面呈“三级分汊、四口入海”的形势，12.5 m深水航道位于南港—北槽（图1）。北槽拦门沙航道天然水深仅在6 m左右。为提高航道水深，1998年起实施了长江口深水航道治理工程，采用整治和疏浚相结合的治理方案，于2010年3月开通12.5 m深水航道。整治工程包括长约48 km和49 km的南、北两条双导堤和总长约30 km的19座丁坝。12.5 m深水航道长约92 km，自上而下分为南港航道（W0-W1）、圆圆沙航道（W1-W2）、北槽上航道（W2-W3）、下航道（W3-W4）和外航道（W4-W5），共计5个区段45个航道单元（以英文字母表示），航道分段见图1。除外航道宽度为400 m之外，其它航道宽度为350 m，航道挖槽深度最大达3~4 m。

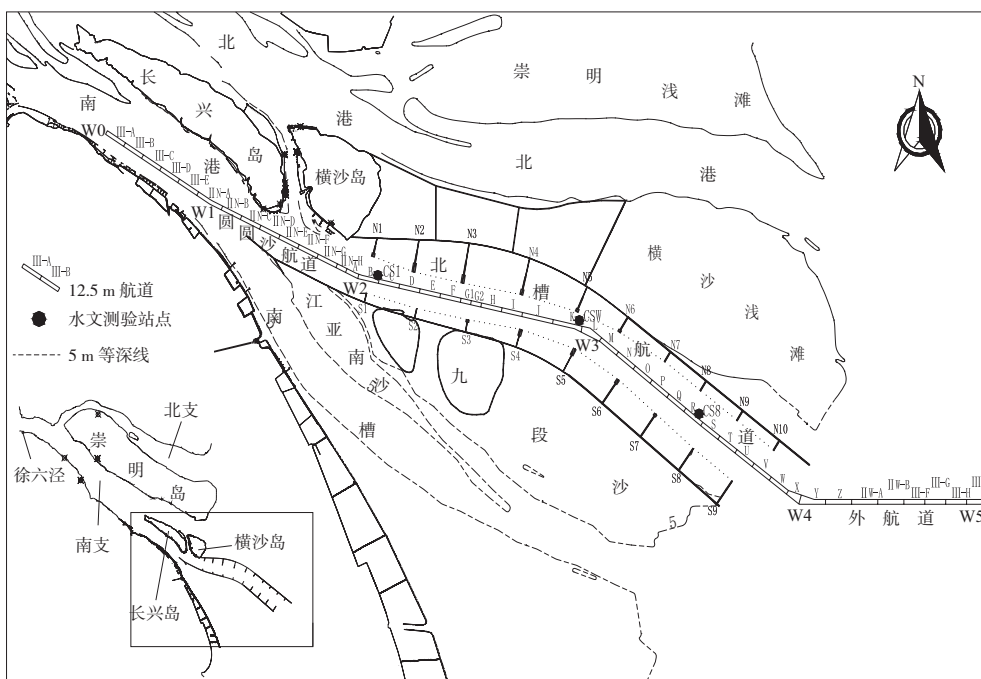


图1 长江口12.5 m深水航道位置

2 资料与方法

一般认为浮泥层的上界面密度为1.03~1.05 t/m³，

下界面密度为1.24~1.25 t/m³，上、下界面之间为浮泥体。本文浮泥资料来源于交通运输部长江口

航道管理局委托开展的双频测深仪测量的航道水深数据和上海河口海岸科学研究中心利用浮泥测量系统测得的浮泥数据。已有研究表明^[10-11], 基于双频测深仪测得的高低频水深与浮泥上下界面位置具有良好的一致性, 高低频水深差基本可以代表浮泥层厚度。浮泥测量系统由 Rheotune 泥浆密度计、双频测深仪 (高频 200 k、低频 24 k) 及 SILAS 软件组成, 可直接测量浮泥密度垂向分布。利用浮泥测量系统在长江口的现场表明, 深水航道浮泥的密度存在明显的上、下 2 个拐点^[12], 上层拐点处密度平均为 1.033 t/m³, 下层拐点处密度平均为 1.245 t/m³, 两拐点之间, 即可认为是浮泥的厚度。车载浮泥测量系统落潮时沿航道自上向下测量, 涨潮期沿航道自下向上测量。浮泥厚度与浮泥纵向的长度和航道宽度相乘, 得到浮泥的体积。本文利用上述观测资料和计算方法, 就 12.5 m 航道贯通以来几次主要大风浪后的浮泥变化过程进行分析。

3 结果

3.1 2010年10月寒潮后浮泥变化

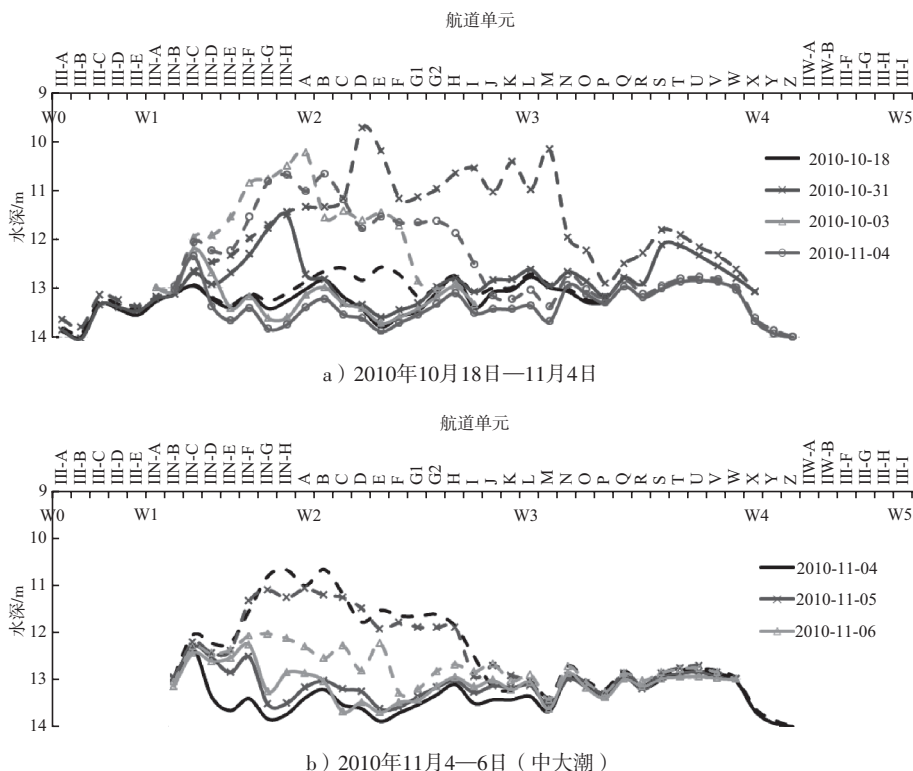
2010年10月20—31日, 受连续寒潮大风及台

风“暹芭”的外围影响, 12.5 m 深水航道出现大范围的浮泥。此次寒潮期间长江口潮汐基本处于中潮—大潮—中潮的变化过程, 上游来水处于洪季末期的下降过程, 大通流量 23 000 ~ 28 000 m³/s。

寒潮之后观测到的高低频水深变化见图 2。由图 2a) 可见, 寒潮初期 (10月18日), 浮泥特征不明显。至寒潮末期 (10月31日, 小潮), 深水航道已普遍存在强度较大的浮泥, 主要位于北槽上航道 (W2-W3) 区段, 浮泥层厚度最大达 3.5~3.8 m, 浮泥体积达 2700 万 m³ 左右。5 天之后的 11月2日、3日、4日观测显示 (小潮至中潮前期), 浮泥明显上移, 浮泥体积开始减小, 主要分布于 H 单元以上区段, 厚度可达 1.5~3.4 m, 其中尤以 IIN-C-E 单元为最, H 单元以下的北槽中下段航道浮泥厚度明显减小。此时, 浮泥体积仍在 2 500 万 m³ 左右。11月4日之后 (图 2b)), 浮泥仍主要分布于 IIN-C-E 单元区间, 但体积明显变小, 浮泥逐渐趋于消散。

3.2 2011年6月“米雷”台风后浮泥变化

2011年“米雷”台风对长江口影响时间段为 6月25日-27日, 期间正值洪季小潮, 上游大通流



注: 虚线为高频水深, 代表浮泥上界面; 实线为低频水深, 代表浮泥下界面, 下同。

图2 寒潮之后观测到的高低频水深变化

量约45 000 m³/s。“米雷”台风后浮泥观测从6月27日（小潮后期）开始，持续到7月2日（大潮）结

束，期间利用浮泥测量系统沿航道共完成了7次纵向浮泥往返观测，相应的浮泥厚度变化见图3。

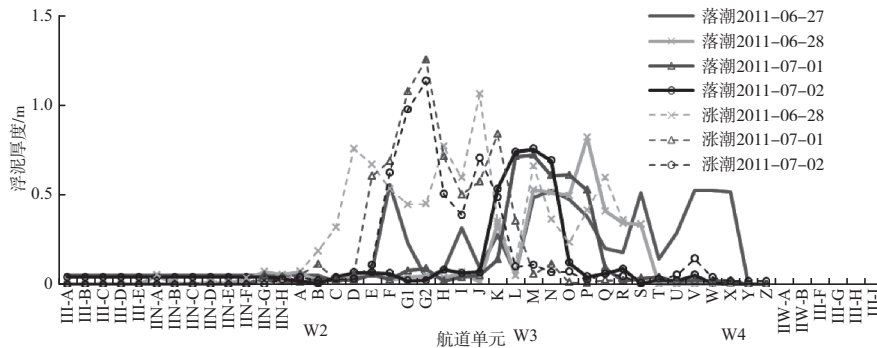
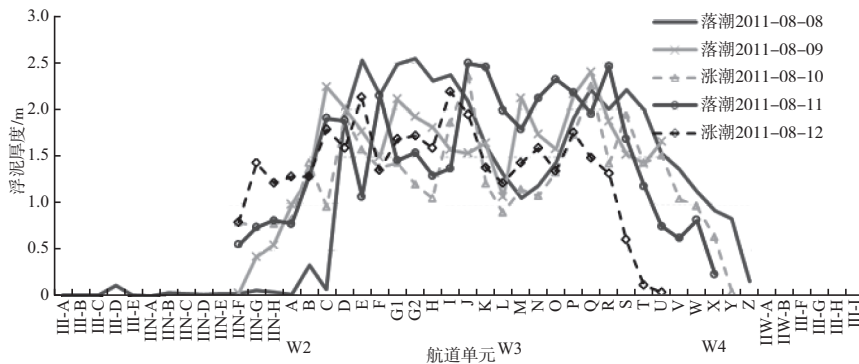


图3 2011年“米雷”台风后北槽浮泥厚度、位置变化

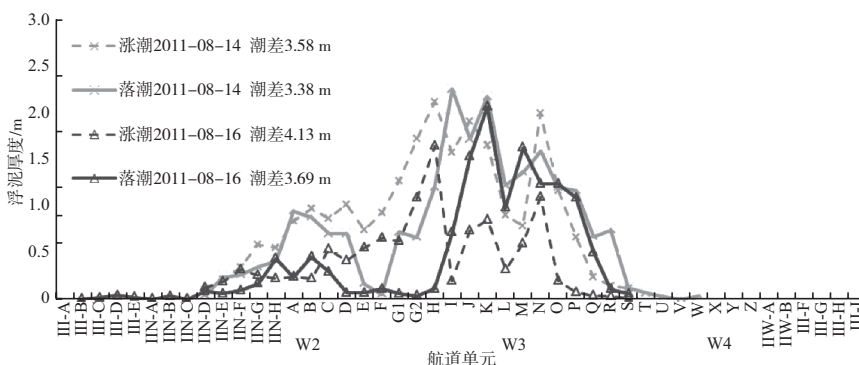
由图3可见，“米雷”台风后浮泥体积不大，约70万m³，浮泥厚度基本都小于1.0 m。台风后观测到的浮泥主要分布北槽中段，但在一个潮周期内随涨落潮发生明显的上下移动，涨潮时浮泥体主要位于北槽中上段，落潮时则位于北槽中下段，厚度大于0.5 m的浮泥体移动范围主要D~Q单元。以浮泥重心统计，一个涨、落潮内，浮泥上下摆动约13~18 km。

3.3 2011年8月“梅花”台风后浮泥变化

2011年“梅花”台风从8月6日开始影响长江口，至8月8日早晨风力明显减小，期间长江口观测到的最大波高达4.5~5.0 m。此次台风与长江口中小潮相遇，期间长江的径流约30 000 m³/s。针对“梅花”台风风后的影响，在长江口北槽深水航道共开展了为期9天、12次往返纵向浮泥观测，相应的浮泥厚度变化见图4。



a) 2011年8月8日—12日（小潮-中潮）



b) 2011年8月14日，16日（大潮）

图4 2011年“梅花”台风后浮泥厚度分布变化

由图4可知,“梅花”台风后北槽航道内浮泥发生强度较大,浮泥体积近 500万m^3 ,最大厚度达 2.5m 。“梅花”台风后浮泥主要发育在北槽上、下段航道内。总体来看,浮泥形成后随涨、落潮而上下移动。在浮泥形成后的初期(小潮,8月8—12日),浮泥体积较大,且整体略向上运移。而在随后的中潮、大潮期(8月12—16日),伴随着潮汐动力的增强,浮泥体积持续减小并趋于消散,但浮泥质心位置总体变化不大。

4 讨论

4.1 浮泥的发育规模

根据对2010年10月寒潮大风和2011年“米雷”、“梅花”台风后的浮泥观测可知,大风后,尤其持续较长时间的大风后,12.5 m深水航道内会产生明显的浮泥发育。浮泥的发育规模主要与大风浪的持续时间和大风浪期间的潮汐情况有关。若大风浪与大潮相遇(俗称两碰头),形成的浮泥规模则会较大;与小潮相遇,浮泥形成规模则相对较小。如2010年10月寒潮大风持续时间长,且与中潮、大潮、中潮相遇,其浮泥发育规模达 $2\,700\text{万m}^3$ 左右,而“米雷”台风造成的风浪持续时间短,且与小潮相遇,风后形成的浮泥体积仅约 70万m^3 。

4.2 浮泥的发育部位

在特定的条件下,浮泥在自然河槽内发育。但航槽疏浚开挖后,航槽与原河床滩面存在滩槽高差。由于浮泥密度大且具有流动性,因此,浮泥更易在航槽内集聚,即人工航槽内的浮泥通常较槽外厚度更大。这在1976年长江口铜沙航槽浮泥观测中已经发现^[4]。

长江口12.5 m深水航道的滩槽高差大,最大可达 $3\sim 4\text{m}$ 。从2010年圆规台风后的现场观测结果来看,浮泥主要是发育在航槽内,航槽两侧的边滩上基本没有浮泥存在^[12]。这可能因为航槽增深后边坡变陡,浮泥在自身重力和涨落流水流作用下更易向槽内输移的缘故。而进入航槽内的浮泥,难以克服自身重力逆坡向槽外输移。

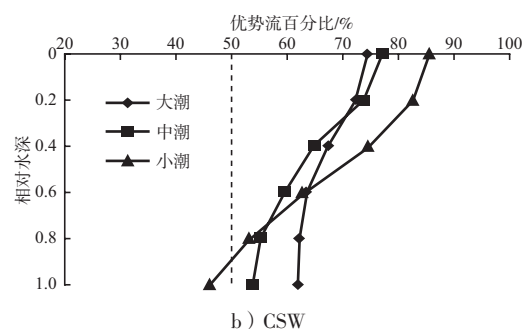
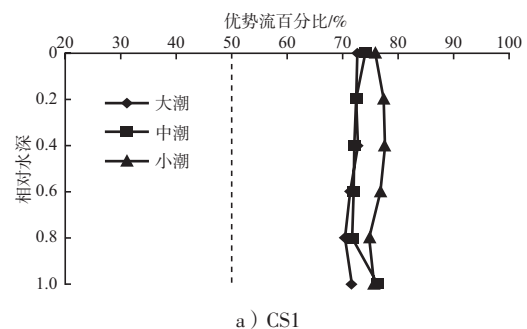
从纵向来看,大风浪之后浮泥主要发育在北

槽航道内,尤其是北槽中段。如2010年10月寒潮结束后(2010年10月31日)观测到的浮泥主要在北槽上航道内,而2011年“米雷”、“梅花”台风后浮泥则主要在北槽中段上、下输移。北槽河段风后较易产生浮泥,可能主要因为北槽为盐淡水的交汇处,细颗粒泥沙易于絮凝,向河底沉降集聚的缘故。

4.2 浮泥的纵向运移

浮泥形成后会在涨落潮流作用下上、下运移。总体来看,涨潮浮泥整体向上运动,厚度加大;落潮整体向下运动,厚度变薄,但在一个涨、落潮过程中浮泥体积变化不大(图3、图4b)。

从大、小潮周期来看,大潮期形成的浮泥,在随后的中小潮过程中,浮泥整体向上运移,如2010年10月寒潮大风后的浮泥变化过程。这可能与大潮到小潮过程中,涨潮流优势的增强有关。在河口区域,盐度密度流起到增大涨潮流速、减小落潮流速的作用。随着潮汐动力的减弱(大潮到小潮过程),盐淡水分层更加明显,盐度密度流作用有所增强。现场观测表明,在盐淡交汇处的北槽中段,大潮期底层为落潮流优势,而小潮期则为涨潮流优势(图5)。小潮期底层水体在一个潮周期内净向上运移。



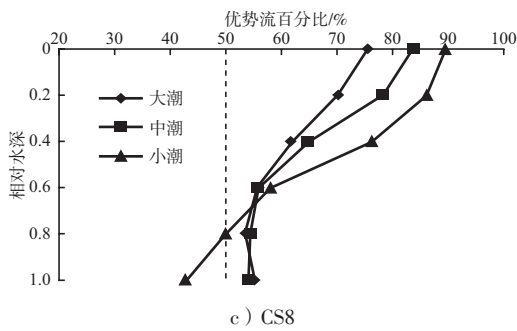


图5 2009年7月北槽优势流变化

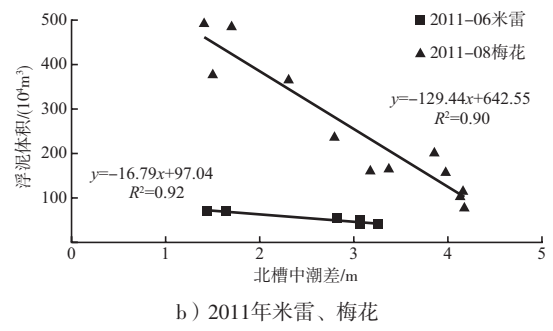
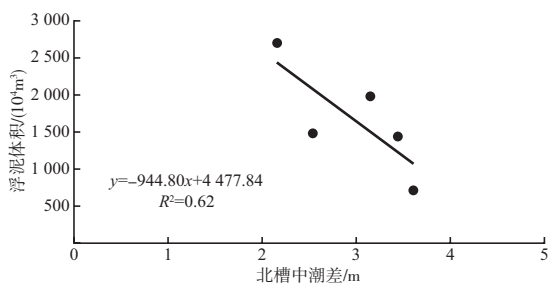


图6 浮泥消散过程浮泥体积与潮差的关系

4.3 浮泥的消散

浮泥形成以后，在自身泥沙颗粒沉降，以及浮泥体上层涨落潮流作用下逐渐消散。由于存在着航道疏浚，因此，无论是高低频水深测量的结果，还是浮泥测量系统测量的资料，都难以进行浮泥体扩散消失量与沉降量精确计算。从已有的观测结果来看，浮泥存续时间和消散过程与潮动力的变化关系较为密切。大期或大中潮期形成的浮泥，由于随后会经历小潮过程，有利于浮泥的持续存在，如2010年10月寒潮大风后，浮泥存续时间长达10 d以上。据浮泥测量系统现场观测计算，10月28日（中潮前期）浮泥体积约2 710万m³，5 d之后的11月2日（小潮后期）浮泥体积仍在2701万m³左右。而在小潮期形成的浮泥，由于随后会经历中、大潮过程，浮泥的存续时间则相对较短，如2011年“米雷”、“梅花”台风后的浮泥分别存续约5 d和7 d。统计结果显示，浮泥消散过程，即浮泥体积开始出现减小的过程中，浮泥体积与潮差呈较好的负相关关系（图6）。由此表明，浮泥消散可能主要与水动力的增强有关。大风浪之后形成的浮泥，基本上会在随后的大潮期消失。



a) 2010年10月寒潮

5 结语

长江口12.5 m航道开通后，在洪季大风浪后航道内浮泥发育明显。几次大风浪后的观测结果表明，2010年10月寒潮大风后的浮泥规模最大，持续时间最长，浮泥层厚度最大达3.5~3.8 m，浮泥体积达2 700万m³左右。总体来看，大风浪后浮泥的发育规模主要与大风浪的持续时间和大风浪期间的潮汐情况有关。若大风浪与大潮相遇（俗称两碰头），形成的浮泥规模则会较大；与小潮相遇，浮泥形成规模则相对较小。从浮泥的分布来看，浮泥主要是发育在北槽12.5 m航槽内，航槽两侧的边滩上基本无浮泥存在。航道内浮泥形成后，会在涨落潮流的作用下上、下运移，涨潮向上、落潮向下，上下移动幅度13~18 km。从大、小潮周期来看，大潮期形成的浮泥，在随后的中小潮过程中，会整体向上运移。浮泥的消亡与潮动力的增强有关，大风浪后航道内的浮泥存续时间约5~10 d，在经历下一个大潮水动力过程后，浮泥基本消散。

参考文献:

- [1] Meanally W H, Friedrichs C, Hamilton D, et al. Management of fluid mud in estuaries, bays, and lakes I: present state of understanding on character and behavior[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 133(1): 9-22.
- [2] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 张志忠. 长江口浮泥若干特性的初步研究[J]. 杭州大学学报, 1977(1):83-96.