



长江口深水航道浮泥运移规律及 精细化维护疏浚

汤宇^{1,2}

(1. 上海航鸿工程管理有限公司, 上海 200137; 2. 交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003)

摘要: 基于2016—2019年长江口深水航道施工区段月度测图和2016—2020年北槽深水航道洪枯季常态天气条件下的浮泥观测资料, 研究浮泥输移特征及回淤、高频水深等变化特征, 提出航道精细化疏浚维护方案。结果表明, 常态天气条件下洪季的高低频水深差幅度大于枯季, 北槽航道中段洪季的浮泥厚度要远大于枯季, 航道回淤量具有随高低频水深差的增加而增加的特征。建议优先在洪季实施精细化维护疏浚方案, 试应用后能有效减小浮泥、高低频水深差等变化过程对航道考核测量和航道维护疏浚的干扰, 提高航道维护疏浚的精细化管理水平。

关键词: 长江口; 深水航道; 浮泥; 精细化维护疏浚

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)07-0089-07

Movement law of floating mud and fine maintenance dredging in deep water channel of Yangtze River Estuary

TANG Yu^{1,2}

(1. Shanghai Hanghong Engineering Management Co., Ltd, Shanghai 200137, China;

2. Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, Shanghai 200003, China)

Abstract: Based on the monthly mapping of the construction section of the deep-water channel of Yangtze River Estuary from 2016 to 2019 year and the observation data of floating mud under normal weather conditions during the flood and low season of the deep-water channel in North passage from 2016 to 2020 year, the transport characteristics of floating mud, the change characteristics of silt back and high-frequency depth are studied, and the fine dredging and maintenance plan of the channel is proposed. The results show that under normal weather conditions, the depth difference of high and low frequency depth in the flood season is larger than that in the dry season, and the thickness of floating mud in the middle part of the northern channel is much larger than that in the dry season, and the sediment quantity of the channel increases with the increase of the depth difference of high and low frequency depth. It is suggested that the fine-maintenance dredging scheme should be implemented first in flood season. After trial application, it can effectively reduce the interference of floating mud, high and low frequency depth difference and other changes on channel assessment measurement and channel maintenance dredging, and it improves the fine-management level of channel maintenance and dredging.

Keywords: Yangtze River Estuary; deep-water channel; floating mud; fine maintenance dredging

近年来, 长江口 12.5 m 深水航道回淤量及维护量呈一定的稳定趋势, 基本维持在 5 000 万 m³ 左右^[1], 总量大及分布集中的态势较之前并没有

根本性改变, 回淤高峰时段和区段的现场维护、疏浚的组织管理难度仍然较大, 航道维护的减淤、降费仍是需要长期研究解决的难题。常态气象条

收稿日期: 2023-11-13

作者简介: 汤宇 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事海洋工程科研规划及工程管理。

件下，随着洪枯季、大中小潮的动力变化，航道内时常存在一定厚度的浮泥和低频水深差，且洪枯季不同时段存在一定的差异。按照现行的技术规范，当高频水深不满足航道考核测量时，则需要及时安排疏浚船舶进行疏浚维护^[2]，因而航道内高浓度浮泥和低频水深差的存在对于北槽航道的维护船方量和考核测量会产生明显影响。

常规航道浮泥观测方式(纵向走航式)取得的浮泥资料^[3]对于航道日常维护水深检测、指导航道疏浚维护作业及进一步开展适航水深利用研究起到了重要的支撑作用，然而由于其观测方式的限制，无法分辨不同动力条件下的浮泥生成及运移消散过程，并不能提供足够的资料支撑对

浮泥运移、变化规律的研究^[4]；另外，长江口深水航道内回淤和低频水深也具有明显的随潮动力变化而变化的特征。

综上，结合浮泥输移特征及回淤、低频水深等变化特征研究，将为航道精细化疏浚维护的能力和效率提升提供必要的理论及技术支持。在保证水深的前提下，从尽量减小浮泥对航道水深考核测量的干扰、减少航道考核初测发现浅点的消除时间和维护疏浚量、帮助北槽深水航道较快地通过水深考核的角度出发，开展长江口深水航道浮泥运移规律及精细化维护疏浚研究，十分必要且具有较高的学术研究和工程应用价值。长江口12.5 m深水航道平面布置见图1。

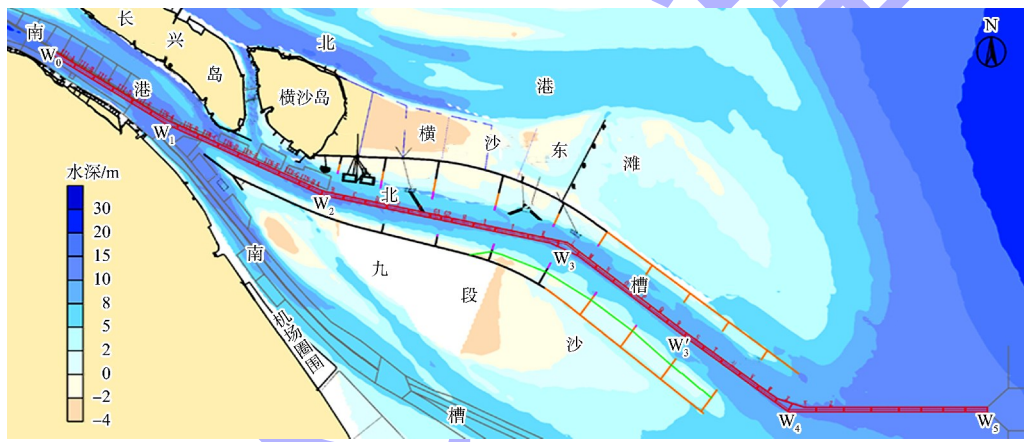


图1 长江口12.5 m深水航道平面布置

1 资料来源及研究方法

通过获取常态天气条件下北槽深水航道的浮泥运移过程，提出精细化维护疏浚的方案，帮助北槽深水航道较快地通过水深考核。基于上述目的开展资料收集、模型预测、现场观测和数据分析等研究工作。首先，利用2016—2019年长江口深水航道施工区段月度测图，得到月度航道单元高低频平均水深数据进行比较，考虑洪枯季的整体性特征，统计洪枯季平均值，得出航道高低频水深变化特征，从而进行浮泥变化规律的分析。其次，收集2016—2020年北槽深水航道洪、枯季常态天气条件下重点维护段(E~T单元)浮泥形成、发育、峰值、消散过程完整的第一手观测数据，包括潮位、断面流速/流向、断面高低频水

深、垂线剖面密度、垂线含沙量、盐度、悬沙粒度、表层沉积物粒度等，分析洪、枯季深水航道内浮泥变化和运移过程特征。开展了航道浮泥及回淤过程特征模拟，提出精细化疏浚方案并试用于2020年洪季航道疏浚施工。

为了在有限测次的实测资料中分析剥离多因子影响下的高低频水深差的变化特征和进行单因子分析，本文引入基于大数据的人工智能神经网络预测模型^[5]。该模型建立和计算的主要技术路线为：1) 收集获得的不同水文条件下的航道高低频水深差的特征数据，建立大数据库；2) 确定可能的高低频水深差影响因子；3) 开展人工智能神经网络预测模型的训练和验证；4) 开展不同水文要素条件下的高低频水深差预测结果比较，并进

行不同水文条件下高低频水深差的特征分析。

2 浮泥运移规律

2.1 常态天气条件下航道高低频水深特征

通过航道月度施工区段调整测图资料分析可知，深水航道高低频水深差基本在0~30 cm，总体上洪季的高低频水深差幅度大于枯季。北槽中段1 d内的高低频水深测量结果显示，高频水深总体上呈现涨潮淤、落潮冲的趋势，冲淤变幅约在

0.4 m以内，且随潮动力增加高频水深趋于增加、高低频水深差趋于减小，潮动力越小则高频水深也越浅、高低频水深差越大。

基于大数据的网络预测模型预测结果(图2)可知，总体上洪季的高低频水深差大于枯季，洪季大潮时的高低频水深差总体上小于小潮，且北槽中段的航道回淤量有随高低频水深差增加而增加的特征。模型预测结论与后续现场观测结果基本一致。

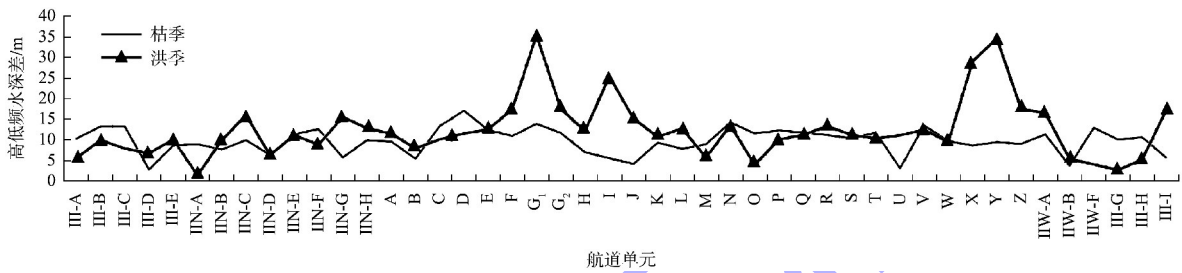


图2 洪枯季高低频水深差预测比较

2.2 常态天气条件下洪枯季浮泥变化特征

2.2.1 大、中、小潮过程中浮泥发育和消散特征

一个大、中、小潮过程中，一般来说潮动力越强，北槽中段相应的浮泥厚度及换算为原状土方量越小，即大潮期间浮泥量最小，随着潮动力的减弱，浮泥量逐渐增加，至小潮期间，浮泥量达到最大值，后随着潮动力的增加，浮泥量逐渐减小，至大潮期间浮泥量基本回到最小状态。

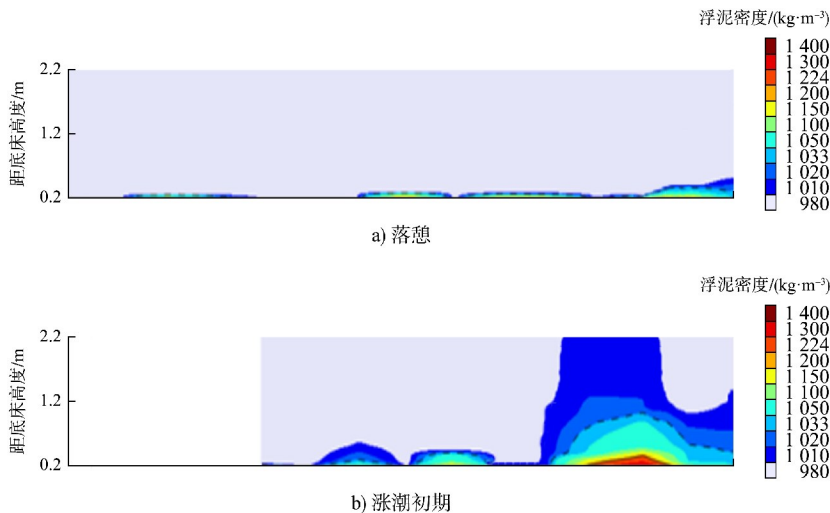
道单元(2.6~14.7 km)内。小潮-大潮期间，随着潮动力的增强，浮泥分布区域逐日往下游输移；大潮-小潮期间，随着潮动力的减弱，浮泥分布区域逐日往上游输移；其中北槽航道回淤峰值区段的L、M单元存在浮泥的时段较长。

2.2.2 浮泥分布范围及变化特征

潮动力越大，单日内浮泥分布区域变化范围则越大；观测的浮泥分布上、下边界变化在2~7个航

2.2.3 1 d内浮泥随涨、落潮变化特征

涨潮期间北槽航道中段的浮泥逐渐生成、厚度开始增加，至涨憩时刻，浮泥厚度及换算为原状土方量均达到最大值，随后浮泥厚度呈逐渐减小趋势，至落憩前时刻，浮泥厚度回到最小值。2019年7月16日(洪季)各航次现场观测浮泥分布特征见图3。



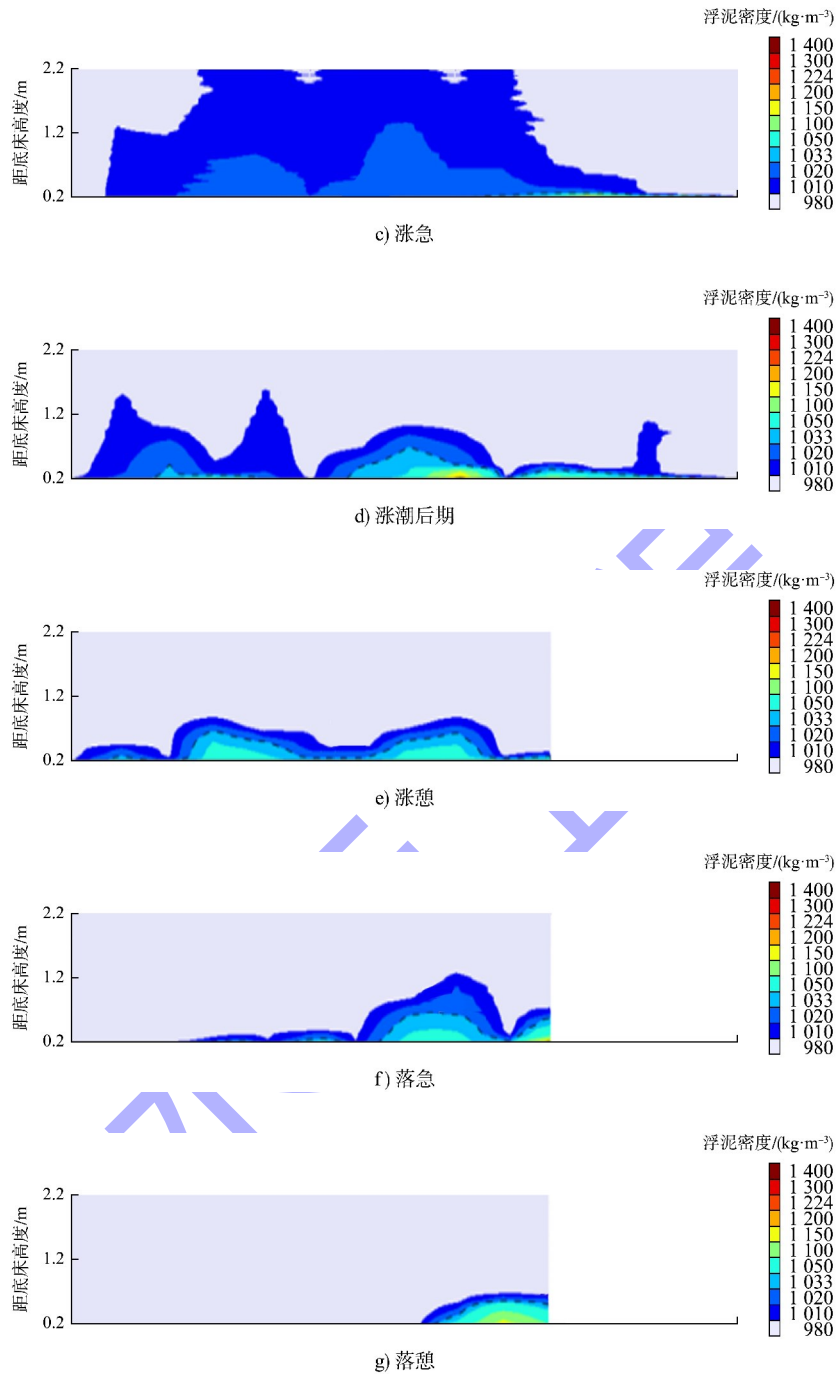


图3 2019年7月16日各航次现场观测浮泥分布特征

2.2.4 浮泥的洪枯季总体差异

北槽航道中段洪季的浮泥厚度远大于枯季，其中洪季大潮-小潮期间测得的浮泥最大厚度范围为0.38~0.93 m，平均厚度为0.11~0.23 m；枯季大潮-小潮期间测得浮泥最大厚度范围为0.19~0.21 m，平均厚度为0.04~0.06 m。

2.3 浮泥与航道回淤量的关系

一般认为，高低频水深差与航道回淤量存在密

切的关系，本次研究通过实测资料与预测模型开展相应的研究。以2016年为例，选取对应测量期间的水文要素，利用神经网络预测模型获取不同测次期间、不同航道单元的高低频水深差预测值，计算时仅考虑小流速浮泥对回淤的影响，潮差统一选取为1 m。预测条件为各测次之间较长时间段(约1个月)各影响因素的平均值。图4为2016年航道实测回淤量分布，选取回淤较为明显的J~M

共 4 个单元，计算得到高低频水深差年内分布，与回淤量实测值的分布进行对比，见图 5。由图可知，高回淤区域航道单元的回淤量年内分布与高

低频水深差有一定的对应关系，即航道回淤量随高低频水深差的增加而增加。

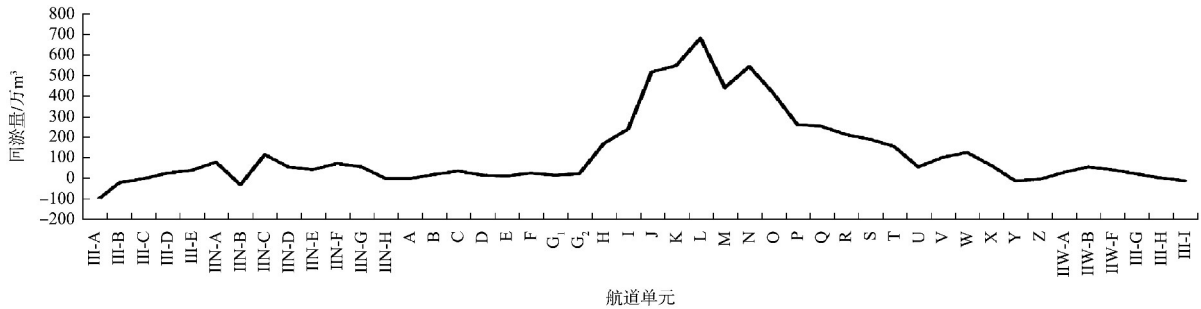
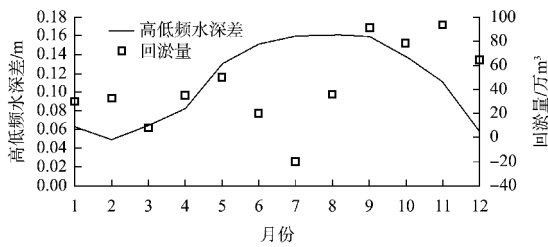
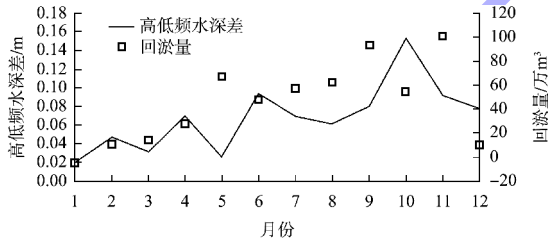


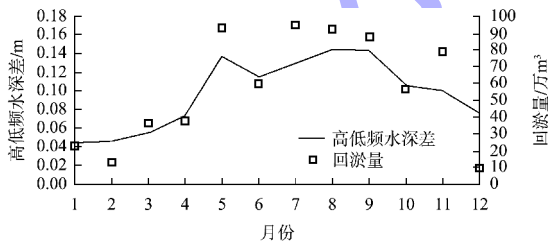
图 4 2016 年航道回淤量分布



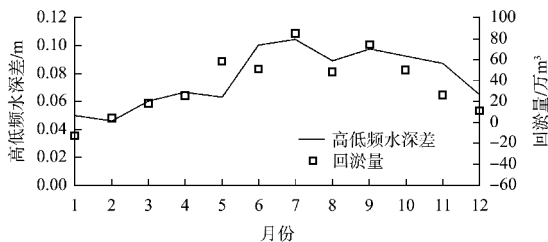
a) J单元



b) K单元



c) L单元



d) M单元

图 5 J~M 单元高低频水深差与回淤量的月度变化对比

2.4 浮泥适航水深利用

根据国内外研究成果，小于一定密度的浮泥对船舶安全航行并没有影响，这一范围内的浮泥厚度是可以作为适航水深加以利用的。为促进和规范适航水深的利用，交通运输部于 2006 年发布了《淤泥质海港适航水深应用技术规范》。目前天津港、连云港和广州港的部分港口航道已开展适航水深研究并得到应用，取得了显著的经济效益。根据目前长江口 12.5 m 深水航道实行的考核测量办法，通航水深利用高频测深结果确定，一般仅利用了水面到浮泥表面的水深；而为了保障航道通航深度，对有可能利用的浮泥需全部采用疏浚手段清除，显著增加了航道维护成本。经上海河口海岸科学研究中心研究得出^[6]，综合考虑实际应用和管理便利性的需要，建议在试用适航水深期间，长江口 12.5 m 深水航道内适航水深浮泥密度标准值统一采用 1.224 t/m³，通过采用 SILAS 浮泥观测系统可以获取浮泥密度及浮泥层声学信息，确定浮泥适航层。基于低频水深减去适航修正量（相同高低频水深差条件下的历史实测最大低频水深与适航密度界面间距离）的思路提出长江口 12.5 m 深水航道适航水深测量技术方案，该方案是一种偏于安全的适航水深利用方案，侧重于在追求简便、快速的前提下额外利用部分适航水深资源，减少疏浚维护量，更有利于制定疏浚施工计划。

3 精细化维护疏浚方案

3.1 方案建议

基于浮泥厚度、高低频水深差、高频水深以及回淤量4个因子的变化过程，提出精细化疏浚方案(图6)建议。

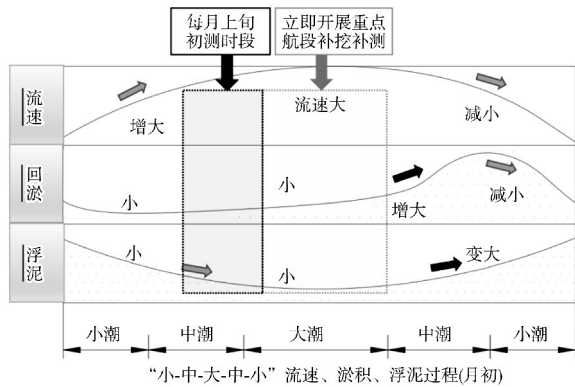


图6 疏浚建议方案

1) 航道考核初测时段应优先安排在潮动力增加的中潮-大潮时段。一般在每月上旬的中潮转大潮时期完成航道水深考核初测，该时段对应的北槽中段的浮泥厚度、高低频水深差、航道回淤都较小，航道高频水深相对较深，浮泥及高低频水深差的变化对考核测量的干扰较小，且可预留一定的强潮动力大潮时段开展补挖补测。

2) 航道考核初测后，根据测图安排重点区段的补挖补测。航道考核初测之后预留了一段强潮动力大潮时段，此时疏浚效率较高，可以有效利用潮动力的泥沙输运能力，用尽量少的时间和维护疏浚量消除航道考核初测发现的浅点，帮助航道较快地通过水深考核，满足通航要求。

3) 在潮动力减弱的小潮期间，适当延长航道考核水深补测的时间间隔。一般来说，潮动力减弱的中潮转小潮期间北槽中段的浮泥厚度较大、高频水深较浅和高低频水深差较大，小潮前期的回淤强度也较大，因此可适当延长该时段航道考

核水深补测的时间间隔，尽可能多地利用长江口自身强大动力将航道浮泥向口外输移，以减少航道疏浚量。

4) 总体来看，洪季的高低频水深差、浮泥厚度及回淤强度等均明显大于枯季，建议优先在洪季实施精细化维护疏浚方案。

3.2 应用效果分析

精细化维护疏浚试用于2020年洪季航道疏浚施工后，有效减小了浮泥、高低频水深差等变化过程对航道考核测量和航道维护疏浚的干扰，提高了航道维护疏浚的精细化管理水平，取得了一定成效。在常态天气条件下，根据数模预测，精细化疏浚方案实施后可以减少航道考核补挖补测时间，并有效减少航道考核初测图上需要疏浚的回淤土。

3.3 其他建议

由于现场维护施工条件复杂性以及不同类型的疏浚船舶实际操作的差异性，难以制定统一的疏浚溢流和疏浚频次方案。根据前期的研究结论及水沙运输机制的角度提出施工建议。1) 不建议在动力较小时(平均流速0.5~1.0 m/s)进行长时间溢流(图7)，该时段的长江口细颗粒泥沙不易悬扬，长时间溢流的泥沙沉降淤积的影响相对较大。2) 在航道中段，重点补挖补测时的疏浚效率是相对较高的，可以适当增加疏浚频次；小流速时段疏浚效率较低，可适当减小强淤积段的疏浚频次。3) 利用自身落潮动力带走低密度浮泥。根据研究可知，涨落潮动力条件下的航道淤积和浮泥分布特征差异明显，北槽中段落潮动力下的淤积与浮泥厚度都相对较小，因此建议适当减小强潮动力下、落潮时段的施工强度，让其更利于自身落潮动力带走一部分的低密度近底浮泥，从而减少疏浚维护量。

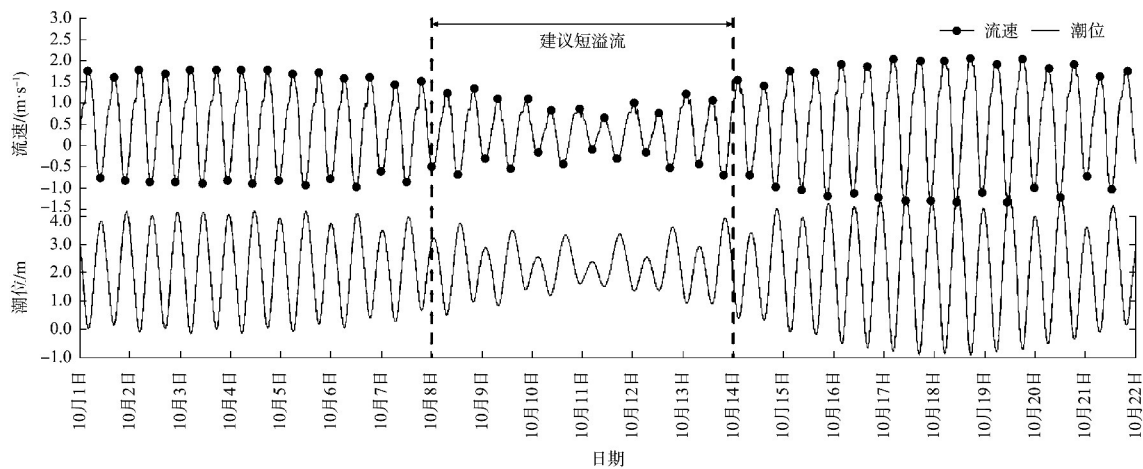


图7 溢流时间控制

4 结论

1) 常态天气条件下长江口深水航道高低频水深差基本在 0~30 cm, 总体上洪季的高低频水深差幅度大于枯季。潮动力越强, 北槽中段相应的浮泥厚度及换算为原状土方量越小; 潮动力越大, 单日内浮泥分布区域变化范围则越大。北槽航道中段洪季的浮泥厚度要远大于枯季。航道回淤量具有随高低频水深差的增加而增加的特征。密度小于 1.224 t/m^3 的浮泥厚度可作为适航水深利用, 能够减少疏浚维护量, 更有利于制定疏浚施工计划。

2) 航道考核初测时段应优先安排在潮动力增加的中潮-大潮时段; 航道考核初测之后根据测图安排重点区段的补挖补测; 在潮动力减弱的小潮期间, 适当延长航道考核水深补测的时间间隔; 优先在洪季实施精细化维护疏浚方案。

3) 精细化维护疏浚试应用后, 有效减小了浮泥、高低频水深差等变化过程对航道考核测量和航道维护疏浚的干扰, 提高了航道维护疏浚的精细化管理水平。

4) 不建议在动力较小(平均流速 $0.5 \sim 1.0 \text{ m/s}$) 时进行长时间溢流; 在航道中段, 建议在重点补挖补测时段增加疏浚频次, 在补挖补测的小流速时段适当减小强淤积段的疏浚频次; 利用自身落潮动力带走低密度浮泥, 从而减少疏浚维护量。

参考文献:

- [1] 付桂, 应铭, 左书华, 等. 长江口深水航道减淤工程实施效果评价[J]. 水运工程, 2022(12): 134-139, 203.
- [2] 冯俊. 浮泥发育时双频回声测深误差及其对适航水深监测的影响[J]. 水运工程, 2011(8): 83-87.
- [3] 付桂, 刘栋, 李为华. 长江口水域现场监测技术的创新与实践[J]. 中国水运, 2022(S2): 88-95.
- [4] 李为华, 时连强, 刘猛, 等. 河口海岸浮泥观测技术、特性及运移规律研究进展[J]. 泥沙研究, 2013(1): 74-80.
- [5] 上海河口海岸科学研究中心. 北槽深水航道浮泥运移过程及精细化维护疏浚应用研究[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2021.
- [6] 上海河口海岸科学研究中心. 长江口 12.5 m 深水航道浮泥运移规律与适航水深应用研究总报告[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2013.

(本文编辑 王传瑜)

欢迎投稿 欢迎订阅