



苏北辐射沙洲小庙洪水道 人工深水航道建设条件分析

黄志扬, 刘红, 张建锋, 丁琦

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 针对在苏北辐射沙洲海域是否具备建设深水航道条件有待深入研究的现状, 围绕该海域即将建设的首条人工深水航道——吕四 10 万吨级深水航道建设工程, 在归纳工程海区水沙运动特性和岸滩演变趋势的基础上, 结合试挖槽回淤分析和水沙数学模型研究, 对辐射沙洲南缘小庙洪水道深水航道的建设条件进行分析和探讨。研究表明: 小庙洪南水道水流沿深槽、潮动力较强, 含沙量总体不大, 近期深槽格局相对稳定, 为吕四 10 万吨级深水航道的建设创造了有利条件; 正常天气情况下航道回淤强度不大, 即使在 5 a 一遇大风作用下, 航道回淤也并不严重; 小庙洪南水道基本具备 10 万吨级深水航道的建设条件。

关键词: 辐射沙洲; 小庙洪水道; 航道建设条件; 海床演变; 回淤预测

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)12-0086-06

Construction condition analysis of Xiaomiaohong waterway artificial deep-water channel at radial sand ridges in north Jiangsu

HUANG Zhi-yang, LIU Hong, ZHANG Jian-feng, DING Qi

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Due to lack of research on the construction condition of the artificial deep-water channel in the radial sand ridges area of the south Yellow Sea, we analyze comprehensively the construction condition of Lyusi artificial 100 000 DWT deep-water channel based on the research on water flow condition, sediment condition, seabed evolution and siltation intensity. The results show that the water flow is strong and seabed is stable. Furthermore, the results of the trial dredged channel observation and back silting prediction show that the siltation intensity is not serious under normal weather, and even under 5-year frequency wind. So it's basically suitable for constructing 100 000 DWT deep-water channel at the southern channel of Xiaomiaohong waterway.

Keywords: radial sand ridges; Xiaomiaohong waterway; waterway construction condition; seabed evolution; back silting prediction

苏北辐射沙洲自射阳河口以南至长江口北岸, 以东台盐港为中心, 长条状向北、东北及东南方向延伸呈辐射状分布, 是我国江苏沿海历史上长江和黄河入海的松散沉积物在独特的潮波系统以及滩槽间的横向环流作用下, 发育而成的大规模

辐射沙脊群^[1-2], 沙脊群中脊—槽相间, 部分沙脊之间的潮汐通道水深达 10 ~ 15 m。经过长期的海床调整演变, 辐射沙洲的整体格局已总体稳定^[3-4]。但是, 由于海域底质以粉砂或淤泥质粉砂为主, 底质具有起动流速小、沉降速度大、沉积

收稿日期: 2015-05-11

作者简介: 黄志扬 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口及航道设计工作。

密实快的特点^[5], 航道开挖后的回淤问题一直制约着苏北辐射沙洲海域港口、航道的开发建设, 苏北辐射沙洲区一度被认为是建港禁区。

目前苏北辐射沙洲海域的航道均为自然水深航道。随着江苏沿海经济和港口的快速发展, 地处辐射沙洲海域的吕四、洋口、大丰等港区进港航道均有疏浚扩建的强烈需求, 如吕四港区进港航道目前为依托辐射沙洲南缘小庙洪南水道的3.5万吨级自然水深航道, 近期拟扩建至10万吨级航道规模。但是在辐射沙洲海域建设深水航道是否具备建设条件, 尤其是航道开挖后是否具有可维护性, 尚无先例, 有待深入研究。

本文就苏北辐射沙洲海域首条人工深水航道——吕四10万吨级深水航道的建设条件, 围绕航道建设关注的水沙环境、海床稳定性, 以及航道后期可维护性等关键技术问题进行了分析和探讨, 为该工程的建设提供重要依据, 也为本海域类似工程的建设提供科学参考。

1 工程概况

南通吕四港区地处长江口北翼, 辐射沙洲南缘。拟建的吕四10万吨级深水航道工程位于辐射沙洲最南缘的大型潮汐通道——小庙洪水道。该水道是在吕四地区长江口古地貌基础上, 在全新世海侵、海退沉积环境变迁背景下形成发展的, 经历了水下泄流汉道、潮汐水道和潮汐深槽的过程^[1]。目前小庙洪水道总长约38.5 km, 最宽在东面口门处、水道宽约15 km, 水道中部宽约5 km, 10 m等深线大部分贯通。口门段的横沙、乌龙沙2个沙洲将口门分成北水道、中水道和南水道。

拟建深水航道从大湾洪18 m等深线开始, 沿大湾洪深槽进入小庙洪南水道后, 一直延伸至吕四大唐电厂西侧挖入式港池支航道处(图1)。航道设计底高程-13.1 m, 通航宽度210 m, 满足10万吨级散货船单向乘潮通航要求^[7]; 航道总长53.4 km, 其中疏浚段长约19 km, 航道最大挖泥厚度4.8 m, 平均挖泥厚度2.5 m。

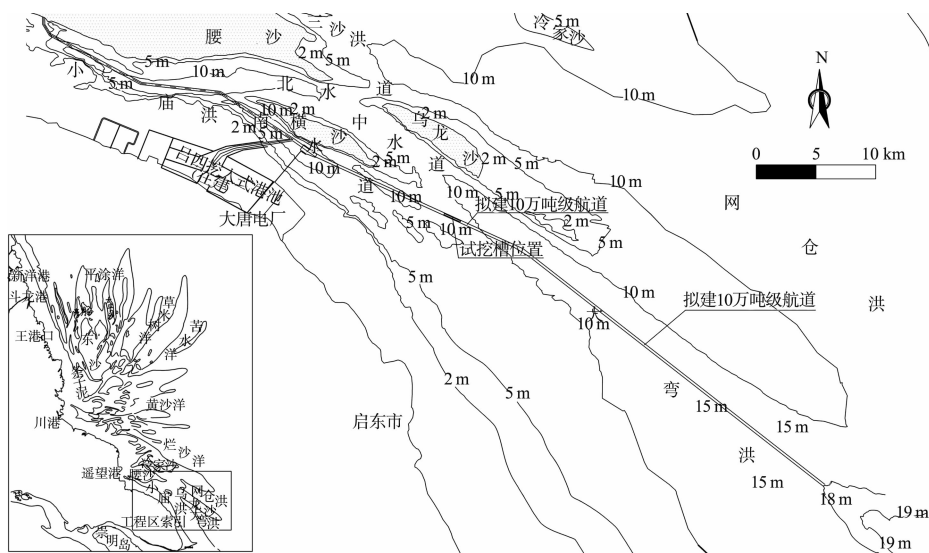


图1 工程概位

2 深水航道建设的水动力及泥沙环境

小庙洪水道与辐射沙洲其它大型潮汐汉道最大的不同之处在于其尾部并不与相邻的潮汐通道连通, 其北侧的腰沙将水道尾部与北部的三沙洪深槽隔离, 在涨落潮过程中, 越过腰沙滩脊自由交换的潮流很少, 小庙洪水道是个相对独立的水、沙系统。总体而言, 吕四深水航道建设依托的大

湾洪水道和小庙洪南水道, 水流为沿深槽的潮动力相对较强的往复流, 且含沙量不大; 北侧有横沙、乌龙的天然掩护, 波浪相对较小, 以上均为深水航道建设提供了有利的水沙条件。

2.1 水动力条件

吕四近海潮流主要受东海前进波的控制, 为正规半日潮。海域潮差较大——平均潮差3.53 m,

实测最大潮差达 7.31 m, 且受小庙洪水道外宽内窄喇叭型地形影响, 越往湾顶潮差越大。

受滩槽地形影响, 小庙洪水道往复流性质比较明显, 涨潮流向西北, 落潮流向东南, 水流主流沿深槽、且与航道轴线夹角较小, 夹角基本在 15° 以内 (图 2)。小庙洪南水道深槽内潮动力较强, 深槽大潮涨、落急流速分别为 1.57 m/s 和 1.41 m/s, 涨、落潮平均流速分别约为 0.93 m/s 和 0.82 m/s, 涨潮流速大于落潮流速。

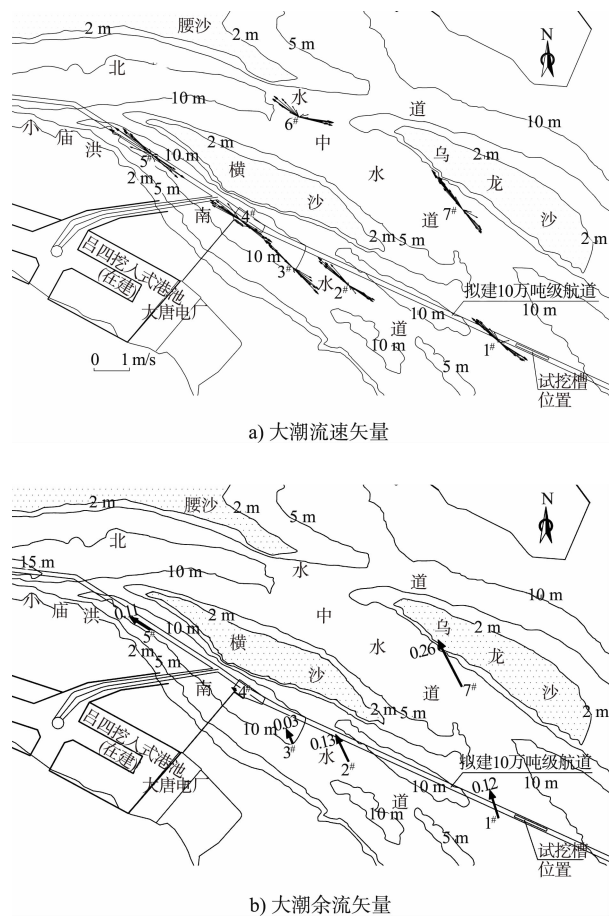


图 2 工程海域大潮流速和余流矢量图

小庙洪南水道各测点大潮余流流速在 0.03 ~ 0.13 m/s 之间, 余流方向总体与深槽走向一致, 且指向涨潮流方向。涨潮单宽潮量大于落潮潮量, 潮量以净进潮量为主。

小庙洪水道南侧为陆地岸线, 北侧有腰沙、横沙和乌龙沙的天然掩护, 全年波浪不大, 各方向的年平均波高约 0.48 m (不包括无浪天), 全年无浪天占全年的 43%, 小于 0.5 m 的波高占

84%, 1.0 m 以上波高仅占 3.7%。

2.2 泥沙环境

工程海域含沙量总体不大, 且呈现大潮大于小潮, 涨潮大于落潮, 冬季大于夏季、浅滩大于深槽的特征。现场测验表明, 正常天气情况下海区全年平均含沙量约 0.26 kg/m^3 , 其中冬、夏季分别为 0.37 kg/m^3 和 0.23 kg/m^3 。悬沙中值粒径 $0.0081 \sim 0.0087 \text{ mm}$, 以黏性细颗粒泥沙为主。

受波浪掀沙作用, 大风作用期间含沙量明显增大。从 2011 年 1 月寒潮大风期间座底综合观测成果看, 此次寒潮平均风力 7 级, 极大风速为 21 m/s, 大风期间近底层 (距底 0.5 m) 平均含沙量为 1.10 kg/m^3 , 较平常天气情况下含沙量明显增加。

工程海域底质以粉质黏土、粉土和细砂为主, 平面分布上总体呈现“深槽细、浅滩粗”的特征, 其中 7 m 以深水域泥沙中值粒径在 $0.0125 \sim 0.0873 \text{ mm}$, 主要为粉土或粉质黏土; 7 m 以浅泥沙中值粒径在 $0.1612 \sim 0.2096 \text{ mm}$, 以细砂为主。

3 深水航道建设与海床演变的适应性分析

拟建的吕四 10 万吨级深水航道工程主要依托小庙洪南水道深槽, 深槽南侧为陆地岸线, 北侧为横沙、乌龙沙沙体。海岸演变是前述水动力和泥沙运动综合作用的结果, 海区北侧横沙、乌龙沙沙体的稳定直接关系到工程海域滩槽格局的稳定, 是深水航道建设依托的重要条件。以下通过分析沙体演变特性与深槽稳定性来论证深水航道建设与海床演变的适应性。

3.1 沙体演变特征

横沙 0 m 以浅沙体 1989 年原为 3 个独立的沙体, 2000 年以来合并成 1 个沿 WNW ~ ESE 方向的长条形沙体 (图 3)。此后, 横沙 0 m 沙体总体稳定, 沙体面积基本稳定在 640 万 ~ 760 万 m^2 (表 1)。

乌龙沙自 1989 年以来一直为独立的沙体, 沙体长轴方向与横沙轴向基本一致。从沙体大小看, 1989 年乌龙沙 0 m 沙体面积较小, 仅为 12.1 万 m^2 ; 2000 年以后沙体面积明显扩大, 面积基本稳定在 640 万 ~ 870 万 m^2 , 且形态稳定。

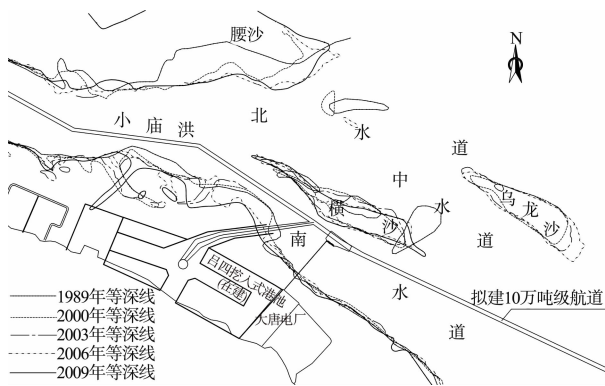


图 3 小庙洪水道 0 m 等深线变化

表 1 横沙、乌龙沙 0 m 以浅沙体面积 万 m²

| 年份 | 横沙 | 乌龙沙 |
|------|-------|-------|
| 1989 | 550.7 | 12.1 |
| 2000 | 640.9 | 639.6 |
| 2003 | 763.6 | 767.2 |
| 2006 | 677.8 | 871.9 |
| 2009 | 758.5 | 773.5 |

1989 年横沙和乌龙沙 5 m 沙体相连, 2000 年连接横沙和乌龙沙之间的串沟有冲开之势 (图 4)。2003 年以后, 乌龙沙—横沙间 5 m 通道进一步发展, 目前水道水深基本在 8~9 m, 且横沙、乌龙沙 5 m 沙体面积分别基本稳定在 2 200 万 m² 和 6 200 万 m² 左右。

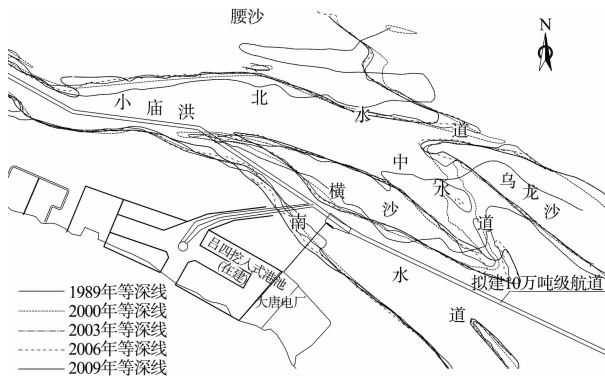


图 4 小庙洪水道 5 m 等深线变化

3.2 深槽稳定性分析

1989 年后小庙洪北水道 10 m 深槽逐渐衰退, 南水道 10 m 深槽逐渐发展, 到 2000 年后南水道 10 m 深槽总体贯通, 且至今的 10 多年深槽位置比较稳定。

小庙洪南水道 10 m 深槽在大唐电厂码头下游

约 2.5 km 处分为南、北两汉 (图 5)。1989—2000 年, 两汉道深槽均向外海延伸, 发展明显。而 2000 年以来, 尤其是电厂码头栈桥新建后, 局部流场改变, 南、北汉局部淤积, 且南汉较北汉略大。2000 年以后南汉 10 m 深槽向大弯洪深槽方向有所延伸, 为深水航道选择南汉创造了条件。

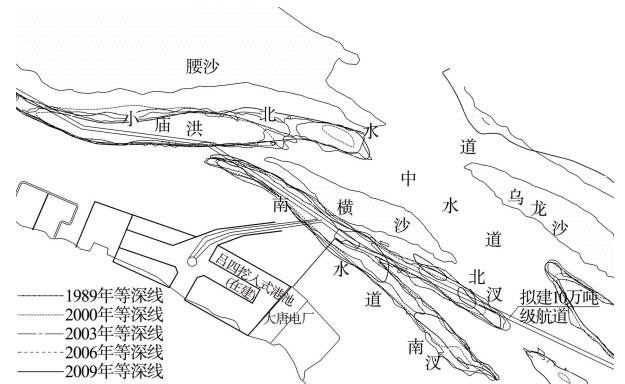


图 5 小庙洪水道 10 m 等深线变化

总体来看, 2000 年以前小庙洪北水道深槽逐渐萎缩, 南水道深槽充分发育。2000 年以后, 横沙、乌龙沙沙体虽然局部有小的调整, 但总体稳定; 小庙洪 10 m 深槽、特别是南水道 10 m 深槽位置相对稳定, 且向外海略有延伸, 滩槽格局的总体稳定为深水航道建设创造了有利条件。

4 深水航道建设可维护性分析

航道可维护性是航道建设最关注的问题之一, 也是航道建设关键技术难点。要解决航道可维护性问题, 关键要科学预测航道建设后的回淤强度, 特别是大风天的回淤强度。对于航道回淤强度的预测, 国内外常采用的方法为经验公式预测、数值模拟计算、物理模型试验; 对于建设条件复杂、特别是无航道建设工程实践的新海域, 往往会进一步开展现场试挖试验^[8,9]。以下通过试挖槽回淤监测成果分析及航道回淤预测情况论证深水航道建设的可维护性。

4.1 试挖槽回淤情况

鉴于苏北辐射沙洲海域至今没有人工航道开挖的工程实践, 为了科学、审慎地推进本海域首条人工航道的建设, 于 2010 年在工程海域开展了

航道试挖工作。航道试挖槽布置在小庙洪南水道与横沙—乌龙沙汊道两股水流交汇的航道段。

试挖槽长 1 500 m、底宽 100 m，试挖槽浚前、浚后平均水深分别为 8.18 m 和 10.41 m，平均挖泥厚度 2.23 m。竣工后进行了为期 1 个完整水文年的回淤监测研究，监测内容包括水深测量、水文测验、底质取样、大风天座底综合观测等。

回淤监测结果^[10]表明，经过 1 年的自然淤积，试挖槽累计淤积厚度 1.02 m，其中“梅花”强台风期间淤积 0.28 m（图 6）。若扣除“梅花”强台风影响，则得到试挖槽在正常天气情况下的淤积强度约为 0.74 m。总体来看，试挖槽在正常天气情况下回淤不大，在 5~10 a 一遇的梅花台风作用下也未出现明显“骤淤”现象，具备开挖后的可维护性。

另外，由于试挖槽布置在横沙—乌龙沙汊道与小庙洪水流交汇处的航道段，泥沙相对容易落淤，且试挖槽处半封闭状态，泥沙落淤后较难带出，而今后航道将浅滩贯通，且有船舶通航扰动，挖槽底部水体的输沙能力将有所增加，所以在同等挖深的情况下，航道回淤强度将比本次监测值还要小，试挖槽监测的回淤强度是偏安全的。

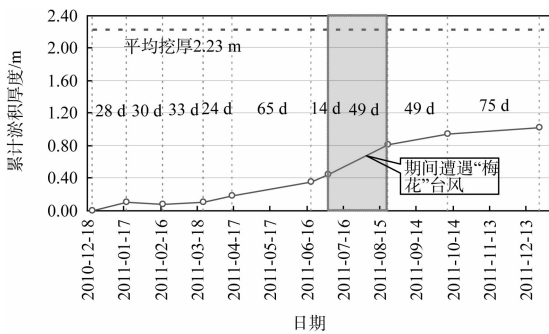


图 6 试挖槽内累计回淤厚度^[10]

4.2 航道回淤预测

采用二维潮流泥沙数学模型与经验公式等方法，对正常天气下与 5 a 一遇大风作用下吕四 10 万吨级进港航道回淤强度进行了预测。二维潮流泥沙数学模型范围南起长江口北支连兴港，北至辐射沙洲的烂沙洋水域，东侧边界位于辐射沙洲外

20~30 m 等深线所在海域，计算区域采用任意贴体坐标进行网格划分。模型基本控制方程包括水流运动方程、悬沙不平衡输移方程、推移质不平衡输移方程及底床变形方程^[11]，方程解算采用有限差分法中的 DSI 法^[11]。模型水沙率定与验证采用 2009 年 3 月和 2011 年 1 月实测资料，地形的验证采用试挖槽 2010 年 12 月—2011 年 12 月的回淤资料。

1) 正常天气下回淤强度预测。

采用数值模拟进行正常天气情况下航道回淤预测时，基于实测水流、含沙量、地形对模型进行验证后，进一步耦合工程海域常风向平均风速条件下的波浪场，进而模拟计算得到航道建设后正常天气情况下的水沙特征和航道回淤强度，预测结果见图 7。

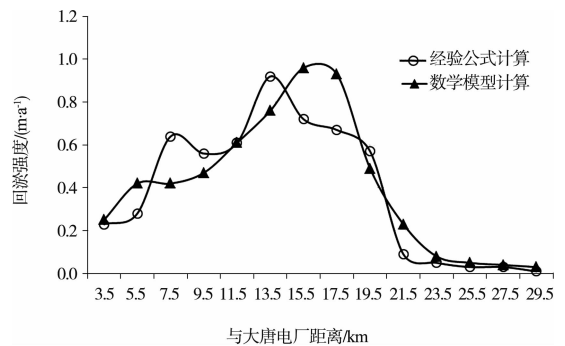


图 7 正常天气情况下吕四 10 万吨级航道沿程回淤强度预测

根据试挖槽回淤物粒度分析成果表明，工程海域挖槽回淤为悬沙落淤和底沙输移共同作用的结果^[10-12]。因此在采用经验公式进行回淤预测时，同时考虑了悬沙落淤和底沙淤积，其中悬沙落淤预测采用刘家驹公式^[13-14]、底沙淤积预测采用罗肇森公式^[15-16]，其中公式中泥沙沉降速度取 0.000 5 m/s，冬、夏季分别为 0.37 kg/m³ 和 0.23 kg/m³，淤积物干密度综合淤积泥沙中值粒径和取样试验成果取 750 kg/m³，最后经验公式回淤预测结果见图 7。

综合潮流泥沙数值模拟和经验公式预测结果分析表明，吕四 10 万吨级深水航道正常天气情况下的航道沿程年均回淤强度约 0.4 m/a，沿程最大

回淤强度约 1.0 m/a, 最大值出现在横沙—乌龙沙串沟与南水道水流交汇处(试挖槽附近区段)。统计表明, 航道年回淤量约 230 万 m^3 。

2) 5 a 一遇大风天气下航道回淤强度预测。

根据工程海域常风向和强风向特征, 分别推算当地 N 向和 ESE 向 5 a 一遇大风(相当于 9 级风)作用下的波浪场, 并与已验证的潮流模型进行耦合, 进而模拟 5 a 一遇大风情况的水沙特征及航道回淤情况。计算表明, 1 次大风过程(大风作用 1 d) N 向风作用下最大回淤厚度约为 0.34 m, 回淤量约 94 万 m^3 ; ESE 向风作用下最大回淤厚度约为 0.25 m, 回淤量约 67.2 万 m^3 。总的来看, 在 5 a 一遇大风作用下航道回淤也并不太严重, 深水航道建设具有可维护性。

5 结语

1) 吕四深水航道建设依托的大湾洪水道和小庙洪南水道水流为沿深槽的往复流, 且潮动力相对较强, 含沙量不大, 波浪掩护条件良好; 近 10 余年来小庙洪水道口门段北水道深槽萎缩, 南水道充分发育, 且南水道滩槽格局总体稳定, 为吕四 10 万吨级深水航道的建设创造了有利条件。

2) 试挖槽监测结果表明, 在正常天气情况下, 试挖槽回淤不大; 在极端天气(5~10 a 一遇的“梅花”台风)作用下也未出现明显“骤淤”现象, 表明工程海域具备建设深水航道的前景。

3) 潮流泥沙数学模型和经验公式计算结果表明, 吕四 10 万吨级航道正常天气情况下的年均回淤强度约 0.4 m/a, 最大回淤强度约 1.0 m/a; 大风天的淤积强度也不太严重, 小庙洪南水道建设 10 万吨级深水航道维护具可持续性。

4) 较强的潮动力是小庙洪水道深槽维持的重要水流条件, 后期需关注小庙洪水道湾顶滩涂围垦对纳潮量和深槽水动力的影响。另外, 考虑到工程海域无人工航道建设工程的实践, 且吕四 10 万吨级航道疏浚量和投资较大, 建议航道采取分期实

施; 通过分期建设, 逐步获得现场回淤资料、掌握回淤规律, 为后期工程建设提供更好的技术支撑。

参考文献:

- [1] 李孟国. 辐射沙洲研究开发的进展[J]. 水道港口, 2011, 32(4): 229-243.
- [2] 任美镠. 江苏省海岸带与海涂资源调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1986.
- [3] 喻国华, 陆培东. 江苏吕四小庙洪淹没性潮汐汉道的稳定性[J]. 地理学报, 1996(2): 127-134.
- [4] 蔡明理, 马仲荃. 江苏辐射沙洲潮汐通道建港可行性初探—以黄沙洋为例[J]. 海岸工程, 1992, 11(3): 34-42.
- [5] 房宪英, 王文清, 叶和松. 吕泗海水动力特征及泥沙运移分析[J]. 海岸工程, 1985(1): 25-31.
- [6] 哈长伟, 陈沈良, 张文祥, 等. 江苏吕四海岸沉积动力特征及侵蚀过程[J]. 海洋通报, 2009(3): 53-61.
- [7] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 南通港吕四港区 10 万吨级进港航道工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计院有限公司, 2012.
- [8] 魏日征. 杭州湾深水航道试挖回淤观测研究[J]. 水运工程, 2002(10): 94-110.
- [9] 黄志扬, 丁健, 叶建国. 乐清湾港池试挖槽回淤监测[J]. 中国港湾建设, 2012(5): 43-46.
- [10] 黄志扬, 丁健, 刘红, 等. 吕四进港航道试挖工程回淤监测研究[J]. 水运工程, 2012(12): 218-224.
- [11] 丁琦. 淤泥质海岸环抱式港池建设期的潮流泥沙数值模拟[J]. 水运工程, 2012(12): 38-44.
- [12] 刘红, 黄志扬, 丁健, 等. 挖槽回淤物粒度变化对航道回淤的影响[J]. 水利水运工程学报, 2015(2): 1-8.
- [13] 刘家驹. 粉沙淤泥质海岸的航道淤积[J]. 水利水运工程学报, 2004(1): 6-11.
- [14] 刘家驹, 喻国华. 海岸工程泥沙的研究和应用[J]. 水利水运科学研究, 1995(3): 221-223.
- [15] 罗肇森. 航道开挖后的淤积计算方法[J]. 泥沙研究, 1991(2): 79-83.
- [16] 罗肇森. 波、流共同作用下的近底泥沙输移及航道骤淤预报[J]. 泥沙研究, 2004(6): 1-9.