



通州湾港区一港池回淤对策

刘碧荣¹, 曾成杰²

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司 上海 200032; 2. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210024)

摘要: 通州湾港区一港池建在辐射沙洲南缘腰沙高滩上, 港池航道开挖后的回淤问题是工程设计关注的焦点。设计时通过研究工程海域潮流、波浪、泥沙、底质等自然特征, 分析影响回淤的主要因素, 从挡沙堤平面布置、备淤深度确定、维护疏浚、船舶吃水控制等方面提出一系列针对性措施。研究认为: 通州湾港区一港池建在粉砂质浅滩上, 港池航道开挖必会出现回淤, 但一港池坐北朝南, 受掩护情况较好, 产生骤淤的几率较小。先期可通过港池航道试挖、预留足够备淤水深、配备高效率的挖泥船、控制船舶吃水来应对回淤问题, 将来可结合回淤观测成果、维护难易程度、船舶进出港影响, 综合考虑是否建设挡沙堤。

关键词: 通州湾港区; 回淤; 挡沙堤; 备淤深度; 疏浚; 控制吃水

中图分类号: U 65; U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0076-07

Countermeasures against siltation of No.1 harbor basin of Tongzhou Bay port area

LIU Bi-rong¹, ZENG Cheng-jie²

(1.CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China; 2.Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: The No.1 harbor basin of the Tongzhou Bay port area is built at Yaosha, which is on the southern edge of the radiation sandbar, and siltation after channel excavation of the harbor basin is the focus of engineering design. In design, by studying the natural features of the engineering sea areas such as tidal current, wave, sediment, and substrate, and analyzing primary factors affecting siltation, we propose some countermeasures, such as layout of sand barriers, determination of the depth reserved for siltation, maintenance dredging, and draft control. The research reveals that since the No.1 harbor basin is built on a shallow silty beach, channel excavation of the harbor basin will result in siltation. However, the No.1 harbor basin has its entrance facing south and is well sheltered, so there is only a low risk of sudden sedimentation. In the first stage, we can cope with siltation by trial dredging in the harbor channel, reserving sufficient water depth for siltation, equipping an efficient dredger and controlling draft. In the future, we can consider whether to build a sand barrier or not by combining the results of siltation observation, the difficulty of maintenance and the influence of ships' entering and leaving the harbor basin.

Keywords: Tongzhou Bay port area; siltation; sand barrier; depth reserved for siltation; dredging; controlling draft

南通港通州湾港区位于长江口北翼(图1), 具有长三角一体化和江苏新出海口多重战略优势, 规划在苏北辐射沙洲腰沙附近建设3个港池^[1](图2)。一港池位于腰沙沙体南侧, 目前已圈围, 港池坐北朝南, 底质以粉砂为主, 黏粒含量一般

不超过5%, 作为粉砂质海岸, 在强波浪强水流动作用下, 泥沙易淤积在开挖区底部。季则舟^[2]分析粉砂质海岸泥沙淤积特点, 提出粉砂质海岸港口布置基本模式有挖入式、近岸填筑式和离岸岛式, 潍坊港和洋口港是离岸岛式, 黄骅港是近

岸填筑式, 京唐港是挖入式, 除洋口港水深条件较好, 其他港口均受泥沙淤积影响, 因此近岸填筑式和挖入式建设防沙堤是必要的。通州湾港区一港池目前为离岸岛式兼有近岸填筑和挖入式的特点。笔者通过分析一港池平面形态、水文泥沙、地形特征, 研究其回淤问题和对策措施, 对近期是否建设挡沙堤提出指导意见。



图1 工程地理位置

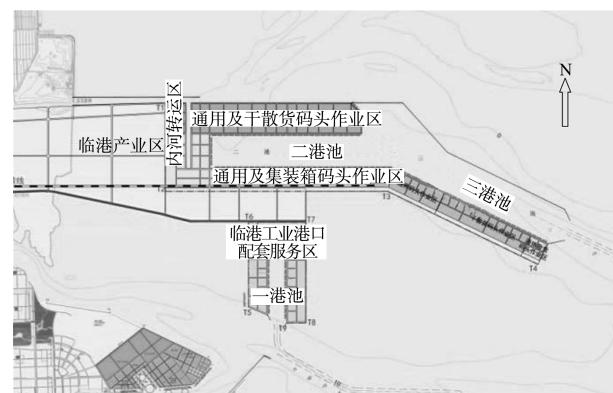


图2 通州湾港区规划

1 一港池平面布置

根据规划, 通州湾港区一港池布置为“Π”形, 通过挖填结合的方式, 对腰沙沙体根部0m线以上的高滩圈围形成陆域, 港池开口正南向与小庙洪水道连通, 与通州作业区最近距离3.5 km, 与海门5万吨级通用码头最近距离2.1 km, 距-5 m等深线最近距离仅1.1 km, 与蛎岈山前-15 m深槽最近距离1.7 km。一港池与小庙洪水道等深线相对位置如图3所示。

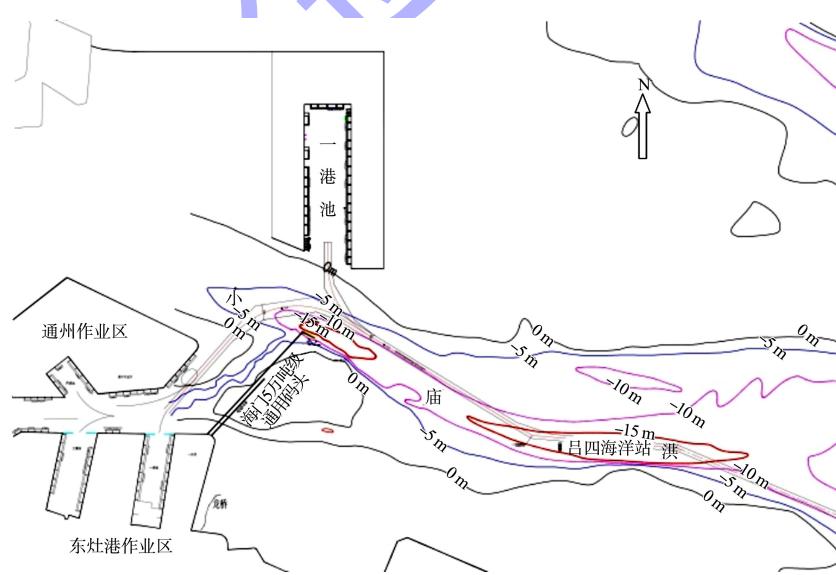


图3 一港池与小庙洪水道等深线相对位置

2 水文泥沙特征

2.1 波浪

根据吕四海洋站(位于小庙洪水道中部大洋港外侧海域, 见图3)1969—2001年实测波浪资料,

测站海域波浪方向主要集中在NW—N—E—SE向180°范围, 分向出现频率均在4%~6%; 常浪向为N、NE、NW向, 出现频率均为6.0%; 强浪向为NE, 实测最大波高为3.8 m; 次强浪向为NNW—

N 向, 实测最大波高为 3.3~3.5 m; 平均波高为 0.48 m; 无浪天数 ($H_{4\%} < 0.1$ m) 约占全年的 50%。根据一港池平面布置和周边地形地貌形态, 一港池及口门受 SE—SSE 向传入波浪影响较大, 其余方向均受掩护。统计 1981、1982、1987、1989、1990 年的波浪观测资料, SSE、SE 向各出现 1 次 2.0 m 以上波高 ($H_{1/10}$), SE 向出现 1 次 1.2~1.4 m 波高, 其余均不超过 1.1 m, 可见 SE—SSE 向波浪出现大浪的几率较小, 波高不大, 持续时间较短。研究表明一港池口门附近破波区局限在 0 m 以浅的区域, 破波掀沙的区域有限。

自大唐电厂一期建成以来, 吕四边滩经历了大范围圈围造地, 形成大唐电厂、吕四港区挖入式港池、东灶港作业区、通州作业区等新陆域(图 4), 使原陆地边线向海平均推进了 3 km, 水域宽度进一步缩窄, 开口进一步向 ESE 向集中, 一港池 SE—SSE 向出现大浪的频率进一步变小。



图 4 吕四海岸线变化

2.2 水流

根据 2014 年 9—10 月实测水流资料^[3], 小庙洪尾部水道中各测点水流均以往复流为主(图 5), 与通州湾海域潮汐水道中水流特性一致。涨潮最大流速发生在高潮前 3 h 左右, 落潮最大流速发生在低潮前 3 h 左右, 而高、低平潮附近流速最小。深槽区测点大潮垂线平均最大流速基本都在 1.2 m/s 以上, C3 点涨潮最大可达 1.51 m/s。拟建一港池口门处浅水区的 C2 和 C5 测点流速明显小于深槽区, 大潮涨潮最大流速分别为 1.04 和 0.94 m/s, 落潮最大流速分别为 0.72 和 0.73 m/s。

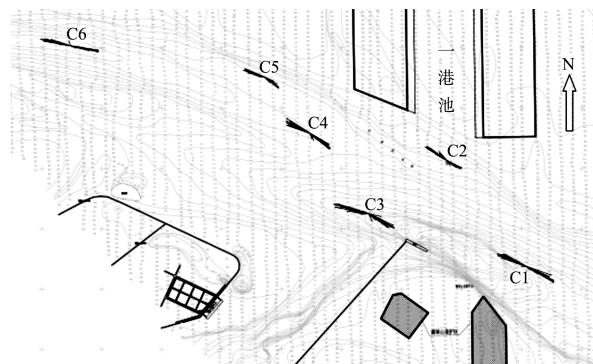


图 5 2014 年工程海域大潮垂线平均流矢图

由于港池口门方向与小庙洪水道中水流方向夹角较大, 口门段航道会有横流, 最大横流出现在中水位附近(图 6), 但在航宽足够的前提下, 横流对船舶正常进出港池不产生决定性影响。同时, 航道两侧浅滩的泥沙在横向水流作用下易向航槽输移沉积。

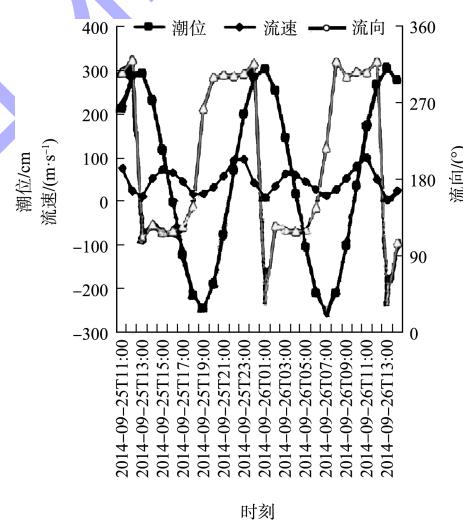


图 6 C2 实测潮流与潮位同步过程线

2.3 悬沙

苏北沿岸泥沙运动的总趋势是以弶港为中心, 北沙南移和南沙北移。长江流域来沙有 9% 左右向北进入江苏沿海辐射沙洲群^[4]。小庙洪水道大、中潮含沙量大于小潮, 冬季含沙量大于夏季, 水浅处含沙量大于水深处, 全年大、中、小潮平均含沙量为 0.26 kg/m³。含沙量沿垂线分布上小下大, 最大测点含沙量一般出现在底层或近底层, 实测最大含沙量为 1.123 kg/m³, 最小含沙量为 0.041 kg/m³。涨、落急时含沙量相对较大, 受波浪影响在流速较小时也会出现含沙量较大的情况。

悬沙中值粒径在 0.004~0.017 mm, 主要为细粉砂和极细粉砂。

2014 年 11 月, 在一港池口门附近开展了 3 个测点的大风天水体含沙量测量^[5], 测量期间达到 6 级风最长历时近 30 h, 大风期间风向主要为西风, 最大风速 14.1 m/s, 达到 7 级风速。

在 6 级西风作用下, DF-1 (-3.0 m)、DF-2 (-5.0 m)、DF-3 (-1.0 m) 测点(图 7)的最大波高分别为 1.65、1.47 和 1.35 m, 有效波高均不足 1 m, 浪向偏西, 此时 3 个测点的底层含沙量分别为 0.14、0.18 和 0.21 kg/m³。在流速最大时测得 3 点底层最大含沙量分别为 0.41、0.36 和 0.44 kg/m³, 对应波高为 0.10、0.20、0.39 m。上述测量结果显示: 在偏西向 6 级大风持续作用下, 一港池口门处波浪未能起动床沙, 潮流在泥沙掀扬和沉降过程中起主导作用。

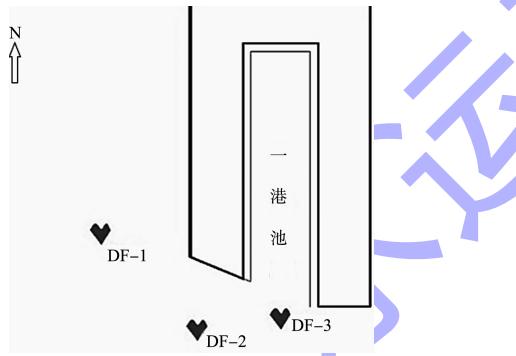


图 7 2014 年 11 月大风天含沙量测站位置

2.4 底质

根据 2014 年 10 月小庙洪尾部底质取样结果, 工程区附近底质以粉砂为主, 黏粒含量一般不超过 5%。小庙洪水道南侧间有细砂、黏质粉土和粉质黏土, 粒径小于 0.004 mm 的颗粒含沙量一般在 5%~15%; 高程在理论基面 4 m 以上的腰沙高滩上, 底质相对较细, 中值粒径一般在 0.1 mm 以下, 黏粒却未明显增多(图 8)。

通常粉沙起动流速小, 沉降速度大, 易动易沉, 在海水中泥沙不发生絮凝现象, 泥沙运移形态为悬移质与推移质共存, 引起泥沙运动的动力是波浪和潮流的共同作用, 其中波浪影响较大^[6], 港池及航道区受掩护情况决定了未来淤积程度。

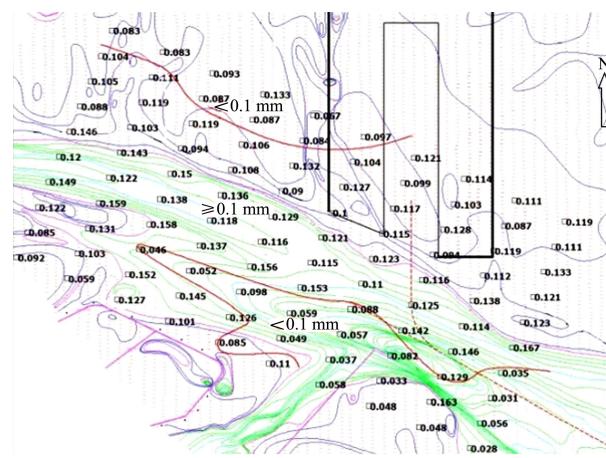


图 8 工程海域底质颗粒中值粒径等值线

3 应对回淤问题的思路

通常, 在开敞海域粉砂质浅滩中开挖的航道淤积现象较为严重。通州湾港区一港池虽然建在粉砂质浅滩上, 但口门坐北朝南, 西向与南向有陆岸阻挡, 北向与东向有腰沙沙体掩护, 仅在东南向掩护条件较差。根据波浪观测资料, 东南向出现大浪的几率较小, 大浪持续时间较短, 因此基本可以判定一港池口门段航道开挖后较难出现短时骤淤碍航现象。口门段航道走向与小庙洪水道水流方向夹角较大, 以悬沙和两侧浅滩向航道输沙所致的日常淤积为主, 设计时结合港区功能、口门布置特点和水文泥沙特征, 可采取事前预防和事后补救措施确保一港池建成后船舶正常进出港。

4 应对回淤问题的策略

4.1 事前预防

4.1.1 布设挡沙堤

根据历史海床演变分析结论^[7], 小庙洪水道的稳定需要有一定的纳潮量维持, 从稳定尾部滩槽格局的角度出发, 一港池口门挡沙堤布置不宜过长。在满足航道转弯半径的前提下, 考虑口门段存在水流双向输沙, 设计倒“八”字口的挡沙堤方案; 为使陆地边界平顺连接, 航道区缩水攻沙, 布置平口缩窄的挡沙堤方案; 计算显示小庙洪水道尾部净输沙方向由东向西, 布置错口的挡沙堤方案^[8](图 9)。

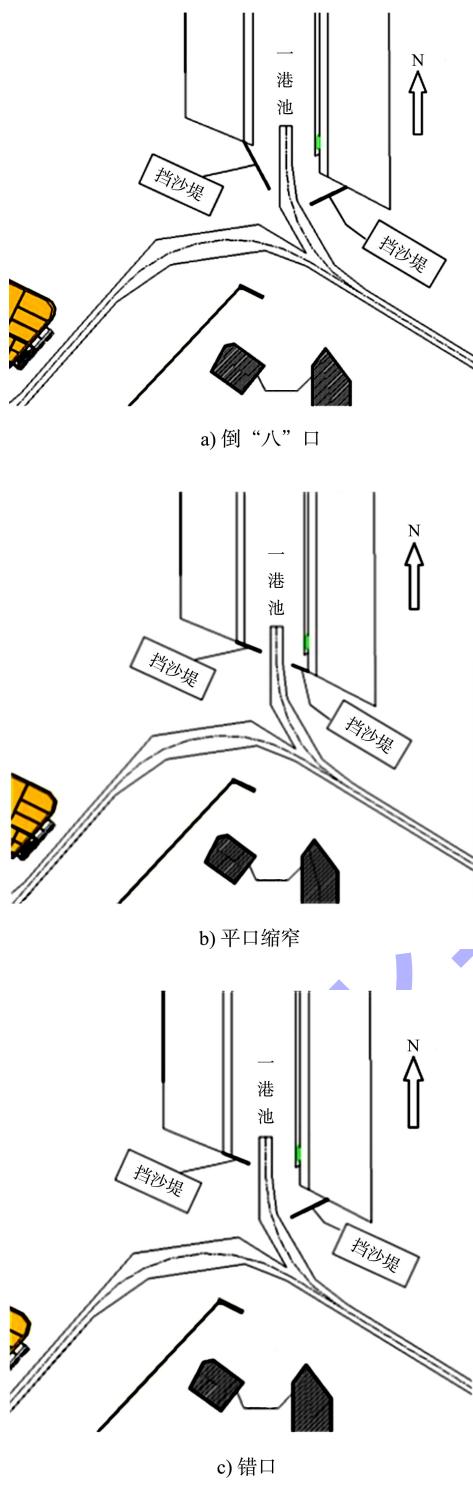


图 9 挡沙堤方案

物模研究^[9]表明：一港池口门不建挡沙堤或建平口缩窄挡沙堤，最大年淤强为 2.5 m 左右，年淤强大于 1.5 m 的区域长约 1 km，强淤积区集中在口门附近，最大横流为 0.56 m/s；建设“八”

字口和错口方案挡沙堤，口门附近最大年淤强 1.5 m 左右，最大横流为 0.79 和 0.63 m/s。前者较后者支航道年回淤量增加约 40 万 m³，港池年回淤量增加约 20 万 m³，口门附近横流较小，更有利船舶进出口门时的通航安全。一港池按 5 万吨级建设规模计算总开挖量约 6 000 万 m³，建设挡沙堤后减淤量仅为总开挖量的 1%，也限制了口门段航道宽度的提升，开普敦型船舶进出一港池将非常困难。由于强淤积区比较集中(图 10)，长度较小，主要是常年随流淤积，发生骤淤的几率较小，目前可采用定期疏浚的方式使水深达到使用要求，若航道回淤严重、维护较难、对船舶正常通航产生明显影响时，可考虑建设挡沙堤。

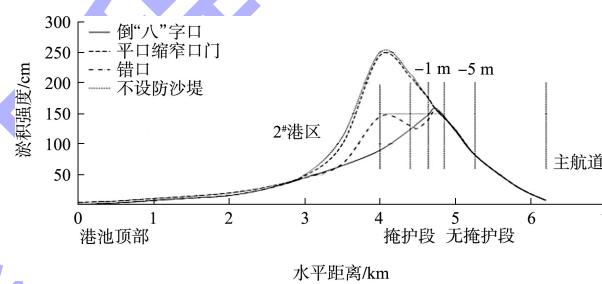


图 10 一港池支航道沿程淤积分布

4.1.2 支航道预留充足备淤深度

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》第 6.4.6 条，航道水深按式(1)计算：

$$D = D_0 + Z_4 \quad (1)$$

式中： D 为航道设计水深(m)； D_0 为航道通航水深(m)； Z_4 为备淤深度。

根据水流泥沙物模试验成果，建设倒“八”字口挡沙堤，口门区 -3.0 ~ -1.0 m 处回淤最大，正常天气情况下年回淤强度 1.5 m 左右，按年疏浚维护次数 2 次考虑，设计备淤深度取 0.8 ~ 1.0 m。不建挡沙堤，支航道最大年淤强可达 2.5 m，口门附近不超过 1.0 km 范围内年淤强超过 1.5 m，可考虑该区段内另增加 0.5 ~ 1.0 m 的备淤深度(图 11)，估算增加基建疏浚工程量仅 10 万 ~ 20 万 m³，足够的备淤深度可减少航道水深维护的频次，减轻维护性疏浚对港区营运的影响。

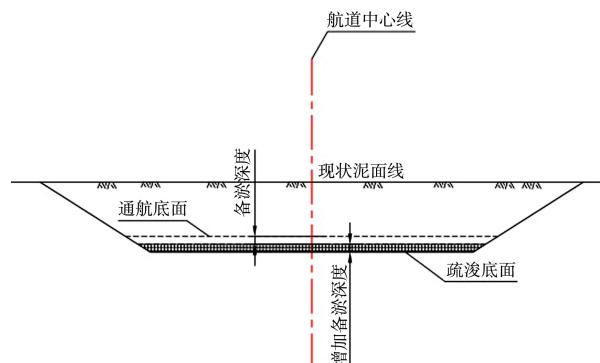


图 11 增加备淤深度

4.1.3 扩大疏浚范围, 减少支航道两侧浅滩供沙

粉砂质海岸航道两侧浅滩往往是航道回淤泥沙的主要来源, 波浪掀沙、潮流输沙是该海岸泥沙迁移的重要方式与主要过程, 在大风浪作用下, 水体临底部易形成高浓度含沙层, 随流搬运使航道产生骤淤现象。研究显示在目前小庙洪水道尾部滩槽格局下, 一港池口门附近大浪破波区范围局限在 0 m 以浅的近岸水域, 破波区内床沙易起动悬扬, 导致水体含沙量增大, 在该区域内开挖的航槽回淤较为严重。通州湾港区陆域形成需要巨量的回填料, 本地浅滩是回填料的优质来源, 除港池航道开挖疏浚土用于吹填外, 通常还需另觅其他的取沙区用于吹填。结合支航道防淤减淤要求, 考虑在一港池口门支航道两侧 0 m 以浅的区域(图 12)进行定期取沙^[10], 首期疏浚量约 500 万 m³。该区域浚深后, ESE 向大浪将难以掀起航道两侧浅滩上的床沙, 同时因过流面积增大, 流速减小, 船舶转弯进出港更易操纵, 水体挟沙能力的减小可使悬沙更多淤积在航道区外, 相对减少航道区淤积。



图 12 增加浅滩疏浚范围

4.2 事后补救

4.2.1 配置高效率适应性强的疏浚船舶

航道港池淤积后的补救措施主要是疏浚。规划的通州湾港区未来港池及航道大多需人工开挖, 开挖区回淤应是常态, 港区需专门配备大型高效率的挖泥船进行水深维护。根据前述悬沙及床沙特征, 疏浚土以粉砂和细粉砂为主, 采用带艏吹功能的自航大型耙吸式挖泥船以溢流模式施工, 施工效率高, 可自动避让, 不影响航道正常通航。弃土区可就近安排在一港池口门附近围区内, 距离不超过 1 km, 采用舱容 1.3 万 m³ 的耙吸式挖泥船清淤较舱容 4 500 m³ 的耙吸式挖泥船可节约 1/2 的清淤时间。随着南通建设江苏新的出海口——通州湾港区进程的加快, 港区亟需配备高效疏浚设备定期对航道和港池进行清淤。目前, 最新的挖泥船配备自动化程度高的疏浚控制系统, 具有自动吃水控制、航速控制、耙吸系统和排放控制等诸多功能, 可在各种工况下实现智能疏浚, 施工效率比人工操作提高近 15%, 最大生产率可达 1 万 m³/h 以上, 因此配置高效率适应性强的疏浚船舶对航道水深进行维护, 可防止淤积对港区营运产生重大影响。

4.2.2 加强水深监测, 控制船舶吃水

人工航道日常营运中水深监测十分重要。通过水深监测可及时发现淤积浅区, 历次水深测图对比也有利于发现淤积规律。在船舶进出港管理中, 船舶实际吃水一般以不超过航道设计船型满载吃水控制, 根据潮位预报和航道浅区的水深, 预先设定船舶最大吃水、留足富余水深, 以防止船舶航行时搁浅。通州湾一港池口门段航道淤积的泥沙一部分来自涨落潮流挟带的含沙水体, 另一部分来自两侧浅滩的供沙。基建疏浚结束后, 初期因两侧浅滩细颗粒泥沙易起动, 会导致挖槽内回淤较大, 但随着浅滩粗化和供沙能力的减弱, 回淤情况应会明显改善, 航道营运初期应定期监测水深, 加强大风后航道水深观测, 分析是否存在骤淤现象, 评估淤积对航道通航影响的程度, 采取相应的对策。

5 结论

1) 粉砂质海岸的泥沙粒径介于淤泥质海岸和砂质海岸之间, 泥沙运动十分活跃, 在波浪、潮流等海洋动力作用下, 泥沙极易起动和沉积, 一港池开挖后回淤问题是建港关注的焦点。

2) 一港池支航道较短, SE 向出现大浪的几率较小, 其他方向均有掩护, 正常情况下以悬沙淤积为主, 强淤积区集中在口门附近。口门建设挡沙堤虽有减淤作用, 但减淤总量对比港池规模并不明显, 口门缩窄亦不利于大型船舶进出港。

3) 一港池口门先不考虑建设挡沙堤, 通过增加备淤深度, 浚深航道两侧浅滩, 配置高效挖泥船进行水深维护, 根据航道水深动态控制船舶吃水, 使港口正常营运基本不受支航道淤积的影响。

4) 针对回淤明显区段, 加强水深监测, 分析回淤强度和维护难易程度, 评估对船舶正常进出港的影响, 再考虑挡沙堤的建设。

参考文献:

- [1] 南通市人民政府.南通港通州湾港区总体规划文本(2017—2030年)[R].江苏:南通市人民政府, 2017.
- [2] 季则舟.粉沙质海岸港口水域平面布局特点[J].海洋工程, 2013, 33(1): 1-4.
- (上接第 63 页)
- [6] ZENG Q D, DENG J R. Finite Element analysis of wharf track beam under eccentric Load[C] //Applied Mechanics and Materials. Zurich: Trans Tech Publications Ltd., 2014: 700-703.
- [7] 王元战, 李姐.堆货荷载下高桩码头结构整体安全度分析[J].水道港口, 2013, 34(5): 430-436.
- [8] 吴红霞, 邓先乔.高桩码头岸坡滑动位移原因及对策研究[J].中国水运(下半月), 2011, 11(11): 234-235.
- [9] 袁和平, 柳亚.河床演变导致码头岸坡变形滑移的分析与防治[J].水运工程, 2013(8): 101-104.
- [10] LI Y S, TIAN S Z, WANG C Y. FEM modeling of the characteristic of a piled wharf affected by the creep deformation of soft soil slope[C] //2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology. Chengdu: IACSIT, 2009: 259-262.

程, 2006, 24(4): 81-85.

- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.小庙洪航道及腰沙港池进港航道工程水文、泥沙测验报告[R].上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2014.
- [4] 纪为刚, 付桂.南通通州湾港区水文泥沙特性分析[J].中国水运(下半月), 2015, 15(8): 204-208.
- [5] 南通河海大学海洋与近海工程研究院.小庙洪航道及腰沙港池进港航道工程大风天波浪、潮流、泥沙现场观测成果报告[R].南通: 南通河海大学海洋与近海工程研究院, 2015.
- [6] 曹祖德, 杨树森, 杨华.粉沙质海岸的界定及其泥沙运动特点[J].水运工程, 2003(5): 1-4.
- [7] 南京水利科学研究院.南通港吕四港区进港航道二期上延工程海床稳定性专题研究[R].南京: 南京水利科学研究院, 2017.
- [8] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.小庙洪航道及腰沙港池进港航道工程工程可行性研究报告[R].上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2015.
- [9] 南京水利科学研究院.南通港通州湾港区起步工程泥沙淤积和防淤减淤工程方案研究[R].南京: 南京水利科学研究院, 2015.
- [10] 杨树森, 韩西军, 蔡嘉熙.天津港港内减淤工程措施的研究[J].水道港口, 2004(S1): 64-69.

(本文编辑 郭雪珍)

- [11] 施斌.负摩阻力对某高桩码头桩基沉降的影响[J].水运工程, 2013, (8): 178-181.
- [12] 张文敬, 张淑华, 张森, 等.基于桩土相互作用下高桩码头地震响应分析[J].江南大学学报(自然科学版), 2014, 13(4): 457-462.
- [13] LI J R, SONG B, CUI J Y. Seismic dynamic damage characteristics of vertical and batter pile-supported wharf structure systems[J]. Journal of engineering science & technology review, 2015, 8(5): 180-189.
- [14] HEIDARY H, BARGI K, AMIRABADI R, et al. Fragility estimation and sensitivity analysis of an idealized pile-supported wharf with batter piles[J]. Soil dynamics and earthquake engineering, 2014, 61: 92-106.

(本文编辑 武亚庆)