

Analysis of Seabed Evolution of Phase IV Project Sea Area in Shanghai Yangshan Deep Water Port Area

Mingyang Wu¹, Hualiang Xie^{1,2}

¹Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Ministry of Transport, Key Laboratory of Engineering Sediment, Ministry of Communications, Tianjin

²Science and Engineering Laboratory of Guangxi Beibu Gulf Coast, Qinzhou Guangxi
Email: mingyangwu@163.com

Received: Feb. 25th, 2018; accepted: Mar. 10th, 2018; published: Mar. 15th, 2018

Abstract

Based on the field observation data such as water depth, sediment during 2009-2013, changes in erosion and siltation in Yangshan harbor area especially in phase IV port area have been analyzed in depth in this paper. The main conclusions are as follows: After four years of commissioning of the cofferdam project, it has been keeping the distribution of scouring in the northwest of the main channel, smooth bank protection flow in front of Xiao Yangshan and silting in the mid south of the main channel; And the continuous scouring in front of phase IV port area and the draining of Kezhushan branch greatly reduce the draining and sediment outflow stress for the main channel, and will also provide natural tidal power for deepening the phase IV project area.

Keywords

Analysis of Seabed Evolution, Terrain, Harbor Area

上海洋山深水港区四期工程海域海床演变分析

吴明阳¹, 谢华亮^{1,2}

¹交通运输部天津水运工程科学研究所, 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津

²广西北部湾海岸科学与工程实验室, 广西 钦州

Email: mingyangwu@163.com

收稿日期: 2018年2月25日; 录用日期: 2018年3月10日; 发布日期: 2018年3月15日

作者简介: 吴明阳(1963-), 男, 福建人, 研究员, 1985年毕业于浙江大学港口与航道治理专业, 主要从事海岸河口泥沙运动及淤积方面研究。

文章引用: 吴明阳, 谢华亮. 上海洋山深水港区四期工程海域海床演变分析[J]. 水资源研究, 2018, 7(2): 173-181.

DOI: 10.12677/jwrr.2018.72019

摘要

本文根据洋山深水港区2009年~2013年水深、水文泥沙等现场观测资料,独创地从整体到局部分析了洋山港海域和四期工程水域的冲淤变化情况,为全球规模最大自动化程度最高的码头——上海港洋山深水港区四期码头的顺利开港提供了技术保障。主要结论如下:在围堰工程投产四年后,在新的工程边界条件控制下,洋山深水港区海域主通道继续表现为主通道西北部冲刷、小洋山前沿护岸水流的贯通、主通道中部及南部淤积的分布特征;颗珠山汉道的泄水出沙与四期工程前沿水域的持续冲刷,极大地减轻了主通道的泄水出沙压力,为四期工程水域疏浚增深的维持提供了天然潮动力。

关键词

演变分析, 地形, 港区

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

洋山深水港区由大、小洋山岛链组成。北港区位于小洋山岛链一侧,西起小乌龟岛至小岩礁,码头岸线总长度约 10 km,除颗珠山汉道外,自蒋公柱向东先后建成一、二、三期工程 5.6 km 码头岸线,现已有 16 个深水泊位投产营运。正在建设中的四期工程位于颗珠山汉道西侧的大乌龟-颗珠山沿线[1]。自 1998 年开港建设的十余年来,洋山海域主通道水域始终维持西北部冲刷,中部、南部淤积的“南淤北冲”格局,现已投产营运中的一、二、三期港区前沿水深总体情况良好,四期工程水域持续处于微冲状态,工程前沿滩面的自然水深已从围堰工程前的-8.0~-9.0 m,自然增深到目前的-10.5~-13.0 m,为疏浚增深工程,建设深水泊位奠定了十分有利的天然条件。本报告根据 2009 年~2013 年洋山深水港区水深、水文泥沙等现场观测资料,独创地从整体到局部分析了洋山深水港区和四期工程海域海床冲淤变化情况,为后续工程港区的规划设计和港池的疏浚增深提供现场佐证,保证了全球规模最大自动化程度最高的码头——上海港洋山深水港区四期码头的顺利开港。

2. 工程概况及自然条件

2.1. 工程概况

2002 年 6 月,洋山深水港开工建设以来,先后封堵了小洋山岛链的小洋山-镬盖塘、大乌龟-颗珠山、镬盖塘-大指头岛、大岩礁-西门塘(挖入式港池)等四个汉道,相继建成一、二、三期码头工程及一、二、三期港池开挖工程,现四期工程驳岸线已建设完工。2009 年 5 月~2012 年 6 月,一、二、三期工程港区疏浚维护工程量分别为 130.6 万 m^3 、865.0 万 m^3 和 7.0 万 m^3 ,内航道和外航道疏浚维护工程量分别为 226.0 万 m^3 和 790.0 万 m^3 ,合计维护疏浚工程量为 2018.6 万 m^3 。

2.2. 自然条件

2.2.1. 工程前海域地形地貌特征

洋山深水港区位于上海南汇咀东南海域的崎岖列岛海域,为一由大洋山(南)、小洋山(北)两支岛链构成,通道内水域自西向东宽度逐渐缩窄,水深逐渐增大[2],面向杭州湾开口的喇叭状海域。在往复潮流动力和波浪作

用下,形成了洋山港海域特有的地形地貌特征。建设中的四期工程位于小洋山岛链西北端的小乌龟-颗珠山水域,码头岸线 2.3 km,工程东端毗邻颗珠山汉道(图 1)。

2.2.2. 潮汐

根据小洋山 2007 年~2009 年实测潮位观测资料分析,洋山港区属非正规浅海半日潮型,日潮不等现象明显。平均高潮位 3.90 m, 平均低潮位 1.14 m, 平均潮差 2.76 m, 潮汐强度中等[3]。

2.2.3. 潮流基本特征

1) 根据 2013 年 7 月观测资料分析,四期港区及航道、蒋公柱港区及其颗珠山汉道水域,涨、落潮水流均呈明显的往复流运动(图 2)。四期港区及航道北部海域的涨潮平均流向在 $287^{\circ}\sim 315^{\circ}$ 之间,平均为 299° ,落潮流向在 $106^{\circ}\sim 122^{\circ}$ 之间,平均为 112° ,与码头驳岸线基本平行;蒋公柱港区及四期航道南部水域,涨潮平均流向为 $299^{\circ}\sim 3245^{\circ}$,平均为 313° ,落潮流向为 $100^{\circ}\sim 121^{\circ}$,平均为 108° ,涨潮基本与码头岸线平行,落潮偏向码头港区;颗珠山汉道涨、落潮平均流向为 264° 和 84° ,与汉道走向基本一致[4]。

2) 2013 年 7 月实测涨潮流速在 $0.41\sim 0.85$ m/s 之间,平均为 0.63 m/s;落潮流速在 $0.49\sim 0.88$ m/s,平均 0.69 m/s,落潮流速略大于涨潮流速。其中,航道水域水流强度相对较强,涨、落潮平均流速分别为 0.74 m/s 和 0.75 m/s,四期工程、蒋公柱以及颗珠山汉道测点平均流速基本相当,涨潮流速分别为 0.56 m/s、0.64 m/s 和 0.64 m/s,落潮分别为 0.69 m/s、0.65 m/s 和 0.63 m/s;蒋公柱前沿与颗珠山汉道内测点的涨、落潮流速相差不大,而四期工程前沿落潮流速大于涨潮流速,比值为 1.2,有利于四期工程的浚深泥沙的外泄。



Figure 1. Topographic map of main channel water area in November 1998

图 1. 1998 年 11 月通道内水域地形图

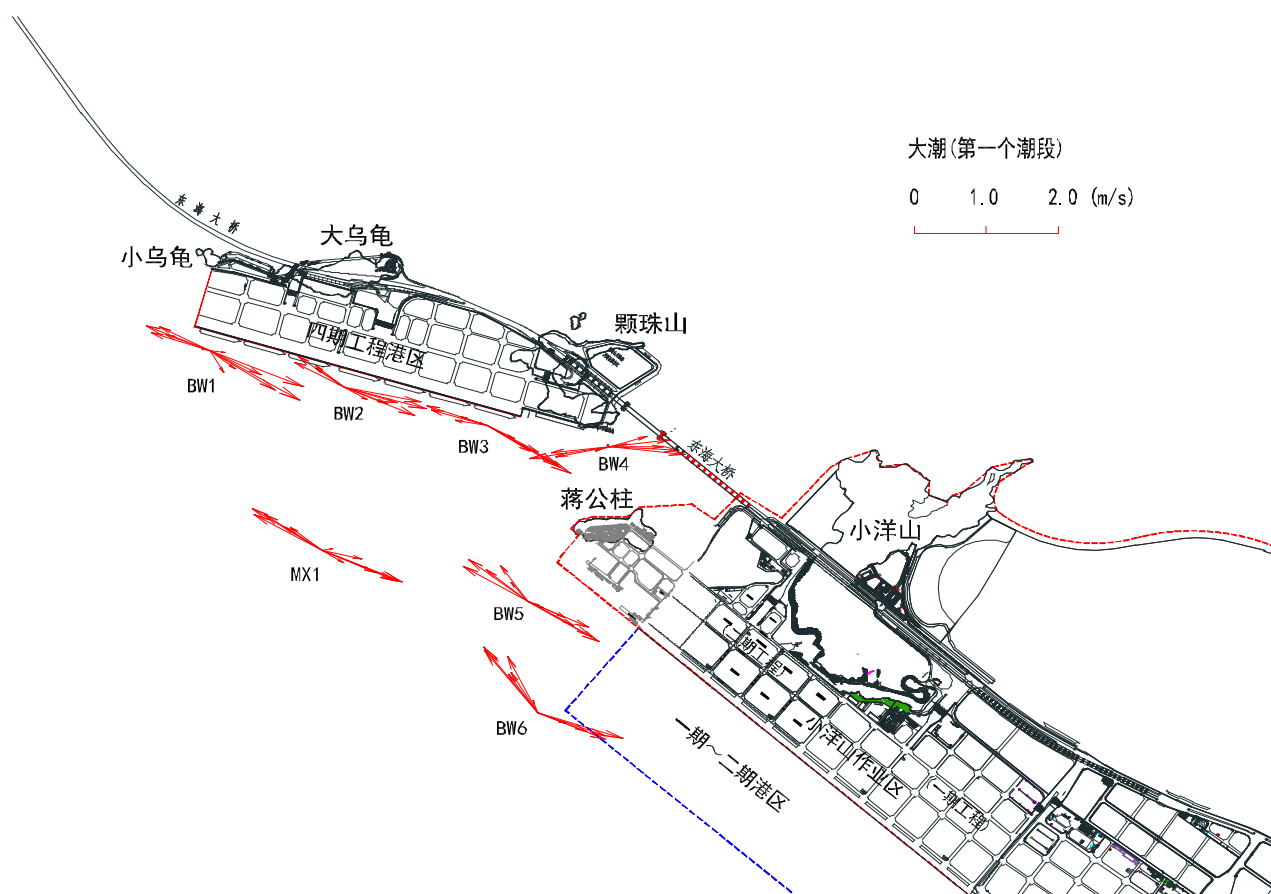


Figure 2. Tidal vector graph of the 4th phase project water area (2013.07)

图 2. 四期港区大潮潮流矢量图(2013.07)

3) 采用潮汐 - 潮流比较法(按潮差与潮流速成正比线性关系, 修正潮流实测值), 对历次相同测点进行修正对比, 计算结果表明: 2013 年与 2009 年相比, 各水域潮流速变化不大, 平均变化量 $\pm 5\%$, 涨、落潮的最大变化量分别为 8% 和 9%, 均出现在明珠山汊道测点。其中, 四期工程水域涨、落潮平均流速基本不变(分别 -2% 和 -1%); 明珠山汊道测点涨潮 +4%, 落潮 -3%。

2.2.4. 泥沙环境

1) 海区含沙量特征

根据 2013 年 7 月实测资料, 四期港区海域涨、落潮平均含沙量分别为 0.33 kg/m^3 和 0.22 kg/m^3 , 平均为 0.28 kg/m^3 , 涨潮含沙量大于落潮含沙量, 比值为 1.5; 其中以明珠山汊道测点含沙量最大, 为 0.34 kg/m^3 , 港区次之, 为 0.30 kg/m^3 , 航道和蒋公柱港区最小均为 0.24 kg/m^3 。

2) 含沙量季节的变化

根据小洋山站 1998 年~2008 年每日高、低潮时表层含沙量资料统计分析: 含沙量年际变幅很小, 但季节变化明显, 每年从 11 月~转年 4 月冬、春季节含沙量较高, 在 $0.92 \sim 1.24 \text{ kg/m}^3$; 5 月~10 月夏、秋季节含沙量较低, 在 $0.33 \sim 0.81 \text{ kg/m}^3$ 。

3) 悬沙粒径

2007~2009 年洋山港区悬沙平均粒径一般为 $0.0064 \sim 0.0122 \text{ mm}$ 变化, 平均中值粒径 d_{50} 为 0.008 mm , 当流速较大时, 其平均粒径稍大, 而流速小时相对较小。这种悬沙皆属细粉砂和极细粉砂两种类型, 悬沙颗粒较细,

在水流的作用下具有极易活动的特性。2013 年 4 月悬沙中值粒径平均为 0.0059 mm，2013 年与 2007~2009 年相比，悬沙中值粒径平均偏细 0.0025 mm，细化程度大、小潮大于中潮。

4) 底质

根据 2008 年 4 月和 2013 年 4 月的底质取样分析，该区域主要表层沉积物质为粉砂和粘土质粉砂。在物质组成上，粉砂含量一般在 49~72%，粘土含量在 12%~41%，可以明显看出粘土质粉砂是海域的主要沉积物质。底质泥沙颗粒中值粒径一般在 0.012~0.029 mm 之间，平均为 0.019 mm，其中航道水域相对较粗为 0.021 mm，港四期区和蒋公柱港区相对较细；分选系数一般在 1.0~1.4 之间，属于分选好的范畴。

3. 洋山深水港区海域通道内近期地形变化分析

图 3 为洋山深水港区海域通道内 2009 年 4 月~2013 年 4 月期间的海床地形冲淤变化图。从图中可以看出，主通道呈现西北部冲刷、通道中部及南部淤积的分布状态，总体保持“南淤北冲”格局[5]。

2009 年 4 月~2013 年 4 月，整个测量海域(包括主通道及南、北岛链外围水域)处于为微淤环境，年平均淤强为 0.02 m。

在此期间，主通道淤积量为 1728 万 m^3 (淤积厚度为 0.36 m)，年平均淤强为 0.09 m；其中，西北部水域(1 区~4 区)呈冲刷状态，冲刷量为 549 万 m^3 ，年冲刷强度为 0.21 m，南部水域(11 区~14 区)表现为微淤，淤积量为 510 万 m^3 ，年淤积强度为 0.07 m；颗珠山汊道和大洋山岛链周边水域呈冲刷状态，冲刷量为 1135 万 m^3 (冲刷深为 0.49 m)，年冲刷强度为 0.12 m。比照期间基本维系上述冲淤格局，冲淤幅度已较前期大为减少。通道内冲淤幅度基本保持在 ± 0.5 m，小洋山岛链前沿的淤积(0.5 m~1.0 m)区域基本集中在二期港区到大山塘连线区域，大洋山岛链侧的大山塘北侧前沿淤积则高达 1.5 m~2.0 m。

4. 四期工程水域近期冲淤变化

1) 图 4~图 5 为洋山港四期工程水域 2009 年 4 月~2013 年 4 月期间的海床地形冲淤变化图。从图中可以看出，

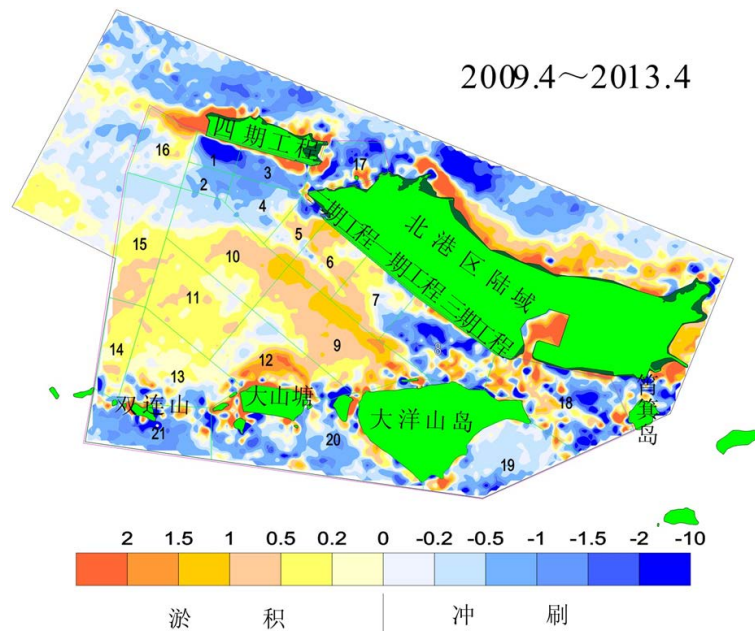


Figure 3. Change in erosion and siltation of main channel water area in 2009.4-2013.4

图 3. 2009 年 4 月~2013 年 4 月冲淤变化图

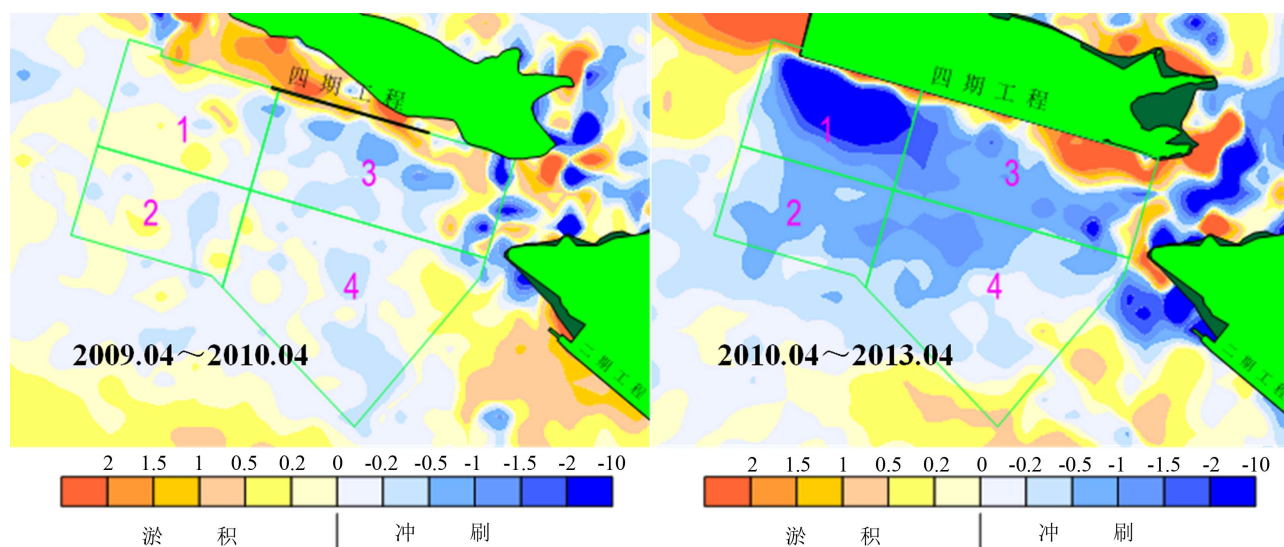


Figure 4. Change in erosion and siltation of main channel water area in 2009.4-2013.4

图 4. 2009 年 4 月~2013 年 4 月冲淤变化图

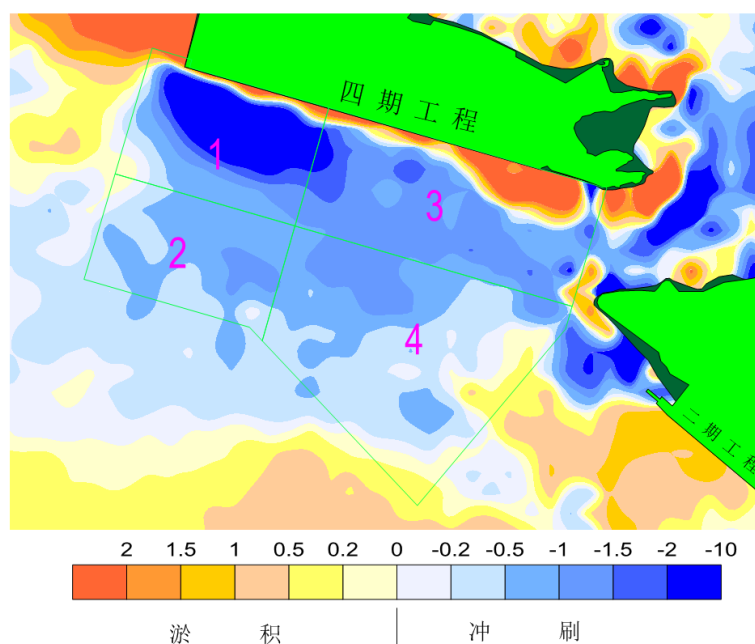


Figure 5. Change in erosion and siltation of main channel water area in 2009.4-2013.4

图 5. 2009 年 4 月~2013 年 4 月冲淤变化图

四期工程水域总体上呈现出冲刷态势。这段时间内，由于四期工程码头岸线的建设，在码头岸线前沿形成高强度淤积，同时在码头西端外侧受水流冲刷形成冲刷坑，结合断面水深对比图分析，冲刷坑的形成主要是在 2010 年 4 月~2013 年 4 月间完成，即在四期工程岸线形成以后。

2) 由图可以看出，2009 年 4 月~2010 年 4 月，由于未完工岸线的丁坝效应，此段岸线南侧形成间断分布的 4 个冲刷坑，同时在岸线后方呈现连片淤积，虽有丁坝后方水流减弱而形成淤积，但主要还是系岸线后方回填陆域的结果。2010 年 4 月~2013 年 4 月时段，四期工程西段岸线出现大面积冲刷，四期码头西端外侧出现了冲刷坑，而东段区域淤积比较严重。2009 年 4 月~2013 年 4 月时段的冲淤分布与 2010 年 4 月~2013 年 4 月冲淤情

形类似,表明近期的冲刷区面积、淤积面积及其强度均较围堰前期有所增大。

3) 2009年4月~2013年4月期间,四期工程水域总体呈现冲刷,三个时段的淤强分别为2009~2010年 -0.08 m/a 、2010~2013年 -0.32 m/a 、2009~2013年 -0.26 m/a 。虽然三个时段总体均呈现冲刷,但冲淤分布格局却存在较大差异,2009~2010年,淤积区域与冲刷区域的面积比大约为50%,冲淤幅度大致相当,淤积厚度与冲刷深度分别为0.29 m和0.28 m;2010~2013年时段和2009~2013年时段,基本呈现单边冲刷的态势,淤积区域与冲刷区域的面积比均在10%左右,并且冲淤幅度差别较大,2010~2013年时段的淤积厚度与冲刷深度分别为1.81 m和1.25 m,2009~2013年时段的淤积厚度与冲刷深度分别为2.17 m和1.36 m,即在码头前沿同时存在局部高强度淤积及大面积水域的较高强度冲刷。

将淤积厚度和冲刷深度在2.0 m以上的区域面积进行了统计,2010~2013年面积分别为21.6万 m^2 和38.6万 m^2 ,分别占到1~4区总面积的4%和7%;2009~2013年面积分别为22.9万 m^2 和41.4万 m^2 ,分别占到1~4区总面积的4%和8%。可以看出,码头前沿水域淤积面积占比小,但淤积量相对较大;冲刷坑面积占比大,但冲刷量相对较小。

初步分析认为,冲刷深坑的存在除落潮流动力作用外,还与施工现场吹填造陆的过度集中取沙有关;东段淤积主要由颗珠山汉道来的涨潮流引起,另也受到施工抛沙溢流提供沙源,造成驳岸工程前沿的高强度淤积。

由此可知,2009年4月~2013年4月期间,洋山港四期工程水域海床地形总体呈现冲刷的态势。从滩槽发展变化的趋势上看,由于导流堤平顺水流的作用,随着四期工程西侧导流堤的修建,冲刷坑的位置将逐步向西移动,冲刷范围和冲刷程度将逐步变小,水深趋于稳定;西侧浅滩则基本保持稳定,受工程的影响较小;因涨潮流引起的东段局部淤积现象也将长期存在。

5. 海床冲淤演变原因分析

2009年4月~2013年4月期间,洋山海域呈现主通道西北段冲刷、中部与南部淤积的分布状态,总体保持“南淤北冲”格局;大洋山岛链周边水域处于冲刷环境,年平均冲刷深度为0.22 m。众所周知,不同水域的水动力及泥沙环境不尽相同,将产生不同的海床冲淤变化,任何改变边界条件的工程建设必将引起潮流及泥沙环境的变化。洋山深水港的建设已证实了这点,今后大洋山岛链边界的变动引发的水动力调整应该是局部的,应有助于南部水域水沙环境的改善才是得当的。本文独创地从整体到局部分析洋山海域海床冲淤演变趋势,为洋山深水港四期码头的开港提供了技术保障。

5.1. 小洋山岛链中东部汉道的封堵

从整体来看,位于崎岖列岛群的南、北二岛链间的洋山港海域,在实施小洋山岛链上四个汉道的逐一封堵后,改变了峡道原有的多汉道形态,峡道效应特征明显增强。

工程初期,切断了自镬盖塘-大岩礁汉道进入主通道的北向波浪与横向涨潮流,虽平顺了主通道水流,但造成主通道落潮动力减弱趋中乃至形成洋山港海域大范围淤积现象,尤以南部大洋山一侧海域严重淤积;小洋山岛链西北端颗珠山汉道迅速发展,泄水出沙能力增强,小洋山前沿的护岸水流得以贯通,海域西北部冲刷,渐显“南淤北冲”格局。

5.2. 颗珠山汉道的贡献

洋山深水港区海域为一开边界潮汐峡道,地处边界为东口狭窄,西口宽阔且两岛链端部外侧均为开敞海域。现场资料表明,在相继封堵小洋山岛链四个汉道后,小洋山岛链边界的固化使主通道潮流场的落潮动力优势丧失,导致整个通道的泄水出沙能力大为减弱。在西口门纳潮,东口门泄水平衡的情况下,西口门纳入的潮量与海床冲刷呈正相关关系。但当西口门纳入的落潮量超出东口门的过潮能力(流速达极限后不再增加),落急后某时

段, 则峡道东口门上段出现壅水与环流, 西口门外海潮量满灌外溢, 流走两岛链外侧, 导致主通道海域潮流动力减弱、泥沙沉降, 大片淤积环境随之发生。

自 2005 年陆续封堵小洋山岛链中东部汉道后, 西北端的颗珠山汉道已成为西北部海域重要的泄水出沙通道。近年来, 颗珠山汉道保持落潮流优势, 落潮量稳定占到西口门潮量的 18%。颗珠山汉道的分流也减缓了主通道泄水出沙的压力, 缓解了东口门上段的壅水现象; 又由蒋公柱岩礁分流而下的小洋山一侧沿程水流强度, 明显大于港池外侧的落潮水流, 落急时可以清晰的观察到这股水流的存在, 沿程港池得益于这股护岸水流的天然维护; 颗珠山汉道的发展也使颗珠山南部水域得以成天然冲刷区域。

5.3. 一、二、三工程建设

在潮流湍急, 高含沙量的峡道海域, 任何导致潮动力变动的工程措施对海床的冲淤来说都是十分敏感的。开港建设 12 年来, 建成 5.6 km 码头驳岸, 港池基建维护疏浚量近 2700 万 m^3 , 一、二、三期工程的相继建成有利于近岸水流的顺畅流通。

镬盖塘汉道封堵后, 峡道效应显现, 在地球科氏力的作用下, 主通道落潮流的趋中南移, 导致一、二期港区前沿水流强度降低; 蒋公柱岩礁前沿水流紊乱, 深潭、浅滩相间, 是引起二期港池淤积的重要原因。但, 须待在整治蒋公柱岩礁前沿水流后才可望有所改善。三期港区, 随着主通道落潮流的趋中, 东口门北侧涨潮流得以增强, 水深满足营运要求。

洋山港建设经验表明, 保留颗珠山汉道是一项明智之举, 此举避免了主通道落潮动力的进一步恶化, 避免了引发东口门上段更大壅水与大面积环流, 更避免了蒋公柱岩礁分流的小洋山前沿护岸水流的消亡, 引起主通道单边淤积趋势的危机。据天科院的泥沙数学模型、物理模试验, 封堵颗珠山汉道三年冲淤状况的预测, 洋山深水港区西北部与小洋山前沿水域将出现大范围的淤积区。需指出的是, 无论物理模型还是数学模型, 描述的只是一种整体趋势, 对于小洋山前沿这股护岸落潮流的发现与维护需结合现场资料的分析与比对, 才能得出符合实际情况的意见。

5.4. 四期工程码头驳岸线

四期工程陆域吹填于 2008 年 12 月开始, 至 2009 年 5 月结束, 驳岸线 2.35 km 于 2009 年 6 月开始施工, 2009 年底基本完成。在新的工程边界条件下, 四期工程码头驳岸线的导流作用, 促使驳岸线西部水域的冲刷; 颗珠山汉道以落潮为主发展, 有利于泄水出沙作用的增强, 为四期工程水域的疏浚增深提供更为强劲但天然潮动力。

综上所述, 一、二、三期工程的建设封堵了北岛链小洋山 - 镬盖塘、镬盖塘 - 大指头岛和大指头岛 - 沈家湾等潮流通道的, 引起主通道水动力的自我调整。落潮主流减弱趋中, 南部潮流强度更为趋弱; 颗珠山汉道的发展, 导致西北部冲刷, 主通道呈现“南淤北冲”的格局。主流的趋中南移, 蒋公柱岩礁前沿的紊流引起一、二期工程港池淤积; 东口门涨潮流的增强引起三期工程港池冲刷; 四期工程码头驳岸线的导流作用促使驳岸线西部水域的冲刷, 四期工程港区的冲刷和颗珠山汉道继续向着以落潮为主方向发展, 有利于洋山深水港区一期~三期工程的水深维护。

6. 结论

1) 随着 2008 年底洋山深水港区一、二、三期工程竣工投产、2009 年底四期工程驳岸完工和 2010 年蒋公柱滚装船码头建成。在新的边界条件下, 洋山深水港区海域海床经过四年调整, 逐渐趋于稳定。本文根据洋山深水港区 2009 年~2013 年水深测量、水文泥沙等现场观测资料, 独创地从整体到局部分析洋山海域海床冲淤演变趋势, 为洋山深水港四期码头的开港和后续工程规划设计提供了技术依据。

2) 洋山深水港区海域在工程全面竣工投产后的四年间, 呈现主通道西北部冲刷、通道中部及南部淤积的分布特征, 总体保持“南淤北冲”格局。主通道年均冲、淤强度分别为 -0.25 m 和 $+0.18\text{ m}$, 冲淤变化不大, 海床总体保持稳定状态。

3) 二期工程港池呈现淤积状态, 三期工程港池呈现冲刷状态, 一期工程港池有冲有淤; 蒋公柱港区水域呈现淤积; 颍珠山汊道水域呈现冲刷; 颍珠山汊道的发展, 泄水出沙作用增强, 继续保持四期工程水域的冲刷趋势; 蒋公柱岩礁分流有利于小洋山前沿水深的维护, 但蒋公柱岩礁前沿流态紊乱, 必须加以整治, 才可望改善沿程港池的淤积状况。

4) 在新的工程边界条件下, 四期工程码头驳岸线引导西部水域的冲刷, 颍珠山汊道继续以落潮为主, 有利于主通道上端的泄水出沙作用, 也为四期工程水域疏浚增深的维护提供了天然潮动力。

5) 基于上述工程经历的回顾, 认为在水体含沙量甚高的洋山海域中, 维持好现在洋山深水港区海域边界的稳定甚为重要。在确保洋山深水港一、二、三期工程正常使用条件下, 充分发掘大洋山岛链汊道的出沙能力应有助于维持南部水域水沙环境的改善。建议继续完善洋山深水港区总体规划, 加强现场水深, 水文泥沙、波浪监测与港区规划模型试验研究。

基金项目

广西北部湾海岸科学与工程实验室基金项目(2016KYB03)。

参考文献

- [1] 邵荣顺, 吴明阳. 上海洋山深水港区的选址和规划[J]. 水运工程, 2013(S1): 40-46.
SHAO Rongshun, WU Mingyang. Site selection and planning of Yangshan deepwater port. Port & Waterway Engineering, 2013(S1): 40-46.
- [2] 杨华, 冯学英. 上海洋山港区和进港航道水域泥沙特性及回淤分析研究[J]. 水道港口, 2000(3): 17-22.
YANG Hua, FENG Xueying. Sediment characteristics and siltation analyses of Shanghai Yangshan harbor and its approach channel waters. Journal of Waterway and Harbor, 2000(3): 17-22.
- [3] 吴明阳, 许家帅. 上海洋山深水港区水文泥沙研究[J]. 海岸工程, 2011, 30(2): 43-49.
WU Mingyang, XU Jiashuai. Study on hydrology and sedimentation of Shanghai Yangshan deep-water harbor area. Coastal Engineering, 2011, 30(2): 43-49.
- [4] 杨华, 左书华, 赵洪波, 等. 岛群中建港水动力关键技术问题研究[M]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2015: 228-237.
YANG Hua, ZUO Shuhua, ZHAO Hongbo, et al. Research on hydrodynamic key technologies of port construction in archipelago waters. Beijing: China Communications Press, 2015: 228-237.
- [5] 邵荣顺, 吴明阳, 左书华. 上海洋山深水港区 12 年来海床冲淤变化分析[J]. 海洋工程, 2012, 30(1): 106-111.
SHAO Rongshun, WU Mingyang and ZUO Shuhua. Analysis on seabed deposition and erosion of Yangshan Port during twelve years. The Ocean Engineering, 2012, 30(1): 106-111.