

文章编号:1002-3682(2015)02-0024-09

上海洋山深水港区海域海床演变分析^{*}

吴明阳^{1,2}, 刘国亭^{1,2}

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456;

2. 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要:根据洋山深水港区近期(2004—2013年)的水文泥沙、水深现场观测资料,较深入地分析了洋山港区海域海床冲淤变化情况,阐明了海床的冲淤变化原因,为后续工程规划设计提供基本依据。主要结论如下:洋山深水港区海域海床总体上保持了稳定状态,西北端颗珠山汉道的泄流出沙,对维持洋山深水港区前沿水域的安全起到决定性的作用;洋山港海域的泥沙运动及海床变化是与其水流动力条件相适应的,一、二、三期工程码头的建设、小洋山北岛链的封堵和四期码头岸线工程的建设是导致通道北侧冲刷,通道南侧淤积的主要原因。

关键词:演变分析;地形;港区

中图分类号: U65

文献标识码: A

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,西起小乌龟东至小岩礁,岸线长约10 km,其间保留有颗珠山汉道。小洋山的一、二、三期港区码头岸线长5.6 km,共有16个深水泊位,先后建成营运,小洋山以西的四期港区正在建设中^[1]。洋山海域从1998年至今,10余a来主通道的地形冲淤仍保持着“南淤北冲”的格局,已投产的一、二、三期港区工程水深良好,颗珠山汉道在发展,四期港区水域继续处于微冲趋势,滩面自然水深已从工程前的-8.0~-9.0 m,发展到目前的-10.5~-13.0 m,冲刷环境为建设深水港创造了有利条件。本文根据洋山深水港区近期(2004—2013年)的水文泥沙、水深等现场测量资料,深入地分析了洋山深水港区海域海床冲淤变化情况,为后续工程港区规划设计提供基本依据。

1 工程概况及自然条件

1.1 工程概况

洋山深水港于2002-06开工建设,小洋山北港区共有5个汉道,先后封堵了小洋山—镬盖塘、大乌龟—颗珠山、镬盖塘—大指头岛三个汉道,建成一、二、三期工程。一、二、三期港池开挖工程和四期港区驳岸线已完成,各项工程进展顺利。2009-05—2012-06,维护疏浚工程量一、二、三期港区分别为130.6, 865.0和7.0万m³,内航道和外航道分别为

^{*} 收稿日期:2014-12-10

作者简介:吴明阳(1963-),男,研究员,主要从事海岸河口泥沙运动及淤积方面研究。E-mail:mingyangwu@163.com

226.0 和 790.0 万 m^3 , 合计维护疏浚工程量为 2 018.6 万 m^3 。

1.2 自然条件

1.2.1 工程前海域地形地貌特征

洋山深水港区位于上海南汇嘴东南海域的崎岖列岛,是由大、小洋山南、北两支岛链组成,形成东窄西宽、面向杭州湾开口的喇叭状海域。在长期的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分布特征:通道内水域自西向东宽度逐渐缩小,水深逐渐增大(图 1)。

1.2.2 潮 汐

根据小洋山 2007—2009 年实测潮位资料分析,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^[2]。

1.2.3 潮流基本特征

1) 潮流性质

根据历次准调和常数分析及椭圆要素计算,潮流形态系数 F 介于 0.13~0.33,小于 0.5,潮流类型属正规半日潮流。浅水分潮流影响系数 G 为 0.06~0.38,浅水分潮流影响不显著。

2) 潮波波型

憩流即流向转换,涨、落潮一般出现在高、低潮后约 1 h,涨、落潮最大流速一般出现在高、低潮前约 2 h。憩流和最大流速略滞后高、低潮和半潮,表明潮波从外海前进波进入本区已具有以驻波为主的合成潮波。

3) 潮流流向

根据历年水文测验资料分析,洋山港区外航道、通道及其南、北和大、小洋山汉道等水域,涨、落潮水流均呈明显的往复流运动(图 2),涨、落潮平均流向为 WNW—ESE。

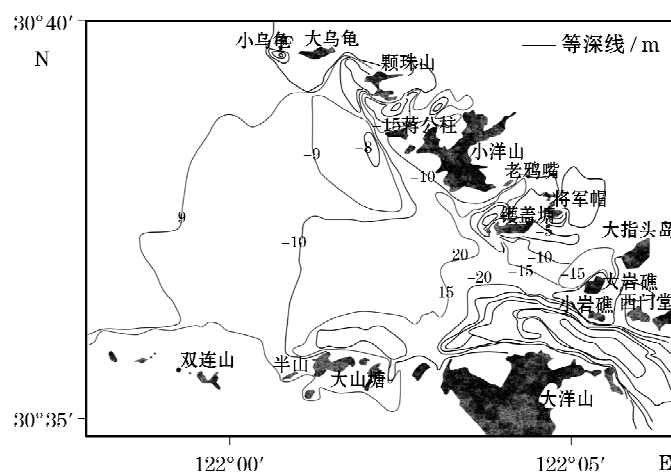


图 1 1998-11 通道内水域地形图

Fig. 1 Topographic map in the main channel in November, 1998

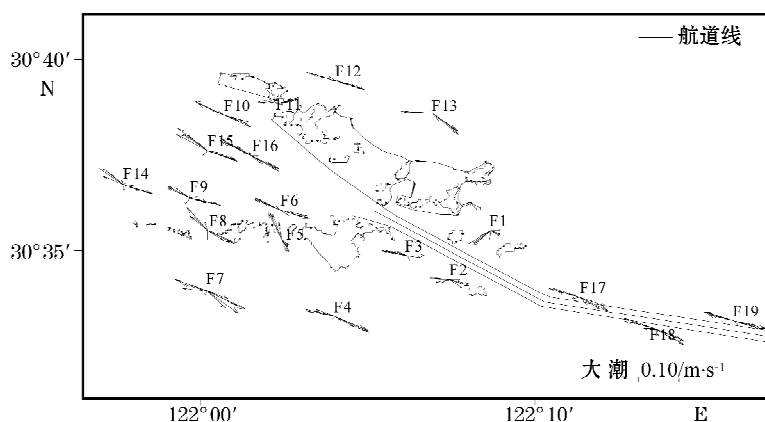


图2 洋山深水港区潮流矢量图(2013-04)

Fig. 2 Tidal vector graph of the Yangshan Deepwater Port area (2013-04)

4) 涨、落潮流流速

港区通道水域潮段平均涨、落潮流速分别为 0.71 和 0.83 m/s, 属强潮流海区, 其中大潮分别为 0.87 和 1.02 m/s; 落潮流大于涨潮流, 其比值为 1.17。垂线最大流速涨、落潮分别为 1.97 和 2.07 m/s; 表层最大流涨、落潮分别为 2.25 和 2.49 m/s。

5) 底部潮流速

根据历年资料统计, 底流速(固定在海床面上 0.2 m): 潮段平均涨、落潮流速分别为 0.37 和 0.36 m/s; 垂线最大底流速, 涨、落潮分别为 0.89 和 0.84 m/s。天然泥沙起动流速约 0.50 m/s, 表明洋山港区水域底部潮流强度具有掀动的床面泥沙的能力^[8]。

1.2.4 含沙量

1) 海区含沙量特征

根据历年实测资料统计结果, 实测涨、落潮平均含沙量分别为 0.93 和 0.90 kg/m³, 涨潮含沙量大于落潮。垂线最大含沙量涨、落潮分别为 3.27 和 3.38 kg/m³; 观测海域内, 双连山一大山塘汉道、颍珠山汉道和大洋山南侧水域含沙量最高, 双连山一大山塘汉道、港区中部和西部次之, 港区东部、进港航道以及小洋山以北水域含沙量相对较低。

从纵向变化讲, 平均含沙量自东向西沿程逐渐增大, 即进港航道最小, 港区东部次之, 港区中、西部最大; 由横向分布来看, 平均含沙量自南向北沿程逐渐降低, 即大洋山以南水域最大, 通道水域次之, 小洋山以北水域最小; 汉道的含沙量与其他水域相比, 为观测海域中的大含沙区。

2) 含沙量季节变化

根据小洋山站 1998—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 月至次年 4 月冬、春季节含沙量较高, 在 0.92~1.24 kg/m³; 5—10 月夏、秋季节含沙量较低, 在 0.33~0.81 kg/m³。

1.2.5 洋山港泥沙淤积特征

1) 洋山港区水域悬沙中值粒径为 0.009 mm, 黏土含量为 30%, 底质泥沙中值粒径为 0.020 mm, 黏土含量为 22%, 基本界定在淤泥质范畴, 泥沙淤积以悬沙落淤为主。

2) 洋山港区处于高含沙、强潮流的潮汐通道内,强潮流特征为港口开发提供了有利条件,而水体高含沙也为港口提供了不容忽视的泥沙回淤环境。

3) 洋山港区泥沙来源于长江输沙及长江口外和杭州湾近岸浅滩潮流、风浪掀沙^[4]。在含沙量难以改变的特定条件下,港区泥沙淤积的轻重主要取决于 3 个变量;一是港区内水流强度不宜降低过大;二是水流平顺,避免产生较强的回流;三是保持通道内水沙通畅,维持通道水深地形的稳定。

2 洋山深水港区海域通道内近期地形变化分析

图 3 和图 4 为洋山深水港区海域通道内 2004-04—2013-04 期间共 3 次测图海床地形冲淤变化图。根据港区位置和 underwater 地形将通道内水域划分为 16 个区。由图可见,通道内总体保持“南淤北冲”的格局,呈现通道北侧冲刷、中部及南部淤积的分布状态。

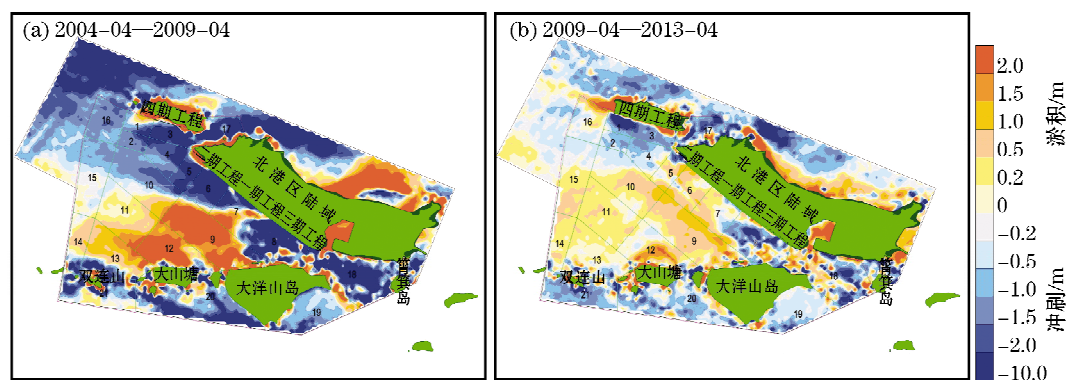


图 3 2004-04—2009-04 和 2009-04—2013-04 冲淤变化图

Fig. 3 Changes of scouring and silting in the main channel from April, 2004 to April, 2009 and from April, 2009 to April, 2013

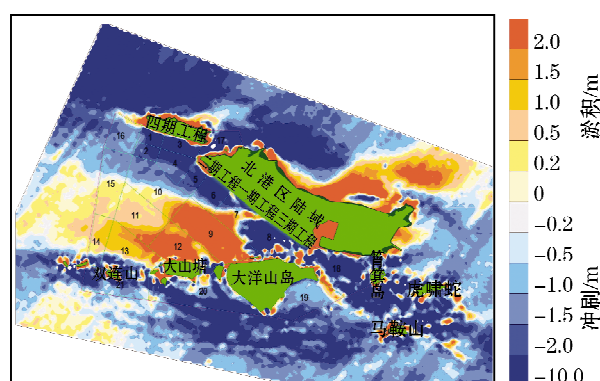


图 4 2004-04—2013-04 冲淤变化图

Fig. 4 Changes of scouring and silting in the main channel from April, 2004 to April, 2013

2.1 2004-04—2009-04 海床冲淤变化

2004-04—2009-04 通道内海床地形北侧冲刷,南侧淤积,并且冲淤幅度较大,北侧冲刷深度大于 2 m 的区域面积为 803.54 万 m^2 ,占通道内 1~16 区总面积的 17%,南侧淤积

厚度大于 2 m 的区域面积为 757.39 万 m^2 , 占通道内 1~16 区总面积的 16%。通道外周边水域以冲刷为主并且冲刷幅度较大。其中, 主通道测图冲淤变化呈冲刷态势, 其冲刷量为 1 389 万 m^3 , 期间一、二期工程港区的疏浚工程量为 2 124 万 m^3 , 实际冲淤量为 735 万 m^3 , 表现为淤积状态, 淤积厚度为 0.16 m, 年淤积强度为 0.03 m; 其中北部水域(1~8 区)呈现为冲刷状态, 冲刷量为 1 414 万 m^3 , 年冲刷强度为 0.19 m, 而南部水域(11~14 区)则表现为淤积状态, 淤积量为 1 541 万 m^3 , 年淤积强度为 0.20 m; 颗珠山汊道(17 区)、东口门以东(18 区)、大洋山岛链以南(19~21 区)以及小洋山以北和小乌龟西北水域均呈现为冲刷趋势, 冲刷深度为 0.8~2.3 m, 年冲刷强度为 0.2~0.5 m; 测量水域总体上处于冲刷状态, 冲刷深度为 0.41 m, 年冲刷强度为 0.08 m。

总体来看, 主通道水域呈现微淤状态, 淤积量为 734 万 m^3 , 淤积厚度为 0.16 m, 年平均淤积强度为 0.03 m; 颗珠山汊道和大洋山岛链周边水域表现为冲刷, 冲刷量为 3 659 万 m^3 , 冲刷深度为 1.57 m, 年冲刷强度为 0.31 m; 测量水域处于冲刷环境, 年平均冲刷深度为 0.08 m。

2.2 2009-04—2013-04 海床冲淤变化

2009-04—2013-04 冲淤格局基本维系, 冲淤幅度大为减少, 通道内冲淤幅度基本在 ± 0.5 m, 淤积在 0.5~1.0 m 的区域基本集中在一、二期工程到大山塘连线区域。总体来看, 主通道水域呈现淤积状态, 淤积量为 1 728 万 m^3 , 淤积厚度为 0.36 m, 年平均淤积强度为 0.09 m; 其中西北部水域(1~4 区)呈冲刷状态, 冲刷量为 549 万 m^3 , 年冲刷强度为 0.21 m, 而南部水域(11~14 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表现为冲刷状态, 冲刷量为 1 135 万 m^3 , 冲深为 0.49 m, 年冲刷强度为 0.12 m; 测量水域处于微淤环境, 年平均淤积强度为 0.02 m。

2.3 2004-04—2013-04 海床冲淤变化

2004-04—2013-04 冲淤情形与 2004-04—2009-04 类似, 通道北侧冲刷深度大于 2 m 的区域面积为 1 054.12 万 m^2 , 占通道内 1~16 区总面积的 22%, 通道南侧淤积厚度大于 2 m 的区域面积为 964.94 万 m^2 , 占通道内 1~16 区总面积的 20%。总体来看, 主通道水域呈现淤积状态, 淤积量为 2 353 万 m^3 , 淤积厚度为 0.50 m, 年平均淤积强度为 0.06 m; 其中北部(1~8 区)呈现为冲刷状态, 冲刷量为 968 万 m^3 , 年冲刷强度为 0.13 m, 而南部(11~14 区)仍表现为淤积状态, 淤积量为 1 983 万 m^3 , 年淤积强度为 0.26 m; 颗珠山汊道和大洋山岛链周边水域表现为冲刷状况, 冲刷量为 4 647 万 m^3 , 冲刷深度为 2.00 m, 年冲刷深度为 0.22 m; 测量水域处于微冲环境, 年平均冲刷深度为 0.04 m(图 4)。总之, 观测海域的地形冲淤变化不大, 其泥沙来源及去向主要为大、小洋山岛链周边浅滩水域。

3 海床冲淤演变原因分析

总体来看, 2004-04—2013-04 期间, 主通道水域海床地形总体保持“南淤北冲”的格局, 呈现通道北侧冲刷、通道中部及南部淤积的分布状态; 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, 工程的建设将有可能引起工程港区周边水域的潮流、泥沙运动变化, 进而导致海床的冲淤变化。由于各水域位置不同, 故其水动力及泥沙环境不尽相同, 因而产生了不同的冲淤变化。根据洋山深水港区海域历年潮流、泥

沙观测资料分析得知,其海床的冲淤变化原因各不相同。

3.1 洋山港海域泥沙冲淤机理解析

根据现场分析和泥沙水力特性研究结果,洋山港海域为淤泥质海床,泥沙运动形态以悬移质为主,含沙量垂线分布差异不大。泥沙的冲淤除与背景含沙量有关外,主要与本地泥沙的再悬浮、搬运及沉积有关。水体中的粗颗粒絮凝团以及靠近底部的悬沙是造成海床淤积的有效沙源。洋山港海域的泥沙运动及海床变化是与其水流动力条件相适应的,潮流的强弱在一定程度上决定了海床的冲淤变化,潮流对泥沙具有起悬和搬运双重作用。

3.2 汉道封堵的影响

无论从岛群缺少港口建设所需的天然陆域面积还是从增加深水岸线长度出发,进行汉道封堵都是必要的。洋山港自 2002-04—2005-09 先后完成了小洋山北岛链中的小洋山—馒头盖塘等 5 条汉道的封堵。从汉道封堵对港区水沙条件和港区地形演变的影响出发,堵汉是成功的^[5]。

3.2.1 汉道封堵的正效应

1) 有利于港区水流归顺

洋山港的现码头岸线基本沿主水道北侧岛链的延伸方向布置,岸线走向($310^{\circ}\sim 130^{\circ}$)与水道中部的涨落潮流向(308° 及 128°)的交角,全线均维持在 5° 以内,水流顺畅、流态良好。位于一、二期东侧的中港区,其岸线走向与码头前沿涨、落潮流向的交角也都在 10° 以内。无论从船舶靠离,还是从港口减淤的角度看,汉道封堵带来的良好效应都非常明显。

2) 有利于主流向港区靠近

水道的主流向取决于岛群的总体走势、汉道与主水道的交角大小、汉道水流强度及其位置等复杂条件的组合。在一主、多汉的条件下,汉道堵、留对水道主流向的影响常表现得较为突出。对比封堵汉道前后的水深图可以看出,汉道封堵后,二期码头南侧的 -10 m 线西移 300 m (表现为冲刷);远离港区的水道南侧 -10 m 线则相反向东推进约 $3\,000\text{ m}$ (表现为强淤进); -15 m 线的变化在性质上与 -10 m 线相似,一、二期码头前沿的 -15 m 线向西移动(冲刷),水道中、南部则东移(淤积)。由于在含沙量一定时,地形的冲淤是水流强弱在平面变化上的最终体现,从而可以认为,上述汉道封堵后,主水道中线附近的强流区有向北部港区偏转的现象。

3) 有利于港区水体含沙量的降低

对工程前的原型资料勘测及分析表明,小洋山—馒头盖塘汉道以涨潮向主水道汇流、落潮向外分流、涨潮进沙量大于落潮出沙量为特征,封堵该汉道对减轻一期工程港区淤积趋于有利。实测资料显示,该汉道封堵前,一期港区的涨、落潮平均含沙量为 1.52 kg/m^3 ,而当汉道封堵后,迄止 2013 年港区的平均含沙量即降至 0.92 kg/m^3 ,下降率达 39% 。

总体来看,汉道封堵后,水流归顺、主流偏转港区和港区含沙量的降低是港口淤积较轻的主要原因。同时,水流归顺加上港区浚深的引流作用给西北部的冲刷提供了有利条件。

3.2.2 汉道封堵的负影响

岛群的丰富深水岸线资源是以水流强劲为条件的,当水流减弱或水流形式发生变化、

水体含沙量又较大时,地形将出现相应的迅速调整。尽管北侧汉道封堵在导引水道主流向港区靠近、减轻港区淤积、归顺流态等方面效果良好,但主流北移也带来了水道地形的强烈变化。由于主流北移导致水道南侧的水流强度减弱,进而引起通道中、南部产生淤积。

3.3 码头岸线工程的建设

1) 洋山深水港区,自 2002-06 开工以来,已先后建成一、二、三期工程码头,驳岸线长 5.6 km,港池基建、疏浚量近 2 700 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。但由于一、二期工程港区分别开挖 2.0~6.0 m,港区的浚深造成港池水域潮流强度降低,由此产生港区淤积;而三期工程港区水深基本满足设计要求,主通道主流北偏以及东口门潮量的增加,引起港区产生冲刷。

2) 四期工程陆域吹填于 2008-12 开始,至 2009-05 结束,驳岸线长 2.35 km,于 2009-06 开始施工,2009 年底基本完成。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和颍珠山汉道继续向着以落潮为主方向发展,有利于出水出沙作用的增强,为四期工程水域的增深在新的工程边界条件提供潮动力。

3.4 大洋山岛链周边水域

大洋山岛链周边水域处于冲刷环境主要有两个原因:一是岛链南侧落潮潮量的增加;二是周边大环境泥沙来源的减弱。

综上所述,一、二、三期工程码头的建设封堵了北岛链小洋山—馒头山—大指头岛和大指头岛—沈家湾等主要的潮流通道,引起主通道内各汉道水动力的自我调整,主流北偏,南部潮流强度减弱,从而导致通道北侧冲刷,通道南侧淤积,主通道呈现了“南淤北冲”的格局;一期和二期工程港区的浚深,造成港池水域潮流强度降低,由此产生港区淤积;主通道主流北偏以及东口门潮量的增加,引起三期工程港区产生冲刷;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颍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、二、三期工程的水深维护。

4 结 语

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,洋山深水港区海域海床冲淤变化经过 4 a 在新的边界条件下的调整,逐渐趋于稳定。本文根据洋山深水港区近期(2004—2013 年)的水文泥沙、水深测量现场观测资料,深入地分析洋山深水港区海域冲淤变化情况,为后续工程规划设计提供基本依据。

2) 洋山深水港区海域在工程全面竣工投产后 4 a 期间,通道内总体上继续保持了“南淤北冲”的格局,即呈现通道北侧冲刷、通道中部及南部淤积的态势。年冲、淤强度为 0.25 m 和 0.18 m,冲淤变化不大,海床总体上保持了稳定状态。

3) 二期港区水域呈现淤积状况,三期港区呈现冲刷状态,一期工程水域介乎二者之间,有冲有淤;蒋公柱港区水域总体呈现淤积;颍珠山汉道水域总体呈现冲刷;近期颍珠山汉道继续向着以落潮为主的方向发展,增加了颍珠山汉道出水出沙的作用,继续保持四期工程水域的冲刷趋势,有利于洋山港一、二、三期工程的水深维护。

4)洋山港海域的泥沙运动及海床变化是与其水流动力条件相适应的,潮流的强弱在一定程度上决定了海床的冲淤变化,潮流对泥沙具有起悬和搬运双重作用。一、二、三期工程码头的建设、小洋山北岛链的封堵和四期码头岸线工程的建设是导致通道北侧冲刷、南侧淤积的主要原因。

5)岛群的丰富深水岸线资源是以水流强劲为条件的,当水流减弱或水流形式发生变化、水体含沙量又较大时,地形将出现相应的迅速调整。鉴于某些港口工程的实施往往是利弊兼存,因此在避免不利因素出现的同时,应力求通过工程的合理布置,减小其弊、扩大其利,从而达到有利于地形稳定和减轻港口淤积的目的。洋山港的工程实践表明,理想的汊道封堵,应以满足增加陆域、延伸岸线、实现导流引沙和弱分水强分沙、保持槽滩地形基本稳定为条件。

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,(增刊 1):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.
- [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.
- [4] 吴明阳,许家帅,冯玉林. 杭州湾湾口水体含沙量的时空分布[J]. 泥沙研究,2011,(1):33-37.
- [5] 吴明阳,许家帅,吴超. 高含沙高水流海区工程布置对泥沙运动的影响[J]. 水道港口,2013,34(3):214-218.

Analysis of Seabed Evolution in the Yangshan Deepwater Port Area, Shanghai City

WU Ming-yang^{1,2}, LIU Guo-ting^{1,2}

(1. *Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Ministry of Transport*,
Tianjin 300456, China; 2. *Key Laboratory of Engineering Sediment, Ministry of Communications*,
Tianjin 300456, China)

Abstract: Based on the hydrological, sediment and sounding data measured in situ in the Yangshan Deepwater Port area in 2004—2013, changes in the scouring and silting of seabed in the Yangshan Deepwater Port area are analyzed, reasons for the changes are interpreted and a fundamental basis is provided for the subsequent engineering planning. The main conclusions are: the seabed in the Yangshan Deepwater Port area is generally in a stable state. The discharge of sands from the Kezhushan Inlet located at the north-west end of the port area has played a decisive role for maintaining the safety of the waters in the apron of the Yangshan Deepwater Port. The sediment movement and the seabed changes in the Yangshan Deepwater Port area are adaptable to the flow dynamics. The wharf construction of the Phase 1 to 3 Project, the blocking off of the island chain north of the Xiaoyangshan and the water front construction of the Phase 4 wharf are the main causes for scouring at northern side and silting at southern side of the channel.

Key words: evolution analysis; topography; port area