



辐射沙洲海域深水港开发建设 水动力泥沙问题研究

李孟国, 杨树森, 韩西军

(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 300456)

摘要: 综合使用水文泥沙特征分析、卫星遥感分析、冲淤演变分析、潮流泥沙数学模型计算、波浪数学模型(SWAN模型、缓坡方程、多向不规则波Boussinesq方程)计算、波流冲刷物理模型试验、泥沙淤积计算、骤淤计算与分析等多种手段对辐射沙洲中的如东海域深水港开发建设的水动力泥沙问题进行了研究, 为深水港开发建设提供了科学依据。研究表明: 通过采取必要的工程措施, 在辐射沙洲海域中进行深水港开发建设是可行的。

关键词: 如东海域; 辐射沙洲; 西太阳沙; 烂沙洋; 波浪; 潮流; 泥沙

中图分类号: TV 142

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972 (2013) S1-0069-09

On hydro-dynamic sediment problems in the development of deepwater port in radial sandbanks

LI Meng-guo, YANG Shu-sen, HAN Xi-jun

(Key Laboratory of Engineering Sediment of the Ministry of Transport, Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering,
Tianjin 300456, China)

Abstract: Through analyzing the hydrodynamic sediment conditions, remote sensing and seabed evolution, mathematical models of tidal current and sediment, wave models of SWAN, mild-slope equation and Boussinesq equation, physical model test of erosion by tidal current and wave, calculation of sedimentation and calculation of sudden sedimentation, etc., we studied the hydrodynamic sediment problems in the development of deepwater port in radial sandbanks, Rudong county, Jiangsu province. The research results show that the development of deepwater port in radial sandbanks is feasible with necessary technical measures taken.

Key words: Rudong sea area; radial sandbanks; Xitaiyangsha; Lanshayang; wave; tidal current; sediment development; countermeasure and suggestion

1 概述

如东海域位于苏北辐射沙洲内(辐射沙洲海岸长200 km, 宽90 km, 有70多条潮汐通道, 辐射沙洲地形独特罕见, 有海上迷宫之称), 如东海域的特点是: 1) 岸滩平坦宽阔, 其中滩面平均坡度为1:2 000, 宽度可达7~10 km; 2) 在岸滩的外边缘分布着众多的辐射状沙脊和深槽, 其中有2个主要的潮汐通道深槽, 烂沙洋水道和黄沙洋水

道(图1)。烂沙洋被火星沙、大洪埂子、太阳沙分成了烂沙洋南水道、烂沙洋中水道、烂沙洋北水道; 黄沙洋水道被河豚沙分成了黄沙洋南水道和黄沙洋北水道。在烂沙洋南水道的西端、烂沙洋北水道南侧为西太阳沙和小西太阳沙。由于本海域岸滩宽阔, 深水区离岸远, 港口建设相对落后, 港口资源一直没有充分开发利用。由于沿岸经济迅速发展的需要, 迫切需要在辐射沙洲海岸

收稿日期: 2010-09-06

作者简介: 李孟国(1964—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事海岸河口水动力泥沙研究。

建设深水港口。

从建港资源条件看,烂沙洋水道和黄沙洋水道是直通太平洋的潮汐通道,是长江口以北近千公里海岸线上唯一可建10万~20万吨级海港的天然深水港址,具备建设大型LNG专用泊位,第五、六代集装箱泊位,30万吨级原油进口泊位及大型散货泊位的自然条件,是我国东部沿海十分宝贵的深水海港资源。

烂沙洋北水道深槽水深槽宽、离岸相对较近^[1],

可以首先作为航道资源利用,而开发利用烂沙洋北水道的深水资源需要建设人工岛来实现。烂沙洋北水道南侧的西太阳沙浅滩多年来一直基本稳定,具备建造人工岛的地质条件,西太阳沙和烂沙洋北水道有望建设成为10万t以上的深水码头和深水航道。西太阳沙距离陆地最近距离13 km,还需建设陆岛通道。因此,西太阳沙和烂沙洋海域深水港建设是航道—码头—栈桥—人工岛—陆岛通道(实体堤+桥梁)系统(图1)。

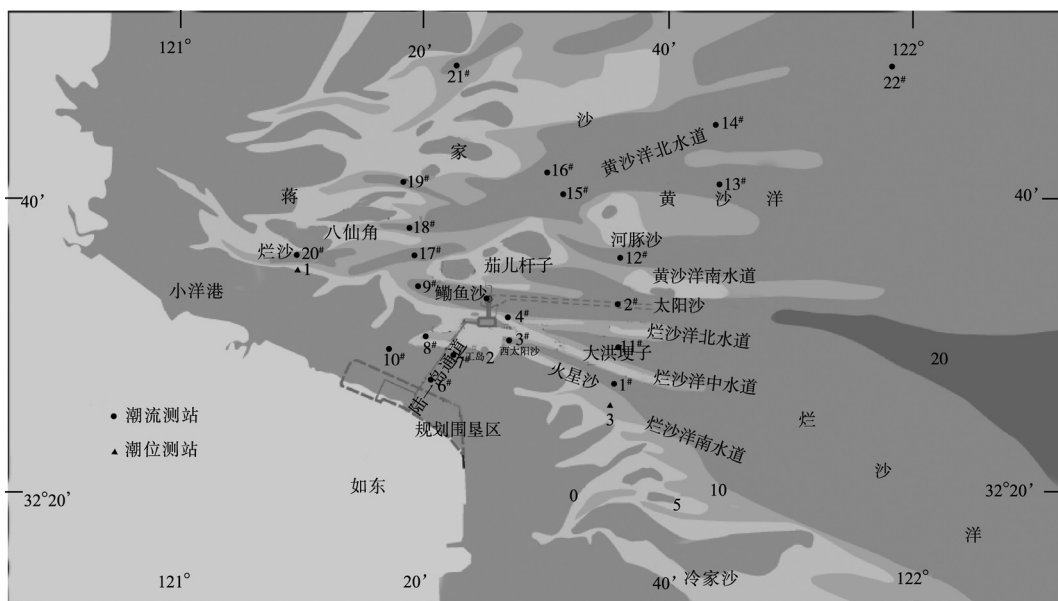


图1 辐射沙洲中如东海域

笔者在大量的现场资料的基础上,采用水文泥沙特征分析、滩槽稳定性的冲淤演变分析、卫星遥感分析、潮流泥沙数值模拟、波浪数学模型(SWAN模型、缓坡方程、多向不规则波Boussinesq方程)计算、波流冲刷物理模型试验、航道淤积计算、骤淤分析计算等多种研究手段,对在如东海域的西太阳沙和烂沙洋水道深槽开发建设深水港口航道涉及到的滩槽稳定、水动力泥沙条件等若干技术问题进行了较为全面和系统的研究和论证,为港口航道规划和设计提供了科学依据。

2 水动力泥沙特征

2.1 潮汐和潮流

辐射沙洲处于山东半岛南部的旋转潮波系统

与自东海进入黄海的前进潮波系统相交汇的地方。由于潮波辐聚,波能集中,使得该区潮差大、潮流强,为强潮区,实测最大潮差9.28 m^[2],烂沙洋北水道最大落潮流速2.43 m/s^[3]。辐射沙洲海域潮汐以正规半日潮为主,潮流为半日强潮流,且大致以弶港为顶点作呈辐射状的辐聚、辐散运动。

根据西太阳沙海洋站1996年10月—1997年10月历时1 a的实测潮位资料统计,最大潮差8.08 m,最小潮差1.79 m,平均潮差4.68 m。据2003年和2006年实测资料统计,当外海潮汐向近岸传播过程中,因受地形的影响,潮汐特征会发生变化,主要表现为:自外向内高潮位逐渐抬高,低潮位逐渐降低,涨、落潮潮差逐渐增大^[4]。

通过1992年8月22—9月15日、2003年4月19—25日、2005年5月24—31日和2006年12月5—11日

现场实测大、中、小潮水文资料分析, 本海区潮流的变化规律主要有以下特点^[4]:

1) 潮流动力强。据2006年12月最新实测水文资料分析, 西太阳沙附近大潮潮段平均流速, 涨潮介于0.98 ~ 1.03 m/s, 落潮介于0.79 ~ 1.07 m/s; 垂线最大流速, 涨潮介于1.44 ~ 1.53 m/s, 落潮介于1.27 ~ 2.00 m/s。流速沿垂线分布呈表层大、底层小。

2) 烂沙洋水道均为往复流, 烂沙洋北水道涨潮流向介于280° ~ 286°, 落潮流向介于97° ~ 108°, 涨、落潮流向基本与深槽走向平行。

3) 烂沙洋北水道大、中潮均为落潮流速大于涨潮流速, 烂沙洋中水道则反之, 大、中潮均为

落潮流速小于涨潮流速。

2.2 波浪

根据西太阳沙海洋站1996年10月—1997年9月历时1 a波浪观测资料统计^[4], 本海区常浪向为N向, 频率19.6%, 次常浪向为NNW向和S向, 频率分别为10.6%和10.1%; 强浪向为NE向, 实测最大有效波高4.2 m (1997年8月18日, $H_{1\%}$ 波高为6.9 m); 次强浪向为NNE向和N向, 有效波高分别为2.3 m和2.0 m ($H_{1\%}$ 波高分别为3.7 m和3.2 m)。其中在0.6 m以下波浪所占频率为85.6%, 可见, 本海区波浪不大。

2.3 含沙量

不同时段不同潮型的含沙量见表1。

表1 不同时段不同潮型的含沙量

时段	涨潮			落潮		
	大	中	小	大	中	小
1992-08-22—1992-09-15	0.260	0.104	0.074	0.285	0.101	0.072
2003-04-19—2003-04-25	0.339	0.277	0.094	0.361	0.288	0.105
2005-05-24—2005-05-31	0.178	0.159	0.098	0.169	0.145	0.086
2006-12-05—2006-12-11	0.530	0.610		0.560	0.580	

本海区大、中、小潮含沙量在平面上的分布主要体现了外海水体含沙量较小, 自外向内呈递增的变化规律。在本海区由于受复杂地形的影响, 沿程含沙量呈起伏变化, 两个较高含沙区分别出现在大洪埂子附近和西太阳沙附近。其中西太阳沙附近大、中、小潮实测含沙量分别介于0.372 ~ 0.456 kg/m³, 0.222 ~ 0.429 kg/m³和0.067 ~ 0.132 kg/m³。另外, 烂沙洋深槽内含沙量的变化, 大潮时北水道大, 中水道小; 而中、小潮时相反, 即北水道小, 中水道大。本海区沿垂线含沙量分布, 不论大、中、小潮还是涨潮或落潮, 均由水面至海底呈递增变化。

2.4 底质^[4]

根据2003年4月采集399个底质沙样、2006年4月采集100个底质沙样和2006年12月采集103个底质沙样试验成果对比分析, 本海区底质泥沙主要以黏土质粉砂、粉砂、砂质粉砂、粉砂质砂、细砂和中砂组成。其中: 细砂分布最广, 占现场测

量区域总面积的45.6%, 广泛分布于岸滩、沙洲及上段深槽内; 其次为砂质粉砂和粉砂质砂, 分别占24.2%和20.4%, 这2种砂主要分布于黄沙洋和烂沙洋深槽内, 另外在岸滩上也有该种泥沙存在; 粉砂占6.8%, 零星分布于黄沙洋、烂沙洋深槽及岸滩上; 黏土质粉砂占2.5%, 主要集中分布在烂沙洋南水道深槽内, 其它地区没有此种物质; 而中砂仅占0.5%, 只在茄儿杆子汉道深槽内有所分布。

本海区底沙中值粒径介于0.007 ~ 0.258 mm, 其中粒径小于0.1 mm的泥沙主要分布在烂沙洋及黄沙洋的各个深槽内, 太阳沙、西太阳沙及岸滩等水深较浅区域泥沙颗粒较粗, 但在岸滩中潮位以上部分, 底质泥沙均呈相对较细分布。上述各区泥沙的分选系数均介于0.15 ~ 0.82之间, 分选程度属“好”和“很好”状态。

2.5 泥沙来源及泥沙运移形态

本海区周边没有大的河流, 基本无陆源泥沙影响, 同时外海涨潮时水体含沙量很小, 外

海泥沙来源也很有限,工程海区附近泥沙来源主要为本海区滩槽细颗粒泥沙在波流共同作用下再搬运。本海区泥沙主要以细砂和粉砂为主,含泥量很少并松散,这种泥沙的运移形态应包括悬移质和推移质,但实际中,深槽内的流速远远大于泥沙起动流速,因此,深槽内细颗粒泥沙的运移形态主要是以悬移质运动为主,推悬比不会超过20%。

3 滩槽演变与稳定性分析^[4]

3.1 大范围海域滩槽冲淤演变特征

根据1994年11月、2003年3月、2005年6月、2006年3月、2006年9月及2006年12月水下地形测图的对比,工程海域内冲淤变化具有以下特点:

1) 1994年11月—2003年3月历时8年半时间内,海床变化以淤积为主,年均淤积厚度介于0.02~0.07 m,平均值为0.04 m。

2) 2003年3月—2005年6月历时2年3个月时间内,海床变化有冲有淤,以淤积为主,年均冲淤厚度介于-0.14~0.10 m之间,平均值为-0.04 m(+为冲刷、-为淤积,下同)。

3) 2005年6月—2006年12月历时1年半时间内,海床变化有冲有淤,以淤积为主,年均冲淤厚度介于-0.20~0.15 m,平均值为-0.03 m。

3.2 烂沙洋水道冲淤演变特征

经多年实测水深测图对比,从20世纪90年代初期至今,烂沙洋南水道下段一直处于冲刷,平均冲刷深度为0.10 m左右,而上段自1992—2003年期间处于刷深状态,年均冲刷深度介于0.11~0.21 m;至2005年以后转为淤积,年均淤积厚度介于0.06~0.17 m。

中水道在2003年以前也是以冲刷为主,那时的冲刷速率较快,冲刷量也较大;至2005年以后,有冲有淤,但冲淤速率及冲淤量都很小,基本接近不变状态。

北水道冲淤变化,其规律如下:1) 在西太阳沙深槽段,1992—2003年期间以淤积为主,年均淤积厚度为0.26 m;主要表现是大风期淤积,风后

冲刷规律。2) 在深槽中段一直是有冲有淤,以冲刷为主,年均冲刷深度介于0.01~0.04 m。3) 在太阳沙深槽段,1992—2003年期间呈淤积状态,年均淤积厚度为0.16 m;2003年转为冲刷,年均冲刷深度介于0.01~0.22 m。4) 自2005年以后,整个烂沙洋北水道冲淤量都很小,基本达到冲淤平衡,并趋于稳定状态。

就目前变化特点来看,由于冲淤变化量较小,滩槽冲淤基本趋于平衡,整个烂沙洋水道主体是稳定的。

3.3 西太阳沙冲淤演变特征

西太阳沙长期以来一直处于分割、合并的演变过程,其1979年以前是由几个小沙洲组成,1994年就合并成一个大的沙洲,至2003年,西太阳沙-5 m等深线以上面积明显减小,又形成2个沙洲。虽然该沙洲出现了分割→合并→分割的变化,但此沙洲一直在烂沙洋北水道的南侧存在,而且-5 m等深线以下沙洲形态多年变化不大。就西太阳沙体积变化来看,1992年为41 000万 m^3 ,至2003年减少2 093万 m^3 ,约占总量的5%;在2003年3月—2006年3月期间,西太阳沙体积在2003年3月的基础上增加了558万 m^3 ,至2006年底,增加了103万 m^3 ,与1992年相比,西太阳沙体积仅减少3.5%,所以西太阳沙主体是稳定的。

而西太阳沙周边岸坡的变化,主要表现在西太阳沙北侧岸坡的增减,造成这种岸坡增减变化的重要原因是该地区复杂的波浪及潮流动力。笔者认为,台风破坏、潮流和中小风浪共同作用恢复塑造地形,是西太阳沙地形演变的根本原因。例如1992年—2003年期间,在9711号台风出现后,西太阳沙则发生了较大的地形变化;在2003年3月—2005年6月期间,基本没有较大的风浪出现,则西太阳沙的地形变化就小,冲淤量相近,差值仅为17万 m^3 ,致使冲刷作用明显减弱。

根据上述西太阳沙冲淤演变分析可以预测,在未来的时间内,西太阳沙的主体仍可维持稳定。在潮流及中小风浪作用下,西太阳沙在-5 m以上沙体还会有一定的恢复。

4 卫星遥感分析

选取了大、中、小3种潮型的遥感资料(美国陆地卫星Landsat-5 TM全波段影像)对工程海区的悬沙分布及泥沙运动进行了分析;选取了1989—2006年期间15幅美国陆地卫星(Landsat)资料(尽量选取较低潮位时的成像卫星遥感资料),其中包括Landsat-TM 14个时相和Landsat-ETM+ 1个时相,对西太阳沙的演变情况进行了分析。研究表明^[4-5]:

1) 受辐射沙洲地形的影响,含沙量呈明显的区域性分布。本海域高含沙区主要集中在近岸浅滩和沙洲附近,而烂沙洋和黄沙洋受浅水区泥沙的影响不显著。

2) 西太阳沙受烂沙洋流场的影响,其落潮时在东北角出现高含沙区,涨潮时受涨潮流影响可使西太阳沙泥沙向深槽内扩散,但扩散水体的含沙浓度和范围都不大,不会为深槽内提供大量沙源。

3) 西太阳沙中心部分为多年不变的区域,不变面积占总面积40%~50%左右,表明西太阳沙出露滩面具有较强的活动性;出露面积的年均变化基本小于 0.1 km^2 ,近年来西太阳沙上层总体呈淤长趋势,形态变化较小,基本趋于稳定。

4) 1990年—2006年17年期间,西太阳沙出露面积呈交替的增减变化,既有冲刷,也有淤积恢复,表明西太阳沙长期以来处于动态的冲淤平衡之中。从“9711”台风过后面积的变化,可得西太阳沙维护稳定的恢复周期为3~4 a。

5) 在台风过境前,西太阳出现冲刷,主要受控涨、落潮水流作用所致。在台风过境期间,西太阳沙冲刷会略有加剧,但变化量不是太大,减小面积均介于 $0.13 \sim 0.29 \text{ km}^2$,仅占台风前出露面积10%左右。因此,西太阳沙受台风冲刷的影响并不存在突变现象。

5 西太阳沙人工岛工程

西太阳沙人工岛及配套码头设施(栈桥)如图2所示。通过潮流场和泥沙场的数值模拟,论证了西太阳沙 2.5 km^2 人工岛建设(一期工程后 0.3 km^2 ,

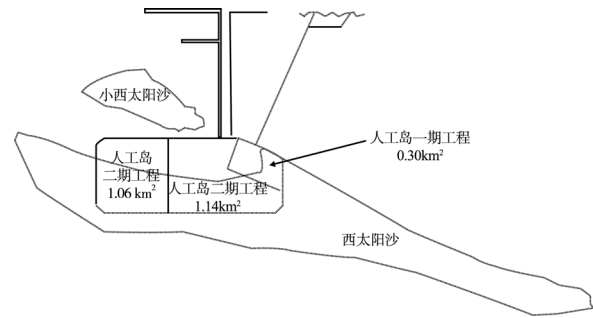


图2 西太阳沙人工岛方案

二期工程后 1.44 km^2 ,三期工程后 2.5 km^2)对周围水沙环境的影响;通过波浪数学模型模拟了“麦莎”台风过程,计算了人工岛建设(一期工程后 0.3 km^2 ,二期工程后 1.44 km^2)周围的波浪场,提供了设计波浪要素,通过波流冲刷物理模型试验研究了人工岛(一期工程后 0.3 km^2)周围的冲刷问题。

5.1 潮流泥沙数学模型

使用TK-2D软件建立了潮流泥沙大、中、小嵌套数学模型,大模型范围为 $109 \text{ km} \times 54 \text{ km}$,中模型范围为 $87.5 \text{ km} \times 42.5 \text{ km}$,小模型范围为 $49.5 \text{ km} \times 27.4 \text{ km}$ 。大模型、中模型和小模型均采用三角形网格剖分计算域。其中大模型三角形网格节点数为95 368个,三角形个数为189 498个,相邻网格节点最大间距为907.88 m,最小间距为40.53 m;中模型三角形网格节点数为83 310个,三角形个数为165 609个,相邻网格节点最大间距为682.46 m,最小间距为21.13 m;小模型三角形网格节点数为61 400个,三角形个数为121 968个,相邻网格节点最大间距为347.47 m,最小间距为20.26 m。使用现场实测资料(测点布置见图1)对模型进行了验证。潮流泥沙数值模拟结果表明^[4,6-7]:

1) 西太阳沙人工岛方案及其配套码头设施工程方案实施后,对本海区的涨、落潮整体流态影响甚小,有明显影响处仅限于人工岛附近,即在人工岛周围的流速变化量为 1.0 cm/s 左右,约占4%;而对规划码头区及西太阳沙南北两侧的烂沙洋南水道、烂沙洋北水道的流速、流向影响很小,变化量不足 1.0 cm/s 。

2) 西太阳沙人工岛方案及其配套码头设施工

程方案实施后,对烂沙洋南水道和烂沙洋北水道的潮量有微小影响,变化量约介于0.2%~0.7%,而对黄沙洋北水道、黄沙洋南水道、小洋港水道的潮量基本没有影响。

3) 西太阳沙人工岛方案及其配套码头设施工程方案实施后对整个海区涨、落潮悬沙场影响不大,但当出现50 a一遇大浪时,浅滩区含沙量会成倍增加,但引起各水道深槽内水体含沙量的变化不是很大,增加值仅在4%左右。

4) 西太阳沙人工岛没有对各水道主流走向有所阻碍,不会改变各水道的水流动力分布和主流走向,对各水道产生的负面影响很小。仅从潮流场和泥沙场变化考虑,西太阳沙人工岛建设方案是可行的。

5.2 波浪数学模型

采用SWAN模型进行风浪模拟,并复演了“9711”和“麦莎”台风浪过程,使用缓坡方程进行大范围波浪场模拟,使用Boussinesq方程进行小范围多向不规则波的波浪模拟。计算结果表明^[4]:

1) 工程海区年均波浪不大,主要表现为风成浪,常浪向为N向,强浪向为NE向,各向年均波高H13%在0.60 m以下。

2) 工程海区地形复杂,浅滩众多,工程海域辐射沙洲对波浪的传播变化影响很大,工程浅滩区域地形对外海来浪的衰减作用明显。

3) 人工岛建成后对大范围的波浪场不会产生大的影响,通过对人工岛小范围数值模拟,人工岛附近波浪场有大的变化,正对来浪的一侧,波高会加大30%以上;背浪面波高减小50%以上。

4) 人工岛岛壁的主要影响浪向为各自正向来浪,当来浪方向与岛壁接近正向时,波浪反射很明显,该岛壁前沿波高显著增大,会形成菱形波,在其附近产生波能集中现象。

5) 人工岛岛壁采用斜坡式护岸,其反射率较小,对减小波能集中是有利的,而采用直立式护岸,将使迎浪面的波浪加大50%以上,有立波出现,因此建议岛壁采用斜坡式护岸。

6) “9711”号台风过程中高潮位时工程海

域的波高很大,东侧深水区域和3条水道内的有效波高都达到了5 m以上,人工岛工程附近的近岸区域波高与设计高水位重现期50 a一遇ESE向波高接近。“麦莎”台风从风速分析接近于重现期6~10 a的强度,从波浪模拟结果与波浪后报结果分析接近于重现期为10 a的强度,台风期间大浪出现了3个时段,均在高潮位期间,大于3.5 m有效波高的历时共9 h。

5.3 人工岛周边冲淤动床泥沙物理模型试验研究

模型设计考虑了潮流运动相似、波浪运动相似、波浪对岸滩作用相似和泥沙运动相似。采用系列比尺模型试验^[4,8-10]。本研究的内容属局部三维变化,模型必须作成正态。模型比尺的选择除应满足波浪、潮流及泥沙运动相似条件外,还应综合考虑下列条件:1) 工程区域范围及试验场地的大小、试验设备供给能力、测量精度;2) 模型水流应满足流态相似,研究区域内的水深不宜小于3 cm;3) 模型应满足阻力相似,同时考虑摩阻损失不能太大。

对人工岛工程方案进行的试验为波浪、潮流共同作用下动床泥沙物理模型试验,本模型研究的范围以人工岛布置的中心线为界,向南北各延长2 km,向东西各延长3.5 km,即原型长约7 km,宽约4 km,总面积约28 km²。模型沙全部采用现场的表层泥沙进行铺设,铺沙厚度不小于0.1 m。

模型采用潮流验证、波浪验证,为确定原型沙在模型中能否起动,首先用原体沙进行水槽试验,并测定出试验流速作用下原体沙的起动波高。

试验结果表明^[4,9-10]:

1) 在不同方向波浪及水流作用下,均在人工岛迎浪面会形成与该面相平行的沙波,人工岛前约半倍波长范围内会形成冲刷带。在大潮型与50 a一遇波浪组合情况下,人工岛周围冲刷带的宽度北面为24 m,东面和西面分别为28 m和12 m。因此为避免人工岛岸坡受波浪的淘刷,在人工岛前约半倍波长范围内,采取必要的防护工程措施是非常必要的。

2) 人工岛岛壁前沿冲刷带的深度与波浪及

水流强度有关: ①在中潮型与年均波浪组合情况下, 人工岛在不同浪向作用1 a后, 平均冲刷厚度为0.05 m; ②在大潮型与50 a一遇波浪组合情况下, 受N向、NE向、ESE向及NW向浪作用1 d后, 人工岛北侧、东侧、西侧的最大冲刷深度分别为4.41 m, 3.14 m和1.40 m, 而南侧的地形呈基本不变趋势。

3) 护底工程对减轻人工岛周围的冲刷具有明显的效果, 护底范围是以不超过人工岛前沿冲刷带至第1个沙波波顶的宽度为宜, 因此建议人工岛周围护底宽度北面为28 m, 东面为35 m, 西面为15 m, 但在4个拐角附近的护底宽度还应适当放宽。

6 陆岛通道工程

西太阳沙人工岛距离陆地13 km, 需要建设陆岛通道。陆岛通道完全采用实体堤对周围海区环境影响太大, 而完全采用桥梁则成本太高, 采用部分实体堤和部分桥梁是比较好的方法, 即从岸边先建实体堤, 建一定长度后再采用桥梁。规划陆岛通道轴线方案共4种, 其中方案1位于陆域实际围垦区的西端, 方案2位于陆域实际围垦区的东端即规划围垦区的中部(该方案细分成2个, 方案2-1与岸线垂直布置, 方案2-2与岸略向东偏转, 两堤之间的夹角为 10°), 而方案3位于规划围垦区的东部(图3)。陆岛通道工程涉及2个问题需要进行研究: 1) 实体堤的合理轴线和合理长度问题, 2) 桥梁的桥墩冲刷问题。

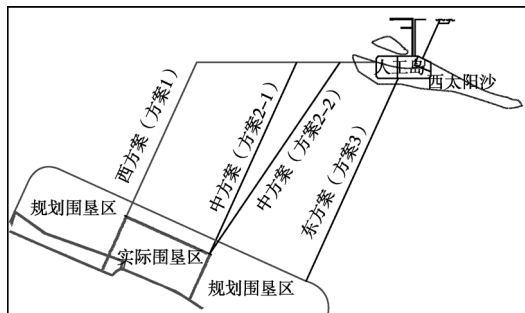


图3 陆岛通道规划轴线方案

本研究首先对实体堤的合理轴线和合理长度进行了潮流泥沙数学模型计算, 并对推荐方案进行

波浪计算和推荐轴线下的桥墩冲刷波流水槽试验。

6.1 潮流泥沙数学模型计算

采用的潮流泥沙数学模型与上面的西太阳沙人工岛工程的一样。数值模拟结果表明^[4,11]:

1) 岸边围垦区及陆岛连堤工程处在岸边浅滩水域, 低潮时基本全部露出, 涨潮时潮水几乎垂直岸线(围垦区外围线)漫滩, 陆岛连堤轴线基本平行于岸滩的涨落潮水流。

2) 经综合分析认为, 方案1、方案2-1和方案3是不可取的, 方案2-2为最佳轴线方案。

3) 方案2-2堤长不宜超过6 km, 即堤长在6 km内都是可行的:

①陆岛连堤堤长1 km和4 km 这2种方案对烂沙洋南水道的流速、流向、断面潮量、含沙量没有影响, 即对烂沙洋南水道没有影响, 影响仅局限于实堤工程两侧, 但影响范围和程度也是有限的。

②陆岛连堤堤长6 km方案对烂沙洋南水道潮流有些影响, 其流速变化一般在1 cm/s以内, 流向变化在 1° 度以内, 烂沙洋南水道断面涨落潮潮量减小在1%以内, 含沙量变化在 0.01 kg/m^3 以内, 该方案对烂沙洋南水道的潮流和潮流输沙影响是很小的。

③陆岛连堤堤长6 km方案对实堤两侧的水流及含沙量有影响, 其量值有增有减, 但由于是漫滩水流, 流量值不大, 对整个海区水流泥沙环境也不会产生较大的影响。

6.2 桥墩冲刷波流水槽试验

试验在宽水槽厅内进行。试验水槽长90 m, 宽3.0 m, 高1.8 m。具有不规则造波机及循环水流系统, 可进行波浪、潮流共同作用下的泥沙模型试验研究。按照系列模型试验要求, 模型必须作成正态。模型比尺的选择除应能满足波浪、潮流及泥沙运动相似条件外, 模型水流应满足流态相似, 研究区域内的水深不宜小于3 cm, 模型应满足阻力相似, 并同时考虑摩阻损失不能太大。试验结果表明^[4,8]:

1) 不论深水区还是浅水区, 均在每根桩基周围出现冲刷坑现象, 而冲刷坑并未连成一片。但在

桩基的内侧,由于受桩基影响,动力有所减弱,因此桩基内侧地形冲刷量小于桩基外侧冲刷量。

2) 沿程桥墩冲刷的基本规律是:自岸滩边缘向外,桥墩周围冲刷量逐渐加大,在烂沙洋南水道-2 m等深线附近达到最大;在南水道深水区,桥墩周围冲刷量又有所减少。在波浪、潮流共同作用且遇50 a一遇波浪情况下,沿程桥墩局部冲刷深度一般都介于3~4 m,最大值可达5.6 m。这种量值变化是属正常冲刷范畴,因此,只要在打桩时预留一定的防冲深度(增加桩高6 m),即可保证桥梁的安全,不需要采用特殊工程措施进行防护。

7 航道工程

航道轴线布置如图1所示。规划的西太阳沙至太阳沙段航道轴线方位为 $274.5^{\circ} \sim 94.5^{\circ}$,呈一条顺直航道布置,在西太阳沙至太阳沙航道轴线上最小自然水深为-11.9 m,整条深槽内除水深小于-13 m的长度为6.1 km。如按LNG船舶、20万吨级散货船、25万吨级油轮及30万吨级油轮的设计船型分别进行航道开挖时,4种规划航道底高程分别为-15.0 m、-17.0 m、-18.0 m和-20.4 m,因此,需要对烂沙洋水道进行开挖。文章对航道开挖的潮流场进行模拟,对开挖后的泥沙淤积量进行计算,对骤淤进行计算和分析,对航道的可控性进行分析。研究表明^[4,12]:

1) 航道区潮流强劲,大潮涨潮平均流速介于0.89~1.11 m/s,落潮平均流速介于0.87~1.17 m/s;中潮涨潮平均流速介于0.54~0.71 m/s,落潮平均流速介于0.64~0.92 m/s。

2) 航道开挖后,各方案大、中潮涨潮和落潮流速均呈增加趋势:涨潮平均流速增加值约为0.04 m/s左右,落潮平均流速增加值约为0.05 m/s左右,平均增幅在5%以内。局部航道段内流向也发生了改变(归槽),但角度变化值均在 5° 以内。在烂沙洋深槽内,随着开挖水深的增大,涨、落潮水流会更加平顺并趋于一致,并且沿程动力有所增强,非常有利航道水深的维护。

3) 从航道开挖后泥沙淤积计算结果来看,当

航道设计水深为-15.0 m时,开挖区正常状态下平均淤强为0.56 m/a,最大淤强为0.92 m/a,淤积量为302万 m^3/a ;当航道设计水深为-17.0 m时,开挖区正常状态下平均淤强为0.86 m/a,最大淤强为1.26 m/a,淤积量为378万 m^3/a ;当航道设计水深为-18.0 m时,开挖区正常状态下平均淤强为0.70 m/a,最大淤强为1.42 m/a,淤积量为711万 m^3/a ;当航道设计水深为-22.4 m时,开挖区正常状态下平均淤强为0.90 m/a,最大淤强为1.88 m/a,淤积量为1 255万 m^3/a 。即使9711台风出现时,4种设计水深24 h的泥沙最大淤积强度分别为0.13 m, 0.18 m, 0.21 m和0.28 m,不会出现骤淤现象^[4,12]。

4) 经泥沙淤积形态、淤积物质、淤强分布和淤积量等综合因素对比分析认为,本港航道依靠单纯疏浚的方法进行航道工程开挖和工程后航道水深维护是可行的,也是经济合理的。

8 结论

1) 工程海区潮差大、潮流动力强、波浪小、含沙量低,泥沙来源为滩面泥沙在波流作用下的再搬运,潮流是本海区塑造水下地形形态的主要动力因素。

2) 西太阳沙-5 m等深线以下沙洲形态多年变化不大,烂沙洋滩槽冲淤基本趋于平衡,西太阳沙和烂沙洋水道主体是稳定的,可以在西太阳上建设人工岛。

3) 在人工岛和栈桥式码头规划方案实施后,造成的影响仅限于工程区附近,不会造成大范围流场和含沙场的变化,不会影响滩槽的稳定,人工岛建设可行。

4) 陆岛通道实体堤的合理长度是不超过6 km,从岸边围垦区东北角点向东北与岸线法向呈 10° 夹角的轴线为最佳轴线方案。

5) 烂沙洋水道可以开挖,无骤淤之害,开挖后可以依靠单纯疏浚的方法进行水深维护。

6) 人工岛岛壁前沿冲刷带的深度与波浪及水流强度有关;人工岛前沿冲刷范围基本是处于半倍波长以内;护底工程对减轻人工岛周围的冲刷

具有明显的效果, 护底范围是以不超过人工岛前沿冲刷带至第1个沙波波顶的宽度为宜。

7) 在波浪、潮流共同作用且遇50 a一遇波浪情况下, 沿程桥墩局部冲刷深度一般都介于3~4 m, 最大值可达5.6 m。这种量值变化是属正常冲刷范畴, 因此, 只要在打桩时预留一定的防冲深度(增加桩高6 m), 即可保证桥梁的安全, 不需要采用特殊工程措施进行防护。

综上, 通过采取必要的工程措施, 在辐射沙洲海域中进行深水港开发建设是可行的。

参考文献:

- [1] 杨树森, 杨镜吾, 曹祖德. 如东海岸的建港优势与深水港建设的可行性[J]. 水道港口, 2006, 27(6): 357-360.
- [2] 朱玉荣, 常瑞芳. 南黄海辐射沙洲区悬沙潮扩散规律数值研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(4): 615-621.
- [3] 李孟国, 时钟. 江苏如东西太阳沙及烂沙洋海域潮流泥沙数值模拟[J]. 海洋通报, 2005, 24(6): 9-16.
- [4] 杨树森, 李孟国, 陈汉宝, 等. 辐射沙洲海岸深水港开发建设涉海关键技术研究[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2007.
- [5] 赵洪波, 钱敏. 江苏如东附近海域泥沙运动遥感分析[J]. 水道港口, 2004, 25(1): 34-37.
- [6] 李孟国, 时钟. 江苏如东海域西太阳沙人工岛工程潮流数学模型研究[J]. 中国港湾建设, 2006(3): 1-4.
- [7] 李孟国, 李文丹. 南通港洋口港区总体规划方案潮流数学模型研究[J]. 水道港口, 2007, 28(5): 305-310.
- [8] 韩西军, 杨树森, 陈汉宝, 等. 粉沙质海岸上栈桥桩基的波流冲刷试验[J]. 水运工程, 2006(4): 14-22.
- [9] 韩西军, 曹祖德, 杨树森. 粉砂质海床上建筑物周围局部冲刷的系列模型延伸法研究[J]. 海洋学报, 2007, 29(1): 150-154.
- [10] 韩西军, 杨树森, 曹祖德. 粉沙质海岸上人工岛周围波流冲刷试验[J]. 水运工程, 2007(11): 36-40.
- [11] 李孟国, 时钟. 如东海域西太阳沙人工岛陆岛通道实体堤合理长度潮流数模研究[J]. 水运工程, 2006(9): 5-9.
- [12] 曹祖德, 杨树森. 洋口港航道淤积的可能性分析[J]. 水道港口, 2006, 27(1): 9-13.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

本文专题研究辐射沙洲海域中深水港开发建设的水动力泥沙问题, 具有前沿性和牵引性。

运用实测、试验、历史测图对比、卫星遥感分析、数学模型计算、物理模型试验等多种手段和方法, 分析研究水动力泥沙特征和滩槽冲淤演变特征, 基础资料翔实, 研究内容全面, 方法合理, 分析透彻, 对规划的西太阳沙人工岛工程、陆岛交通工程和航道工程进行潮流、泥沙、波浪和冲刷的计算与推算, 具有可靠性和先进性, 为在该海域中开发建设深水港提供了比较充分的科学依据。

宋向群

2012年12月

评委简介:

宋向群, 教授, 大连理工大学建设工程学部副部长。

主持完成和在研的国家自然科学基金项目有: 《复杂条件下沿海港口深水航道通过能力及航道线数的研究》(072167)、《生态型港口时空演化机理与开发模式研究》(072231); 2010年获得中国水运建设行业协会科学技术一等奖。