

文章编号:1009-2722(2013)06-0037-07

曹妃甸浅海人工岛工程海底泥沙冲淤

褚宏宪^{1,2}, 李 强³, 王文辉⁴, 史慧杰^{1,2}, 刘晓东^{1,2}

(1 国土资源部海洋油气与环境地质重点实验室, 青岛 266071;

2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 3 青岛市李沧区投资审计中心, 青岛 266000;

4 天津市南港工业区开发有限公司, 天津 300280)

摘 要:浅海人工岛建设改变了周边海洋环境动力边界条件,引起周边海域泥沙冲淤变化。对卫星遥感数据和地形测量数据进行了对比分析,结合研究区风浪、潮流、悬浮泥沙分析了海底地形变化原因,研究了周边海域的泥沙冲淤规律,并对淤积和侵蚀的程度进行了量化评价,提出可以对护岛潜堤进行优化设计,此研究对类似浅海人工岛建设具有指导作用。

关键词:人工岛;地形;潮流;泥沙;冲淤

中图分类号:P736

文献标识码:A

建设浅海人工岛可以实现海油陆采,具有成本低、生产效率高、综合效益高等优点,但工程建设会改变滩海海洋环境动力边界变化,打破原有的自然平衡状态,会引起地形地貌的变化。为研究变化规律,提前作好监测和防范措施,有必要进行人工岛周边海域泥沙冲淤分析,可提高路岛工程安全性。本文以曹妃甸海区某浅海人工岛工程施工期和工后监测项目为例,采用地形测量、浅地层剖面测量和卫星遥感等多种方法手段,进行对比综合研究。

究院设计,进海路长约 1.6 km,路宽 19 m,1 号人工端岛呈近似椭圆形布置,面积约 0.27 km²,人工岛长边方向布置 3 条长约 150 m 的护岛潜堤^[1],其主体工程于 2006 年 11 月完工。施工取砂区位于 1 号人工端岛西北方向约 900 m 的浅滩上。采用定期固定断面观测法监测滩面冲淤变化,进行了浅地层剖面测量,同时又收集了测区卫星遥感数据,并进行了对比分析。

1 工程区域概况

1.1 工程概况

南堡油田西线进海路及 1 号人工端岛工程位于河北唐山渤海湾北部滩海区域(图 1)。西线进海路及 1 号人工端岛工程由上海航道勘察设计研

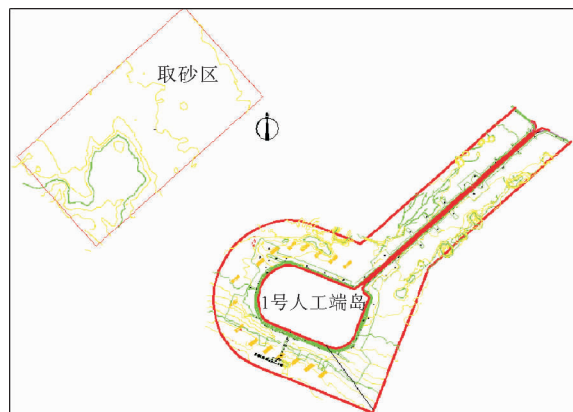


图 1 工区位置示意图

Fig. 1 Sketch map of the study area

收稿日期:2013-03-20

基金项目:国家自然科学基金(41276060)

作者简介:褚宏宪(1973—),男,教授级高级工程师,主要从事地球物理调查研究工作。E-mail:chx-8@163.com

1.2 地形地貌

施工海域工后地形地貌受进海路及人工端岛工程建设影响,处于变化调整时期,地貌单元有潮滩、潮沟、人工地貌;总体地貌仍以浅滩为主,人工端岛南部位于潮沟边缘,滩面上有大小不一的坑或沟分布,地形线沿进海路及人工端岛分布曲折^[2],立体地势见图 2。

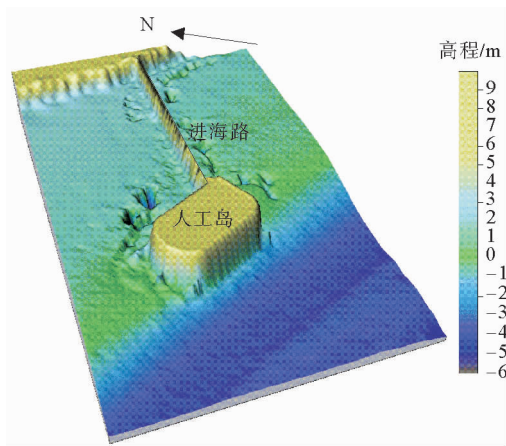


图 2 西线进海路及 1 号人工端岛地势

Fig. 2 The topographic map of the area around the artificial island

进海路路堤浅滩外地形总体坡度较缓,局部受取沙施工影响,存在较多取沙坑或取沙沟。进海路浅滩高程变化范围约 2.7~−0.78 m。进海路两侧地形不尽相同,滩面高程不等,但均在同一位置的剖面线上,西侧滩面高于东侧滩面。进海路东侧地形特征总体上自 N 向 S 倾斜,在进海路 0+0 附近地势较高,有一定的淤积;进海路西侧地形特征总体上与原地形变化趋势相同,大体呈自 NE 向 SW 倾斜。与 2005 年测量相比,滩面海底高程普遍抬高,岛西侧 0 m 线向南推移约 100 m,岛东侧 0 m 线向南推移约 40 m。除取沙坑及取沙沟外,滩面地形平缓,坡度约 1‰,进海路两侧存在许多大小不一的取沙或施工坑,在进海路靠近人工端岛位置及人工端岛北侧,有若干取沙坑存在(图 3)。滩面有与进海路平行的小型潮沟若干。

人工岛周围海域地形总体特征自 NE 向 SW 倾斜,人工岛北侧浅滩因取沙坑的存在地形较复



图 3 人工端岛周围取沙坑分布

Fig. 3 Map showing the distribution of bunkers around artificial island

杂,在冬季 12 月—1 月期间,以北风为主,小潮居多,人工岛以北滩面大部分时间无潮水,滩面高程在 0 m 线以上;人工岛以南海底为潮沟边缘,水深变化较大,海底有沙波发育,海底高程变化为 −0.7~−4.3 m;人工岛东侧海底高程变化为 1.0~−2.1 m;人工岛北侧护岛潜堤西侧有浅沟存在,坑深为 30~40 cm。

1.3 潮汐和潮流

渤海潮汐主要是由太平洋传入的潮波引起的,太平洋潮波通过渤海海峡进入渤海后,分为 2 支完整的潮波系统。一支为 NE 向,经辽东湾形成北渤海潮波系统,其中心在秦皇岛外;另一支为 W 向,经渤海湾形成南渤海潮波系统,其中心在黄河口外。潮波进入渤海后,受到渤海曲折海岸线和复杂的海底地形的影响,潮汐发生了急剧的变化,不仅潮时、潮高差异悬殊,而且潮汐性质也产生了变化。曹妃甸海区附近海域的潮汐,主要受黄河口外半日潮旋转潮波的影响,其次是秦皇岛外的半日潮旋转潮波和渤海海峡日潮旋转潮波的影响。

1 号岛工程海区潮流类型判别数均 < 0.5 ,为正规半日潮流,潮流运动形式均属往复流,呈 NW—SE 向。在高、低潮时刻流速最小,在半潮面附近流速最大。涨、落潮最大流速分别出现在高潮前 3 h 和落潮后 3 h 左右。路由区的潮流较大,最大涨潮流基本在 80 cm/s 以上,呈涨潮流大于落潮流之特征;最大落潮流速为 93 cm/s,流向为 $120^{\circ} \sim 146^{\circ}$;最大涨潮流速约 105 cm/s,流向为 $300^{\circ} \sim 310^{\circ}$;各层潮流流向基本一致,潮流速度随水深的增加而减小。路由区余流速度不大,余流

方向基本为NW向,最大约 $15.9\text{ cm/s}^{[3]}$ 。

1.4 含沙量特征

悬浮泥沙的特征分析,不仅对海域沉积作用、海底地形地貌演变的研究有重要意义,而且从平面分布上,得出了近岸水域的水体含沙量大于近海水域的含沙量^[4]。本次悬浮泥沙分析描述依据1号平台场址综合调查资料。悬浮泥沙特征分析结果如下:

(1) 海域含沙量分布区间为 $7.8\sim 573.4\text{ mg/L}$ 。低潮时悬浮物浓度较低,高潮时悬浮物浓度较高,涨潮含沙量大于落潮含沙量。

(2) 含沙量和流速有较好的相关性。当流速增大时含沙量也增大,含沙量高值与流速高值同步出现或稍有滞后。含沙量的垂线分布由表向底逐渐增大。

(3) 路由区大潮期全潮日单宽输沙量为 $4\,746.7\sim 10\,208.7\text{ kg/d}\cdot\text{m}$,小潮期全潮日单宽输沙量为 $3\,353.2\sim 21\,771.0\text{ kg/d}\cdot\text{m}$ 。路由海区悬沙日单宽输移方向为NW向,即涨潮流向。

(4) 本海区悬沙主要成分为粉砂和黏土,样品级配曲线为单峰,组成物质粒度区间为 $6\sim 11(1\sim 8\text{ }\mu\text{m})$,峰值位于 $7.5\sim 8.5(1\sim 8\text{ }\mu\text{m})$,中值粒径 $7.4\sim 8.6(4\text{ }\mu\text{m})$ 。小潮期悬沙粒度较大潮时稍粗,中值粒径 Φ 值偏小,尤以小潮期涨急时刻悬沙粒度组成最粗。

(5) 本海区水体悬沙含量和粒度的分布规律与海流和波浪作用关系密切。流速较大,悬沙含量也较高,粒度较粗;在浅水区大风过程后,在较大波浪作用下海底泥沙有所起动悬浮进入水体,水体含沙量增高,粒度变粗。

2 信息遥感提取处理分析

为了更好地了解1号岛建成后的地形地貌变化和演变趋势,选用了2006年11月、2007年7月和2007年12月的卫星遥感图进行对比分析,图4为1号岛海区2007年7月卫星遥感图。

2.1 卫星遥感数据选用与处理

对该区档存快鸟(QuickBird,简称QB)、SPOT-5、IRS-P5、ALOS等高分辨率卫星遥感数



图4 2007年7月卫星遥感图

Fig.4 Satellite remote sensing image of July 2007

据进行全面查询,根据海上实测数据及对比的需要,选用了SPOT-5和QuickBird 2种卫星数据用于该区滩海变化对比研究。SPOT-5卫星数据2幅,时相分别是2006年11月2日03:20:06落潮时和2007年11月28日02:56:31涨潮时,空间分辨率为 2.5 m 全色波段;快鸟数据的时相为2007年07月16日,PAN波段空间分辨率为 0.61 m ,多光谱空间分辨率为 2.4 m 。此外还应用了美国陆地资源卫星TM数据,时相为2006年07月21日,空间分辨率为 30 m ,主要用于数据融合处理。经过遥感数据的几何精校正、信息增强处理和数据融合处理,得到2张成果图(图5)。

2.2 变化信息增强处理与对比分析

采用新旧时相信息组合自动提取变化信息处理的方法,基于红绿蓝三色通道的组合,提取2个不同时相之间表面纹理或色调区域的变化。正红色和正蓝色区域理论上应该是信息有变化的敏感区域。处理结果如下图6所示,在条件基本一致的前提下,“正红色”代表是新出现或增加的变化区域,“正蓝色”代表是减少或消失的变化区域。具体变化量大小与离蓝或红的偏离值呈正相关。经分析可以直观看变化规律:

(1) 东北角区(陆地):对比2个时相图象,红色区域为地势增高或新增加的建筑物,包括新增建平台及老平台上增加了很多构筑物,新整修的道路设施等;蓝色区域基本为消失或消减区域。

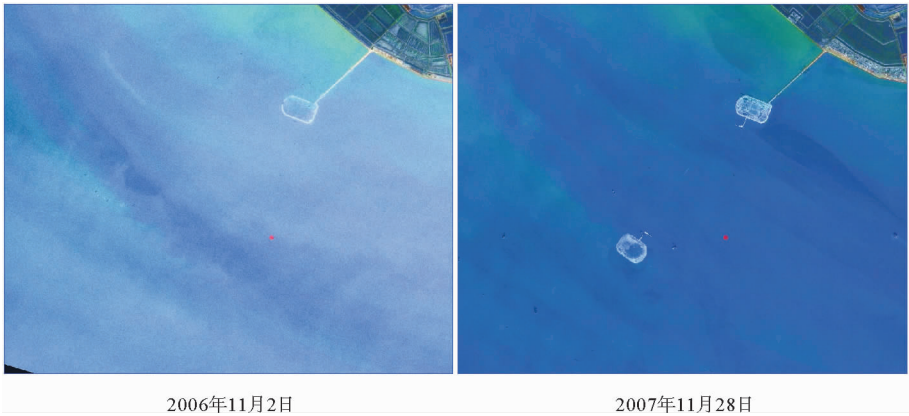


图 5 2006 年 11 月 2 日与 2007 年 11 月 28 日 SPOT 与 TM 融合图像

Fig. 5 The fusion images of the SPOT and TM on November 02, 2006 and November 28

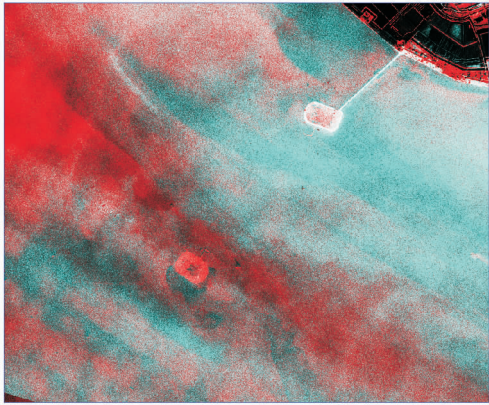


图 6 2006 年 11 月与 2007 年 11 月遥感变化
信息与提取结果

Fig. 6 The extracted results of remote sensing
information in November 2006 and November 2007

(2) 将陆地上的上述变化规律提取结果为真,当作已知推广到海域分析,类似现象不难理解。首先该海域 2007 年新修建的 2 号岛明显为红色,为增加部分;其次,2 个时间海上不同的船只表现为红色或蓝色点状;第 3,在 1 号和 2 号 2 个人工端岛附近均有成片的红色和蓝色区域,表明有明显的变化存在,反应了海底淤积或冲刷侵蚀的变化特征。关于变量的具体含义,在海域受影响的因素比陆地复杂,可能与海水的含沙量、浅水区域的海底地形起伏、瞬时海浪潮流等海况都有关系。

1 号岛 NW 方向总体偏红(非正红),有变量增加现象,SE 和 SW 方向总体偏蓝,存在 2 个

NW 向条带的正蓝色区域,有变量消减现象,红色现象可以解释为海底的增高和海水的含沙量较大,蓝色表示为负增加,海底有降低和侵蚀现象,冲刷区与淤积区间隔分布。

2 号岛整体处在 NW 向偏红的区域,其外侧有面积相对较小的 NW 向条带的正蓝色区域。2 号岛附近大面积的红色可能与海水含沙量高有关,也反映了淤积大于冲刷的现象。蓝色也反映了地形有变化,如取沙坑也反映为蓝色,实际为淤积区。因此,不能单纯的从颜色变化来判断海底变化规律,而必须和实测数据结合分析。

3 海底地形变化分析

将大范围 1 : 5 000 比例尺测量的西线进海路两侧和 1 号人工岛 1 km 范围内滩地整体进行统计计算,测量在全区范围内,利用 2007 年 4—10 月的测量数据分析半年的海底变化。图 7 为进海路 2 侧 1 km 范围内海底地形变化图,黄色为淤积区,蓝色为侵蚀区。计算范围为进海路 2 侧 1 km 以内,计算面积为 6.29 km²,淤积总量为 457 672.5 m³,冲刷总量为 440 537.8 m³,平衡量为 17 138.7 m³。也就是说,全区的泥沙来源总量为 17 138.7 m³,若按面积计算平衡淤积量则为 0.003 m,淤积量大的位置主要集中在取沙施工坑,其他部位淤积量不大。大的环境应该属于动态平衡调整期下的淤积环境,局部为冲刷状态^[5]。

3.1 进海路两侧

(1) 进海路两侧 200 m 范围内,浅滩月变化量较小,以淤积为主,月淤积量一般 <0.1 m,月冲刷量一般 <0.1 m,取沙坑月淤积量有变化,最大淤积量变化范围为 0.1~0.6 m,具体的海底地形变化见表 1。

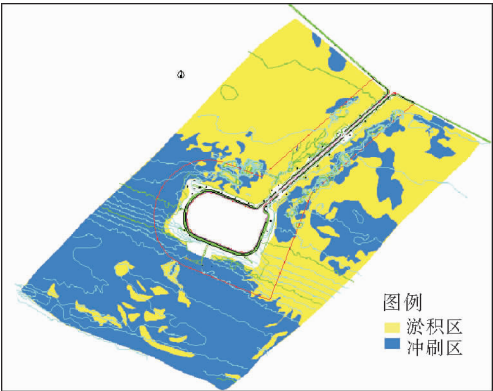


图 7 进海路两侧 1 km 范围内海底地形变化
(2007 年 4—10 月)

Fig. 7 The submarine topography of the offshore area within 1 km on both sides of the passage
(from April to October 2007)

表 1 进海路两侧海底地形变化统计

Table 1 Submarine topography changes in the offshore area on both sides of the passage

测量时间/月份	淤积量/m	冲刷量/m	取沙坑淤积量/m	时间间隔/月
3	<0.4			约 2 年(24)
4	<0.1	<0.1	<0.2	1
5	<0.1	<0.1	<0.1	1
6	<0.1	<0.1	<0.1	1
7	<0.1	<0.1	<0.1	1
8	<0.1	<0.1	<0.1	1
9	<0.1	<0.1	<0.6	1
10	<0.1	<0.1	<0.4	1
11	<0.1	<0.1	<0.1	1
12	<0.1	<0.1	<0.1	1

(2) 进海路两侧 200~800 m 范围内,半年间隔,浅滩地形变化不大,进海路东西两侧有冲有淤,以淤积为主,进海路西侧淤积幅度略大于东侧,东侧海底地形变化较小,进海路东侧有侵蚀区

分布,沿进海路方向有冲刷带存在,沙坑区周围为侵蚀区。进海路西侧淤积量变化范围 0.01~0.16 m,进海路东侧淤积量变化范围-0.03~0.06 m。

(3) 进海路两侧 200 m 范围内,10 个月间隔,浅滩地形有变化,进海路东西两侧以淤积为主,滩面有冲有淤,取沙坑区域以淤积为主,进海路西侧平均淤积量约 0.13 m,进海路东侧平均淤积量约 0.15m,平均冲刷量一般 <0.05 m,靠近桥两侧以冲刷为主,冲刷量一般 <0.1 m。

3.2 人工端岛周围

3.2.1 人工端岛北侧和东侧

(1) 近岛侧 300 m 范围内,以淤积为主,浅滩月变化量较小,月淤积量一般 <0.1 m,月冲刷量一般 <0.1 m,取沙坑月淤积量有变化,最大淤积量变化范围为 0.1~1.5m,图 8 为 N0+500 断面海底高程变化图。

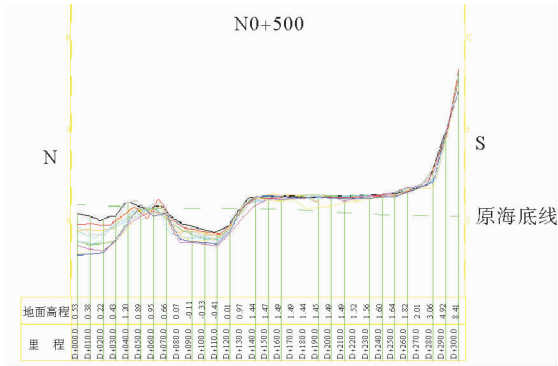


图 8 N0+500 断面图

Fig. 8 Change in elevation along the section of N0 + 500

(2) 近岛侧 300~1 000 m 范围海底地形变化较小,半年间隔,海底浅滩有冲有淤,以淤积为主,平均淤积变化幅度为 0.22 m,平均侵蚀变化幅度为 0.03 m。

(3) 近岛侧 300 m 范围以内滩地,10 个月间隔,以淤积为主,平均淤积变化幅度为 0.23 m。平均侵蚀变化幅度为 0.02 m,取沙坑最大淤积量约 4.0 m。

3.2.2 人工端岛西侧和南侧

(1) 近岛侧 300 m 范围以内滩地,海底有冲

有淤,以冲刷为主,图 9 为人工端岛区海底变化图。冲刷幅度范围为 0.1~0.3 m,淤积量<0.1 m;南侧有登陆点。西南潜堤抛石外南侧,顺岸有冲刷区分布,月冲刷幅度<0.2 m。图 10 为 S0+00 线浅地层剖面图,剖面上可以清楚的看到,近岛侧位于淤积区,抛石顶部有淤积现象,海底较平,远岛侧位于侵蚀区,抛石顶部无沉积物存在,海底不平。



图 9 1 号人工端岛区海底变化图(2007 年 3—12 月)
Fig. 9 Seabed topographic variation of the artificial island (from March to December, 2007)

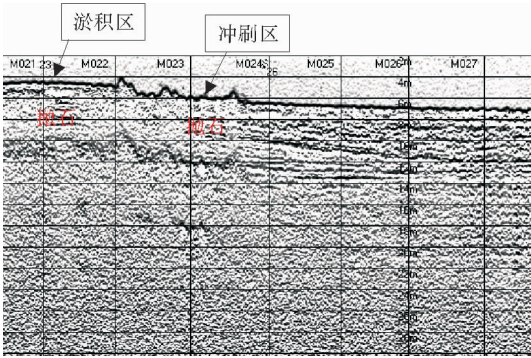


图 10 S0+00 线浅地层剖面
Fig. 10 Shallow profile of S0+00

- (2) 人工岛西侧和南侧海底浅滩以冲刷为主,10 个月间隔,岛南侧平均冲刷幅度约 0.23 m。岛西侧平均冲刷幅度约 0.24 m。
- (3) 西北潜堤和西南潜堤抛石外有冲刷沟存在,西北潜堤抛石外冲刷沟深度为 0.3~0.5 m,西南潜堤抛石外冲刷沟为 0.2~0.3 m。
- (4) 东南潜堤位于淤积区,东南潜堤抛石外冲刷量较小,局部冲刷量<0.1 m。

3.3 取沙区

距离人工岛 NW 方向 900 m 的取沙区滩地海底地形变化较大。仅半年间隔内,取沙坑 0 m 线范围缩小约 2%,以淤积为主,浅滩淤积幅度约 0.1 m,侵蚀幅度<0.1 m。取沙坑区域淤积效应明显,最大淤积厚度约 1.8 m。

4 原因分析

海底地形的变化是风浪、潮流、悬沙量及泥沙运移的综合作用结果。淤积区主要位于浅滩和取沙坑位置,冲刷区主要位于近岛侧、桥两侧和潮沟区。海底侵蚀区主要与涨潮底流冲刷有关,本区涨潮含沙量大于落潮含沙量,含沙量和流速有较好的相关性,当流速增大时含沙量也增大,工程区大潮期全潮日单宽输沙量为 4 746.7~10 208.7 kg/d·m,小潮期全潮日单宽输沙量为 3 353.2~21 771.0 kg/d·m。工程海区悬沙日单宽输移方向为 NW 向,即涨潮流向。

在本区进海路及人工端岛的建设中,进海路、人工端岛、取沙坑及沟的形成改变了海洋环境动力边界条件。根据数值模拟计算和泥沙冲淤分析结果,人工岛外侧 0.02 m/s 流速影响范围为 1.8 km;人工岛西、南侧流速增加明显,会引起局部的冲刷现象;在人工岛北、东侧由于流速减少会产生一定的淤积^[6],现场测量的结果与数值模拟计算一致性较好。

2007 年 3 月 3 日—5 日,受南下强冷空气和北上温带暖湿气流的影响,渤海湾爆发了至 1969 年以来最强的一次温带风暴潮,同时有暴风雪发生,恰逢天文大潮,风力达 9~10 级,海浪较大,潮位异常增水,虽曹妃甸最大潮位的理论深度基准约为 5 m,但还会出现 2 m 的风暴增水。此次风暴潮对本海区海底冲淤变化有一定影响。受风暴潮影响的影响评价主要依据 2007 年 2 月和 3 月的测量数据进行对比,风暴潮的影响使 1 号岛周围冲刷侵蚀加大,曹妃甸海区 5 月以后潮差、潮位明显比 3 月、4 月增大,5 月最大潮差约 2.7 m,最大潮位约 3.5 m,潮流增大是引起侵蚀的主要原因。在大的潮流场等海洋环境变化不大情况下,1 号岛区地形处于动态不稳定调整

期,各种因素综合作用的结果导致了海底地形的变化。

5 结论

(1) 施工海域工后地形地貌受进海路及人工端岛工程建设影响,处于动态不稳定时期,存在较多坑和沟,海底地形复杂。进海路及人工端岛两侧在 200~300 m 范围内,海底地形变化主要与进海路、桥、人工岛、取沙坑等地物地貌等边界改变引起周围流场变化有关,远离进海路及人工岛海域海底地形变化较小。

(2) 进海路东西两侧有冲有淤,以淤积为主;进海路西侧淤积幅度略大于东侧,人工端岛北侧和东侧 300 m 范围内,以淤积为主;人工岛西侧和南侧海底浅滩以冲刷为主,西北潜堤和西南潜堤抛石外有冲刷沟存在,东南潜堤位于淤积区,东南潜堤抛石外冲刷量较小。3 条护岛潜堤只有 2 条位于侵蚀区,起到了减少对人工岛地基冲刷的护岛作用,而东南潜堤没有发挥到护岛作用,可以适当优化缩短,减少工程造价,对类似人工岛工程设计具有一定指导作用。

(3) 风暴潮的影响使 1 号岛周围冲刷侵蚀加大,在取沙坑地势低处有一定的淤积。其中人工岛南侧滩地冲刷幅度较大,冲刷幅度约 0.0~0.3 m。

(4) 西线进海路及 1 号人工端岛工程周边海域在施工期地形环境为动态平衡调整期下的淤积环境,为轻微淤积,局部为冲刷状态。

参考文献:

- [1] 汪生杰,胡殿才.冀东油田人工岛设计关键技术[J].水运工程,2012,12(12):195-196.
- [2] 褚宏宪,白大鹏,史慧杰,等.海底抛石声学探测方法——以渤海湾人工岛抛石检测为例[J].海洋地质前沿,2011,27(4):65-66.
- [3] 褚宏宪.南堡油田 1 号平台-1 号岛路由调查报告[R].青岛:青岛海洋地质研究所,2008:11-12.
- [4] 魏 龙,王义刚,黄惠明,等.冀东南堡人工岛工程潮流泥沙数值模[J].水运工程,2012,6(6):44-45.
- [5] 褚宏宪.南堡油田西线进海路及 1 号人工端岛工程施工水域工后观测报告[R].青岛:青岛海洋地质研究所,2008:3-11.
- [6] 方 伟,蔡正银,张桂荣,等.波流共同作用下滩海人工岛工程周边冲淤分析[J].水运工程,2018,3(3):31-32.

EROSIONAL AND DEPOSITIONAL PATTERN AROUND THE ARTIFICIAL ISLAND OFFSHORE CAOFEIDIAN

CHU Hongxian^{1,2}, LI Qiang³, WANG Wenhui⁴, SHI Huijie^{1,2}, LIU Xiaodong^{1,2}

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land Resources, Qingdao 266071, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 3 Investment Audit Center in Licang District of Qingdao, Qingdao 266000, China; 4 Tianjin Nangang Industrial Zone Development Ltd., Tianjin 300280, China)

Abstract: The construction of artificial island is an effective factor in modification of the dynamic boundary conditions of an engineering area. Upon the comparison of the satellite remote sensing data and the topographic survey data, we discussed the submarine topography change of the study area in combination of the data of wave, tide, suspended sediments of the region. Depositional and erosional pattern was discussed quantitatively. Submerged breakwaters were suggested for protection of the artificial island. The countermeasure could be adopted for other areas with similar boundary conditions.

Key words: artificial island; terrain; tide; silt; scour and deposit