

## 曹妃甸海域围填海工程动力地貌环境遥感分析

侯庆志<sup>1,2</sup>, 季荣耀<sup>2</sup>, 左利钦<sup>2</sup>, 陆永军<sup>2</sup>, 王艳红<sup>2</sup>, 陆彦<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210046; 2. 南京水利科学研究院水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210029)

**摘要:** 利用1993—2011年的4景TM及HJ-1A/1B卫星影像, 结合2003年水下地形图, 以ArcGIS为工具, 进行了渤海湾曹妃甸海域近20年来围填海工程造成的岸线变化监测和水动力环境及冲淤演变影响分析。结果表明, 前10年围填海规模不大, 岸线推进缓慢, 围填海范围在2003年的0 m等深线以内, 仅局部地区向海推进约1.3 km; 后10年岸线显著向海推进, 最近5年的围填海区域已经深入到2003年0 m等深线以下, 但基本在2003年5 m等深线以内。目前的围填海方案对水动力影响甚微, 离岸沙坝内外有冲有淤, 但深槽和水道稳定性良好。针对今后10年的围填海规划方案, 需要进一步加强包括遥感手段在内的现场监测研究以及渤海湾内多个围填海工程对曹妃甸海域的累积影响研究。

**关键词:** 曹妃甸; 围填海; 海岸线; 遥感; GIS; 动力地貌

**中图分类号:** P748

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2013)03-0001-07

位于海岸带的滩涂既是重要的湿地资源, 也是重要的土地资源, 近年来不少海岸滩涂已被大规模围填开发, 围填范围也已由过去的高滩围填转至中低滩。海岸线变化是监测区域填海造地进程的最关键指标, 常规的岸线变化研究主要利用历史海图、地形图和剖面监测等, 但这些方法不仅费时、费力, 而且动态连续性差, 且因滩涂范围广、通达度差, 地形地貌和水动力的直接观测很难实现, 给相关研究带来了极大不便。遥感具有同步观测范围广、信息获取速度快、成本低、信息量大、更新周期短、可比性强(如中巴资源卫星已经提供1 m分辨率的影像)等突出优势, 成为海岸线变化监测的重要手段之一<sup>[1]</sup>, 目前已经应用于国内的珠江口、杭州湾、长江口、江苏沿海、黄河口、锦州湾等。研究区所在的渤海湾也有不少学者进行了围填海进程的岸线变化监测, 并进行相关的环境影响分析, 研究的时间尺度甚至长达百年<sup>[2]</sup>。如温庆可等<sup>[3]</sup>基于多期Landsat TM等遥感数据, 运用单一类型变化率模型、区域动态度模型和动态转移矩阵, 指出人类活动驱动下环渤海的湿地变化比自然驱动更明显, 滩地和海涂减少最明显。范素英等<sup>[4]</sup>研究表明, 曹妃甸海域1993—2007年间三角洲湿地减少77%, 以大清河口捞鱼尖为界, 东部岸线表现为向陆侵袭, 最大侵袭长度为500 m; 西部岸线表现为向海退缩, 最大退缩长度为1 000 m。

大型海岸带工程的建设必将对近岸海域动力地貌环境产生一定的影响, 现有数学模型和物理模型可以对一定时期内规划围填海方案影响下的水动力环境变化及滩槽演变进行预测, 如陆永军等<sup>[5-9]</sup>从水动力和泥沙环境的角度研究了曹妃甸海域规划围填海方案的工程效应。但鉴于研究区域曹妃甸具有十分重要的开发价值, 加强短期尤其是近期动态监测仍十分必要。因此, 本文基于遥感影像研究了近20年来曹妃甸海域的围填海产生的海岸线变化, 并在此基础上进行了水动力及冲淤演变影响分析。

收稿日期: 2012-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助 NSFC-NOW 项目(中荷)(51061130546); 国家自然科学基金资助项目(50879047)

作者简介: 侯庆志(1982-), 男, 江苏南京人, 博士研究生, 主要从事河口海岸滩涂资源开发研究。

E-mail: houqingzhi\_nnu@163.com

## 1 基本概况

### 1.1 研究区概况

曹妃甸(图1)位于河北唐山南部的渤海湾沿海,离岸沙岛与深槽、浅滩的格局使其具备了围填开发的显著优势. 岛前500 m水深达25 m,深槽达36 m,是渤海最深点. 30 m等深线水域东西长约6 km、南北宽约5 km,由曹妃甸向渤海海峡延伸,有一条水深27 m的天然水道直通黄海. 水道和深槽的天然结合,使曹妃甸成为渤海沿岸唯一不需开挖航道和港池即可建设30万t级大型泊位的天然港址.

2003年之前曹妃甸海域的围填开发幅度较小,之后曹妃甸工业区已被列入国家“十一五”发展规划,到2010年已围海造地155 km<sup>2</sup>. 该工业区发展分成3个阶段:中期快速起步阶段(2011—2020年),主要目标和任务是要再完成围海造地150 km<sup>2</sup>,到2020年,建成区面积达到230 km<sup>2</sup>;远期完善提高阶段(2021—2030年),主要目标和任务是最终完成曹妃甸示范区310 km<sup>2</sup>的围海造地及其基础设施配套建设任务,建成中国北方地区最大的深水港区,形成世界级规模和水平的重化工业基地<sup>[10]</sup>.

### 1.2 潮汐与潮流

曹妃甸海域潮汐型态系数为0.73,属于不规则半日潮,平均潮差由东向西逐渐增大. 据2010年6月实测资料,甸头平均潮位0.32 m(85国家高程,下同),平均高潮位为1.07 m,平均低潮位为-0.40 m,平均潮差为1.47 m;南堡平均潮位0.30 m,平均高潮位为1.24 m,平均低潮位为-0.60 m,平均潮差为1.85 m.

近岸浅海区受地形变化影响,主流流向有顺岸或沿等深线方向流动的趋势. 涨落潮时浅滩区漫滩水流的汇集与分散是维持曹妃甸各大潮沟的主要动力.

据2006,2007(图2),2009和2010年实测资料及龚政等<sup>[11]</sup>的研究,曹妃甸甸头涨、落潮流受地形影响呈明显的东西向往复流特征,流向集中,流速较大. 2006年3月大潮(潮差1.7 m)实测涨潮最大流速1.24 m/s,落潮最大流速0.94 m/s<sup>[5]</sup>. 沙岛形成的岬角地貌构成了深槽的边界条件,使其成为本海域水流最强区,这也是深槽形成与维持的动力条件<sup>[12]</sup>.

## 2 研究目的与方法

### 2.1 研究目的、内容与方法

本文研究目的是利用遥感影像分析曹妃甸海域近20年来的规划围填海方案对水动力环境及冲淤演变的影响. 研究内容包括近20年来曹妃甸海域岸线的提取与分析,基于遥感图像的规划围填海方案对该海域水动力环境及冲淤演变的影响分析.

研究方法包括遥感影像的预处理、海岸线与等深线的提取叠加、投影转换和综合研究. 遥感影像的几何校正以2011年遥感影像为底图,地面控制点校正精度在0.5像元以内. 海岸线的定义不统一,目前多认为是平均大潮高潮位形成的痕迹线<sup>[13]</sup>. 海岸线的提取方法因研究对象所处海岸性质不同而异,研究区域岸线全

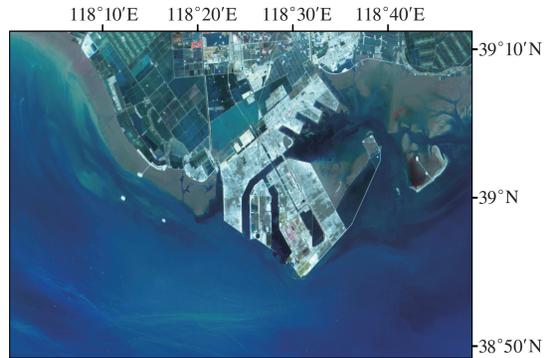


图1 曹妃甸海域2011-04-19遥感影像

Fig. 1 Remote sensing image of the Caofeidian sea area of April 19, 2011

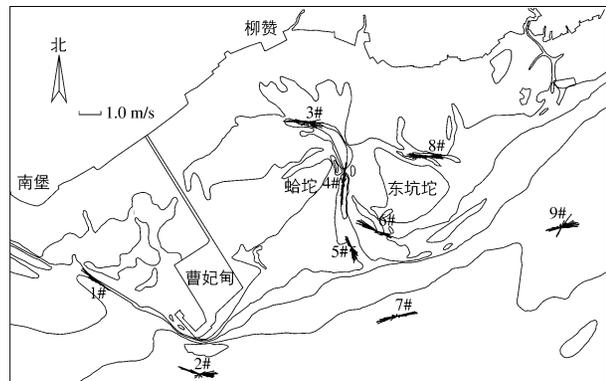


图2 2007年7月夏季大潮垂线平均流速流向矢量

Fig. 2 Vector graph of depth averaged current velocity in summer spring tide, July 2007

部为人工海岸,港口码头和围垦养殖堤坝由水泥和石块构成,其反射率明显高于水体,在遥感影像上清晰可辨,可以利用灰度值进行分割提取边界作为岸线.本文采用目视解译的方法直接在遥感影像上提取海岸线.此外,还基于地形资料提取了0,5,10,20和30 m等深线.将提取出的海岸线和等深线转为Shapefile矢量格式,并转换成与遥感影像一致的WGS84坐标系统.最后将所提取的海岸线及等深线在ArcGIS9.3中叠加成图,进行综合解释.

## 2.2 主要资料、坐标与高程

本文的遥感资料包括1993,2001和2005年的Landsat TM影像和2011年的环境卫星影像,时间跨度近20年.此外,还收集了1983,2003,2008和2011年水下地形资料.所用遥感卫星影像均为空间分辨率30 m的WGS84坐标.1983和2003年地形资料为北京54坐标,比例尺1:100 000.2008和2011年地形资料为国家2000坐标,比例尺1:150 000.水下高程基面为理论最低潮面.主要资料情况见表1.

表1 遥感影像和地形数据

Tab.1 Remote sensing images and topography data

名称	获取日期或出版时间	坐标系统	分辨率或比例尺	名称	获取日期或出版时间	坐标系统	分辨率或比例尺
Landsat TM	1993-06-15	WGS84	30 m	地形图	1983年	北京54	1:100 000
Landsat TM	2001-05-12	WGS84	30 m	地形图	2003年	北京54	1:100 000
Landsat TM	2005-09-04	WGS84	30 m	地形图	2008年	国家2000	1:150 000
HJ-1A/1B	2011-04-19	WGS84	30 m	地形图	2003年	国家2000	1:150 000

## 3 围填海方案实施后动力与地貌环境分析

### 3.1 岸线变化分析

近20年来曹妃甸海域海岸线对比见图3.可以看出,1993—2001年间,岸线整体变化不大,变化较大局部区域向海推进约1.3 km,围垦面积变化不大,范围基本在0 m等深线以内;2001—2011年,岸线明显向海推进,最大推移距离约18.4 km,累计匡围面积约300 km<sup>2</sup>,且港区围填主要在近5年.该海域近20年来的环境变化与渤海湾整体的演变趋势一致,即大面积的人工建筑取代了原来的滩涂区域<sup>[3]</sup>.自2005年岸线提取表明,围填海区域已经深入到0 m线以下的中低滩,但也基本在5 m等深线以内(图4).由于前期围填海的技术难度相对较低,近期围填海的成本投入较之过去有所加大.

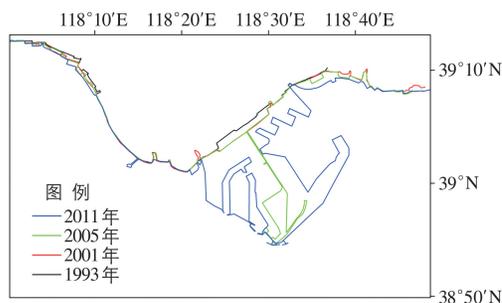


图3 近20年来曹妃甸海域海岸线对比

Fig.3 Comparison of shorelines of the Caofeidian sea area in the last 20 years

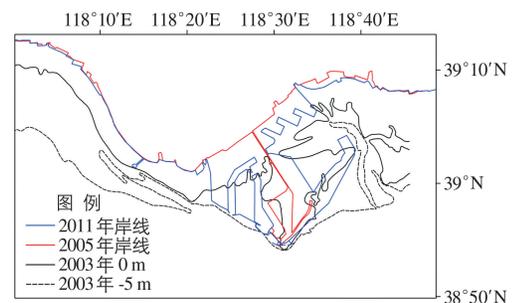


图4 2005年以来曹妃甸海域围填海状况

Fig.4 Reclamation in the Caofeidian sea area since 2005

### 3.2 流速特征变化分析

南京水利科学研究院利用已经验证的数学模型对曹妃甸海域围填海有无纳潮河两个方案实施后引起的甸头前缘、甸头东西两侧以及老龙沟水动力条件变化进行了对比研究<sup>[9]</sup>.模型根据控制方程的特点,将纵向流速( $u$ )、横向流速( $v$ )、水深( $h$ )等物理量布置成交错网格,并使进出口边界通过纵向流速的计算点,固壁通过横向流速的计算点,计算采用正交曲线网格并对工程海域局部网格加密处理.利用控制体积法离散控制方

程,将计算区域划分成一系列连续但互不重合的有限体积,每个控制体积内包含一个计算节点,得出一组离散方程.计算程式采用 Pantankar 压力校正法(水深校正)(即 SIMPLEC 算法)原理.二维模型给定各计算网格点上水位、流速,开边界给定潮位过程线.

研究指出,开通纳潮河有利于增加老龙沟的潮流动力,也有利于水体交换,维护港区的水环境.开通纳潮河规划方案各局部区域的水动力影响有所不同<sup>[5]</sup>: 甸头深槽区域流速有所增加,涨潮平均流速增加 0.9%,落潮平均流速增加 5.7%,甸头前 1.5 km 处涨潮平均流速增加 2.4%,落潮平均流速增加 1.1%.流速略有增加利于维护甸头深槽水深.甸头东侧浅滩,港区东翼围填后阻断了涨落潮时的漫滩水流,使围填区以南浅滩区域涨潮平均流速减小了 22.0%,落潮平均流速减小了 18.0%.流速的减小会使浅滩上略有淤积,对陆域围填、护岸稳定有利.

围填方案所占的过水断面面积仅为 0.3%~1.7%,减小的潮棱体与工程前相比很小,故港区开发对周边水动力环境影响的范围及程度较小.围填方案实施后甸头南侧及西侧 5 km 以外、东侧 10 km 以外,流速变幅降至 2.0% 以下,约 0.01~0.02 m/s,不会对周边的天津港、京唐港区产生影响<sup>[5]</sup>.

张玮等<sup>[14]</sup>通过数值模拟研究指出,2020 年最终围垦会对曹妃甸海域整体水动力条件造成较大影响,但深槽位置因单宽流量减小可能产生轻微淤积,岸滩附近因单宽流量略有增加而可能对边坡略有冲刷.龚政等<sup>[11]</sup>通过数值模拟指出,港池内及纳潮河大部分水域的流速呈减小趋势,最大流速及潮平均流速均低于浅滩泥沙的起动流速,围填后总体处于淤积的态势.2008—2011 年等深线对比也显示一港池部分区域因开挖使得水深增加,增幅局部达 5 m,而另一些区域则淤浅,二港池内基本不冲不淤.

已有研究的综合分析表明,曹妃甸围填工程规划方案的实施对局部地区的水动力将产生影响,但不会对该海域整体水动力造成较大影响,更不会对周边的天津港、京唐港产生影响.其中港池及浅滩区呈淤积态势,深槽区所受影响轻微,淤积和冲刷都有可能,数值模拟研究的结果尚需实测资料的验证.

### 3.3 冲淤变化分析

1996—2006 年实测地形冲淤分析表明(图 5<sup>[14]</sup>),曹妃甸海域沙坝外侧整体冲刷,且甸西海床冲刷大于甸东海床,刷深多在 1~2 m 之间.因开挖港池曹妃甸码头西侧局部水域海床平均刷深达 5~10 m.泻湖潮滩区以淤积为主,这可能与围海工程引起的流速减小有关<sup>[11]</sup>.老龙沟深槽附近则有冲有淤,冲淤变化较复杂.这期间是曹妃甸围填的早期,张玮等<sup>[14]</sup>通过数值模拟研究指出,相对于 1996 年,2005 年围填初期浅滩东西向漫滩水流被阻断,但甸头附近的水动力基本没有变化.2004—2009 年的冲淤演变分析表明,曹妃甸甸头及两侧海域冲淤幅度虽然不大,但冲淤交替,这种冲淤态势与人工开挖港池及采砂产生的悬浮泥沙和水流流动有关.由此可见,合理的围填海规划对特定区域的水动力及冲淤变化影响是可以控制的,但开挖、采砂等人类活动则短期内可能对海域冲淤演变影响较大.

进一步比较分析 1983—2011 年等深线可以看出(图 6),甸头前缘深槽的 30 m 等深线有整体后退趋势,后退幅度几十米至几百米不等,最大幅度约 440 m,位于甸头西侧约 2 km 处.这种整体后退仅限于工程区前缘,离岸较远处 30 m 等深线有冲有淤,变化复杂.甸头前缘 20 m 等深线基本稳定,但东西两侧整体后退,且西侧后退幅度大于东侧,其中甸头以西 5 km 处后退 300 m.10 m 等深线甸头两侧总

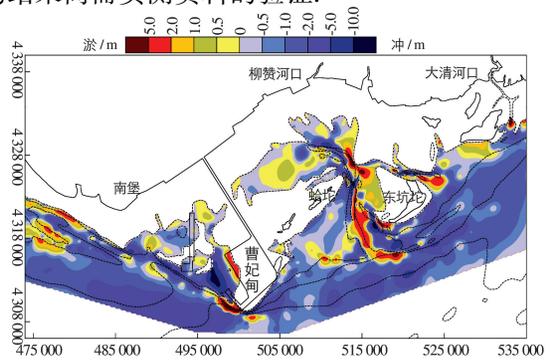


图 5 曹妃甸海区 1996—2006 年冲淤厚度分布

Fig. 5 Distribution graph of sedimentation and scouring depth in the Caofeidian sea area from 1996 to 2006

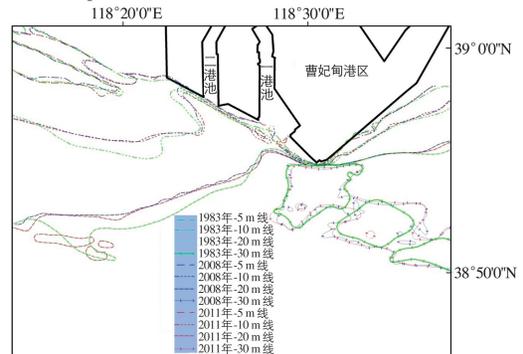


图 6 1983—2011 年曹妃甸海域等深线位置对比

Fig. 6 Comparison of the isobaths from 1983 to 2011 in the Caofeidian sea area

体均后退,甸头前缘后退 30~60 m 不等,甸头西侧 1.3 km 处后退约 90 m. 一、二港池前缘的 10 m 等深线均后退,其中二港池以西 2 km 处后退约 600 m. 5 m 等深线对比也显示出了整体淤积的态势. 上述分析表明,近 3 年主要等深线的后退显示出整体淤积的态势.

对比近 30 年曹妃甸海域主要等深线的变化可以看出,5、10 和 20 m 等深线交织在一起,冲淤略显复杂,而 30 m 线由前期分散到后期贯通,整体水深增加. 因而,目前围填海的影响主要局限在工程区附近,与数学模型研究的结果类似.

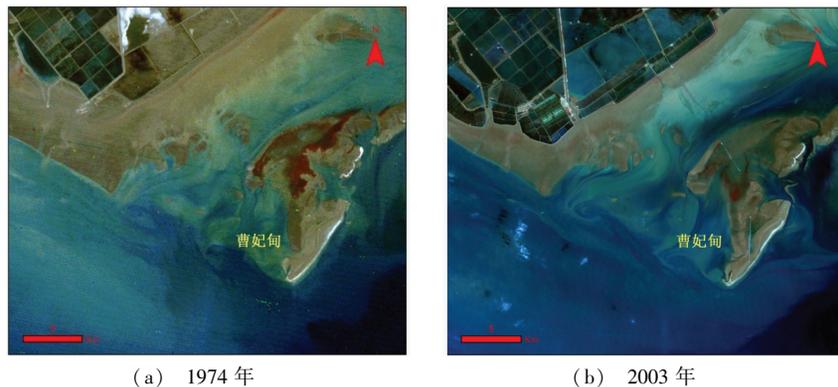
### 3.4 深槽与水道稳定影响分析

水深与平面位置稳定是潮流深槽水道稳定的主要指标. 曹妃甸海域外海深水区含沙量为 0.05~0.10 kg/m<sup>3</sup>,近 10 年来的含沙量一直呈减少趋势<sup>[11]</sup>,且该海域河相来沙有限,沿岸和海相来沙甚微. 泥沙来源少,为深槽与水道稳定提供了泥沙方面的条件.

深槽与水道的稳定还依赖于流路稳定、流速大的潮汐水流的持续作用. 据 2006, 2007, 2009 和 2010 年实测水文资料及龚政等<sup>[11]</sup>的研究分析,曹妃甸甸头深槽基本为东西向的往复流,水流流路稳定,最大流速基本一致,维持深槽水深的潮流动力稳定.

遥感影像(图 7)及地质分析表明,曹妃甸沙岛稳定的地质基础使得其平面上始终稳定地存在,从而构成维持深槽水深动力的岬角地貌效应稳定存在的边界条件. 此外,围填海工程的水动力影响也局限在附近,因而对远离甸头区的水道影响较小,即维持水道的动力条件稳定.

近 30 年的等深线变化显示(图 6),虽然受围填海工程的影响,近几年该海域整体呈轻微淤积态势,但深槽 5、10、20 和 30 m 等主要等深线没有出现较大范围的摆动,即深槽与水道平面位置基本稳定、稳定性良好.



(a) 1974 年

(b) 2003 年

图 7 曹妃甸沙岛及附近海域遥感影像对比

Fig. 7 Comparison of the remote sensing images in the Caofeidian sea area

## 4 讨 论

综上所述,只要围填海规划得当,对工程海域水动力环境的影响是可以控制的. 近年来对曹妃甸海域深槽稳定性分析表明,港区开发过程中没有改变曹妃甸深槽的边界条件及动力形成机制,目前深槽稳定性良好<sup>[12]</sup>. 此外,图 4 显示围填海区域基本在 5 m 等深线以内,因而从表面上看此海域还有很大的围填海空间. 但围填海需要在海洋环境容量能够允许的情况下循序渐进地进行,即需保留曹妃甸浅滩潮道和保护海洋的主要潮流系统. 如填海筑路对海洋水动力环境影响较大,因而有学者提出在浅海滩涂地带进行人工岛及进海路建设宜采用栈桥式进海路设计,尤其是潮道区建设进海路时<sup>[16]</sup>. 填海面积也应当控制,应主要在水深较浅的地方填海,可利用较少的土石方量,产生较高的经济效益<sup>[17]</sup>. 此外,填海取土不宜在曹妃甸等障壁岛及其前缘深槽附近进行,以保护这些关键部位的底质免遭破坏,这是对港口潜力区的维护. 值得注意的是,近 3 年曹妃甸前缘深槽主要等深线虽总体稳定,但附近呈现出了轻微的淤积态势,而数学模型研究表明整体规划方案(至 2020 年)的实施将对维持深槽水深有利,因此,对该海域围填海的动力与地貌过程影响还需要继续监测. 简而言之,未来该海域的围填海宜少填多察. 曹妃甸海域 2004—2020 年间规划围填海 310 km<sup>2</sup><sup>[17]</sup>,

对今后 10 年规划环境影响的研究除相关的数学模型和物理模型外,鉴于遥感手段具有的优势,还需进一步加强包括遥感手段在内的现场监测。

此外,遥感影像对比显示,天津港包括南港工业区、黄骅港等近 10 年来岸线已大幅向海推进,单个围填海工程对周边水动力影响有限<sup>[18]</sup>,但包括曹妃甸港区在内的现有条件下多个工程对该海域水动力环境及滩涂冲淤演变的累积影响还需进一步研究。

## 5 结 语

分析了渤海湾曹妃甸海域近 20 年以来围填海规划的海岸线变化,并分析了规划方案对动力地貌的影响,得出如下结论:(1)曹妃甸海域近 20 年来岸线推进速度可分为两阶段,前 10 年基本变化不大,局部变化较大区域向海推进约 1.3 km,但基本局限在 0 m 等深线以内;近 10 年来,围填海面积增加很多,已经深入到 0 m 等深线以下,但基本局限在 5 m 等深线以内。(2)目前规划围填海方案对水动力影响不大,不会对周边的天津港、京唐港区产生影响。离岸沙坝内外虽存在冲淤变化,但深槽与水道稳定性良好。(3)未来规划方案的环境影响研究需进一步加强包括遥感手段在内的中远期规划方案的监测。(4)进一步研究包括曹妃甸港区在内的现有条件下多个工程对该海域水动力环境及滩涂冲淤演变的累积影响。

## 参 考 文 献:

- [1] STELZER K, BROCKMANN C, GEIBLER J. Remote sensing of the Wadden Sea-A tool supporting TMAP and WFD monitoring [J]. *Wadden Sea Ecosystem*, 2010, 26: 87-92.
- [2] 姜义,李建芬,康慧,等. 渤海湾西岸近百年来海岸线变迁遥感分析[J]. *国土资源遥感*, 2003(4): 54-58. (JIANG Yi, LI Jian-fen, KANG Hui, et al. A remote sensing analysis of coastline changes along the Bohai Bay muddy coast in the past 130 years[J]. *Remote Sensing for Land and Resource*, 2003(4): 54-58. (in Chinese))
- [3] 温庆可,张增祥,徐进勇,等. 环渤海滨海湿地时空格局变化遥感监测与分析[J]. *遥感学报*, 2011, 15(1): 183-200. (WEN Qing-ke, ZHANG Zeng-xiang, XU Jin-yong, et al. Spatial and temporal change of wetlands in Bohai rim during 2000—2008: An analysis based on satellite images[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2011, 15(1): 183-200. (in Chinese))
- [4] 范素英,徐雯佳,李纪娜. 河北曹妃甸主要地表地质环境变化遥感分析[J]. *国土资源遥感*, 2010(增刊1): 159-162. (FAN Su-ying, XU Wen-jia, LI Ji-na. A remote sensing analysis of the variation of main surface geological environmental elements in Caofeidian[J]. *Remote Sensing for Land and Resource*, 2010(Suppl1): 159-162. (in Chinese))
- [5] 陆永军,左利钦,季荣耀,等. 渤海湾曹妃甸港区开发对水动力泥沙环境的影响[J]. *水科学进展*, 2007, 18(6): 793-800. (LU Yong-jun, ZUO Li-qin, JI Rong-yao, et al. Effect of development of Caofeidian harbor area in Bohai bay on hydrodynamic sediment environment[J]. *Advances in Water Science*, 2007, 18(6): 793-800. (in Chinese))
- [6] 陆永军,季荣耀,左利钦,等. 海湾型潮汐通道中大型深水港开发的水沙问题研究[J]. *水利学报*, 2007, 38(12): 1426-1436. (LU Yong-jun, JI Rong-yao, ZUO Li-qin, et al. Study on hydrodynamic and sedimentation problems in development of harbours located at inlet of tidal bay[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(12): 1426-1436. (in Chinese))
- [7] 陆永军,季荣耀,左利钦. 曹妃甸深水大港滩槽稳定及工程效应研究[J]. *水利水运工程学报*, 2009(4): 33-46. (LU Yong-jun, JI Rong-yao, ZUO Li-qin. Stability and engineering effect of shoals and channels in Caofeidian deep-water harbor area [J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2009(4): 33-46. (in Chinese))
- [8] LU Y J, JI R Y, ZUO L Q. Morphodynamic responses to the deep water harbor development in the Caofeidian sea area, China's Bohai Bay[J]. *Coastal Engineering*, 2009, 56(8): 831-843.
- [9] 陆永军,徐啸,黄建维,等. 唐山港曹妃甸港区波浪潮流泥沙数学模型及滩槽稳定性研究[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2006. (LU Yong-jun, XU Xiao, HUANG Jian-wei, et al. Mathematical model of waves, tidal currents and sediment for Caofeidian harbor area of Tangshan port and researches on stability of shoals and channels[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [10] 索安宁,张明慧,于永海,等. 曹妃甸围填海工程的海洋生态服务功能损失估算[J]. *海洋科学*, 2012, 36(3): 108-114. (SUO An-ning, ZHANG Ming-hui, YU Yong-hai, et al. Loss appraisal on the value of marine ecosystem services of the sea reclamation project for Caofeidian[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(3): 108-114. (in Chinese))

- [11] 龚政, 张长宽, 陶建峰, 等. 曹妃甸粉沙质海岸围垦后港内泥沙研究[J]. 海洋工程, 2012, 30(1): 112-118. (GONG Zheng, ZHANG Chang-kuan, TAO Jian-feng, et al. Siltation in harbor basin after reclamation in Caofeidian silty coast[J]. The Ocean Engineering, 2012, 30(1): 112-118. (in Chinese))
- [12] 季荣耀, 陆永军, 左利钦. 渤海湾曹妃甸深槽形成机制及稳定性分析[J]. 地理学报, 2011, 66(3): 348-355. (JI Rong-yao, LU Yong-jun, ZUO Li-qin. Formation mechanism and stability of Caofeidian channel in the Bohai Bay [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(3): 348-355. (in Chinese))
- [13] 周良勇, 张志珣, 陆凯. 1985—2002年江苏粉砂淤泥质海岸岸线和围海变化[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(6): 7-11. (ZHOU Liang-yong, ZHANG Zhi-xun, LU Kai. Shoreline change and reclamation of silty coast in Jiangsu Province during 1985-2002[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(6): 7-11. (in Chinese))
- [14] 张玮, 王斌, 廖鹏. 曹妃甸围海造地工程潮流数学模型研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006(34): 194-199. (ZHANG Wei, WANG Bin, LIAO Peng. Tidal current simulation model for shoal reclamation at Caofeidian[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2006(34): 194-199. (in Chinese))
- [15] 季荣耀, 陆永军, 左利钦. 曹妃甸西区南堡海域滩槽稳定性分析研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2009. (JI Rong-yao, LU Yong-jun, ZUO Li-qin. Stability analysis of shoal and channel at western Caofeidian Nanpu sea area[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [16] 史慧杰, 褚宏宪, 李春, 等. 进海路及人工端岛工程对滩海地貌变迁的影响及预测[J]. 海岸工程, 2006, 25(4): 7-17. (SHI Hui-jie, CHU Hong-xian, LI Chun, et al. Effects of sea access road and artificial island engineering on changes in shallow water geomorphology and their prediction[J]. Coastal Engineering, 2006, 25(4): 7-17. (in Chinese))
- [17] 尹延鸿. 对河北唐山曹妃甸浅滩大面积填海的思考[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(3): 1-10. (YIN Yan-hong. Thinking about large area of reclamation in Caofeidian shoal at Tangshan city, Hebei Province[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(3): 1-10. (in Chinese))
- [18] 刘仲军, 刘爱珍, 于可忱. 围填海工程对天津海域水动力环境影响的数值分析[J]. 水道港口, 2012, 33(4): 310-314. (LIU Zhong-jun, LIU Ai-zhen, YU Ke-chen. Influence of land reclamation on hydrodynamic environment in Tianjin area[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2012, 33(4): 310-314. (in Chinese))

## Remote sensing monitoring and environmental impact analysis of reclamation in Caofeidian sea area

HOU Qing-zhi<sup>1,2</sup>, JI Rong-yao<sup>2</sup>, ZUO Li-qin<sup>2</sup>, LU Yong-jun<sup>2</sup>, WANG Yan-hong<sup>2</sup>, LU Yan<sup>2</sup>

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China )

**Abstract:** Detection of the coastline change caused by reclamation projects and hydrodynamic environmental impact analysis of the Caofeidian sea area for nearly 20 years are conducted by means of ArcGIS, and using 4 satellite images including Landsat TM and HJ-1A /1B, and the underwater geomorphologic map in 2003. Analysis results show that in the first 10 years, the coastline advances slowly, and the maximum distance to the sea in some areas is only about 1.3 km; and the reclamation scale is small, and is more limited within 0 m contour. The coastline has advanced towards the sea significantly in the last 10 years, and the reclamation area has been deepened into the 0 m contour but within the -5 m isobath. The current reclamation has little impact on the hydrodynamic environment around. Deep troughs show good stability though there is scouring and silting between the internal and external of offshore bars. According to the reclamation plan for the next decade, there is a need to strengthen the monitoring, including remote sensing means. Research of cumulative impact of several reclamation projects in Bohai Bay on the Caofeidian sea area also should be carried out in the future.

**Key words:** Caofeidian; reclamation; coastline; RS; GIS; morphodynamics