

文章编号: 1000-5641(2017)04-0139-10

近40年来渤海湾岸线变化及影响分析

孙百顺^{1,2}, 左书华^{2,3}, 谢华亮², 李怀远², 阳志文²

- (1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072;
2. 交通运输部天津水运工程科学研究所 港口水工建筑技术国家工程实验室 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456;
3. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 利用遥感和地理信息系统方法, 基于1975—2015年间多期Landsat TM/ETM卫星影像数据, 对近40年来渤海湾陆域海岸线变化、海湾面积变化和海岸属性变化等进行了分析. 研究结果显示: 近40年来渤海湾陆域海岸线总长度增加761 km, 呈现先微略减小后逐渐增加的变化; 至2015年渤海湾沿岸人工海岸线比例约占岸线总长度的95%以上, 渤海湾海湾面积一直呈逐渐减少的趋势; 导致岸线长度增加和性质变化的主要原因是人类活动(围填海工程与港口建设), 主要集中在曹妃甸港区、天津港、黄骅港三个重点区域. 从水动力、沉积物以及自然演变环境等方面分析了岸线和海湾面积的变化对海湾动力沉积环境的影响, 指出随着海洋滩涂资源和港口资源开发活动不断增加, 人为因素对海岸带环境演变的影响愈加明显.

关键词: 渤海湾; 遥感; 地理信息系统; 人类活动; 围填海工程; 天津港

中图分类号: P748 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2017.04.012

Analysis of impact effects and changes of the coastline in the Bohai Bay during the past 40 years

SUN Bai-shun^{1,2}, ZUO Shu-hua^{2,3}, XIE Hua-liang², LI Huai-yuan², YANG Zhi-wen²

- (1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, National Engineering Laboratory of Port Hydraulic Construction Technology, Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Transport, Tianjin 300456, China;
3. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

Abstract: Using the method of remote sensing and geographic information system, based on 1975-2015 period of Landsat TM/ETM satellite image data, the Bohai Bay coastline

收稿日期: 2016-09-30

基金项目: 河口海岸学国家重点实验室开放基金(SKLEC-KF201508); 广西北部湾海岸科学与工程实验室基金(2016KYB03); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(TKS150207, TKS150211, TKS170202)

第一作者: 孙百顺, 男, 博士, 副研究员, 主要从事港口海岸及近海工程研究.

通信作者: 左书华, 男, 博士, 副研究员, 主要从事河口海岸动力地貌及数值模拟研究.

E-mail: zsh0301@163.com.

changes, the bay area and coastline property changes during nearly 40 years are analyzed. The results show: ① the total length of the Bohai Bay coastline nearly 40 years increased 761 km, but the bay area has been a trend of decline; ② artificial coastline proportion accounted for more than 95% of the total length to 2015; ③ main causes of shoreline length increase are human activity (reclamation and port construction), mainly concentrated in Caofeidian Port, Tianjin Port, Huanghua Port. From aspects such as hydrodynamic, sediment and natural evolution environment analyzed the change of the gulf coast and the gulf area of the influence of dynamic sedimentary environment, points out that with the increase of the development and utilization of Marine activities, the influence of human activities on the evolution of coastal zone environment are more and more obvious.

Key words: Bohai Bay; remote sensing; geographic information system; human activities; reclamation project; Tianjin Port

0 引 言

渤海湾是渤海西部的一个半封闭的海湾,是渤海的三大海湾(辽东湾、渤海湾和莱州湾)之一,与河北、天津和山东陆域相邻(见图1).渤海湾作为国家发展计划环渤海经济圈的海上主要通道,给渤海湾沿岸区域经济和城市建设带来了飞速的发展.如渤海湾北部的唐山港曹妃甸港区、西部天津港、西南部神华黄骅港、沧州综合港区与和山东滨州港,这些港区都是在浅滩上人工开挖建港、吹填造陆建成的.它们的发展,也使得其陆域工程、防波堤工程、航道疏浚工程等规模越来越大.自2003年起,天津滨海新区已累计围海造陆超过80km²,

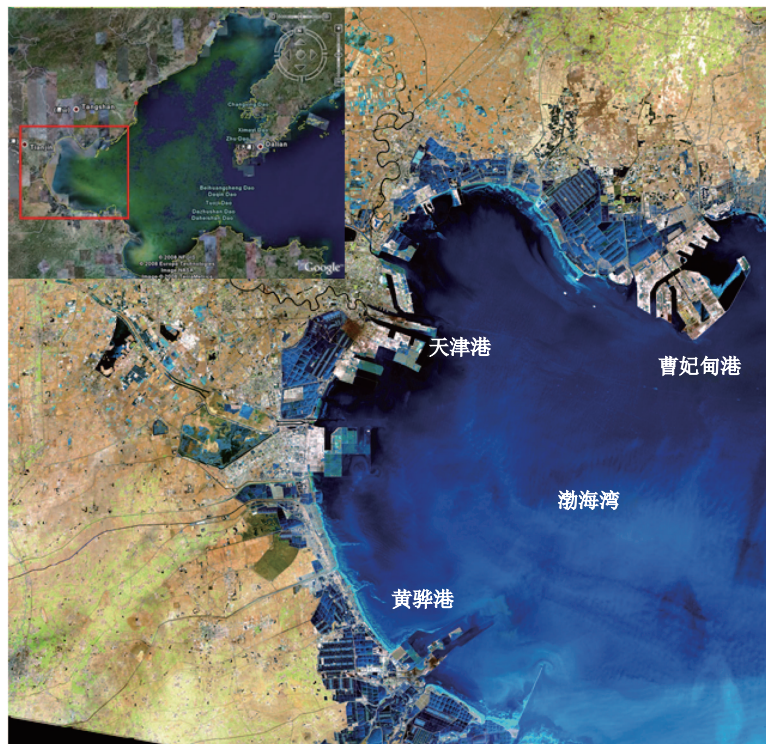


图1 渤海湾遥感影像图(2015年)

Fig.1 Remote sensing image of the Bohai Bay (2015)

使得渤海湾海岸线形态发生了一定程度的变化, 故此也会给海湾的水动力、水环境和沉积环境等带来一定的影响或连锁反应。

卫星遥感技术作为海岸带研究的重要手段, 在国内外海岸带的研究, 如地貌调查、岸滩侵蚀、岸线变化和资源管理等方面中得到了广泛的应用^[1-6]。Kawakubo等利用美国陆地卫星 Landsat TM 和 ETM+ 影像分析与评估了巴西(Brazil)东南部海岸的岸线的变化情况和其地貌特征^[1]; 陈晓英等基于 1973—2013 年间美国陆地卫星 Landsat 和国产环境卫星影像数据, 分析了自 1973 年以来 40 年海州湾岸线的类型构成、时空变化特征及海岸开发方式, 并对岸线变化摆动区内土地利用类型进行了解析^[3]。围绕渤海湾岸线变迁及相关科学问题, 国内学者亦做了相关研究。张立奎等^[4]2014 年基于多年遥感影像数据分析了渤海湾西部与南部海岸线变化特征和潮滩演变规律及其影响因素, 并指出随着开发利用海洋活动的增加, 人类活动的影响在研究区海岸带环境演变中所起的作用越来越明显和重要; 孙晓宇等^[6]2014 年利用 2000—2010 年间各时期渤海湾海岸线空间信息, 对海岸线的时空变迁过程进行了定量反演, 并进行了驱动力和影响分析。

本文利用遥感和地理信息系统方法, 基于 Landsat TM/ETM 卫星数据, 获取了 1975—2015 年间多期渤海湾海岸线的数据。对近 40 年来渤海湾大陆海岸线长度变化、海湾面积变化和海岸属性变化等进行了分析, 揭示了其岸线变化特征及其影响因素, 以期对渤海湾区域开发建设、综合管理及海岸环境保护等方面提供必要的科学依据。

1 数据与方法

本文选取了自 1975—2015 年的十几幅美国陆地卫星 LANDSAT 系列 TM 和 ETM+ 数据作为主要数据源(见表 1)。在数据处理上, 采用遥感影像处理软件 ENVI4.8 对卫星遥感影像主要进行了几何精校正、坐标系统及投影转换、波段组合和辐射增强等处理。几何精校正精度控制在 0.5 个像元内, 再以已经精校正好的遥感影像为基准, 采用 image to image 的校正方式对其他年份影像做几何精校正。

表 1 遥感影像数据信息

Tab. 1 Information of the remote sensing images data

卫星名称	传感器	轨道号	空间分辨率/m	成像时间(年-月-日)
Landsat 2	MSS	122-33	78	1975-01-12
Landsat 5	TM	122-33	30	1984-09-10
Landsat 5	TM	122-33	30	1994-10-24
Landsat 7	TM	122-33	30	1999-12-09
Landsat 7	ETM	122-33	30	2000-06-10
Landsat 7	ETM	122-33	30	2002-05-31
Landsat 7	TM	122-33	30	2004-10-03
Landsat 5	TM	122-33	30	2005-04-13
Landsat 7	TM	122-33	30	2006-07-21
Landsat 7	ETM	122-33	30	2008-09-20
Landsat 7	ETM	122-33	30	2010-03-02
Landsat 8	ETM+	122-33	30	2015-06-12

卫星遥感影像上所反映的海岸线一般是某一时刻海水与陆地的瞬时边界线(即水边线)。在不同类型岸线的识别上, 主要是采用水边线技术。人工岸线, 在卫星遥感影像上的水边线比较清晰, 经过简单的增强处理后, 通过目视解译的方法获取, 以大潮高潮线为标准, 不透水构筑物向海一侧的外部界线作为人工海岸线。对渤海湾不同时期潮滩水边线的提取, 采用了遥感分类与

目视解译相结合的方式,在 ENVI 平台下,利用非监督分类和监督分类的方法进行水边线解译提取,结合现场勘测资料而获得。

本文所界定的海湾面积为平均低潮线与口门两条轴线所围区域,即理论基准面与海湾两个岬角连线之间的海域。

2 结果与分析

2.1 岸线总长度与海湾面积变化

1975—2015 年不同时期渤海湾大陆海岸线提取结果见图 2。从图上可以看出,近 40 年来渤海湾海岸线长度总体呈现出先(轻微)减小再逐渐增加的变化趋势,渤海湾大陆海岸线总长度增加 761 km(见表 2)。其中,1975—1984 年渤海湾海岸线长度减少了 31 km,1984—1994 年、1994—1999 年、1999—2005 年、2005—2010 年和 2010—2015 年分别增长了 83 km、53 km、105 km、398 km、153 km。

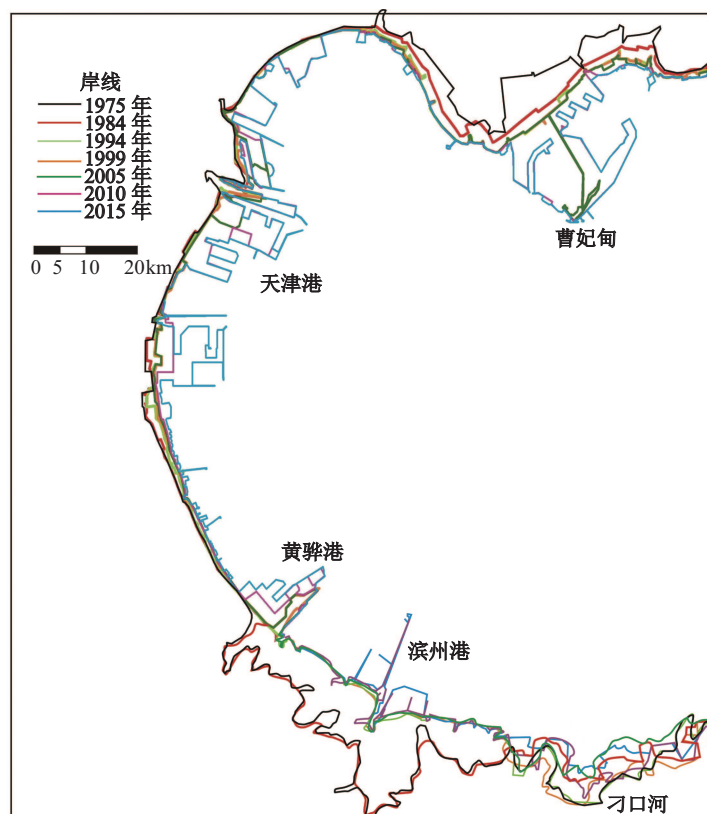


图 2 研究区海岸岸线变化

Fig. 2 Coastline changes of the study area

渤海湾海岸线长度的变化与人类对海岸滩涂资源不断开发利用息息相关。导致岸线长度增加的主要原因是围填海,由于围填海、养殖区或港口码头建设使原本自然相对平直的海岸线变成凸出的多边形,导致海岸线长度有所增加;另外,自然因素所产生的河口泥沙沉积也会使海岸线总长度增加,但其量值较小,特别是近年来人为影响日趋加重。1975—1984 年间海岸线减少的区域主要集中在北部的养殖区周围,是由于原有养殖区的弯曲海岸线在进一步人为开发作用下被围填,岸线被人为地裁弯取直而有所变短。

表 2 渤海湾岸线长度、面积变化

Tab. 2 Coastline length, area changes in Bohai Bay				
年份	长度/km	相对于上一年度变化量/km	面积/km ²	相对于上一年度变化量/km ²
1975	533		11 025	
1984	502	-31	10 840	-185
1994	585	+83	10 655	-185
1999	638	+53	10 230	-425
2005	743	+105	9 924	-306
2010	1141	+398	9 305	-619
2015	1294	+153	9 016	-289

渤海湾海岸线长度总体增加的同时, 海湾面积一直呈逐渐减少的趋势, 且面积减小速率逐渐增快. 1975 年海湾面积约 11 025 km², 2010 年海湾面积为 9 305 km², 比 1975 年减少了约 16%, 至 2015 年减少到 9 016 km². 其中, 2005—2010 年减少速率最快, 表现出了该阶段围填海工程程度的加大.

2.2 岸线属性的变化

从岸线人工化程度来看, 渤海湾海岸线开发利用较早, 早期主要是在沿岸修建大量盐田及养殖池, 令潮滩面积减少; 后期则主要是以顺岸平推式的围填海建设, 改变了海岸线的形态, 同时也使潮滩面积大量减少.

由图 3 可以看出, 研究区人工岸线整体呈逐年增长的趋势. 至 2015 年渤海湾沿岸, 人工海岸线比例约占岸线总长度的 95% 以上, 其中由港口建设形成的人工岸线约占总岸线的 26% 左右, 成为渤海湾海岸线的主要组成部分.

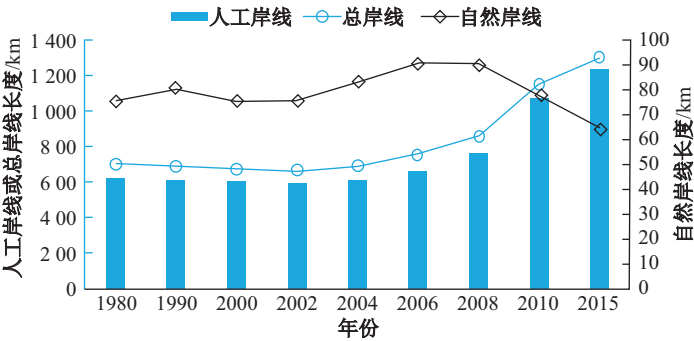


图 3 研究区不同性质海岸岸线变化

Fig. 3 Coastline changes of different properties in the study area

自然岸线, 则主要集中在部分入海河口附近, 自然岸线基数较小, 变化也相对微弱. 如, 大口河至老黄河口岸段(位于渤海湾南部), 早期(1964—1976 年)老黄河口在此入海, 大量入海泥沙在此沉积, 形成了大面积的潮滩. 1975 年以前这部分岸段基本没有受到人类活动开发影响, 海岸、海床及周围地貌基本处于自然演变状态, 存在大量的滨海湿地, 岸线类型以自然岸线为主^[7]. 黄河口北侧即废弃河口区域(刁口河口海岸)大部分处于自然未开发状态, 受自然环境条件影响发生较强烈侵蚀, 平直岸线变为曲折性岸线, 岸线长度呈波动性变化. 2005 年后受人工开发利用影响, 自然岸线亦逐渐呈退缩趋势.

2.3 岸线变化原因分析

从岸线变化驱动力上讲, 对岸线的影响是自然因素和人为因素的共同作用造成的. 自然因素主要受到海洋水动力和气象影响, 有一定规律性也有一定偶然性, 主要影响自然岸线; 人为因

素主要是指人类活动,通过构筑物改变原有自然或人工岸线的类型和空间位置。

2.3.1 自然因素变化

在自然因素方面,对于近 40 年来的时间尺度而言,诸如海平面及地质构造等大尺度自然因素对短期海岸的影响是有限的,在本文中不予讨论。故自然因素对海岸线的影响主要体现在泥沙来源和水动力变化两个方面。

(1) 泥沙来源变化

渤海湾泥沙来源主要为河流入海泥沙。渤海湾沿岸有蓟运河、海河、独流碱河、歧河、大口河、套儿河等诸多河流,不过,这些河流除了海河流域较大外,其他河流均源短流小,再加上河流上游建闸,目前注入海湾泥沙已微乎其微。不过,在历史时期为渤海湾潮滩的形成与演变起到了重要作用。另外,渤海湾南侧黄河口的泥沙和北侧滦河口泥沙的扩散、沉积,对渤海湾产生一定影响,亦是近岸沉积物的部分泥沙来源。

黄河入海水沙量较大,是渤海湾和黄河三角洲最重要的泥沙来源。根据中国河流泥沙公报与历史统计资料显示^[7-8](见图 4):黄河入海水沙量整体上呈波动式减小,特别是近 40 年来黄河入海水沙量减小趋势比较明显,至 2010 年左右入海泥沙量仅为 20 世纪 50 年代的 10% 左右(即 $2.27 \times 10^8 \text{ t}$),且下游频繁出现断流状态,断流天数也在增加。

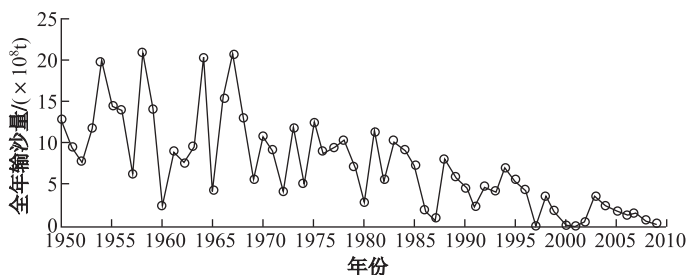


图 4 黄河口利津站输沙量过程

Fig. 4 Sediment discharge process of Huanghe River estuary

海河位于天津港入海口,是渤海湾西部水域最重要的河流。海河下游自 1958 年建闸以后水文站年径流量变化非常大(见图 5)。在 1958 年建闸以前(1917—1958 年),海河年均入海径流量和输沙量分别为 $95.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $813 \times 10^4 \text{ t}$ 。海河建闸后入海水沙量急剧减少,目前对渤海湾泥沙的贡献很小^[5]。

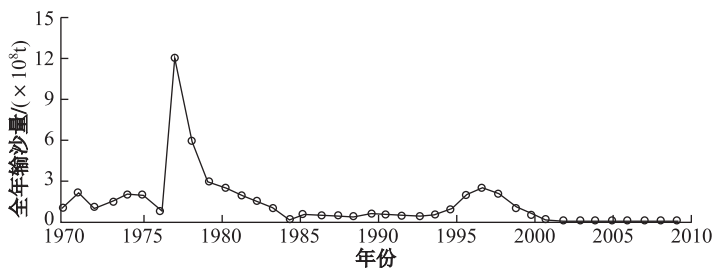


图 5 海河海河闸输沙量过程

Fig. 5 Sediment discharge process of Haihe River estuary

(2) 水动力因素的作用

水动力条件包括河流的和海洋的,是塑造岸线形态和地貌特征的重要因素^[9-10]。水动力因素对海岸的塑造主要是体现在对海岸的侵蚀方面,主要包括潮流、波浪、风暴潮等。在本文研

究的范围内岸线侵蚀相对明显的主要是废黄河三角洲附近, 即原刁口河流路。

废黄河三角洲岸线侵蚀一般是受到潮流和波浪的共同作用引起的, 即波浪作用下底床泥沙产生移动的临界水深, 在强潮水流作用下, 波浪掀沙和潮流输沙两者结合, 增强了海岸的侵蚀作用^[9-10]。

另外, 近代气候的变异和海平面上升将会引起风暴潮灾害发生几率和强度的增大。风暴潮等海洋动力的增强无疑将使海岸被侵蚀的几率大大增加, 据 Gornitz 研究, 如果海平面上升 15 cm, 风暴潮发生几率将增加 1 倍左右^[11]。风暴潮对海岸的侵蚀作用, 与其本身的特性一样, 具有一定的突发性、局部性和危害程度大, 影响渤海湾的主要是温带风暴潮, 主要发生在渤海南部或西南部岸线^[9-10]。

2.3.2 人为因素影响

从岸线类型变化上可以看出, 渤海湾目前人工岸线所在比例已达 95% 以上。而且不难看出, 渤海湾海岸线的整体变化与北部岸段以唐山曹妃甸港区为主的围填海工程, 西部岸段以天津港为主的围填海工程, 南部岸段以神华黄骅港、沧州综合港区及滨州港为主的港口工程密切相关(见图 6)。可以说, 人类活动强度的变化是引起渤海湾海岸线变化的主要原因。

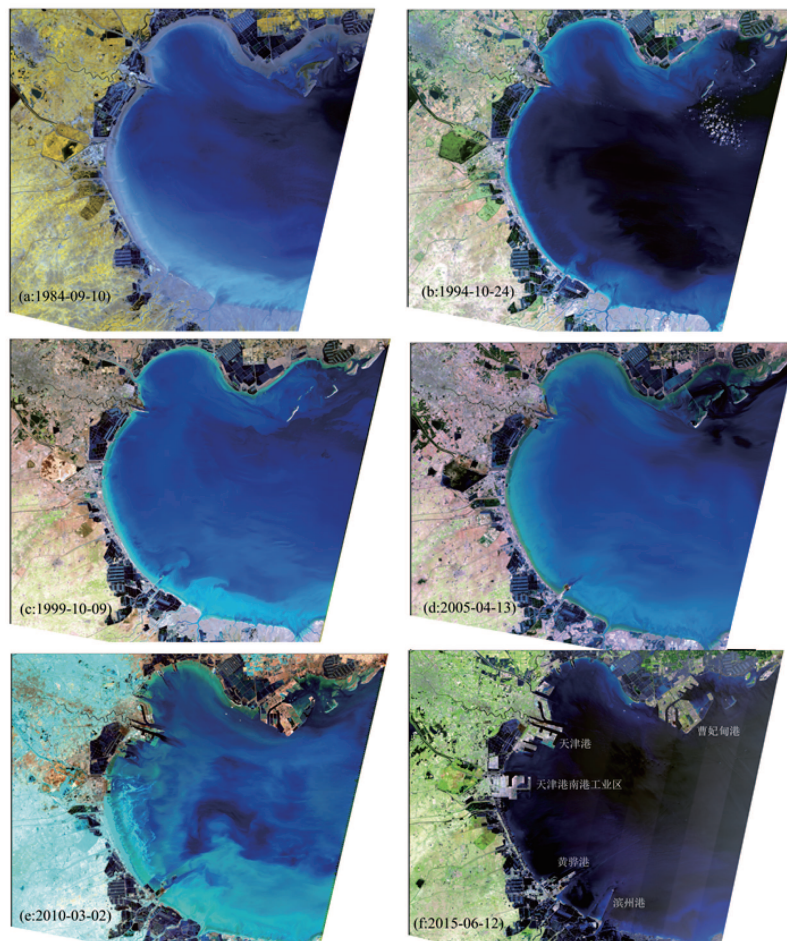


图6 不同时期的遥感影像图片

Fig.6 Remote sensing images at different times

(1) 1975—1984年, 此时期主要的填海区域在河北唐山的曹妃甸港区, 另有少部分填海区域位于天津港的北疆港区, 海岸线长度以 1.50 km/a 左右的扩展速度在缓慢增加, 年均填海面积 13.4 km^2 . 但在此期间由于沿岸的盐场和养殖场等凹岸的围垦, 海岸线长度出现了一定缩短.

(2) 1984—1994年, 此期间填海区域在上一阶段的基础上继续向海推进, 范围扩展到渤海湾大部分岸段, 形式仍是围填海为主. 显著的变化包括曹妃甸新区填海, 天津港北疆、南疆港区和天津港油田的扩建等工程.

(3) 1994—1999年, 这一时期填海面积较少, 主要的填海区位于曹妃甸岛与陆地之间的浅滩、天津港近岸和神华黄骅港.

(4) 1999—2005年, 该时期填海工程项目相继增多, 填海范围也有所增大. 主要分布于神华黄骅港, 天津港的北疆、南疆和临港工业区. 原汉沽区滨海航母主题公园、唐山附近也有部分填海项目. 曹妃甸附近的连岛公路在这一时期基本完工. 此期间天津岸线增加了约 43 km , 速率为 7.2 km/a , 天津港填海面积增加了约 50 km^2 , 海岸线最远向海洋推进了 2.0 km .

(5) 2005—2010年, 这一时期填海造陆活动发展迅速, 填海主要围绕几个重点区域进行, 有曹妃甸港区、天津港北港区和南港工业区, 以及天津港中心渔港、海滨休闲旅游区 and 沧州综合港区等填海工程. 此期间渤海湾岸线增加了 398 km , 填海面积增加了约 504 km^2 .

(6) 2010—2015年, 这一时期填海造陆活动有所放缓, 仍主要集中在曹妃甸港区, 天津港北港区和南港工业区, 以及沧州综合港区, 这三个区域填海面积增加了约 145 km^2 .

2.4 岸线变化对海域动力沉积环境的影响

海湾沉积环境的演变受控于海湾的沉积速率, 而海湾的沉积速率取决于来自于陆源和海洋的沉积物供给以及原始海湾水盆体积的大小^[12]. 渤海湾岸线不断向海推进, 海洋水动力、海湾面积和沉积物运动特征均受到不同程度影响, 自然条件下的演变特征受到了人类活动的干预.

2.4.1 对水动力的影响

一般而言, 单个的小面积围填海工程对海湾的影响并不大, 但是在较长时间段内, 多个围填海工程的累积效应比较明显^[13]. 根据渤海湾潮流数学模型研究显示, 渤海湾岸线的巨大改变已经明显影响到了潮波系统, 至2012年使无潮点向东南移动了约 10 km ; 湾口涨落潮量与2003年相比减少了约10%; 渤海湾西岸尤其是近岸的潮差有所增大, 潮波运动有所提前, 使高潮位增加、低潮位减小, 而且对高潮位的影响幅度大于对低潮位的影响^[7, 14]; 渤海湾黄骅港、滨州港和曹妃甸之间的海域出现大面积的流速变大区域, 渤海湾西部天津港附近海域流速变化复杂, 近岸海域的潮流流向变化较大, 0 m 至 5 m 等深线范围内的涨、落急流速总体上呈减小的趋势, 减小幅度一般在 0.2 m/s 左右^[7].

大范围围填海对整个海湾水动力产生影响的同时, 对工程内部本身也会产生较大影响. 通过对天津南港工业区填海造陆工程建设前后的潮流场对比分析, 工程建设后天津海域乃至渤海湾的潮流动力条件有所减弱, 也使得工程周边的区域和航道流速减小, 流速减幅达到10%以上, 导致工程海域附近的泥沙、污染物的运移规律发生变化^[15].

2.4.2 对沉积物的影响

自然演化状态下的海湾沉积物来源主要包括河流输沙、外海输沙、生物碎屑等, 其中陆源河流输沙是最主要的来源. 海湾沉积物的来源和数量直接影响了海湾沉积速率、演化趋势及开发利用的潜力等方面^[16].

随着人类对海湾及其周边区域的开发利用程度的提高, 不仅改变了注入海湾沉积物的数量, 还造成了物源的变化, 这样就改变了海湾在纯自然条件下的沉积发育过程. 实际上在1958年建闸以前(1917—1958年), 海河年均入海径流量和输沙量分别为 $95.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $813 \times 10^4 \text{ t}$; 海河建闸后入海水沙量急剧减少, 目前对渤海湾泥沙的贡献很小^[5].

除了沉积物来源和数量发生一定变化外,沉积物特征也可能会受到一定影响.根据渤海湾海域多次海岸带调查结果表明,在20世纪80年代以前渤海湾西岸从海河口至独流减河南岸地区有砂质沉积物分布,目前该部分区域基本均被填海成陆.港湾工程除了直接使某些自然地貌消失外,它也通过对湾内水动力的影响,改变沉积物的分布.天津海域多年来潮滩沉积物粒径趋于细化,1962年的沉积物粒径为0.1~0.25 mm,2006年的粒径为0.063~0.125 mm^[14].黄骅港海域沉积物则经历了由细变粗再到细的一个过程,1985年-2 m等深线以外平均中值粒径为0.012 mm,为粘土质粉砂,粉砂为主,1995年为0.026 mm,2001年为0.034 mm,2003年逐渐细化为0.021 mm,2007年与2003年相比平均又减小了0.005 mm;在前期(2000年以前)该海域海岸工程相对较少,该海域高潮线附近滩面以侵蚀为主,致使滩面粗化,而后期海岸工程强度增大,工程悬浮泥沙流失、抛泥等在水动力作用下导致滩面逐渐细化.

2.4.3 对自然演变环境的影响

渤海湾自然岸线正逐渐被改造为人工岸线,原始的海滩岸线已所剩无几,海岸带自然演变状态受到极大影响.

自然演化状态下的海湾沉积特征,随着人类对海湾及其周边区域的开发利用(如潮滩围垦、填海造陆、人工航道的开挖和疏浚及临时倾倒区的倾倒),在数量、特征和运动形式上都发生了明显变化,其必然影响海湾在纯自然条件下的沉积发育过程.以黄骅港为例,近10多年来(建港以来)的现代沉积物的沉积作用已经“覆盖”了建港之前30年的自然演化趋势下的空间分布特征^[16],现代沉积速率的空间分布特征发生了明显的变化,人类活动主导了该区现在的地质环境变化,而疏浚和抛泥则直接改变海底自然形成的地形地貌,影响附近泥沙的侵蚀—搬运—沉积作用^[5].

除泥沙环境受到人类活动直接影响外,海湾沉积特征也受到其影响,主要体现在同一时期多工程的建设使海湾纳潮量和沉积动力减弱,增加悬浮泥沙的落淤几率,引起沉积速率的累积性增加.由上文分析可以看出,大量围填海工程人为地改变海岸地形轮廓,潮间带面积急剧减少,大大减少了海域的纳潮面积.自1975年至2010年近40年时间里,渤海湾沿岸围填海工程建设改变了海湾水动力条件,破坏了湾内的自然冲淤平衡,导致海湾面积减少了15%左右,纳潮量减少了13%左右.如渤海湾北岸涧河口至南堡岸段潮滩宽度变窄,滩面坡度变陡,呈侵蚀状态,明显影响了海底地形地貌的演变,改变了渤海湾自然演变趋势^[5,14].

3 结 语

本文利用遥感和地理信息系统方法,采用自1975年至2015年的十几幅美国陆地卫星LANDSAT系列TM和ETM+数据,对近40年来渤海湾陆域海岸线变化、海湾面积变化和海岸属性变化等进行了分析.研究结果如下:

(1) 近40年来,渤海湾大陆海岸线总长度增加761 km,呈现先轻微减小后逐渐增加的变化.其中1975—1984年渤海湾海岸线长度减少了31 km,1984—1994年、1994—1999年、1999—2005年、2005—2010年和2010—2015年分别增长了83 km、53 km、105 km、398 km、153 km.人工岸线整体呈逐年增长的趋势,至2015年渤海湾沿岸人工海岸线约占岸线总长度的95%以上;自然岸线呈退缩趋势,不过其基数较小,变化相对微弱.

(2) 渤海湾海湾面积一直呈逐渐减少的趋势.1975年海湾面积约11 025 km²,2010年海湾面积为9 305 km²,比1975年减少了约16%,至2015年减少到9 016 km².

(3) 渤海湾海岸线长度、海湾面积和岸线属性的变化与人类对海岸滩涂资源不断开发利用息息相关,主要原因是人类活动的干预(围填海工程与港口建设),集中在曹妃甸港区、天津港、黄骅港三个重点区域.

(4) 渤海湾岸线不断向海推进. 海洋水动力、海湾面积和沉积物运动特征均受到不同程度影响, 自然条件下的演变特征受到了人类活动的干预影响愈加明显.

[参 考 文 献]

- [1] KAWAKUBO F S, MORATO R G, NADER R S, et al. Mapping changes in coastline geomorphic features using Landsat TM and ETM+ imagery: Examples in southeastern Brazil[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(9): 2 547-2 562.
- [2] EDWARDS B L, NAMIKAS S L. Changes in shoreline change trends in response to a detached breakwater held at grand Isle, Louisiana [J]. Journal of Coastal Research, 2011, 27(4): 698-705.
- [3] 陈晓英, 张杰, 马毅, 等. 近 40 年来海州湾海岸线时空变化分析 [J]. 海洋科学进展, 2014, 32(3): 324-334.
- [4] 李行, 张连蓬, 姬长晨, 等. 基于遥感和 GIS 的江苏省海岸线时空变化 [J]. 地理研究, 2014, 33(3): 414-426.
- [5] 张立奎, 吴建政, 李巍然, 等. 渤海湾西部与南部海岸线和潮滩演变及其影响因素 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(1): 21-28.
- [6] 孙晓宇, 吕婷婷, 高义, 等. 2000-2010 年渤海湾岸线变迁及驱动力分析 [J]. 资源科学, 2014, 36(2): 413-419.
- [7] 张立奎. 渤海湾海岸带环境演变及控制因素研究 [D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [8] 李九发, 时连强, 应铭, 等. 黄河河口钩口河流路亚三角洲岸滩演变与抗冲性试验 [M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
- [9] 左书华, 李九发, 陈沈良. 海岸侵蚀及其原因和防护工程浅析 [J]. 人民黄河, 2006, 28(1): 23-26.
- [10] 左书华, 李九发, 陈沈良, 等. 河口三角洲海岸侵蚀及防护措施浅析——以黄河三角洲及长江三角洲为例 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 97-101.
- [11] GORNITZ V, LEBEDEFF S, HANSEN J E, et al. Global sea level trend in the past century [J]. Science, 1982, 215(4540): 1611-1614.
- [12] 史经昊, 李广雪, 周春艳. 海湾沉积环境对人类活动的响应 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4): 11-18.
- [13] 曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应 [J]. 海洋学研究, 2011, 29(1): 73-83.
- [14] 侯庆志. 渤海湾连片开发对于海岸滩涂动力环境及演变过程的影响研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [15] 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.
- [16] 王福, 裴艳东, 刘志广, 等. ^{137}Cs 示踪的渤海湾黄骅港两侧海区的沉积特征 [J]. 地质通报, 2008, 27(7): 1054-1059.

(责任编辑: 李万会)