

魏帆, 韩广轩, 韩美, 等. 1980~2017年环渤海海岸线和围填海时空演变及其影响机制[J]. 地理科学, 2019, 39(6): 997-1007. [Wei Fan, Han Guangxuan, Han Mei et al. Temporal-spatial Dynamic Evolution and Mechanism of Shoreline and the Sea Reclamation in the Bohai Rim During 1980-2017. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(6): 997-1007.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2019.06.015

# 1980~2017年环渤海海岸线和围填海 时空演变及其影响机制

魏帆<sup>1,2</sup>, 韩广轩<sup>2</sup>, 韩美<sup>1</sup>, 张金萍<sup>3</sup>, 栗云召<sup>4</sup>, 赵建民<sup>2</sup>

(1. 山东师范大学地理与环境学院, 山东 济南 250358; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东 烟台 264003; 3. 海南师范大学地理与环境科学学院, 海南 海口 570100; 4. 鲁东大学资源与环境工程学院, 山东 烟台 264039)

**摘要:** 运用3S技术, 采用水体指数法(MNDWI)、分形维数法、土地利用转移矩阵和回归分析等方法, 以环渤海海岸带1980、1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015和2017年9个时期TM遥感影像为主数据源, 研究近40 a围填海活动影响下的环渤海海岸线动态演变特征。结果表明: 1980~2017年环渤海海岸线增加了1 159.9 km, 分形维数持续增加, 岸线呈曲折化。其中, 人工岸线增长了1 977.9 km, 自然岸线减少了80%。重点变化区域包括黄河三角洲及莱州湾、渤海湾、辽东湾顶部、普兰店湾等地区。1980~2017年环渤海围填海的面积增加了1 988.5 km<sup>2</sup>。主要类型由养殖池、盐田及农用地向养殖池、盐田、建筑用地转化。围填海活动与岸线长度、属性变化呈显著线性关系。综上, 水产养殖、围海晒盐、农田开垦、工业化和城镇化建设等围填海活动影响了岸线长度及属性等特征的变化。

**关键词:** 环渤海; 围填海; 海岸线; 分形维数; 动态监测

**中图分类号:** P756      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2019)06-0997-11

海岸线受人为活动干扰强烈, 据统计, 1980~2015年, 全国岸线增长了3 000 km<sup>[1,2]</sup>, 自然岸线减少了50%。辽宁、河北、天津、山东和广西对中国海岸线长度的变化影响较大, 其影响值均大10%<sup>[3]</sup>。部分区域岸线呈增长趋势, 分形维数增加, 如渤海湾和长江地区<sup>[4,5]</sup>。而部分区域岸线呈小幅度减少趋势, 分形维数减小, 如大连湾和北部湾区域<sup>[6,7]</sup>。这是由于开发活动的规模大小不同, 而影响了岸线的演变形态<sup>[4,8]</sup>。

自建国以来, 围填海已经历了3次变革。利用形式由以围海养殖、盐场晒盐和农业开垦等活动为主<sup>[9]</sup>, 向以围海养殖为主转变<sup>[10]</sup>。21世纪至今, 开发活动以围海养殖、城镇化和工业化建设为主, 即“城市化”时期<sup>[9]</sup>。根据国家海洋局《海域使用管理公报》显示, 近年来全国每年的填海量都在1万

km<sup>2</sup>左右, 自2002年海域法(www.mnr.gov.cn)实施至2013年底, 中国累计确权围填海面积达到12.5万km<sup>2</sup><sup>[11]</sup>。在开发活动中, 淤泥质海岸用于围海养殖、盐田等, 如渤海湾、莱州湾、辽东湾等地区。基岩质海岸围海成本高, 主要用于城镇化、工业化建设<sup>[10]</sup>。

海岸线变迁的原因包括自然因素和人为因素2个方面。自然因素是指因全球气候变暖而引起的海平面上升, 海岸侵蚀和河口淤积等<sup>[12]</sup>。人为因素是指由经济、政策和人口等社会因素导致的围海养殖、盐田、城镇化和工业化建设等围填海活动。自然因素对于海岸线的影响是长时间、小幅度的, 极端现象除外, 如风暴潮等<sup>[6,13]</sup>。而沿海养殖, 修建港口码头和城镇建设用地等人类开发活动是海岸线长度变化的主要原因<sup>[1]</sup>。

环渤海区域城乡发展呈“小聚集, 大分散”的

**收稿日期:** 2018-05-29; **修订日期:** 2018-10-08

**基金项目:** 中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-EW-STS-127)、中国科学院战略性先导科技专项(Y52C021021)资助。[Foundation: Science and Technology Service Network Project of Chinese Academy of Sciences (KFJ-EW-STS-127), Strategic Science and Technology Project of the Chinese Academy of Sciences(Y52C021021).]

**作者简介:** 魏帆(1993-), 女, 山东滨州人, 博士研究生, 研究方向为3S技术应用与建模、湿地生态。E-mail: 15064002733@139.com

**通讯作者:** 韩广轩, 研究员。E-mail: gxhan@yic.ac.cn

结构特征,沿海岸线的“C”型带和港口群区域的土地快速城镇化,是城乡建设的热点区域<sup>[14]</sup>。研究表明,环渤海为中国围垦强度最大的区域之一,围垦面积可以占全国的46%<sup>[10]</sup>。海岸带开发活动的主要在环渤海地区的淤泥质海岸岸段,如辽东湾北部、渤海湾至莱州湾南部、辽宁省东部<sup>[8]</sup>。1978年改革开放以来,中国沿海经济蓬勃发展,渤海沿岸城市大力发展海洋经济。2003年,设立天津滨海新区,首钢搬迁唐山曹妃甸工业区<sup>[10]</sup>。2005年辽宁省提出“五点一线”经济开放政策。2008年,山东半岛蓝色经济区上升为国家战略。一系列的政策实施推动了环渤海区域的经济的发展,同时,也促使该区域的围填海活动日益频繁,导致岸线属性、长度等特征发生改变。本文基于环渤海区域1980~2017年9期遥感影像,对该区域的海岸线及围填海信息进行提取,分析了不同时期不同岸段岸线的长度、属性和分形维数等特征的变化情况。同时,从围填海的时空动态特征和不同利用类型面积转化等方面进行了详细的阐述,探究了岸线变迁和围填海活动的相关关系,为决策部门监督管理沿海开发活动提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

以环渤海沿海区域为研究对象,自辽宁大连北部与丹东交界起,至山东半岛蓬莱(116°54'E~123°30'E,36°52'2"N~41°15'N)。涉及山东省、河北省、天津市和辽宁省4个省级行政区,共覆盖面积约69 042 km<sup>2</sup>,占全国总人口的8.56%<sup>[15]</sup>。环渤海区域包含莱州湾、渤海湾和辽东湾3个主要海湾,和黄河三角洲、辽河三角洲2个大型河口三角洲。渤海沿岸拥有大连港、天津港、营口港、秦皇岛港、唐山港、黄骅港、潍坊港、龙口港等大中型港口,是研究区经济增长的重要支撑<sup>[9]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理方法

本文采用的数据包括遥感影像数据、全国夜景灯光数据(1995~2017年)、环渤海1980年土地利用图、环渤海地区1:20万地形图、历史潮位数据、数字海图、Google Earth卫星图以及野外实地考察的坐标数据。由于环渤海区域频繁的围填海活动始于20世纪80~90年代,因此本文选取1980~2017年的环渤海滨海区域影像数据。这些数据分别来源于地理空间数据云(www.gscloud.cn)、美国

地质调查局网站(glovis.usgs.gov)、遥感集市网站(www.rscloudmart.com)、地理国情监测云平台(www.dsac.cn)、国家基础地理信息中心(www.ngcc.cn)、中国海事服务网(www.cnss.com.cn)、船讯网(www.shipxy.com)和Google网站(www.google.cn)。其中,遥感数据为1981、1985、1990、1995、2000、2005、2010、2015、2017年9个时期的美国陆地卫星landsat-2/MSS、Landsat-4/MSS、Landsat-5/TM、Landsat-8/OLI和高分1号/WFV数据,云量少于6%,每期11景,共99景影像数据。

#### 1.2.1 海岸线信息的提取方法

海岸线变化复杂多样,具有不确定性,其位置的确定也是学者们研究的热点,大家较为认可的岸线定义方法有两种。一种方法是将最大潮高潮所形成的海陆分界的痕迹线作为海岸线的位置<sup>[16]</sup>;另一种方法,是将海岸线限定为平均大潮高潮时水陆分界的痕迹线<sup>[17]</sup>。海岸线一般指平均大潮高潮时水陆分界的痕迹线<sup>[18]</sup>,在卫星遥感影像上提取的岸线是指某一时刻的瞬时水边线。与传统的现场勘测手段相比<sup>[19]</sup>,遥感技术时间、空间尺度均不受限,数据更新快,易于获得,可以直观的反映岸线演变过程。Pagan等利用遥感影像采用瞬时水边线法提取岸线信息,分别对西班牙沙滩岸线及城市岸线变化特征进行了研究,并且取得了较好的结果<sup>[20]</sup>。综上,最大潮高潮线法易获取,可以直接从影像上解译获得。但随着季节和潮汐的变化,岸线位置会发生变化<sup>[21]</sup>。由于条件限制,本研究采用最大潮高潮线法,为减小误差,在收集影像数据时应尽可能保持季节时间一致<sup>[22]</sup>。

根据《海岸带调查技术规程》<sup>[23]</sup>,本文按照海岸线的属性将其分为自然岸线和人工岸线。在提取过程中,人工岸线较易识别,可以借助ArcGIS平台目视解译获取。自然岸线分界并不明确,因此使用人机互动的解译方法。首先,利用采集的控制点(每景采集30个控制点),对2017年11景遥感影像进行校正,精度<0.1像元,在此基础上,利用2017年精校正影像,对剩余其他年份的遥感影像进行校正,精度<0.1像元,影像处理平台为ENVI 4.7。几何校正完成之后,采用水体指数法(MNDWI)提取瞬时水边线<sup>[24]</sup>。利用潮位校正模型,通过时间间隔较近的2期水边线及其潮位数据,推算国家高程基准面与陆地的交线,完成岸线提取<sup>[16]</sup>。为避免出现“双眼皮”现象,在解译过程中以2005年

的提取结果为底图,对其他年份的遥感影像进行解译,只对变化区域进行更新<sup>[8]</sup>。根据1981年影像数据提取岸线信息,结合1980年环渤海土地利用图和历史潮位数据拟合1980年海岸线位置。

### 1.2.2 围填海信息的提取方法

依据《海域使用分类》(HY/T 123~2009)<sup>[25]</sup>,围填海分为围海和填海两种方式。围海是指以闭合形式围割海域的开发活动,填海是指将海域填成土地,形成岸线的用海方式<sup>[26]</sup>。围海对于生态的破坏是可修复的,而填海改变了海岸带的自然属性,对于生境的危害则是不可逆转的<sup>[27]</sup>。本研究将围填海根据填海用途划分为5类利用类型(表1)。

本研究通过eCognition 9.0软件利用面向对象最临近法,根据中国土地利用现状分类国家标准(GB/T21010~2007),结合围填海利用状况解译影像。得到提取结果之后,参考Google Earth卫星图以及1995、2005、2015和2017年全国夜景灯光数据修正分类结果,并利用ArcGIS进行分类后处理。结合实地野外调查获取的环渤海地区274个GPS控制点数据,选取均匀覆盖、不同类型的验证点,分别对岸线及围填海信息提取结果进行精度评估。经检验,各类型精度均高于93%,符合本次研究的精度要求。运用GIS手段将不同时相的围填海信息提取结果按研究需求叠置构造转移矩阵,表中行为起始年份,列为末尾年份,对角线为保持原始地类不变的数量,分析不同类型面积转化特征,直观地展现围填海土地利用面积转化。

### 1.2.3 岸线增长强度

因各区域海岸线长度存在差异,统一衡量标准有利于直观地对比各区域海岸线长度的变化程度。因此计算了任一时段海岸线长度年均变化百分比<sup>[28]</sup>:

$$LCI_{ij} = \frac{L_i - L_j}{L_i(j-i)} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $LCI_{ij}$ 为第*i*年至第*j*年海岸线长度变化强度, $L_i$ 、 $L_j$ 分别为第*i*年和第*j*年海岸线长度,分母为第*i*

年岸线长度与时间间隔的乘积。通过计算得到1980~2017年环渤海区域各重点变化区域的海岸线变化强度。

### 1.2.4 分形维数

本研究采用网格法对海岸线分形维数进行计算<sup>[2]</sup>。网格法的原理是设定不同长度的正方形网格连续不重叠的覆盖待测岸线。当网格边长*r*取不同值时,覆盖岸线的总网格数目*N*会发生改变。根据分形理论:

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (2)$$

对(2)式两边同时取对数,可以得到:

$$\ln N(r) = -D \ln r + C \quad (3)$$

式中,*C*为待定常数,*D*即为待测海岸线的分形维数。采用不同的*r*值和*N(r)*值,通过拟合分析即可得到分形维数*D*( $1 < D < 2$ )。*D*值越大,海岸线越曲折和复杂。考虑到本文所使用的遥感图像像元的空间分辨率为60 m和30 m,取其整数倍,共计8个网格长度,即1 200、1 260、1 320、1 380、1 440、1 500、1 560、1 620和1 200、1 230、1 260、1 290、1 320、1 350、1 380、1 410。利用ArcGIS软件的Feature to Raster工具,对以上16个网格长度指标的网格数目进行统计。根据公式(2),利用最小二乘法拟合,进行回归分析,便可得到分形维数<sup>[8]</sup>。

### 1.2.5 数据统计分析

本研究基于SPSS17.0软件,运用线性回归方法分析分形维数与岸线长度变化的关系,分析围填海面积与岸线总长度、人工岸线和自然岸线长度变化的相关关系。设置置信区间为95%,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。相关图像处理均于Sigma Plot 12.5软件平台完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 环渤海海岸线演变特征

#### 2.1.1 环渤海岸线长度变化特征

环渤海岸线1980~2017年增长了1 159.9 km,

表1 1980~2017年环渤海区域围填海各利用类型面积(km<sup>2</sup>)转移矩阵及其变化率(%)

Table 1 Area transfer matrix(km<sup>2</sup>) and their change rates(%) of sea reclamation types in the Bohai Rim from 1980 to 2017

| 1980~2017年 | 盐田    | 养殖池   | 建筑用地  | 农用地   | 待利用地  | 变化率   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 盐田         | 41.09 | 39.42 | 42.30 | 2.22  | 5.11  | 68.43 |
| 养殖池        | 95.45 | 71.25 | 53.71 | 6.23  | 27.13 | 71.92 |
| 建筑用地       | 0.91  | 3.08  | 5.16  | 0     | 0.46  | 46.35 |
| 农用地        | 9.70  | 33.72 | 47.27 | 68.00 | 3.61  | 58.10 |
| 待利用地       | 23.10 | 51.42 | 15.49 | 1.08  | 12.78 | 87.70 |

变化强度为1.65%(图1a)。其中,1980~1990年岸线增长了109.4 km,变化强度为0.58%,是缓慢增长时期。1990~2000年为岸线的快速增长时期,年均增长47.4 km,变化强度为2.36%。根据变化强度来判断,环渤海区域的数值均大于0,说明岸线整体呈增长趋势,岸线持续向海洋方向扩张(图2)。

按变化热度划分岸段,可以将环渤海海岸线分为5个重点变化区域,分别为渤海湾、辽东湾顶部、普兰店湾、黄河三角洲及莱州湾。各区域岸线整体呈增长趋势,均在2005年之后急剧上升(图1)。5个区域岸线长度不同,渤海湾岸线最短,普兰店湾岸线最长。从岸线变化强度来看,渤海湾是变化最大的区域(3.13%),普兰店湾为变化最小的区域(0.54%)。

### 2.1.2 环渤海岸线属性变化特征

环渤海区域人工岸线呈持续增长趋势,而自然岸线持续减少(图1a)。1980~2017年人工岸线增长了1 977.9 km,2017年人工岸线占总岸线的93.4%,自然岸线减少了854 km,剩余部分仅占原有自然岸线长度的20%。岸线在2005年之后出现明显变化,人工岸线急剧增长,自然岸线减少速度减缓。

从变化热点区域来看,渤海湾区域自然岸线最少,2010年之后几近消失(图1c)。其他区域变化趋势大致相似(图1b、d、e),1981~2005年人工岸线增加较为缓慢,自然岸线急剧减少。2005年之后人工岸线大幅度增加,自然岸线减少速度有所减缓,人工岸线长度所占比重均大于70%。

### 2.1.3 环渤海海岸线分形维数变化

环渤海地区海岸线总分形维数呈持续增长趋势,数值 $1.03 < D < 1.20$ ,说明海岸线长度不断增加,呈曲折化(图3)。其中,1980~1990年自然岸线所占比例大,岸线的分形维数最低。1990~2005年人工岸线长度增加,分形维数数值增加,岸线曲折化。2005~2015年分形维数数值变化较平稳,岸线呈平直化。2015~2017年分形维数数值急剧增加,至2017年为数值最大值(1.18),说明岸线在此时期呈复杂化,岸线长度增加。

从变化热点区域来看,分形维数整体呈增长趋势,其中辽东湾顶部变化较小,2015年为最小值(1.03),2017年为最大值(1.11),数值变化幅度不大,说明辽东湾顶部海岸线较为平直化、规则化,但2017年之后岸线有复杂化趋势。黄河三角洲及莱州湾、渤海湾和普兰店湾的海岸线分形维数数值变化大致相同,2000年是数值最低点(1.03、1.01、

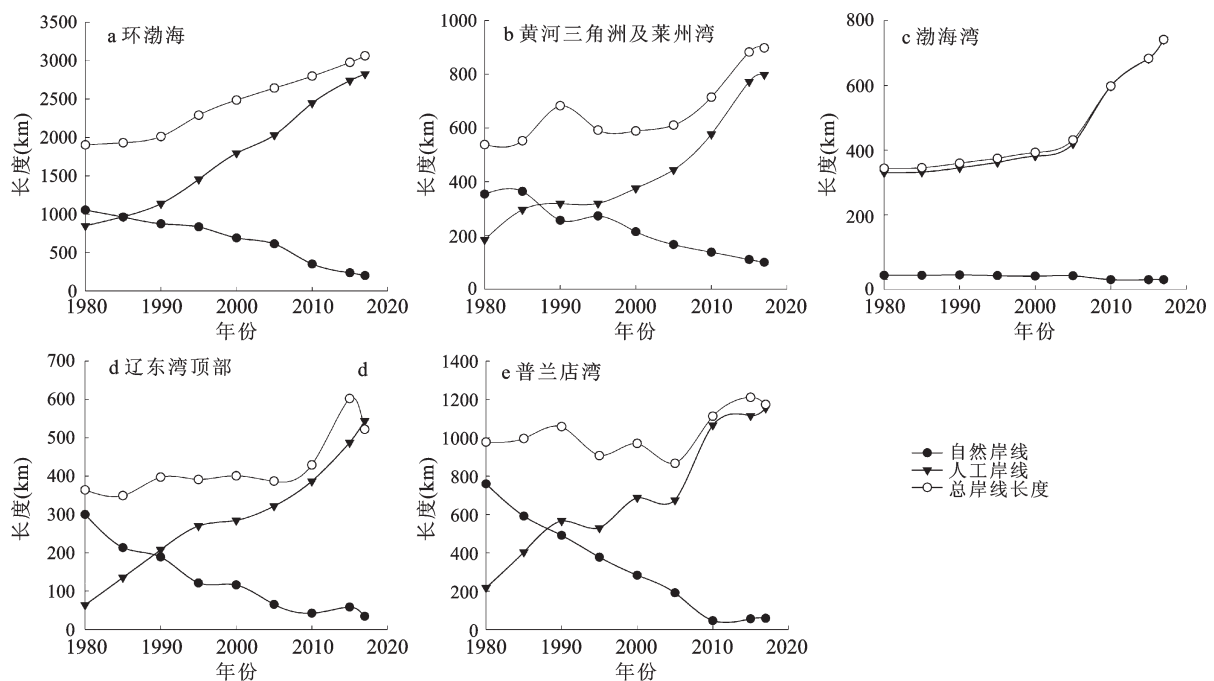


图1 1980~2017年环渤海海岸线长度和属性变化

Fig.1 The length and attribute change of shoreline of the Bohai Rim in 1980-2017

1.09), 2017年为数值最高点(1.13、1.48、1.26)。

环渤海区域海岸线长度变化与岸线分形维数数值变化呈显著线性关系( $R^2=0.97$ ,  $P<0.0001$ , 图3), 岸线增长会导致分形维数的增加。1980~2017年岸线分形维数呈增长趋势, 其变化趋势与岸线长度变化一致。

## 2.2 环渤海区域围填海动态演变

环渤海区域围填海面积呈持续增长趋势(图4), 1980~2017年增长了1 988.5 km<sup>2</sup>(图5)。1990~1995年为面积增长最大时期, 增长了367.21 km<sup>2</sup>。1980~1985年面积增加幅度最小, 增长了208.86 km<sup>2</sup>。重点变化区域与岸线变化热点区域一致(图

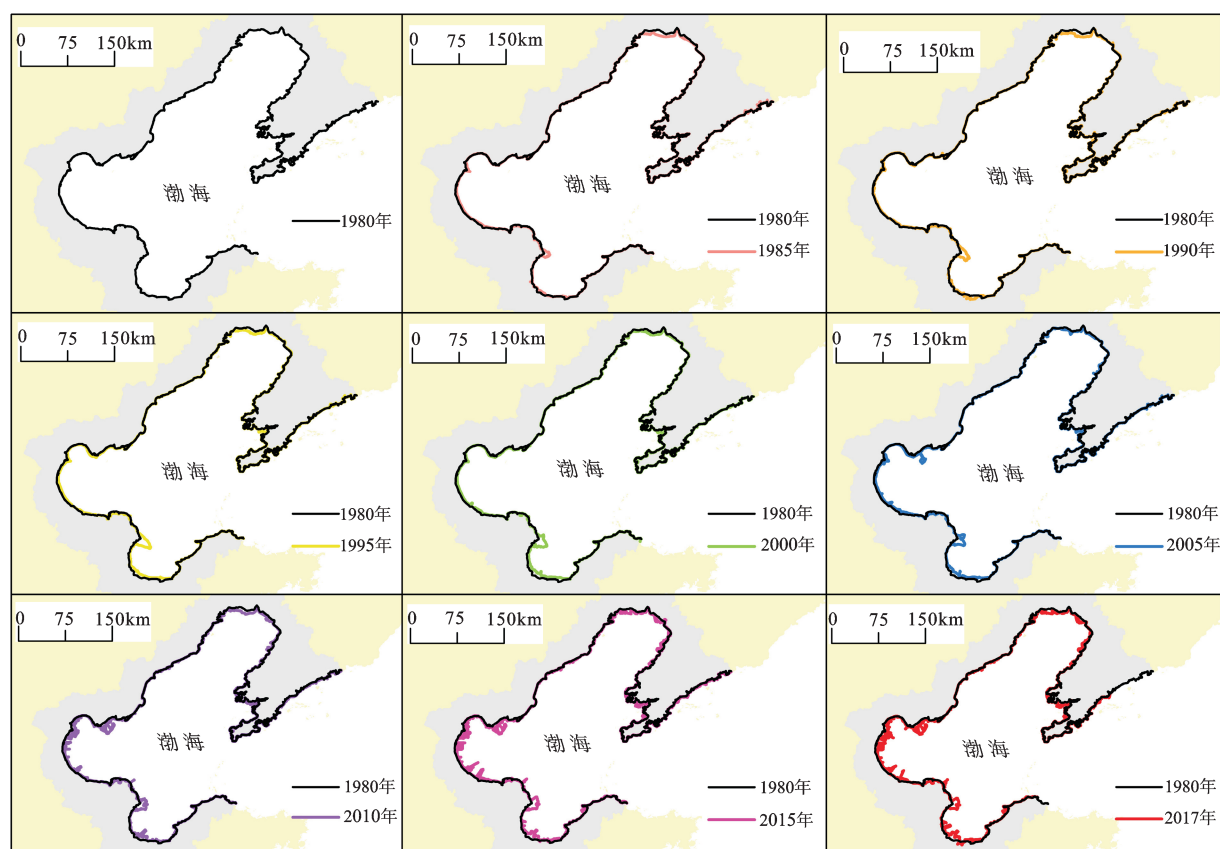


图2 1980~2017年环渤海海岸线动态演变

Fig.2 Dynamic evolution of shoreline of the Bohai Rim in 1980-2017

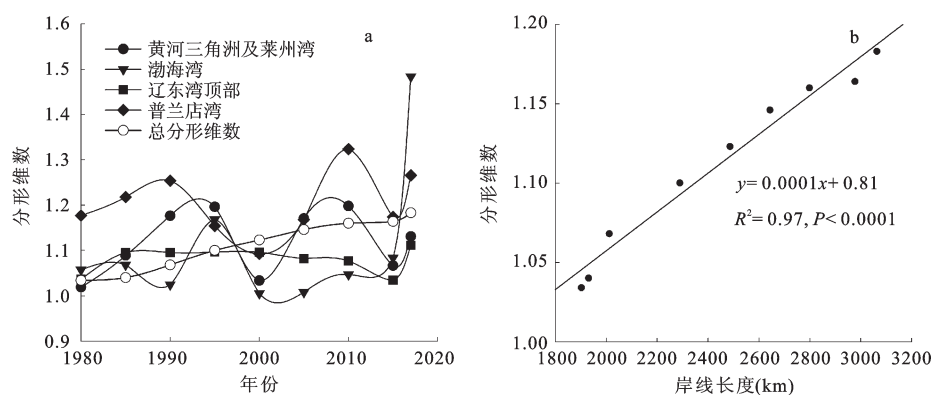


图3 1980~2017年环渤海区域海岸线分形维数变化(a)及其与岸线长度相关关系(b)

Fig.3 The change of fractal dimension(a) and its relationship(b) with length in of the Bohai Rim from 1980 to 2017

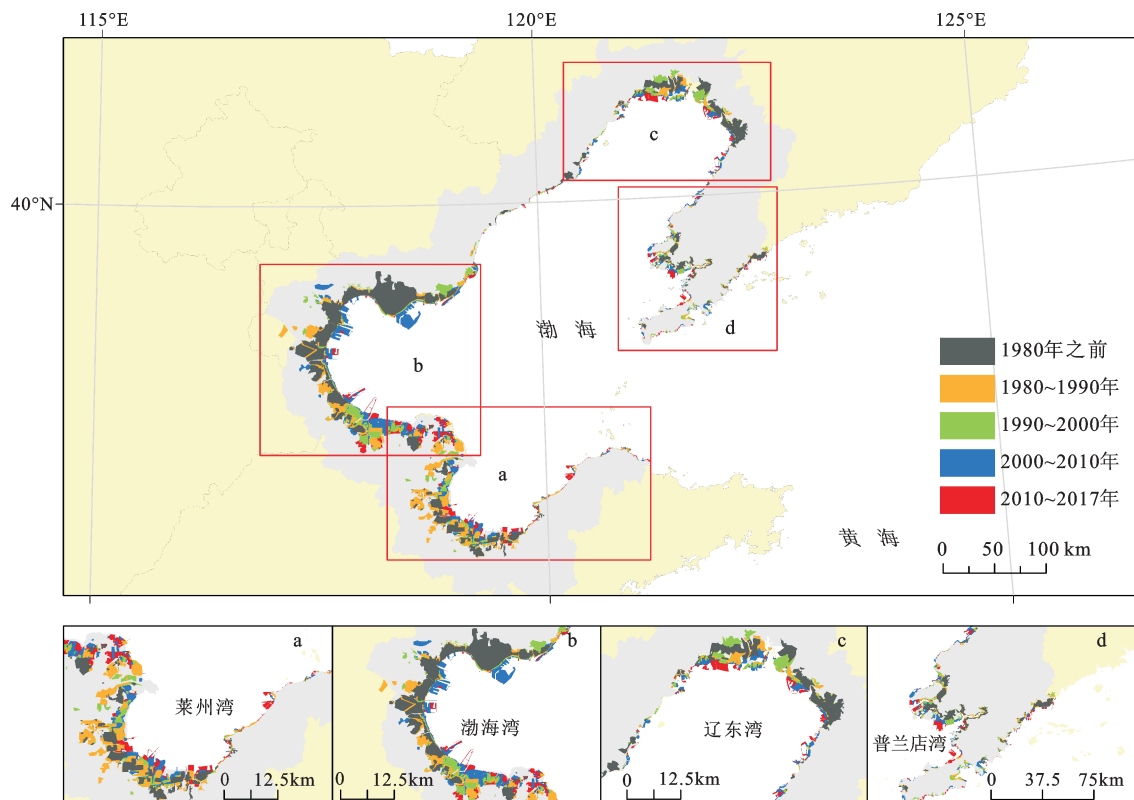


图4 1980~2017年环渤海区域围填海动态演变

Fig.4 Dynamic evolution of sea reclamation of the Bohai Rim from 1980 to 2017

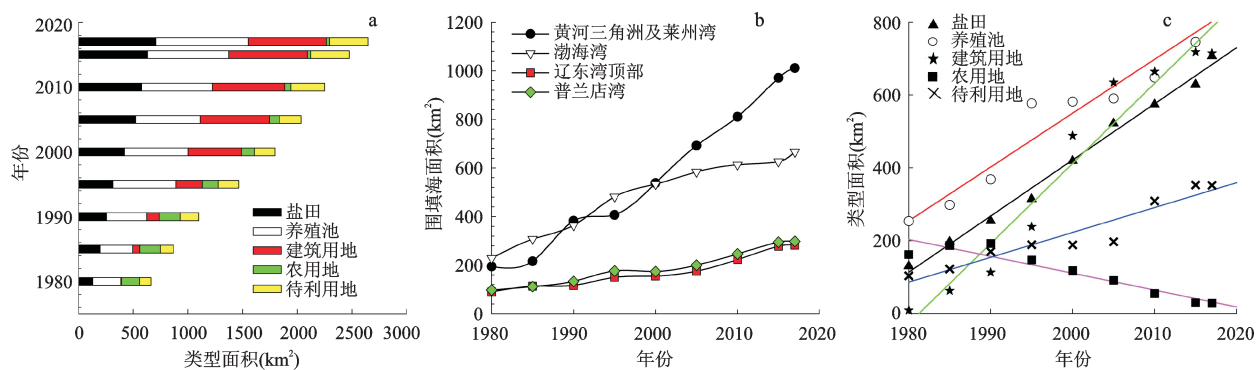


图5 1980~2017年环渤海区域围填海各利用类型面积变化(a)、重点变化区域面积变化(b)及各类型面积演变趋势(c)

Fig.5 The utilization types area of sea reclamation in the Bohai sea area (a), area changes of major landuse types of sea reclamation (b) and its evolution trend (c) from 1980 to 2017

3、图4)。近40 a研究区围填海变化率最高的土地利用类型为待利用地、养殖池和盐田,农用地减少幅度最大(表1)。1980~2000年面积增长的土地利用类型为养殖池、盐田及农用地,2000年之后,环渤海区域主要增长土地类型为建筑用地(图5a)。

1980~2017年环渤海区域各岸段围填海面积变化趋势相似,呈持续上升趋势(图5b)。其中,黄河

三角洲及莱州湾整体变化幅度大于其他区域,至2017年该区域的围填海面积为1 011.1 km<sup>2</sup>,其次为渤海湾区域,2017年围填海面积为666.6 km<sup>2</sup>。辽东湾顶部和普兰店湾区域围填海面积变化较小,2017年围填海面积分别为282.6 km<sup>2</sup>、298 km<sup>2</sup>。

1980~2017年,围填海面积呈持续增长趋势(图5b)。随着人类活动的强度增加,围填海面积持

续增长(图5c)。盐田( $y=15.39x-30\,368.75$ ,  $R^2=0.99$ ,  $P<0.000\,1$ )、养殖池( $y=14.77x-28\,998.16$ ,  $R^2=0.94$ ,  $P<0.000\,1$ )、建筑用地( $y=21.97x-43\,520.21$ ,  $R^2=0.95$ ,  $P<0.000\,1$ )和待利用地( $y=6.82x-13\,418.45$ ,  $R^2=0.91$ ,  $P<0.000\,1$ )等呈持续增长趋势,农用地呈减少趋势( $y=-4.63x+9\,370.80$ ,  $R^2=0.90$ ,  $P<0.000\,1$ )。随着盐田、养殖池、建筑用地和待利用地面积的增长,围填海面积持续增长。而农用地在围填海面积中所占的比重持续下降。

### 2.3 环渤海围填海活动对海岸线演变的影响特征

围填海面积与岸线长度( $y_1=0.61x+1\,411.87$ ,  $R^2=0.99$ ,  $P<0.000\,1$ )、自然岸线长度( $y_2=1.04x+30.34$ ,  $R^2=0.95$ ,  $P<0.000\,1$ )、人工岸线长度( $y_3=-0.43x+1\,381.44$ ,  $R^2=0.98$ ,  $P<0.000\,1$ )均呈极显著的线性关系(图6a)。其中,围填海面积与岸线长度、人工岸线长度呈正相关,与自然岸线长度呈负相关。随着围填海面积的增长,岸线长度呈增长趋势,自然岸线长度减少,人工岸线长度增加,说明岸线变化与围填海活动有密切关系。岸线长度随着盐田( $y_1=2.15x+1\,558.27$ ,  $R^2=0.98$ ,  $P<0.000\,1$ )、养殖池( $y_2=2.12x+1\,294.12$ ,  $R^2=0.93$ ,  $P<0.000\,1$ )、建筑用地( $y_3=1.46x+1\,861.77$ ,  $R^2=0.96$ ,  $P<0.000\,1$ )和待利用地( $y_5=4.40x+1\,479.57$ ,  $R^2=0.89$ ,  $P<0.000\,5$ )等面积的增长而增长,随农用地( $y_4=-6.68x+3\,204.72$ ,  $R^2=0.95$ ,  $P<0.000\,1$ )减少而增加(图6b)。说明盐田、养殖池、建筑用地和待利用地为影响岸线变迁的主要因素,农用地对岸线的影响日益减弱。

围填海活动是海岸线演变的重要驱动因素。20世纪80年代至90年代末,由于围海晒盐和水产养殖成本低收益高,导致水产养殖和围海晒盐成

为占用海岸带资源的主要人类活动。21世纪以来,应沿海区域经济发展要求,大规模港口、工业园区及旅游开发、城镇建设等人类活动推动围填海进程,导致岸线自然属性发生改变,人工岸线比例大大增加。2002年前后围填海活动由于受到政府相关部门管控,增长速度有所减慢,岸线变化幅度随之减小。然而,尖锐的人地矛盾和可观的经济效益降低了监管条例的威慑力<sup>[29]</sup>,2005年之后,围填海活动再次进入狂热期,岸线向海扩张速度只增不减。

## 3 讨论与分析

### 3.1 环渤海海岸线演变特征

环渤海滨海区域1980~2017年海岸线整体呈增长趋势(图1),增长了1 159.9 km。其中,1990~1995年增幅最大,增长了227 km(图2)。研究区近40 a来人工岸线增加了1 977.9 km,自然岸线减少了80%。自然岸线被人工岸线取代,岸线固化,尤其是渤海湾区域自然岸线几乎消失(图1a)。分形维数随岸线长度整体呈持续增长趋势,增长幅度不大,岸线呈曲折化(图3)。海岸线分形维数变化程度由不同规模的海岸工程建设状况所决定。部分区域由大规模的海岸工程导致岸线分形维数减少,岸线小幅度缩短(图3),如辽东湾顶部、普兰店湾<sup>[3,6]</sup>。而多数区域岸线由小规模工程导致长度增加,曲折度增加(图3),如渤海湾<sup>[4]</sup>。本研究将岸线划分为5个重点变化区域,分别为黄河三角洲区域、莱州湾区域、渤海湾区域、辽东湾顶部区域和普兰店湾区域(图2)。河北、天津、山东省的重度开发岸线长度所占比例均超过了50%,其中山东

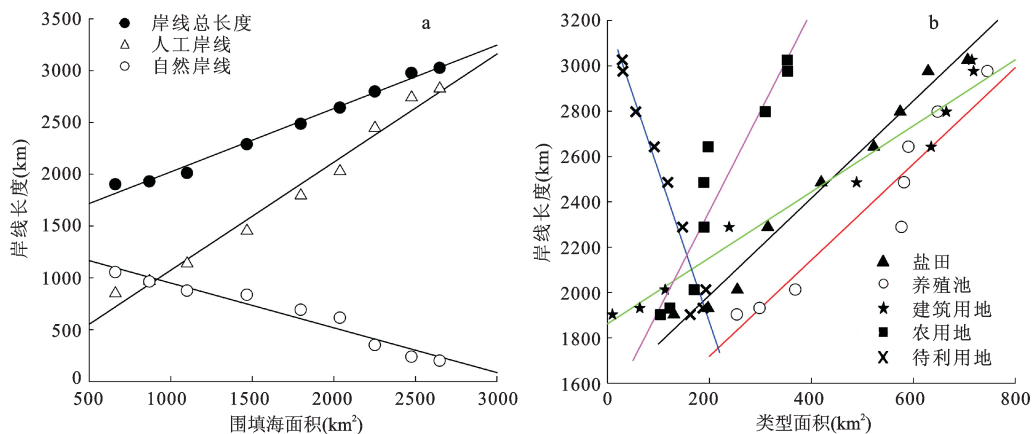


图6 环渤海滨海区域岸线长度与围填海面积(a)、岸线与利用类型面积(b)的相关关系分析

Fig.6 Correlation analysis between shoreline length and reclamation area (a), coastline and utilization types area(b) in the Bohai coastal area

省为低易损度海岸线<sup>[30]</sup>。

2000~2005年岸线增长幅度有所减小,2005年之后增长幅度变大(图1)。一方面是由于2002年国家实施《中华人民共和国海域使用管理法》(www.mnr.gov.cn),导致人工岸线增长减慢。另一方面是因为围垦区的大规模扩张,使得岸线呈平直化,长度增长幅度不大。2005年之后,人工岸线急速增长,自然岸线减少速度变缓(图1b、d、e)。城市化进程加快,国家设立曹妃甸、滨海新区等工业园区<sup>[10]</sup>,大规模修建港口码头等,极大程度推动了新城镇及大量基础设施修筑,使得建筑用地大幅度增加。此时,围填海活动已进入“顺岸围填”的阶段<sup>[31]</sup>,岸线向海扩张,导致人工岸线长度增加,对沿海自然岸线的影响减弱。另外国家实施湿地保护政策,并对沿海区域的开发利用活动进行监督管理,有效控制了农业开垦、工业园区和港口建设等干扰因素较强的人类活动,使得部分自然岸线得到保护,如黄河三角洲区域<sup>[3]</sup>。

### 3.2 环渤海围填海空间利用进程

环渤海区域围填海面积呈持续增长趋势(图4),1980~2017年增长了1 988.5 km<sup>2</sup>(图5)。1980~1985年围填海面积增长幅度最小(208.86 km<sup>2</sup>),1990~1995年围填海面积增长最大(367.21 km<sup>2</sup>)。研究区围填海主要土地利用类型为养殖池、盐田及建设用地(图5a)。1980~2017年围填海主要土地利用类型发生了转化,由以养殖池、盐田、建筑用地和农用地为主转化为以养殖池、盐田、建筑用地和待利用土地为主(表1),新增了大面积的待利用地。1980~1995年以农业开垦、围海养殖为主,21世纪以来则以城镇建设为主。

环渤海区域的淤泥质海岸和河口区是中国海岸带高强度围垦区域的主要集中地<sup>[10]</sup>,这些区域围垦成本低、面积大,主要用于农业和养殖业生产。对于砂质和基岩质海岸广泛分布的区域,围垦主要用于满足城市扩张所产生的建设用地需求,如港口和工业区建设。围填海活动的产生是由土地价值所带来的经济利益和围填海成本之间的利润差导致的<sup>[32]</sup>,而人地矛盾是催生围填海工程热潮的关键因素。围填海活动是人类扩展生存和生产空间的一种方式,受自然因素和社会因素影响。其中自然因素主要包括岸线类型和资源,社会因素包括人口、政策、农业、工业化和城市化发展的需要<sup>[10]</sup>。1980年以后,国家对沿海开发实施管控,围

填海活动由农业开垦、围垦养殖的传统开发模式,转化为综合开发,规模经营模式。同时,经济持续快速增长扩大了人们对建设用地和港口的需求,导致农业开垦逐渐减少,港口面积不断增加。综上,经济、政策、人口等社会因素是推动沿海地区围填海面积增加的重要因素,而自然因素和社会因素共同决定了不同区域围填海的利用类型。

### 3.3 围填海活动对环渤海岸线演变的影响

岸线变化的影响因素包括自然因素和人为因素。一方面,自然因素对岸线的影响,因岸线类型不同而表现程度不同。一般情况下,自然因素对岸线的影响是长时间尺度、小幅度的。但对于淤泥质海岸来说,海水的侵蚀作用较其他类型的海岸更为明显,主要体现在河口区域,如黄河、辽河河口(图2)。黄河三角洲区域由于黄河携带大量泥沙,因此在入海口产生明显的淤积,使得岸线长度增加,而海岸的侵蚀作用导致该区域岸线曲折化<sup>[32]</sup>。

另一方面,人类开发活动对海岸线的影响则是即时、强烈的,而且大多数的人为活动会导致海岸线向海推进,对海岸带生态造成不可忽视的负面影响<sup>[33]</sup>。研究区近40 a海岸线长度随着围填海面积的增加而增长(图6a),人工岸线取代自然岸线,说明围填海活动是岸线演变的重要影响因素。盐田、养殖池、建筑用地和待利用地为影响环渤海区域岸线变迁的主要因素(图6b)。高志强等在对全国海岸线变迁的研究结果中指出,修建港口码头,构筑建设用地,沿海养殖和农业开垦等人为因素是近几十年来中国海岸线变迁的关键因素<sup>[1]</sup>。

## 4 结论与展望

围填海活动有效解决了人与土地资源之间的矛盾,极大程度地带动了环渤海区域的经济的发展。尤其是1978年改革开放以来,各项国家战略、经济政策相继颁布实施,使得人口向沿海区域聚集,工业化、城镇化进程加快。然而,众多环境问题也随之而来。在滨海湿地面积大幅度减少的背景下,近海生态系统服务功能受损。因此,了解围填海进程,并对其实行严格的管控措施,具有重要意义。本文探究了环渤海岸线演变和围填海进程的特征规律,具体结论可以总结为以下几个方面:

1) 环渤海岸线总体呈增长趋势,近40 a增长了1 159.9 km。其中,人工岸线持续大幅度增加,

大量自然岸线被人工化,部分区域几近消失,如渤海湾。

2) 环渤海围填海面积增长了1 988.5 km<sup>2</sup>,主要利用类型为农用地、养殖池、盐田、建筑用地和待利用地5种。2000年之后,建筑用地所占比例增加显著,农用地不断减少。

3) 围填海活动导致岸线固化,如工业园区、城镇建设和港口码头修筑等活动,使得自然岸线人工化。围堤养殖、晒盐等,也改变了岸线的原有属性。因此,高强度围填海活动是推动岸线变迁的重要因素。

围填海活动一直是国内外学者研究讨论的热点问题,研究多集中于围填海进程及其环境效应等方面。然而,随着社会进步、人口增长,统筹沿海资源保护和经济发展,实现多手段综合管理海岸带区域,将成为未来围填海研究的重点、难点。

## 参考文献(References):

- [1] 高志强,刘向阳,宁吉才,等.基于遥感的近30a中国海岸线和围填海面积变化及成因分析[J].农业工程学报,2014,30(12): 140-147. [Gao Zhiqiang, Liu Xiangyang, Ning Jicai et al. Analysis on changes in coastline and reclamation area and its causes based on 30-year satellite data in China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(12): 140-147.]
- [2] 许宁.中国大陆海岸线及海岸工程时空变化研究[D].烟台:中国科学院烟台海岸带研究所,2016. [Xu Ning. Research on spatial and temporal variation of China mainland coastline and coastal engineering. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, 2016.]
- [3] 张云,张建丽,景昕蒂,等.1990年以来我国大陆海岸线变迁及分形维数研究[J].海洋环境科学,2015,34(3): 406-410. [Zhang Yun, Zhang Jianli, Jing Xindi et al. Historical changes of the length and fractal dimension of Chinese coastline since 1990. Marine Environmental Science, 2015, 34(3): 406-410.]
- [4] 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. [Sun Xiaoyu, Lv Tingting, Gao Yi et al. Driving force analysis of Bohai Bay coastline change from 2000 to 2010. Resources Science, 2014, 36(2): 413-419.]
- [5] 刘雪,马妍妍,李广雪,等.基于卫星遥感的长江口岸线演化分析[J].海洋地质与第四纪地质,2013(2):17-23. [Liu Xue, Ma Yanyan, Li Guangxue et al. Coastline evolution of the Yangtze estuary upon satellite remote sensing analysis. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013(2):17-23.]
- [6] 葛振鹏,戴志军,谢华亮,等.北部湾海岸线时空变化特征研究[J].上海国土资源,2014(2):49-53. [Ge Zhenpeng, Dai Zhi-jun, Xie Hualiang et al. Temporal and spatial characteristics of the shoreline along the Beibu Gulf. Shanghai Land & Resources, 2014 (2): 49-53.]
- [7] 陈静,王永学.大连湾岸线变迁对海域水动力环境的影响[J].海洋通报,2016,35(3): 351-359. [Chen Jing, Wang Yongxue. Effects of the coastline changes on the hydrodynamic condition in the Dalian Bay. Marine Science Bulletin, 2016, 35(3): 351-359.]
- [8] 许宁,高志强,宁吉才.基于分形维数的环渤海地区海岸线变迁及成因分析[J].海洋学研究,2016,36(1): 45-51. [Xu Ning, Gao Zhiqiang, Ning Jicai. Spatial-temporal variations of coastlines in Bohai Rim based on fractal dimension and their causes analysis. Journal of Marine Sciences, 2016, 36(1): 45-51.]
- [9] 王毅杰,俞慎.长江三角洲城市群区域滨海湿地利用时空变化特征[J].湿地科学,2012,10(2): 129-135. [Wang Yijie, Yu Shen. Temporal and spatial variation of coastal wetlands utilization in the city cluster area of Yangtze River Delta. Wetland Science, 2012, 10(2): 129-135.]
- [10] 吴文挺,田波,周云轩,等.中国海岸带围垦遥感分析[J].生态学报,2016,36(16): 5007-5016. [Wu Wenting, Tian Bo, Zhou Yunxuan et al. The trends of coastal reclamation in China in the past three decades. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): 5007-5016.]
- [11] 岳奇,徐伟,胡恒,等.世界围填海发展历程及特征[J].海洋开发与管理,2015,32(6): 1-5. [Yue Qi, Xu Wei, Hu Heng et al. The development history and characteristics of the world reclamation. Ocean Development and Management, 2015, 32(6): 1-5.]
- [12] Cui B L, Li X Y. Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976-2005) [J]. Geomorphology, 2011, 127(1-2): 32-40.
- [13] Kirwan M L, Megonigal J P. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise[J]. Nature, 2013, 504 (7478): 53-60.
- [14] 刘彦随.中国环渤海地区城乡发展转型格局测度[J].地理学报,2015,70(2): 248-256. [Liu Yansui. The spatial pattern measure of urban-rural development transformation in the Bohai Rim region in China. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2): 248-256.]
- [15] 郭丽英,王道龙,邱建军.环渤海区域土地利用类型动态变化研究[J].地域研究与开发,2009,28(3): 92-95. [Guo Liying, Wang Daolong, Qiu Jianjun. Study on the land-use types changes in the area around Bohai Bay in China. Areal Research and Development, 2009, 28(3): 92-95.]
- [16] 巢子豪,高一博,谢宏全,等.1984~2012年海州湾海岸线时空演变研究[J].海洋科学,2016,40(6): 95-100. [Chao Zihao, Gao Yibo, Xie Hongquan et al. Study of temporal and spatial evolutions of coastline of the Haizhou Bay from 1984 to 2012. Marine Sciences, 2016, 40(6): 95-100.]
- [17] 徐进勇,张增祥,赵晓丽,等.2000~2012年中国北方海岸线时空变化分析[J].地理学报,2013,68(5):651-660. [Xu Jinyong, Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli et al. Spatial-temporal analysis

- of coastline changes in northern China from 2000 to 2012. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5):651- 660.]
- [18] 李飞, 曹可, 赵建华, 等. 典型海岸线指标识别与特征研究——以江苏中部海岸为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(6):963-971. [Li Fei, Cao Ke, Zhao Jianhua et al. Identification and characteristics of the typical coastline indicators: A case study of the central Jiangsu Coast. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(6): 963-971.]
- [19] Pagán J I, López I, Aragonés L et al. The effects of the anthropic actions on the sandy beaches of Guardamar del Segura, Spain [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 601-602: 1364- 1377.
- [20] 侯西勇, 毋亭, 王远东, 等. 20世纪40年代以来多时相中国大陆岸线提取方法及精度评估[J]. *海洋科学*, 2014, 38(11): 66-73. [Hou Xiyong, Wu Ting, Wang Yuandong et al. Shape changes of major gulfs along the mainland of China since the early 1940s. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 38(11): 66-73.]
- [21] Moore L J. Shoreline mapping techniques [J]. *Journal of Coastal Research*, 2000, 16(1): 111-124.
- [22] Smith G L, Zarillo G A. Calculating long-term shoreline recessing rates using aerial photographic and beach profiling techniques [J]. *Journal of Coastal Research*, 1990, 1: 111-120.
- [23] 国家海洋局908专项办公室. 海岸带调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2005. [State Oceanic Administration 908 Special Office. Technical regulations for coastal zone survey. Beijing: Ocean Press, 2005.]
- [24] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5):589- 595. [Xu Hanchu. A study on information extraction of water body with the modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(5):589-595.]
- [25] 国家海洋局. 海域使用分类[M]. 北京: 国家海洋局, 2009. [State Oceanic Administration. Sea area use classification. Beijing: State Oceanic Administration, 2009.]
- [26] 吴正鹏, 奚歌, 王健洁. 基于多源遥感影像的围填海监测——以天津南港工业区为例[J]. *城市勘测*, 2012, 12(6): 77- 80. [Wu Zhengpeng, Xi Ge, Wang Jianjie. Reclamation monitoring based on the multi-source remote sensing image: As an example of Tianjin Nangang Industrial Zone. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, 2012, 12(6): 77-80.]
- [27] 穆雪男. 天津滨海新区围填海演进过程与岸线、湿地变化关系研究[D]. 天津: 天津大学, 2014. [Mu Xuenan. Research on the relationship between the evolution process of reclamation, shoreline and wetland changes of Tianjin Binhai new area. Tianjin: Tianjin University, 2014.]
- [28] 叶梦姚, 李加林, 史小丽, 等. 1990~2015年浙江省大陆岸线变迁与开发利用空间格局变化[J]. *地理研究*, 2017, 36(6): 1159-1170. [Ye Mengyao, Li Jialin, Shi Xiaoli et al. Spatial pattern change of the coastline development and utilization in Zhejiang from 1990 to 2015. *Geographical Research*, 2017, 36(6): 1159-1170.]
- [29] 李京梅, 孙晨, 谢恩年. 围填海造地经济驱动因素的实证分析[J]. *中国渔业经济*, 2012, 30(6): 61-68. [Li Jingmei, Sun Chen, Xie Ennian. An empirical analysis of economic driving forces on land reclamation. *Chinese Fisheries Economics*, 2012, 30(6): 61-68.]
- [30] 王雪鸽, 李晓燕, 贾明明, 等. 1975~2015年大连市海岸线变迁和围填海变化[J]. *海洋环境科学*, 2017, 36(1): 87-93. [Wang Xuege, Li Xiaoyan, Jia Mingming et al. Analysis on changes in coastline and reclamation in Dalian from 1975 to 2015. *Marine Environmental Science*, 2017, 36(1): 87-93.]
- [31] 刘百桥, 孟伟庆, 赵建华, 等. 中国大陆1990~2013年海岸线资源开发利用特征变化[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(12): 2033-2044. [Liu Baiqiao, Meng Weiqing, Zhao Jianhua et al. Variation of coastline resources utilization in China from 1990 to 2013. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(12): 2033-2044.]
- [32] 孙万龙, 孙志高, 卢晓宁, 等. 黄河口岸线变迁对潮滩盐沼景观格局变化的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(2): 480-488. [Sun Wanlong, Sun Zhigao, Lu Xiaoning et al. Relationship between coastline changes and the landscape pattern heterogeneity of the salt marshes in the Yellow River Delta, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(2): 480-488.]
- [33] Suo A, Zhang M. Sea areas reclamation and coastline change monitoring by remote sensing in coastal zone of Liaoning in China [J]. *Journal of Coastal Research*, 2015, 73: 725-729.

## Temporal-spatial Dynamic Evolution and Mechanism of Shoreline and the Sea Reclamation in the Bohai Rim During 1980-2017

Wei Fan<sup>1,2</sup>, Han Guangxuan<sup>2</sup>, Han Mei<sup>1</sup>, Zhang Jinping<sup>3</sup>, Li Yunzhao<sup>4</sup>, Zhao Jianmin<sup>2</sup>

(1. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, Shandong, China; 2. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, Shandong, China; 3. College of Geography and Environmental science, Hainan Normal University, Haikou 570100, Hainan, China; 4. School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, Shandong, China)

**Abstract:** The coastal zone is the border area between the land and the ocean. The marine resources are rich. In particular, since the reform and opening up in 1978, the coastal economy has developed rapidly. The rapid urbanization process has led to large-scale exploitation of coastal resources, and human activities severely affected shoreline evolution in the Bohai Rim region. Therefore, studying the changes of coastline and reclamation evolution is conducive to the sustainable development of coastal regional economy and the supervision and management of decision-making departments. The spatial-temporal evolution characteristics of the shoreline under the action of sea reclamation were researched based on the remote sensing images in nine years (1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 and 2017). The MNDWI method, transfer matrix of land use, the fractal dimension method and regression analysis were used in the study. These data were processed by 3S technology and the soft wares of eCognition9.0, ArcGIS10.2 and SPSS. The results show that the Yellow River delta, Laizhou bay, Bohai bay and Liaodong bay changed a lot, the natural shoreline length decreased by 80%, whereas the artificial shoreline increased by 1 977.9 km in past 40 years. The fractal dimension of shoreline has been increased and tended to zigzag. Meanwhile, sea reclamation area increased by 1 988.5 km<sup>2</sup> during 1980-2017. Its main land use types are transformed from aquatic farm, salt field and agricultural land to aquatic farm, salt field and construction land. There is a significant linear relationship between the reclamation process and the change of the length of the coastline. To sum up, the sea reclamation evolution affects the changes of shoreline, including aquaculture, farmland reclamation, industrialization and urban construction, etc.

**Key words:** the Bohai Rim; sea reclamation; shoreline; fractal dimension; dynamic monitoring