

# 2010—2020 年中国沿海主要海湾形态变化特征

徐 鹤<sup>1,2,3,4</sup>, 张玉新<sup>1,2,3,4</sup>, 侯西勇<sup>1,3,4</sup>, 李 东<sup>1,3,4</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 烟台 264003;  
4. 山东省海岸带环境过程重点实验室, 烟台 264003)

**摘要:** 为揭示近期中国沿海主要海湾形态的变化特征, 基于 Landsat 影像提取 2010 年、2015 年和 2020 年中国沿海主要海湾的空间信息, 以海湾岸线类型结构、岸线开发利用程度、海湾面积、海湾形状和平面重心位移作为评价指标, 分析 2010—2020 年中国沿海主要海湾的形态变化特征。结果表明: (1) 近 10 年间中国沿海主要海湾岸线长度及结构变化显著, 自然岸线长度和保有率下降; (2) 海湾岸线开发利用程度上升, 但上升速度开始放缓, 大多数海湾属于中等开发程度; (3) 海湾面积持续萎缩, 但萎缩速度放缓, 渤海海区海湾的面积萎缩幅度最大且速度最快; (4) 海湾形状的变化趋势存在南北差异, 北方趋于复杂, 南方趋于简单, 总体则趋于简单; (5) 海湾平面重心在 2015 年后趋于稳定, 位移距离减小, 位移速度放缓。总的来说, 海湾形态变化的主导因素是以围填海为主的人类活动, 国家层面近年来实施的围填海管控政策和措施已在海湾形态变化方面初步显现成效。研究认为, 应对中国沿海的海湾进行基本功能定位和划分, 实施精细化分类管理, 促进海湾区域“三生空间”布局优化。

**关键词:** 海湾; 岸线结构; 岸线变化; 海湾面积; 形状指数; 海湾重心; 围填海

中国海岸线绵长曲折, 孕育了大量形态各异、功能复杂的海湾<sup>[1,2]</sup>。海湾作为深入陆地形成明显水曲的海域, 是海岸带的重要组成部分, 地处海陆交界处, 常年受到海陆的双重影响<sup>[3]</sup>。海湾不仅拥有丰富的自然资源, 而且凭借其自然环境优势和区位优势成为高科技产业、金融行业和海洋工业的摇篮<sup>[4,5]</sup>, 也因此受到人类活动的强烈干预, 例如, 围填海等人类活动导致海湾海岸线和海湾形态发生显著变化<sup>[6,7]</sup>。形态作为海湾最基本的特征之一<sup>[8]</sup>, 其显著变化将对海湾及其周边的水动力、水环境以及生态系统产生深刻的影响<sup>[9]</sup>, 如引发生物多样性减少<sup>[10]</sup>、生物群落结构改变<sup>[11]</sup>、生态服务功能破坏<sup>[12]</sup>等, 严重威胁沿海地区的经济社会可持续发展<sup>[8,13]</sup>。国内外学者非常重视海湾形态方面的监测与分析, 关注的问题主要包括海湾海岸线利用方式变化、海湾形态变化、海岸土地损失等。如, Puig 等<sup>[14]</sup>对西班牙西南部加的斯湾 1956—2010 年的风暴强度和海岸线变化速率进行了分析与讨论; Torab<sup>[15]</sup>分析了过去 100 年红海北部亚喀巴湾的演变特征及其对沿海地区管理的潜在影响; Al-Rashidi 等<sup>[16]</sup>分析了巴士拉运河影响下阿拉伯湾西北部的形态变化; Latapy 等<sup>[17]</sup>分析了 19 世纪以来法国北部威桑特湾形态变化及其对近岸水动力和海岸线演

收稿日期: 2020-10-26; 修订日期: 2021-01-28

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA19060205); 中国科学院烟台海岸带研究所自主部署项目 (YICY755011031, YICY755021012); 山东省自然科学基金项目 (ZR2020QD090)

作者简介: 徐鹤 (1997-), 男, 山东泰安人, 博士研究生, 研究方向为海岸带土地利用变化与海岸线变化遥感监测。  
E-mail: hxu@yic.ac.cn

通讯作者: 侯西勇 (1975-), 男, 山东泰安人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为海岸带土地利用变化与海岸线变化遥感监测、脆弱性评价及综合管理。E-mail: xyhou@yic.ac.cn

化的影响;柯丽娜等<sup>[18]</sup>借助遥感影像探究了锦州湾海域围填海的空间开发及利用程度;宋洋等<sup>[19]</sup>利用地形图、海图和遥感影像对20世纪40年代初以来渤海形态变化特征进行了分析;Li等<sup>[20,21]</sup>对中国钦州湾和龙口湾水下地形的演变进行分析,并探讨了沿海集约化发展对海湾形态和河口的影响;李加林等<sup>[8]</sup>聚焦围填海影响下东海区的12个主要海湾,对其形态变化特征进行了分析。综上,国内外学者充分利用历史地图、航空相片、遥感影像、激光雷达等数据以及GIS技术对海湾形态开展监测研究,通过充分结合其他学科的理论和技术方法,能够较为综合地分析海湾岸线、海湾形态的长期演变特征并揭示自然和人为因素的影响特征,以及在此基础上分析和揭示海湾形态变化对水动力、水下地貌、生态系统等所造成的影响。但是,大多数研究仅针对于单个或少数几个海湾,或海湾的局部区域,缺少较大空间尺度和较长时间尺度大量海湾的集总式分析研究。

随着我国海洋经济和海岸带经济的复苏,海岸带开发利用与生态保护的矛盾愈发突出,为此,国家近10年间相继推出一系列围填海管控以及海洋生态保护红线等方面的政策措施<sup>[22-36]</sup>。另一方面,为解决自然资源所有者不到位、空间规划重叠等问题,于2018年4月成立自然资源部,着力陆海统筹政策的制定和实施<sup>[22]</sup>。为了评估国家层面上海洋与海岸带管理重大政策措施调整对海湾所带来的影响,本文在侯西勇等<sup>[4]</sup>针对1940s—2014年中国沿海主要海湾形态变化特征研究成果的基础上,对最近10年中国沿海主要海湾的形态变化进行持续性研究,分析和揭示中国沿海主要海湾在形态方面的新近变化特征。通过研究,旨在为海湾保护、海岸带管理政策细化以及沿海经济社会可持续发展提供更具时效性的科学数据和决策依据。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 中国沿海主要海湾数据

延续侯西勇等<sup>[4]</sup>对中国沿海主要海湾形态变化特征的分析,针对主要海湾2010—2020年间的形态变化特征开展研究(归并为85个,其中渤海10个、黄海27个、东海29个、南海19个)。2010年海湾岸线分布与分类以及海湾封口线数据直接选用侯西勇等<sup>[4]</sup>研究工作中的数据,并参照其方法,主要基于Landsat OLI卫星影像解译获得2015年和2020年85个海湾的岸线分布与分类(图1)以及海湾封口线数据。

### 1.2 海湾形态特征指数

从海湾岸线和湾面形态两个方面分析海湾形态的演变特征,选取具有代表性的海湾形态特征评价指标,包括:海湾岸线结构(自然岸线保有率和岸线人工化率)、海湾岸线开发利用程度、海湾平面面积、海湾平面形状指数、海湾平面重心。

(1) 海湾岸线结构:自然岸线保有率为自然岸线长度占岸线总长度的比例,岸线人工化率为人工岸线长度占岸线总长度的比例,二者之和为100%。计算公式如下:

$$N = \frac{n}{Z} \times 100\%; R = \left(1 - \frac{n}{Z}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: $N$ 为自然岸线保有率(%); $n$ 为自然岸线长度(km); $Z$ 为岸线总长度(km); $R$ 为岸线人工化率(%)。

(2) 海湾岸线开发利用程度:不同类型岸线受到人类活动影响的程度不同,分别赋予其差异化的人类活动强度指数(表1),经式(2)计算海湾岸线开发利用程度指数<sup>[37,38]</sup>。

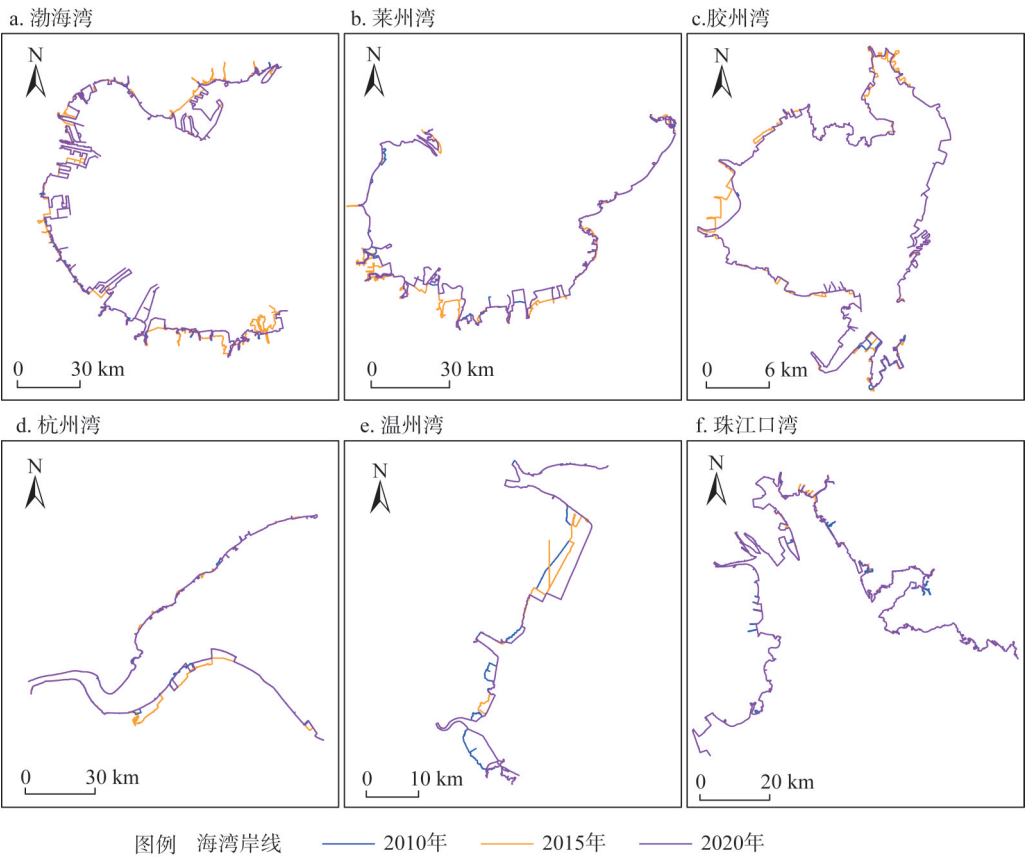


图1 2010—2020年中国沿海部分海湾岸线时空分布

Fig. 1 Spatio-temporal features of some major gulf shorelines along the coast of China in 2010-2020

表1 各类型岸线的人类活动强度指数

海湾岸线类型	丁坝突堤	港口码头	围垦中岸线	养殖围堤	盐田围堤	交通围堤	防潮堤	自然岸线
人类活动强度指数	4	4	4	3	3	4	2	1

$$I=\sum_{i=1}^n(A_i\times C_i)\times 100 \tag{2}$$

式中： $I\in[100, 400]$ ，为海湾岸线开发利用程度指数； $A_i$ 为第*i*类海湾岸线的人类活动强度指数； $C_i$ 为第*i*类海湾岸线的长度占比（%）； $n$ 为海湾岸线的类型数（个）。 $I$ 值越小，海湾岸线开发利用程度越小，反之越高。

（3）海湾平面形状指数：海湾的几何周长与等面积圆形周长的比值，表示海湾形状与圆形的相似程度<sup>[39]</sup>，计算公式如下：

$$SIB=\frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \tag{3}$$

式中： $SIB$ 为海湾形状指数； $P$ 为海湾周长（km）； $A$ 为海湾面积（km<sup>2</sup>）。 $SIB$ 值越小，海湾形状与圆形越相似，形状越简单，反之，则越复杂。

（4）海湾平面重心及其变化：计算湾面的几何重心发生位移的距离和速度。计算公

式如下<sup>[40]</sup>:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (4)$$

$$L = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2} \quad (5)$$

式中:  $(x, y)$  为海湾重心坐标;  $(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 为海湾平面离散点的坐标;  $L$  为重心位移距离 (km);  $(x_j, y_j)$  是  $j$  时相的重心坐标;  $(x_k, y_k)$  是  $k$  时相的重心坐标。

## 2 结果分析

### 2.1 海湾岸线结构时空动态特征

计算 85 个海湾的自然岸线保有率, 并将其划分为五个等级区间, 统计 2010 年、2015 年和 2020 年各个区间的海湾个数、海湾岸线的总长度与自然岸线的总长度, 计算得到各个时期的自然岸线保有率 (图 2) 以及不同海区各类型岸线的长度变化情况 (图 3)。结果表明: 2010—2020 年 85 个海湾的岸线结构变化显著, 岸线总长度、自然岸线长度和自然岸线保有率总体呈现为下降趋势; 整体的自然岸线保有率由 2010 年的 35.10% 下降至 2015 年的 25.65%, 后上升至 2020 年的 26.70%; 2015 年仅剩下 6 个 (占比 7.06%) 海湾的自然岸线保有率超过 60%, 其中仅有 1 个 (占比 1.18%) 海湾的自然岸线保有率仍然超过 80%, 至 2020 年自然岸线保有率超过 60% 和 80% 的海湾个数已分别恢复至 9 个 (占比 10.59%) 和 2 个 (占比 2.35%)。

2010 年 85 个海湾的自然岸线、养殖围堤和交通围堤的长度均较为突出。分海区来看, 渤海海区海湾岸线以盐田围堤为主, 东海海区和南海海区海湾岸线以自然岸线为主, 黄海海区海湾岸线以养殖围堤为主。2015 年, 海湾的自然岸线和盐田围堤长度下降, 围垦 (中) 岸线和养殖围堤长度上升。分海区来看, 渤海海区海湾岸线以养殖围堤

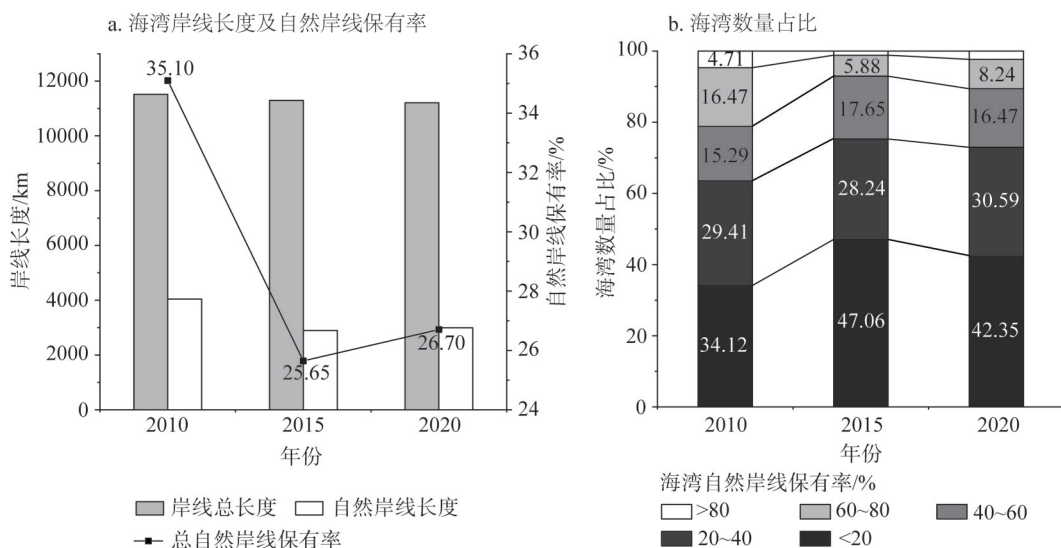


图 2 2010—2020 年中国沿海主要海湾自然岸线保有率的变化

Fig. 2 Changes of natural shoreline ratio of major gulfs along the coast of China in 2010-2020



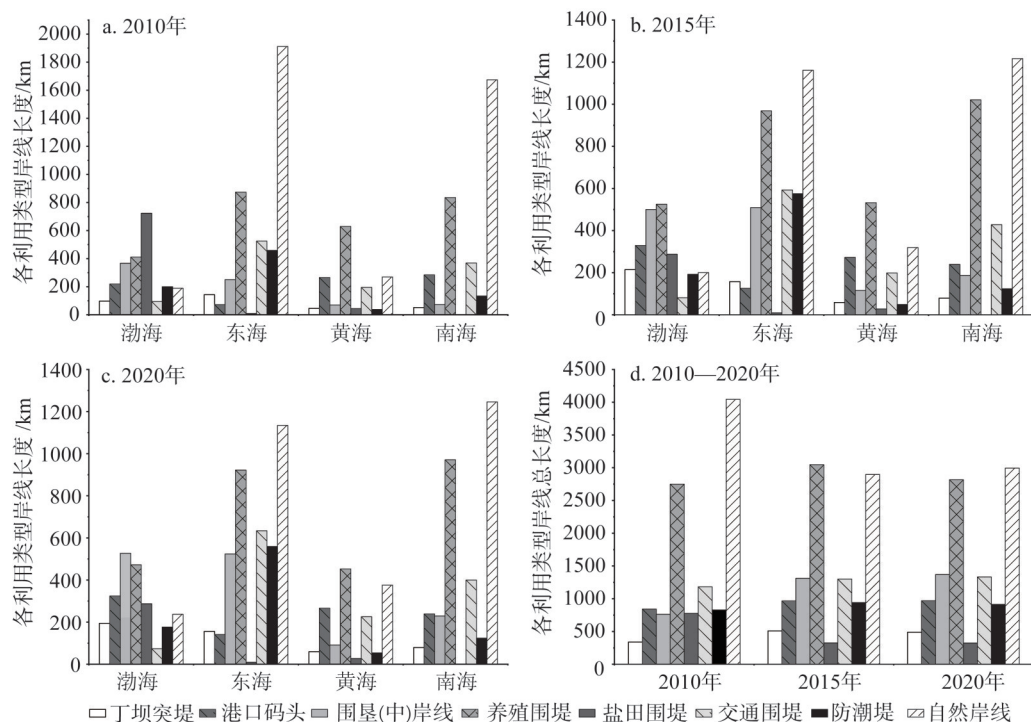


图3 2010—2020年四大海区海湾岸线结构变化特征

Fig. 3 Changes of gulf shoreline structure in four major sea areas of China in 2010-2020

为主, 东海海区 and 南海海区海湾岸线仍以自然岸线为主, 但其养殖围堤长度上升明显, 黄海水区海湾岸线仍以养殖围堤为主, 但港口码头岸线和交通围堤岸线上升明显。2020年主要海湾的自然岸线长度上升, 养殖围堤岸线长度下降。分海区来看, 渤海海区海湾岸线以围垦(中)岸线为主, 东海海区 and 南海海区海湾岸线仍以自然岸线为主, 且养殖围堤长度下降, 黄海水区海湾岸线仍以养殖围堤为主, 但其长度有明显下降。

综上所述, 2010—2020年中国沿海主要海湾的岸线长度及结构变化显著。2010—2015年, 总自然岸线保有率大幅下降, 岸线人工化率上升; 2015—2020年, 总自然岸线保有率略有回升, 高自然岸线保有率(>60%)海湾的数量明显增多; 四大海区之间海湾岸线结构差异显著, 近年来开始进入自然岸线恢复速率超过岸线人工化速率的阶段。

## 2.2 海湾岸线开发利用程度时空动态特征

计算85个海湾的岸线开发利用程度指数, 并将其划分为低等开发(100~199)、中等开发(200~299)、高等开发(300~399)和完全开发(400)四个等级, 统计不同年份各等级海湾的数量(图4a); 计算不同时段海湾岸线开发利用程度指数的变化量, 并将其划分为负增长(-100, 0]、低增长(0, 50]、较低增长(50, 100]、较高增长(100, 150]和高增长(150, 200]五个等级, 统计不同年份各等级海湾的数量(图4b); 计算2010—2020年各个海区海湾岸线开发利用程度指数(图4c), 区分四大海区计算不同时段海湾岸线开发利用程度指数的变化率(图4d)。

结果表明, 2010—2020年沿海主要海湾岸线开发利用程度呈现先增后减的变化特征, 由2010年的249.72上升至2015年的276.57, 之后小幅度降低至2020年的275.57; 开

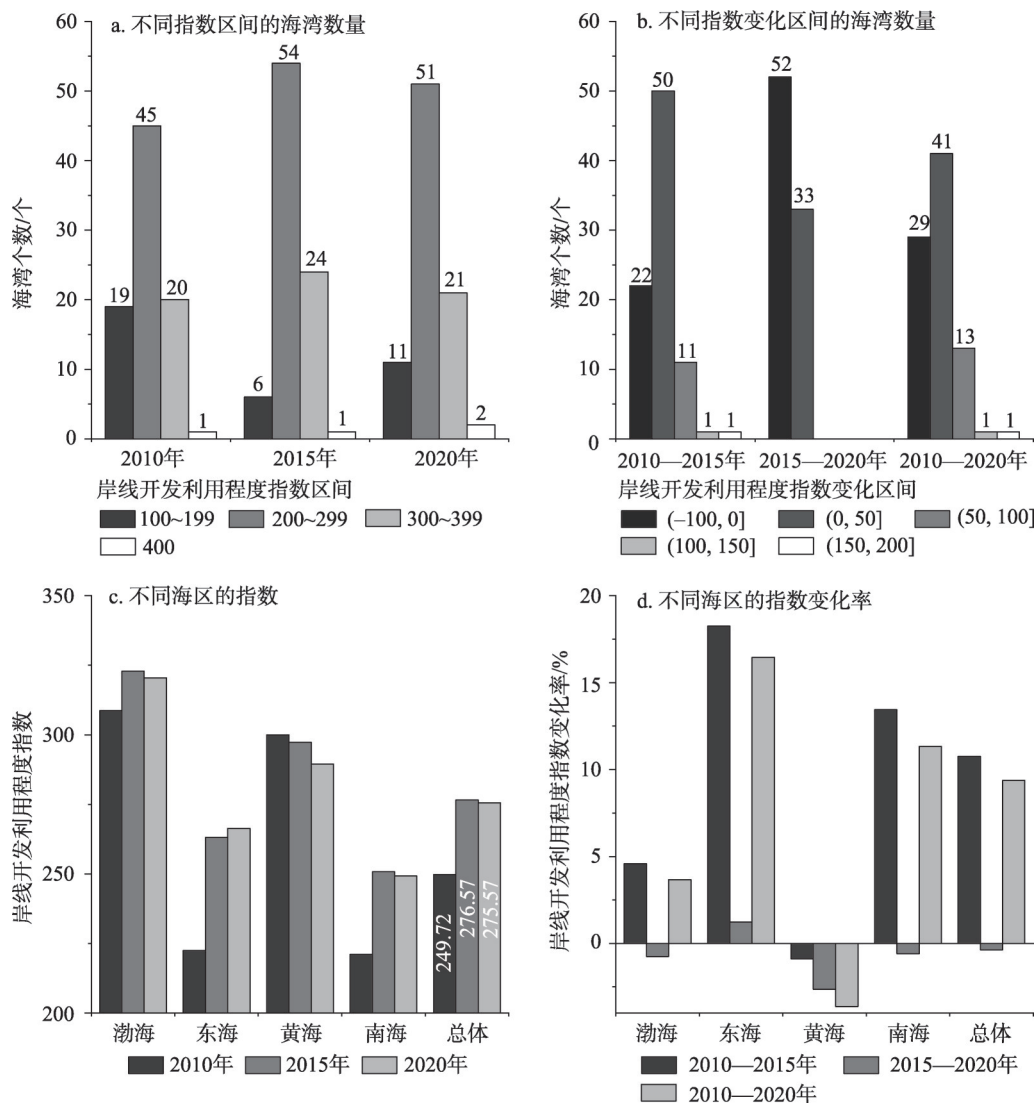


图4 2010—2020年中国沿海主要海湾的岸线开发利用程度变化特征

Fig. 4 Changes of gulf shoreline utilization degree along the coast of China in 2010-2020

发利用程度指数变化量处于低增长区间  $(0, 50]$  的海湾数量最多。具体而言, 各个年份均以中等开发的海湾居多, 2010年、2015年和2020年分别为45个、54个和51个, 高等开发的海湾数量次之, 而且两个等级区间海湾的数量均呈现为先增后减的趋势; 低等开发的海湾数量较少且呈现出先减后增的趋势。2010—2015年, 有超过92% (29%) 的海湾, 其岸线开发利用程度指数大于200 (300), 开发利用程度指数变化量集中在区间  $(0, 50]$ , 属于低增长; 2015—2020年, 海湾岸线开发利用程度指数大于200 (300) 的海湾数量均有所减少, 占比降至87% (27%), 有52个海湾的岸线开发利用程度指数下降, 这表明岸线保护、围填海管控等方面政策及措施的成效初现, 海湾岸线开发利用出现“降温”迹象。但与此同时, 仍有33个海湾的岸线开发利用程度指数提升, 芝罘湾和太平湾2个海湾均达到了完全开发程度 (400)。其中, 太平湾由于不断围填, 实际上已经

消失。分海区来看：海湾岸线的开发利用程度自大至小排序依次为渤海海区、黄海海区、东海海区、南海海区；10年间，渤海海区和南海海区的开发利用趋势为先增后减，东海海区是持续增加，黄海海区是持续减小；2010—2015年，东海海区的增长率最大；2015—2020年，黄海海区的下降率最大。

综上所述，2010—2020年中国沿海主要海湾岸线开发利用程度总体呈现为上升的趋势。多数海湾的岸线开发利用程度属于中等开发等级，个别海湾的岸线开发利用程度已达到完全开发程度；分海区而言，渤海海区海湾岸线开发利用程度最大，南海海区最小，东海海区海湾岸线的开发利用势头持续强劲，而黄海海区则是持续放缓。

### 2.3 海湾平面面积时空动态特征

计算85个海湾总面积和不同海区的海湾面积（图5），统计不同面积等级以及面积变化率等级的海湾数量（图6）。

近10年间，多数海湾的面积都呈现下降趋势，除汕头湾、大渔—渔寮湾、水东港、湛江港—雷州湾、泉州湾、浦坝港、险岛湾、三门湾、双岛港的面积未减少，其余海湾的面积均呈现下降趋势，其中，太平湾已经消亡，漩门湾和葫芦山湾的面积萎缩率也超过了40%。全部海湾总面积萎缩率达到3.58%，渤海、东海、黄海、南海四个海区海湾总面积的萎缩率分别为4.67%、3.69%、3.59%、1.21%。将图5的5条曲线进行线性拟合，全部海湾总面积线性拟合方程的 $R^2$ 为0.81，斜率为-0.8405；而渤海、东海、黄海和南海四海区的 $R^2$ 分别为0.76、0.88、0.84和0.80，斜率分别为-0.4413、-0.2902、-0.052和-0.057；5个斜率值的大小及其差异表明了海湾面积萎缩的剧烈程度以及不同海区之间海湾面积变化的差异特征，即渤海海区的海湾面积萎缩最为剧烈，黄海海区的海湾面积萎缩最微弱。85个海湾以平面面积不超过250 km<sup>2</sup>的小海湾为主，2010年面积小于50 km<sup>2</sup>海湾的数量占比为29.41%，至2020年已经上升至32.94%。2010—2015年海湾所属面积等级的变化较为明显且以相邻等级之间的转换为主，2015—2020年海湾的面积等级变化

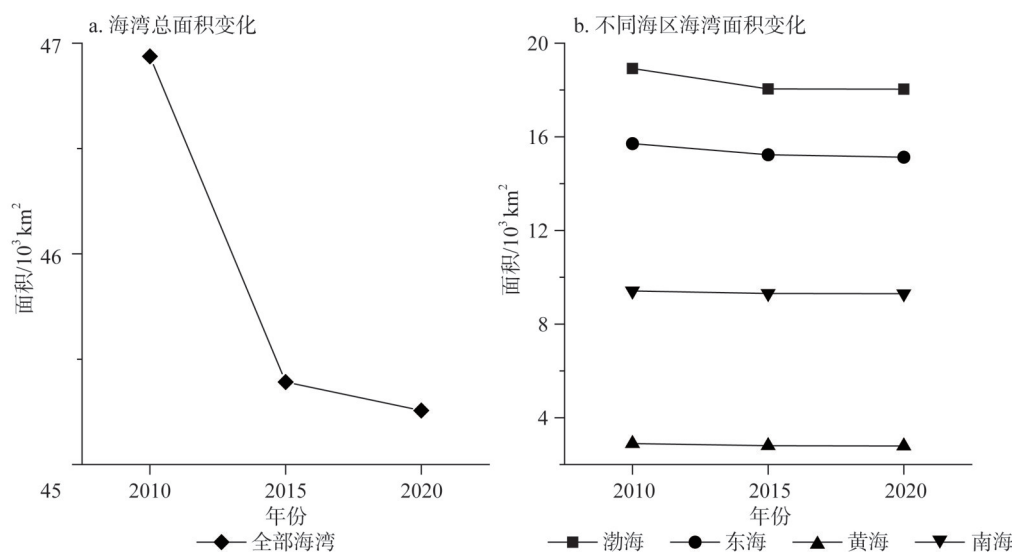


图5 2010—2020年中国沿海海湾的面积变化特征

Fig. 5 Characteristics of gulf area change along the coast of China in 2010-2020

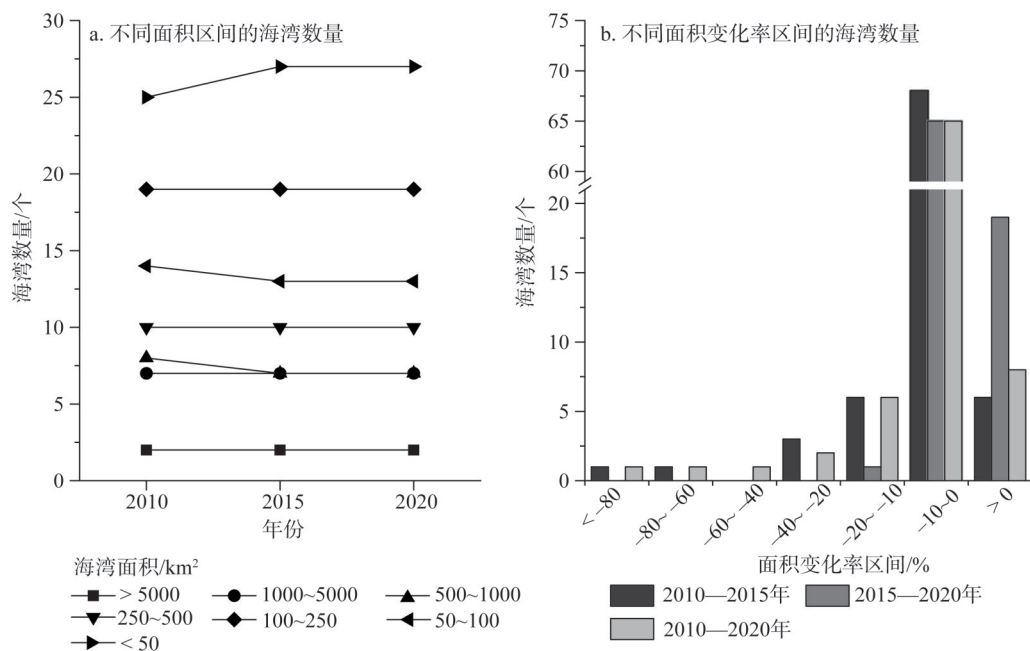


图6 2010—2020年海湾面积及其变化率分级统计特征

Fig. 6 Graded characters of gulf area and change rate in 2010-2020

则趋于平稳。2010—2020年绝大多数海湾（65个，占76.47%）的面积萎缩率介于0~10%之间，2015—2020年海湾面积的萎缩趋势已经放缓，也说明海湾开发和围填海活动已经开始得到有效遏制。

综上所述，中国沿海的海湾以面积不足250 km<sup>2</sup>的小海湾为主，2010—2020年海湾面积明显萎缩，但萎缩速度在2015年后有所放缓；渤海海区的海湾面积萎缩幅度最大且萎缩速度最快，南海海区海湾面积萎缩幅度最小，黄海海区海湾面积萎缩速度最慢。

## 2.4 海湾平面形状指数时空动态特征

计算85个海湾的形状指数并进行分级统计（图7）。结果表明，2010—2020年85个海湾的平面形状指数主要分布在1.5~3.0之间的三个等级区间，合计占比由2010年的72.95%变为2020年的71.76%。其中，分布于2.0~2.5区间的海湾数量占比明显下降，由2010年27.06%下降至2020年18.82%，分布于1.5~2.0以及2.5~3.0两个区间的海湾数量占比明显上升。总的来说，近10年间大量海湾的平面形状指数由较高等级向较低等级转变，海湾的平面形状总体趋于简单化。计算三个年份85个海湾平面形状指数的平均值，发现该值表现为先升后降总体下降的趋势，同样表明海湾平面形状总体趋于简单化。

分海区统计分析海湾的平面形状指数（表2）。可见，2010—2020年，北方海域（渤海和黄海）的海湾平面形状指数总体呈现上升趋势（20个海湾上升，占比54.05%），海湾平面形状趋于复杂化，南方海域（东海和南海）总体呈现持续下降趋势（共27个海湾下降，占比56.25%），海湾平面形状趋于简单化。计算不同海区海湾平面形状指数的平均值，结果表明，渤海和南海表现为持续下降趋势，东海为持续上升趋势，黄海则为先升后降总体上升的变化趋势。

综上所述，沿海85个海湾平面形状的复杂程度在2015年前后总体达到了峰值，之后



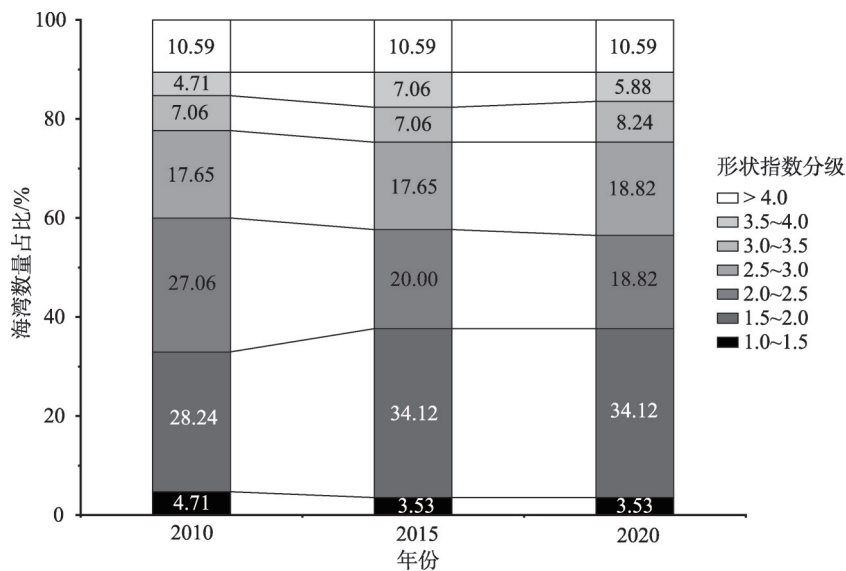


图7 2010—2020年中国沿海海湾形状指数分级统计特征

Fig. 7 Statistical characters of gulf shape index along the coast of China in 2010-2020

表2 2010—2020年海湾平面形状指数的统计特征

Table 2 Statistical characters of gulf shape index in 2010-2020

	海区	2010	2015	2020	2010—2020年变化
平均值	渤海	2.49	2.44	2.35	-0.14
	东海	2.71	2.74	2.74	0.03
	黄海	2.12	2.18	2.16	0.03
	南海	2.96	2.89	2.89	-0.07
	总计	2.55	2.56	2.54	-0.01
最大值	渤海	4.24	3.90	3.52	0.44
	东海	5.76*	5.36*	5.32*	0.34
	黄海	3.37	4.07	4.03	0.66*
	南海	4.89	4.65	4.67	0.17
最小值	渤海	1.53	1.40	1.40	-1.43*
	东海	1.65	1.63	1.63	-0.44
	黄海	1.40*	1.25*	1.10*	-0.31
	南海	1.55	1.53	1.53	-0.31

注：\*表示该数字同时也是所有海湾的最大值或最小值。

开始趋向简单化，但海湾平面形状指数的变化存在突出的时空异质性和复杂性，尤其是南北之间的差异性。究其原因，主要是围填海活动对南、北方海湾的平面形状具有不同的影响特征，北方海湾平面形状原本简单，围填海等人类活动则使其复杂化，南方海湾平面形状原本复杂，围填海等人类活动则使其简单化，围填海等人类活动通过“削峰填谷”式的作用机制显著缩小了南北方之间海湾平面形状指数的差距。

2.5 海湾平面重心位移特征

计算各个时期每个海湾的平面重心坐标及其在不同时段的位移距离和速度，分析其

变化特征（表3）。结果表明，近10年间所有海湾平面重心位移距离的平均值为0.36 km，最大值达3.38 km，平均位移速度达到35.94 m/a，其中，位移距离不超过3 km、2 km、1 km的海湾的数量比例分别达到98.82%、97.65%、87.06%；不同时段海湾平面重心的位移距离有较大差异，2010—2015年，所有海湾平面重心位移距离的平均值是0.32 km，最大值为3.37 km，平均位移速度达到64.17 m/a，其中，89.41%（98.82%）

的海湾重心位移距离不超过1 km（3 km）；2015—2020年，所有海湾平面重心位移距离的平均值是0.06 km，最大值为1.25 km，平均位移速度仅为12.87 m/a，其中，超过97.65%（98.82%）的海湾重心位移距离不超过0.5 km（1 km）。普兰店湾、漩门湾和太平湾2010—2015年重心位移距离均较大，分别为3.37 km、2.82 km和1.63 km，但2015—2020年重心位移距离则均接近于0。

10年间不同海区海湾平面重心的平均位移距离有较大差异，渤海、东海、黄海、南海海区海湾平面重心的平均位移距离分别是0.97 km、0.48 km、0.14 km、0.16 km，以渤海海区最为显著，其次为东海海区，北方海域海湾的平面重心变化程度总体上大于南方海域的海湾。

综上所述，不同时段、不同海区的平面重心位移存在较大差异，2010—2015年间海湾平面重心不稳定，位移距离长、速度快，2015—2020年海湾平面重心较稳定，位移距离短、速度慢；渤海海区海湾的平面重心位移最大，黄海海区最小，但北方海域海湾的平面重心变化程度总体高于南海区的海湾。

3 结论与讨论

3.1 结论

2010—2020年中国沿海主要海湾表现出如下形态变化特征：

（1）海湾的岸线长度及结构变化显著，总自然岸线保有率在2015年前后抵达谷底并开始回升，但四大海区之间海湾岸线结构的变化表现出较为显著的差异性。

（2）大多数海湾的岸线开发利用程度属于中等水平，开发利用程度在2015年前后达到峰值之后开始下降；渤海海区海湾岸线的开发利用程度最大，南海海区最小，东海海区上升势头强劲，黄海海区则明显放缓。

（3）沿海的海湾以面积不足250 km<sup>2</sup>的小海湾为主，而且10年间海湾面积的萎缩趋势显著，萎缩速度在2015年之后显著放缓；四个海区之间差异显著，渤海海区海湾面积萎缩的幅度最大、速度最快。

（4）沿海海湾平面形状指数在2015年前后出现峰值，之后开始下降；10年间海湾平面形状总体趋向简单化，但存在显著的时空异质性和复杂性，尤其是南北差异特征，围

表3 2010—2020年85个海湾平面重心的位移特征  
Table 3 Characters of gulf-centroid movement in 2010-2020

位移距离/km	2010—2015年	2015—2020年	2010—2020年
<0.5	69	83	68
0.5~1	7	1	6
1~2	7	1	9
2~3	1	0	1
>3	1	0	1
平均值/km	0.32	0.06	0.36
最大值/km	3.37	1.25	3.38
最小值/km	0	0	0
位移速度/(m/a)	64.17	12.87	35.94

填海等人类活动通过“削峰填谷”的方式减小了南北方之间海湾平面形状指数的差异。

(5) 海湾平面重心位移在不同时段和不同海区存在较大差异, 2010—2015年海湾平面重心不稳定, 位移距离长、速度快, 2015—2020年海湾平面重心趋于稳定, 位移距离短、速度慢; 渤海海区海湾的平面重心位移最大, 黄海海区最小, 但总体上北方海域海湾的平面重心变化比南方海区海湾更为显著。

### 3.2 讨论

海湾形态变化过程受到自然因素和人类活动的双重影响, 但在10年尺度, 海湾形态特征指数的变化特征充分表明, 导致海湾形态变化的主导因素是以围填海为主的人类活动。侯西勇等<sup>[4]</sup>的研究工作分析和揭示了1940s初期至2014年间沿海海湾的形态变化特征, 本文将研究时段延续至2020年。将两个研究工作相结合, 纵览1970s末期至2020年间海湾形态的变化特征可以发现, 多个海湾形态特征指数的时空变化均有力地显示2015年前后是海湾形态变化的“拐点”, 即在经历了约40年的趋势性变化之后, 在最近5年开始“逆转”, 例如, 海湾自然岸线保有率开始回升, 海湾岸线开发利用程度开始下降, 海湾平面面积的萎缩速率急剧下降, 海湾平面形状指数开始减小, 海湾平面重心趋于稳定等。

海湾形态变化“拐点”的出现得益于最近10年来, 尤其是十八大以来国家层面重大政策的出台和实施以及政府机构改革等举措: 2010年, 国家发改委和原国家海洋局发布《关于加强围填海规划计划管理的通知》, 对围填海活动加强科学规划和总体控制<sup>[23]</sup>, 2011年, 两部门又发布具体的《围填海计划管理办法》<sup>[24]</sup>; 2012年4月, 原国家海洋局公布《全国海洋功能区划(2011—2020年)》, 提出到2020年中国自然岸线保有率不低于35%, 完成整治和修复海岸线长度不少于2000 km的目标<sup>[25]</sup>, 相关目标在2016年12月发布的“十三五”生态环境保护规划中得到进一步强化<sup>[26]</sup>; 2012年10月, 原国家海洋局印发《关于建立渤海海洋生态红线制度的若干意见》, 设定渤海自然岸线最低保有率为30%<sup>[27]</sup>; 2013年以来, 原国家海洋局大力推进海域海岸带整治修复工作, 全国围填海总量逐年下降, 2013年仍高达15413 hm<sup>2</sup>, 2017年已降至5779 hm<sup>2</sup> (降低了63%)<sup>[28]</sup>; 2016年3月通过的“十三五”规划纲要确立了“蓝色海湾”“南红北柳”和“生态岛礁”三大海洋生态修复工程<sup>[29]</sup>, 同年6月, 原国家海洋局印发《关于全面建立实施海洋生态红线制度的意见》, 再次强调全国陆域自然岸线保有率不低于35%的意见要求<sup>[30]</sup>; 2017年, 原国家海洋局发布《海岸线保护与利用管理办法》和《关于开展“湾长制”试点工作的指导意见》, 将海岸线分为严格保护、限制开发和优化利用三类, 提出分类管控要求, 实施6个暂停措施, 执行“史上最严”的围填海管控<sup>[31-33]</sup>; 2018年4月, 通过整合原国土资源部、国家海洋局等部门的部分职责, 组建自然资源部, 进一步加强和完善了政府生态环境保护职能, 促进陆海统筹政策的制定和实施<sup>[22]</sup>; 2018年7月, 国务院发布《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》, 从严控新增围填海造地、加快处理围填海历史遗留问题、加强海洋生态保护修复、建立滨海湿地保护和围填海管控长效机制四方面政策措施来严控围填海<sup>[34]</sup>; 2019年11月, 党的十九届四中全会通过决定: 除国家重大项目外全面禁止围填海<sup>[35]</sup>; 2020年, 生态环境部表示“十四五”规划编制工作要突出“一河一策”“一湾一策”, 抓好“美丽海湾”的建设<sup>[36]</sup>。综上, 2010年以来政策、措施的集中颁布和实施, 已经显著影响了海湾形态的演化过程, 使得其在2015年前后迎来拐点, 并开始向良好的方向转变和发展, 而且可以预计, 这种向好的态势将更趋强劲。

展望未来, 提出政策建议如下: 对中国沿海海湾的主体功能进行定位和划分, 并实施分区分级分类管理, 包括: (1) 以生态保护和恢复为主要功能定位的海湾, 应严格控制海湾海岸线的开发和人类活动作用强度、尝试恢复并保护海湾的自然岸线、维持海湾面积和形态特征的稳定性; (2) 以开发港口和发展航运为主要功能定位的海湾, 应该优化和提升海岸线及海域空间资源的利用效率, 严格防治海湾的环境污染, 合理规划港口和航道布局, 减少对海洋底栖生物的负面影响; (3) 以城镇生活为重要功能的海湾, 应该陆海统筹, 合理安排海湾区域“三生”空间(生产、生活和生态空间)的数量结构, 并优化其空间布局; (4) 对于大型的海湾, 由于其面积大、生态系统类型多样、具有多种经济功能, 人类活动的影响广泛而复杂, 建议陆海统筹、以海定陆, 强调对海湾陆海空间进行功能分区基础上的分区管控政策和措施, 以及综合海湾自然地理、生态系统、行政管理等方面层级特征基础上的分级管控政策和措施, 同时, 加强和优化多部门综合管控政策和措施等。

### 参考文献(References):

- [1] 毋亭, 侯西勇. 1940s 以来中国大陆岸线变化的趋势分析. 生态科学, 2017, 36(1): 80-88. [WU T, HOU X Y. Tendency of coastline variations on mainland China since 1940s. Ecological Science, 2017, 36(1): 80-88.]
- [2] 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. 自然资源学报, 2015, 30(12): 2033-2044. [LIU B Q, MENG W Q, ZHAO J H, et al. Variation of coastline resources utilization in China from 1990 to 2013. Journal of Natural Resources, 2015, 30(12): 2033-2044.]
- [3] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第二分册). 北京: 海洋出版社, 1997. [Editorial Board of China Bay Survey. Survey of China Bays (Vol. 2). Beijing: China Ocean Press, 1997.]
- [4] 侯西勇, 侯婉, 毋亭. 20 世纪 40 年代初以来中国大陆沿海主要海湾形态变化. 地理学报, 2016, 71(1): 118-129. [HOU X Y, HOU W, WU T. Shape changes of major gulfs along the mainland of China since the early 1940s. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(1): 118-129.]
- [5] 刘艳霞. 国内外湾区经济发展研究与启示. 城市观察, 2014, (3): 155-163. [LIU Y X. Research and implications of bay zone economy home and abroad. Urban Insight, 2014, (3): 155-163.]
- [6] 冯雪, 苏奋振, 王武霞, 等. 深圳湾和岷港湾 30 年土地利用变化研究. 地球信息科学学报, 2016, 18(9): 1276-1286. [FENG X, SU F Z, WANG W X, et al. Study on land use changes of Shenzhen Bay and Danang Bay for 30 years. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(9): 1276-1286.]
- [7] 李加林, 姜忆涓, 冯佰香, 等. 海湾开发利用强度分析: 以宁波市杭州湾、象山港与宁波市三门湾为例. 应用海洋学学报, 2018, 37(4): 541-550. [LI J L, JIANG Y M, FENG B X, et al. Analysis of intensively exploited bay area with cases of Ningbo Hangzhou Bay, Xiangshan Bay and Ningbo Sanmen Bay. Journal of Applied Oceanography, 2018, 37(4): 541-550.]
- [8] 李加林, 王丽佳. 围填海影响下东海区主要海湾形态时空演变. 地理学报, 2020, 75(1): 126-142. [LI J L, WANG L J. Spatial and temporal evolutions of the major bays in the East China Sea under the influence of reclamation. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(1): 126-142.]
- [9] 徐中昌, 徐钊, 张正龙, 等. 岛群围填海过程中岸线与植被变化特征初步探究: 以舟山石化基地为例. 海洋环境科学, 2020, 39(4): 522-528. [XU Z C, XU R, ZHANG Z L, et al. Preliminary study on characteristics of coastline and vegetation changes during islandgroup reclamation: Taking Zhoushan Petrochemical Base as an example. Marine Environmental Science, 2020, 39(4): 522-528.]
- [10] 张明慧, 陈昌平, 索安宁, 等. 围填海的海洋环境影响国内外研究进展. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1509-1513. [ZHANG M H, CHEN C P, SUO A N, et al. International advance of sea areas reclamation impact on marine environment. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(8): 1509-1513.]
- [11] 刘西汉, 王玉珏, 石雅君, 等. 曹妃甸海域浮游植物群落及其在围填海前后的变化分析. 海洋环境科学, 2020, 39(3): 379-386. [LIU X H, WANG Y J, SHI Y J, et al. Phytoplankton community and changes after reclamation in Caofeidian coastal waters. Marine Environmental Science, 2020, 39(3): 379-386.]



- [12] 林磊, 刘东艳, 刘哲, 等. 围填海对海洋水动力与生态环境的影响. 海洋学报, 2016, 38(8): 1-11. [LIN L, LIU D Y, LIU Z, et al. Impact of land reclamation on marine hydrodynamic and ecological environment. Haiyang Xuebao, 2016, 38(8): 1-11.]
- [13] 熊兰兰, 黄小平, 张景平, 等. 基于生态系统的海湾综合管理框架及调控策略. 海洋环境科学, 2020, 39(2): 203-210. [XIONG L L, HUANG X P, ZHANG J P, et al. Ecosystem-based management of bay: Integrated framework and control strategies. Marine Environmental Science, 2020, 39(2): 203-210.]
- [14] PUIG M, DEL RÍO L, PLOMARITIS T A, et al. Contribution of storms to shoreline changes in mesotidal dissipative beaches: Case study in the Gulf of Cádiz (SW Spain). Natural Hazards and Earth System Sciences, 2016, 16(12): 2543-2557.
- [15] TORAB M. Holocene evolution of Dahab coastline-Gulf of Aqaba, Sinai Peninsula, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 2018, 139: 254-259.
- [16] AL-RASHIDI S, AL-HURBAN A. Geomorphological changes along the coastline of As Sabriya, Northern Kuwait. Arabian Journal of Geosciences, 2019, 12(9): 290.
- [17] LATAPY A, HEQUETTE A, NICOLLE A, et al. Influence of shoreface morphological changes since the 19th century on nearshore hydrodynamics and shoreline evolution in Wissant Bay (Northern France). Marine Geology, 2020, 422: 106095, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106095>.
- [18] 柯丽娜, 董颖娜, 庞琳, 等. 1995—2015年锦州湾海域围填海空间格局变化分析. 海洋环境科学, 2018, 37(3): 389-395. [KE L N, DONG Y N, PANG L, et al. Variation of spatial pattern of the reclamation area in Jinzhou bay from 1995 to 2015. Marine Environmental Science, 2018, 37(3): 389-395.]
- [19] 宋洋, 张华, 侯西勇. 20世纪40年代初以来渤海形态变化特征. 中国科学院大学学报, 2018, 35(6): 761-770. [SONG Y, ZHANG H, HOU X Y. Shape changes of Bohai Sea since the early 1940s. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2018, 35(6): 761-770.]
- [20] LI D, TANG C, HOU X Y, et al. Morphological changes in the Qinzhou Bay, Southwest China. Journal of Coastal Conservation, 2019, 23(4): 615-624.
- [21] LI D, TANG C, HOU X Y, et al. Rapid Morphological changes caused by intensive coastal development in Longkou Bay, China. Journal of Coastal Research, 2019, 35(3): 615-624.
- [22] 新华社. (两会受权发布)关于国务院机构改革方案的说明. [http://www.xinhuanet.com/politics/2018lh/2018-03/14/c\\_1122533011.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2018lh/2018-03/14/c_1122533011.htm), 2018-03-14. [The Xinhua News Agency. Explanation on the Institutional Reform Plan of the State Council (issued with the authorization of the two sessions). [http://www.xinhuanet.com/politics/2018lh/2018-03/14/c\\_1122533011.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2018lh/2018-03/14/c_1122533011.htm), 2018-03-14.]
- [23] 中华人民共和国自然资源部网站. 国家发展改革委 国家海洋局关于加强围填海规划计划管理的通知. [http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614\\_1795619.html](http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614_1795619.html), 2010-03-03. [Website of the Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Notice of the National Development and Reform Commission and the State Oceanic Administration on strengthening the management of sea reclamation planning. [http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614\\_1795619.html](http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614_1795619.html), 2010-03-03.]
- [24] 中华人民共和国自然资源部网站. 国家发展改革委 国家海洋局关于印发《围填海计划管理办法》的通知. [http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614\\_1795610.html](http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614_1795610.html), 2011-12-29. [Website of the Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Notice of the National Development and Reform Commission and the State Oceanic Administration on printing and distributing the Measures for the Administration of Sea Reclamation Plans. [http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614\\_1795610.html](http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614_1795610.html), 2011-12-29.]
- [25] 中华人民共和国中央人民政府网站. 海洋局公布《全国海洋功能区划(2011—2020年)》. [http://www.gov.cn/jrzq/2012-04/25/content\\_2123467.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2012-04/25/content_2123467.htm), 2012-04-25. [Website of the Central People's Government of the People's Republic of China. The State Oceanic Administration announces the National Marine Function Zoning (2011-2020). [http://www.gov.cn/jrzq/2012-04/25/content\\_2123467.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2012-04/25/content_2123467.htm), 2012-04-25.]
- [26] 国务院. 国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知. [http://www.mee.gov.cn/czwj/gwywj/201811/t20181129\\_676583.shtml](http://www.mee.gov.cn/czwj/gwywj/201811/t20181129_676583.shtml), 2016-12-06. [The State Council. Notice of the State Council on the issuance of the 13th Five-Year Plan for ecological and environmental protection. [http://www.mee.gov.cn/czwj/gwywj/201811/t20181129\\_676583.shtml](http://www.mee.gov.cn/czwj/gwywj/201811/t20181129_676583.shtml).



- shtml, 2016-12-06.]
- [27] 中华人民共和国中央人民政府网站.《关于建立渤海海洋生态红线制度若干意见》印发. [http://www.gov.cn/gzdt/2012-10/17/content\\_2245965.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2012-10/17/content_2245965.htm), 2012-10-17. [Website of the Central People's Government of the People's Republic of China. Opinions on Establishing the Bo Hai Marine Ecological Red Line System was issued. [http://www.gov.cn/gzdt/2012-10/17/content\\_2245965.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2012-10/17/content_2245965.htm), 2012-10-17.]
- [28] 中华人民共和国中央人民政府网站. 2013年以来, 全国围填海总量下降趋势明显: 今后原则上不再审批一般性填海项目 [http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/18/content\\_5257749.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/18/content_5257749.htm), 2018-01-18. [Website of the Central People's Government of the People's Republic of China. Since 2013, the total amount of sea reclamation across the country has been declining significantly: general reclamation projects will not be approved in principle in the future. [http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/18/content\\_5257749.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/18/content_5257749.htm), 2018-01-18.]
- [29] 中华人民共和国中央人民政府网站. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content\\_5054992.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm), 2016-03-17. [Website of the Central People's Government of the People's Republic of China. Outline of the Thirteenth Five-year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content\\_5054992.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm), 2016-03-17.]
- [30] 中华人民共和国中央人民政府网站. 国家海洋局全面建立实施海洋生态红线制度牢牢守住海洋生态安全根本底线. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/16/content\\_5082772.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/16/content_5082772.htm), 2016-6-16. [Website of the Central People's Government of the People's Republic of China. The State Oceanic Administration has established and implemented a system of red lines for marine ecology to ensure the fundamental bottom line of marine ecological security. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/16/content\\_5082772.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/16/content_5082772.htm), 2016-06-16.]
- [31] 中华人民共和国自然资源部网站. 海岸线保护与利用管理办法. [http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614\\_1795724.html](http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614_1795724.html), 2017-03-31. [Website of the Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Management Measures for the Protection and Utilization of Coastline. [http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614\\_1795724.html](http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180614_1795724.html), 2017-03-31.]
- [32] 中华人民共和国自然资源部网站. 国家海洋局印发《关于开展“湾长制”试点工作的指导意见》. [http://www.mnr.gov.cn/zt/hy/xysjd/hhgz/201709/t20170913\\_2102056.html](http://www.mnr.gov.cn/zt/hy/xysjd/hhgz/201709/t20170913_2102056.html), 2017-09-13. [Website of the Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. The State Oceanic Administration issued the Guidance on the Pilot Work of "Bay Leader System". [http://www.mnr.gov.cn/zt/hy/xysjd/hhgz/201709/t20170913\\_2102056.html](http://www.mnr.gov.cn/zt/hy/xysjd/hhgz/201709/t20170913_2102056.html), 2017-09-13.]
- [33] 中国日报网. 国家海洋局严控围填海 2018 年不再审批一般性填海项目. [http://language.chinadaily.com.cn/2018-01/03/content\\_35431388.htm](http://language.chinadaily.com.cn/2018-01/03/content_35431388.htm), 2018-01-03. [Website of China Daily. The State Oceanic Administration strictly controls sea reclamation and will no longer approve general reclamation projects in 2018. [http://language.chinadaily.com.cn/2018-01/03/content\\_35431388.htm](http://language.chinadaily.com.cn/2018-01/03/content_35431388.htm), 2018-01-03.]
- [34] 中华人民共和国中央人民政府网站. 国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content\\_5309058.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content_5309058.htm), 2018-07-25. [Website of the Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the State Council on strengthening the protection and strict control of coastal wetlands reclamation. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content\\_5309058.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content_5309058.htm), 2018-07-25.]
- [35] 中央广播电视总台国际在线. 中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度 推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定. <http://news.cri.cn/20191105/dc056147-847f-9da7-a705-bb6c78e6fd12.html>, 2019-11-05. [China Media Group International Online. The CPC Central Committee's decision on some major issues concerning how to uphold and improve the system of socialism with Chinese characteristics and advance the modernization of China's system and capacity for governance. <http://news.cri.cn/20191105/dc056147-847f-9da7-a705-bb6c78e6fd12.html>, 2019-11-05.]
- [36] 新华网. 生态环境部:“十四五”河湖海湾保护要突出“一河一策”“一湾一策”. [http://www.xinhuanet.com/2020-11/25/c\\_1126786567.htm](http://www.xinhuanet.com/2020-11/25/c_1126786567.htm), 2020-11-25. [XINHUANET. The Ministry of Ecology and Environment: During the 14th Five-Year Plan period, the protection of rivers, lakes and bays should be highlighted with "one policy for one river and one policy for one bay". [http://www.xinhuanet.com/2020-11/25/c\\_1126786567.htm](http://www.xinhuanet.com/2020-11/25/c_1126786567.htm), 2020-11-25.]
- [37] WU T, HOU X Y, XU X L. Spatio-temporal characteristics of the mainland coastline utilization degree over the last 70 years in China. *Ocean and Coastal Management*, 2014, 98: 150-157.
- [38] 李加林, 田鹏, 邵姝遥, 等. 中国东海区大陆岸线变迁及其开发利用强度分析. *自然资源学报*, 2019, 34(9): 1886-1901. [LI J L, TIAN P, SHAO S Y, et al. The change of continental coastline and its development and utilization intensi-

- ty in the East China Sea. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(9): 1886-1901.]
- [39] 刘学录. 盐化草地景观中的斑块形状指数及其生态学意义. *草业科学*, 2000, 17(2): 50-52, 56. [LIU X L. Shape index and its ecological significance in salinized meadow landscape. *Pratacultural Science*, 2000, 17(2): 50-52, 56.]
- [40] 李玉冰, 郝永杰, 刘恩海. 多边形重心的计算方法. *计算机应用*, 2005, (s1): 391-393. [LI Y B, HAO Y J, LIU E H. Calculation method of the center of polygon. *Journal of Computer Application*, 2005, (s1): 391-393.]

## Morphological changes of major gulfs along the coast of China from 2010 to 2020

XU He<sup>1,2,3,4</sup>, ZHANG Yu-xin<sup>1,2,3,4</sup>, HOU Xi-yong<sup>1,3,4</sup>, LI Dong<sup>1,3,4</sup>

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, Yantai 264003, Shandong, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, CAS, Yantai 264003, Shandong, China; 4. Shandong Key Laboratory of Coastal Environmental Processes, Yantai 264003, Shandong, China)

**Abstract:** Based on Landsat images, the spatial information of major gulfs along the coast of China in 2010, 2015, and 2020 were extracted to explore the morphological change characteristics. Some evaluation indexes, such as shoreline utilization degree, gulf area, gulf shape index, and gulf centroid, were used to analyze the gulfs' spatio-temporal change features in detail. The research showed that: (1) The shoreline length and structure of major gulfs changed significantly between 2010 and 2020, and the length and retention rate of the natural shorelines decreased. (2) The development and utilization degree of the gulf increased, with the increase rate gradually slowing down, and most of the gulf was moderately developed. (3) The gulf area continued to shrink, with a slow-down shrinking rate, and the gulf area in the Bohai Sea shrunk the most and the fastest. (4) The morphological change trend of the gulf is different from north to south. The north tends to be complicated, while the south to be simple. (5) After 2015, the gulf's plane center of gravity tended to be stable, the displacement distance decreased, and the displacement velocity slowed down. Human activities, such as sea reclamation, are the dominant factors leading to gulfs' morphological change. The national policies and measures for sea reclamation management and control in recent years have initially shown their effectiveness in affecting the gulf's morphology changes. The gulfs along the coast of China should be functionally positioned and divided, with refined classified management to optimize the layout of the "Ecological-Production-Living" space in the gulf areas.

**Keywords:** gulf; shoreline structure; shoreline change; gulf area; gulf shape index; gulf centroid; sea reclamation