

引用格式: 宫萌, 吴晓青, 于璐. 1974-2017年山东省大陆海岸围填海动态变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(12): 1911-1922. [Gong M, Wu X Q, Yu L. Reclamation dynamics along the mainland coast of Shandong Province during 1974-2017[J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(12): 1911-1922.] DOI: 10.12082/dqxxkx.2019.190175

1974-2017年山东省大陆海岸围填海动态变化分析

宫萌^{1,2}, 吴晓青^{1,3*}, 于璐⁴

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. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100

Reclamation Dynamics Along the Mainland Coast of Shandong Province during 1974-2017

GONG Meng^{1,2}, WU Xiaoqing^{1,3*}, YU Lu⁴

1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 4. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

Abstract: With the rapid socioeconomic development, human activities continue to expand from mainland toward the sea. In this context, reclamation has become an important way to solve the shortage of land resources in coastal areas. However, high-intensity and unreasonable reclamation has caused tremendous pressure on the eco-environment in the coastal zone. Timely and accurately monitoring regional reclamation is of great significance for the protection of coastal resources and the promotion of regional sustainable development. Shandong Province is a major marine province with a long history of reclamation, with prominent coastal eco-environment problems caused by reclamation. By summarizing the existing literature, we found that there are few studies focused on unraveling the human-environmental laws of reclamation, especially in Shandong province. So we extracted the vector data of reclamation using remote sensing images, and analyzed the spatiotemporal dynamics along the mainland coast of Shandong Province from 1974 to 2017. The present study was based on RS/GIS technology, combined with a variety of data sources and aiming to inform reclamation management and related planning of the coastal zone in the study area. Results showed that: (1) The reclamation area of the mainland coast of Shandong Province had reached 4649.26 km² by 2017, presenting a sustained growth trend during the research period. The main type of utilization was sea-based reclamation. (2) Sea-based reclamation was mainly distributed in the Yellow River delta and the tidal flat areas of Laizhou Bay, while land-based reclamation was concentrated in the coastal areas of major ports and cities. The gravity center of reclamation moved from southeast to northwest during 1974-2017. (3) Frequent conversion from sea-based reclamation to land-based reclamation was prominent, and reclamation utilization types changed from being single to more diversified. The proportion of harbors, towns, industries, and other utilization types in reclamation

收稿日期: 2019-04-16; 修回日期: 2019-09-09.

基金项目: 中国科学院重点部署项目资助(KZZD-EW-14); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助(XDA11020305)。

[**Foundation items:** Key Project of the Chinese Academy of Sciences, No.KZZD-EW-14; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA11020305.]

作者简介: 宫萌(1995-), 女, 山东威海人, 硕士生, 研究方向为海岸带资源开发与规划管理。E-mail: mgong@yic.ac.cn

*通讯作者: 吴晓青(1978-), 女, 山东肥城人, 博士, 副研究员, 研究方向为海岸带规划管理、GIS与遥感应用。

E-mail: xqwu@yic.ac.cn

development had increased rapidly, and the development of aquaculture and salt industry was no longer the main way. The reclamation utilization turned to be more comprehensive, diversified, and intensified. (4) Coastal reclamation in the whole province presented obvious multi-stage characteristics. Before 2000, reclamation in Shandong Province was mainly used to develop aquaculture and salt industry. While after 2000, especially from 2007 to 2017, the land-based reclamation area had increased rapidly, mainly used for port construction, urban and tourism infrastructure construction, and industrial development of coastal ports, due to the impact of the coastal development strategy, urbanization and industrialization. (5) The types of reclamation had been transformed between each other frequently. The new land in Shandong Province came not only from land reclamation to the sea, but also from the transformation of original reclamation types such as aquaculture ponds and salt fields.

Key words: mainland coast; reclamation; utilization type; dynamic change; transition matrix; stage characteristics; Shandong Province

***Corresponding author:** WU Xiaoqing, E-mail: xqwu@yic.ac.cn

摘要:围填海是沿海地区解决土地资源短缺的重要手段,及时准确地监测地区围填海时空动态变化对于合理保护海岸带资源和推进地区社会经济可持续发展具有重要意义。本文基于遥感、GIS技术,结合多种数据源,提取并分析1974–2017年山东省大陆海岸围填海时空动态变化特征。结果表明,43年来山东省大陆海岸围填海面积持续增长,到2017年总面积达到4649.26 km²,围海为主要利用方式。围海活动多分布于黄河三角洲及莱州湾滩涂海域,填海活动则集中分布于沿海各大港口海域和城市滨海区域。全省围填海呈现出明显的阶段性特征,特别是2000年后,填海造地面积增加迅速,围海利用向填海造地转换现象突出,主要用于港口及临港产业发展和城镇与旅游基础设施建设,受沿海地区发展战略和城镇化、工业化驱动明显,围填海利用向综合化、多元化和集中集约化发展。

关键词:大陆海岸;围填海;利用类型;动态变化;转移矩阵;阶段性;山东省

1 引言

海岸带地区受海陆双重作用的影响,自然资源丰富,具有较高的生态价值和经济开发价值。随着沿海地区城市化和工业化的快速推进,人类对海岸带资源的开发利用程度不断加深,特别是围填海活动日益频繁,给海岸带生态环境带来一系列不利影响,已引起地方政府和国内外学者的高度关注。许多学者借助遥感、GIS和多学科方法,从不同角度对围填海时空演变特征^[1-3]、围填海活动的生态环境影响^[4-6]进行了深入研究,建立了围填海信息遥感提取方法^[7-11]、围填海驱动力分析模型^[12-13]、围填海对海岸带资源的损耗评估方法^[5,14-15]和围填海管控分区方法^[16-18]等,为我国围填海监测、生态评估和规划管理提供有力的技术方法和决策支撑。

围填海历史演变过程和空间格局特征分析是开展围填海生态环境影响评估和做好海岸带保护修复工作的前提。现有的研究更多地关注围填海遥感监测技术方法和时空演变总体特征的分析,对

围填海开发利用结构转换特征和区域独特性挖掘不足。实际上,围海、填海利用方式以及不同围填海利用类型之间可以发生相互转换,甚至已有的围填海因整治修复工程建设而被恢复为滨海湿地和开放式海域。通过遥感技术手段,深入分析这种变化,将有助于指导地方政府制定可操作性的围填海管控措施,对海岸带资源保护、生态修复和开发利用管理具有重要意义。

山东省是海洋大省,围填海历史悠久,规模大、强度高,由此引发的海岸带生态环境问题比较突出。然而,目前对于山东省围填海时空演变过程的研究主要集中在胶州湾、莱州湾等典型海湾和黄河三角洲等河口湿地区域^[4,19-22],对全省海岸围填海演变特征及其表现出的独特性挖掘不够。本研究以山东省为例,基于遥感和GIS技术,深入分析1974–2017年山东省围填海进程,重点揭示其围填海利用方式、结构变化特征和演进阶段性特点,以期为地区围填海管控、围填海存量资源开发以及海岸带保护修复提供决策支持。

2 研究区概况、数据源与研究方法

2.1 研究区概况

山东省地处中国东部沿海、黄河下游,北临渤海,东部深入黄海,海洋经济发达,拥有中国最大半岛即“山东半岛”。半岛沿岸分属为滨州、东营、潍坊、烟台、威海、青岛和日照7个地级市管辖,海岸线北起与河北交界的漳卫新河河口,南至与江苏交界的绣针河河口,海岸线全长3400余km,海岸类型多样,滩涂资源、基岩港湾资源、渔业资源、旅游资源、矿产资源丰富,海岸带资源开发优势得天独厚,海洋渔业、港口航运业、滨海旅游业、盐化工行业发展迅速,围填海活动强烈,已导致自然岸线锐减、湿地退化、海湾面积萎缩、生物多样性减少等一系列海岸带生态环境问题。

2.2 数据源及预处理

遥感数据源自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),包括1990年Landsat5 TM影像、2000年和2007年Landsat7 ETM+影像,以及2017年Landsat8 OLI影像,共计24幅。辅助解译数据有2000年左右的沿海1:5万地形图、2007年SPOT影像、Google Earth高清影像、海域使用审批确权数据和海岸带专项调查数据。由于1990年之前无相匹配的遥感影像数据,因此选用1974年的沿海1:10万地形图作为研究期初的围填海活动分布基准数据。

遥感影像的预处理在ENVI、ArcGIS软件中进行,包括全色波段和多光谱波段的融合、影像几何校正和图像镶嵌等,其中几何校正误差小于1个像元。

2.3 研究方法

2.3.1 围填海利用类型分类

参考《海域使用分类(HY/T 123-2009)》^[23]、《土地利用现状分类(GB/T 21010-2017)》^[24]技术导则,将围填海利用类型分为围海养殖、盐业、渔业基础设施、港口建设、临海工业、城镇建设、旅游基础设施、其他类型、已填待利用和已围待利用10个类别(表1)。利用各种围填海利用类型色彩、纹理、形状及地物邻接关系等图像的特征差异^[3-4],结合野外实地踏勘获取的现场资料及海域使用确权数据目视解译获得各年份围填海利用空间分布数据。

2.3.2 解译精度验证

解译精度定义为验证点的围填海定义类型与该点实际利用类型相符的个数占验证点总斑块数的百分比。以谷歌高清影像、SPOT影像、海域使用确权数据、地形图和海岸带专项调查图件为验证基础数据,每个年份分别随机选择300个验证点,涵盖10个利用类型,进行精度验证,统计得到2017、2007、2000和1990年解译精度分别为93.7%、92.7%、90.3%、80.7%,1974年数据来自于1:10万地形图矢量化结果,可以认为所有年份围填海遥感解译精度都满足本研究需要。

2.3.3 量化评估方法

(1) 围填海利用动态度

围填海利用动态度^[25]反映研究区不同时间段各种围填海利用类型面积变化幅度大小,计算公式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T_b - T_a} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 表示研究区某时间段某种围填海利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别表示研究期初和期末某种围填

表1 围填海利用类型分类及其内涵

Tab. 1 Different reclamation utilization types and connotations

分类	说明
围海养殖	指筑堤围割海域进行封闭或半封闭式养殖生产的围海
盐业	指用于盐业生产的围填海,包括盐田、盐场等
渔业基础设施	指用于渔船停靠、进行装卸作业和避风,以及用以繁殖重要苗种的围填海
港口建设	指供船舶停靠、装卸作业、避风和调动等所使用的围填海,如开敞式的货运和客运码头
临海工业	指用于开展工业生产所使用的围填海,包括船舶工业、电力工业等
城镇建设	指通过筑堤围割海域,填成土地后用于城镇(含工业园区、公园等)建设的围填海
旅游基础设施	指为满足娱乐活动需要而建设的配套工程设施所使用的围填海
其他类型	指用于其他用途的围填海,包括海岸防护工程、水库等
已填待利用	指正在建设或已填未开发利用的填海活动
已围待利用	指正在建设或已围未开发利用的围海活动

海利用面积; T_a 、 T_b 分别表示研究期初和期末年份。

(2) 围填海利用结构变化模型

围填海利用结构变化模型衍生自土地利用结构变化模型^[26], 反映围填海利用结构变化情况, 包括信息熵、均衡度和优势度 3 个指标。

信息熵用于衡量围填海利用结构的有序程度。信息熵越大, 围填海利用多元化程度越高, 计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \log P_i \quad (2)$$

$$P_i = \frac{A_i}{A} \quad (3)$$

式中: H 为围填海利用结构信息熵; P_i 为某种围填海利用类型面积占围填海总面积的百分比; A_i 为某种围填海利用类型面积; A 为围填海总面积。

均衡度用于反映围填海利用结构的均衡程度, 其计算公式为:

$$J = \frac{H}{H_m} = \frac{- \sum_{i=1}^N P_i \log P_i}{\ln N} \quad (4)$$

式中: J 表示围填海利用结构的均衡程度; H 表示围填海利用结构信息熵; H_m 表示围填海利用结构信息熵最大值, 用 $\ln N$ 表示, 其中 N 为围填海利用类型数。 J 越大, 围填海利用结构越均衡, 各种类型用海规模差异越小。

优势度可以反映出研究区受某一种或某几种围填海利用类型的支配程度。优势度越高, 其支配程度就越高。其计算公式为:

$$I = 1 - J \quad (5)$$

式中: I 表示围填海利用结构优势度; J 表示围填海利用结构均衡度。均衡度越低, 优势度越高。

(3) 围填海利用转移矩阵

围填海利用类型转移矩阵由土地利用转移矩

阵^[27]发展而来, 表示某一时间段内各种围填海利用类型间的相互转化关系, 用于分析围填海利用重点和阶段性特征。由于围填海利用类型较多, 类型间转移规模差别较大, 为突出变化明显的类型, 统一对转移矩阵数据进行以 10 为底的对数变换, 去除转换面积小于 0.3 hm^2 的数据, 然后用 Matlab 软件绘制矩阵图。

(4) 围填海质心变化模型

围填海质心变化反映某一时间段围填海热点区域分布变化情况。如果围填海斑块面积在各个方向上均匀增减, 则质心不会发生偏移; 若斑块面积在某一方面增加或减少明显, 则质心相比原来位置会发生明显偏移。质心^[28]计算方法为:

$$\begin{cases} X_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i X_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \\ Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i Y_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \end{cases} \quad (6)$$

式中: X_i 和 Y_i 是某一围填海利用方式第 i 个斑块的质心坐标; C_i 为某一围填海利用方式第 i 个斑块的面积; n 是该种围填海利用方式斑块总数。利用 ArcGIS 空间分析工具可以完成围填海质心的迁移变化。

3 结果与分析

3.1 围填海利用总体变化

3.1.1 规模变化

从图 1(a) 可看出, 1974-2017 年, 山东省围填海规模持续增长, 从期初的 344.98 km^2 , 增长到

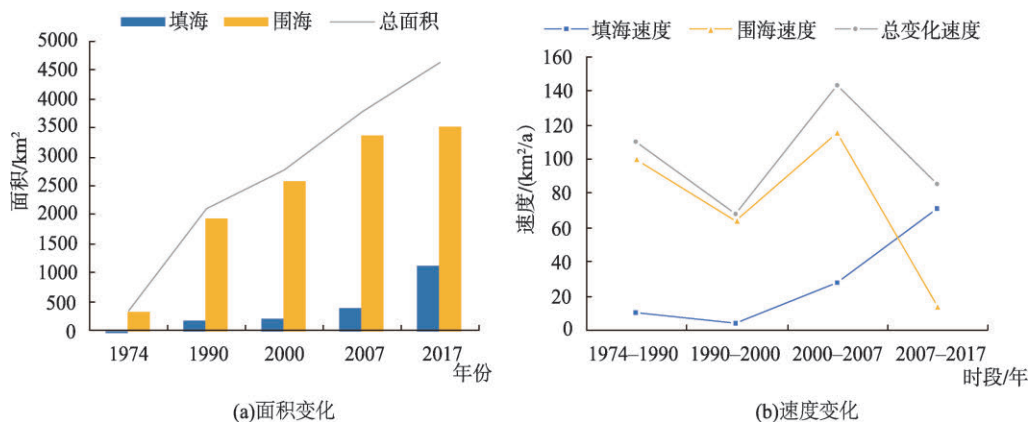


图 1 1974-2017 年山东省大陆海岸围填海利用规模和增长速度变化

Fig. 1 Changes of reclamation scale and growth rate along the Shandong mainland coast from 1974 to 2017

4649.26 km²,增长约 14 倍,年均增长 100.10 km²。其中,围海活动用海规模一直占据绝对优势,43 年来增长了 3189.74 km²,年均增速 74.18 km²,增长 10 倍;填海造陆面积由期初的 1.80 km²,快速增长到 1116.33 km²,年均增速 25.92 km²。

从图 1(b)可看出,1974-1990 年和 2000-2007 年围填海年均增速较快,分别为 110.57 km²/a 和 142.93 km²/a;2007-2017 年和 1990-2000 年增速相近,但是分方式分析发现,围海和填海速度呈现明显差异,围海在 2007-2017 年增速明显放缓,而填海造陆规模自 1990 年开始呈现持续增长态势,特别是在 2007-2017 年,其年均增速达到 71.32 km²,明显高于围海速度 5 个百分点。

3.1.2 利用方式变化

围填海规模变化不仅表现在整体向海推进,还表现在前期围海利用如围海养殖和盐田大规模转向填海利用如城镇建设,使得填海造地面积迅速增加。从表 2 可看出,每个时间段新增填海面积均有部分来自于期初的围海利用,这一方面是由于研究时段正好处于填海造地施工期,但更主要的是因为快速工业化、城镇化带来的非建设用地向建设用地

类型的转换。具体分时间段来看,1974-1990 年填海规模的扩大主要来自于向海推进,由围海转向填海的面积仅占新增填海总面积的 1.29%;而 1990-2000、2000-2007、2007-2017 年新增填海分别约有 66.78%、49.52%、74.12%来自于前一时间段期末围海地块的填埋和城镇化、工业化开发建设。

此外,还有部分围填海利用因退养还湿、退养还滩等海岸带整治修复工程的实施,被恢复成滩涂湿地或开放海域。据统计,整个研究期,有 99.24 km²的围填海消失,其中 2007-2017 年围填海消失速度最快,达到每年 4.39 km²,这些原有围填海区域如低效养殖池塘,部分被改造和生态化利用,建成河口湿地公园。

3.2 围填海利用类型变化

3.2.1 规模变化

从围填海利用规模变化(图 2(a))可看出,山东省围填海主要利用类型为围海养殖和盐业。其中,围海养殖由期初的 30.45 km²增长到 2017 年的 2135.90 km²,年均增长 48.96 km²;盐业规模呈持续增长趋势,43 年共增加了 978.51 km²,增长了 4.8 倍;围海养殖和盐业围填海利用合计在各个时间段围填海总面积的比例均占到 70%以上。港口建设、临海工业、城镇建设、旅游基础设施等工业化、城镇化建设带动的围填海规模增长了 842.01 km²,特别是 2007 年后增速加快,4 种围填海利用类型合计年均增加 63.60 km²。其他围填海利用类型中,值得关注的是,已填待利用面积自 2000 年后大幅增加,其中 2000-2007 年增加 95.42 km²,2007-2017 年增加 142.19 km²,期末总规模达到 258.56 km²,说明山东

表 2 不同时间段山东大陆海岸新增填海造地来源
Tab. 2 Sources of newly reclaimed land along the Shandong mainland coast in different time periods

时段/年	新增填海/km ²	围海转向填海		占比/%
		面积/km ²	速度/(km ² /a)	
1974-1990	169.49	2.19	0.14	1.29
1990-2000	67.85	45.31	4.53	66.78
2000-2007	210.05	104.01	14.86	49.52
2007-2017	786.33	582.83	58.28	74.12

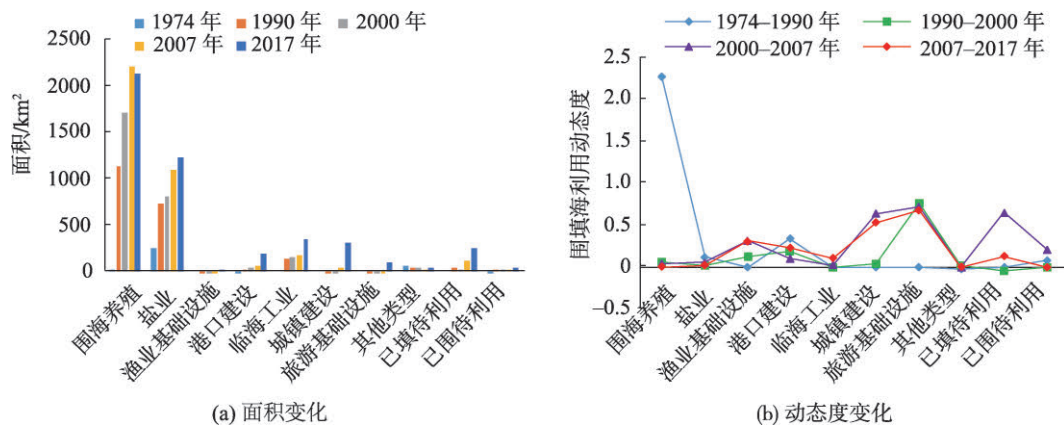


图 2 1974-2017 年山东省大陆海岸围填海利用类型规模及其动态度变化

Fig. 2 Scale of reclamation types and dynamic intensity changes along the Shandong mainland coast during 1974-2017

省2000年后填海造地处于扩张期,大片新形成的土地资源亟待开发建设。

结合围填海利用动态度(图2(b))计算结果可清楚地看出,不同利用类型的增长变化趋势之间的差异。围海养殖在1974–1990年增长迅速,2007–2017年却出现负增长;城镇和旅游基础设施建设、港口与临海工业建设以及渔业基础设施建设等填海活动在2000年以后增幅较为明显,这主要是受沿海地区城镇化和工业化快速发展的驱动。

3.2.2 结构变化

如图3(a)所示,不同年份围填海利用类型面积比例变化分析结果显示,1974年山东省围填海以盐业用途为主,海岸围填海开发利用类型单一;1990年后,围海养殖面积占比有所增加,盐田面积比例缩减,到2017年二者合计所占比重由期初的82.78%降到72.47%,而港口建设、临海工业、城镇和旅游基础设施建设等围填海利用类型面积比重增加,到2017年合计占比达到20.03%,这说明随着社会经济的发展,全省围填海利用逐渐多样化,与城镇化和工业化发展建设相关的围填海利用类型占比增加。这与围填海利用结构变化模型指标计算结果一致,即呈现信息熵上升、优势度下降、均衡度上升的趋势(图3(b)),说明山东省围填海利用结构多样性增加,围填海利用转向综合化、多元化发展。

3.2.3 利用类型转换分析

围填海利用类型转移矩阵分析结果显示(图4):
① 1974–1990年,围填海利用类型间的转换较少,以新增围填海为主,主要用来发展围海养殖、盐业,二者约占新增围填海总面积的86.63%。
② 1990–

2000年,仍以新增围海养殖和盐业用海为主,类型变换也主要是两者之间的相互转换,另有部分围填海向港口和临海工业建设转换,盐业用海的优势地位降低。
③ 2000–2007年,围填海利用类型之间的用途转换开始变得频繁,如围海养殖向其他各种利用类型转换明显,其中转向盐业生产或者恢复成待利用状态的面积比重较大,另有部分盐业用海转为城镇建设和已填待利用状态;同时,向海要地趋势明显,新增填海造陆面积达到60.21 km²。
④ 2007–2017年,围填海各利用类型之间的转换更为频繁,但以围海利用方式向填海方式的转变为主,这期间约有184.61 km²的围海养殖转为临海工业、港口建设、城镇建设等填海用途,还有119.92 km²处于已填待利用状态,盐业用海也纷纷转向临海工业和城镇建设;同时,2007年处于待利用状态的围填海大部分被开发用于港口、临海工业、城镇和旅游基础设施建设;这一时间段新增填海造地规模较前一时间段有所缩减。

3.3 围填海空间分布变化

3.3.1 围填海总体布局变化

从围填海空间分布图(图5)可看出,过去43年山东省围填海集中分布于黄河三角洲和莱州湾附近海域以及半岛东部的靖海湾、五垒岛湾、乳山湾、丁字湾、胶州湾等河口、海湾地区。

不同时间段,新增围填海热点区和布局有所不同:① 1974年前,围填海规模较小,主要集中于胶州湾、靖海湾和五垒岛湾;② 1974–1990年,围填海活动开始变得活跃,莱州湾、五垒岛湾、丁字湾等海

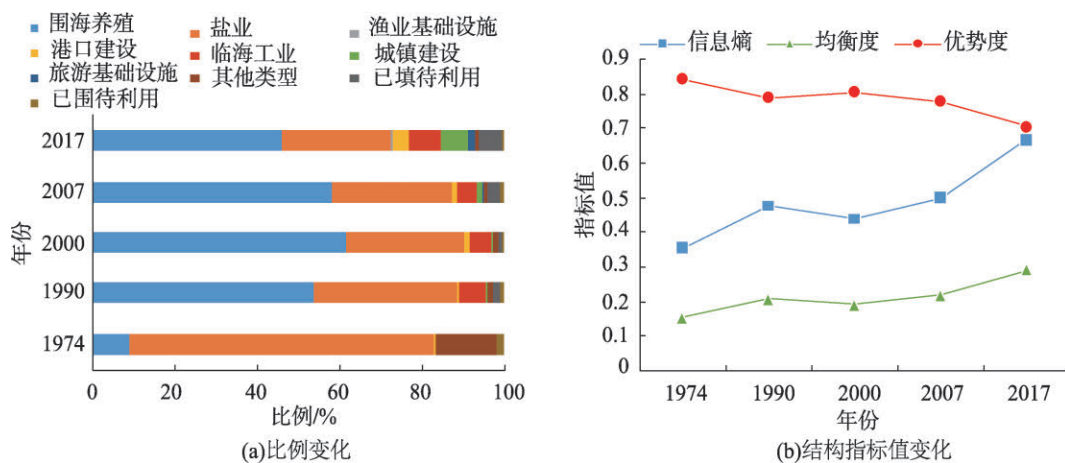
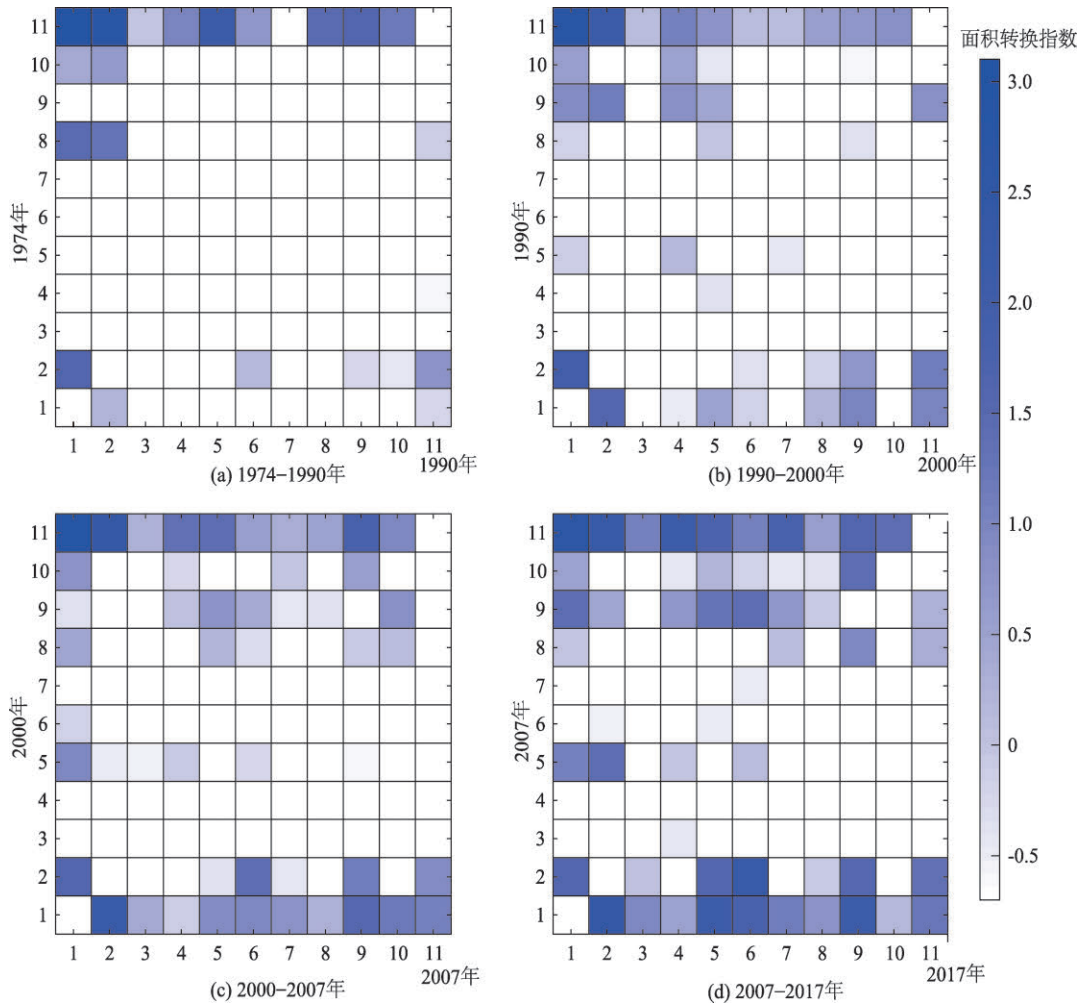


图3 1974–2017年山东省大陆海岸围填海利用类型比例及结构变化

Fig. 3 Changes of reclamation type ratio and structure along the Shandong mainland coast from 1974 to 2017



注: 面积数据已作对数处理; 数字 1-10 分别表示围海养殖、盐业、渔业基础设施、港口建设、临海工业、城镇建设、旅游基础设施、其他类型、已填待利用、已围待利用; 横轴 11 表示各类型消失面积指数, 纵轴 11 表示各类型新增面积指数。

图 4 1974-2017年山东省大陆海岸围填海利用转移矩阵

Fig. 4 Conversion matrix of reclamation utilization types along the Shandong mainland coast from 1974 to 2017

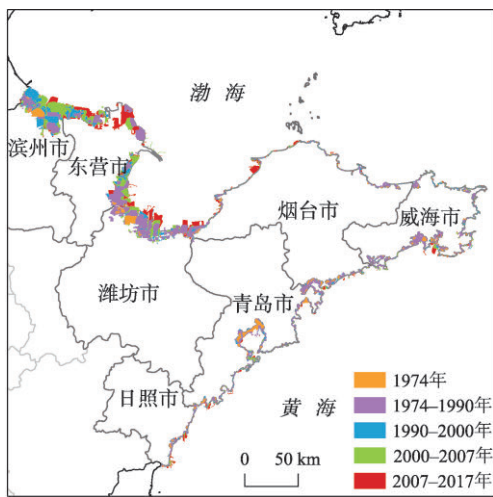


图 5 1974-2017年山东省大陆海岸围填海空间分布变化
Fig. 5 Spatial distribution dynamics of reclamation along the Shandong mainland coast from 1974 to 2017

湾地区围填海面积迅速增加,且集中连片分布,部分岸段滩涂围垦利用纵向宽度达到 10 km; ③ 1990-2000年,黄河三角洲滩涂海域新增围填海聚集程度较高,胶州湾外围、莱州湾西岸及靖海湾湾口处均有新增围填海,但分布相对分散; ④ 2000-2007年,黄河三角洲、莱州湾滩涂海域围填海迅速扩张,胶州湾南岸、靖海湾等黄海近岸海域的围填海规模在这一时期也有小幅增加; ⑤ 2007-2017年,东营港、潍坊港、龙口港、烟台港、威海港、董家口港、日照港等港口海域围填海快速向海推进,莱州湾、龙口湾、蓬莱西部、烟台东部、丁字湾等集中集约用海区的开发建设也呈现一定规模。

这一空间布局变化过程也可以从质心迁移轨迹中反映出来(图 6)。整个研究期,山东省围海质心一直位于莱州湾海域,呈现从东南向西北方向近

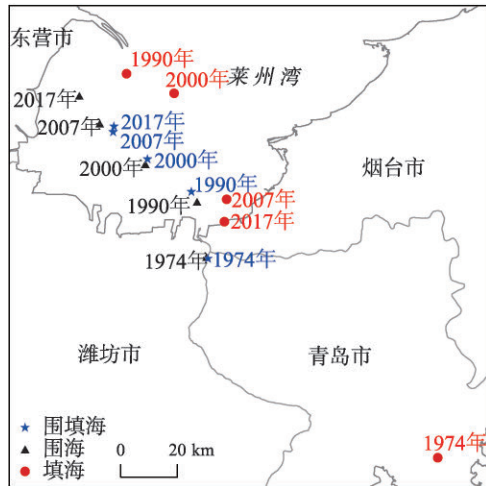


图6 1974—2017年山东省大陆海岸围填海质心迁移轨迹

Fig. 6 Dynamics of the reclamation centroid along the Shandong mainland coast from 1974 to 2017

乎匀速移动的趋势,说明全省围海重点在黄河三角洲和莱州湾海域,且随着时间推移,黄河三角洲滩涂海域的围海规模一直有增无减。填海质心在1974年的时候位于青岛胶州湾东北部,1990年后迁移到莱州湾黄河口海域,但此后则呈现与围海质心变化相反的变化趋势,质心逐渐向莱州湾东南方向移动,在2000—2007年表现出较大的迁移变化幅度,说明这一时间段半岛东南方向的填海造地迅速扩张。在围海和填海活动的双重影响下,围填海质心总体迁移趋势与围海质心变化方向基本一致,研究期内自东南向西北方向移动,但在2007—2017年迁移变化幅度明显缩小,说明这一时间段,填海造地活动对全省围填海总体布局的影响加大。

3.3.2 围填海利用类型空间分布变化

研究期间,不同利用类型的围填海空间分布随时间变化也呈现出较大的差异性(图7)。围海养殖在1990—2007年扩张明显,广泛分布于黄河三角洲、莱州湾滩涂海域及半岛东部的靖海湾、五垒岛湾、乳山湾、丁字湾、胶州湾北部等河口、海湾海域。但是2007年以后,围海养殖分布范围缩小,毗邻港口、城市和旅游区的低产、废弃围海养殖池塘陆续被填海造地,转换为其他用途,如五垒岛湾、胶州湾、乳山湾、丁字湾海域的池塘养殖面积大幅缩减。盐业用海分布比较集中,早期多位于莱州湾南岸和胶州湾,随着地区城镇化、工业化发展,2000年后用盐业用海规模明显收缩,莱州湾部分盐业围填海向城镇建设用途转变,而胶州湾盐业用海则向工业、港口和城镇等多种填海用地发展。港口多建设于条件

优良的海湾之中,自2007年以来,全省港口建设如火如荼,潍坊港、龙口港、烟台西港、威海新港、青岛董家口港、日照港等港口向海推进明显;随着港口用海快速扩张和沿海经济开发区建设,依托港口发展的造船、石化、电力等临海工业在2007—2017年也快速发展,东营港、烟台西港区、海阳港和胶州湾等港湾地区成为临海临港工业的主要聚集区;城镇和旅游基础设施建设也在2007—2017年迅速扩张,但主要是由废弃盐田、围海养殖池塘改建而来,在莱州湾南部、沁水湾、双岛湾、五垒岛湾、胶州湾、鳌山湾、灵山湾等海湾区分布比较集中。此外,2007—2017年,在“集中集约用海”理念指导下,龙口湾、蓬莱西海岸、烟台金山港、五垒岛湾等区域建设用海规划区呈现待利用状态的围填海面积增加明显,但是按照规划要求,随后这些围填海被逐步开发,用于发展港口及临海工业,建设旅游与城镇基础设施。

4 讨论

通过对山东省1974—2017年围填海时空变化特征的分析,结合区域社会经济发展进程和全国围填海活动阶段性特征,可将山东省围填海演进过程大致分为以下3个阶段:

(1)围海晒盐时期(1974年之前)。该阶段山东省围填海主要用途为发展盐业,在莱州湾南部、胶州湾北部等滩涂和地下卤水资源丰富的海岸带区域建设大量盐田,形成羊口盐场、东风盐场、东方红盐场、埭口盐场、南方盐场5大主要盐场。这一时间段,全省围填海规模较小,空间分布相对比较集中,围填海利用方式简单粗放,受自然条件和当时客观条件的影响较大,这与建国初期广西^[29]、福建^[12]、广东^[30-31]等其他沿海省份大规模发展围垦种植和兴建盐场所呈现出的特征相似。

(2)围海养殖扩张期(1974—2000年)。这段时期,黄河三角洲、莱州湾滩涂海域以及靖海湾、五垒岛湾、丁字湾等主要海湾均建成连片的养殖区,以养殖对虾、海参等海产品为主,海洋渔业经济得到快速发展,渔业总产值从1974年的2.69亿元跃升到2000年的347.12亿元,海洋渔业发展成为山东省海洋产业的优势主导产业。这一时间段,全省围填海呈速度快、规模大、范围广的发展态势,用途以新增围海养殖和盐田为主,用海方式仍比较粗放;养殖技术的提高和人民对渔业产品的需求推动这一时

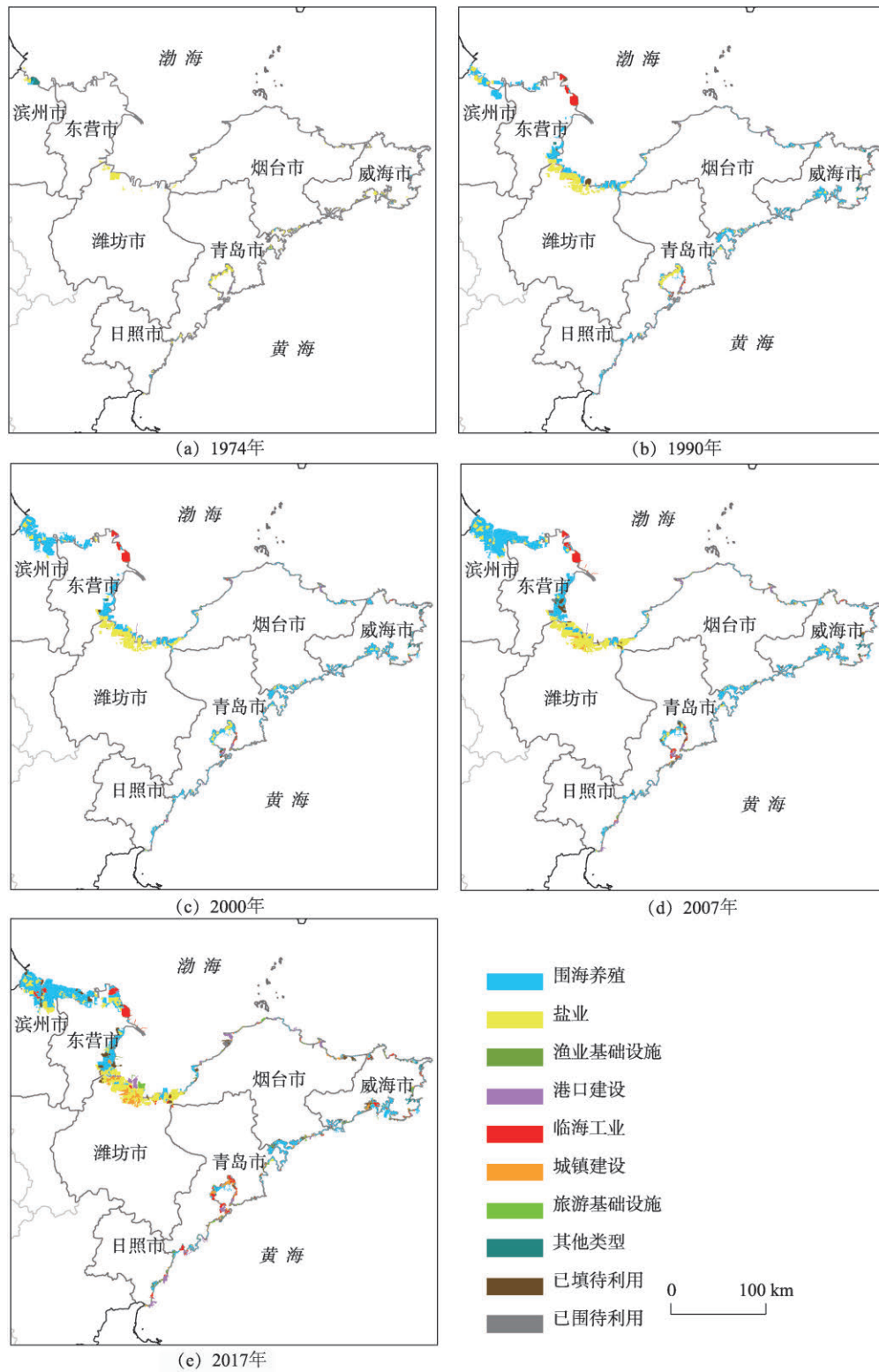


图7 1974-2017年山东省大陆海岸围填海利用类型空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of reclamation utilization types along the Shandong mainland coast from 1974 to 2017

期围海养殖业大规模快速发展,同一时期的广东^[30-31]、福建^[12]、浙江^[2]等省份都呈现出大规模、高强度发展

围海养殖的特点,但是得益于丰富的滩涂资源和渔业资源,山东省围海规模和强度远高于同期全国其

他省市。

(3)填海造地扩张期(2000–2017年)。这一时期山东沿海地区面临难得的发展机遇,在“海上山东”、半岛蓝色经济区、黄河三角洲高效生态经济区等国家和省级发展战略的推动下,山东省海洋经济进入高速发展期,围填海表现出填海造陆面积增大,空间布局趋于整体化和区块化发展的特点,主要用途转向港口及临港工业发展、城镇与旅游基础设施建设,围填海集约利用效益增高,这与全国新一轮填海造地特征相类似,围填海受工业化和城镇化驱动明显,但是,与沿海其他省份相比,山东省在这一阶段表现出较高的围填海强度^[32-33],滩涂围垦大规模转向工业与城镇建设用地的现象也非常突出,建设用地土地资源短缺、追求更高的经济效益以及海岸带生态环境综合整治工程的实施是其主要驱动力。

随着2018年国家“最严厉”围填海管控措施的出台,山东省这一阶段的大规模围海造地将告一段落,未来一段时间,山东省大陆围填海将以消化存量资源,提高土地开发利用效益为主,自然岸线、滨海湿地等海岸带资源保护和生态环境综合整治成为全省海岸带开发利用管理的重中之重。

5 结论

本研究基于遥感和GIS技术手段,通过建立空间分析和结构变化模型,分析了1974–2017年山东省大陆海岸围填海时空演变过程,重点揭示了围海、填海不同利用方式和不同利用类型之间的相互转换特征,概述了山东省围填海不同发展阶段的主要特点,主要结论如下:

(1)1974–2017年山东省围填海呈持续增长态势,至2017年用地用海面积达到4649.26 km²,其中围海方式发展海水养殖在规模上仍占主导地位,但是填海造地比重日益增大,港口与临港临海工业发展、城镇与旅游基础设施建设用地用海规模增长迅速,山东省围填海逐渐向综合化、多元化和集中集约化发展。

(2)山东省填海利用多来自前期围海地类转化,利用类型由围海养殖和盐业用海转向港口、工业、城镇和旅游基础设施。特别是2000年后围填海利用方式和利用类型之间转换频繁。

(3)黄河三角洲和莱州湾滩涂海域围填海开

发利用以围海养殖和盐业为主,而城镇及旅游基础设施建设、港口及临海工业建设围填海多分布于半岛东部和靖海湾、五垒岛湾、乳山湾、丁字湾、胶州湾等河口、海湾地区。不同时间段,围填海热点区域有所不同。围海活动重心向西北方向移动,填海活动重心则向东南方向变化,围填海总体布局趋于稳定。

(4)山东省围填海演进过程大致可分为3个阶段:围海晒盐阶段(1974年前)、围海养殖扩张期(1974–2000年)、填海造地扩张期(2000–2017年),这与全国各地围填海发展趋势基本一致,受全省工业化、城市化进程以及海洋经济快速发展的驱动。不同点是,早期阶段山东省滩涂围垦规模明显高于全国其他省市,而2000年后这些滩涂围垦区又被大规模转向建设用地,土地资源供需矛盾和追求经济效益是主要的驱动力。

高强度、不合理的大规模围填海活动会给海岸带生态环境带来许多不利影响,下一步将结合海岸线演变和滨海湿地变化特征,分析全省围填海导致的自然岸线资源和滨海湿地资源的损耗及其生态服务功能价值的损失情况,提出进一步加强围填海管控和生态修复的措施建议。

参考文献(References):

- [1] Chen W G, Wang D C, Huang Y, et al. Monitoring and analysis of coastal reclamation from 1995-2015 in Tianjin Binhai New Area, China[J]. Scientific Reports, 2017,7(3805):1-12.
- [2] 徐凉慧,杨磊,李佳林,等. 1990-2010年浙江省围填海空间格局分析[J]. 海洋通报, 2015,34(6):688-694. [Xu L H, Yang L, Li J L, et al. Analysis of the spatial pattern of reclamation in Zhejiang province during 1990-2010[J]. Marine Science Bulletin, 2015,34(6):688-694.]
- [3] 柯丽娜,曹君,武红庆,等. 基于多源遥感影像的锦州湾附近海域围填海动态演变分析[J]. 资源科学, 2018,40(8):1645-1657. [Ke L N, Cao J, Wu H Q, et al. Dynamic evolution analysis of reclamation in Jinzhou Bay based on multi source remote sensing images[J]. Resources Science, 2018,40(8):1645-1657.]
- [4] 雷宁,胡小颖,周兴华. 胶州湾围填海的演进过程及其生态环境影响分析[J]. 海洋环境科学, 2013,32(4):506-509. [Lei N, Hu X Y, Zhou X H. Evolution process and ecological effect analysis of reclamation in Jiaozhou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2013,32(4):506-509.]
- [5] 王伟伟,王鹏,郑倩,等. 辽宁省围填海海洋开发活动对海

- 岸带生态环境的影响[J].海洋环境科学,2010,29(6):927-929. [Wang W W, Wang P, Zheng Q, et al. Effect of reclamation activities on coastal ecologic environment in Liaoning province[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(6):927-929.]
- [6] 刘述锡,马玉艳,卞正和.围填海生态环境效应评价方法研究[J].海洋通报,2010,29(6):707-711. [Liu S X, Ma Y J, Bian Z H. Study on assessment method of the eco-environmental effects of sea reclamation[J]. Marine Science Bulletin, 2010,29(6):707-711.]
- [7] 鞠明明,汪闽,张东,等.基于面向对象图像分析技术的围填海用海工程遥感检测[J].海洋通报,2013,32(6):678-684. [Ju M M, Wang M, Zhang D, et al. Study on the remote-sensing-based monitoring of reclamation project area by using the object-oriented image analysis technique [J]. Marine Science Bulletin, 2013,32(6):678-684.]
- [8] 温礼,吴海平,姜方方,等.基于高分辨率遥感影像的围填海图斑监测分类体系和解译标志的建立[J].国土资源遥感,2016,28(1):172-177. [Wen L, Wu H P, Jiang F F, et al. Establishment of remote sensing monitoring classification system and interpretation criteria for the reclamation area based on the high-resolution remote sensing image [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2016,28(1): 172-177.]
- [9] 温礼,吴海平,姜方方,等.高分遥感影像的围填海变化图斑自动提取方法[J].测绘科学,2015,41(6):42-45,76. [Wen L, Wu H P, Jiang F F, et al. Automatic extraction method of coastal reclamation area using high resolution remote sensing images[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015,41(6):42-45,47.]
- [10] 朱丽丽,邵峰晶,王常颖,等.基于数据挖掘的遥感影像围填海智能检测方法研究[J].青岛大学学报(自然科学版), 2012,25(2):53-57,66. [Zhu L L, Shao F J, Wang C Y, et al. The sea-filling land detect method research using remote sensing images based on data mining[J]. Journal of Qingdao University(Natural Science Edition), 2012,25(2): 53-57,66.]
- [11] 李治,杜云艳,杨晓梅,等.海岸工程变化的BJ-1遥感监测分析[J].地球信息科学报,2012,14(4):540-547. [Li Z, Du Y Y, Yang X M, et al. The comparative study of the change detection in coastal engineering using BJ-1 small satellite remote sensing data[J]. Journal of Geo-information Science, 2012,14(4):540-547.]
- [12] 陈凤桂,吴耀建,陈斯婷.福建省围填海发展趋势及驱动机制研究[J].中国土地科学,2012,26(5):23-29. [Chen F G, Wu Y J, Chen S T. Trends of land reclamation from sea and its driving mechanism in Fujian province[J]. China Land Sciences, 2012,26(5):23-29.]
- [13] 黄杰,索安宁,孙家文,等.中国大规模围填海造地的驱动机制及需求预测模型[J].大连海事大学学报(社会科学版),2016,15(2):13-18. [Huang J, Suo A N, Sun J W, et al. Driving mechanism and demand forecasting model of large-scale reclamation in China[J]. Journal of Dalian Maritime University (Social Sciences Edition), 2016,15 (2):13-18.]
- [14] 宋红丽,刘兴土.围填海活动对我国河口三角洲湿地的影响[J].湿地科学,2013,11(2):297-304. [Song H L, Sun X T. Effect of reclamation activities on wetlands in Estuarine Delta in China[J]. Wetland Science, 2013,11(2): 297-304.]
- [15] 马田田,梁晨,李晓文,等.围填海活动对中国滨海湿地影响的定量评估[J].湿地科学,2015,13(6):653-659. [Ma T J, Liang C, Li X W, et al. Quantitative assessment of impacts of reclamation activities on coastal wetlands in China[J]. Wetland Science, 2015,13(6):653-659.]
- [16] 张雨.中国沿海围填海管控分区方案研究[D].天津:天津师范大学,2017. [Zhang Y. Study zone on planing on China's coastal reclamation management[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2017.]
- [17] 陈甫源,王琪,曾剑,等.浙江省海岸线分类保护与围填海分类管理[J].海洋开发与管理,2018,35(6):62-65,70. [Chen F Y, Wang Q, Zeng J, et al. Classification protection of coastline and classification management of reclamation in Zhejiang province[J]. Ocean Development and Management, 2018,35(6):62-65,70.]
- [18] 黄发明,于东升,王初升.海湾围填海强度指数的应用[J].亚热带资源与环境学报,2013,8(3):10-14. [Huang F M, Yu D S, Wang C S. Applications of reclamation intensity index to sea reclamation in Gulf Area[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2013,8(3):10-14.]
- [19] 安国强.基于多源数据的山东省围填海造地特点及发展趋势研究[J].海洋开发与管理,2018,3(3):15-20. [An G Q. Characteristics, tendency and recommendations of sea reclamation in Shandong province based on multi-resource data[J]. Ocean Development and Management, 2018,3(3):15-20.]
- [20] 靳宇弯,杨薇,孙涛,等.围填海活动对黄河三角洲滨海湿地生态系统的影响评估[J].湿地科学,2015,13(6):682-689. [Jin Y W, Yang W, Sun T, et al. Assessment of ecological impact of seashore reclamation activities on coastal wetland ecosystems in the Yellow River Delta[J]. Wetland Science, 2015,13(6):682-689.]
- [21] 田艳,于定勇,李云路.莱州湾围填海工程对海洋环境的累积影响研究[J].中国海洋大学学报,2018,48(1):117-124. [Tian Y, Yu D Y, Li Y L. Research on the accumulation of marine environment in Laizhou Bay[J]. Periodical

- of Ocean University of China, 2018,48(1):117-124.]
- [22] Yang W, Li X X, Jin Y W, et al. The impact of multiple seashore reclamation activities on vegetation cover in the Yellow River Delta, China: Implications based on structural equation modeling[J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2018,22(2):283-292.
- [23] HY/T 123-2009 海域使用分类[S].北京:标准出版社, 2009. [HY/T 123-2009 Sea area use classification[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.]
- [24] GB/T 21010-2017 土地利用现状分类[S].北京:标准出版社,2007. [GB/T21010-2017 Current land use condition classification[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.]
- [25] 柯丽娜,庞琳,王权明,等.围填海景观格局演变及存量资源分析——以大连长兴岛附近海域为例[J].*生态学报*, 2018,38(15):5498-5508. [Ke L N, Pang L, Wang Q M, et al. Analysis of changes in landscape patterns and stock resources resulting from sea reclamation: A case study of the waters off Changxing Island[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018,38(15):5498-5508.]
- [26] 刘敬财,周宝同,赵昆昆,等.基于信息熵的土地利用结构变化影响因素分析——以重庆市丰都县为例[J].*中国农学通报*,2011,27(32):221-225. [Liu J C, Zhou B T, Zhao K K, et al. The analysis on influence factors of land use structure change based on information entropy: A case study of Fengdu county, Chongqing city[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011,27(32):221-225.]
- [27] 王德智,邱彭华,方源敏,等.海口市海岸带土地利用时空格局变化分析[J].*地球信息科学报*,2014,16(6):933-940. [Wang D Z, Qiu P H, Fang Y M, et al. Research on spatial-temporal changes of land use in Haikou city's coastal zone[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014,16(6): 933-940.]
- [28] 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[J].*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[J]. *Marine Environmental Science*, 2018,37(3):389-395.]
- [29] 黄鹄,戴志军,胡自宁,等.广西海岸环境脆弱性研究[M].北京:海洋出版社,2005. [Huang H, Dai Z J, Hu Z N, et al. Study on the coastal environment vulnerability in Guangxi[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005.]
- [30] 张翠萍,谢健,娄全胜,等.广东省填海造地的发展经验及对策研究[J].*海洋环境科学*,2013,32(2):311-315. [Zhang C P, Xie J, Lou S Q, et al. Study on experience and countermeasures of fill up sea and build land in Guangdong [J]. *Marine Environmental Science*, 2013,32(2):311-315.]
- [31] 谢丽,王芳,刘慧.广东省围填海历程及其环境影响研究[J].*江苏科技信息*,2015(24):67-70. [Xie L, Wang F, Liu H. Study on the process of the sea reclamation and its environmental impact in Guangdong province[J]. *Jiangsu Science & Technology Information*, 2015(24):67-70.]
- [32] 付元宾,曹可,王飞,等.围填海强度与潜力定量评价方法初探[J].*海洋开发与管理*,2010,27(1):27-30. [Fu Y B, Cao K, Wang F, et al. Preliminary study on quantitative evaluation method of reclamation strength and potential[J]. *Ocean Development and Management*, 2010,27(1): 27-30.]
- [33] 马万栋,吴传庆,殷守敬,等.辽宁省岸线及围填海变化分析[J].*环境与可持续发展*,2014,39(6):54-57. [Ma W D, Wu C Q, Yin S J, et al. Analysis on change of coastline and reclamation in Liaoning province[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2014,39(6):54-57.]