

引用格式: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.] DOI :10.18402/resci.2018.08.14

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

柯丽娜^{1,2}, 曹君¹, 武红庆¹, 王权明³, 王辉^{1,2}

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029;

2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029;

3. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023)

摘要:填海造陆在增加土地资源的同时也对生态环境带来了深远的影响,对填海造陆的监测和研究成为现实需要。本文以1991年、1995年、2000年的Landsat TM影像数据,2005年SPOT卫星影像和2010年环境卫星HJ-1 CCD及2014年SPOT遥感影像数据为主要数据源,构建了基于元胞自动机模型(CA)的岸线提取方法,并对锦州湾附近海域的围填海分布、强度指数、质心坐标及其利用情况等方面进行深入分析。研究结果表明:①23年间锦州湾附近海域海岸线共增加了20.07km,在1991—1995年和2005—2010年两个时间段增加较快;②锦州湾中部北港镇、牛营子及西海口等地区海岸线位移量相对较大,围填海强度较高;③锦州湾新增围填海面积50.67 km²,城市建设、港口用海及围海养殖用海为围填海的主要类型,盐业用海面积相对减小,未利用类型面积增加;④锦州湾围填海重心总体往东北方向偏移。

关键词:围填海;海岸线;多源遥感影像;RS/GIS;动态演变;锦州湾

DOI :10.18402/resci.2018.08.14

1 引言

为了扩大生存和发展空间,世界沿海地区通过围填海来解决日益严峻的“土地赤字”的做法非常普遍。荷兰通过自16世纪以来的3次围垦高潮,将大量海岸湿地和河口区域转变为农业及工业用地,目前其国土面积的1/3位于海平面以下^[1];美国墨西哥湾^[2]、埃及尼罗河三角洲^[3]等地也都进行过大规模填海造陆活动。近年来中国沿海经济带迅速发展,沿海土地资源的稀缺促进了填海造地活动的不断开展,并呈现出速度快、面积大、范围广的发展趋势^[4-7]。根据历年的国家海洋局《海域使用管理公报》^[8]统计,2002—2015年底,全国填海造地项目累计达14.49万hm²,其中“十二五”期间,全国累计围填海

面积达5.65万hm²,年均围填海造地面积1.13万hm²。填海造陆在增加土地资源的同时也对生态环境带来了深远的影响,对填海造陆的监测和研究成为现实需要^[9-11]。

目前,基于遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术进行海岸线和海岸带变化在国内外已经有一些相关的研究。如Yagoub M M等研究发现阿联酋阿布扎比海岸带湿地等自然植被区明显减少,而人工种植园大幅增加^[12];Ku-mar A等通过遥感影像、地形图等多源数据还原1910—2005年印度卡纳塔克海岸的变化情况^[13];Banna M M等研究发现1955—2002年来埃及尼罗河三角洲东北部海岸经历了大范围的围垦和开发,导致泻湖和海岸沙丘大量转化

收稿日期:2017-12-25;修订日期:2018-07-19

基金项目:国家自然科学基金(41501594;41771159);高校人文社会科学重点研究基地重大项目子课题(16JJD790021)。

作者简介:柯丽娜,女,辽宁大连人,副教授,硕士生导师,主要研究方向为海洋资源开发与利用、遥感及地理信息系统应用。

E-mail: kekesunny@163.com

通讯作者:王权明, E-mail: qmwang@nmemc.org.cn

为农田、养殖池等,城市在迅速扩张^[14];苏奋振等对广东省大陆海岸线空间变化及其驱动因素进行探讨^[15];常军等探讨了黄河口海岸线演变时空特征及其与黄河来水来沙关系^[16];朱高儒等以1974—2010年逐年 MSS/TM/ETM+影像为主要数据源,利用 RS/GIS 技术,分析了渤海湾西北岸填海造陆的动态空间分布和数量变化特性^[17];雷宁等基于胶州湾区域不同年代的海图及多期遥感影像,系统分析了1986—2010年胶州湾围填海开发的演进过程^[18]。

总体来看,目前国内外对围填海时空变化的研究多集中于对填海造陆的动态分布变化进行定量分析^[19-26],而随着沿海地区海域开发活动的不断加强,围填海为主的人类活动成为影响海湾、海岸带特征发生变化的重要原因^[19],对于海岸线的形态变化刻画起着重要的影响,且不同的围填海利用类型对海岸线的变化情况的影响也不同,因此,全面把握并分析海岸线的变迁过程、并对引起其重要变化的围填海现状及演进过程进行定量分析,对于指导区域海岸带的开发利用具有重要意义,锦州湾附近海域目前还缺乏这方面的研究。辽宁省锦州湾及其附近区域是中国开发利用海洋资源比较活跃的地区之一,集中了港口、滩涂养殖、有色金属生产等多种经济活动。近年来作为辽宁省“五点一线”战略的重要建设区域,锦州湾及其附近区域围填海规模不断扩大,主要用途从早期的围海晒盐、围海造田、围海养殖,到近十几年的港口用地和工业用地。大规模的围填海活动蚕食了40%以上的锦州湾海域面积,造成了海湾空间形态的改变,纳潮量明显减少,泥沙冲淤过程失衡,污染物净化能力降低,直接破坏了锦州湾海岸线附近海洋生物的栖息环境,该地区海洋生态健康持续处于亚健康状态^[27],因此本文选择锦州湾及其附近海域作为研究区域,借助 Landsat TM、SPOT 卫星影像、环境卫星 HJ-1 CCD 等多源遥感影像,建立基于元胞自动机模型(CA)的岸线提取方法,并分析该区域岸线变化的时空特征,识别岸线变化较为强烈的岸段,对引起其变化的围填海类型分布、面积、利用情况等方面深入分析,挖掘该区域围填海时空演变的规律,以期为该地区海岸线的宏观管理、围填海控制预警提供一定的科学依据与技术方法。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

锦州湾位于渤海辽东湾锦州小笔架山至葫芦岛柳条沟连线的西侧,湾口朝向东南,属于中水湾,截至2014年底,海岸线长10 338km,海湾面积为137.65km²。锦州湾陆域狭义上包括“两港三区”,即锦州港、葫芦岛港,锦州经济技术开发区、葫芦岛市连山区高桥、塔山两个乡镇及龙港区龙程路以东、茨齐路以北的沿海地区,还包括凌海市小部分,所辖面积约150km²^[27]。锦州湾作为锦州市重点发展的临港工业区,不仅是辽宁省“五点一线”重要发展区域,也是发展大型临港工业的高水平示范区,具体区位如图1所示。

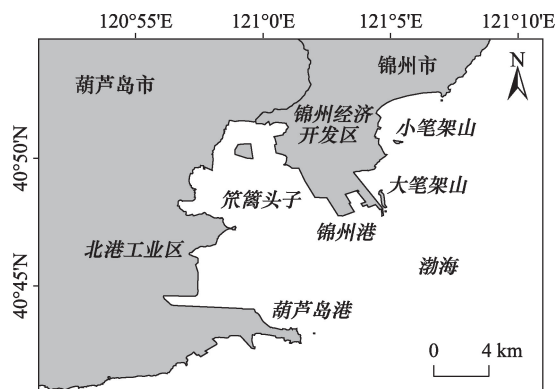


图1 锦州湾区位示意

Figure 1 Bitmap of Jinzhou Bay area

2.2 数据来源及预处理

锦州市沿海地处中国沿海纬度最高的地区,冬季(11月—翌年4月)平均水温为-0.7℃,故一般年份沿海区均有冰情发生。为了尽量减少海冰对图像判读的影响,本文利用多波段组合选择最优影像,来达到弱化海冰的影响,同时考虑到云量对数据精度的影响,本次研究优先选择云量相对较小的遥感影像数据。研究中用到的1991年、1995年、2000年 Landsat TM 影像数据,分辨率为30m;数字高程模型(DEM),分辨率为90m,以及锦州湾及其附近海域海图等数据,均获取自地理空间数据云^[28],2005年、2014年 SPOT 卫星影像,分辨率为10m,从中国科学院遥感与数字地球研究所获取^[29];2010年环境卫星 HJ-1 CCD 影像,分辨率为30m,从中国资源卫星应用中心获取^[30]。

2018年8月

本文对收集的数据资料进行质量检查,并在ENVI环境下对遥感影像数据进行预处理,包含几何精校正、裁剪、图像融合、去条带等,利用haze-tool去云插件,在ENVI中对遥感影像进行去云处理。为方便岸线的空间分析,对6个时期的影像统一采用WGS84坐标系,先将2014年的高分辨率SPOT数据基于CA进行岸线提取,并通过潮汐计算公式校正为平均大潮高潮线,在此基础上依次提取前期海岸线,只对海岸线变化部分进行动态更新,从而避免由于传感器分辨率不同所带来的影响。

2.3 研究方法

本次研究基于遥感调查、资料收集对比验证等,对锦州湾不同年份的海岸线及围填海信息进行提取,对其海岸线变化特征进行分析,建立锦州湾区域围填海时空格局及其环境资源信息数据集,明确锦州湾围填海时空分布演变特征,并对其进行评价。

2.3.1 海岸线的定义与分类

海岸线的变化作为监测区域围填海进程的最关键指标,中国国家标准《海洋学术语:海洋地质学》(GB/T18190-2000)^[31]给出的海岸线定义是“海岸线是海陆分界线,在中国指多年大潮平均高潮位时的海陆界线”。中国近海海洋综合调查与评价专项(“908专项”)则采用“平均大潮高潮时水陆分界的痕迹线”作为海岸线的定义。因此本研究用遥感影像提取的卫星过顶时的海陆分界线,即“水边线”,结合遥感影像过境时间及潮汐计算公式,通过对水边线进行纠正得到海岸线。依据《海岛海岸带卫星遥感调查技术规程》^[32]的海岸线分类体系,结合锦州湾海岸的特点,将锦州湾岸线分为人工岸线和自然岸线,各自下分4个二级类型。自然岸线包括基岩岸线、砂质岸线、淤泥质岸线和河口岸线,人工岸线包括养殖岸线、盐业岸线、城镇建设岸线和港口码头岸线(表1)。

2.3.2 基于CA的岸线提取

CA在图像分类与模式识别中的作用明显,越来越多的学者将其用于混合像元分解及图像边缘检测等。本文参考冯永玖等^[33]的论文,构建了一种海岸线遥感信息提取的CA模型,并在Matlab环境下开发实现。

演化规则是CA模型架构的核心,采用元胞自

动机中的Moore型,在图像边缘检测中,具体的演化规则公式为:

$$S_t = f(S_{t-1}, N_{ei}, C_{con}) \quad (1)$$

式中 t 为迭代运算时间; N_{ei} 为邻近元胞状态; C_{con} 为元胞演化的限制条件; f 为演化规则函数; S_t 和 S_{t-1} 为中心元胞在 t 和 $t-1$ 时刻的状态。

以带有方向信息权重的邻域元胞灰度指数作为海陆分离的指标,公式为:

$$G_{N_{ei}} = \frac{\sum_{i=1}^D W_i \times C_i}{r \times r - 1} \quad (2)$$

式中 r 为元胞邻域半径; D 为邻域元胞的数量($D=r \times r-1$); C_i 为第 i 个元胞的灰度值; W_i 为第 i 个元胞的权重,是一个带有方向信息的矩阵。一个好的方向信息矩阵应尽可能检测出图像中各个方向上的灰度突变信息,该方向信息矩阵也可以称之为“模板”^[20]。

在海陆分离二值化图像的基础上再进行水边线目标的追踪,具体过程为通过定义模板对图像中的元胞(像元)进行邻域检测,当中心元胞的邻域内存在水域元胞时,定义该中心元胞即为水边线的组成部分,同时给该元胞赋以不同的固定灰度值,当整个图像经模板检测完毕,再将海岸线元胞以外的图像设置为背景,即可获取完整的水边线信息。

水边线受潮起潮落及卫星过境时间的影响,与多年平均大潮高潮位形成的痕迹线(即海岸线)存在着一定的误差,因此需要基于已提取的水边线,结合遥感影像过境时间及潮汐计算公式,纠正得到海岸线。

假设 C_1 、 C_2 为研究区不同时刻影像提取的水边线(图2),记录 C_1 和 C_2 水边线的距离 ΔM , h_1 、 h_2 分别为影像卫星过顶时刻的潮位高度,则岸滩坡度角 θ 为:

$$\theta = \arctan[(h_2 - h_1)/\Delta M] \quad (3)$$

$$M = (H - h_2)/\tan \theta \quad (4)$$

式中 H 为平均大潮高潮位高度;可根据多年潮位观测资料得到; M 为水边线修正为平均大潮高潮线的距离。

2.3.3 海岸线提取误差分析

本文利用2008年辽宁省海域勘界数据对提取的海岸线进行误差分析,2008年辽宁省海域勘界数据是由实测数据获得,精度较高,可以作为岸线精度评价的标准。

选取了与2008年辽宁省海域勘界数据时间相

表1 海岸线分类体系

Table 1 The classification system of coastlines

一级编码	一级分类	二级编码	二级分类	说明	图解
1	自然岸线	11	基岩岸线	岸线较曲折,岸线不规则,呈锯齿状分布。在影像中有明显的起伏状态和岩石构造,位置界定在水陆分界线上	
		12	砂质岸线	岸线比较平直,受海水搬运沉积作用影响,形成一条与岸线平行的砂质沉积带。在影像中呈亮白色,位置界定在干燥滩面与陆域交界处	
		13	淤泥质岸线	岸线平直,潮间带宽而平缓。在影像中色调较沙滩暗,有潮沟发育,位置界定在有痕迹迹线前段向海一侧外边界	
		14	河口岸线	有明确的河海分界线,则以该线为河口岸线;若没有明显的分界线,则以最靠近河口的防潮闸或者跨河桥梁为河口分界线	
2	人工岸线	21	养殖岸线	岸线平直,地状物呈长条状,空间集中分布,布局规则。在影像上,轮廓清楚,边界明显,位置界定在向海一侧的外边缘	
		22	盐业岸线	岸线平直,地状物呈规则小型方块状,大面积连续分布。在影像上呈亮白色,位置界定在向海一侧外边缘	
		23	城镇建设岸线	岸线较平直,地状物包含矿区、油田和景观等人工建筑。在影像上呈白色或灰色,与城市衔接,位置界定在向海一侧外边缘	
		24	港口码头岸线	岸线较平直,地状物分布不均匀。在影像上多呈白色,明显细条状突出,边缘呈现齿状,位置界定在向海一侧外边缘	

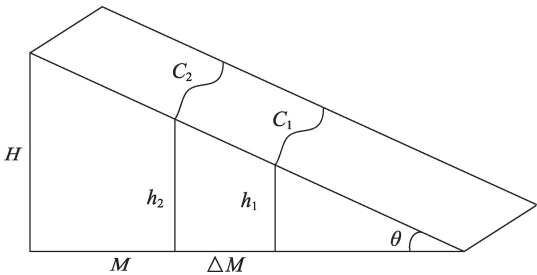


图2 潮位校正原理

Figure 2 Principle of tide level correction

近的2010年海岸线进行误差分析,由于两个时间点不是完全匹配,选取了未发生变迁区域的海岸线进行误差分析,在选取岸段上均匀地布点,尽可能覆盖较多的岸线类型,逐个计算海域勘界海岸线上各点与对应的岸线提取结果之间的平均距离、标准方

差及均方根误差(RMS),并同时对比二者的岸线类型,计算岸线类型一致的控制点所占比率。其中RMS的计算公式为:

$$RMS=\sqrt{\frac{t_1^2+t_2^2+\cdots+t_n^2}{n}} \tag{5}$$

式中 n 为选取的测量点个数; t 为测量点到提取岸线的垂直距离。经检查解译的海岸线类型和实测数据比对计算,RMS误差优于9.9m,小于基于遥感影像提取海岸线的理论最大允许误差要求^[25],各期岸线类型精度评价结果均值为93.24%,能够满足本次研究的需要。

2.3.4 海岸线变化速率

根据岸线变迁分析的需要,选取了岸线年平均变化速率、终点变化速率指标,用于对锦州湾海岸

2018年8月

线变迁情况进行定量分析研究。

海岸线平均变化速率的计算公式为:

$$R_{i,i+1} = \frac{R_{i+1} - R_i}{L_i \times \Delta Y_{i,i+1}} \quad (6)$$

式中 $R_{i,i+1}$ 为相邻年份间的岸线年平均变化率 ($i=1, 2, \dots, 8$); R_{i+1} 为第 $i+1$ 期海岸线与研究区陆域纵、横边界所围区域的面积 ($i=1, 2, \dots, 8$); R_i 为第 i 期海岸线与陆域纵、横边界所围区域的面积 ($i=1, 2, \dots, 8$); L_i 为第 i 期海岸线的长度 ($i=1, 2, \dots, 8$); $\Delta Y_{i,i+1}$ 为第 $i+1$ 期与第 i 期海岸线年份数的差值 ($i=1, 2, \dots, 8$)。

终点变化速率的计算公式为:

$$E_{i,j} = \frac{d_j - d_i}{\Delta Y_{j,i}} \quad (7)$$

式中 $E_{i,j}$ 为相邻年份间沿切线的岸线终点变化速率; d_j 为沿切线方向第 j 期海岸线到基线的距离; d_i 为沿切线方向第 i 期海岸线到基线的距离; $\Delta Y_{j,i}$ 为海岸线年份差值。

2.3.5 围填海利用类型的解译及解译标志建立

结合收集到的锦州湾区域历史地形图及海图资料、社会经济统计资料、海洋环境监测数据等,依据围填海的各种利用类型的光谱信息及空间信息的差异,与调查资料、DEM数据相结合,分析各类型围填海的

图谱特征,建立围填海使用类型的解译标志(如表2所示),从而明确各类型围填海的分布及利用情况。

2.3.6 围填海空间格局指标

采用强度指数及质心坐标对锦州湾围填海进行空间格局分析。围填海强度指数 P 表示一定区域内围填海的规模与强度,具体计算公式为:

$$P = \frac{K}{T} \quad (8)$$

式中 K 为围填海面积; T 为海岸线长度。

通过分析各研究时段的围填海类型分布质心,可发现围填海空间变化趋势。质心坐标的具体计算公式为:






$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^a (F_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^a F_i} \quad (9)$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^a (F_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^a F_i} \quad (10)$$

式中 X_c 和 Y_c 分别为按面积加权的围填海类型质心坐标; X_i 和 Y_i 是某一围填海类型第 i 个斑块的质心坐标; F_i 为某一围填海类型第 i 个斑块的面积; a 为某一围填海类型的斑块总数。

表2 围填海利用类型划分及其解译标志

Table 2 Classification of reclamation utilization types and its interpretation signs

类型	定义	图示	解译标志
围海养殖用海	指围海筑塘用以养殖的海域		一般集中分布在沿岸,呈长条状,布局规则,水体呈蓝绿色
盐业用海	指工业用海中将海水引进、蒸发、晒盐的平地,多位于滨海		靠近海岸,呈规则小型方块状,大面积连续分布,间杂带有白色点状
港口用海	指供船舶停靠、进行装卸作业、避风和调头所使用的海域		分布于沿岸处,影像上多呈白色,明显细条状突出,港口多有货船停靠
城镇建设填海	为大型的用于城镇建设的人工造地,一般依托海岸线,呈块状分布		依托海岸线,呈块状,影像上多呈蓝色或白色,连片布置,整体规模很大
未利用类型	指已进行围海或填海,但尚未实施利用或已利用但后来荒废的造地区域		围而未填区域水域颜色显示为灰色、灰黑色,围堰呈亮灰色;填而未建区域分有植物生长区和无植物生长区,颜色分别显示为暗绿色和灰色

3 结果及分析

3.1 海岸线变化分析

3.1.1 海岸线变化强度分析

根据锦州湾海岸线数据计算得到锦州湾海岸线变化速率如图3所示,1991—2014年锦州湾海岸线长度共增长了约20.07km,海岸线变化强度出现了2个峰值,分别是1991—1995年及2005—2010年,表明这两个时间段内锦州湾海岸线长度迅速增加。

1991—1995年是围海养殖和盐业用海的快速发展期,在北石壶山和打渔山附近海域都进行了大规模的造地工程,用于围垦农田和养殖,导致岸线长度增加了4.89km,变化强度达到5.54%;1995—2000年随着填海造地进程的放缓,岸线变化强度降低至1.18%;2000—2005年岸线变化强度上升到3.84%,北大洼附近填海工程进展及锦州港的进一步开发建设;2005—2010年间,北港工业区和葫芦岛锌厂工业区迅速扩展,同时北大洼和灯塔山附近港口用海开始大面积扩建,使锦州湾海岸线在2005—2010年间增长了近10.31km,岸线变化强度高达10.00%,是23a间锦州湾海岸线增长最快的时间段;2010—2014年锦州湾海岸线变化强度减弱至0.25%,围填海进程明显放缓。

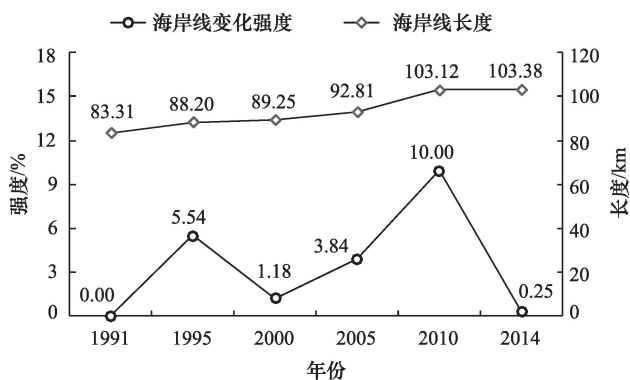


图3 1991—2014年锦州湾海岸线长度及岸线变化强度

Figure 3 Coastline length and variation intensity in Jinzhou Bay from 1991 to 2014

3.1.2 重点区域海岸线变化分析

美国地质调查局(USGS)研发的数字海岸线分析系统(DSAS, Digital Shoreline Analysis System)能够对海岸线进行量化分析,计算各年份序列的海岸线变化率,从而揭示大范围、长时间序列的海岸

线变迁。本文采用基线法分析1991—2014年间锦州湾海岸线变化,首先选取1991年海岸线作为基线,再利用DSAS插件,以400m为采样间距、6km为采样距离,等间距生成205个垂直于基线的断面,再将各年份海岸线相交,从而得到各年份海岸线相对于基线的位移量,如图4所示,其中海岸线断面号最大值为205,但由于空间有限及刻度间隔的原因在图中没有显示。

通过对位移量数据的统计得到7个海岸线位移量相对剧烈的区域,在图4中用矩形标出并编号,其具体位置如图5所示,并在图5中标出了变化剧烈区域的海岸线断面号范围,结合遥感影像解译,分别辨析各区域主要围填海利用类型,详情见表3。

从岸线变化距离及其空间分布情况来看,1991—1995年北港镇附近岸线变化较为显著,主要用于盐业用海和围海养殖;同时,牛营子(E区)和西海口(F区)附近海域大规模围填海,牛营子区域主要侧重于城镇建设及围填养殖,而西海口区域大力发展港口用海,该时期新增港口用海面积积达3.2km²;1995—2000年打渔山附近的部分区域盐业用海被改造为围海养殖,北大洼地区填海造地主要用于围海养殖;从2000年开始锦州湾港口用海逐渐增加,2000—2005年锦州湾填海造地速率高达3.7km²/a,双泉寺(A区)、渔民村(B区)和北大洼(C区)的港口用海发展迅速,更有北大洼的围海养殖改造为港口用海,经济发展的巨大需求推动着该地区工业建设进程的不断加快,北港镇地区的填海造地被大幅度改造为城镇建设,主要用于工业建设及矿产加工等;2010—2014年围填海增长速率减缓,梁屯村(G区)的港口用海增加,而牛营子附近的围海养殖区域荒废后还未进一步开发,沿海地区大规模围填海趋势放缓。

3.2 围填海变化分析

3.2.1 围填海演变过程分析

结合遥感影像解译,获取各时期锦州湾附近海域围填海利用类型及面积变化,并计算各时期开发利用面积变化速率,详情见表4,为直观简洁地表达各类型围填海变化情况,本文用一段时间内新增的围填海面积(hm²)与海岸线长度(km)的比值表示围填海强度,强度指数越大,说明该时间段内围填海

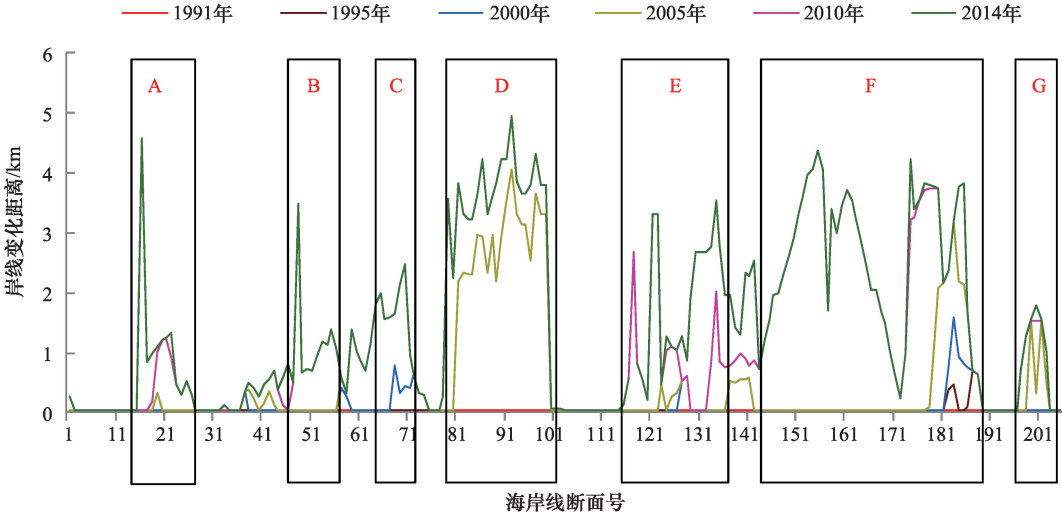


图4 1991—2014年锦州湾岸线位移量变化

Figure 4 Variation diagram of shoreline displacement in Jinzhou Bay from 1991 to 2014

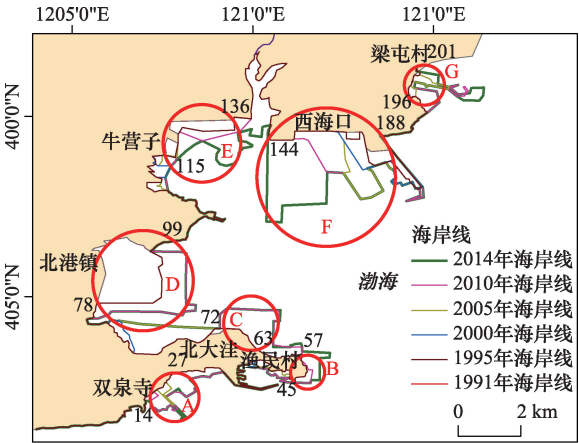


图5 1991—2014年锦州湾岸线变化示意

Figure 5 Changes of shoreline in Jinzhou Bay from 1991 to 2014
注:图中数字为海岸线断面号。

表3 海岸线位移量变化剧烈区域及其围填海利用类型

Table 3 Zone of strenuous variation of coastline displacement and the types of reclamation utilization

区域编号	对应海岸带断面号	所在位置	围填海利用类型
A	14—27	双泉寺	港口用海
B	45—57	渔民村	港口用海、工业用海
C	63—72	北大洼	港口用海、工业用海
D	78—99	北港镇	工业用海、围海养殖
E	115—136	牛营子	城镇建设、围海养殖
F	144—188	西海口	港口用海、围海养殖
G	196—203	梁屯村	港口用海

开发越强烈(见表5)。

图6显示,1991—2014年间锦州湾新增围填海面积达50.67km²,到2014年围填海总面积达到

表4 1991—2014年锦州湾海域不同时期开发利用方式及面积变化情况

Table 4 Development and utilization patterns and changes of area of different periods in Jinzhou Bay from 1991 to 2014

		1991年	1995年	2000年	2005年	2010年	2014年
开发利用面积/km ²	盐业用海	6.84	12.55	13.65	13.73	8.29	6.75
	养殖用海	1.67	4.58	7.24	7.48	5.00	12.49
	城镇建设	12.59	13.12	11.21	11.20	28.26	30.70
	港口用海	1.68	2.83	3.29	6.49	13.91	16.28
	未利用类型	2.03	2.03	2.03	5.47	7.79	9.26
	总面积	24.81	35.11	37.42	44.37	63.26	75.48
面积变化/km ²		10.30	2.31	6.95	18.89	12.22	
变化速率/(km ² /a)		2.58	0.46	1.39	3.78	3.06	

注:面积变化和变化速率是相对于前一个年度的变化量,将其放置在两个年度数据之间,以表达其含义。

表5 1991—2014年锦州湾各类型围填海强度指数

Table 5 Intensity indexes of various types of reclamation in Jinzhou Bay from 1991 to 2014					(hm ² /km)
	1991—1995年	1995—2000年	2000—2005年	2005—2010年	2010—2014年
盐业用海	15.06	16.39	16.48	9.95	8.10
围海养殖	5.50	8.69	8.98	6.00	14.99
城镇建设	15.75	13.45	13.45	33.93	36.86
港口用海	3.40	3.95	6.57	16.70	19.55

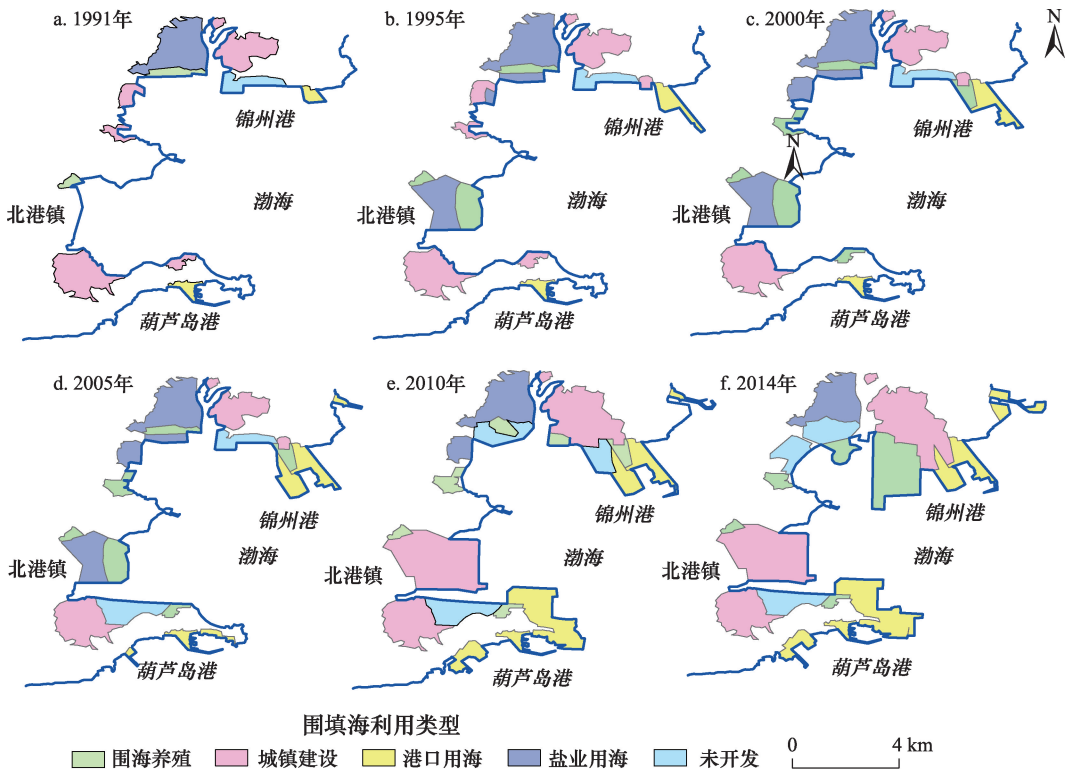


图6 1991—2014年锦州湾围填海分布演进情况

Figure 6 Distribution and evolution of reclamation in Jinzhou Bay from 1991 to 2014

75.48km²。1991—2014年围填海面积增长速率呈现波动,2005—2010年围填海增长速率最快,该时期围填海面积变化18.89km²,变化速率达3.78km²/a;1995—2000年围填海增长速率下降,该时期围填海面积变化2.31km²,变化速率为0.46km²/a,2005年以后研究区围填海变化速率迅速增加,围填海变化速率基本保持在3km²/a左右。

(1)城镇建设用地是锦州湾附近海域围填海的最主要利用类型,1991年城镇建设面积为12.59km²,1995—2005年出现小幅度的下降,其他年份都呈上升趋势,2014年城镇建设用地达30.7km²,23a共增加了18.11km²,城镇建设占围填海总面积的比例达

40.7%,是锦州湾围填海的最主要利用类型。从城镇建设类型围填海强度指数来看,1991—2005年波动不大,基本稳定在13.45~15.75之间,2005—2014年围填海强度迅速增长,围填海强度指数为33.93~36.86,表明该时期是锦州湾城镇建设的快速发展时期。从城镇建设用海类型的空间分布情况来看,城镇建设用海主要集中在龙岗区及西海口周边海域,同时,在北港镇附近区域大范围的工业城镇建设用地增长也是导致锦州湾区域城镇建设围填海强度增加的原因。

(2)锦州湾早期围填海以盐业为主,1991年盐业用海面积为6.84km²,占围填海总面积的27.6%,1991—2005年盐业用海面积不断增长,2005年以后

2018年8月

盐业用海面积开始呈现下降趋势,逐渐被养殖用海及港口用海代替。1991—2010年锦州湾附近海域盐业用海主要分布在牛营子附近海域,2005年盐业用海面积达到 13.73km^2 ,2010年后盐业用海逐渐萎缩,盐业用海逐渐转变为城镇建设用海,只在牛营子附近海域还保留大面积的盐业用海。

(3) 锦州湾围海养殖用海面积波动增加,2010年面积有所缩减。1991—2014年锦州湾围海养殖面积共增加了 10.82km^2 ,占围填海总面积比例从1991年的6.7%上升到2014年的16.5%,其开发强度指数在5.50~14.99之间,2014年锦州湾围海养殖在北港镇、牛营子和西海口等地区附近海域均有分布,而随着围海养殖的不断发展,其开发利用主要集中在西海口附近海域。

(4) 锦州湾的交通用海主要以港口用海为主,港口用海面积持续增加,从1991年的 1.68km^2 ,增加到2014年的 16.28km^2 ,占围填海总面积比例达到21.6%,1991—2014年锦州湾港口用海开发强度指

数从3.40增长到19.55,该区域的港口码头建设规模不断扩大,主要以锦州港和葫芦岛港为中心不断向外扩展,锦州港和葫芦岛港作为连接京津唐经济区与东北工业区重要的交通枢纽,对锦州湾附近区域经济的增长起到了支撑作用。

(5) 1991—2014年锦州湾附近海域未利用类型的面积从1991年的 2.03km^2 增加到2014年的 9.26km^2 ,占围填海总面积比重从8.2%增加到12.3%,处于围填海存量资源的形成阶段,未来可作为吸引外资或该区域进一步发展的土地储备,部分区域已被圈围,但还没有填充成土地;部分区域已被围填成土地,尚未开发建设;同时也有部分闲置废弃淤积的低效养殖用海空间及低效盐田区域,主要分布在北大洼和北港镇中间区域以及牛营子附近海域。

3.2.2 围填海质心变化分析

利用ArcGIS软件生成围填海斑块的质心,再计算各围填海类型的空间质心,并设置为UTM投影坐标系,从而生成各围填海利用类型质心变化(图7)。

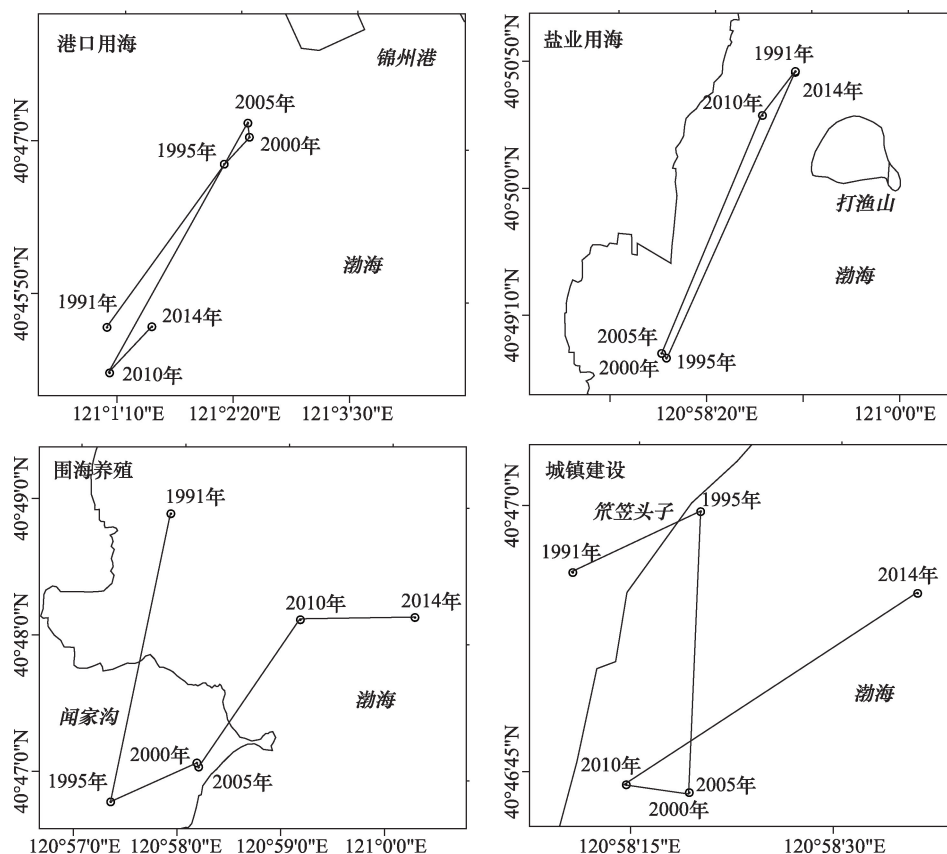


图7 1991—2014年锦州湾各围填海利用类型质心变化

Figure 7 Variation of centroid of reclamation types in Jinzhou Bay from 1991 to 2014

(1)港口用海质心在1991—2005年从121.02°E、40.76°N向北偏东40°方向迁移了近3.1km,2005—2014年又向121.03°E、40.76°N迁移,整体从121.02°E、40.76°N到120.03°E、40.76°N迁移了575.8m,主要由于1995—2005年锦州经济区和西海工业区港口的快速开发使质心向东北方向迁移,随着2005—2010年葫芦岛港的大力开发,质心又向西南方向迁移。

(2)盐业用海质心在(120.97°E, 120.98°E)、(40.82°N, 40.85°N)之间变化,1991—2010年盐业用海质心从(120.98°E, 40.85°N)向南偏西32°方向迁移了约3.77km,2010—2014年质心又向(120.98°E, 40.85°N)迁移了约3.8km,主要是由于打渔山园区的盐业用海工程及北港工业区盐业用海的开发,使质心发生变化。

(3)围海养殖质心迁移幅度较大,在(120.96°E, 121.00°E)、(40.78°N, 40.82°N)之间变化,1995—2000年质心向(120.97°E, 40.78°N)迁移了约1.28km,2000—2014年质心又向北偏东61°方向迁移约3.59km,整体是从(120.96°E, 40.82°N)到(121.00°E, 40.80°N)迁移了3.61km。锦州湾早期围海养殖主要集中在锦州经济开发区附近,随着北港工业区附近围海养殖的开发,以及万得工业区围海养殖的大面积工程,使得质心整体向东南方向迁移。

(4)城镇建设质心波动范围较小,1991—1995年从(120.97°E, 40.78°N)向北偏东67°方向迁移了约246m,1995—2010年由于北港工业区建设,使质心向西南方向迁移了约502m,2010—2014年锦州经济开发区建设,质心又向(120.98°E, 40.78°N)迁移了约587m。

4 结论与讨论

本文以1991年、1995年、2000年的Landsat TM影像数据,2005年SPOT卫星影像和2010年环境卫星HJ-1 CCD、2014年SPOT遥感影像数据为主要数据源,建立基于元胞自动机模型(CA)的岸线提取方法,并分析该区域岸线变化的时空特征,识别岸线变化较为强烈的岸段,对引起其变化的围填海类型分布、面积、利用情况等方面深入分析,得出以下结论:

(1)建立的CA模型的岸线提取方法,小于基于遥感影像提取海岸线的理论最大允许误差要求,能够满足研究的需要。

(2)1991—2014年,锦州湾海岸线长度共增加了20.07km,到2014年达到103.38km,2005—2010年是研究区海岸线增长最快的时间段,海岸线增长了近10.31km,岸线变化强度高达10.00%。

(3)锦州湾中部地区,即北港镇、牛营子和西海口等地区附近海域,23年间海岸线长度相对于其他地区变化较大,新增了大量的港口用海和城镇建设用地。

(4)1991—2014年,锦州湾填海造地总面积达到75.48km²,新增填海造地面积50.67km²。城镇建设一直是锦州湾附近海域的主要用海类型,主要集中在龙港镇、北港镇以及西海口附近海域;港口建设和围海养殖面积稳步增加,其中港口建设主要为锦州港及葫芦岛港的扩建;盐业用海面积先增加后减少,部分盐业用海逐渐转化为城镇建设用地及港口用海;未利用类型占围填海总面积比重上升,主要分布在北大洼和北港镇中间区域以及牛营子附近海域。

(5)锦州湾围填海各类型的空间质心在23年间都有不同程度的变化,但是总体上往北偏东方向偏移,说明锦州湾围填海重心逐渐向东北方向迁移,以西海口附近海域为中心,新增了大量的港口用海和围海养殖类型用海。

大面积填海造地反映了锦州湾沿海城市建设和经济发展对土地的强烈需求,对该地区土地资源紧缺、拓展发展空间、促进经济社会发展发挥了积极的作用,但围填海工程永久地改变了海域的自然属性,也必然会对该区域的生态环境造成较大影响,同时该区域部分围填海形成的土地资源存在粗放利用、低密度建设、开发利用综合效益不高问题,应加强对该区域海湾生态环境的长期定位监测和评价,同时随着国务院《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》^[34]的下发,该区域未来如何立足于区域经济社会发展需求的方向及阶段特征,统筹陆海空间开发保护,进行围填海现状调查,摸清已开发的、发现低效开发的,并开展闲置低效区域的整治挖潜,适当建立闲置低效区域的围填海“退出”机制,实行退围还海、退养还滩,从而科学引导该地区产业用海结构,合理布局未来区域发展的生态、生产、生活空间,以利于该区域海域资源的可持续利用。

2018年8月

参考文献(References):

- [1] Shi J F, Wei H S, Li Y G, *et al.* Field studies of the effectiveness of dynamic compaction in coastal reclamation areas[J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2010, 69(1): 129-136.
- [2] Gramling C. Rebuilding wetlands by managing the muddy Mississippi[J]. *Science*, 2012, 335(6068): 520-521.
- [3] Barbier E B, Hacker S D, Kennedy C, *et al.* The value of estuarine and coastal ecosystem services[J]. *Ecological Monographs*, 2011, 81(2): 169-193.
- [4] 高义, 王辉, 苏奋振, 等. 我国大陆海岸线近 30a 时空变化分析[J]. 海洋学报, 2013, 35(6): 31-42. [Gao Y, Wang H, Su F Z, *et al.* Spatial and temporal of continental coastline of China in recent three decade[J]. *Acta Oceanologica Sinica(in Chinese)*, 2013, 35(6): 31-42.]
- [5] 武芳, 苏奋阵, 平博, 等. 基于多源信息的辽东湾顶东部海岸时空变化研究[J]. 资源科学, 2013, 35(4): 875-884. [Wu F, Su F Z, Ping B, *et al.* Multi-source-based space-time analysis of shoreline changes in eastern Liaodong Bay top[J]. *Resources Science*, 2013, 35(4): 875-884.]
- [6] 肖康, 许惠平, 叶娜. 基于遥感影像的福建围填海初步研究[J]. 海洋通报, 2013, 32(6): 685-694. [Xiao K, Xu H P, Ye N. Preliminary research on the reclamation at the Fujian coast based on the remote sensing imagery[J]. *Marine Science Bulletin*, 2013, 32(6): 685-694.]
- [7] 陈玮彤, 张东, 韩飞. 江苏南通沿岸围填海强度与潜力定量评价研究[J]. 海洋通报, 2015, 34(4): 443-449. [Chen W T, Zhang D, Han F, *et al.* Study on the quantitative assessment of coastal reclamation intensity and development potential in Nantong of Jiangsu[J]. *Marine Science Bulletin*, 2015, 34(4): 443-449.]
- [8] 国家海洋局. 海域使用管理公报 2002-2015[EB/OL]. (2016-04-29) [2017-04-03]. <http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/hysyglgb/>. [State Oceanic Administration, People's Republic of China. Bulletin of the Administration of the Use of Sea Areas 2002-2015[EB/OL]. (2016-04-29)[2017-04-03]. <http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/hysyglgb/>.]
- [9] 刘曙光, 纪瑞雪. 海域环境恶化对中国海洋捕捞业发展的阻滞效应研究[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1695-1701. [Liu S G, Ji R X. The drag effect of marine environmental deterioration on the development of China's marine fishing industry[J]. *Resources Science*, 2014, 36(8): 1695-1701.]
- [10] 薛春汀. 7000 年来渤海西岸、南岸海岸线变迁[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 217-222. [Xue C T. Historical changes of coastlines on west and south coasts of Bohai sea since 7000 a B.P[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(2): 217-222.]
- [11] 雷磊, 高秋香, 杨晨. 中国海域使用演变特征及发展趋势分析[J]. 资源科学, 2017, 39(11): 2030-2039. [Lei L, Gao Q X, Yang C. The variations and trend analyses of sea area use in China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(11): 2030-2039.]
- [12] Yagoub M M, Kolan G R. Monitoring coastal zone land use and land cover changes of Abu Dhabi using remote sensing[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2006, 34(1): 57-68.
- [13] Kumar A, Narayana A C, Jayappa K S. Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: a remote sensing and statistics-based approach[J]. *Geomorphology*, 2010, 120(3-4): 133-152.
- [14] Banna M M, Frihy O E. Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt[J]. *Geomorphology*, 2009, 107(1-2): 72-78.
- [15] 高义, 苏奋振, 孙晓宇, 等. 近 20 a 广东省海岛海岸带土地利用变化及驱动力分析[J]. 海洋学报, 2011, 33(4): 95-103. [Gao Y, Su F Z, Sun X Y, *et al.* A study on driving forces of land use change of Guangdong Province coastal zone and islands in recent 20 a[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 33(4): 95-103.]
- [16] 常军, 刘高焕, 刘庆生. 黄河口海岸线演变时空特征及其与黄河来水来沙关系[J]. 地理研究, 2011, 16(3): 1122-1128. [Chang J, Liu G H, Liu Q S. Analysis on spatio-temporal feature of coastline change in the Yellow River Estuary and its relation with runoff and sand-transportation[J]. *Geographical Research*, 2011, 16(3): 1122-1128.]
- [17] 朱高儒, 许学工. 渤海湾西北岸 1974-2010 年逐年填海造陆进程分析[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 245-251. [Zu G R, Xu X G. Annual processes of land reclamation from the sea along the northwest coast of Bohai Bay during 1974 to 2010[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(8): 245-251.]
- [18] 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.]
- [19] 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. Changes of coastal main gulf forms in Mainland China since the early 1940s[J]. *Geographica Journal*, 2016, 71(1): 118-129.]
- [20] 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 J Y, Zhang Z X, Zhao X L, *et al.* Spatial-temporal analysis of coastline changes in northern China from 2000 to 2012[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 651-660.]
- [21] 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. [Li X, Zhang L P, Ji C C, *et al.* Spatiotemporal changes of Jiangsu coastline: a remote

- sensing and GIS approach[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 414-426.]
- [22] 索安宁, 曹可, 马红伟, 等. 海岸线分类体系探讨[J]. 地理科学, 2015, 35(7): 933-937. [Suo A N, Cao K, Ma H W, *et al.* Discussion on classification system of coastline[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(7): 933-937.]
- [23] 张云, 张建丽, 李雪铭, 等. 1990年以来中国大陆海岸线稳定性研究[J]. 地理科学, 2015, 35(10): 1288-1293. [Zhang Y, Zhang J L, Li X M, *et al.* Stability of continental coastline in China since 1990[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(10): 1288-1293.]
- [24] 毋亭, 侯西勇. 国内外海岸线变化研究综述[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1-13. [Wu T, Hou X Y. Review of research on coastline changes around the world[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(4): 1-13.]
- [25] 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 X Y, Wu T, Wang Y D, *et al.* Methods and accuracy evaluation of coastline extraction from Chinese Mainland from multiple epochs since 1940s[J]. *Marine Science*, 2014, 38(11): 66-73.]
- [26] Hou X Y, Wu T, Hou W, *et al.* Characteristics of coastline changes in mainland China since the early 1940s[J]. *Science China Earth Sciences*, 2016, 59(9): 1791-1802.
- [27] 傅明珠, 孙萍, 孙霞, 等. 锦州湾浮游植物群落结构特征及其对环境变化的响应. 生态学报, 2014, 34(13): 3650-3660. [Fu M Z, Sun P, Sun X, *et al.* Phytoplankton community structure and its ecological responses to environmental changes in Jinzhou Bay, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(13): 3650-3660.]
- [28] 中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台. Landsat 系列数据[EB/OL]. (2016-08-09)[2017-06-25]. <http://www.gscloud.cn/>. [Geospatial Data Cloud Site, Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Remote Sensing Data of Landsat Series[EB/OL]. (2016-0809)[2017-06-25]. <http://www.gscloud.cn/>.]
- [29] 中国科学院遥感与数字地球研究所. SPOT 卫星系列数据[EB/OL]. (2017-09-20)[2017-10-15]. <http://eds.ceode.ac.cn/sjglb/dataservice.htm>. [Institute of Remote Sensing and Digital Earth Chinese Academy of Sciences. Remote Sensing Data of SPOT Series[EB/OL]. (2017-09-20) [2017-10-15]. <http://eds.ceode.ac.cn/sjglb/dataservice.htm>.]
- [30] 中国资源卫星应用中心. HJ-1CCD 系列数据[EB/OL]. (2017-06-13)[2017-07-21]. <http://www.cresda.com/CN/Satellite/3064.shtml>. [China Centre For Resources Satellite Data and Application. Remote Sensing Data of HJ-1CCD Series [EB/OL]. (2017-06-13) [2017-07-21]. <http://www.cresda.com/CN/Satellite/3064.shtml>.]
- [31] 国家质量技术监督局. 海洋学术语: 海洋地质学(GB/T18190-2000)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000. [General Administration of Quality Supervision. Oceanological Terminology: Marine Geology (GB/T18190-2000) [M]. Beijing: Standards Press of China, 2000.]
- [32] 国家海洋局908专项办公室. 海岛海岸带卫星遥感调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006. [State Oceanic Administration 908 Special Office. Technical Specification for Coastline Satellite Remote Sensing Survey[M]. Beijing: Maritime Press, 2006.]
- [33] 冯永玖, 韩震. 海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 441-446. [Feng Y J, Han Z. Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(3): 441-446.]
- [34] 国务院. 国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知. [EB/OL]. (2018-07-25) [2018-07-31]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content_5309058.htm. [State Council. Circular of the State Council on Strengthening the Protection of Coastal Wetlands and Strictly Controlling the Reclamation. [EB/OL]. (2018-07-25) [2018-07-31]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content_5309058.htm.]

Dynamic evolution analysis of reclamation in Jinzhou Bay based on multi source remote sensing images

KE Lina^{1,2}, CAO Jun¹, WU Hongqing¹, WANG Quanming³, WANG Hui^{1,2}

(1. City Environment Institute of Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. Center for Study of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

3. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: Reclamation not only increases the land resources, but also has a profound impact on the ecological environment. It is essential to monitor the land reclamation. Based on Landsat TM image data in 1991, 1995 and 2000, SPOT satellite image in 2005, HJ-1 CCD in 2010 and SPOT remote sensing image data in 2014, a method of shoreline extraction based on CA was constructed. The reclamation distribution, intensity index, centroid coordinates and their utilization in the sea area near Jinzhou bay were analyzed in depth. The research results show that: (1) The coastline near Jinzhou bay has increased by 20.07 km for last 23 years, in particular between 1991—1995 and 2005—2010; (2) The displacement of coastline in Beigang town, Niuyingzi and west Haikou in the central part of Jinzhou bay is relatively large, and the reclamation intensity is relatively high; (3) The newly increased reclamation area in Jinzhou bay is 50.67 km², and its utilization type is mainly urban construction. The area of port construction and reclamation has steadily increased, the area of salt industry is reduced, and the proportion of unused land is increasing year by year; (4) The center of gravity of the reclamation in Jinzhou Bay is generally shifted to the northeast, with the sea near the west of Haikou as the center. A large number of new port construction site was created. Therefore, we should strengthen the ecological transformation and protection of the shoreline that has been filled, standardize the human development activities, reduce the ecosystem pressure in the coastal zone of this region, and further carry out the ecological environment assessment of the gulf at the same time to provide theoretical guidance and scientific basis for the sustainable development of the region.

Key words: reclamation; coastline; multi-source remote sensing image; RS/GIS; dynamic evolution; Jinzhou Bay