



基于 Landsat 时间序列影像的山东荣成海岸线变迁研究

孙萌鑫^{1,2}, 姜兆君^{1,2*}, 姜浩³, 王玉莲¹, 邵棋藩^{1,2}, 姜永清^{1,2}, 邢晓平^{1,2}, 宋彬^{1,2}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队(山东省第六地质矿产勘查院), 山东 威海 264209; 2. 山东省数据开放创新应用实验室, 山东 威海 264209; 3. 北京农业职业学院 北京 102442)

摘要:海岸线作为海洋与陆地的生态交错带,具有极其重要的生态功能和资源价值,其动态变化直接关系到海洋经济绿色发展、海洋生态安全和沿海区域民生福祉,是海洋经济发展的“生命线”。本文利用 2000—2022 年多期 Landsat 卫星遥感影像,结合遥感解译和 GIS 空间分析技术,对荣成海岸线的时空变迁进行了系统分析,研究结果表明:2000—2022 年荣成海岸线总长度呈现增长趋势,共增加了 53.81 km,其中人工岸线增长显著,而基岩岸线和砂质岸线则表现为先减少后趋于稳定的变化趋势;2000—2005 年是人工岸线增长最快的时期,共增加了 100.94 km,主要受港口建设、养殖业扩张等人类活动驱动的影响,人工岸线的快速增长不仅改变了海岸带的自然形态,也影响着沿海生态系统,随着生态环境保护意识的增强,荣成海岸带的开发活动逐渐趋于理性,岸线变化速度有所放缓。基于研究结果,建议未来应进一步加强海岸带变化的动态监测,优化海岸带空间布局,促进海岸带开发利用更加集约高效,使荣成珍贵的海岸资源成为“自由呼吸·自在荣成”重要支撑。

关键词:Landsat 影像;海岸线变迁;遥感解译;山东荣成

中图分类号:TP79

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.06.010

0 引言

海岸带的海陆交互相对频繁,人类活动对其影响甚为巨大^[1-2]。海岸线变迁是海岸带研究的基础内容之一,同时也是海岸带研究调查的重点^[3]。宋昊等^[4]使用增强归一化差异水体指数对水体富营养化进行研究,熊珂等^[5]利用归一化差异水体指数进行了水体面积变化监测,李浩等^[6]对 1973—2023 年威海湾海岸线变迁及驱动力予以研究分析,孙晓林等^[7]对 1988—2017 年威海市海岸线时空变化及其驱动力进行了研究,李梅娜等^[8]对 1990—2013 年威海海岸线变迁开展了分析,王茜^[9]对 1975—2020 年威海市城市化影像的海湾空间资源时空演变予以研究,对但均对荣成市海岸线变迁研究甚少,因此本文采用 2000、2005、2010、2015、2022 年多期遥感影像数据,对荣成海岸线变迁开展研究,分析荣成 20 年

来荣成海岸线变迁情况,为荣成市海岸带的管理及开发利用提供数据参考。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

该研究区位于山东省威海荣成市,西、西南与文登市接壤,西北与环翠区相邻,北、东、南三面濒临黄海,东与韩国隔海相望。研究区海岸线长 491.9 km,海岸地貌和底质类型复杂多样,海岸线蜿蜒曲折,岬湾交错,岩礁星罗棋布,浅海滩涂面积广阔,水产资源丰富,研究区位置见图 1。

研究区南北高、中间低,呈马鞍形,地势整体由西北向东南倾斜。在地质演化史上,该区自太古—元古代以来长期处于缓慢上升状态而未接受显著沉积,中生代印支期和燕山晚期以来,陆台活化上升,

收稿日期:2025-03-26;修订日期:2025-05-06;编辑:陶卫卫

基金项目:省地质勘查项目,山东省威海市荣成海岸带综合地质调查(鲁勘字[2022]46号)

作者简介:孙萌鑫(1990—),男,山东栖霞人,工程师,主要从事摄影测量与遥感、矿山测量等工作;E-mail:1078570048@qq.com

*通信作者:姜兆君(1976—),男,山东烟台人,主要从事测绘工程等工作;E-mail:lhtcyjy@126.com

岩浆活动加剧,侵蚀作用强烈,随后趋于稳定,陆台经历了长期剥蚀,特别是第四纪以来的风化、剥蚀和搬运堆积作用,各种营力对其进一步雕塑,形成当今的地貌^[10-11]。因研究区三面环海,海洋性气候特点

突出,表现为四季分明,春冷、夏凉、秋温、冬暖。这种气候特点对研究区的生态环境和生物多样性产生了重要影响,也为该区域的海洋资源开发和利用提供了有利条件。



图 1 研究区位置图

1.2 数据源

海岸带地质环境解译通常采用多光谱、多时相、高分辨率全色卫星数据,目前常用的卫星遥感影像数据源有 Landsat、SPOT、QUICKBIRD、IKONOS、ASTER、ALOS、北京一号小卫星、高分系列卫星、中巴资源卫星等^[12-17]。Landsat 系列卫星自 1972 年发射以来,至今已发射 9 颗卫星,广泛应用于地下矿藏、海洋资源和地下水资源的调查,以及自然植物的生长和地貌研究等领域^[18-21]。我国的高分系列卫星于 2013 年发射,现已发射 7 颗基础系列卫星,其影像数据在国土资源勘查、环境监测与保护、城市规划等领域发挥了重要作用^[22-25]。由于早期米级和亚米级的高分辨率遥感影像数据相对较少,且本次研究时间跨度相对较大,单颗卫星数据很难满足

研究需求,因此,本研究使用 Landsat 系列卫星影像数据开展荣成市海岸线变迁研究。具体使用的遥感影像数据见表 1。

表 1 使用的遥感影像数据一览表

遥感平台	成像时间	波段	空间分辨率/m
Landsat 7 ETM+	2000. 6	1、2、3、4、5、6、7	30
Landsat 7 ETM+	2000. 6	8	15
Landsat 7 ETM+	2005. 5	1、2、3、4、5、6、7	30
Landsat 7 ETM+	2005. 5	8	15
Landsat 7 ETM+	2010. 4	1、2、3、4、5、6、7	30
Landsat 7 ETM+	2010. 4	8	15
Landsat 8 OLI	2015. 4	1、2、3、4、5、6、7、9、10、11	30
Landsat 8 OLI	2015. 4	8	15
Landsat 8 OLI	2022. 5	1、2、3、4、5、6、7、9、10、11	30
Landsat 8 OLI	2022. 5	8	15

2 数据处理

2.1 数据预处理

数据预处理主要包括辐射定标、大气校正、正射校正以及影像融合与镶嵌 4 个关键步骤。辐射定标是将不同时相、不同传感器获取的影像亮度灰度值转换为绝对辐射亮度的过程,其核心目的是消除传感器自身误差,确保获取准确的辐射值。大气校正则是通过消除大气因素引起的辐射误差,反演出地物真实的地表反射率,从而提高数据的准确性。正射校正旨在消除 Landsat 原始影像中因光学系统畸变、姿态变化和地球曲率等因素导致的数据畸变和失真,保证影像的空间几何精度。影像融合与镶嵌是将多幅不同类型和分辨率的影像进行整合,生成一幅综合影像,从而提取更多有效信息,大幅提高数据的使用效率。本次使用 ENVI5.3 和 ArcMap10.8 两种软件相结合的方式,对 Landsat 影像数据进行预处理。

2.2 海岸线专题信息提取

目前,遥感影像海岸线专题信息提取主要采用目视解译和自动解译 2 种方法。传统的目视解译通过手工透图作业实现,虽然方法简单直观,但存在较大的人为误差。自动解译则是将海岸线作为影像的边缘特征进行检测,以提取影像海岸线。随着计算机技术的快速发展,自动解译技术取得了显著进步,各类新算法层出不穷,逐渐成为当前海岸线解译的主流方向。本次使用 ArcMap10.8 对 Landsat 影像进行岸线信息提取。

归一化差异水体指数(MNDWI)能够结合绿色波段和短红外波段增强水体与背景地物(如建筑物、植被、裸土)的光谱差异,同时对含沙量较高的浑浊水体也有一定识别能力,能够有效减少城市区和植被的错误分类,提高海岸线提取精度。因归一化差异水体指数具有上述特点,所以本文采用归一化差异水体指数提取海岸线,根据文献^[5],归一化差异水体指数公式见式(1):

$$MNDWI = \frac{\rho(\text{Green}) - \rho(\text{MIR})}{\rho(\text{Green}) + \rho(\text{MIR})} \quad (1)$$

其中: $\rho(\text{Green})$ 为绿波波段,对应 Landsat 影像的第 2 个波段; $\rho(\text{MIR})$ 为中红外波段,对应 Landsat 影像的第 5 个波段。

3 变迁结果

3.1 海岸线类型

我国近海海洋综合调查与评价专项中设置了海岸带卫星遥感调查任务,该任务将海岸线类型划分为人工岸线、基岩岸线、砂质岸线、粉砂淤泥质岸线和生物岸线五类。本研究基于 Landsat 影像,分析了各种海岸类型在影像中的构筑特征,从颜色、纹理、地物邻接关系等方面建立海岸类型的遥感解译标志,提出研究区所包含的岸线(主要是人工岸线、基岩岸线、砂质岸线)的提取原则,最后对提取结果进行详细分析。

3.1.1 人工岸线

人工岸线是由人工建筑物形成的海岸线,其主要由混凝土等材料建造的水工建筑构成,旨在阻挡海水。在设计上,这些建筑物需确保在大潮期间海水不会漫过堤岸。研究区内的人工岸线分布广泛,类型多样,主要包括防潮堤、防波堤、凸堤、码头、养殖区、道路和盐田等。这些人工建筑物往往具有规则的形状,取其外沿作为海岸线,在遥感影像上可以清晰的识别(图 2)。



图 2 人工岸线遥感影像特征照片

3.1.2 基岩岸线

基岩海岸分布于易受波浪冲蚀和沿岸流冲刷的区域,其典型地貌特征是突出的海岬和深入陆地的海湾,水边线大多呈不规则锯齿状,岸外广泛遍布礁岩、巨石、海蚀平台、海蚀崖。基岩海岸有明显的起伏状态和岩石构造特征,近岸水域较深,在遥感影像上颜色呈现深色调,破波带呈亮白色,近岸礁石呈灰白色,分布散乱且亮度不均,纹理较为粗糙。在遥感解译中,基岩岸线的位置应在明显的水陆分界线上。

具体而言,礁石、破波带等特征位于岸线的向海一侧,而植被、裸岩和建筑物等地物则位于岸线向陆一侧。海岸植被根据不同的长势呈浅红色或暗红色,裸岩则表现为灰白色。基岩海岸与海水交界处具有明显的边界特征,其解译标志体现在海岬角以及直立陡崖与海水的交界部位(图 3)。

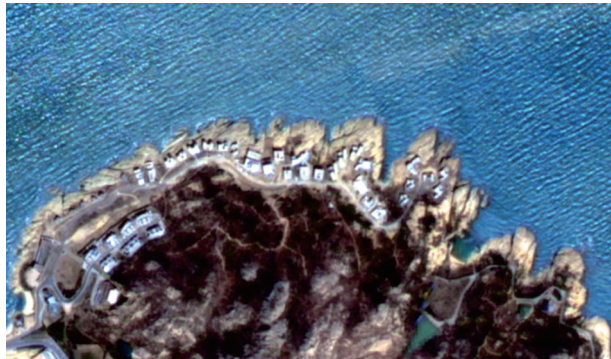


图 3 基岩岸线遥感影像特征照片

3.1.3 砂质岸线

砂质岸线位于砂质海岸上,砂质海岸常分为一般砂质海岸和具有陡崖的砂质海岸两类。研究区的砂质岸线分布广泛,特征明显,典型的砂质海岸通常呈现较为平直的地貌特征,其海滩上部因受大潮潮水搬运作用,常常堆积成一条与岸平行的脊状砂质沉积——滩脊。滩脊的位置即为海岸线的实际位置,一般在干燥的沙滩下限处,堆积成一条痕迹线。从遥感影像特征来看,干燥滩面由于具有较高的光谱反射率,在影像上呈现为明亮的白色区域,而滩脊痕迹线处因堆积有植物碎屑及其他杂物,其亮度相对较低,海水的光谱反射率较低,含水量较高的沙滩光谱反射率也较低,在影像上表现为较暗的色调。基于遥感影像解译特征,砂质岸线的准确位置应取在滩脊痕迹线上限处(图 4)。

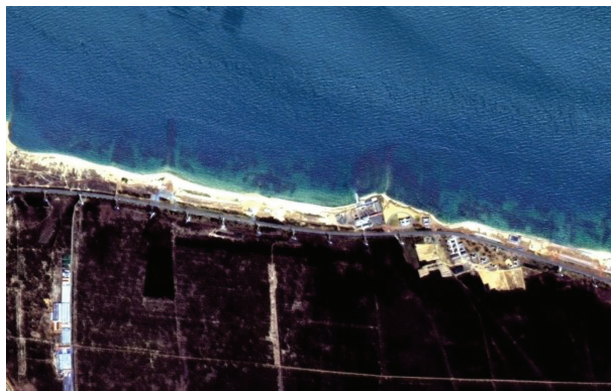


图 4 砂质岸线遥感影像特征照片

需要特别说明的是,由于潮汐作用的影响,沙滩区域会出现周期性淹没现象,当海水退去时,曾被淹没的沙滩区域在影像上呈现较低的亮度值,而未被淹没的区域则保持较高的亮度特征。从海岸线定义的角度而言,海岸线应是水体与陆地的分界线,而非仅区分砂质与非砂质地物。

3.2 海岸线提取

本文基于 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2022 年 5 个时相的 Landsat 遥感影像数据,对海岸线进行瞬时水边线进行提取。其中 2000 年影像显示荣成海岸线形态相对自然,潟湖、海湾等典型地貌特征显著,影像中发现局部海湾出现港口建设、人工养殖区围堰的现象,岸线开始呈现局部规则化趋势。2000—2022 年间荣成海岸线总长度增加 53.81 km,年均变化速率仅为 2.45 km。

3.3 海岸线类型解译

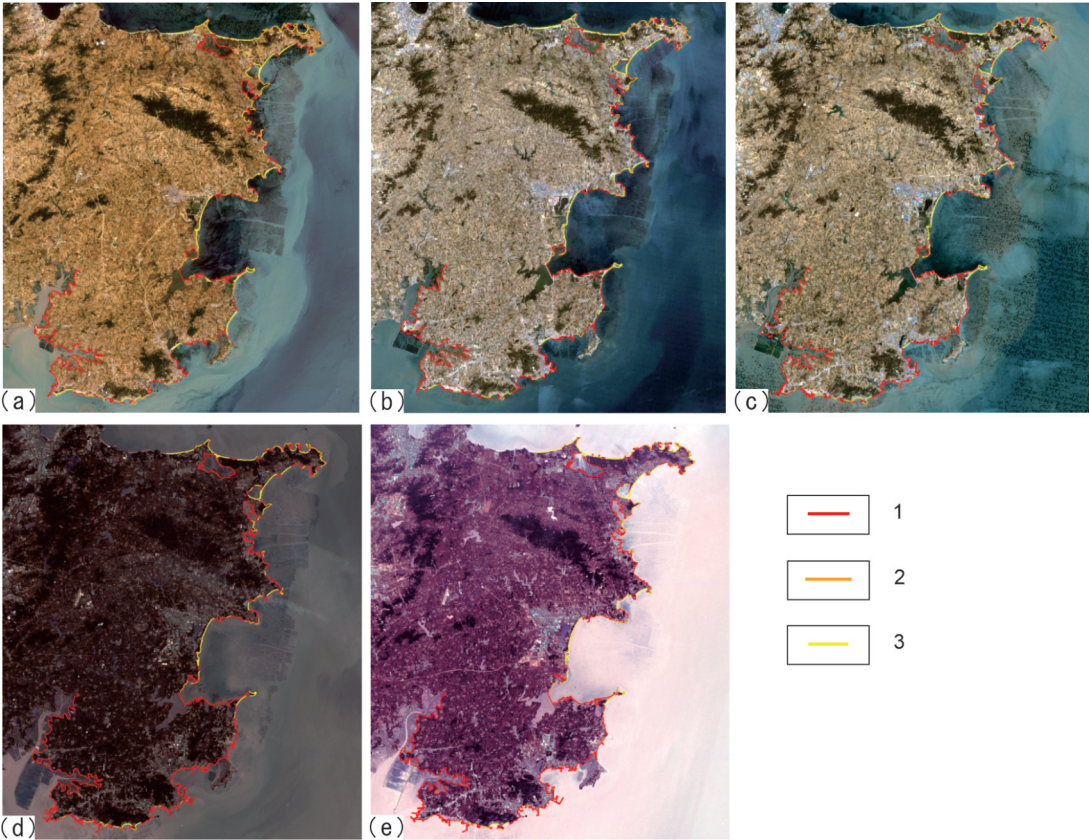
本文基于上述岸线类型识别方法,对荣成市海岸线进行了系统解译与分类。通过综合分析多源遥感影像数据,结合实地验证结果,准确识别了研究区域内的各类岸线类型,包括基岩岸线、砂质岸线以及人工岸线等,这些成果清晰地反映了荣成海岸线在时间序列上的空间分布特征及其动态变化规律,不同年度岸线类型解译见图 5。

4 变迁分析

2000—2022 年间,研究区域海岸线发生了显著变化,其中人工海岸线的变迁尤为突出,整体呈现持续增长态势。具体而言,2000—2005 年间,海岸线变化主要表现为人工岸线的扩张,主要表现在养殖区的变化和码头的兴建等。通过遥感影像分析可以清晰观察到,部分原有陆地已转变为海水养殖区,这些变化反映了人类活动对海岸带环境的显著影响(图 6)。

2005—2010 年间,海岸线持续发生变化,人类工程活动对海岸线演变影响显著,主要表现在人工建筑物的持续扩建。以王家湾北部区域为例,该时期新建了两座大型港口码头,这一现象充分反映了人类活动对海岸带环境的显著影响,同时也体现了该区域海洋经济发展的强劲势头(图 7)。

2010—2015 年间,研究区域海岸线发生变化的主要因素仍为人类工程活动的影响,主要表现在人



a—2000 年;b—2005 年;c—2010 年;d—2015 年;e—2022 年;1—人工岸线;2—基岩岸线;3—砂质岸线。

图 5 2000—2022 年荣成海岸线类型图

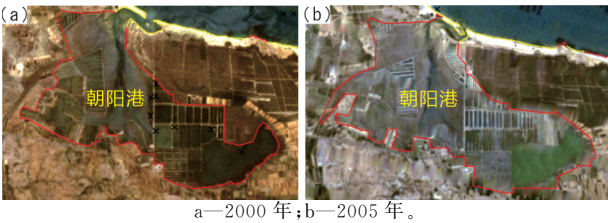


图 6 2000—2005 年 Landsat 影像海岸线变迁信息特征图

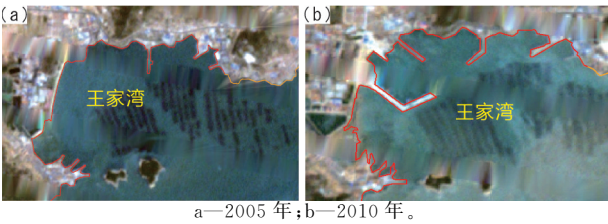


图 7 2005—2010 年 Landsat 影像海岸线变迁信息特征图

工建筑物的持续扩建上,例如联络湾北部码头的规模不断扩大,这些人为干预活动不仅改变了海岸线的自然形态,也对周边海洋生态环境产生了深远影响(图 8)。

2015—2022 年间,研究区域海岸线持续发生明
细变化,其中人类工程活动是主要驱动因素。与
2015 年相比,海岸线变化幅度呈现明显下降趋势。

通过遥感影像分析发现,海岸线变化最突出的特征
是人工建筑物的持续扩建,特别是在靖海湾东部区
域,码头等人工设施的建设尤为显著,这一变化趋势
反映了人类活动对海岸带环境的持续影响,同时也
表明海岸线变化速率趋于平缓(图 9)。

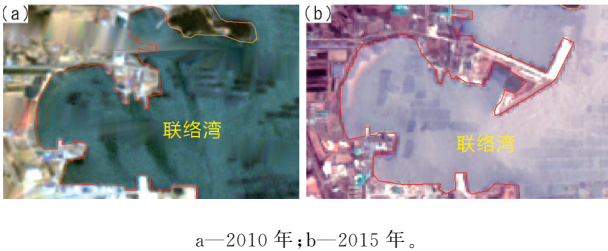


图 8 2010—2015 年 Landsat 影像海岸线变迁信息特征图

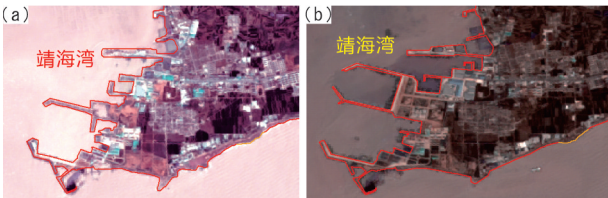


图 9 2015—2022 年 Landsat 影像海岸线变迁信息特征图

总体而言,2000—2022 年荣成海岸线变化相对显著,主要表现为人工岸线的变迁。这一变化主要受人类活动驱动,其中养殖区边界扩张和人工建筑的扩建是岸线变化的主要因素。从空间分布来看,海岸线变化具有明显的区域差异性,以荣成东南部和南部变化最为明显,而北部变化相对不明显,本文实测的详细变迁数据见表 2。

表 2 荣成市海岸线变迁统计表(2000—2022 年)

年份	海岸线总	人工海岸	基岩海岸	砂质海岸
	长度/km	长度/km	长度/km	长度/km
2000 年	416.77	249.93	83.94	82.90
2005 年	422.93	282.20	67.13	73.60
2010 年	429.57	309.20	55.18	65.19
2015 年	453.43	333.66	54.67	65.10
2022 年	470.58	350.87	54.34	65.37

注:未包含海岛、岛礁数据。

根据表 2 的数据分析,海岸线变迁最明显的为人工海岸线的增加,港口码头的修建人为地改变了海岸线现状,增加了海岸线长度,这一变化趋势反映了人类活动对海岸带环境的显著影响,同时也为海岸带综合管理提供了重要参考。

5 结 语

本研究选用 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2022 年多期 Landsat 遥感影像对荣成市海岸线进行解译,根据对 2000—2022 年不同年度提取的海岸线解译分析得出结论如下:

(1) 2000—2022 年荣成海岸线共增加 53.81 km,其中人工岸线增长 100.94 km,其增长整体呈放缓趋势,增速在 2000—2005 年最大,基岩岸线和砂质岸线整体先减少后趋于稳定,分别减少 29.60 km 和 17.53 km。

(2) 研究通过 2022 年度时间序列分析,揭示了荣成海岸线从“快速开发”到“保护修复”的完整转型轨迹。这期间的人类活动(如养殖区扩展和港口码头建设)是海岸线变化的主要驱动力,在空间分布上主要体现在荣成东南部和南部区域。

(3) 荣成市早期人工岸线扩张阶段缺乏生态补偿机制,导致自然岸线损失不可逆。建议荣成市在未来的海岸带管理中,加强对人工岸线扩张的管控和规划,确保海岸带资源的可持续利用。同时应重视海岸带生态环境的保护,减少人类活动对自然海岸线的负面影响。

参考文献:

[1] 蒋科迪,殷勇,贾培红,等. 基于遥感影像的陵水海岸带调查研究[J]. 测绘地理信息,2021,46(S1):65-70.

[2] 高雷. 高分辨率遥感支持下的粤东海岸带调查与养殖开发变化分析[D]. 青岛:山东科技大学,2009.

[3] 关焯强,李君益,谢玲玲,等. 1973—2023 年湛江湾海岸线变迁分析[J]. 热带地理,2024,44(11):2025-2038.

[4] 宋昊,潘鑫,谢文英,等. 基于修正的增强归一化差异水体指数的富营养化水体信息提取研究[J]. 湖泊科学,2025,37(2):378-389.

[5] 熊珂,常云鹏,关键. 基于归一化差异水体指数的水体面积变化监测[J]. 中南林业调查规划,2024,43(2):54-57.

[6] 李浩,钟振楠,刘志宁,等. 1973—2023 年威海湾海岸线变迁及驱动力分析[J]. 山东国土资源,2024,40(9):43-49.

[7] 孙晓林,吴孟泉,田佳慧,等. 近 30 年威海市海岸线时空变化及其驱动力[J]. 应用海洋学学报,2019,38(2):206-213.

[8] 李梅娜,陈小英,刘金庆,等. 基于遥感的威海岸线变迁分析[J]. 海洋地质与第四纪地质,2016,36(6):79-84.

[9] 王茜. 城市化影响下海湾空间资源时空演变研究[D]. 上海:上海海洋大学,2023.

[10] 许鑫. 荣成市海岸带景观格局动态变化与预测研究[D]. 济南:山东大学,2018.

[11] 庞宇峰. 荣成市海水入侵监测及宏观态势预测模拟[D]. 济南:济南大学,2014.

[12] 汪翡翠,杨朋,施佩敬,等. 基于 Landsat OLI 影像的河北省 2019 年海岸线现状[J]. 华北地质,2021,44(4):35-39.

[13] 陶明刚. Landsat-TM 遥感影像岸线变迁解译研究:以九龙江河口地区为例[J]. 水文地质工程地质,2006(1):107-110.

[14] LIU Y C, XIAO X M, LI J L, et al. Tracking changes in coastal land cover in the Yellow Sea, East Asia, using Sentinel-1 and Sentinel-2 time-series images and Google Earth Engine[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2023,196:429-444.

[15] 李瑞. 芝罘湾海岸工程的动力地貌效应[D]. 烟台:鲁东大学,2024.

[16] 高二涛,李淑娴,李淑瑾,等. 基于多源遥感的 1987—2021 年广西海岸线变迁分析[J]. 海洋测绘,2024,44(1):68-72.

[17] 王江波,陈书润,苟爱萍. 1988 年以来深圳市大陆海岸线时空演化特征[J]. 海洋地质前沿,2023,39(11):26-35.

[18] 李亨健,张杰,胡晓丹,等. 基于遥感的丁字湾地区土地利用时空变化分析及地区生态修复建议[J]. 山东国土资源,2021,37(6):72-78.

[19] 保其兵,杨朋,周舟,等. 鄂西水月寺地区 Landsat8-OLI 遥感蚀变信息与地球化学奇异性异常信息融合应用[J]. 物探与化探,2024,48(5):1302-1312.

[20] 张现峰,刘乾忠,宫昌华,等. 基于历史卫星遥感影像对城区空间形态演变的研究:以山东省潍坊市为例[J]. 山东国土资源,2023,39(7):39-45.

[21] 廖超明,李宥儒,卢燕,等. 基于 Landsat 卫星数据的上林县土

地利用变化监测研究[J]. 农业与技术, 2025, 45(1): 76-81.

[22] 张金盈, 崔靛, 徐凤玲, 等. 海量国产高分辨率卫星影像优化处理研究[J]. 山东国土资源, 2020, 36(9): 65-69.

[23] 李阳, 关纯安, 刘浩, 等. 基于高分遥感影像和矢量数据的海域使用现状调查与分析: 以山东省管辖海域为例[J]. 山东国土资源, 2023, 39(6): 52-59.

[24] 黄德伦, 廉琦. 高分遥感影像在山区国土资源监测中的应用[J]. 大数据时代, 2024(5): 60-63.

[25] 杨少文, 杨志波. 基于高分遥感影像的城市道路提取算法研究[J]. 铁道勘察, 2024, 50(3): 57-63.

Study on the Changes of Rongcheng Coastline Based on Landsat Time Series Imagery

SUN Mengxin^{1,2}, JIANG Zhaojun^{1,2}, JIANG Hao³, WANG Yulian¹, SHAO Qifan^{1,2}, JIANG Yongqing^{1,2}, XING Xiaoping^{1,2}, SONG Bin^{1,2}

(1. No. 6 Geological Brigade of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources(No. 6 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources), Shandong Weihai 264209, China; 2. Shandong Province Data Open Innovation Application Laboratory, Shandong Weihai 264209, China; 3. Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China)

Abstract: As an ecotone between the ocean and land, coastline plays a crucial role in ecological functions and resource value. Its dynamic changes are directly linked to green development of marine economy, marine ecological security and the well-being of coastal communities. It is the "lifeline" of marine economic development. By using multi-temporal Landsat satellite remote sensing images, combining with remote sensing interpretation and GIS spatial analysis techniques, spatiotemporal changes of Rongcheng coastline from 2000 to 2022 have been systematically analyzed. It is revealed that the total length of Rongcheng coastline has increased 53.81km during this period. Artificial coastlines has expanded significantly, while bedrock and sandy coastlines initially has decreased before stabilizing. The period from 2000 to 2005 is the most rapid growth of artificial coastlines, with an increase of 100.94km. It is primarily driven by human activities, such as port construction and aquaculture expansion. This rapid growth has not only altered natural morphology of the coastal zone, but also profound impacts on the coastal ecosystem. Accompanying with increasing awareness of ecological and environmental protection, development activities in Rongcheng coastal zone have gradually become more rational, and the rate of coastline changes has slowed. It is recommended that dynamic monitoring of coastal zone changes should be strengthened, spatial layout of the coastal zone should be optimized, and more intensive and efficient development and utilization of coastal areas should be promoted. It will ensure that precious coastal resources in Rongcheng city will become a vital foundation for "Free Breathing • Comfortable Rongcheng".

Key words: Landsat image; coastline change; remote sensing interpretation; Rongcheng city in Shandong province