

湛江市白茅海砂质岸线 1987—2020 年变迁分析

冯岚^{1,2}, 孙省利^{1,2}, 张才学², 陈灏^{1,2}

(1. 广东海洋大学海洋资源与环境监测中心 湛江 524088; 2. 广东海洋大学化学与环境学院 湛江 524088)

摘要: 监测海岸线变迁对于保护和开发海岸带具有重要意义。文章以湛江市白茅海砂质海岸为研究对象, 以6个年份(1987年、1991年、2000年、2005年、2010年、2020年)的 Landsat 遥感影像作为数据源, 利用改进的归一化水体指数法(MNDWI)、迭代式阈值分割法提取瞬时水边线, 之后通过潮汐模型对其进行校正得到平均大潮高潮线, 运用数字岸线分析系统(DSAS)的统计模型对6个年份的平均大潮高潮线变迁情况进行定量分析。结果显示, 1987—2020年白茅海海岸线以 -4.28 m/年的年平均速率向陆侵蚀后退, 海岸线变化呈现较为明显的阶段性和区域性, 海岸线年平均侵蚀速率较快的时期为1987—1991年和2010—2020年, 分别为 -18.23 m/年和 -7.22 m/年; 侵蚀最严重的位置为白茅海旧灯塔附近, 部分岸段存在侵蚀和堆积两种现象, 整体上白茅海砂质岸线侵蚀等级为极高侵蚀, 亟须修复和保护。

关键词: 改进的归一化水体指数法; 迭代式阈值分割法; 白茅海; 砂质岸线; 数字岸线分析系统

中图分类号: P76

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2021)09-095-06

Analysis on the Changes of Sandy Coast of Zhanjiang Baimaohai from 1987 to 2020

FENG Lan^{1,2}, SUN Xingli^{1,2}, ZHANG Caixue², CHEN Hao^{1,2}

(1. Monitoring Center for Marine Resources and Environments, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. College of Chemistry and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: Monitoring the changes of the coastline is of great significance to the protection and development of the coastal zone. This paper took the sandy coast of Baimaohai in Zhanjiang City as the object, took Landsat remote sensing image of 6 years (1987, 1991, 2000, 2005, 2010, 2020) as the data source, and used the modified normalized difference water index (MNDWI) and iterative threshold segmentation extracted the instantaneous waterline, which was corrected through the tide model to obtain the mean high water spring. The statistical model of the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) quantitative analyzed the changes of the mean high water spring. The results showed that from 1987 to 2020, the Baimaohai coastline eroded at an average annual rate of -4.28 m/year, and the coastline change showed obvious phased and regional. The period was

收稿日期: 2020-10-14; 修订日期: 2021-08-23

基金项目: 海洋风电、海水淡化及脱硫生态监测与评估技术集成及应用(2014418018)。

作者简介: 冯岚, 硕士研究生, 研究方向为海域海岛的保护与开发

通信作者: 孙省利, 教授, 博士, 研究方向为海洋环境地球化学与生态修复

from 1987 to 1991(−18.23 m/year) and from 2010 to 2020(−7.22 m/year), when the average annual rate of change of the coastline was faster; the most severely eroded location was near the old lighthouse. There were two phenomena of erosion and accumulation on some position. Overall, the Baimaohai shoreline erosion level was extremely high, which was in urgent need of repair and protection.

Keywords: The modified normalized difference water index (MNDWI), Iterative threshold segmentation, Baimaohai, Sandy coast, DSAS

0 引言

独特的地理位置和组成成分使砂质海岸对外部环境有很高的灵敏性和区域差异性,自然环境和人类活动对砂质海岸的演化产生重要影响。据统计,中国 70%左右的砂质海岸线以及几乎所有开阔的淤泥质岸线均存在海岸侵蚀现象,海岸带地区侵蚀灾害已经严重影响附近居民的生命财产安全,对海岸线的动态监测已成为海岸带长期发展和环境保护的一项重要内容^[1-2]。

由于潮汐涨落和海水进退,海陆分界线在不断地迁移,准确确定连续几年的海岸线位置是定量和准确评估给定时期内海滩侵蚀或堆积的关键,这就需要海岸线的位置划分进行统一^[3]。中华人民共和国国家标准《海洋学术语:海洋地质学》给出的海岸线定义为多年平均高潮位时的海陆分界线^[4]。本研究以国标中对海岸线的定义为标准,基于多源遥感数据对多年海岸线的位置进行提取^[5-6]。

目前基于遥感图像提取海岸线的算法有自动解译和目视解译两种,海岸线的自动提取算法主要有边缘检测、阈值分割法、主动轮廓法和面向对象法^[7-8]。本研究在前人研究的基础上以多源遥感数据作为数据源,采用遥感解译和现场调查相结合的方法,利用改进的归一化水体指数法(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)、迭代式阈值法对白茅海砂质海岸的瞬时水边线进行提取,再用潮汐模型对瞬时水边线进行校正,得到平均大潮高潮海岸线,最后利用数字岸线分析系统(Digital Shoreline Analysis System, DSAS)的岸线端点变化速率(End Point Rate, EPR)、海岸线累计变化量(Shoreline Change Envelope, SCE)和岸线净变化量(Net Shoreline Movement, NSM)3 个统

计模型对 1987—2020 年白茅海砂质岸线的变迁情况进行定量分析^[9-10]。

1 研究区概况

本研究选择广东省湛江市白茅海旧灯塔附近岸段(20° 33′ 10.59″—20° 33′ 31.28″ N, 110° 29′ 15.46″—110° 29′ 23.29″ E)作为研究岸段,长度约 4 km,滩面宽约 1 km。湛江市徐闻县锦和镇白茅村白茅海位于中国大陆最南端,广东省西南部,地处北回归线以南的低纬地带,属亚热带海洋季风气候。多年平均气温 23.6℃,年平均降水量 1 417~1 802 mm,冬季盛行东北风,夏季盛行东南风,风速的季节性变化较明显,是受热带气旋影响最多的地区之一。海洋水文数据收集自白茅海北侧约 37 km 处的硃洲岛海洋站,研究区所在海域潮汐现象主要是太平洋潮波经巴士海峡和巴林塘海峡进入南海后形成,属于不正规半日潮。

2 数据来源与预处理

本研究数据来自中国科学院遥感与数字地球研究所和美国地质勘探局(USGS)下载的 Landsat 遥感影像系列、地理空间数据云获取的先进星载热辐射和反射仪全球数字高程模型(ASTER GDEM)30 m 分辨率数字高程数据,其他辅助数据包括“908”专项海岸成果和硃洲岛北港海洋站的历年潮汐数据。

获取到的 Landsat 原始数据为标准地形校正产品,卫星参数情况如表 1 所示,数据已经过系统辐射校正、地面控制点几何校正以及数据高程模型(DEM)地形校正的处理,像元精度控制在 0.3 个像元。为了消除影像成像过程中存在的几何畸变和辐射量失真现象,对原始数据进行校正增强处理。2013 年的 Landsat8 遥感影像中包含分辨率为 15 m

的 Pan 波段,通过格拉姆—施米特(Gram—Schmidt)多光谱融合法将 Pan 波段与多光谱波段进行融合,从而得到分辨率为 15 m 的影像;除波段融合外本研究采用的遥感信息增强处理还有对比度增强和空间域增强处理^[11]。

表 1 卫星参数				
成像时间	卫星/传感器	波段数 /条	地面分 辨率/m	云量 /%
1987 年 2 月 5 日	Landsat5/TM	7	30	1
1991 年 5 月 23 日	Landsat5/TM	7	30	3
2000 年 3 月 28 日	Landsat5/TM	7	30	2
2005 年 5 月 13 日	Landsat5/TM	7	30	0
2010 年 3 月 24 日	Landsat5/TM	7	30	5
2020 年 5 月 6 日	Landsat8/OIL	10	15	6.2

3 研究方法

3.1 岸线提取方法

首先利用 ENVI 软件对多期遥感影像进行预处理,使用改进的归一化水体指数法(MNDWI)^[12]进行多波段运算来增强影像中的水体信息,再利用 MATLAB 软件通过迭代式阈值分析法以灰度直方图信息为主导,用多个阈值将图像分级,将同质区域划分并提取出感兴趣的目标物体后进行二值化^[13],再将二值化后的图像在 ArcGIS 软件中进行边缘连续、矢量化、剔除多余斑块等处理,得到研究区的瞬时水边线^[14]。研究区地势平坦,受潮汐影响较大,得到的瞬时水边线须经过潮汐校正才能得到平均大潮高潮时的海岸线位置^[15],潮汐校正的原理如图 1 所示。瞬时水边线校正距离(L)计算公式为^[16-17]:

$$L=(H_2-H_1)/\tan(\theta)$$

式中: H_1 为瞬时水边线对应的瞬时潮高; H_2 为平均大潮高潮线对应的平均大潮高潮高; θ 为岸滩坡度; L 为海岸线潮汐校正距离^[16-17]。

利用 GDEMDEM 30 m 数据在 ArcGIS 软件中处理计算得到研究区海岸带的平均坡度为 1.48°,根据硇洲岛北港海洋站的历年潮汐数据得到白茅海多年年平均大潮高潮为 3.96 m,根据瞬时水边线校正公式计算得到历年瞬时水边线潮汐校正距离如

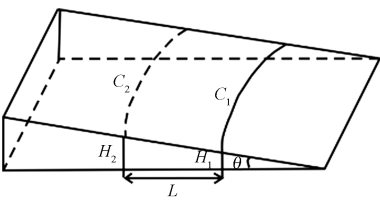


图 1 潮汐校正原理

注: C_1 为瞬时水边线; C_2 为平均大潮高潮线。

表 2 所示。

表 2 历年瞬时水边线校正距离			
成像日期	成像时刻	瞬时潮高/m	校正距离/m
1987 年 2 月 5 日	02:25:39	2.4	60.37
1991 年 5 月 23 日	02:27:50	1.2	106.81
2000 年 3 月 28 日	02:39:35	1.9	79.72
2005 年 5 月 13 日	02:52:32	2.1	71.98
2010 年 3 月 24 日	02:56:12	1.5	95.20
2020 年 5 月 6 日	03:04:41	0.9	118.42

3.2 海岸线变迁情况研究方法

本研究利用 ArcGIS Desktop 中的数字海岸线分析系统(DSAS)扩展插件对海岸线的变迁情况进行定量分析^[18]。首先建立假设基线,然后生成以 20 m 为间隔从南向北生成 201 个有效横断剖面,创建横断面特征类后利用不同的统计模型对海岸线的时空变化进行分析^[19]。为了与原始海岸线保有较好的弯曲度,本研究采用缓冲区的方法生成基线^[20],之后利用的统计模型为 DSAS 中 EPR、SCE 和 NSM 3 个参数,整篇文章从岸线变化距离测量和速率变化统计两个角度对白茅海海岸线的变迁情况进行分析。DSAS 统计模型的 3 个参数中 EPR 反映了每个横断剖面的年变化速率,表征某一时期内人类对其开发利用强度;SCE 统计了每个横断剖面离基线最近和最远的海岸线之间的距离,即为海岸线的最大变化范围;NSM 统计了时间序列上最近和最远的两期海岸线的净变化距离,以此来表征海岸线多年的净变化量^[21-23]。

4 岸线提取结果与分析

4.1 岸线提取精度验证

得到的白茅海历年海岸线如图 2 所示,为确保

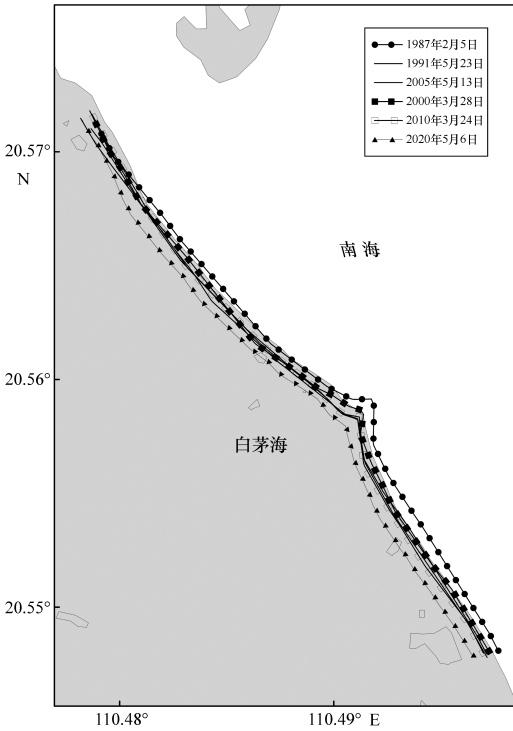


图2 不同年份白茅海海岸线

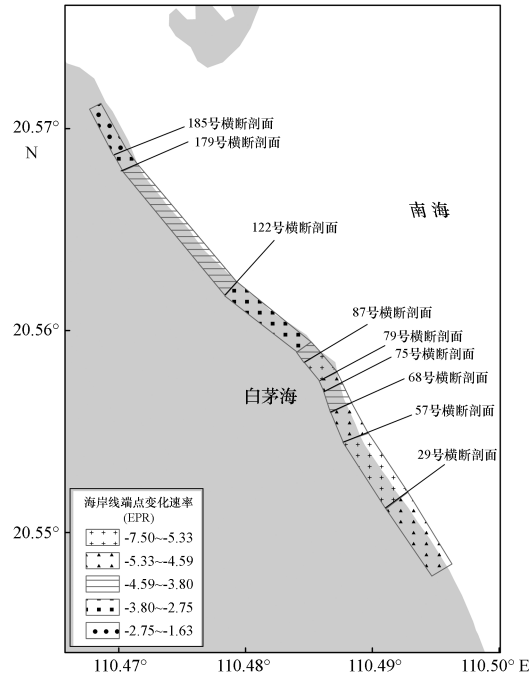


图3 白茅海岸线各横断面的EPR

生成横断面,经计算得出岸线偏差距离均值和均方根误差(RMSE)分别为 20.9 m 和 25.0 m。

4.2 岸线提取结果分析

对 EPR、SCE、NSM 的结果相关性检验,3 个参数在 0.01 级别具有显著相关性。1987—2020 年,白茅海海岸线以 -4.29 m/年 的年平均变化速率向陆侵蚀后退。由不同统计模型空间量化图可以看出(图 4—图 6),白茅海海岸线变迁呈现出较为明显的区域性和阶段性。1987—2020 年白茅海海岸线各横断面 EPR 均为负值(图 5),表明研究区岸段各横断面处均为侵蚀后退状态;79~87 号横断面年平均侵蚀速率较快,为 -7.08 m/年 ;189~201 号横断面处岸线年平均侵蚀速率较慢,为 -1.63 m/年 。

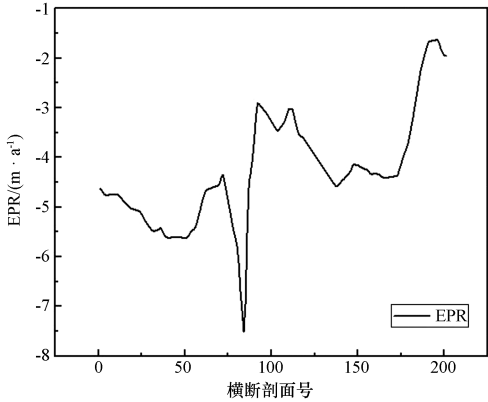


图4 白茅海岸线各横断面 EPR

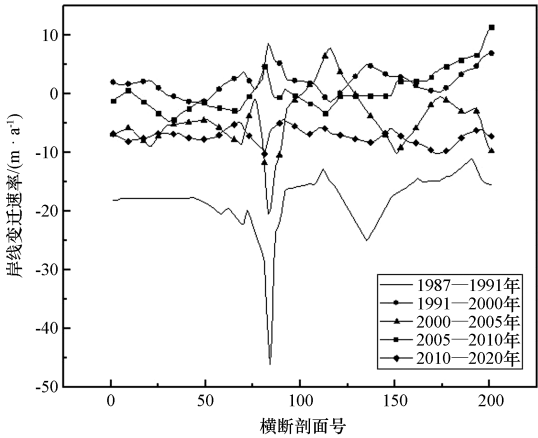


图5 不同时期白茅海各横断面 EPR

利用遥感影像提取的海岸线具有可信度,本研究以“908”专项修测岸线作为标准参考值,对 2005 年提取校正的海岸线进行精度验证^[11],以 20 m 为间距

1987—1991 年、1991—2000 年、2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2020 年 5 个时期白茅海海岸线年平均变化速率分别为 -18.23 m/年 、

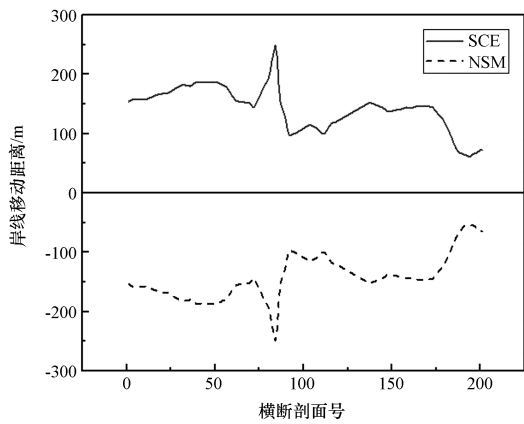


图 6 白茅海岸线各横断剖面 SCE、NSM

2.06 m/年、-4.31 m/年、0.31 m/年、-7.22 m/年, 1987—1991 年和 2010—2020 年两个时期白茅海海岸线年侵蚀速率较高, 1991—2000 年和 2005—2010 年两个时期白茅海海岸线出现堆积现象。

根据各剖面 SCE、NSM 折线图(图 6), 1987—2020 年白茅海海岸线出现明显的变化, 海岸线变迁距离最大达 249.46 m; NSM 净变化量为负, 再次表明白茅海海岸线整体向陆侵蚀后退。综合 SCE 和 NSM 数据, 可以看出在 190~202 号横断剖面, NSM 绝对值小于 SCE, 表明该处岸段存在侵蚀和堆积现象。

白茅海海岸线在不同时期有不同的变迁特征, 整体上海岸线表现出显著的侵蚀后退现象, 且不同横断剖面存在明显的差异, 结合现场调查情况发现岸线变化最为剧烈的区域为白茅海旧灯塔附近的岬湾处。根据 EPR 这一统计值, 将海岸线侵蚀/堆积情况分成 7 类^[22], 建立海岸线侵蚀/堆积等级表(表 3), 研究区岸段属于极高侵蚀状态, 亟须修复和保护。

表 3 海岸线侵蚀/堆积等级

类别	海岸线端点变化速率(EPR)/(m·a ⁻¹)	海岸线等级
1	(-∞, -2)	极高侵蚀
2	[-2, -1)	高度侵蚀
3	[-1, 0)	中度侵蚀
4	0	稳定
5	(0, 1]	中度堆积
6	(1, 2]	高度堆积
7	(2, +∞)	极高堆积

4.3 岸线变迁原因分析

白茅海海岸线的变迁受到自然和人为多种因素的影响, 从海岸的物质构成上来说, 通过岸滩沉积物采样分析, 白茅海海岸带主要是由中砂和细砂构成的海岸, 容易受到风和波浪的作用。旧灯塔附近有一处岬角, 滩外具有数百亩的岩礁, 起着减浪、消浪的作用, 对后方海滩和附近岸滩的水动力环境产生影响^[24]。

从全球变化的背景来说, 白茅海海岸带虽然面对广阔的南海海域, 受海浪侵蚀、海平面上升的作用显著, 所处的雷州半岛三面环海, 与多数过境热带气旋路线正交, 是受热带气旋影响最多和最严重的地区之一, 据统计每年登陆或影响雷州半岛的台风平均为 3.93 次^[25], 风暴潮每增加一次, 海岸侵蚀加宽 0.5 m^[26]。根据自然资源部海洋预警监测司《2019 年中国海平面公报》结果显示, 1980—2019 年, 南海沿海海平面上升速率为 3.5 mm/年, 2019 年, 南海沿海海平面较常年高 77 mm, 未来 30 年南海沿海海平面将上升 50~180 mm, 极大增强了海岸的侵蚀作用^[27]。改革开放以来, 为了发展沿海经济, 白茅海海岸带地区进行大规模开发, 20 世纪 80—90 年代初期白茅海海岸虾池、盐池大规模出现, 白茅村东南靠海部分和东北部, 养殖虾塘密布, 基本上是占用了防风林建立起来的, 虾塘排放废水对海岸冲刷切割, 虾塘养殖的大规模开发是造成 1987—1991 年白茅海海岸带大幅度侵蚀后退重要原因。

2009 年至今徐闻已拥有 16 个风电项目, 遍布该县沿海乡镇。2017 年 11 月 10 日广东粤电湛江外罗海上风电项目工程核准, 12 月 28 日项目开工, 到 2019 年年底, 已有 36 台 5.5 MW 风机, 1 座 220 kV 海上升压站和陆上集控中心投入使用, 涉海面积约 92 km², 场址最近端距离锦和镇陆岸 20 km, 最远端距离陆岸 35 km。风电场建立在带来新能源的同时, 也会对所在海域的水动力环境、风要素等产生影响^[28], 也是造成岸滩变迁的重要因素。

5 结论

(1) 1987—2020 年, 白茅海海岸线以 -4.29 m/年的年平均变化速率向陆侵蚀后退。

(2) 1987—1991 年、1991—2000 年、2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2020 年白茅海海岸线年平均变化速率分别为 -18.23 m/年 、 2.06 m/年 、 -4.31 m/年 、 0.31 m/年 、 -7.22 m/年 。

(3) 1987—2020 年白茅海海岸线变迁距离最大为 249.46 m ；NSM 净变化量为负。190~202 号横断剖面处岸段存在侵蚀和堆积现象。

(4) 根据现场调查岸线变化最为剧烈的区域为白茅海旧灯塔附近的岬湾处，部分岸段存在侵蚀和堆积两种现象，白茅海砂质岸线侵蚀等级为极高侵蚀，亟须修复和保护。

参考文献

[1] 李震,雷怀彦. 中国砂质海岸分布特征与存在问题[J]. 海洋地质动态,2006, 22(6): 1—4.

[2] 范晓婷. 我国海岸线现状及其保护建议[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(1): 28—32.

[3] CHEN W, CHANG H. Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science,2009, 84(1): 54—60.

[4] 国家质量技术监督局.GB/T 18190—2000 海洋学术语:海洋地质学[S].北京:中国标准出版社,2000.

[5] ALESHEIKH A A, GHORBANALI A, NOURI N. Coastline change detection using remote sensing [J]. International Journal of Environmental Science & Technology,2007, 4(1): 61—66.

[6] 许家琨,刘雁春,许希启,等. 平均大潮高潮面的科学定位和现实描述[J]. 海洋测绘,2007, 11(6): 19—24.

[7] 郭碧云,潘磊剑, Mantravadi. Venkata Subrahmanyam. 基于遥感图像增强的海岸线提取方法[J]. 海洋开发与管理,2020, 37(7): 42—44.

[8] 申家双,翟京生,郭海涛. 海岸线提取技术研究[J]. 海洋测绘, 2009, 29(6): 74—77.

[9] BOUCHAHMA M, YAN W. Monitoring shoreline change on Djerba Island using GIS and multi—temporal satellite data[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2014, 7(9): 3705—3713.

[10] NANDI S, GHOSH M, KUNDU A, et al. Shoreline shifting and its prediction using remote sensing and GIS techniques: a case study of Sagar Island, West Bengal (India)[J]. Journal of Coastal Conservation,2016, 20(1):61—80.

[11] 王李娟,牛铮,赵德刚,等. 基于 ETM 遥感影像的海岸线提取与验证研究[J]. 遥感技术与应用,2010, 25(2):235—239.

[12] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报,2005, 9(5): 589—595.

[13] 汪丹平,唐勇. 基于直方图的迭代式自动阈值分割技术研究[J]. 软件导刊,2011, 10(8): 32—33.

[14] 张旭凯,张霞,杨邦会,等. 结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取[J]. 国土资源遥感,2013, 25(4): 91—97.

[15] 杨丹,赵海滨,龙哲. MATLAB 图像处理实例详解[M]. 北京:清华大学出版社,2013: 484.

[16] CONG H V, 田中仁,三戸部佑太,等. Google Earthを用いた汀線判読のための潮位補正手法[J]. 土木学会論文集 B3(海洋開発),2016, 72(2): 61—66.

[17] 孙孟昊,蔡玉林,顾晓鹤,等. 基于潮汐规律修正的海岸线遥感监测[J]. 遥感信息,2019, 34(6): 105—112.

[18] THIELER E R, HIMMELSTOSS E A, ZICHICHI J L, et al. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change [R]. USGS Geological Survey, 2009.

[19] DOLAN R, FENSTER M S, HOLME S J. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion [J]. Journal of Coastal Research,1991, 7(3): 723—744.

[20] ALBUQUERQUE M, ESPINOZA J, TEIXEIRA P, et al. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches[J]. Journal of Coastal Research, 2013, 65(2): 1710—1714.

[21] 吴晨曦,刘世杰,田一翔,等. 基于多源遥感数据的南极三大冰架前端变化分析[J]. 地球科学进展,2016, 31(2): 206—212.

[22] KARIM N, WAEI E M, HASSAN F, et al. Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt[J]. Marine Georesources & Geotechnology,2019, 37(1): 1—15.

[23] OYEDOTUN T D T. Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis[J]. Geomorphological Techniques (Online Edition), 2014,3(2): 1—12.

[24] 王文介. 粤东锯齿状海岸弧形砂质湾滩的发育[J]. 热带海洋,1985, 4(2): 15—21.

[25] 张争胜,孙武,周永章. 热带滨海干旱地区生态环境脆弱性定量评价:以雷州半岛为例[J]. 中国沙漠,2008, 28(1): 125—130.

[26] HATTORI M, KAWAMATA R. Onshore—Offshore Transport and Beach Profile Change[J]. Coastal Engineering,1980, 72(2): 1175—1193.

[27] 国家海洋局自然资源部海洋预警监视司.2019 年中国海平面公报[R]. 2020.

[28] 张永强,孙永福,王恩康,等. 长乐海上风电场水动力影响数值模拟研究[J]. 海岸工程,2019, 38(4): 293—303.