

文世勇, 王紫竹, 王涛, 等. 基于遥感技术的海南省海岸侵蚀现状与趋势评估[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 138–143.
[WEN Shiyong, WANG Zizhu, WANG Tao, et al. Status and trend assessment of coastal erosion at Hainan Province based on remote sensing technology[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 138–143. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.025.]

基于遥感技术的海南省海岸侵蚀现状与趋势评估^{*}

文世勇, 王紫竹, 王涛, 李飞, 张丰收, 杨正先, 王玉广, 赵建华

(国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

摘要: 为掌握和了解海南沿岸岸线侵蚀现状和局部岸段岸线趋势变化, 首先利用三个不同时期(1970年、1990年和2016年)遥感影像识别岸线数据, 在ArcGIS平台和数字岸线分析插件模块下, 结合海岸侵蚀强度等级划分标准, 分别得到了1970–1990年、1990–2016年和1970–2016年的海南省海岸侵蚀现状等级空间分布, 摸清了不同时段内海南省的岸线侵蚀变化状况。其次, 利用三个不同时期(2007年12月18日、2012年2月14日和2016年8月9日)文昌局部岸段的岸线数据建立了文昌局部岸段岸线变化趋势评估模型, 并根据2018年11月21日的现场实测岸线数据验证了该模型的精度, 验证结果表明该预测模型结果与现场实测结果具有较好的一致性。最后, 利用该岸线变化趋势评估模型预测并获取了文昌局部岸段2020年11月21日有可能发生的岸线变化空间分布情况。这些成果将为海南沿海侵蚀灾害的综合管理和沿海产业布局的合理规划提供技术支持。

关键词: 海岸侵蚀; 岸线变化; 侵蚀现状; 趋势评估; 遥感技术; 海南

中图分类号: X43; P67; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)01-0138-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.025

海岸侵蚀(Coastal erosion)是指在海洋动力作用下, 导致海岸线向陆地迁移或潮间带滩涂和潮下带底床下蚀的海岸变化过程^[1]。海岸侵蚀是我国沿海地区的主要环境地质灾害之一, 对沿海地区海岸带资源可持续开发和环境保护构成全面而持久的威胁。海岸侵蚀是一种全球性的自然灾害, 早已受到人们的注意和重视。自1960年以来, 美国、日本、英国、澳大利亚等国在海岸侵蚀理论、监测技术与评估方法等方面均取得了丰硕的研究成果^[2-14]。我国海岸侵蚀的相关研究起步较晚, 始于1980年, 1990年以来得到较快的发展, 许多海岸学者对我国海岸侵蚀的原因、侵蚀过程、侵蚀程度、侵蚀等级划分、侵蚀模式以及海岸带管理等方面进行了广泛而深入的研究并得到相应的研究成果^[15-26]。

当前, 海岸侵蚀监测与评估的方法与手段可以总结为两种, 一种是基于传统常规的监测与评估方法; 另一种是基于遥感影像数据识别的监测与评估方法。基于传统常规的海岸侵蚀监测与评估方法主要是先利用历史海图、地形图、地面调查与剖面监测的现场外业剖面监测及海洋动力条件研究等方法来获取监测岸段的岸线有可能发生的侵蚀状况信息, 大量的学者在这方面取得了丰

硕的成果^[20-22, 27-32]。尽管传统常规的监测方法和手取得了丰硕的成果, 但由于存在耗时费力、效率低、工作周期长、资料获取、信息处理和动态连续性差等方面的缺点, 通常仅用于开展侵蚀严重的局部重点岸段监测, 难以满足大范围海岸侵蚀变化状况动态监测的需求。基于遥感影像数据识别的海岸侵蚀监测与评估方法主要是利用不同时期的遥感影像数据, 在识别获取不同时期岸线数据的基础上, 结合地理信息系统平台来获取监测岸段的岸线侵蚀状况信息。遥感技术具有监测范围广、速度快、成本低和便于进行长期动态监测的特殊优势在岸线动态变化及海岸侵蚀中得到广泛应用^[26, 33-38]。

本文研究的目的是首先利用不同时期遥感识别的岸线数据, 结合ArcGIS平台和数字岸线分析系统功能模块(Digital Shoreline Analysis System, DSAS)获取海南省海岸侵蚀现状等级空间分布。其次, 选取文昌局部岸段, 在获取三个不同时期岸线变化速率的基础上, 建立局部监测岸段的侵蚀趋势评估模型并利用现场岸线数据对模型精度进行了验证。最后, 利用该模型来预测了未来时段内有可能发生的岸线变化空间分布。这些成果将

^{*} 收稿日期: 2019-06-24 修回日期: 2019-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41876109); “全球变化及应对”国家重点研发计划“海岸带和沿海地区全球变化综合风险研究”课题(2017YFA0604902)

第一作者简介: 文世勇(1977-), 男, 海南东方人, 副研究员, 博士, 主要从事环境灾害(赤潮、海岸侵蚀等)遥感监测与风险评估应用研究等。E-mail: sywen@nmemc.org.cn

通讯作者: 赵建华(1977-), 男, 安徽临泉人, 工程技术带头人, 博士, 主要从事海岸带环境与空间资源遥感监测与监管应用研究等。E-mail: jhzha@nmemc.org.cn

为沿海侵蚀灾害的综合治理和沿海产业布局的合理规划提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区介绍

针对海南省海岸侵蚀现状评估,以海南省全省沿岸的岸线为研究区。海南岛海岸线长约 1 822.8 km,地质构造与岩性复杂,海岸类型较多,主要有砂质海岸、基岩海岸、淤泥质海岸、珊瑚礁海岸和红树林海岸等。自然岸线的海岸线类型最主要是砂质岸线,是海南岛的主要海岸线类型,分布于全省各市县的大小海湾中。在砂质海岸中约有 50% 以上的岸段因侵蚀而后退,局部地段海岸线被侵蚀的程度较为严重,主要集中在文昌、三亚、洋浦、澄迈、海口等岸段。海南岛侵蚀海岸分布较普遍,侵蚀海岸中的砂质海岸类型复杂多样。

针对局部岸段海岸侵蚀趋势评估,以文昌局部岸段为研究区。

1.2 数据收集与岸线信息提取

(1) 遥感数据收集

针对海南省海岸侵蚀现状评估,共收集了覆盖海南全省沿岸海域的 1970 年分辨率为 0.59 m 的 Keyhole 遥感影像 29 景、1990 年分辨率为 30 m 的 TM 遥感影像 2 景和 2016 年分辨率为 2.5 m 的 GF 系列遥感影像 37 景。

针对文昌局部岸段海岸侵蚀趋势评估,共收集了覆盖海南文昌局部区域监测岸段 2007 年 12 月 18 日分辨率为 0.54 m 的 WV01 遥感影像 1 景、2012 年 2 月 14 日分辨率为 0.58 m 的 WV02 遥感影像 1 景和 2016 年 8 月 9 日分辨率为 0.57 m 的 WV02 遥感影像 1 景。

(2) 现场外业岸线监测数据

2018 年 11 月 21 日,在文昌局部岸段区域开展了外业现场调查工作,利用差分 GPS (Trimble GEO X7, 厘米级精度,千寻厘米级高精度定位服务账户) 获取了 2018 年 11 月 21 日调查时段该区域的实际岸线(痕迹线)(图 1 中的红色线),为后续建立的岸段的侵蚀趋势评估的验证提供了数据支持。同时,现场外业调查结果表明,在该区域的岸段具有明显的侵蚀特征。图 2 为现场调查拍摄的照片。



图 1 文昌局部监测岸段 2018 年 11 月 21 日的现场实测岸线



图 2 2018 年 11 月 21 日现场调查照片

(3) 海岸线信息遥感识别

海岸线信息遥感识别采用人工目视解译方法,将海岸线分为基岩岸线、砂质岸线、淤泥质岸线、生物岸线和人工岸线(围海养殖和填海造地)五类。根据《我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程》[39]中的各类型海岸线界定原则和不同类型岸线的遥感解译标志,在 ArcGIS 平台下,分别提取了海南省 3 个不同时期(1970 年、1990 年和 2016 年)的岸线信息和 3 个不同时期(2007 年 12 月 18 日、2012 年 2 月 14 日和 2016 年 8 月 9 日)文昌局部岸段的岸线信息。

1.3 方法介绍

(1) 海岸侵蚀现状与趋势评估方法

海岸侵蚀现状评估方法是在获取不同时期的岸线数据的基础上,在 ArcGIS 平台下,根据数字岸线分析系统功能模块(Digital Shoreline Analysis System, DSAS)来计算监测岸段的侵蚀速率(或淤积速率),并依据海岸侵蚀强度等级划分标准(表 1),获取监测岸段的海岸侵蚀现状等级。

表 1 海岸侵蚀强度等级划分

强度级别	岸线变化速率 $S/(m/年)$	
	沙质海岸	淤砂淤泥质
严重侵蚀	$S \leq -3$	$S \leq -15$
强侵蚀	$-3 < S \leq -2$	$-15 < S \leq -10$
侵蚀	$-2 < S \leq -1$	$-10 < S \leq -5$
微侵蚀	$-1 < S \leq -0.5$	$-5 < S \leq -1$
稳定	$-0.5 < S \leq 0.5$	$-1 < S \leq 1$
淤积	$0.5 < S$	$1 < S$

海岸侵蚀趋势评估,是在获取评估区域岸线侵蚀速率空间分布数据的基础上,利用 DSAS 分析模块来建立监测岸段岸线变化速率趋势评估模型,并采用现场监测岸线数据来验证建立的趋势模型的精度,最后预测监测岸段在未来时段(1 年或多年)内有可能发生的侵蚀范围空间分布情况。

DSAS(数字岸线分析系统)是由美国地质调查局组织开发的一个嵌套在 ArcGIS 软件中的功能模块插件,用于计算岸线变化速率。其原理为对某一基线作等间距的垂线,通过垂线与海岸线相交,计算海岸线到基线的距离,再进一步根据所统计的时间段,计算岸线变化速率^[40]。DSAS 计算海岸侵蚀速率的操作流程主要包括数据输入、参数设置、剖面绘制、剖面编辑、速率计算等步骤过程,具体操作的内容介绍详见“DSAS 使用指南”。

(2) 海岸侵蚀强度等级划分

针对砂质岸线,海岸线变化速率分级采用陈吉余等^[1]制定海岸侵蚀强度分级标准,在此基础上添加两个内容:一是定义当岸段变化速率介于 $-0.5 < S \leq 0.5 m/年$ 的岸段为稳定岸段;二是定义

岸段变化速率大于 0.5 m/年的岸段为淤积岸段。海岸侵蚀强度等级划分见表 1。

1.4 评估流程

基于遥感技术的基于遥感技术的海南省海岸侵蚀现状与趋势评估技术流程如图 3 所示。

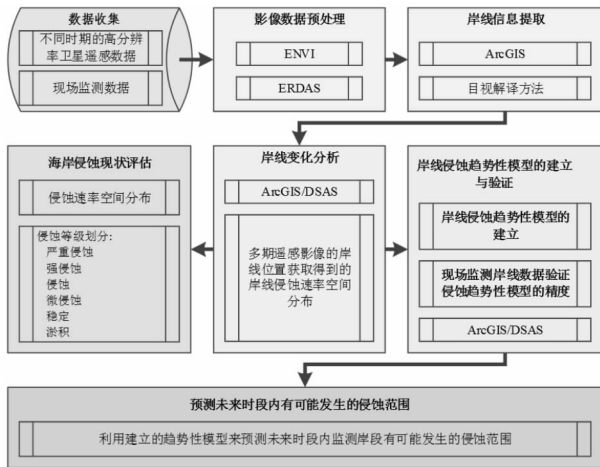


图 3 基于遥感技术的基于遥感技术的海南省海岸侵蚀现状与趋势评估技术流程

首先,收集评估区域多期的高分辨率遥感数据,在 ENVI 或 ERDAS 平台下对遥感数据进行图像校正等预处理;

其次,在 ArcGIS 平台下,结合经预处理后的遥感影像数据采用目视解译方法开展基于遥感技术的评估岸段岸线信息提取;

第三,在 ArcGIS 平台下采用数字岸线分析系统(Digital Shoreline Analysis System, DSAS)方法来计算海岸侵蚀速率,获取评估区域岸线侵蚀速率空间分布,并根据岸线侵蚀等级分级标准划分侵蚀等级。

第四,根据得到的评估区域岸线侵蚀速率空间分布数据,在 ArcGIS 平台下采用数字岸线分析系统(DSAS)建立评估岸段侵蚀趋势评估模型,并采用现场外业实测岸线数据对建立的趋势评估模型精度进行验证。

最后,利用建立的趋势评估模型来预测在未来时段内岸线有可能发生的后退范围。

2 结果分析

2.1 海南省海岸侵蚀现状评估结果

在 ArcGIS 10.4 平台下,结合 DSAS 插件模块,及其 DSAS 的海岸侵蚀分析方法及过程步骤,分别得到 1970-1990 年间海南省全省沿岸海域岸段侵蚀现状等级分布(图 4)、1990-2016 年间海南省全省沿岸海域岸段侵蚀现状等级分布(图 5)和 1970-2016 年间海南省全省沿岸海域岸段侵蚀现状等级分布(图 6)。

从图 4 上可以看出,1970-1990 年这 20 年间,海南省岸线均受到不同程度的侵蚀。这是因为 1970-1990 年时期,属于早期人类传统海洋开发时期,主要开发与利用海洋活动为海洋渔业、晒海盐,人们对海洋开发与利用处在传统阶段。同时在此阶段,海南沿岸的防护林带尚未形成,导致了在 1970-

1990 年时期岸线侵蚀较为严重。

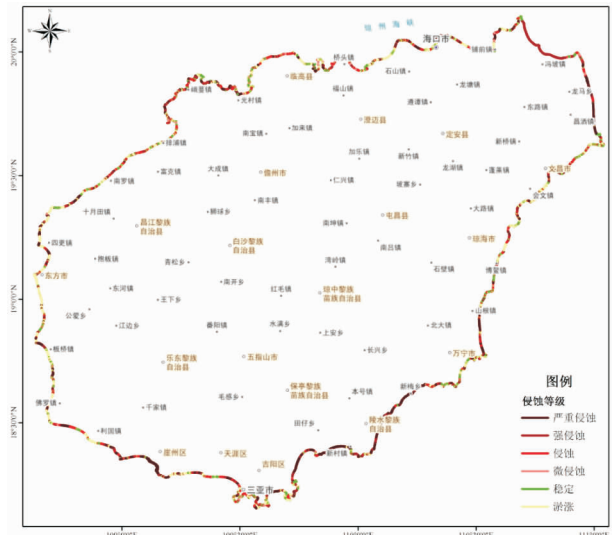


图 4 海南省全省沿岸海域岸段 1970-1990 年间的岸线侵蚀现状等级空间分布

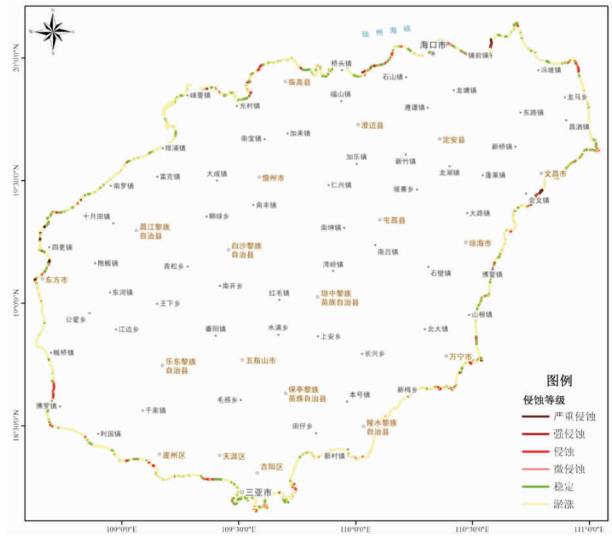


图 5 海南省全省沿岸海域岸段 1990-2016 年间的岸线侵蚀现状等级空间分布

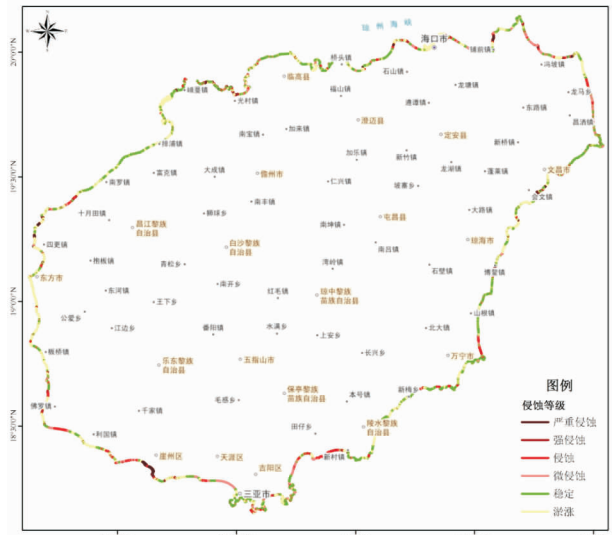


图 6 海南省全省沿岸海域岸段 1970-2016 年间的岸线侵蚀现状等级空间分布

从图 5 上可以看出, 1990 - 2016 年这 26 年间, 除了局部的严重侵蚀区域, 其他区域基本上处于稳定或淤积的状态。这是由于自 1990 年以来, 海南沿岸的防护林带的建设并在岸线保护中起了重要的保护作用; 同时, 随着海岸带在国民经济中的作用日益突出, 我国在开发利用海洋资源、发展海洋经济方面取得了较大进展, 海洋经济已成为国民经济新的增长点, 围填海行为(岸线人工化)促使岸线向海加速推进, 造成了除了局部的严重侵蚀区域, 其他区域基本上处于稳定或淤积的状态的局面。

从图 6 中可以看出 1970 - 2016 年这 46 年间海南全省岸线的变化状况。1970 - 2016 年这 46 年间, 除了局部的严重侵蚀区域, 其他区域基本上处于稳定或淤积的状态。这是由于海南沿岸的防护林带的建设和岸线人工化的行为使得了原来大面积的海岸侵蚀变成了局部的岸段侵蚀。

2.2 文昌局部岸段海岸侵蚀趋势评估结果

(1) 海岸侵蚀趋势评估模型的建立与验证

根据岸段侵蚀趋势评估方法与计算流程, 根据 2007 年 12 月 18 日、2012 年 2 月 14 日和 2016 年 8 月 9 日遥感数据得到的岸线信息, 在 ArcGIS 和 DSAS 分析模块下, 通过计算分析, 建立了文昌局部近岸海域岸段侵蚀趋势评估模型(1), 并根据此模型预测了 2018 年 11 月 21 日有可能发生的岸线变化情况(图 7), 并利用 2018 年 11 月 21 日现场实测岸线数据对模型预测岸线结果的精度进行了相关性分析, 结果表明模型预测结果与现场实测结果具有较好的一致性(图 7)。

$$\begin{cases} x = x_{\text{int}} + \frac{LRR \times \Delta t}{DIS} \times (x_{\text{int}} - x_{\text{sta}}) \\ y = y_{\text{int}} + \frac{LRR \times \Delta t}{DIS} \times (y_{\text{int}} - y_{\text{sta}}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: (x, y) 为预测点的坐标为(m); $(x_{\text{int}}, y_{\text{int}})$ 为节点的坐标为(m); $(x_{\text{sta}}, y_{\text{sta}})$ 为基线的坐标为(m); LRR 为岸线变化速率为(m/年); Δt 为变化时间为(年); DIS 为节点与基线的距离为(m), $(x_{\text{int}}, y_{\text{int}})$ 、 $(x_{\text{sta}}, y_{\text{sta}})$ 、LRR、DIS 的值可以从 DSAS 分析模块得到的结果获取。



图 7 文昌局部岸段 2018 年 11 月 21 日有可能发生的岸线变化情况的预测与验证

(2) 未来有可能发生的侵蚀范围

根据建立的文昌局部近岸海域岸段侵蚀趋势评估模型(1), 并利用此模型进行预测并得到了该区域到 2020 年 11 月 21 日有可能发生的岸线变化

情况(图 8)。



图 8 文昌局部岸段 2020 年 11 月 21 日有可能发生的岸线变化情况的预测

3 讨论

利用遥感技术开展海岸侵蚀的目的主要是利用遥感具有大面积的同步观测和数据回顾性的特点来评估反映出监测岸段的岸线动态变化趋势。本次评估主要是采用 1970 年、1990 年和 2016 年的遥感数据, 根据遥感信息目视解译方法来分别获取了 1970 年、1990 年和 2016 年三个不同时期的岸线信息, 并在此基础上根据 ArcGIS 和 DSAS 分析模块, 分别得到了 1970 - 1990 年间的岸线侵蚀现状等级分布结果、1990 - 2016 年间的岸线侵蚀现状等级分布结果和 1970 - 2016 年间的岸线侵蚀现状等级分布结果。这些结果与前人的研究结果及现场监测结果均存在一定的一致性和差异性。一致性的表现均为反映出了岸线侵蚀趋势上的总体变化趋势。差异性的产生原因主要在于遥感影像分辨率的差异和岸线信息的识别上的差异, 本次采用的这个三个不同时期的遥感影像的分辨率均不相同, 岸线提取上的偏差会导致评估结果的差异。

造成海岸侵蚀灾害的原因多种多样, 但基本可归纳为自然因素和人为因素两大类。其中, 自然因素包括: 风暴潮、海浪侵袭, 海平面上升, 河流输沙减少; 人为因素包括: 海岸采砂, 河流水利工程拦截泥沙, 海岸工程加强了水动力, 海滩植被的破坏、高位池养殖的等。

在近岸, 许多情况下风暴潮和海浪这两个过程并存并且相互影响。在此, 将两个过程统一成一个因素来看待。实际上, 风暴潮、海浪等对海岸侵蚀的作用可理解为离岸输沙作用, 即通过海岸增水形成强大的垂直环流或侵蚀性裂流, 把波浪掀起的泥沙和本身侵蚀的底沙带到离岸很远的深处堆积下来或被潮流带走。有时候一次强风暴造成的侵蚀量甚至超过正常天气下全年的侵蚀量。风暴潮引起的海岸侵蚀量, 通常用侵蚀的沉积物体积表达, 或者用岸线后退的距离来表达。侵蚀量的大小与波浪的冲刷力呈正相关。所以, 要从机理上定量计算海岸侵蚀的量, 往往采用波浪、海流等的输沙理论予以计算。在具体的推演中, 很多研究表明风暴潮影响下海滩离岸输沙量 ΔV 与

Dean 参数相关, 而 Dean 参数是浪高、泥沙沉积速率以及风暴持续时间的函数。

海平面上升与长期的海岸侵蚀速率有关, 而且其影响是整体性和缓变性的。海平面上升对海岸的侵蚀作用, 主要是由于加大的水深使波浪对古海岸的扰动作用减小致使海底的横向供沙减少, 却加强了激浪对上部海滩的冲刷。在定量计算海平面上升引起的海岸侵蚀量的研究中, 以 Bruun 法则应用最多。Bruun 法则是基于以下的假设得出的: 海平面上升过程中, 海岸均衡剖面向岸和向上移动, 从而造成海滩侵蚀和滨外浅水区堆积; 海滩的侵蚀物沉积在滨外浅水区, 侵蚀和堆积的沉积物数量相近; 滨外浅水区的沉积厚度与海平面上升值相等, 从而维持了海岸均衡剖面不变。所以 Bruun 法则的适用对象为有明显的相对海平面上升, 均匀的砂质沉积物, 沉积物的数量变化较小的砂质海岸。在这种条件下, 认为岸线后退速率与海平面相对速率呈正相关, 与岸滩坡度呈负相关。不仅对于砂质海岸, 海平面上升与岸线后退存在这种关系, 基岩海岸与海平面上升之间也存在一个类似的较共通的关系, 即海平面上升速率与岸线后退速率呈正相关。通过上述分析可以看出, 在衡量海平面与海岸侵蚀的关系中, 海平面上升高度(速率)、海滩近滨坡度是关键指标。

河流入海泥沙量是影响海岸侵蚀的最重要原因。1980 年以来, 中国沿岸河流入海泥沙量减少了 50% 以上, 由入海泥沙 20×10^8 t/年减为不足 10×10^8 t/年, 造成我国海岸泥沙收支严重亏失, 从而海岸由淤积为主, 转为以侵蚀为主。虽然很多研究定性分析了河流入海泥沙量的减少是造成海岸侵蚀的重要原因, 但是定量地刻画河流入海泥沙量与岸线后退之间的关系少见报道。河流入海泥沙量只是一个河口断面的泥沙含量值, 而泥沙入海后一部分沉积在河口及沿岸, 一部分则被潮汐、海流扩散输送到近海沉积。真正对岸线塑造起作用的是在河口及沿岸沉积的部分。泥沙入海之后, 到底多大的部分是沉积在河口及沿岸却无法单纯从河流入海泥沙量这个指标得出。

海岸工程, 尤其是港口突堤式码头及防波堤等港口工程多设置在沿岸或浅海水域, 主要通过改变水流流速、流向等进而改变泥沙输移作用来影响海滩的冲刷过程。通常情况下, 港工来沙一侧海滩淤积, 而另一侧除工程根部可能淤积外, 其他地区海滩则因沙源亏损而遭侵蚀。因此, 要想定量分析海岸工程对岸线的影响, 需要考虑的是水深、流速、流向等过程量。因建筑上的要求, 人们在海岸地区的海滩、河口和下水采砂, 造成海岸泥沙亏损, 打破岸滩剖面平衡, 造成侵蚀。采砂活动对岸线的影响是迅速而且非常剧烈的。

高位池养殖是近些年发展起来的一种新兴养殖方式, 是指利用高潮线以上土地进行的海水养殖。这种方式由于效益高、收益快, 近年来发展迅速, 规模也越来越大, 并慢慢成了无序、无度地开发, 因此频频出现毁林养虾、毁田养虾的现象。甚至使部分地区的防护林被毁, 严重影响了海防林的防护功能。许多高位池虾池外缘延伸至后滨甚至前滨, 在风暴潮的袭击下, 虾池临海一侧基部甚至整个虾池被破坏; 在潮间带低潮面附近

布设排水管及吸水口, 大部分布设在海滩表面, 使单一的海滩形成分布斑点, 并造成海岸侵蚀。

4 结论

(1) 利用三个不同时期(1970 年、1990 年和 2016 年)海南省的遥感识别岸线数据, 分别得到了 1970-1990 年、1990-2016 年和 1970-2016 年的海南省海岸侵蚀现状等级空间分布, 摸清了不同时段海南省的岸线侵蚀变化状况。

(2) 利用三个不同时期(2007 年 12 月 18 日、2012 年 2 月 14 日和 2016 年 8 月 9 日)文昌局局部岸段的岸线数据建立了文昌局局部岸段岸线变化趋势评估模型, 并根据 2018 年 11 月 21 日的现场实测岸线数据验证了该模型的精度, 验证结果表明该预测模型结果与现场实测结果具有较好的一致性。

(3) 利用该岸线变化趋势评估模型预测了文昌局局部岸段 2020 年 11 月 21 日有可能发生的岸线变化情况。

参考文献:

- [1] 陈吉余. 中国海岸侵蚀概要[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- [2] Topographically. British geological survey coastal erosion of the holderness to Spurn Head coast[J]. Journal of Morphology, 1922, 36(1): 191-198.
- [3] Emery KO. A simple method of measuring beach profiles[J]. Limnology & Oceanography, 1961, 6(1): 90-93.
- [4] Bruun PF. Sea-level rise as a cause of shore erosion[J]. Journal of the Waterways & Harbors Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1962, 88: 117-130.
- [5] Thom BG. Coastal erosion in Eastern Australia[J]. Geographical Research, 1968, 6(2): 171-173.
- [6] Swift DJP. Coastal erosion and transgressive stratigraphy[J]. The Journal of Geology, 1968, 76(4): 444-456.
- [7] LI R, LIU J K, Felus Y. Spatial modeling and analysis for shoreline change detection and coastal erosion monitoring[J]. Marine Geodesy, 2010, 24(1): 1-12.
- [8] Cambers G. Temporal scales in coastal erosion systems[J]. Transactions of the Institute of British Geographers, 1976, 1(2): 246-256.
- [9] Wright LD, Short A D, Green M O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model[J]. Marine Geology, 1985, 62(3/4): 339-364.
- [10] Ian Eliot, Des Clarke. Temporal and spatial bias in the estimation of shoreline rate - of - change statistics from beach survey information[J]. Coastal Management, 1989, 17(2): 129-156.
- [11] Dolan R, Fenster MS, Holme SJ. Temporal analysis of shoreline recession and accretion[J]. Journal of Coastal Research, 1991, 7(3): 723-744.
- [12] Baily B, Nowell D. Techniques for monitoring coastal change: a review and case study[J]. Ocean & Coastal Management, 1997, 32(2): 85-95.
- [13] Boak E H, Turner I L. Shoreline Definition and Detection: A Review[J]. Journal of Coastal Research, 2005, 21(4): 688-703.
- [14] Rijn LCV. Coastal erosion and control[J]. Ocean & Coastal Management, 2011, 54(12): 867-887.
- [15] 李光天, 符文侠. 我国海岸侵蚀及其危害[J]. 海洋环境科学, 1992, 11(1): 55-60.
- [16] 王文海, 吴桑云. 山东省海岸侵蚀灾害研究[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(4): 60-66.
- [17] 王文海, 吴桑云, 陈雪英. 海岸侵蚀灾害评估方法探讨[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(1): 71-77.
- [18] 季子修. 中国海岸侵蚀特点及侵蚀加剧原因分析[J]. 自然

- 灾害学报, 1996, 5(2): 69–79.
- [19] 丰爱平, 夏东兴. 海岸侵蚀灾情分级[J]. 海岸工程, 2003, 22(2): 60–66.
- [20] 王玉广, 李淑媛, 苗丽娟. 辽东湾两侧砂质海岸侵蚀灾害与防治[J]. 海岸工程, 2005, 24(1): 9–18.
- [21] 王玉广, 张宪文, 贾凯, 等. 辽东湾缓中海岸侵蚀研究[J]. 海岸工程, 2007, 26(1): 1–5.
- [22] 王玉广, 杜宇, 黄杰, 等. 辽东湾西侧砂质海岸侵蚀灾害评价方法研究[J]. 防灾科技学院学报, 2016, 18(1): 79–86.
- [23] 张晓龙, 李培英. 现代黄河三角洲的海岸侵蚀及其环境影响[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(5): 475–479.
- [24] 于德海, 姜谱男, 宋战平. 辽东半岛海岸侵蚀分布规律及其发育特征[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 34–37.
- [25] XULifen, WENShiyong, ZHAODongzhi, et al. On the coastal erosion risk assessment indexes[J]. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2013, 3(3): 146–155.
- [26] WENShiyong, ZHANGFengshou, WANG Xiang, et al. Hazard degree assessment of coastal erosion at Tianlongsi adjacent sandy coast[C]//2016 Fourth International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA 2016), July 4–6, 2016, Guangzhou, China, 424–427. (EI) DOI: 10.1109/EORSA.2016.7552843
- [27] Addo K A, Walkden M, Mills J P. Detection, measurement and prediction of shoreline recession in Accra, Ghana[J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2008, 63(5): 543–558.
- [28] Morton R A. Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying Techniques[J]. Journal of Coastal Research, 1993, 9(3): 702–720.
- [29] Boateng I. An application of GIS and coastal geomorphology for large scale assessment of coastal erosion and management: a case study of Ghana[J]. Journal of Coastal Conservation, 2012, 16(3): 383–397.
- [30] 杨燕雄, 贺鹏起, 谢亚琼, 等. 秦皇岛海岸侵蚀研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994(S1): 166–170.
- [31] 丰爱平, 夏东兴, 谷东起, 等. 莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 83–90.
- [32] 包春霞, 文世勇, 徐丽芬, 等. 基于海平面上升的辽东湾缓中海岸侵蚀危险度评估[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 205–210.
- [33] Marghany MM. TOPSAR wave spectra model and coastal erosion detection[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2001, 3(4): 357–365.
- [34] Kurt S, Karaburun A, DemiRci A. Coastline changes in Istanbul between 1987 and 2007[J]. Scientific Research & Essays, 2010, 5(19): 3009–3017.
- [35] Amaro V E, Gomes L R S, de Lima F G F, et al. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil[J]. Marine Geodesy, 2015, 38(1): 1–25.
- [36] Moussaid J, Fora A A, Zourarah B, et al. Using automatic computation to analyze the rate of shoreline change on the Kenitra coast, Morocco[J]. Ocean Engineering, 2015, 102: 71–77.
- [37] 王建步, 张杰, 周相君, 等. 烟台龙口至芝罘岸段海岸侵蚀遥感监测研究[J]. 海岸工程, 2014, 33(1): 51–59.
- [38] 段依妮, 滕骏华, 蔡文博. 基于潮位观测的三亚湾海岸侵蚀遥感提取与分析[J]. 海洋预报, 2016, 33(3): 57–64.
- [39] 国家海洋局 908 专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程(试行本)[Z]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [40] Thieler E R, Himmelstoss E A, Zichichi J L, et al. Digital Shoreline Analysis System (DSA) version 4. 0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change [R]//U. S. Geological Survey Open-File Report, 2008.

Status and Trend Assessment of Coastal Erosion at Hainan Province based on Remote Sensing Technology

WEN Shiyong, WANG Zizhu, WANG Tao, LI Fei, ZHANG Fengshou, YANG Zhengxian,
WANG Yuguang and ZHAO Jianhua
(National Marine Environmental Monitoring Centre, Dalian 116023, China)

Abstract: To grasp and understand the Status and trend assessment of coastal erosion along the coast of Hainan Province, Firstly, using three different periods (1970, 1990 and 2016) remote sensing images to identify shoreline data, the spatial distribution of coastal erosion status in Hainan Province from 1970 to 1990, from 1990 to 2016 and from 1970 to 2016 were obtained under the ArcGIS platform and digital shoreline analysis system, combined with the coastal erosion Intensity classification criteria, respectively, and the changes of shoreline erosion in Hainan Province during different periods were investigated. Secondly, a trend assessment model of Wenchang partial monitoring coast was established by using three different periods (December 18, 2007, February 14, 2012 and August 9, 2016) remote sensing images to identify shoreline data under the ArcGIS platform and digital shoreline analysis system, and the accuracy of the model is validated by the field measured shoreline data on November 21, 2018, the verification results show that the prediction model results are in good agreement with the field measurements. Finally, the shoreline trend assessment model is used to predict and obtain the spatial distribution of shoreline changes that may occur on Wenchang partial monitoring coast on November 21, 2020. These achievements will provide technical support for the comprehensive management of coastal erosion disasters and the rational planning of coastal industry layout.

Key words: coastal erosion; shoreline changes; erosion status; trend assessment; remote sensing technology; Hainan