

亚龙湾砂质海岸侵蚀监测和评价

石海莹, 陈周, 吕宇波

(海南省海洋监测预报中心 海口 570206)

摘要: 为保护亚龙湾砂质海岸及其生态系统, 文章采用 2016 年和 2019 年的监测数据以及 2008 年的历史数据, 依据相关技术标准和方法, 从岸线后退速率和岸滩下蚀速率 2 个方面综合评价亚龙湾砂质海岸的侵蚀状况和侵蚀强度, 并分析其原因。研究结果表明: 亚龙湾砂质海岸存在持续性较强且较严重的海岸侵蚀; 2008—2016 年岸线后退速率和年均土地损失面积分别约为 -1.00 m/a 和 $2\,080\text{ m}^2$, 2016—2019 年岸线后退速率和年均土地损失面积分别约为 -1.80 m/a 和 $9\,836\text{ m}^2$, 亚龙湾海岸侵蚀有明显加剧的趋势; 2016—2019 年亚龙湾东部和西部海岸的岸滩下蚀速率分别约为 -13.3 cm/a 和 -36.2 cm/a , 西部岸滩下蚀速率远高于东部岸滩; 亚龙湾全段为强侵蚀等级, 其中东部岸段为强侵蚀等级, 西部岸段为严重侵蚀等级; 造成亚龙湾海岸侵蚀的原因主要包括海岸工程建设、植被破坏和海平面上升。

关键词: 砂质海岸; 海岸侵蚀; 侵蚀强度; 岸线后退; 岸滩下蚀

中图分类号: P737.17

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2021)12-0080-05

Monitoring and Evaluation of Coastal Erosion of Sandy Beach in Yalong Bay

SHI Haiying, CHEN Zhou, LYU Yubo

(Ocean Monitoring and Forecasting Center of Hainan Province, Haikou 570206, China)

Abstract: According to related technical standards and methods, in order to protect sandy beach of Yalong Bay and its ecosystem, monitoring data in 2016 and 2019 as well as historical data in 2008 were adopted to comprehensively evaluate sandy coastal erosion and erosion intensity by coastline retreat rate and coast erosion rate, and its causes were analyzed. The results showed that the sandy beach of Yalong Bay had suffered a long-term serious coastal erosion. During 2008 to 2016, coastline retreat rate was -1.00 m/a and average annual loss of land area was $2\,080\text{ m}^2$. During 2016 to 2019, coastline retreat rate and average annual loss of land area were -1.80 m/a and $9\,836\text{ m}^2$ respectively. Research data showed that there was an increasing tendency of coastal erosion in Yalong Bay. Besides, the rate of intertidal topology down-cutting of eastern coast was -13.3 cm/a , and that of western coast was -36.2 cm/a . The results showed that the west coast

收稿日期: 2021-01-05; 修订日期: 2021-11-29

基金项目: 海南省自然科学基金项目(420RC746)。

作者简介: 石海莹, 高级工程师, 研究方向为海洋环境预报和海洋灾害调查

of Yalong Bay suffered more severer erosion. With respect to the coastal erosion intensity, the whole section of Yalong Bay experienced serious erosion, more specifically, the east coast experiences serious, while the west coast mild. Coastal engineering construction, vegetation deterioration and sea level rise were the main causes for coastal erosion in Yalong Bay.

Keywords: Sandy beach, Coastal erosion, Erosion intensity, Coastline recession, Intertidal topology down-cutting

0 引言

自 20 世纪 50 年代末期以来,我国约 70% 的砂质海岸和大部分粉砂淤泥质海岸遭受侵蚀^[1],侵蚀岸线长度超过全国海岸线总长度的 33%。持续的全球气候变暖使得极地冰盖融化、海平面缓慢上升、海岸线后退、近岸海洋动力增强和风暴潮发生次数增加,导致海岸侵蚀进一步加剧^[2]。海南岛的海岸侵蚀现象非常普遍,早在 20 世纪 90 年代海南省就有约 79% 的海岸线受到侵蚀^[3]。相对于其他海岸类型,砂质海岸最不稳定,极易遭受侵蚀而后退,而海南岛砂质岸线约占海岸线总长度的 43%^[4]。数十年来,海南岛的海岸侵蚀日益严重,约有 82% 的砂质海岸遭受侵蚀^[5]。

位于海南省三亚市的亚龙湾是半封闭的天然海湾,海岸线长约 10 km,湾顶的砂质岸线长约 7.5 km。亚龙湾是我国唯一具有热带风情的国家级旅游度假区,因其优美的热带滨海风光而闻名世界,湾内由中细砂构成的沙滩绵长开阔,沙质洁白细腻,是不可多得的优质沙滩。在不合理开发利用和海洋灾害的影响下,亚龙湾的砂质海岸出现明显的侵蚀状况,且近年来有加剧趋势,部分严重侵蚀岸段的岸边出现 7~8 m 高的沙坎,对当地生态环境和旅游环境造成极大的影响。为研究亚龙湾现有砂质海岸的侵蚀状况,海南省海洋监测预报中心于 2016—2019 年对亚龙湾砂质海岸的岸线和岸滩进行连续监测。本研究利用 2016 年和 2019 年的现场监测数据以及 2008 年的历史数据,分析亚龙湾砂质海岸岸线和岸滩的变化,从而明确该区域海岸侵蚀状况。

1 材料与方法

分别于 2016 年和 2019 年对亚龙湾砂质海岸的岸线和岸滩进行现场监测,使用 ArcGIS 9.3 和

CAD 等软件分析和处理现场监测数据。利用 2016 年和 2019 年的现场监测数据以及 2008 年的历史数据进行分析 and 计算,得到岸线后退速率和岸滩下蚀速率。

1.1 监测方法

1.1.1 岸线位置

海南省 CORS 系统于 2011 年 7 月开始运行,可提供 13 个参考站覆盖地区及其周边海域的网络 RTK 和 RTD 服务^[6]。采用 RTK 登陆海南省连续运行卫星定位综合服务系统(HiCORS)作为移动站,人工测量亚龙湾约 4 km 的砂质岸线,测点间距不大于 50 m,并在明显拐弯处加密测点;利用 CORS-RTK 测量,当基准站间距为 50~100 km 时,用户均能获得厘米级的定位精度^[7],因此测量精度能够满足岸线准确定位的需求;测量的水平精度不大于 0.1 m,可准确描述岸线位置。

1.1.2 岸滩断面地形

在亚龙湾东部和西部的岸滩上各埋设 1 座监测桩(YLW 1 和 YLW 2),待其沉降稳固后测量高程(85 基面),作为岸滩断面地形监测的控制点。在每座监测桩向海垂直于海岸线方向设 1 条监测主断面,在监测主断面的两侧约 100 m 处布设 2 条平行于主断面的辅助断面,监测岸滩断面地形。

采用中海达 V30-RTK,登录 CORS 系统,采集监测桩的平面坐标(CGCS 2000 坐标系)。按照《国家三、四等水准测量规范》,采用南方 DL 201 电子水准仪和三等水准点进行联测,测量监测桩桩顶高程(85 基面)。

以监测桩为控制点,采用南方 DL 201 电子水准仪和中海达 V30-RTK,对 6 条岸滩监测断面进行滩面高程测量。采用 RTK 进行实地断面位置放样后施测,测点间距原则上不超过 5 m,在地势起伏处

加密测量,多次重复测点的位置尽量相同,侵蚀沙坎的坎顶和坎底均进行测量。

1.2 计算方法

利用现场测量结果,根据《海岸侵蚀监测与评价技术规程(试行)》^[8]计算岸线后退速率和岸滩下蚀速率。

1.2.1 岸线后退速率

利用 2 期时间相隔为 t 年的连续岸线监测数据,原有岸线之间的平面距离为 L_i 。这些点与新的岸线连续构成区域的面积 S 采用地理信息系统软件计算。侵蚀岸段的长度为原岸段中出现连续侵蚀的岸线测量点的平面距离之和 $\sum L_i$ 。岸线后退速率 v 采用区域平均的方法计算,计算公式为:

$$v = \frac{1}{t} \frac{S}{\sum L_i}$$

1.2.2 岸滩下蚀速率

分别读取同一条断面上不同时间的相同站位的地形高程,岸滩下蚀速率为高程差与时间差的比值。2 期时间相隔为 t 年的 n 个断面监测数据(坐标点相同或相近)的高程差为 z_i ,这些点彼此之间的平面距离为 s_i 。岸滩下蚀速率 v 的计算公式为:

$$v = \frac{1}{t} \frac{1}{\sum s_i} \sum \left(\frac{z_i + z_{i+1}}{2} \cdot s_i \right), i \in (1, n-1)$$

2 结果与讨论

2.1 监测数据计算结果

2.1.1 岸线后退速率

亚龙湾岸段测量的海岸线长度为 4.09 km。根据 2019 年实测海岸线与 2016 年实测海岸线的对比分析,2016—2019 年亚龙湾最大岸线后退距离约为 11.50 m,平均岸线后退距离约为 5.42 m,岸线后退速率约为 -1.80 m/a;土地损失面积约为 $29\,508$ m²,年均土地损失面积约为 $9\,836$ m²。根据 2016 年实测海岸线与 2008 年历史海岸线的对比分析,2008—2016 年亚龙湾最大岸线后退距离约为 32.00 m,平均岸线后退距离约为 8.00 m,岸线后退速率约为 -1.00 m/a;土地损失面积约为 $16\,640$ m²,年均土地损失面积约为 $2\,080$ m²。

将 2008 年、2016 年和 2019 年 3 年的海岸线分别叠加在 2010 年和 2019 年的卫星图片上进行对比

分析,可以显著看出相同位置生长茂盛的大片防风林在 2019 年已完全消失,原有的宽阔沙滩明显变窄,2008 年海岸线和 2016 年海岸线已消失在海水中。

2.1.2 岸滩下蚀速率

根据监测桩附近 2016 年和 2019 年测量的 3 条断面高程分别计算岸滩下蚀速率。2 个监测桩均位于侵蚀沙坎上方,沙坎上方测点的高程无明显变化,因此岸滩下蚀速率以沙坎下方测点的高程对比数值计算得出。根据 2016 年和 2019 年亚龙湾岸滩断面的测量结果,2016—2019 年岸滩下蚀速率约为 -13.6 cm/a,最大岸滩下蚀高度约为 434 cm。

根据 2019 年与 2016 年亚龙湾东部 3 个岸滩断面监测数值的对比分析,2016—2019 年平均岸滩下蚀高度约为 40 cm,岸滩下蚀速率约为 -13.3 cm/a;根据 2019 年与 2016 年亚龙湾西部 3 个岸滩断面监测数值的对比分析,2016—2019 年平均岸滩下蚀高度约为 109 cm,岸滩下蚀速率约为 -36.2 cm/a。亚龙湾东部的 YLW 1 石桩所在断面沙坎的高差为 4.06 m,亚龙湾西部的 YLW 2 石桩所在断面沙坎的高差为 8.15 m。

2.2 海岸侵蚀强度

海岸侵蚀强度可采用岸线后退速率、侵蚀岸线比率、岸滩下蚀速率、下蚀岸滩比率、物质粗化率和岸滩宽度侵蚀模数等指标进行评价^[9]。综合考虑数据的可获取性、可比性和重要性,本研究选取最具有代表性的岸线后退速率和岸滩下蚀速率 2 个指标,采用《海岸侵蚀监测与评价技术规程(试行)》中的相关技术标准,对亚龙湾海岸侵蚀强度进行评价。海岸侵蚀强度等级如表 1 所示。

表 1 海岸侵蚀强度等级

等级	岸线后退速率 (砂质岸线)/(m·a ⁻¹)	岸滩下蚀速率/ (cm·a ⁻¹)
淤积	$v > 0.5$	$v > 1$
稳定	$-0.5 < v \leq 0.5$	$-1 < v \leq 1$
微侵蚀	$-1 < v \leq -0.5$	$-5 < v \leq -1$
较强侵蚀	$-2 < v \leq -1$	$-10 < v \leq -5$
强侵蚀	$-3 < v \leq -2$	$-15 < v \leq -10$
严重侵蚀	$v \leq -3$	$v \leq -15$

根据测量结果,2008—2016 年亚龙湾岸线后退速率约为 -1.00 m/a ,按照岸线后退速率指标评价该岸段为较强侵蚀。由于 2008 年无岸滩高程监测,无法按照岸滩下蚀速率指标评价海岸侵蚀强度。

2016—2019 年亚龙湾岸线后退速率约为 -1.80 m/a ,按照岸线后退速率指标评价该岸段为较强侵蚀;岸滩下蚀速率约为 -13.6 cm/a ,按照岸滩下蚀速率指标评价该岸段为强侵蚀。综合考虑岸线后退速率和岸滩下蚀速率 2 个指标,亚龙湾海岸侵蚀强度等级为强侵蚀。

对比亚龙湾东部和西部 2 个监测桩所在区域岸滩下蚀的计算结果,2016—2019 年亚龙湾东部岸滩下蚀速率约为 -13.3 cm/a ,按照岸滩下蚀速率指标评价该岸段为强侵蚀;亚龙湾西部岸滩下蚀速率约为 -36.2 cm/a ,按照岸滩下蚀速率指标评价该岸段为严重侵蚀。结合岸线后退速率指标,亚龙湾东部海岸侵蚀强度等级为强侵蚀,亚龙湾西部海岸侵蚀强度等级为严重侵蚀(表 2)。需要说明的是,单项评价结果为严重侵蚀到稳定的,综合评价结果为 2 个单项评价结果中侵蚀等级较高的。

表 2 2016—2019 年亚龙湾海岸侵蚀强度

岸段	岸线后退速率	岸滩下蚀速率	综合评价
亚龙湾全段	较强侵蚀	强侵蚀	强侵蚀
亚龙湾东部	较强侵蚀	强侵蚀	强侵蚀
亚龙湾西部	较强侵蚀	严重侵蚀	严重侵蚀

2.3 海岸侵蚀的原因

海岸侵蚀的原因主要有 2 种:①沿岸泥沙亏损,主要原因包括河流输沙减少、沿岸挖沙和不合理的海岸工程;②海洋水动力增强致使沿岸泥沙从海岸系统中丢失,主要原因包括海平面上升以及岸滩植被和天然防护林被破坏。

根据亚龙湾所处的地理环境和发展情况,造成其海岸侵蚀的原因主要包括 3 个方面。①亚龙湾湾口开阔,朝向为 ES 向,湾内无大的河流,冬季盛行风向为偏 E 向到 EN 向,夏季盛行风向为偏 S 向,在自然水动力状态下湾内泥沙可随季节变化保持动态平衡。近年来,亚龙湾东南侧海域的东洲岛、西

洲岛和野猪岛之间通过修建围堤相互连接,使亚龙湾东部海域形成半封闭式的内湾;2011 年亚龙湾西侧海域岸边的龙溪入海口处建成“游艇会”码头,防波堤向海延伸约 300 m。通常来说,突堤式构筑物会造成其周边岸滩的侵蚀冲刷,上述 2 处海岸工程的建设在一定程度上改变亚龙湾原有的海洋水动力条件,导致亚龙湾海岸侵蚀。②随着旅游业的不断发展,为满足旅游休闲娱乐需求,亚龙湾沿岸土地已基本建设旅游配套设施,海岸上高档酒店林立,破坏岸滩原有野生植被,大大降低岸滩自然防护能力。③根据《2019 年中国海平面公报》,2019 年海南省沿海海平面较常年上升 70 mm。海平面上升导致近岸波浪和潮汐能量增加以及风暴潮作用增强,加剧亚龙湾的岸线后退和岸滩下蚀。

3 结语

本研究利用 2016 年和 2019 年亚龙湾砂质海岸的岸线和岸滩监测数据,结合 2008 年的历史数据,依据相关技术标准和方法,对比分析亚龙湾砂质海岸的侵蚀状况,并评价亚龙湾砂质海岸的侵蚀强度。亚龙湾砂质海岸存在持续性较强且较严重的海岸侵蚀。从岸线后退情况来看,2008—2016 年岸线后退速率和年均土地损失面积分别约为 -1.00 m/a 和 $2\,080\text{ m}^2$,2016—2019 年岸线后退速率和年均土地损失面积分别约为 -1.80 m/a 和 $9\,836\text{ m}^2$,表明亚龙湾海岸侵蚀有明显加剧的趋势,年均土地损失面积大幅增加。从岸滩下蚀情况来看,2016—2019 年亚龙湾东部和西部海岸的岸滩下蚀速率分别约为 -13.3 cm/a 和 -36.2 cm/a ,表明西部岸滩下蚀速率远高于东部岸滩。根据岸线后退速率和岸滩下蚀速率 2 个指标综合评价海岸侵蚀强度,亚龙湾全段为强侵蚀等级,其中东部岸段为强侵蚀等级,西部岸段为严重侵蚀等级。

根据亚龙湾的地理环境和侵蚀特点,造成亚龙湾海岸侵蚀的原因主要包括海岸工程建设、植被破坏和海平面上升。未来将针对亚龙湾海岸侵蚀机理开展更深入的研究,分析其形成机制和变化趋势,并制定合理的海岸修复方案,从而确保岸滩的稳定性、减少海岸侵蚀造成的土地损失以及保护生态环境。

参考文献

- [1] 夏东兴,王文海,武桂秋,等.中国海岸侵蚀述要[J].地理学报,1993,48(5):468—476.
- [2] 李兵,蔡锋,曹立华,等.福建砂质海岸侵蚀原因和防护对策研究[J].台湾海峡,2009,28(2):156—162.
- [3] 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):65—75.
- [4] 李文欢,石海莹.海南省风暴潮灾害及防范系统研究[M].北京:海洋出版社,2014.
- [5] 杨克红,赵建如,金路,等.海南岛海岸带主要地质灾害类型分析[J].海洋地质动态,2010,26(6):1—6.
- [6] 林韬,吴锡昭,赵紫.海南 CORS 系统建设及其在常规测量中的应用[J].测绘与空间地理信息,2014(9):151—154.
- [7] 黄丁发,张勤,张小红,等.卫星导航定位原理[M].武汉:武汉大学出版社,2015.
- [8] 国家海洋环境监测中心.海岸侵蚀监测与评价技术规程(试行)[Z].2016.
- [9] 马恭博,王伟伟,王玉广,等.2014—2015 年辽东湾东岸砂质海滩海岸侵蚀现状评价[J].海岸工程,2017,36(3):22—30.