

海南三亚湾-红塘湾海岸地形季节性变化和 极端天气下变化特征^{*}

刘文涛¹, 杨永鹏²

(1.自然资源部海底矿产资源重点实验室 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075; 2.海南省地质调查院, 海南 海口 570206)

摘要: 2016—2018 年对海南三亚湾-红塘湾海岸开展了海陆联合地形监测。监测显示, 三亚湾-红塘湾海岸存在海岸侵蚀。海岸地形演化过程与人类活动密切相关。三亚湾东部海岸由于人工补沙的影响, 海岸地形处于重塑过程, 季节上呈现冬淤夏蚀的特征, 总体呈弱侵蚀。三亚湾西部由于开发活动, 处于持续侵蚀状态。红塘湾海岸在近岸大规模填海前呈基本稳定的状态, 填海之后出现明显的侵蚀现象。台风天气可造成严重的海岸侵蚀。台风天气造成的海岸侵蚀主要发生在海滩部分, 对水下地形基本没有影响。

关键词: 三亚湾; 红塘湾; 海岸侵蚀; 人类活动; 台风

中图法分类号: P736.22

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2021)07 II -060-08

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20200147

引用格式: 刘文涛, 杨永鹏. 海南三亚湾-红塘湾海岸地形季节性变化和极端天气下变化特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2021, 51(增 I): 60-67.

Liu Wentao, Yang Yongpeng. Coastal topographic evolution in the seasonal and extreme weather event along Sanya Bay to Hongtang Bay in Hainan island[J]. Periodical of Ocean University of China, 2021, 51(Sup. I): 60-67.

海岸带区域是海陆相互作用最为活跃的地区, 也是经济最为发达, 人类活动最为频繁的区域。目前, 受人类活动和海平面上升等因素的影响, 海岸侵蚀是砂质海岸普遍存在的环境地质问题^[1-5]。海岸地形演变是海岸物质迁移及水动力条件之间复杂相互作用下的产物, 是对海平面上升、人类活动、风暴潮等影响因子的响应^[6]。在研究海岸上进行海滩剖面重复测量, 是目前海岸地形变化研究最直接有效的手段^[7]。通过对海岸剖面地形变化的长期监测可以反映岸滩侵蚀淤积的变化程度和演化过程, 能够一定程度上揭示海岸物质和能量对人类活动的响应过程^[8-11]。目前海岸侵蚀淤积监测主要集中在陆域的海滩部分, 而对海滩外的水下地形未同时进行监测, 无法同步反映海岸带海域和陆域地形的变化过程。

海南三亚海岸侵蚀现象比较普遍^[12-13]。2016—2018 年, 广州海洋地质调查局在海南三亚市三亚湾至红塘湾海岸的东部、中部及西部分别部署了 3 条海陆联合监测剖面, 每条剖面长 2 km。测量从海滩后滨延续到水深大约 10 m 的范围。通过对监测数据的分析,

获取了研究区海岸地形的季节性以及极端天气下的变化特征, 为海岸保护提供了有效的基础数据。

1 研究区概况

三亚湾-红塘湾海岸位于海南岛南部, 属于海南省三亚市, 是两处相邻的大型砂质海湾, 海湾两端为基岩海岸。研究区海岸东起鹿回头半岛南端, 西至南山大小洞天旅游区, 海岸线长约 29 km。两处海湾岸线均呈东西走向, 略具弧形, 湾口朝南, 面向南海敞开。

三亚湾-红塘湾海岸除基岩岬角外, 主要为第四纪晚期形成的松散砂质堆积。海岸发育多期海岸沙丘地貌^[14-15]。海岸沙丘高 5~10 m, 由多期沙丘叠加而成, 由西向东由高变低, 由窄变宽。三亚湾沿岸发育的海岸沙丘在修建市政道路时已被破坏。红塘湾沿岸发育大型海岸沙丘, 向海侧保留完好, 向陆侧则被开发破坏。海岸沙丘上大多种植防风林。沿岸河流主要有三亚河、肖旗河。沿岸河流短小, 海岸物源供给不充足。

本区潮汐为不正规日潮混合潮型, 以日潮为主, 多年平均潮差 0.83 m, 属弱潮海区。潮流表现为明显的

^{*} 基金项目: 中国地质调查局项目-北部湾等重点海岸带综合地质调查项目(DD20160146); 海南岛东北部沿海地区综合地质调查项目(DD20190308)资助

Supported by the Projects of China Geological Survey (Comprehensive Geological Survey in the Key Coastal Zones of Beibu Gulf, etc. (DD20160146); the Projects of Comprehensive Geological Survey in the Coastal Zones of Northeast Hainan Island(DD20190308)

收稿日期: 2020-05-12; 修订日期: 2020-07-01

作者简介: 刘文涛(1985-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事近海工程地质、环境地质研究。E-mail: lwt0516@126.com

往复流性质,主流向与等深线大致平行,落潮流大于涨潮流,余流朝向外海^[16]。三亚湾西段海岸海洋动力条件较强,沉积/侵蚀能力由西向东逐渐减小^[17]。

受季风影响,近岸海区夏半年(5—9月)盛行西南风和南风,冬半年(10月—次年4月)盛行东北风^[18]。大风天气主要来源于西风、西南风和热带气旋。热带气旋引起的最大风速瞬间达45 m/s(SW)。该海域的主要浪向集中在SE—SW向,频率合计为65.3%。该海域波浪波高主要集中在0.5~1.4 m,平均波高年变化幅度较小,仅0.4 m,最大波高 $H_{1\%}$ 的高值集中在6—10月^[15]。

沿岸旅游资源丰富,滨海旅游业发达。三亚湾海岸旅游开发较为成熟,但海岸存在较为突出的侵蚀、“泥化”等环境地质问题。为保护海岸资源,从2014年起三亚湾东部海岸通过人工补沙方式进行海滩养护,取得良好效果。红塘湾海岸除两侧开发为旅游区外,大部分海岸开发程度较低。

2 资料采集与数据处理

2.1 剖面设置及资料采集

研究区三条剖面分别部署在三亚湾的东部凤凰岛附近(SYPM01)、三亚湾路最西侧(SYPM02)和红塘湾中部(SYPM03)(见图1)。剖面在近岸部分特征见图1底部近岸的放大图。起始点坐标见表1。SYPM01位于三亚湾旅游开发最成熟的东部。海滩正通过人工补沙进行养护。SYPM02位于三亚湾西边界处的旅游度假区,度假酒店、滨海市政设施等配套齐全。SYPM03处海岸在2017年上半年之前只有少量人类活动,属于自然海滩类型,海滩后有大型海岸沙丘。2017年5月份以后近海开始了大规模的围填海活动。

研究区海岸剖面定期开展地形测量,在遇台风、热带低压等对海岸影响较大的事件时及时组织测量1次。2016—2018年度海岸剖面调查具体调查时间见表2。第二次海岸剖面测量是在台风“莎莉嘉”(2016年10月18日,海南万宁登陆)之后,第六次测量是在2017年度一次热带低压之后(2017年9月24日,海南万宁登陆)。

表 1 海岸地形监测剖面端点坐标
Table 1 End point coordinates of the monitoring survey lines

监测剖面 Monitoring survey lines	起点 Starting points		终点 Terminal points	
	经度 Longitude	纬度 Latitude	经度 Longitude	纬度 Latitude
SYPM01	109°28'42.29"E	18°14'43.94"N	109°29'41.20"E	18°15'16.49"N
SYPM02	109°22'01.58"E	18°16'19.12"N	109°22'12.87"E	18°17'23.25"N
SYPM03	109°18'11.95"E	18°17'18.31"N	109°18'07.04"E	18°18'23.16"N

表 2 剖面监测调查时间
Table 2 Monitoring schedule of survey lines

年份 Year	次序/编号 Sequence/number	日期 Date
2016	第一次 ^① /1-2016.08	2016-08-21—08-23
	第二次 ^② /2-2016.10	2016-10-21—10-23
	第三次 ^③ /3-2016.12	2016-12-15—12-17
2017	第四次 ^④ /4-2017.03	2017-03-23—03-25
	第五次 ^⑤ /5-2017.06	2017-06-27—06-28
	第六次 ^⑥ /6-2017.09	2017-09-27—09-28
2018	第七次 ^⑦ /7-2018.02	2018-02-05—02-06
	第八次 ^⑧ /8-2018.07	2018-07-17—07-19

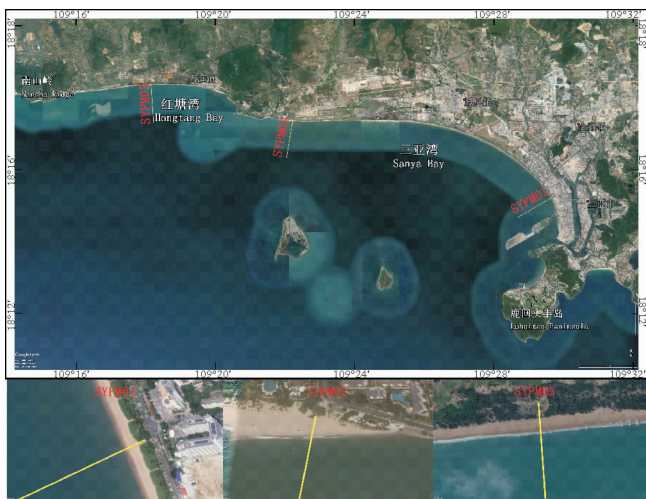
Note:① The first time;② The second time;③ The third time;④ The fourth time;⑤ The fifth time;⑥ The sixth time;⑦ The seventh time;⑧ The eighth time.

海岸变迁剖面监测遵照中国地质调查局地质调查

技术标准《海岸带地质环境监测规范》(DD2012-05)。海岸带包括海岸地区和近岸带,由陆向海可划分为后滨、前滨、内滨和外滨等区域^[19]。海滩部分由后滨和前滨组成,而水下地形则包括了内滨和外滨的一部分。监测剖面按垂直海岸线方向布设,剖面起点位于高潮线向陆一侧。监测剖面低潮线以上岸滩部分采用RTK进行测量;低潮线以下部分采用单音频测深仪联合RTK进行测量。本次海岸变迁剖面监测测量使用南方SDE-28S单波束测深仪联合南方灵锐S86T RTK测量,测深仪器安装在调查船的舷外近船中位置。监测剖面的平面定位精度可达到毫米级,低潮线以上的岸滩高程测量精度可达到毫米级,水深测量精度可达到分米级。

2.2 数据处理及有效性分析

2.2.1 数据资料处理 本次海岸地形监测剖面高程数据最后全部统一归算到国家85高程基准面。调查期间采用南方灵锐S86T RTK-GPS接收机接收海南省卫星定位服务系统“HiCORS”差分信号。对获取的



(图片来自 Google Earth. Images form Goole Earth.)

图1 监测剖面位置图

Fig.1 Location of monitoring profiles

“WGS-84 大地高程”数据通过海南测绘主管部门提供的转换软件转换为国家 85 高程数据。低潮线以上陆域岸滩测量点该高程数据即为测量点高程。水下部分高程需要减掉水深和杆长。水下实际站位点 B 与同步 RTK 测量点 A 的高程换算关系为:点 B 高程=点 A 高程-L-H,其中 L 代表仪器杆长,H 代表测量水深值(见图 2)。

陆域 RTK 测量由于测量精度高,平面位置可控,所以陆域高程对比直接采用测量的原始数据。海域高程测量,由于受到海面波浪的影响,高程数据呈周期性的波动。为消除此影响,得到更接近海域地形的整体趋势,采用 9 步滑动平均对海域高程数据进行平滑处理。

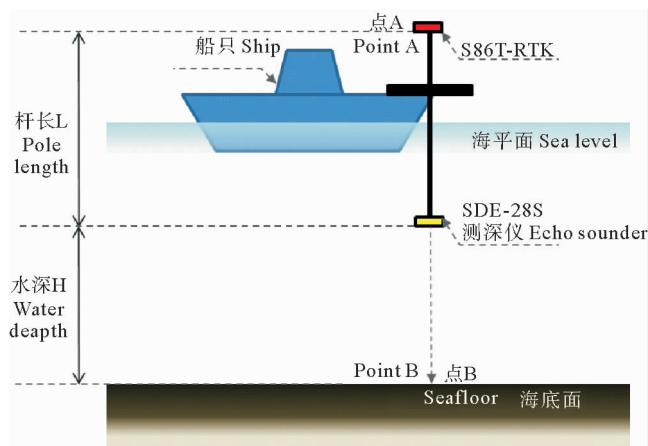


图2 海域实际站位点高程计算示意图

Fig.2 Diagram of elevation calculation

2.2.2 数据有效性分析 2016—2018 年开展海岸剖面测量 8 次。个别期次由于定位误差、系统设置等因素导致监测数据偏离正常值,分析时对该类型数据整体剔除。陆域 RTK 测量与设计测线偏移范围在 0~

3.13 m,平均为 0.22 m,海域水深测量偏移在 0~31.37 m,平均为 5.26 m。监测测线实行陆海统一部署,但是由于作业条件的限制,陆海两端测线仍有 20~100 m 的间隔未能衔接。监测结果分海滩和海底地形两部分进行分析。总体上,陆域 RTK 测量数据,平面偏移小,偏移误差可忽略,其数据可进行定量分析。海域测深仪测量数据,由于各次调查路线平面偏移相对较大,且高程存在波浪等因素的影响,其数据精度低,水下地形的变化情况只做趋势分析。

3 结果分析

3.1 海岸带地形季节变化特征

3.1.1 SYPM01 剖面变化特征 该剖面位于凤凰岛以西约 680 m。该处海滩为人工补沙后新形成砂砾质海滩。海滩后滨长度约为 33.89 m,高程 1.97~2.05 m,地形较平坦。后滨前缘地形转折特征明显。前滨测量部分长约 34.68 m,高程-0.77~1.97 m,上部坡度约 14.4%,下部坡度为 1.13%。水下地形测量长度约 2 km。水下地形平坦,高程范围在-0.6~-9.8 m,平均坡度为 0.383%。

2016—2018 年共开展了 8 次测量,其中陆地有效测量 8 次,海域有效测量 7 次。从该剖面监测结果来看,三亚湾凤凰岛附近海滩整体呈侵蚀的趋势,但存在季节性的淤积变化(见图 3)。不考虑台风等极端天气的影响,海滩在正常水动力的作用下,海滩地形呈现出“冬淤夏蚀”的变化规律(见图 4),夏季至冬季侵蚀距离达 1.15 m。海滩侵蚀主要发生在海滩前滨的上部。

监测调查显示,该区域水下高程波动幅度在 0.2~0.3 m 之间。该波动幅度不能排除由于测线偏移、波浪等引起的测量误差。总体来说,水下地形基本没有变化(见图 5)。

3.1.2 SYPM02 剖面变化特征 该剖面位于肖旗河口东侧,三亚湾路最西边。该处海滩地形与凤凰岛处海滩地形相近。后滨宽广,坡度缓,长约 41.5 m,高程

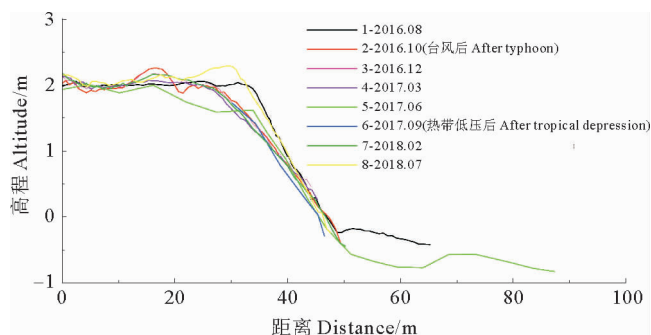


图3 SYPM01 海滩地形监测剖面图

Fig.3 Topographic monitoring profiles of SYPM01 in the part of beach

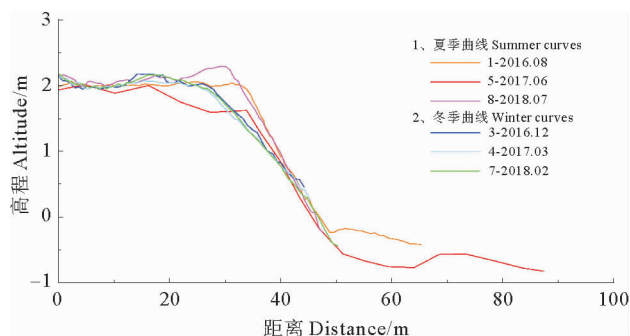


图4 SYPM01 海滩地形冬夏剖面对比图
Fig.4 Comparison of beach topography of SYPM01 in winter and summer

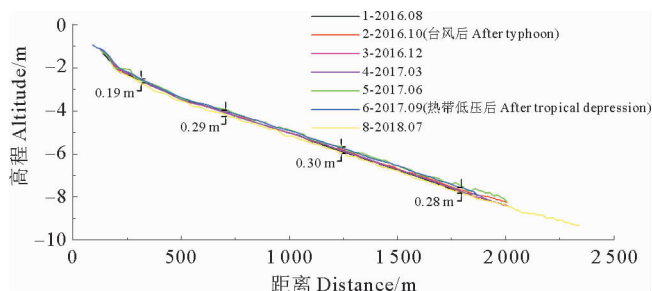


图5 SYPM01 水下地形监测剖面图
Fig.5 Topographic monitoring profiles of SYPM01 in the part of underwater

2.57~3.09 m,坡度为 1.25%。后滨前缘坡折明显。前滨长约 31.3 m,高程 -0.52~2.57 m,坡度为 9.87%。水下地形平坦,平均坡度 0.44%,前部 890 m 坡度相对较大,为 0.85%,后部坡度小,为 0.15%。前部 360~890 m 的范围为一小型水下沙坝,高差约 3.96 m,水下沙坝前为一宽平浅沟槽,槽宽 260 m,高差 0.97 m。

2016—2018 年共开展了 8 次测量,其中陆地有效测量 7 次,海域有效测量 8 次。监测显示,海滩前滨在 2016 年 12 月至 2018 年 7 月期间出现一个明显的侵蚀过程,侵蚀速率 11.15 m/a,侵蚀最大深度 1.64 m,而后滨出现堆积(见图 6)。

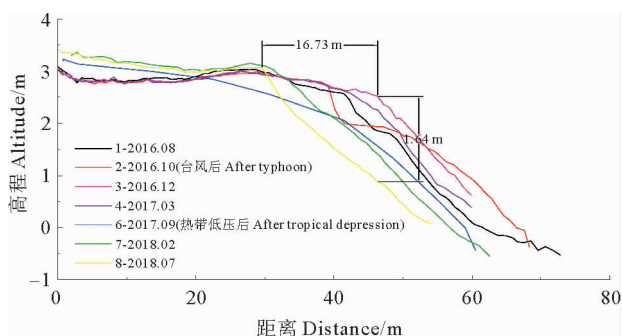


图6 SYPM02 海滩监测剖面图
Fig.6 Topographic monitoring profiles of SYPM02 in the part of beach

水下地形基本稳定,变化不大,高程波动范围在 0.1 m 左右。该变化不排除由调查时的测量误差引起的(见图 7)。

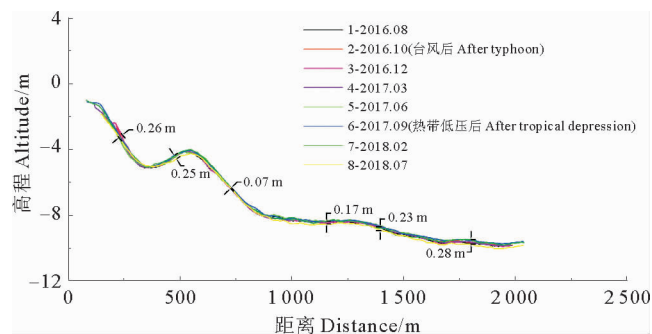


图7 SYPM02 水下地形监测剖面图
Fig.7 Topographic monitoring profiles of SYPM02 in the part of underwater

3.1.3 SYPM03 剖面变化特征 该剖面位于红塘湾中部,天涯海角旅游区西侧 4.5 km。剖面西侧近岸海域在 2017 年 5 月开始了大规模的填海施工。该处海岸后部发育大型海岸沙丘,沙丘向陆侧已被开挖,向海侧保持相对较好,植被发育,接近自然海岸。该处海岸从沙坝到滨岸带地形陡峻,整体坡度 18.06%,上缓下陡,高差变化大,高程在 -0.56~17.6 m。水下地形平坦,平均坡度 0.48%,前部 559 m 坡度相对较大,为 1.25%,后部坡度小,为 0.24%。前部 418~559 m 的范围为一小型水下沙坝,高差约 5.65 m,沙坝脊部呈两峰夹一谷的形态。

2016—2018 年共开展了 8 次测量。由于第五次定位误差,该剖面陆域和海域有效测量 7 次。监测显示,2016 年 8 月—2017 年 3 月期间,该处海岸海滩地形基本稳定。后滨沙丘区地形基本不变,高程变化在 0.08~0.2 m 之间。海滩地形变化主要受台风的影响。但是在 2017 年 9 月—2018 年 7 月之间,在高潮区附近出现强烈侵蚀现象,高程变化最大为 1.48 m。前滨也出现普遍侵蚀,高差变化在 0.94~1.04 m 之间(见图 8)。2017 年 5 月开始,该监测剖面的西部近岸海域开始大规模的人工填海活动。该地形变化很可能此次填海有关。

水下地形有波动,波动范围在 0.22~0.44 m 之间。水下地形高程的变化不能排除由于测量位置的偏移、海面波动和测量设备的测量精度等因素的影响。总体上,水下地形基本保持稳定(见图 9)。

3.2 台风影响下的海岸带地形变化特征

监测期间,监测海岸共受到一次台风(莎莉嘉)天气和一次热带低压天气的影响。为查明台风天气对研究区海岸地形的影响程度和范围,在台风经过之后,对监测剖面进行了测量。监测显示,台风、热带低压等极

端天气对海滩地形影响较大,主要表现为海滩侵蚀,水下地形变化不明显(见图 10,11,12)。

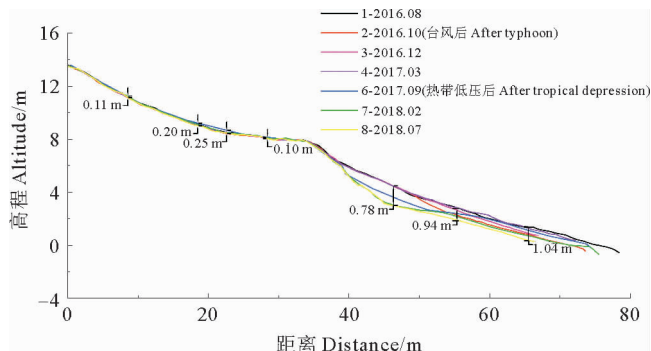


图 8 SYPM03 海滩监测剖面图

Fig.8 Topographic monitoring profiles of SYPM03 in the part of beach

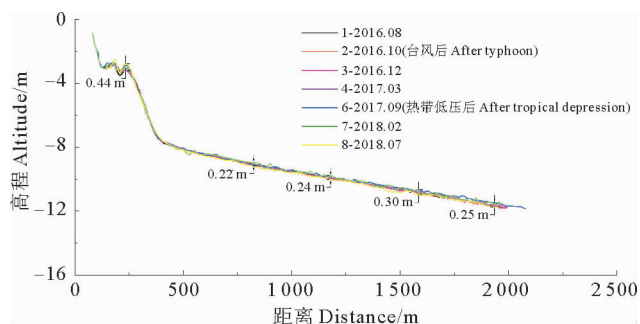


图 9 SYPM03 水下地形监测剖面图

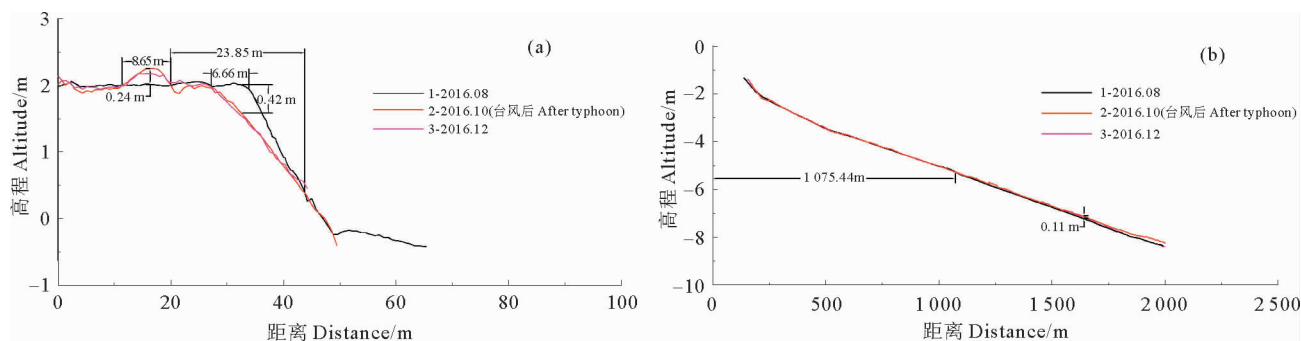
Fig.9 Topographic monitoring profiles of SYPM03 in the part of underwater

图 10 显示,受台风“莎莉嘉”的影响,SYPM01 滩面地形变缓,海滩侵蚀从前滨一直到后滨,侵蚀范围 23.85 m。最大侵蚀发生在后滨转折处,最大侵蚀深度 0.42 m,平均侵蚀厚度 0.19 m。后滨侵蚀后退约 6.66 m。在后滨中部形成一小型堆积体,前后均侵蚀出一条浅沟槽。堆积体宽度 8.65 m,最大堆积高度 0.24 m,平均堆积高度 0.16 m。台风过后,监测显示水下离岸

1 000 m 以内范围(高程-5.3 m 以浅)基本无变化,1 000 m 以外发生整体轻微淤积,淤积深度大约 0.1 m。台风之后第二次监测显示,海滩在后滨的小型堆积体变低,前滨位置基本未发生变化。水下地形前端淤积区已基本恢复到台风前的位置。

SYMP02 剖面表现为海滩后滨略有侵蚀,高程降低,后滨侵蚀后退,而前滨淤积,地形由下凹型变为上凸型(见图 11)。后滨平均侵蚀厚度 0.05 m,最大 0.09 m。后滨转折处蚀退 2.32 m,侵蚀范围 5.93 m,最大侵蚀厚度 0.56 m,平均侵蚀厚度 0.29 m。前滨淤积范围达 22.75 m,平均淤积厚度 0.48 m。虽然受台风影响,水下地形变化并不明显。在台风之后,与 SYPM01 相似,水下地形下部存在一个堆积现象,离岸 985 m(高程-8.33 m)以外发生整体轻微淤积,淤积深度大约 0.05 m。台风之后的第二次监测显示,海滩后滨高程基本未变,前滨位置则呈现了明显的恢复过程。前滨上部侵蚀区淤过了第一次监测的位置,前滨下部台风后发生淤积的位置则出现了侵蚀。海滩地形形态恢复到台风前期待状态。水下地形则与第一次监测更为吻合。水上水下地形均呈现了恢复的趋势。

SYPM03 剖面受台风“莎莉嘉”的影响海滩地形变化较大,高程整体下降。海岸沙丘平均下降 0.1 m。海滩地形整体发生侵蚀,侵蚀深度在 0.5 m 左右。虽然受台风影响,水下地形基本没有改变。变化区域主要位于水下沙坝位置,表现为沙脊处峰部侵蚀,最大侵蚀 0.13 m,谷部堆积,最大堆积 0.18 m,斜坡和坡麓略有堆积,平均为 0.07 m。水下地形主要变化范围在 179.81~823.98 m,影响至高程-9.11 m。SYPM03 台风过后海滩地形表现出整体恢复的趋势。第三次监测显示沙坝部分恢复相对较小,海滩地形恢复明显,高程恢复有 0.3 m 左右(见图 12)。第四次监测显示,海滩地形已基本恢复至第一次监测时高程。沙坝部分未恢复到第一次监测水平,形成高程损失(见图 8,9)。



((a)海滩地形,(b)水下地形,下同。(a)Beach topography,(b)Underwater topography. The same as below.)

图 10 台风前后 SYPM01 海岸地形变化对比图

Fig.10 Changes of coastal topography of SYPM01 before and after Typhoon

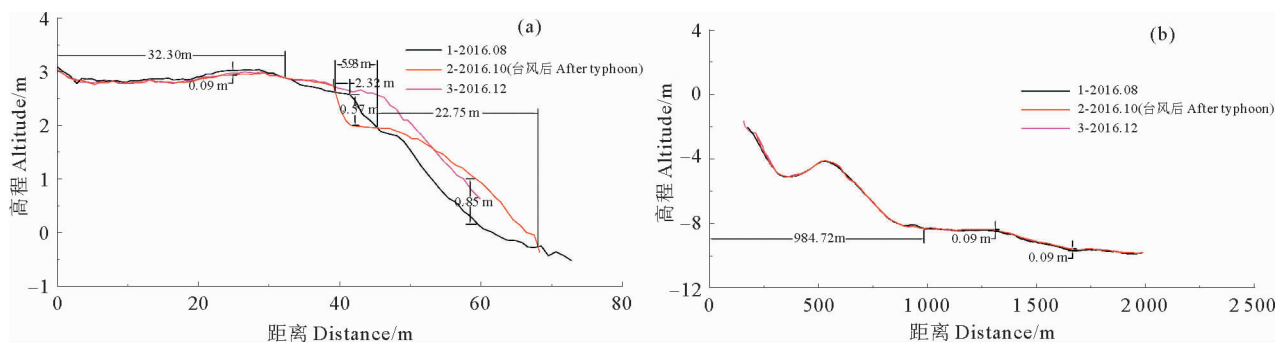


图 11 台风前后 SYPM02 海岸地形变化对比图

Fig.11 Changes of coastal topography of SYPM02 before and after Typhoon

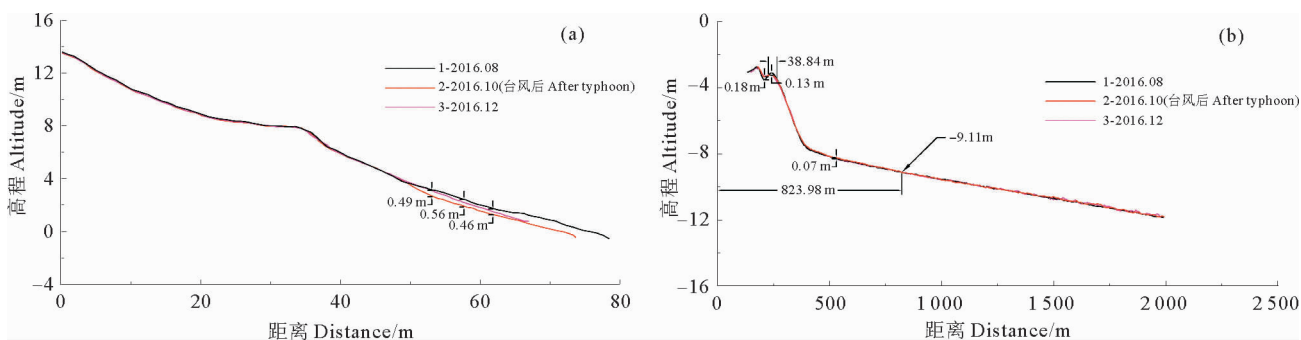


图 12 台风前后 SYPM03 海岸带地形变化对比图

Fig.12 Changes of coastal topography of SYPM03 before and after Typhoon

3.3 讨论

3.3.1 人工补沙海滩地形的重塑过程 海滩地形在海洋水动力的作用下都有向平衡海滩剖面的方向发展,以达到与区域水动力的平衡。人工补沙海岸由于人为地在局部注入外来物质,打破了区域水动力与地形形态的平衡关系,海岸地形必将在海洋水动力的影响下重新塑造,建立新的平衡。研究显示,三亚湾海岸在没有人工护岸下,海岸区域易受海洋动力作用存在较为严重且缓慢的侵蚀过程^[18]。

三亚湾东部人工补沙海岸在海滩地形上表现为明显的一陡一缓的形态。前滨范围窄,坡度大,对海浪的消散作用弱。沉积物类型为较粗的砾石和粗砂,分选差、磨圆差,与西侧自然岸段以分选好、磨圆好的粉细砂的沉积特征差别明显。

监测结果显示,补沙海滩地形表现为冬淤夏蚀的变化特征,反映了海岸物质补充充足时,海岸水动力过程对海岸地形的塑造过程。海滩地形的变化与该区的海水动力特征基本吻合。三亚湾为东西向的半开敞型海湾,南侧直接面向广阔的南海。受季风影响,海湾夏半年以 S 或 SW 向风浪为主,风浪直接作用于海滩,海滩以侵蚀过程为主。冬半年,近岸海区风浪以 E 或 NE 向为主,海区风浪小,海滩主要受外海传播的涌浪和潮流影响,对海岸作用小,海滩以淤积过程为主。海滩垂向剖面上,人工补沙海岸的沉积物粒度特征表现为粗

的砂砾质补沙物质与近海细砂质沉积物的互层现象。该沉积特征同样印证了海岸水动力对人工地形的改造过程。

由于该海岸为重要的旅游区,人工补沙并不是一劳永逸的海滩修复措施,需要加强对补沙后地形的监测,掌握其年际变化程度,为当地政府开展海岸保护与治理提供决策依据。

3.3.2 人类开发活动对海岸地形的影响 监测的三条剖面,从东向西由三亚主城区逐渐向郊区过渡,人类活动也由强逐渐变弱。

SYPM01 位于三亚主城区内,海滩每天都接待大量的游客。由于不合理的开发,该处海滩侵蚀较为严重,且出现黑化和泥化现象。为保持海滩价值,三亚市政府实施了人工补沙。人工围填使海岸线向海推移 15 m^[12]。补沙后海岸地形变化较复杂,前滨位置呈季节性摆动。这是新增物质对海洋动力的再平衡的一个过程。

SYPM02 位于三亚湾旅游开发西边界,开发强度不大。但该处海滩附近自 20 世纪 90 年代中期至 2003 年曾进行了无序的较大规模的海底采砂^[12]。1991—2013 年,基于遥感影像分析,该处剖面所处的“肖旗河口-海航度假酒店”岸段最大后退距离在 45~60 m^[13]。近期海岸地形的变化与附近海岸工程建设存在一定的关系。在监测的前期(2016-08—2017-03),海滩前滨亦

呈弱侵蚀。在监测后期,海滩后滨呈现堆积,而前滨转变为快速侵蚀。2017年5—9月间,在监测剖面的西侧350 m处建设了一条垂直海岸的防波堤。该防波堤的建设阻挡了肖旗河来沙对海滩的补给,沿岸输沙也被隔断,加速了该处海滩的侵蚀过程。

SYPM03位于红塘湾中部,这里海岸开发强度弱,海岸沙丘保存完好。在监测的前期(2016-08—2017-03),海滩地形基本稳定,即使经过台风侵蚀,在2017年3月的监测显示地形已基本恢复。反映了后方海岸沙丘对海滩地形的补充和恢复作用。但在2017年9月及以后的监测显示,海滩中部呈现明显的侵蚀,海滩形态也发生了明显的转变。这与2017年5月份以后,周边海域开始大规模填海存在一定的联系。

海滩地形变迁是陆海相互作用以及人类活动影响相互交织的过程。人类活动有些是直接改变海滩地形地貌,如人工补沙、海岸挖沙;有些则是间接造成海岸地形地貌的改变,如码头、防波堤和人工岛等各种海岸工程建设。监测显示,短周期内海岸地形的突然变化除了极端天气影响外,往往与人类活动有直接的关系。人类活动已经越来越强烈的影响着海岸地形的塑造,对海滩地形的影响越来越起到主导作用。

3.3.3 海岸带地形在极端天气下的响应特征 三条监测剖面显示,海滩位置在极端天气下均遭受强烈的侵蚀后退,侵蚀主要发生在前滨和后滨。总体来说,水下地形受台风影响变化不明显,水下高程未有显著性改变,且水下地形形态也与前期保持一致。SYPM02和SYPM03两条剖面的水下沙坝形态在台风的作用下均保持完好,变化幅度很小。SYPM01的水下地形在近岸区(距岸1 km左右,水深5 m以浅)呈现弱侵蚀状态,在远岸区则呈现弱淤积的态势。但是由于在距岸20~100 m的范围缺少监测数据,无法分析对该范围的影响。海滩侵蚀的物质可能主要在近岸发生堆积,没有向深水区域输运。研究区周边无大河流入,陆源沉积物主要来自海岸侵蚀。研究显示,研究区全新世以来沉积速率约在0.13~0.4 cm/a之间^[20-21]。海滩侵蚀下来的物质相比与海域面积相对太少,无法在海域显示出明显的堆积过程,短期的监测无法显示其变化过程。

4 结论

(1)受人类开发活动的影响,三亚湾-红塘湾海岸地形整体呈现侵蚀状态。侵蚀主要发生在海滩前滨区域,水下地形变化较小。

(2)三亚湾-红塘湾海岸各区域海滩地形变化特征不同,这与人类在当地海岸实施的开发与保护的行为密切相关。三亚湾东部海滩由于人工补沙的影响,物

源充足,在水动力的作用下,地形呈现冬淤夏蚀的季节性变化特征。三亚湾西部为旅游开发区,海滩未进行养护,呈现持续侵蚀特征,侵蚀强度大于东部。红塘湾海域,在大规模填海之前,由于海岸沙坝的存在,海滩地形基本稳定,但是之后,海滩地形出现强烈侵蚀过程。

(3)极端天气对海滩地形影响较大,表现为岸滩侵蚀。但水下地形受极端天气的影响较小,高程基本稳定。

参考文献:

- [1] Williams, Jeffress S. Sea-level rise implications for coastal regions [J]. *Journal of Coastal Research*, 2013, 63(63): 184-196.
- [2] 夏东兴, 王文海, 武桂秋, 等. 中国海岸侵蚀述要[J]. *地理学报*, 1993, 60(5): 468-476.
Xia D X, Wang W H, Wu G Q, et al. Coastal erosion in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 60(5): 468-476.
- [3] 庄振业, 印萍, 吴建政, 等. 鲁南沙质海岸的侵蚀量及其影响因素[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(3): 15-21.
Zhuang Z Y, Yin P, Wu J Z, et al. Coastal erosion and its influence on southern Shandong sandy coast [J]. *Marine geology & Quaternary geology*, 2000, 20(3): 15-21.
- [4] 黄少敏, 罗章仁. 海南岛沙质海岸侵蚀的初步研究[J]. *广州大学学报(自然科学版)*, 2003, 2(5): 449-454.
Huang S M, Luo Z R. Research on sandcoast erosion in Hainan Island [J]. *Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition)*, 2003, 2(5): 449-454.
- [5] 姚晓静, 高义, 杜云艳, 等. 基于遥感技术的近30a海南岛海岸线时空变化[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(1): 114-125.
Yao X J, Gao Y, Du Y Y, et al. Spatial and temporal changes of hainan coastline in the past 30 years based on RS [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(1): 114-125.
- [6] 陈子桑, 于吉涛, 罗智丰. 近岸过程与海岸侵蚀机制研究进展[J]. *海洋科学进展*, 2010, 28(2): 250-256.
Chen Z S, Yu J T, Lu Z F. Progresses on study of nearshore processes and coastal erosion mechanisms [J]. *Advances in Marine Science*, 2010, 28(2): 250-256.
- [7] 赵利民, 许亚全. 海滩剖面监测技术的应用研究[J]. *测绘信息与工程*, 2007, 32(4): 15-16.
Zhao L M, Xu Y Q. On foreshore section survey technique and application [J]. *Journal of Geomatics*, 2007, 32(4): 15-16.
- [8] 石海莹, 吕宇波, 冯朝材. 海南岛典型岸段侵蚀现状及特征分析[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(3): 383-388.
Shi H Y, Lu Y B, Feng C C. Analysis on the erosion status and characteristics of typical coasts in Hainan Island [J]. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(3): 383-388.
- [9] 庄丽华, 阎军, 范奉鑫, 等. 青岛汇泉湾海滩剖面变化特征[J]. *海洋科学*, 2008, 32(9): 46-51.
Zhuang L H, Yan J, Fan F X, et al. Change characters of beach profile in Huiquan Bay, Qingdao [J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(9): 46-51.
- [10] 毕世普, 张勇, 别君. 胶东半岛南部海滩地形剖面监测分析[J]. *海洋科学*, 2015, 39(3): 71-76.

- Bi S P, Zhang Y, Bie J. Monitoring and analysis of beach topographic profiles in the southern Jiaodong Peninsula[J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(3): 71-76.
- [11] 田会波, 印萍, 阳凡林. 海南省万宁东部砂质海岸侵蚀特征分析[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(4): 44-55.
- Tian B H, Yin P, Yang F L. An analysis of erosional characteristics of the sandy coast in the eastern part of Wanning, Hainan[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(4): 44-55.
- [12] 李喜海, 梁海燕. 三亚湾海岸侵蚀原因分析及防治对策[J]. *海洋开发与管理*, 2008(12): 105-108.
- Li X H, Liang H Y. Analysis on the reasons of coastal erosion in Sanya Bay and the preventive treatment countermeasures[J]. *Ocean Development and Management*, 2008(12): 105-108.
- [13] 段依妮, 腾骏华, 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.
- Duan Y N, Teng J H, Cai B W. Extraction and analysis of coastal erosion of Sanya Bay using remote sensing imagery and tide level data[J]. *Marine Forecasts*, 2016, 33(3): 57-64.
- [14] 王颖, 陈万里. 三亚湾海岸地貌的几个问题[J]. *海洋通报*, 1982, 1(3): 37-45.
- Wang Y, Chen W L. Several problems on coastal geomorphology of Sanya Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 1982, 1(3): 37-45.
- [15] 《中国海湾志》编纂委员会. 中国海湾志第十一分册(海南省海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1999: 183-223.
- Editorial Board of China Bay Chronicles. *Chronicles of China Bays (Vol. 11: Bays of Hainan Province)*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1999: 183-223.
- [16] 杨红军, 黄发凌, 曹杰. 海南岛三亚湾水文泥沙基本特性分析[J]. *中国水运*, 2017, 17(10): 243-245.
- Yang H J, Huang F L, Cao J. Analysis on hydrological and sediment characteristics in Sanya Bay, Hainan Island[J]. *China Water Transport*, 2017, 17(10): 243-245.
- [17] 严珍珍, 杜小平, 范湘涛. 三亚湾海岸动力演变的数值模拟研究[J]. *海岸工程*, 2019, 38(3): 176-186.
- Yan J J, Du X P, Fan X T. Numerical simulation of coastal dynamic evolution of the Sanya Bay[J]. *Coastal Engineering*, 2019, 38(3): 176-186.
- [18] 季小梅, 张永战, 朱大奎. 三亚海岸演变与人工海滩设计研究[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 853-859.
- Ji X M, Zhang Y Z, Zhu D K. Evolution of Sanya coast and artificial beach design[J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(5): 853-859.
- [19] 《地球科学大辞典》编委会. 地球科学大辞典(基础科学卷)[M]. 北京: 地质出版社, 2006, 167-168.
- Editorial Board of the Geoscience Dictionary. *Dictionary of Geosciences (Volume of Fundamental Sciences)*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006, 167-168.
- [20] 潘少明, 施晓东, John N. Smith. 海南岛三亚港现代沉积速率的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1995, 26(2): 132-137.
- Pan S M, Shi X D, Smith J N. Determination of recent sedimentation rates in Sanya harbour, Hainan island[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, 26(2): 132-137.
- [21] 孙倩文, 黄康有, 谢得豪, 等. 海南岛三亚湾全新世以来沉积特征与古环境演变[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2019, 58(3): 13-21.
- Sun Q W, Huang K Y, Xie D H, et al. On the sedimentary environment change since Holocene in the Sanya Bay, Hainan Island[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2019, 58(3): 13-21.

Coastal Topographic Evolution in the Seasonal and Extreme Weather Event Along Sanya Bay to Hongtang Bay in Hainan Island

Liu Wentao^{1,2}, Yang Yongpeng²

(1. The Key Laboratory of Marine Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510075, China; 2. Hainan Geological Survey Institute, Haikou 570206, China)

Abstract: According to the coastal topographic monitoring from 2016 to 2018 along the coastline of Sanya bay to Hongtang bay in Hainan island, there has coastal erosion that closely related to the human activities. Due to the influence of artificial sand supplement, the topography of eastern coast of Sanya Bay is reshaping, showing the characteristics of winter deposition and summer erosion in seasonal, which on the whole is weak erosion. The west of Sanya Bay is in a state of continuous erosion due to tourism development and urban construction. The coast of Hongtang Bay was basically stable before nearshore reclamation, and afterwards there is obvious erosion occurrence. Typhoon weather can bring about serious coastal erosion that mainly occurs in the beach part, and has little effect on the underwater topography.

Key words: Sanya bay; Hongtang bay; coastal erosion; human activities; typhoon

责任编辑 徐 环