

琼东北海湾海滩地形年度变化特征对比分析

吴多誉^{1,2}, 张航飞^{1,3*}, 张东强¹, 符广卷¹

(1. 海南省地质综合勘察院, 海南 海口 570206; 2. 海南省地质调查院, 海南 海口 570206;

3. 四川省地质矿产勘查开发局 二零七地质队, 四川 乐山 614000)

摘 要:利用 2016—2017 年琼东北海湾海滩断面高程数据, 对比分析了琼东北海湾-海口湾、铺前湾和木兰湾年度地形变化特征。结果表明, 海口湾、铺前湾和木兰湾海滩断面地形均具有季节性变化特征, 整体上夏缓冬陡, 表现为前滨遭受侵蚀作用, 而后滨则发生堆积作用。冬季, 琼州海峡的海平面较高且风浪作用更强, 这是导致冬季的海滩地形变化幅度较夏季更为明显的原因之一。同时, 岸外人工岛的建设、河流输沙量的急剧减少和人类活动等, 也是海滩地形变化的重要影响因素。研究结果可为琼东北海岸线资源开发利用与地质环境保护提供一定的科学依据。

关键词:海滩; 地形; 海口湾; 铺前湾; 木兰湾

中图分类号:P736.2

文献标志码:A

文章编号:1002-3682(2021)01-0029-08

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2021.01.004

引用格式:WU D Y, ZHANG H F, ZHANG D Q, et al. Annual changes characteristics of beach topography in the northeastern bays of Hainan Province[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(1): 29-36. 吴多誉, 张航飞, 张东强, 等. 琼东北海湾海滩地形年度变化特征对比分析[J]. 海岸工程, 2021, 40(1): 29-36.

海滩是砂质海岸重要的沉积地貌单元, 其地形变化特征对海滩的开发利用和保护具有重要意义。由于全球气候变化、风暴灾害频发、海平面上升等原因, 世界各地海滩普遍遭受侵蚀, 海滩的稳定性问题备受关注^[1]。我国海滩侵蚀也很严重^[2-3], 因此, 海滩地形变化特征分析具有非常重要的意义。前人从海岸地貌、水质环境、海平面变化、冲淤演变等方面对海南岛的多个海滩进行了研究^[4-6], 而琼东北海湾海滩的地形变化特征研究较少。本文选择在海口湾、铺前湾和木兰湾进行海滩动态监测, 结合地质地貌、海洋动力等与海滩动态相关数据, 对比分析年度海滩高程变化特征, 为海滩的保护和合理开发利用提供科学依据。

1 研究区概况

研究区海岸发育向北伸出的主要岬角, 自东向西依次为木兰头(花岗岩地貌)、僚岸坡(花岗岩地貌)、南渡江三角洲和后海(玄武岩地貌)(图 1)。在岬角之间的海湾依次为木兰湾、铺前湾和海口湾, 均属于螺旋形海湾^[7]。研究区 10 月至翌年 4 月盛行东北季风气流, 6—8 月盛行西南季风气流, 5 月和 9 月是季风转换期, 年平均风速 3.4 m/s; 潮汐类型为不正规全日潮, 以琼州海峡的涨潮东流和落潮西流两种流动型式为主; 波浪以风浪为主, 南向风为离岸风, 南向风浪较弱, 北向风为向岸风, 北向风浪较强^[8]。

根据海口秀英港潮位站 2016 年夏季 5—6 月及冬季 11—12 月数据可知^[9]: 5—6 月大潮最高潮高 2.2 m、最低潮高 0.5 m、平均大潮潮高约 1.5 m, 5—6 月小潮最高潮高 1.8 m、最低潮高 0.9 m、平均小潮潮高 1.3 m; 11—12 月大潮最大潮高 2.5 m、最低潮高 0.4 m、平均大潮潮高 1.6 m, 11—12 月小潮最大潮高 2.2 m、

收稿日期: 2020-11-10

资助项目: 海南省自然资源厅资助项目——海南岛重点海湾环境综合地质调查(I 期)(ZDXM2014092)

作者简介: 吴多誉(1991—), 男, 工程师, 主要从事水工环地质调查方面研究. E-mail: 550628354@qq.com

* 通信作者: 张航飞(1990—), 男, 工程师, 主要从事海岸带综合地质调查方面研究. E-mail: 765316210@qq.com

(陈 靖 编辑)

最低潮高 1.0 m、平均小潮潮高 1.5 m。大潮流速 1.21 m/s, 平均流速 1.02 m/s; 小潮最大流速 1.1 m/s, 平均流速 0.88 m/s, 越靠近海岸流速越小。

海口湾主要有南海明珠人工岛、葫芦岛和秀英港扩建工程等人工填海工程^[9]。铺前湾外缘的海口如意岛工程位于海口江东新区的南渡江入海口东岸, 距东海岸约 4.4 km, 距海口市市中心约 12 km, 填海规模约 9.4 km²。

海湾表层沉积物类型主要为砾、砂质砾、砂、粉砂质砂、砂质粉砂和黏土质粉砂(图 1)。海滩表层沉积物主要为砂、粉砂质砂和砂质粉砂, 砂质量分数 3.72%~100%, 粉砂质量分数 0~70.25%, 黏土质量分数 0~20.04%, 中值粒径 $-1.61\Phi \sim 6.34\Phi$, 分选系数(φ) 0.12~3.89, 分选等级为好至差不同, 部分分选等级为极好。沉积物类型分布是物质来源和沉积动力共同作用的结果。东寨港内部水动力条件弱, 其沉积物类型以细粒淤泥质为主; 径流作用较强的南渡江和珠溪河入海口外侧为较粗的砂质沉积; 海口湾、铺前湾、木兰湾中部水动力条件较弱, 分布大面积的粉砂类沉积物; 研究区北部为琼州海峡中间带, 该区域海流强劲并对槽底反复冲刷, 沉积物为粗粒度的砾石和砂质砾。

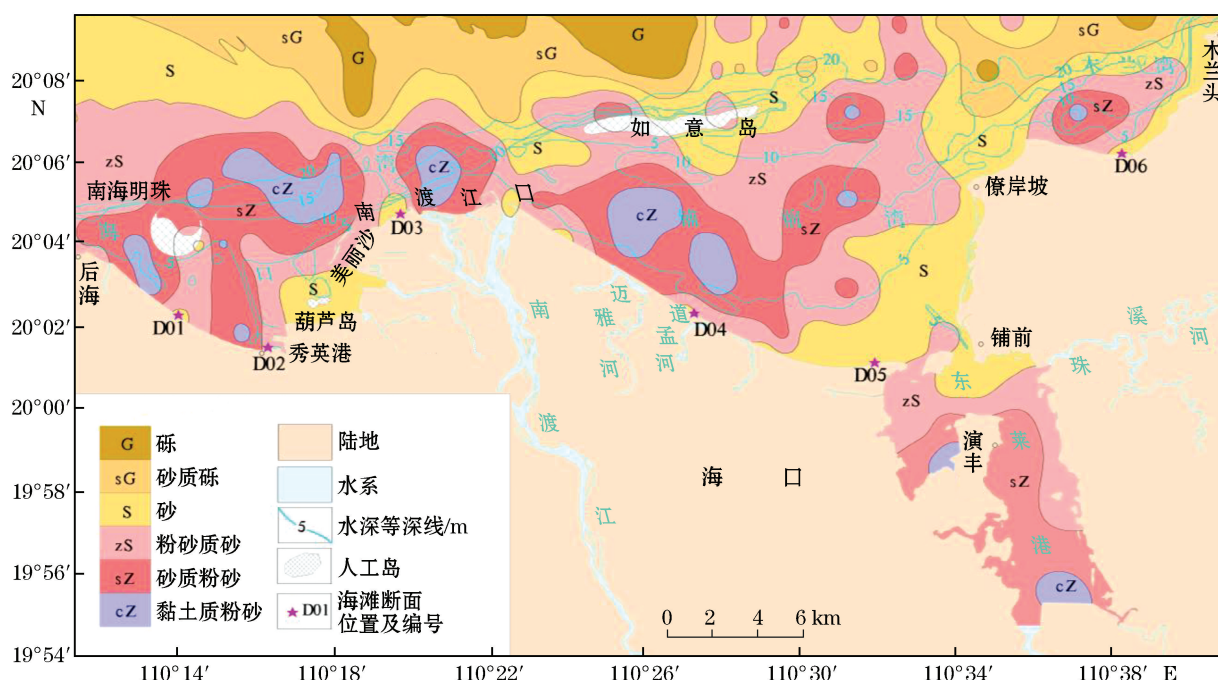


图 1 研究区海域表层沉积物类型与海滩断面分布

Fig.1 Distributions of surface sediment types and beach sections in the study area

2 资料的获取和处理

在海口湾、铺前湾和木兰湾分别布设 3 条、2 条和 1 条断面(图 1), 长度 50~200 m 不等。根据野外实地调查资料, 断面选取在海岸侵蚀或淤积较严重的岸段, 断面监测线大致垂直海岸线布设。低潮线以上岸滩部分采用双频接收机南方灵锐 S86T GPS-RTK 进行测量, 低潮线以下部分采用单音频测深仪 SDE-28S 联合 GPS-RTK 进行联合测量。2016—2017 年对研究区海滩断面测量了 5 次, 利用所得的高程数据绘制成海滩断面地形图进行对比分析, 测量时间详见表 1。

本次断面高程数据最后统一归算到国家 85 高程。由于南方灵锐 S86T RTK-GPS 接收机接收海南省卫星定位服务系统“HiCORS”差分信号得到的是“WGS-84 大地高程”数据, 所以需要对采集的数据进行转换: 由原始高程(WGS-84 大地高程)数据转换为国家 85 高程数据。利用海南省测绘局提供的网络数据处理平

台对调查取得的测深数据进行整体转换。

低潮线以下部分采用单音频测深仪联合 GPS-RTK 进行联合测量,还需要进行数据换算。如上所述,经数据转换后得到点 A 的国家 85 高程数据(图 2),实际站点点 B 与点 A 的高程换算关系为: $H_B=H_A-L-H$,其中 L 为仪器杆长、 H 代表测量水深值。

表 1 研究区海滩断面测量时间

Table 1 The time of beach section surveys in the study area

测量序号	测量时间	备 注
第 1 次	2016 年 4 月	
第 2 次	2016 年 6 月	
第 3 次	2016 年 8 月	台风“银河”后测量
第 4 次	2016 年 10 月	台风“莎莉嘉”后测量
第 5 次	2017 年 1 月	

注:空白表示无台风的月份

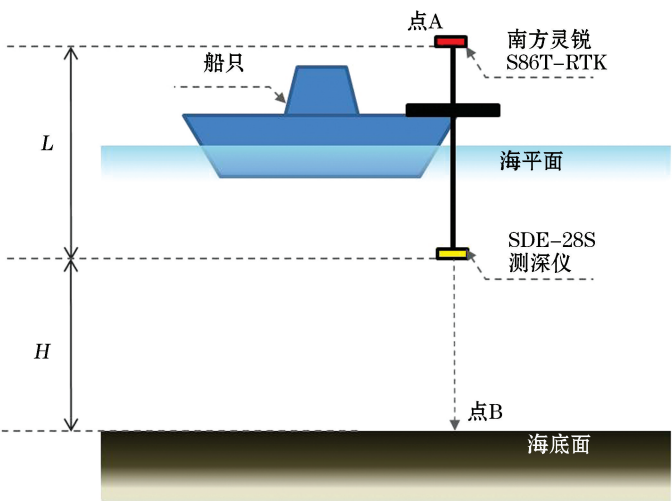


图 2 海域实际站点点高程计算示意图

Fig.2 Schematic diagram of the calculation of elevation at actual stations in the study area

3 结果与讨论

3.1 海口湾海滩地形变化特征

D01 断面位于海口湾的西部,断面长约 50 m。从 D01 断面地形变化曲线可以看出(图 3),断面整体后滨狭而平,前滨窄而陡。后滨从滨岸人工步道至平均高潮位宽约 30 m,距步道约 20 m 处有冲浪形成的滩坎。前滨位于平均高潮位和平均低潮位之间,宽约 20 m,为稍缓于后滨陡坡的斜坡。

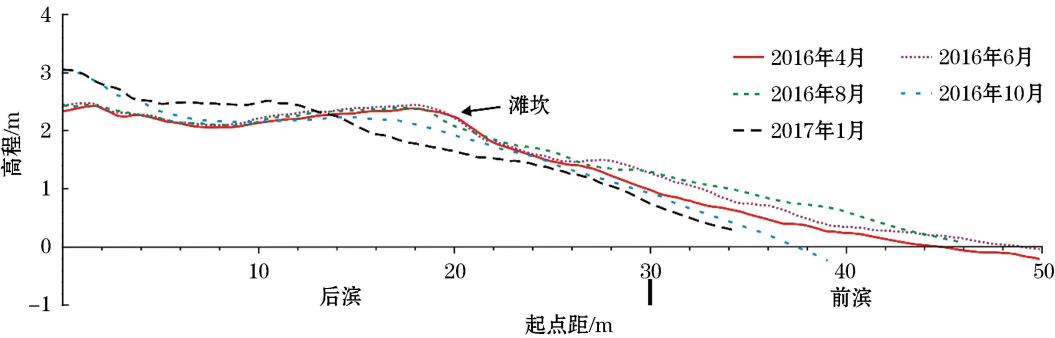


图 3 海口湾西部海滩断面 D01 地形变化

Fig.3 The topography change of beach section D01 in the westean part of the Haikou Bay

8 月台风“银河”过后,断面前滨有较明显的堆积,最大堆积厚度约 40 cm。可能是由于台风引起的强风浪使波浪作用海底的深度更大,使平均低潮位以下近滨处的泥沙再悬浮和搬运,在前滨处形成堆积。

D01 断面地形还具有季节性变化特征,整体上夏缓冬陡,主要表现为冬季(10月,1月)海滩后滨较夏季(4月,6月,8月)高,相应的,前滨较夏季的稍低,滩坎向岸迁移约 5 m,最大堆积厚度约 0.6 m,最大侵蚀深度约 1.0 m。其主要原因是海口湾冬季海面比夏季高^[10],破波带向岸位移,在破波带内产生向岸流动,具有较强的上冲力,另外冬季风浪更大,上冲力增强,把岸外泥沙向岸搬运,造成后滨堆积滩面升高,前滨冲刷滩面降低。另一方面,人工填海后,除南海明珠岸线附近海域流速增加外,海口湾大部分区域波浪和潮流的作用减弱,D01 断面处于南海明珠人工岛后波浪阴影区的岸段,波浪沿岸输沙能力减弱,也可能导致后滨出现堆积^[9]。另外,断面的地形变化可能还受人为因素的影响,因为断面处的海滩人类的活动很频繁和靠岸处有人工设施在建设。

D02 断面位于海口湾中部,起于秀英港码头,临近秀英港航道,断面长约 200 m(图 4)。由于海岸的人工开发和利用,D02 断面缺少前滨和后滨,而进入近滨,地形上整体表现为浅槽。

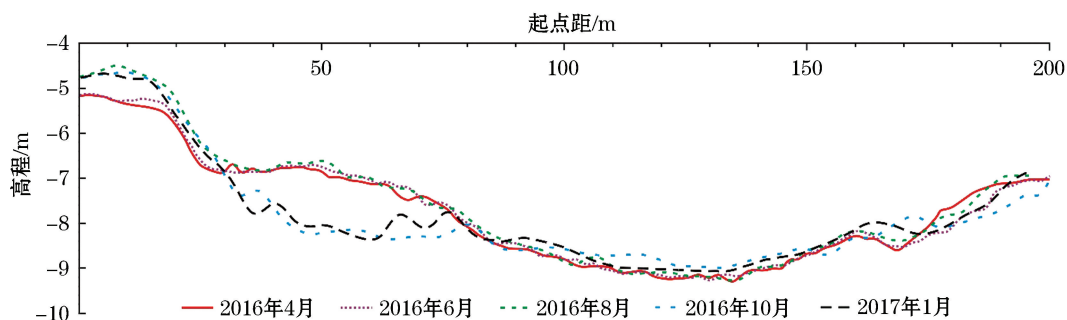


图 4 海口湾中部海滩断面 D02 地形变化

Fig.4 The topography change of beach section D02 in the central part of the Haikou Bay

8月台风“银河”前(4月,6月)的2次测量结果显示,D02 断面地形整体变化很小。由于南海明珠人工岛和白沙角的影响,断面区域受外海盛行波浪和海峡潮流的作用均较弱,加之水深逐渐较大,断面地形变化较小。除离岸约 170~190 m 的浅槽边坡有明显的侵蚀,最大侵蚀深度可达 45 cm 左右,其余区域则有轻微的堆积,最大堆积厚度约 20 cm。断面的侵蚀深度大而范围小,堆积的厚度较小而范围较大,整体呈蚀积相对平衡之势。台风“银河”过后,断面离岸 0~20 m 处有较明显的堆积,最大堆积厚度约 80 cm。这可能是与由台风引起的强风浪使槽外泥沙向秀英港航道区域搬运有关。

2016 年 10 月台风“莎莉嘉”过后和 2017 年 1 月的 2 次测量结果显示,受台风引起的强风浪以及海口湾冬季较夏季强的风浪共同的作用,断面地形受外海盛行波浪的作用较大。离岸 30~80 m 浅槽边坡发生较明显的侵蚀,最大侵蚀深度约 1.5 m。浅槽边坡被侵蚀的泥沙向两侧搬运,槽内表现为轻微的堆积,地形变化可能还受自东向西的沿岸输沙的影响^[11]。

D03 断面位于海口湾东部,起于海甸岛北部岸滩白沙角附近,长约 100 m。D03 断面地形变化曲线显示(图 5),后滨宽而平,前滨窄而陡。后滨宽约 85 m,离岸约 75 m 处有冲浪形成的滩坎。前 3 次断面测量结果显示,断面地形变化很小。滩坎至前滨斜坡有轻微的侵蚀,最大侵蚀深度约 5 cm,后滨整体范围有轻微的堆积,最大堆积厚度约 3 cm。断面地形同海口湾西部监测剖面 D01 断面一样,还具有季节性变化的特征,整体上夏缓冬陡,主要表现为冬季滩坎向岸的位移。前滨最大侵蚀深度约 80 cm,后滨最大堆积厚度约 50 cm。D03 断面位于南渡江三角洲北岸,盛行波浪的侵蚀作用、泥沙的向岸搬运作用以及南渡江主干河流泥沙的向西搬运作用等是造成后滨堆积滩面升高、前滨冲刷滩面降低的主要原因。

海口湾 3 条断面地形测量结果显示,海滩岸段受盛行波浪作用比较明显,地形有季节性变化的特点。冬季相比于夏季,断面前滨遭受较强的侵蚀,后滨则有不同程度的堆积发生。台风引起的强风浪作用导致泥沙向岸搬运而形成堆积。

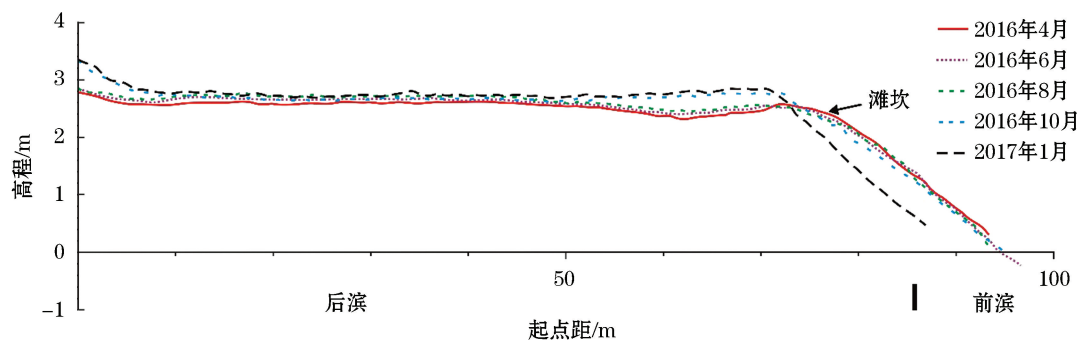


图5 海口湾东部海滩断面 D03 地形变化

Fig.5 The topography change of beach section D03 in the eastern part of the Haikou Bay

3.2 铺前湾海滩地形变化特征

D04 断面位于铺前湾的西部,断面长约 80 m。从 D04 断面地形变化曲线可以看出(图 6),后滨窄而平,宽约 50 m,离岸约 40 m 处有冲浪形成的滩坎。前 3 次断面测量结果显示,断面地形变化很小,整体上表现为轻微的侵蚀,最大侵蚀深度约 20 cm。10 月台风“莎莉嘉”过后,断面地形变化明显,断面离岸 25~60 m 的区域有明显的侵蚀作用,其靠岸一侧有不同程度的堆积作用,最大侵蚀深度约 30 cm,最大堆积厚度约 20 cm。

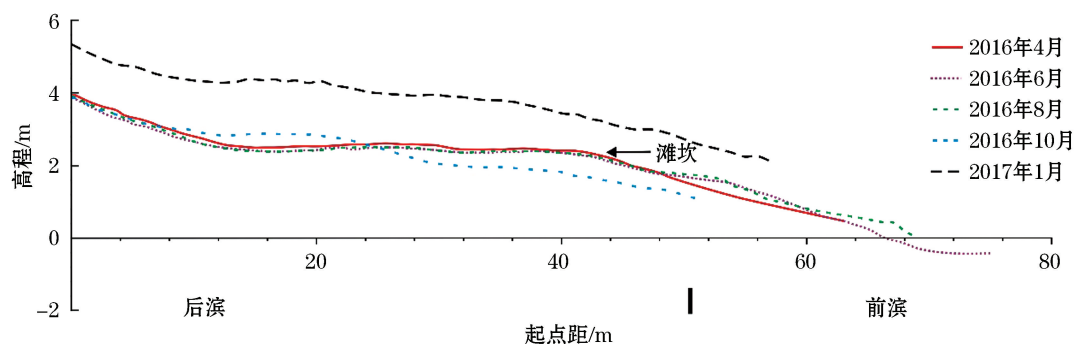


图6 铺前湾西部海滩断面 D04 地形变化

Fig.6 The topography change of beach section D04 in the western part of the Puqian Bay

2017 年 1 月的测量结果显示,冬季相比于夏季,断面的后滨和前滨有明显的堆积,最大堆积厚度约 2.0 m。断面地形季节性变化的特征与海口湾相似。受近年来岸外人工岛—如意岛建设的影响^[12],断面所在区域的潮流和波浪作用有所减小,而同时近几十年来,南渡江河口来沙急剧减少^[13],沿岸的供沙量减少,在两者的共同影响下,夏季断面地形变化较小。而冬季的风浪较夏季风浪的大,岸外水下沙波和沙脊等地貌的泥沙长时间内在盛行波浪和海峡潮流共同作用下发生再悬浮和向岸搬运而形成堆积。

D05 断面位于铺前湾的中部,长约 70 m,地形变化见图 7,后滨不发育冲浪形成的滩坎。前 3 次断面测量结果显示,断面地形变化很小。而 10 月台风“莎莉嘉”过后,断面地形变化明显,最大侵蚀深度约 1.0 m。相比于夏季,冬季前滨有明显的侵蚀,后滨有轻微的堆积,与海口湾地形变化特征相似。受如意岛和东部海岸僚岸坡等遮挡的影响,波浪和潮流的作用减小,再者由于远离南渡江入海口,沿岸输沙量也较小,因而断面夏季整体上地形变化会较小。而冬季长时间的强风浪作用造成断面后滨堆积滩面升高,前滨冲刷滩面降低,前滨地形变化尤为明显。

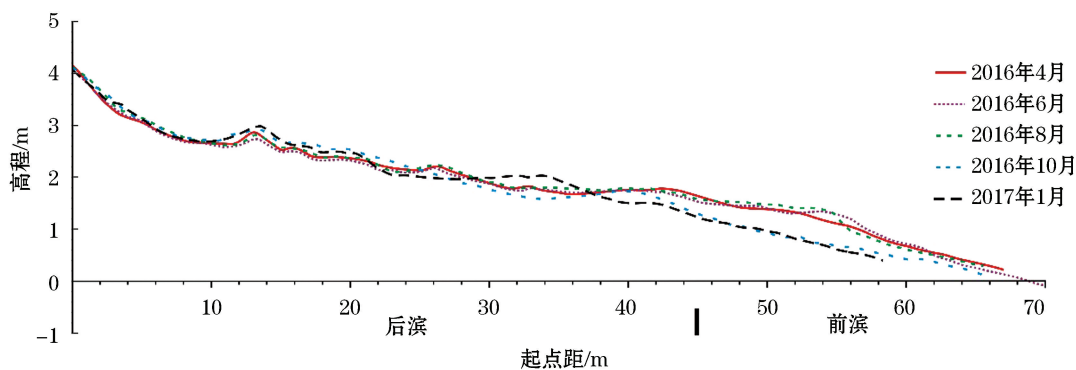


图7 铺前湾中部海滩断面 D05 地形变化

Fig.7 The topography change of beach section D05 in the central part of the Puqian Bay

3.3 木兰湾海滩地形变化特征

D06 断面位于木兰湾的中部,长约 100 m。断面地形变化曲线显示(图 8),离岸约 45 m 的后滨发育冲浪形成的滩坎,前滨较平坦。前 3 次断面测量结果显示,断面地形变化很小,整体上表现为轻微的堆积,最大堆积厚度约 20 cm。10 月台风“莎莉嘉”过后,断面地形变化明显,最大侵蚀深度约 0.8 m。相比于夏季,冬季断面前滨有明显的侵蚀,而后滨表现为轻微的堆积,在滩坎处有明显的堆积作用而导致冬季海滩滩坎的消失。断面所在区域地形比较狭窄,潮流作用和波浪作用较大,导致沿岸输沙量大于来沙量,地形整体上表现为侵蚀,堆积主要在后滨发育。

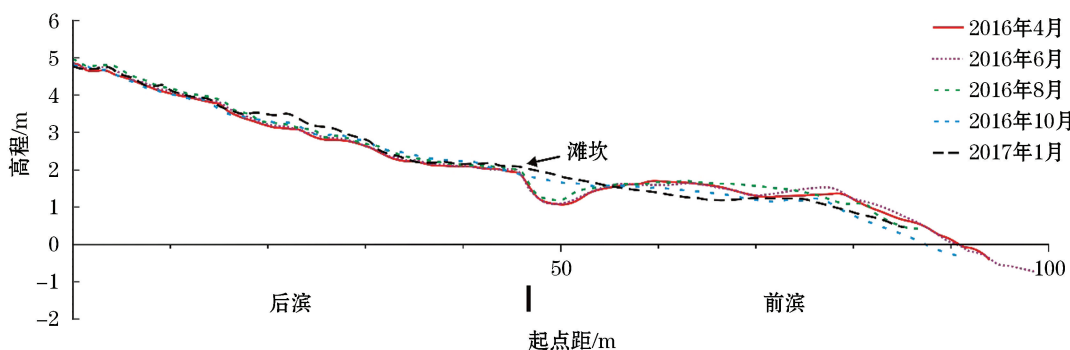


图8 木兰湾海滩断面 D06 地形变化

Fig.8 The topography change of beach section D06 in the Mulan Bay

4 结 语

对比分析研究区 2016—2017 年度不同月份海滩断面高程测量数据,结果表明海口市、铺前湾和木兰湾海滩地形均具有季节性变化的特点,主要表现为夏季地形变化幅度较小,而冬季地形变化幅度较明显,断面前滨主要遭受侵蚀作用,后滨则发生堆积作用。

研究区夏季以偏南风为主,且为离岸风,而冬季以偏北风为主,且为向岸风,加上冬季的风浪作用较夏季更强,是导致研究区冬季的地形变化幅度较夏季更为明显的原因之一。近年来岸外人工岛的建设 and 河流输沙量的急剧减少等,也是断面地形变化的主要影响因素。另外,局部区域频繁的人类活动和大量的人工设施的建设也会造成海滩地形剧烈变化。

参考文献 (References):

- [1] DOMINGUES C M, CHUCH J A, WHITE N J, et al. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise[J]. *Nature*, 2008(453): 1090-1093.
- [2] JI Z X. The characteristics of coastal erosion in China and the causes of its aggravation[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1996, 5(2): 65-75. 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.
- [3] CAI F, SU X Z, LIU J H, et al. Coastal erosion and countermeasures in China under global changes[J]. *Progress in Natural Science*, 2008, 18(10): 1093-1103. 蔡锋, 苏贤泽, 刘建辉, 等. 全球变化背景下我国海岸侵蚀问题及防范对策[J]. *自然科学进展*, 2008, 18(10): 1093-1103.
- [4] MAO L J, ZHANG Y Z, WEI L, et al. Study on beach characteristics in Sanya area of Hainan Island[J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(3): 477-484. 毛龙江, 张永站, 魏灵, 等. 海南岛三亚湾海滩研究[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(3): 477-484.
- [5] CHEN Z S. Geomorphological types of beach and the characteristics of sediments longshore movement in arc-shaped bay of Xin-hai Bay, Hainan Island[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1993, 24(5): 467-476. 陈子桑. 海南岛新海湾海滩地貌状态与海岸泥沙纵向运动特征[J]. *海洋与湖泊*, 1993, 24(5): 467-476.
- [6] WANG J, WU C S, YANG S L, et al. Vulnerability analysis and scouring & silting evolvement of Yudaisha Beach in Bo'ao, Hainan Island[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2011, 32(3): 41-45. 王洁, 吴创收, 杨世伦, 等. 海南博鳌玉带沙滩冲淤演变及脆弱性分析[J]. *上海国土资源*, 2011, 32(3): 41-45.
- [7] WANG W J. The development of the wave-dominated coast in northeast of Hainan Province[J]. *Haiyang Xuebao*, 1995, 17(3): 65-71. 王文介. 琼东北浪控海岸的发育[J]. *海洋学报*, 1995, 17(3): 65-71.
- [8] WANG B C, CHEN S L, GONG W P, et al. The formation and evolution of the harbor coast of Hainan Island[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. 王宝灿, 陈沈良, 龚文平, 等. 海南岛港湾海岸的形成与演变[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [9] ZHANG H F, ZENG W T, WU D Y, et al. Numerical simulation of scouring and silting evolution in the Haikou Bay before and after artificial reclamations[J]. *Coastal Engineering*, 2019, 38(2): 105-114. 张航飞, 曾维特, 吴多誉, 等. 海口湾人工填海前后冲淤演变数值模拟[J]. *海岸工程*, 2019, 38(2): 105-114.
- [10] CHEN Z Y. Studies of tidal and sea level changes[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2007. 陈宗镛. 潮汐与海平面变化研究[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2007.
- [11] LI C C, TIAN M, LUO X L, et al. Sediment transportation and beach movement along northern coast of Nandu River Delta, Hainan Island[J]. *Tropic Oceanology*, 1997, 16(4): 26-33. 李春初, 田明, 罗宪林, 等. 海南岛南渡江三角洲北部沿岸的泥沙转运河岸滩运动[J]. *热带海洋*, 1997, 16(4): 26-33.
- [12] CAO L L, XU W M, WANG P, et al. Response of hydrodynamic and erosion-deposition pattern to artificial island construction in Pu-qian Bay[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(3): 161-171. 曹玲珑, 许炜铭, 王平, 等. 铺前湾水动力及冲淤特性对人工岛建设的响应[J]. *海洋湖沼通报*, 2013(3): 161-171.
- [13] LUO X L, LI C C, LUO Z R. Erosion and abandonment of the Nandu River Delta, Hainan Island[J]. *Haiyang Xuebao*, 2000, 22(3): 55-60. 罗宪林, 李春初, 罗章仁. 海南岛南渡江三角洲的废弃与侵蚀[J]. *海洋学报*, 2000, 22(3): 55-60.

Annual Changes Characteristics of Beach Topography in the Northeastern Bays of Hainan Province

WU Duo-yu^{1,2}, ZHANG Hang-fei^{1,3}, ZHANG Dong-qiang¹, FU Guang-juan¹

(1. *Comprehensive Institute of Geological Investigation, Hainan Province, Haikou 570206, China;*

2. Institute of Geological Survey, Hainan Province, Haikou 570206, China;

3. No. 207 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Leshan 614000, China)

Abstract: The annual changes of the beach topography in the northeastern bays of Hainan Province which include the Haikou Bay, the Puqian Bay and the Mulan Bay are compared and analyzed based on the data of beach section elevation monitored from 2016 to 2017. The results show that the topography of beach section of the three bays is all characterized with seasonal change. As a whole, the topography of the beach sections is gentle in summer and steep in winter and shows erosion at the foreshore and accumulation at the backshore. In the Qiongzhou Straits, the sea level is higher and the wind wave is stronger in winter. This might be one of the reasons that cause the variation amplitude of the beach topography more significant in winter than in summer. In addition, the construction of offshore artificial islands, the sharp reduction of river sediment load and the human activities are also the important factors influencing the changes of beach topography. The research results can provide basis for the development and utilization of coastal resources and the protection of geological environment in the northeastern bays of Hainan Province.

Key words: beach; topography; Haikou Bay; Puqian Bay; Mulan Bay

Received: November 11, 2020