



海洋地质与第四纪地质

MARINE GEOLOGY & QUATERNARY GEOLOGY

山东半岛东南部典型砂质岸滩季节性演化及控制因素探讨——以海阳万米海滩为例

解 航, 杨怡红, 朱龙海, 张晓东, 胡日军, 尹砚军, 冷 星

Seasonal evolution of the typical sandy coast of southeastern Shandong Peninsula and controlling factors—Take the 10 000-meter beach in Haiyang as an example

XIE Hang, YANG Yihong, ZHU Longhai, ZHANG Xiaodong, HU Rijun, YIN Yanjun, and LENG Xing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2021042301>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

福宁湾海域夏季大潮期悬浮泥沙输运特征及控制因素

Characteristics and controlling factors of suspended sediment transportation in summer spring tide in Funing Bay
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 53

特提斯构造域海底流体逃逸活动特征及其控制因素

Characteristics and controlling factors of submarine fluid escape in Tethys tectonic domain
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 27

西湖凹陷Y构造花岗岩特征及成藏主控因素

Characteristics of gas reservoir and controlling factors for gas accumulation in the Huagang Formation in Y Structure, Xihu Sag
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 174

海洋天然气水合物储层蠕变行为的主控因素与研究展望

Controlling factors and research prospect on creeping behaviors of marine natural gas hydrate-bearing-strata
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 3

北康盆地基底卷入断层特征及其对南海南部构造演化的启示

Features of the basement-involved faults in the Beikang Basin and their implications for the tectonic evolution of the southern South China Sea
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(4): 116

渤海湾西岸晚更新世以来的沉积环境演化及碳埋藏评价

Environmental evolution and carbon burial assessment of the west coast of Bohai Bay since Late Pleistocene
海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 194



关注微信公众号，获得更多资讯信息

解航, 杨怡红, 朱龙海, 等. 山东半岛东南部典型砂质岸滩季节性演化及控制因素探讨——以海阳万米海滩为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(1): 57-67.

XIE Hang, YANG Yihong, ZHU Longhai, et al. Seasonal evolution of the typical sandy coast of southeastern Shandong Peninsula and controlling factors—Take the 10 000-meter beach in Haiyang as an example[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2022, 42(1): 57-67.

山东半岛东南部典型砂质岸滩季节性演化及控制因素探讨——以海阳万米海滩为例

解航¹, 杨怡红², 朱龙海^{1,3}, 张晓东^{1,3}, 胡日军^{1,3}, 尹砚军¹, 冷星¹

1. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100

2. 山东省海洋工程咨询协会, 济南 250013

3. 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100

摘要:根据2018年秋季至2019年夏季4个季节的海滩剖面形态测量和表层沉积物粒度分析结果,研究了海阳万米海滩地形和表层沉积物粒度季节变化特征,探讨了控制研究区砂质岸滩季节性演化的因素。结果表明:连理岛-东村河口以西海滩剖面形态在强动力和弱动力条件下分别呈“上蚀下淤”和“下冲上塑”特征,夏季台风造成的滩肩侵蚀量大于冬季风,在滩面形成的沙坝数量多、规模小且离岸距离较之冬季风更远。连理岛-东村河口处海滩剖面形态整体呈淤积状态,且在强动力条件下的淤积量大于弱动力条件。连理岛-东村河口以东海滩剖面形态的季节性变化幅度小于以西海滩,同时滩肩顶剖面形态在夏季出现明显下凹特征。表层沉积物粒度特征变化同样呈现东西差异的特点,秋季到冬季,西侧海滩表层沉积物粒度变粗、分选变差,而东侧海滩变细、分选基本不变;冬季到春季,海滩表层沉积物粒度总体变细、分选较好;夏季变化趋势与冬季相似,但变化幅度有所差异。人工岛和港口等海岸工程建设是导致海滩剖面形态和表层沉积物粒度东西差异的主要因素;波浪和台风事件等是控制砂质岸滩季节性演化的主要动力因素;潮汐作用、旅游开发等人类活动也对岸滩演化造成一定影响。

关键词:海滩;季节性演化;控制因素;山东半岛

中图分类号:P736.21

文献标识码:A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2021042301

Seasonal evolution of the typical sandy coast of southeastern Shandong Peninsula and controlling factors—Take the 10 000-meter beach in Haiyang as an example

XIE Hang¹, YANG Yihong², ZHU Longhai^{1,3}, ZHANG Xiaodong^{1,3}, HU Rijun^{1,3}, YIN Yanjun¹, LENG Xing¹

1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2. Shandong Marine Engineering Consulting Association, Jinan 250013, China

3. Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

Abstract: Beach profile morphological survey and surface sediment grain size analysis along the Haiyang coast were carried out by the authors for the four seasons from the autumn of 2018 to the summer of 2019, and the seasonal variation of beach topography and surface sediment grain size as well as the factors controlling the seasonal evolution of sandy coast in the surveyed area were studied. The results show that the beach profile to the west of Lianlidao-Dongcun estuary is characterized by patterns of "upper erosion and lower siltation" under strong dynamic and "lower scoured and upper molded" under weak dynamic conditions, respectively, and the erosion of beach berm caused by the summer typhoon is much stronger than that caused by the winter monsoon. A large number of sand bars of small scale were formed on the beach surface, and extended offshore farther than those formed under the winter monsoon. The beach profile at the Lianlidao-Dongcun estuary is silted in general, and the siltation under strong dynamic is larger than that under weak dynamic condition. The seasonal variation of the beach profile to the east of the Lianlidao-Dongcun estuary is smaller than that to the west, and the shape of the beach berm top shows obvious a concave feature in the summer. The variation of grain size of surface sediments also shows the difference between the east and the west. From autumn to winter, the grain size of surface sediments on the west side becomes coarser and the sorting becomes worse. On the east side, however, the sediments

资助项目:国家自然科学基金项目“山东半岛海湾对泥沙的捕获机制——以威海湾为例”(41776059);山东省自然科学基金项目“近50年来山东半岛滨海沙滩侵蚀演变的定量评价及其影响因素”(ZR2019MD037)

作者简介:解航(1994—),男,硕士研究生,主要从事海洋沉积动力地貌学研究, E-mail: 554812239@qq.com

通讯作者:朱龙海(1979—),男,教授级高级工程师,主要从事海洋沉积动力地貌学研究, E-mail: zhulonghai@ouc.edu.cn

收稿日期:2021-04-23; **改回日期:**2021-06-02. 文凤英编辑

become finer with almost unchanged sorting. From winter to spring, the grain size of beach surface sediments becomes finer in grain size and better in sorting, and the variation trend in summer is similar to that in winter, although the variation range is different. Coastal engineering construction such as artificial islands and ports are the main factors leading to the difference of beach profile shape and grain size of surface sediments from east to west, and waves and typhoon events are the main dynamic factors that control the seasonal evolution of sandy beaches. Tidal action, tourism development and other human activities will also have a certain impact onto beach evolution.

Key words: beach; seasonal evolution; controlling factors; Shandong Peninsula

海岸带是海洋与陆地相互作用的地带,占全球岸线总长约 1/8 的砂质海岸是海岸带中最敏感的区域之一。海滩周围的水动力环境、泥沙条件及海滩沉积物特征共同塑造了海滩丰富的地形地貌特征^[1-2]。海岸带地区人口密度约为世界平均水平的 3 倍;我国大陆海岸线总长约 18 000 km,近半数的人口生活在沿海地区^[3]。前人将海岸线类型概括为 5 类:粉砂淤泥质岸线、砂质岸线、基岩岸线、生物岸线和人工岸线^[4]。其中,占全球岸线总长 13% 的砂质岸线在全世界范围内的分布十分广泛,我国砂质海岸主要分布在东北部、东部和南部沿海地区^[5]。山东拥有长达 3 121 km 的海岸线,占全国海岸线总长的 1/6,滨海旅游业产值约占海洋产业总产值的 2/3^[6]。在山东绵长的岸线上,分布有百余处滨海海滩,空间分布均匀,海滩类型以沙坝潟湖海岸最多^[1]。海阳市位于山东半岛东南部海岸线的中间处,其南部沿 NE-SW 方向分布有绵延近 30 km 的砂质岸滩,偶有基岩岬角分布,著名的海阳万米海滩旅游区便位于此处。该区域岸线周围有河口、基岩岬角、港口、人工岛等众多自然和人工要素分布。

海滩是重要的滨海旅游资源,海滩的形态和表层沉积物变化与波浪等自然因素和海岸工程建设等人为因素有关,其所造成的影响往往可以作用于数百千米的海岸线^[7]。自 20 世纪初以来,不断有国外学者对海滩剖面形态和表层沉积物的演化特征和控制因素进行研究^[8-14],80 年代以来,诸多国内学

者开始通过调查分析对我国砂质海岸分布特征、侵蚀现状和侵蚀原因做了总结与概括^[15-20]。对于山东半岛砂质海岸的研究更多集中于海滩的侵蚀现状及原因,且选择的典型区域相对集中在半岛北部和东部^[21-31]。前人对于海阳南部砂质岸滩的研究,主要是通过以数值模拟为基础结合实测资料来探讨近岸人工构筑物对其周围砂质岸滩的影响^[32-36],或极端天气对沙滩造成的短促破坏^[37]。

综上,国内外学者对岸滩演化开展了众多研究,取得了丰硕成果。然而,海滩的演化受泥沙来源、海洋动力和工程建设等共同影响,具有区域差异性,这些差异的形成和发育是海岸环境演变的一个重要组成部分^[38],既反映了海滩的地貌格局,同时也显现出海岸动力过程与海岸工程环境对海滩的共同作用。据此,本文以实测资料为基础对研究区不同岸段海滩剖面形态和沉积物粒度特征的季节变化差异进行研究,并根据研究区气象水文资料和浪潮作用指数的计算结果,结合前人成果对控制研究区海滩季节性变化和差异的原因进行探讨,以求对探究中国北方,尤其是山东半岛东南部区域砂质海岸的演化规律起到一定的指示作用。

1 研究区概况

研究区位于山东半岛东南部、烟台海阳市南部的万米海滩区域,如图 1 所示,南临黄海,介于海阳

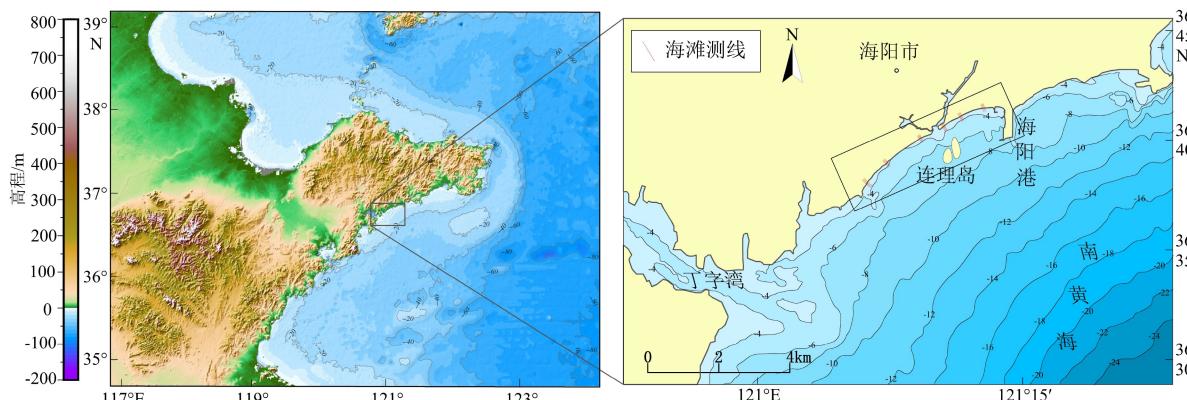


图 1 研究区地理位置及取样站位图

Fig.1 Location of the study area

港和丁字湾之间。海阳万米海滩位于山东半岛东南部海岸线的中间处, 此处沿 NE-SW 方向分布有绵延近 30 km 的沙坝潟湖海岸^[1]。海滩中部有东村河入海, 为季节性河流, 向海输沙量较少, 仅在丰水期有少量泥沙向海输运, 枯水期流量微小或断流, 基本无泥沙向海输运^[33]。研究区地处北温带, 具有典型的大陆性海洋季风气候特征, 各季节特征明显。夏季多偏南风, 偶有台风天气, 平均每年 1—2 次^[39]; 冬季则多偏北风; 春、秋两季南北风转换交替出现。

研究区潮汐以规则半日潮为主, 平均潮差 2.24 m, 四季变化不明显。海流以潮流为主, 主要为正规半日潮流, 潮流运动形式为往复流, 主流向为 E-W 向, 大潮期间涨、落潮流最大平均流速分别为 0.37、0.32 m/s; 小潮期涨、落潮流最大平均流速分别为 0.18 和 0.17 m/s^[36]。研究区海浪的主导波型呈现季节性交替变化, 春季和冬季以风浪为主、夏季以涌浪为主, 秋季风浪、涌浪频率相当^[40], 常浪向为 SSW 向, 次常浪向为 S 向和 SW 向; 强浪向为 SE 向, 最大波高为 5.8 m, 次强浪向为 SSE 向, 最大波高为 3.9 m^[41]。

研究区泥沙来源为研究区内部的东村河和东侧约 11.7 km 的留格河, 以及丁字湾和乳山口两个海湾。其中位于研究区西侧约 12.7 km 的乳山口的泥沙受海流影响, 主要向南输运, 对研究区泥沙贡献较弱; 而位于研究区西侧约 10.4 km 的丁字湾, 其泥沙受沿岸流影响, 自西向东输运, 为研究区最重要的泥沙供应源^[42]。

2 数据与方法

2.1 地形测量

海滩剖面监测是研究海滩地形变化的重要手段之一^[43]。2018 年 10 月、2019 年 1 月、5 月和

8 月, 中国海洋大学在海阳万米海滩开展了 6 条剖面 4 个季节的海滩地形测量, 测线布设如图 2 所示。在以往的研究中, 每个剖面通常采用单一测线的测量结果进行岸滩演化的分析。从统计学角度来看, 单一测线的测量具有一定的局限性, 本次研究在主测线两侧各 50 m 处分别布设一条测线进行同步测量, 通过 3 条测线的综合分析可更客观地反映海滩地形变化特征。测量前, 在各剖面靠陆侧选择人工构筑物等相对稳定的标识物作为基准点, 以利于各期测量结果的对比。采用华测 X90 双频 RTK 进行高程测量, 水平精度 $\pm(10 + 10^{-6})$ mm, 垂直精度 $\pm(20 + 10^{-6})$ mm。室内采用 Grapher、Hypack、AutoCAD 和 Surfer 等软件对测量结果进行数据处理和成图。

2.2 表层沉积物取样及实验分析

沉积物粒度参数一定程度上可以指示岸滩的沉积动力环境^[44], 通过取样分析海滩沉积物粒度变化是了解海滩动态的重要手段^[45], 因此在 6 条海滩剖面测线位置, 自岸向海每隔 5~10 m 进行表层沉积物取样, 取样起止点坐标见表 1。取样时采用 RTK 进行定位, 使用取样铲取表层 2~3 cm 表层沉积物, 样品质量均不少于 500 g, 并使用自封袋封装编号。海滩样品室内实验采用筛析法, 使用孔径间隔为 0.5Φ 的标准筛和标准振筛机进行实验分析。此处选取水动力环境差异明显的滩肩和滩面的样品进行比较分析。

3 结果

3.1 海滩剖面季节变化特征

本文获得了 2018—2019 年 4 个季节的海滩地形测量结果, 为便于定量分析和比较, 将各剖面 4 次观测数据绘制成剖面图, 在各剖面上标示平均

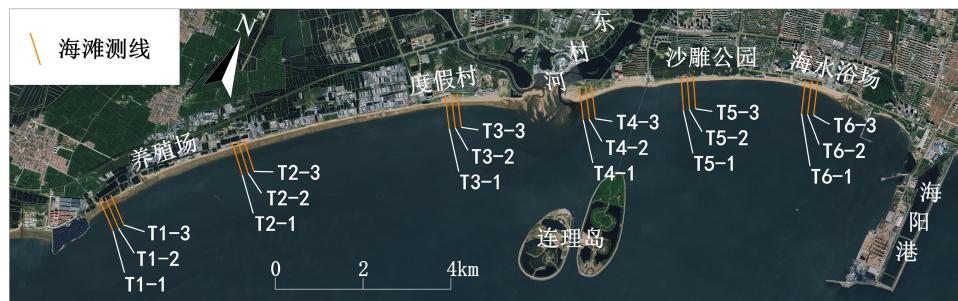


图 2 研究区海滩地形测线

Fig.2 Topographic lines and surface sediment stations in the study area

表1 研究区海滩滩肩表层沉积物取样起止点坐标

Table 1 Coordinates of starting and ending points for surface sediments sampling on beach berms in the study area

	起点		终点	
	纬度	经度	纬度	经度
T1	36°41'39.33"N	121°12'55.47"E	36°41'36.05"N	121°12'56.07"E
T2	36°41'16.52"N	121°11'38.61"E	36°41'14.79"N	121°11'39.75"E
T3	36°40'47.13"N	121°10'41.74"E	36°40'45.61"N	121°10'42.83"E
T4	36°40'16.59"N	121°09'23.52"E	36°40'15.24"N	121°09'24.40"E
T5	36°39'09.94"N	121°07'24.05"E	36°39'06.58"N	121°07'26.55"E
T6	36°38'14.81"N	121°06'18.86"E	36°38'10.93"N	121°06'22.96"E

高潮线(MHW)、平均低潮线(MLW)等主要特征潮汐水位,如图3所示。从各剖面平面分布来看,受海阳港和连理岛影响,不同海滩剖面的季节变化存在较大的差异,如连理岛-东村河河口以西的T1、T2和T3海滩剖面季节变化幅度较大,以东的T5和T6海滩滩肩季节变化幅度较大。因此,为了更好地分析海阳万米海滩地形的变化特征,将6条海滩测量剖面分成3组(连理岛西侧的T1、T2、T3剖面,连理岛北侧的T4剖面,连理岛东侧的T5、T6剖面)分别进行详细分析:

(1)连理岛-东村河以西海滩剖面变化

连理岛-东村河以西海滩长约7.70 km,相邻海域开阔。从陆向海分别为养殖场、风成沙丘、滩肩陡坎、滩面,部分养殖场外围建筑有防护工程,风成沙丘上有绿色植被覆盖。海滩地形较为平缓,滩面坡度约1:55~1:40。该岸段海滩人类活动较少,可较好地反映自然状态下的海滩变化。如图3所示,各剖面变化特征为:秋季至冬季,滩肩以侵蚀为主,侵蚀量为0.11~0.37 m,侵蚀沉积物向海运移,部分堆积在滩肩下部,形成高约0.22~0.66 m,

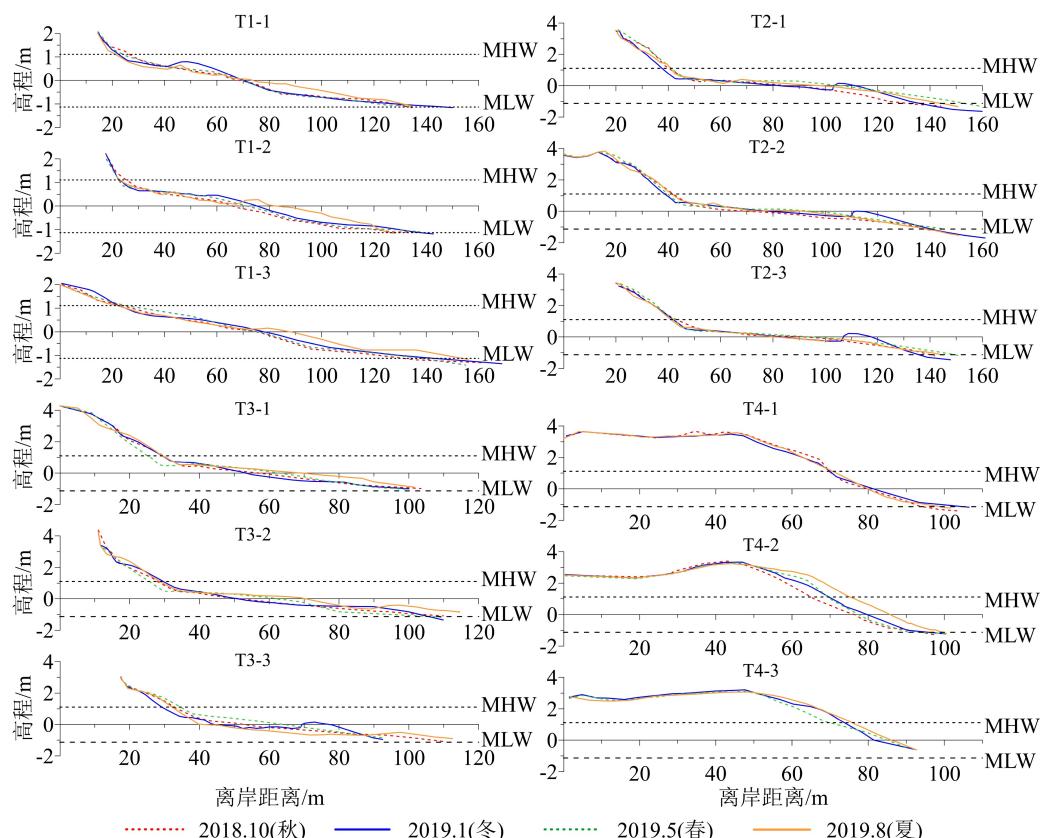


图3 连理岛-东村河以西、以北海滩剖面图

Fig.3 Beach profiles to the west and north of Dongcun River of Lianli Island

宽约 20~40 m 的沿岸沙坝; 冬季至春季, 沿岸沙坝消减, 沉积物向岸输运沉积, 滩肩处微弱淤积, 淤积量约 0.20~0.60 m; 春季至夏季, 受 2019 年 9 号台风“利奇马”影响, 海滩滩肩发生侵蚀, 侵蚀量约 0.21~0.46 m, 其程度大于冬季, 滩面下部发生淤积, 同时在较之冬季离岸更远的位置(76~158 m)形成相对高度为 0.21~0.64 m、宽度为 28~53 m 的沿岸沙坝, 以及多个规模较小的小型沙坝。

(2) 连理岛-东村河海滩剖面变化

连理岛-东村河海滩剖面位于连理岛以北, 东村河入海口东侧的一处荒滩, 人类活动稀少, 该地位于人工岛屿“连理岛”向岸侧, 原为东村河河口处发育的接岸沙嘴, 整体地势较之西侧海滩略陡, 滩面坡度约为 1:15。该处海滩后滨宽阔, 滩肩上有大量低矮植被覆盖, 从陆向海分别为风成沙丘、滩肩、滩面。从剖面形态的季节变化来看, 测线 T4-1 处呈现与西侧海滩相似的季节性特点, 但变化幅度略小, 而 T4-2 和 T4-3 处则呈现不同的变化特征。如图 3 所示, 该剖面季节变化特征为: 秋季至冬季, T4-1 测线处滩肩微弱侵蚀, 侵蚀量约为 0.25~0.3 m, 物质向下搬运, 在滩面形成淤积, 淤积厚度为 0.21~0.24 m; 冬季至春季, 海滩剖面变化为“下冲上淤”, 滩面被冲刷, 物质向岸输运塑造滩肩, 淤积厚度为 0.28~0.45 m; 春季至夏季, 受台风“利奇马”影响, 滩肩下部下蚀 0.16~0.21 m, 其程度大于冬季, 滩面淤积 0.24~0.28 m。测线 T4-2 和 T4-3 处则表现出不同的季节变化特征, 其在强水动力季节中海滩整体呈现淤积状态。

(3) 连理岛-东村河以东海滩剖面变化

连理岛-东村河以东海滩长约 4.67 km, 附近海域分布有人工岛和港口等人工构筑物。从陆向海

分别为人工娱乐设施、风成沙丘、滩肩、滩面, 沙丘上无植被覆盖。该区域海滩滩肩高, 后滨较为宽广, 滩面较窄, 滩面坡度较之西侧海滩略陡约为 1:15~1:10。该岸段海滩人类活动频繁, 分布有多处已开发利用的滨海旅游设施, 人类活动对海滩的影响强烈, 尤以 T5 测线处海滩更为明显。如图 4 所示, 各剖面变化特征如下:

T5 测线处海滩秋季至冬季, 海滩剖面形态总体较为稳定, 滩肩上部有 0.05~0.08 m 的微弱侵蚀, 下部则有 0.16~0.21 m 的微弱淤积, 滩面则有 0.12~0.18 m 的微弱淤积; 冬季到春季, 滩面均有不同程度的侵蚀, 尤其以 T5-2 测线处最为严重, 最大侵蚀量可达 0.8 m, 其原因可能与当地旅游旺季前, 人类活动对该区域的改造有关; 春季至夏季, 受该地人类活动和台风“利奇马”影响, 海滩滩肩发生严重侵蚀, 最大侵蚀量可达 1.32 m, 滩肩略有淤积, 淤积量为 0.17~0.24 m。经过与前人对该区域受台风“利奇马”影响情况的研究结果^[37] 对比后发现, 台风对该岸段的影响小于西侧岸段, 故而造成春季到夏季滩肩严重侵蚀的原因可能为当地旅游旺季频繁的人类活动。

T6 测线处海滩秋季到冬季, 滩肩和滩面均发生侵蚀, 侵蚀量为 0.21~0.37 m; 冬季至春季, 沉积物向岸运移沉积, 滩肩处于微淤积状态, 淤积量约 0.20 m; 春季至夏季, 受 2019 年台风“利奇马”影响, 海滩滩肩发生侵蚀, 侵蚀量为 0.26~0.31 m, 侵蚀沉积物向海运动, 部分堆积在滩肩下部和滩面处, 淤积量为 0.34~0.59 m。

3.2 海滩沉积物平面分布季节变化

沉积物粒度参数是描述沉积环境的一个重要

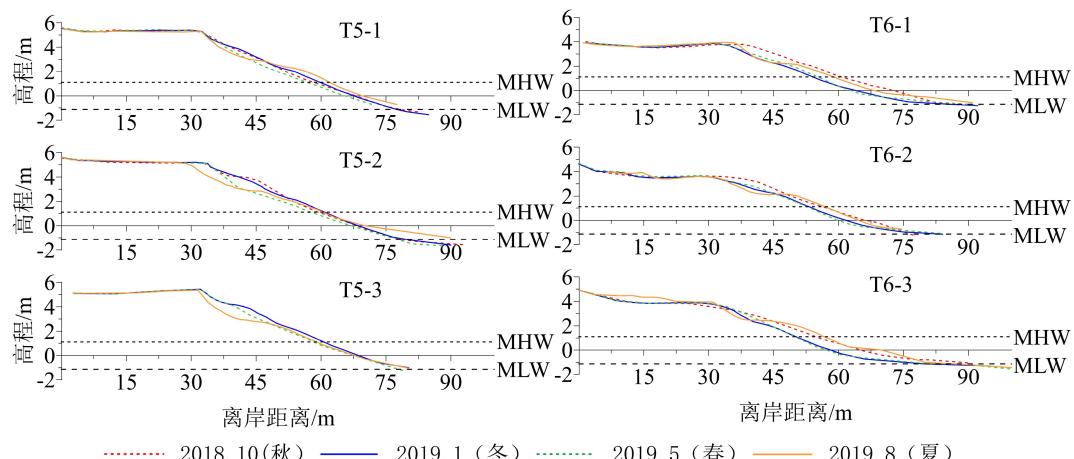


图 4 连理岛-东村河以东海滩剖面图

Fig.4 Beach profile to the east of Dongcun River on Lianli Island

指标,其变化特征在一定程度上可以反映研究区沉积环境特点以及沉积物的输运过程。此处选取水动力环境差异明显的滩肩和滩面的样品进行比较分析。同时为方便描述,将各站位样品以东村河河口为界分为西侧(T1-T3)和东侧(T4-T6)分别描述、分析。

(1) 平均粒径

如图5所示,研究区海滩表层沉积物样品的平均粒径(Mz)为 $0.29\sim 2.94\Phi$,其季节变化整体呈现以下特点:

秋季平均粒径呈现“西细东粗”的格局,其中西侧滩肩样品平均粒径为 $1.57\sim 2.35\Phi$,滩面样品为 $2.09\sim 2.44\Phi$,东侧的滩肩样品平均粒径为 $1.13\sim 1.20\Phi$,滩面样品为 $1.74\sim 2.94\Phi$;冬季整体变化趋势为西侧变粗而东侧变细,其中西侧滩肩样品平均粒径为 $0.60\sim 1.19\Phi$,滩面样品为 $0.95\sim 1.43\Phi$,东侧的滩肩样品平均粒径为 $1.28\sim 1.71\Phi$,滩面样品为 $1.81\sim 1.93\Phi$;春季滩肩样品平均粒径除T1站位相对较粗($Mz=0.83\Phi$)以外,其余站位均为 $0.97\sim 1.36\Phi$,而滩面样品除T4站位相对较粗($Mz=1.08\Phi$)外,其余站位均为 $1.44\sim 2.31\Phi$,其变化趋势为西侧变细而东侧变粗;夏季受到台风影响,整体西侧变粗而东侧变细,其中西侧滩肩样品平均粒径为 $0.29\sim 1.04\Phi$,滩面样品为 $0.33\sim 0.77\Phi$,东侧的滩肩样品平均粒径为 $1.06\sim 2.01\Phi$,滩面样品T4站位相对较粗($Mz=0.74\Phi$),T5和T6站位为 $1.87\sim 2.10\Phi$,其变化趋势与冬季相似但程度有所不同。

(2) 分选系数

如图5和表2所示,研究区海滩表层沉积物样

品的分选系数为 $0.35\sim 1.91$,分选等级为好—较差。平面上,整体东侧海滩表层沉积物分选好于西部,且随季节变化,东侧分选情况较之西侧更为稳定;季节变化上,秋季到冬季,西侧海滩表层沉积物分选变差而东侧基本不变,这一现象体现了西侧岸段海滩表层沉积物对强动力条件的响应较之东侧更为敏感,西侧海滩的滩面样品尤为明显;春季,除T2站位的滩面样品($\delta_l=1.37$)和T6站位的滩肩样品($\delta_l=1.40$)分选较差外,全岸段分选情况稳定在“分选较好”;夏季西侧海滩滩肩表层沉积物分选变差而滩面变好,东侧除T6站位分选变好外,其余站位分选情况基本不变,整体而言,除西侧滩面外,夏季海滩表层沉积物分选系数变化趋势与冬季相似,体现了海滩对不同动力条件的响应有所差异。

4 讨论

岸滩演化受波浪、潮汐和台风等自然因素以及工程建设等人为因素的共同影响(图6),下面分别对各因素的影响进行讨论和分析。

4.1 自然因素

(1) 波浪

波浪向岸传播引起的质量输送流、破碎波产生的沿岸流及海岸水体堆积引起的离岸流等近岸流系是砂质岸滩的形成和发育最具影响的动力因素^[38]。根据欧洲中期天气预报中心(ECMWF)2018年秋季至2019年夏季的气象水文数据(时间分辨率为6 h,

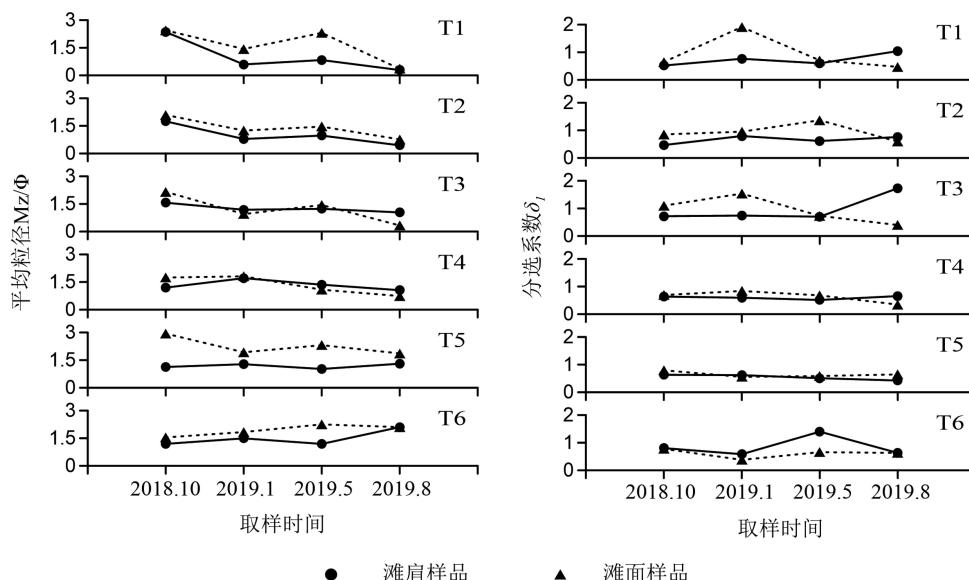


图5 研究区海滩表层沉积物平均粒径、分选系数季节变化图

Fig.5 Seasonal variation of mean grain size and sorting coefficient of beach surface sediments in the study area

表 2 研究区海滩滩肩表层沉积物分选等级季节变化
Table 2 Seasonal variation of sorting coefficient of berm surface sediments in the study area

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
秋	较好	好	中等	较好	较好	中等
冬	中等	中等	中等	较好	较好	较好
春	较好	较好	较好	较好	较好	较差
夏	较差	中等	较差	较好	好	较好

空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$) 和《山东近海水文状况》^[40] 可知, 研究区受季风气候影响, 冬季有效波高最大, 其余三季有效波高相近; 冬季平均波向为东北向, 春季、秋季为常浪向交替时期, 波向分别为西南偏南向和东北偏北向, 夏季为东南偏南向; 研究区全年海浪波型呈季节性变化, 冬季以风浪为主, 夏季以涌浪为主, 春、秋两季则为风浪涌浪混合作用。风对于研究区海滩地形以及表层沉积物粒度的作用主要是通过对波浪强度和方向的影响。从表 3 可以看出, 全年季风风向与平均浪向大致相符, 虽然波浪的主导波型会因季节不同而发生改变, 但研究区的风作为风浪形成的重要动力来源之一, 在一定程度上促进了波浪对海滩的作用。同时由于陆地的遮挡, N 向和 E 向波浪对研究区海域影响较小, S、W 向波浪影响较大。研究区浪向以 S、SW 向为主, 近岸海域有效波高呈自西向东、自北

向南逐渐增大的趋势。

前滨是波浪、潮汐作用最活跃的地带, 海滩的变化主要发生在潮间带^[46]。从研究区剖面监测结果可见, 在冬季风盛行的 2018 年冬季和受到台风侵袭的 2019 年夏季, 连理岛-东村河以西海滩普遍出现“上蚀下淤”的特点, 这是由于强动力条件下波浪强度增大, 水位增长, 不断侵蚀滩肩, 使得滩肩物质向下输运并在水下堆积形成沙坝, 海滩坡度降低。沙坝的形成可以减缓波浪对海滩的侵蚀, 进而形成“风暴剖面”。同时波浪强度和方向的季节性变化引起的近岸流系的变化影响了海滩的沿岸输沙和横向输沙状态^[47-48], 使得细颗粒物质自岸向海垂向输运, 同时沿岸线方向自 NE 向 SW 输运^[34]。使得强动力季节连理岛-东村河以西海滩表层沉积物平均粒径增大、偏态值增大、峰态值减小。而在波浪强度减弱、波型和波向处于交替状态的春季和秋季, 连理岛-东村河以西海滩剖面形态逐渐向“常浪剖面”恢复, 即沿岸沙坝消减、物质向岸输运沉积、重塑滩肩, 海滩坡度增大, 而海滩表层沉积物粒度特征则表现为平均粒径减小、分选系数稳定、偏态值增大、峰态值降低。

(2) 潮汐

潮汐对岸滩的影响体现在潮差大小调节波浪作用的范围, 因而潮汐的季节性变化间接地控制着岸滩剖面形态和表层沉积物。根据中国海域潮汐

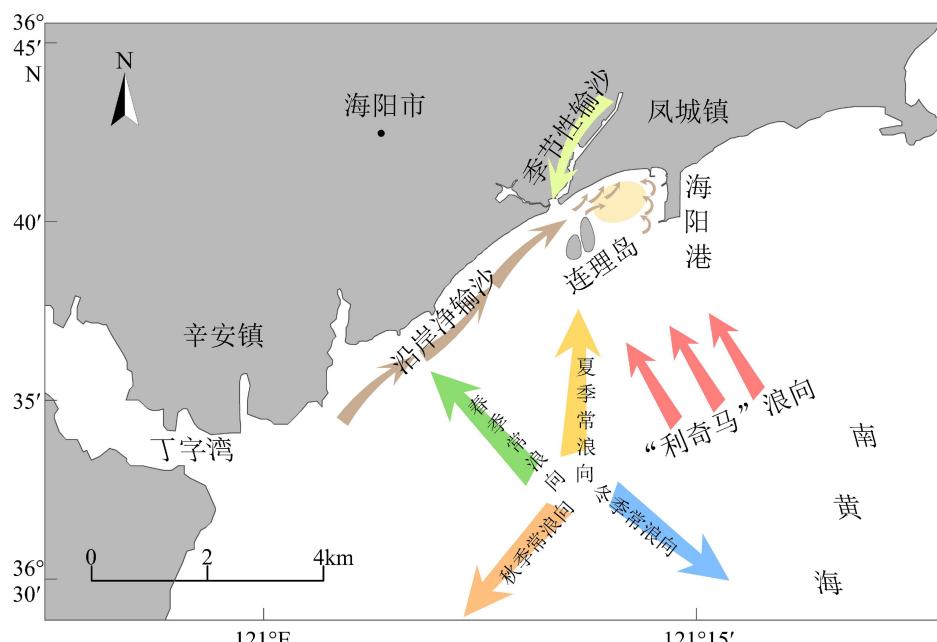


图 6 研究区岸滩时空演化控制因素示意图

沿岸净输沙引自任智会等^[34]。

Fig.6 Schematic diagram of controlling factors of temporal and spatial evolution of shorelines in the study area

Net sediment transport along the coast was quote from Ren Zhihui et al^[34].

表3 研究区海滩滩面表层沉积物分选系数季节变化
Table 3 Seasonal variation of sorting coefficient of beach surface sediments in the study area

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
秋	较好	中等	较差	较好	中等	中等
冬	较差	中等	较差	中等	较好	好
春	较好	较差	中等	较好	较好	较好
夏	好	较好	好	好	较好	较好

预报软件 Chinatide^[49] 所得到的研究区潮汐数据(表4),可以看出研究区潮差的季节变化较小,因此,潮汐作为相对固定的因素对研究区岸滩季节性演化特征贡献较小。

为进一步探究潮汐对研究区海滩演化的影响程度,此处引入浪潮作用指数K,其计算公式为:

$$K = 2.5 \times \frac{H_{1/10}}{R}$$

式中 $H_{1/10}$ 为十分之一大波波高, R 为平均潮差。当 $K > 1$ 时, 波浪作用是海岸地貌演变的主要动力因素; 当 $K < 1$ 时, 潮汐作用是海岸地貌演变的主要动力因素; 当 K 值接近于 1 时, 则海岸地貌属于过渡类型。结合表4, 计算出研究区 2018 年秋季至 2019 年夏季浪潮作用指数 K(表5)。

表4 2018年秋季至2019年冬季研究区波浪和风场变化
Table 4 Wave and wind field changes in the study area from autumn 2018 to winter 2019

	2018年秋季	2018年冬季	2019年春季	2019年夏季
有效波高/m	0.72	0.93	0.75	0.74
平均波向	NNE	NW	SSW	SSE
平均风速/(m/s)	1.57	2.82	1.30	2.48
风向	NNW	NNW	SSW	S

从结果可以看出虽然研究区全年 K 值均大于 1, 但除冬季外其余 3 个季节均接近于 1, 故而从波浪和潮汐的主次关系来看, 研究区一般天气下冬季为明显的波浪作用为主, 而其余三季则为波浪与潮汐共同作用的过渡阶段。同时前人研究指出 K 值的大小与海滩表层沉积物的中值粒径以及前滨滩面坡度有着很好的正相关关系^[38], 与本文的观测结果相符合, 故而浪潮作用指数判别法适用于研究区及附近相似海岸环境的海滩。

(3) 极端天气

台风带来的短时间内的迅速增水和其所造成的剧烈的水动力环境改变使得海滩地貌遭受严重侵蚀, 部分海滩地貌所遭受的破坏无法在短期内恢复甚至是永久性的改变。本文中 2019 年 8 月的海滩观测正是在 2019 年第 9 号台风“利奇马”过境后展开的(图 7), 观测结果很好地展现了台风“利奇马”对研究区海滩造成的影响与破坏。

在海滩剖面形态的变化上, 台风所造成的滩肩侵蚀较之冬季风暴而言侵蚀量更大, 其所形成的水下沙坝较之冬季风暴而言规模较小, 但数量更多, 同时发育的距离更远。在海滩表层沉积物粒度变

表5 研究区 2018 年秋季至 2019 年冬季浪潮作用指数计算结果
Table 5 Calculation results of wave action index from autumn 2018 to winter 2019 in the study area

	2018年秋季	2018年冬季	2019年春季	2019年夏季
$H_{1/10}/m$	0.92	1.19	0.96	0.95
MHW/m	1.18	0.92	1.07	1.32
MLW/m	-1.08	-1.31	-1.16	-0.91
\bar{R}/m	2.27	2.21	2.21	2.18
K	1.02	1.34	1.07	1.07

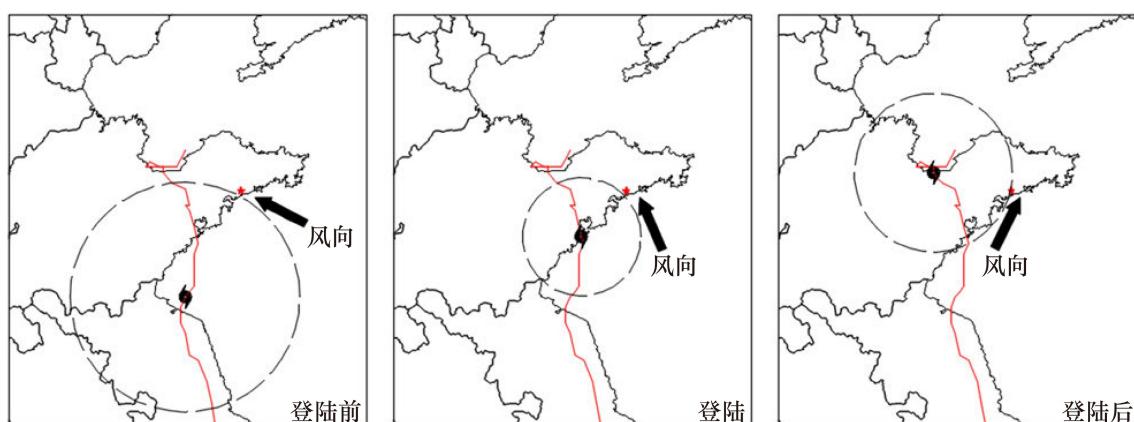


图7 台风“利奇马”过境期间研究区风向变化^[37]

Fig.7 Wind direction change in the study area during the transit of Typhoon Lekima^[37]

化上, 台风所造成的研究区海滩表层沉积物粒度参数的横向分异和垂向分异更加明显, 这体现了研究区对不同强度的动力环境表现出的响应差异, 因此海滩的防护除了需关注正常天气下的波浪和潮汐外, 还需重视台风等极端天气对海滩造成的剧烈而迅速的影响。

4.2 人为因素

除自然条件的变化外, 以海岸工程为主的人为因素是造成研究区海滩地形剖面和表层沉积物粒度参数东西差异的另一重要原因。

通过研究区海滩剖面形态和海滩表层沉积物粒度特征季节变化的分析和讨论, 可以看出研究区海滩剖面形态和海滩表层沉积物粒度特征季节变化特征以连理岛-东村河河口为界限东西分异。由于该人工岛与东村河河口组成的特殊海岸地貌体系, 使得从丁字湾自西向东而来的沿岸输沙过程在该处受到阻碍, 进而使得部分沉积物淤积在其东侧海滩, 最终导致东西两侧季节变化特征分异。

根据前人对该区域附近的潮流和波浪数值模拟结果^[33-34]可以看出, 研究区近岸潮流较小, 一般小于 0.25 m/s, 同时受到近岸人工构筑物的影响使得近岸区域尤其海阳港西部较之人工岛建设前明显减小; 海阳港西港区和连理岛之间海域, 由于受到两者掩护, 其有效波高普遍小于 1.4 m, 海阳港西港区西侧掩护水域有效波高一般小于 1.4 m, 连理岛后方水域有效波高一般小于 1.0 m。由于陆地的遮挡, N 向和 E 向波浪对研究区海域影响较小, S、W 向波浪影响较大。研究区浪向以 S、SW 向为主, 近岸海域有效波高呈自西向东、自北向南逐渐增大的趋势。因此, 连理岛的建设阻碍了研究区的沿岸输沙过程, 保护了东侧海滩和水下岸坡, 而海阳港则拦截了继续向西运输的泥沙, 并在其西侧产生淤积。

5 结论

(1) 连理岛-东村河口以西海滩剖面形态在强动力和弱动力条件下分别呈“上蚀下淤”和“下冲上塑”特征, 夏季台风造成的滩肩侵蚀量大于冬季风, 在滩面形成的沙坝数量多、规模小且离岸距离较之冬季风更远。连理岛-东村河口处海滩剖面形态整体呈淤积状态, 且在强动力条件下的淤积量大于弱动力条件。连理岛-东村河口以东海滩剖面形态的季节性变化幅度小于以西海滩, 同时滩肩顶剖面形态在夏季出现明显下凹特征。

(2) 表层沉积物粒度特征变化同样呈现东西差异的特点, 秋季到冬季, 西侧海滩表层沉积物粒度变粗、分选变差, 而东侧海滩变细、分选基本不变; 冬季到春季, 海滩表层沉积物粒度总体变细、分选较好; 夏季变化趋势与冬季相似, 但变化幅度有所差异。

(3) 人工岛和港口等海岸工程建设是导致海滩剖面形态和表层沉积物粒度东西差异的主导因素; 波浪和台风事件等是控制砂质岸滩季节性演化的主要动力因素; 潮汐作用、旅游开发等人类活动也会对岸滩演化造成一定影响。

参考文献 (References)

- [1] 李广雪, 丁咚, 曹立华, 等. 山东半岛滨海沙滩现状与评价 [M]. 北京: 海洋出版社, 2015 [LI Guangxue, DING Dong, CAO Lihua, et al. Present Situation and Evaluation of Coastal Beach in Shandong Peninsula [M]. Beijing: Ocean Press, 2015.]
- [2] 季小梅, 张永战, 朱大奎. 人工海滩研究进展 [J]. *海洋地质动态*, 2006, 22 (7): 21-25. [JI Xiaomei, ZHANG Yongzhan, ZHU Dakui. Research development of artificial beach [J]. *Marine Geology Letters*, 2006, 22 (7): 21-25.]
- [3] 高志强, 刘向阳, 宁吉才, 等. 基于遥感的近30a中国海岸线和围填海面积变化及成因分析 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30 (12): 140-147. [GAO Zhiqiang, LIU Xiangyang, NING Jicai, et al. Analysis on changes in coastline and reclamation area and its causes based on 30-year satellite data in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30 (12): 140-147.]
- [4] 孙伟富, 马毅, 张杰, 等. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究 [J]. *测绘通报*, 2011 (3): 41-44. [SUN Weifu, MA Yi, ZHANG Jie, et al. Study of remote sensing interpretation keys and extraction technique of different types of shoreline [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2011 (3): 41-44.]
- [5] 顾振华, 张弛, 郑金海. 波浪入射条件对双沙坝海岸演变的影响 [J]. *泥沙研究*, 2014 (6): 68-72. [GU Zhenhua, ZHANG Chi, ZHENG Jinhai. Influence of incident wave condition on evolution of nearshore double sandbar system [J]. *Journal of Sediment Research*, 2014 (6): 68-72.]
- [6] 刘兴慧. 山东统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012 [LIU Xinghui. Shandong Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Publishing House, 2012.]
- [7] Aiello A, Canora F, Pasquariello G, et al. Shoreline variations and coastal dynamics: A space-time data analysis of the *Jonian* littoral, Italy [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2013, 129: 124-135.
- [8] Fenneman N M. Development of the profile of equilibrium of subaqueous shore terrace [J]. *Le Poumon Et Le Coeur*, 1977, 33 (6): 397-401.
- [9] Davis R A, Hayes M O. What is a wave-dominated coast? [J]. *Marine Geology*, 1984, 60 (1-4): 313-329.
- [10] Hayes M O. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime [M]//Leatherman S P. Barrier Islands from the Gulf of St.

- Lawrence to the Gulf of Mexico. New York: Academic Press, 1979: 1-27.
- [11] Gómez-Pujol L, Orfila A, Álvarez-Ellacuría A, et al. Controls on sediment dynamics and medium-term morphological change in a barred microtidal beach (Cala Millor, Mallorca, Western Mediterranean) [J]. *Geomorphology*, 2011, 132 (3-4): 87-98.
- [12] Günaydin K, Kabdaşlı M S. Characteristics of coastal erosion geometry under regular and irregular waves [J]. *Ocean Engineering*, 2003, 30 (13): 1579-1593.
- [13] Haerens P, Bolle A, Trouw K, et al. Definition of storm thresholds for significant morphological change of the sandy beaches along the Belgian coastline [J]. *Geomorphology*, 2012, 143-144: 104-117.
- [14] Esteves L S, Brown J M, Williams J J, et al. Quantifying thresholds for significant dune erosion along the Sefton Coast, Northwest England [J]. *Geomorphology*, 2012, 143-144: 52-61.
- [15] 王文海. 我国海岸侵蚀原因及其对策[J]. 海洋开发, 1987(1): 8-12. [WANG Wenhui. Causes and countermeasures of coastal erosion in China [J]. Ocean Development and Management, 1987(1): 8-12.]
- [16] 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. [XIA Dongxing, WANG Wenhui, WU Guiqiu, et al. Coastal erosion in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48 (5): 468-476.]
- [17] 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. [LI Zhen, LEI Huaiyan. Distribution and existing problems of sandy coast in China [J]. *Marine Geology Letters*, 2006, 22 (6): 1-4.]
- [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(2): 69-79. [JI Zixiu. The characteristics of coastal erosion and cause of erosion [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1996(2): 69-79.]
- [19] 于吉涛, 陈子燊. 砂质海岸侵蚀研究进展[J]. *热带地理*, 2009, 29 (2): 112-118. [YU Jitao, CHEN Zishen. Study progress of sandy coastal erosion [J]. *Tropical Geography*, 2009, 29 (2): 112-118.]
- [20] 吉学宽, 林振良, 闫有喜, 等. 海岸侵蚀、防护与修复研究综述[J]. 广西科学, 2019, 26 (6): 604-613. [JI Xuekuan, LIN Zhenliang, YAN Youxi, et al. Review on the research of coastal erosion, protection and restoration [J]. *Guangxi Sciences*, 2019, 26 (6): 604-613.]
- [21] 庄振业, 陈卫民, 许卫东, 等. 山东半岛若干平直砂岸近期强烈蚀退及其后果[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, 19 (1): 90-98. [ZHUANG Zhenye, CHEN Weimin, XU Weidong, et al. Retrogression of straight sandy beaches in the Shandong Peninsula and its results [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1989, 19 (1): 90-98.]
- [22] 常瑞芳, 庄振业, 吴建政. 山东半岛西北海岸的蚀退与防护[J]. 青岛海洋大学学报, 1993, 23 (3): 60-68. [CHANG Ruifang, ZHUANG Zhenye, WU Jianzheng. Retrogression and protection of the north-west coast of the Shandong Peninsula [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1993, 23 (3): 60-68.]
- [23] 栾天. 山东半岛北岸砂质海岸现状及演化分析[D]. 中国海洋大学硕士学位论文, 2011 [LUAN Tian. Current situation and analysis of the sandy coast in the north of Shandong Peninsula [D]. Master Dissertation of Ocean University of China, 2011.]
- [24] 李兵, 庄振业, 曹立华, 等. 山东省砂质海岸侵蚀与保护对策[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29 (5): 47-55. [LI Bing, ZHUANG Zhenye, CAO Lihua, et al. Countermeasures against coastal erosion for protection of the sandy coast in Shandong province [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29 (5): 47-55.]
- [25] 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 Zhenye, YIN Ping, WU Jianzheng, et al. Coastal erosion and its influence on southern Shandong sandy coast [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20 (3): 15-21.]
- [26] 李广雪, 宫立新, 杨继超, 等. 山东滨海沙滩侵蚀状态与保护对策[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33 (5): 35-46. [LI Guangxue, GONG Lixin, YANG Jichao, et al. Beach erosion along the coast of Shandong province and protection countermeasures [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33 (5): 35-46.]
- [27] 周良勇, 薛春汀, 刘健, 等. 山东半岛东、北部海滩动力地貌特征及影响因素[J]. 海洋科学进展, 2013, 31 (1): 83-94. [ZHOU Liangyong, XUE Chunting, LIU Jian, et al. Beach morphodynamics and impact factors on the beaches in the northern and eastern of Shandong Peninsula [J]. *Advances in Marine Science*, 2013, 31 (1): 83-94.]
- [28] 岳保静, 廖晶, 高茂生, 等. 山东半岛砂质海滩动力地貌演化特征[J]. 海洋科学, 2017, 41 (4): 118-127. [YUE Baojing, LIAO Jing, GAO Maosheng, et al. Evolutionary features of morphodynamics of sandy beaches on the Shandong Peninsula [J]. *Marine Sciences*, 2017, 41 (4): 118-127.]
- [29] 王楠, 李广雪, 张斌, 等. 山东荣成靖海卫海滩侵蚀研究与防护建议[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42 (12): 83-90. [WANG Nan, LI Guangxue, ZHANG Bin, et al. Beach erosion research in Jinghaiwei, Rongcheng, Shandong [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42 (12): 83-90.]
- [30] 杨继超, 李广雪, 宫立新, 等. 山东威海滨海沙滩侵蚀现状和原因分析[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42 (12): 97-106. [YANG Jichao, LI Guangxue, GONG Lixin, et al. Status and causes of beach erosion in Weihai, Shandong Province [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42 (12): 97-106.]
- [31] 刘成, 胡日军, 朱龙海, 等. Dean模型在山东半岛西北岸滩动力地貌研究的应用[J]. 海洋科学进展, 2020, 38 (2): 348-358. [LIU Cheng, HU Rijun, ZHU Longhai, et al. The application of dean equilibrium profile model in the study on dynamic geomorphology of the northwest shoal of Shandong Peninsula [J]. *Advances in Marine Science*, 2020, 38 (2): 348-358.]
- [32] 张泽华, 吴建政, 朱龙海, 等. 海阳港东港区建设对砂质海岸冲淤影响[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28 (8): 49-55. [ZHANG Zehua, WU Jianzheng, ZHU Longhai, et al. Impacts of the construction of the east wing of Haiyang harbor on the erosion and deposition regime in the sandy coast [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2012, 28 (8): 49-55.]
- [33] 岳娜娜, 吴建政, 朱龙海, 等. 离岸人工岛对砂质海岸的影响[J]. 海洋地质动态, 2008, 24 (4): 18-22. [YUE Nana, WU Jianzheng, ZHU Longhai, et al. Influence of offshore artificial island on sandy coast [J]. *Marine Geology Letters*, 2008, 24 (4): 18-22.]
- [34] 任智会, 胡日军, 张连杰, 等. 海阳砂质海岸岸滩演化[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32 (11): 18-25. [REN Zhihui, HU Rijun, ZHANG Lianjie, et al. Evolution of the sandy beach in Haiyang [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32 (11): 18-25.]

- Geology Frontiers, 2016, 32(11): 18-25.]
- [35] 吴园园, 娄安刚, 张坤, 等. 海阳中心渔港建设对附近海域冲淤的数值模拟预测[J]. 海岸工程, 2014, 33(1): 1-11. [WU Yuanyuan, LOU Angang, ZHANG Kun, et al. Numerical simulation and prediction of erosion-deposition caused by the construction of the Haiyang central fishing harbor [J]. Coastal Engineering, 2014, 33(1): 1-11.]
- [36] 汪守东, 徐洪磊. 烟台港海阳港区沙滩冲淤稳定性数值模拟分析[J]. 水运工程, 2010(7): 11-17. [WANG Shoudong, XU Honglei. Numerical study on scouring and silting stability of beach in Haiyang harbor area of Yantai port [J]. Port & Waterway Engineering, 2010(7): 11-17.]
- [37] 高伟, 李萍, 高珊, 等. 台风“利奇马”对山东省海阳市海滩演化过程的影响[J]. 海洋学报, 2020, 42(11): 88-99. [GAO Wei, LI Ping, GAO Shan, et al. Response process of the Haiyang Beach evolution to Typhoon Lekima in Shandong province [J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(11): 88-99.]
- [38] 蔡锋, 苏贤泽, 曹惠美, 等. 华南砂质海滩的动力地貌分析[J]. 海洋学报, 2005, 27(2): 106-114. [CAI Feng, SU Xianze, CAO Huime, et al. Analysis on morphodynamics of sandy beaches in South China [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(2): 106-114.]
- [39] 孙振生, 许云涛. 海阳市主要农业气象灾害及防灾减灾措施[J]. 现代农业科技, 2015(22): 215, 218. [SUN Zhensheng, XU Yuntao. Main agrometeorological disasters and disaster prevention and mitigation measures in Haiyang city [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(22): 215, 218.]
- [40] 李繁华, 刘爱菊, 赵松鹤, 等. 山东近海水文状况[M]. 济南: 山东省地图出版社, 1989 [LI Fanhua, LIU Aiju, ZHAO Songhe, et al. Shandong Offshore Hydrological Status [M]. Ji'nan: Shandong Map Publishing House, 1989.]
- [41] 张泽华. 海阳港建设对砂质海岸影响的研究[D]. 中国海洋大学硕士学位论文, 2012 [ZHANG Zehua. Study on impacts of the Haiyang harbor's construction on the sandy coast [D]. Master Dissertation of Ocean University of China, 2012.]
- [42] 王强. 基于遥感反演的海阳离岸海域悬浮泥沙时空分布特征研究 [D]. 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所)硕士学位论文, 2019 [WANG Qiang. Spatial and temporal distribution of suspended sediment in offshore region of Haiyang city by remote sensing [D]. Master Dissertation of University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), 2019.]
- [43] 岳保静, 高茂生, 邵家旺, 等. 河北省京唐港附近沙坝—潟湖海岸地貌演化特征[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(9): 10-16. [YUE Baojing, GAO Maosheng, SHAO Jiawang, et al. Geomorphological evolution of the barrier-lagoon system near the Jingtang port, Hebei province [J]. Marine Geology Frontiers, 2018, 34(9): 10-16.]
- [44] 黄广, 陈沈良, 胡静. 南汇东滩沉积物粒度特征及其与水动力的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2008(1): 32-38. [HUANG Guang, CHEN Shenliang, HU Jing. Sediment characteristics and its relationship to hydrodynamic on Nanhui subfluvial flat [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008(1): 32-38.]
- [45] 王永红, 孙静, 庄振业. 青岛旅游海滩沉积物粒度的季节性变化特征和输运[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(12): 70-76. [WANG Yonghong, SUN Jing, ZHUANG Zhenye. Seasonal variations on grain size of the sediments and their transport in tourism beach of Qingdao [J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(12): 70-76.]
- [46] 郑承忠, 翁宇斌, 杨顺良. 厦门岛东南岸沙滩近期剖面变化研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(4): 73-80. [ZHENG Chengzhong, WENG Yubin, YANG Shunliang. A study on recent changes of beach profiles along southeast shore of Xiamen Island, Fujian province, China [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(4): 73-80.]
- [47] US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual[M]. Washington, DC: Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, 1984.
- [48] Short A D. Australian beach system: nature and distribution [J]. Journal of Coastal Research, 2006, 22(1): 11-27.
- [49] 李孟国, 郑敬云. 中国海域潮汐预报软件Chinatide的应用[J]. 水道港口, 2007, 28(1): 65-68. [LI Mengguo, ZHENG Jingyun. Introduction to Chinatide software for tide prediction in China seas [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2007, 28(1): 65-68.]