

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019090601

# 基于 Argus 影像与现场测量探究海滩对台风“摩羯”的响应特征

田野<sup>1,2</sup>, 印萍<sup>2</sup>, 贾永刚<sup>1</sup>, 刘金庆<sup>2,3</sup>, 朱亚美<sup>2</sup>, 曹珂<sup>2</sup>, 陈小英<sup>2</sup>

1. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100

2. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

3. 山东科技大学地球科学与工程学院, 青岛 266590

**摘要:**综合分析2018年14号台风“摩羯”前后在山东省文登市南海海滩获取的Argus监测站数字影像、海滩剖面地形重复测量和沉积物粒度分析结果,探讨研究海滩地貌和沉积物对台风的响应特征。在台风“摩羯”的影响下,海滩剖面整体呈现上部侵蚀、坡度变陡、平均粒径值变小、分选变好的趋势,而下部淤积、坡度变缓、平均粒径值变大、分选变差的趋势,岸线平均后退3.8 m。Argus数字影像连续观测数据显示台风期间波浪条件主导海岸线响应,且台风导致的强浪破碎后波能在海滩的不均匀耗散使台风后海滩发育韵律性地貌——滩角。

**关键词:**台风;砂质海滩;海滩响应;Argus;山东文登

中图分类号:P737.17

文献标识码:A

## Response of beach characteristics to typhoon “Yagi”: Evidence from Argus video images and on-site measurement

TIAN Ye<sup>1,2</sup>, YIN Ping<sup>2</sup>, JIA Yonggang<sup>1</sup>, LIU Jinqing<sup>2,3</sup>, ZHU Yamei<sup>2</sup>, CAO Ke<sup>2</sup>, CHEN Xiaoying<sup>2</sup>

1. Environmental Geotechnical Engineering Institute, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2. Key Laboratory of Marine Environmental Geology, Ministry of Natural Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China

3. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China

**Abstract:** Integrated analysis is carried out on the video images from the Argus monitoring station, topographic measurements from beach profiles and sediment particle size parameters obtained from the Nanhai Beach in Wendeng City, Shandong Province before and after the 14<sup>th</sup> Typhoon “Yagi” in 2018. Under the action of the typhoon, the upper part of the beach was eroded, the slope became steeper, the mean grain size decreased, and the sorting of sediments improved, whereas the lower part of the beach was depositional, the slope became gentler, particles coarsened, the sorting of sediments was getting poorer, and the shoreline receded for an average of 3.8 m. The Argus continuous observation video image data further suggests that under the action of typhoon, wave dominated the response of coastline and the cusp beach will develop in a rhythmic manner resulted from the uneven dissipation of wave energy on the beach after the breaking of strong waves caused by typhoon.

**Key words:** typhoon; sandy coast; beach response; Argus; Wendeng city

海滩地貌受沉积物类型和波浪、潮汐、风等动力要素的影响,是一个极为动态的地貌单元<sup>[1]</sup>。人们普遍认为海滩会在低能量波的条件淤积,在高能量波的条件侵蚀<sup>[2-3]</sup>,台风和风暴潮引发的强浪和增水,在短期内造成海滩地貌大尺度变形<sup>[4]</sup>导致沉积物在垂直海岸方向的重新分布,在海滩演化中起着重要作用。海滩的风暴响应在国内外已有不

少研究,海滩响应过程和结果因海滩沉积物类型、坡度、暴风浪强度、增水幅度和作用时间等呈现不同变化<sup>[4-11]</sup>。Qi等发现滩面宽缓的耗散性海滩对风暴潮的响应较弱,滩面较陡和反射性较强的海滩对风暴潮响应较强<sup>[7]</sup>。Puig等研究结果表明开阔型海滩比受遮挡的海滩对风暴响应更加明显<sup>[8]</sup>。蔡峰提出夷直型沙滩剖面台风后出现水下沙坝和高潮带

资助项目:中国地质调查局地质调查项目“长江口等重点海岸带综合地质调查”(DD20160145),“浙江中部海岸带综合地质调查”(DD20190276)

作者简介:田野(1995—),女,硕士生,从事海岸地质灾害监测和研究, E-mail: 982574870@qq.com

通讯作者:刘金庆(1986—),男,博士,讲师,从事海洋地质研究, E-mail: jinqingliu@hotmail.com

收稿日期:2019-09-06; 改回日期:2020-01-14. 文凤英编辑

侵蚀、陡坎明显、岸线后退的特征<sup>[9]</sup>。

海滩对风暴的响应特征多基于传统的现场测量方法获得,从早期的水准仪、全站仪海滩剖面重复测量,到目前的RTK-GPS、LiDAR、无人机倾斜测量的海滩剖面或三维地形重复测量,并辅以海滩沉积物取样分析等获得海滩地形、沉积物粒度和矿物在台风前后的变化,开展对比分析。但大部分现场测量都在台风前后几天进行,对台风过程中地形地貌的响应特征研究较少。随着数字影像技术的发展,数字化岸滩视频图像监测技术(如Argus系统)逐渐成熟,其具有实时连续长时间监测、安装便捷和管理成本较低的优点,能够实时监测和分析海岸变化<sup>[12-13]</sup>,这一技术在监测台风对海岸线和海滩地貌影响及其演化过程中具有独特的优势。

本文通过山东文登南海海滩“摩羯”台风前后现场地形测量、表层沉积物分析数据,结合Argus数字影像监测数据,分析海滩地形地貌和沉积物对台风作用的响应,探讨影响海滩变化的因素,为指导海岸开发与管理提供科学依据。

## 1 研究区域与监测系统布局

### 1.1 研究区域

研究区位于山东省文登市南部南海新区海岸,东起母猪河河口,西至黄垒河口,海岸线长约12 km,为砂质夷平海岸,总体NE-WS走向(图1),海滩沉积物以中粗砂至中细砂为主。

研究区位于东亚季风区,夏季盛S向风,风速相对较小,冬季盛行NNW和N向风,风速较大<sup>[14]</sup>。研究区一年四季均以风浪为主,常浪向为SSW向,全年平均波高为0.90 m,最大波高4.6 m,年平均周

期4.2 s<sup>[15]</sup>。该区潮汐属正规半日潮,平均潮差2.53 m,最大潮差3.94 m。

### 1.2 监测系统布局

青岛海洋地质研究所2015年在研究区部署了一个Argus监测站(图1),对研究区海岸进行实时监测。监测站部署在位于海滩中部的卓达香水酒店的楼顶,由两组共7个数字摄像头组成,西侧4个摄像头(编号1—4)观测研究区西部海岸,东侧3个摄像头(编号5—7)观测研究区东部海岸,东西向有效观测海滩长度可达6 km,垂直海岸方向可以有效覆盖潮间带范围。2015年3月Argus监测站开始运行,每半个小时采集一次瞬时图像和时均图像,数据通过网络传输回青岛海洋地质研究所,计算机同时将数据备份存储至现场的磁盘阵列。为更好地观察研究区海洋动力变化,项目组还保留了个别时段的10分钟采样期间内2 Hz采集的所有帧瞬时影像数据。

在研究区布设6条长期海滩地形监测剖面(P01—P06,图1),剖面间距约1 km;在Argus监测站附近另外布设4条加密监测海滩剖面(Pj1—Pj4,图1),剖面间距约250 m。2015—2016年春夏秋冬四个季节开展海滩剖面地形重复测量,2017—2018年开展夏季和冬季剖面监测,在台风和强气旋影响海岸时,增加海岸剖面变化监测。

## 2 数据材料与台风概况

### 2.1 数据材料

Argus系统采集的图像数据包括瞬时图像(snapshot image)和时均图像(time exposure image,简写

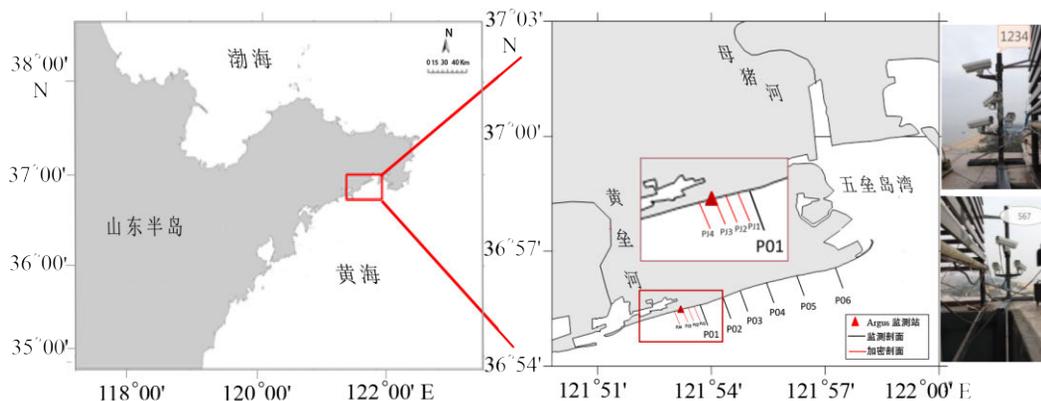


图1 研究区位置和岸滩监测系统布局示意图

Fig.1 Location map showing the monitoring system of Nanhai beach of Wendeng, Shandong province

timex image) [16], 每半小时采集一次。瞬时图像为某一时刻海岸带的瞬时状态。时均图像是采集区的每个图像点在 10 min 采样期间以 2 Hz 采集的所有帧的数学时间平均值。呈现在时均图像中的陆上非移动物体不变, 波浪等移动特征被平均化的特点, 沿岸白色的破碎波被平均形成白色的平滑区域, 这些区域也可用于判断海底沙坝的位置和形态, 或者沿岸裂流区域位置等 [17-19]。通过提取时均图像的相关信息可以分析海岸线及海滩地形地貌变化。本文分析了 2018 年 14 号台风“摩羯”影响期间的 Argus 系统采集的图像资料, 反映海滩地貌和岸线对台风的响应特征。

台风“摩羯”到来前(2018年8月12日)和过境后(2018年8月15日)使用 RTK-GPS 对 10 条监测剖面进行重复测量, 进行滩面变化对比。测量工作均在低潮时进行, 尽可能覆盖最大海滩宽度。同时, 在每个海滩剖面的高、中、低 3 个部位分别采集表层沉积物样品, 在实验室采用筛析法和激光粒度仪进行粒度分析, 颗粒等级分类采用尤登-温德华粒级标准, 粒度参数采用福克和沃德粒度参数公式计算 [20]。

## 2.2 台风概况

2018 年第 14 号台风“摩羯”(Yagi, 编号“1814”)于 8 月 8 日生成, 强度等级为热带风暴, 中心附近最大风力 8 级(18 m/s)。2018 年 8 月 12 日 23 时 35 分前后, “摩羯”台风中心在浙江温岭沿海登陆, 登陆时中心附近最大风力 10 级(28 m/s)。横扫浙江和安徽之后, 2018 年 8 月 14 日凌晨, “摩羯”由菏泽地区进入山东省境内。由于正值天文大潮, 受其影响, 东海和黄海沿岸普遍发生风暴潮灾害,

8 月 13 日下午至 8 月 14 日上午, 文登沿海普降大到暴雨, 引发的风暴潮增水可达 30~70 cm, 浪高 2.5~3.8 m, 并伴有 6—7 级东南向大风。

## 3 监测结果

### 3.1 Argus 监测图像反映的台风前后岸线及海滩变化

Argus 数据提取的海岸线有两类, 一类是以海滩后滨陡坎或草边线、垃圾线为代表的长期相对稳定的岸线位置, 一类是海水和陆地的瞬时交界面, 即水边线, 具有明显的短期变异性, 受波浪、潮汐、海滩地形变化等影响 [21]。为反映台风期间大浪和风暴潮增水对海滩变化影响的过程, 本文采用瞬时水边线作为岸线开展对比研究。

对 Argus 数字影像数据进行水边线自动提取 [22], 靠近监测站附近的岸段位置误差约为 0.5 m [23], 远离测站误差逐渐增大, 但不影响变化趋势分析。为更好地分析台风期间短期海岸线的变化, 我们选择 C1 镜头 8 月 10—17 日白天最高潮位的时均图像进行岸线位置提取(图 2a), 尽可能减少潮差的影响, 结果如图 2b 所示, 图中以镜头中心位置为图像坐标原点, 平行于海岸方向为 X 轴, 向南为正, 以垂直于海岸方向为 Y 轴, 向东为正。8 月 12 日、13 日(农历七月初二、初三)为天文大潮期, 潮位达到最高值, 岸线受潮位上升影响, 向岸迁移。而 8 月 14 日, 受台风“摩羯”的风暴增水和大浪的共同影响, 岸线向陆后退速度迅速增大, 最大后退距离可达 16~26 m。

Argus 图像很好地记录了台风期间研究海岸波浪和岸滩地形的变化特征。图 3 展示了 8 月 12—

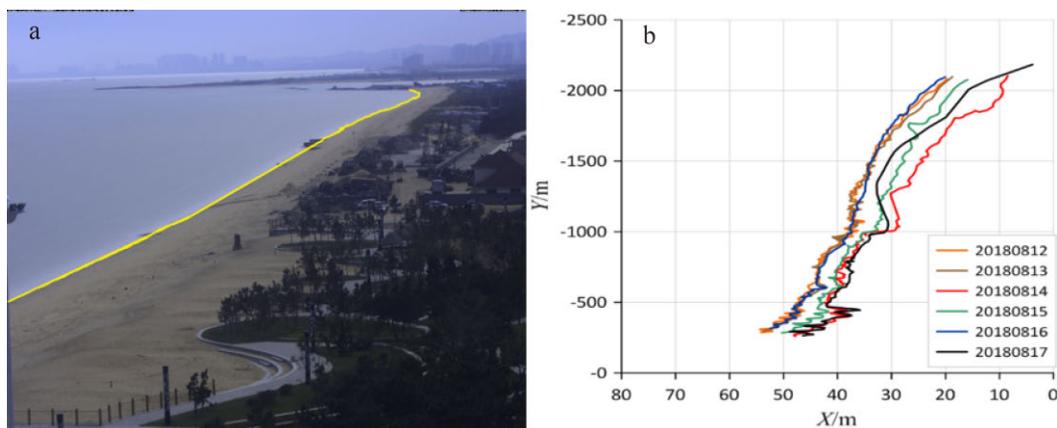


图2 台风“摩羯”前后岸线位置变化图

Fig.2 Change of shoreline before and after Typhoon “Yagi”

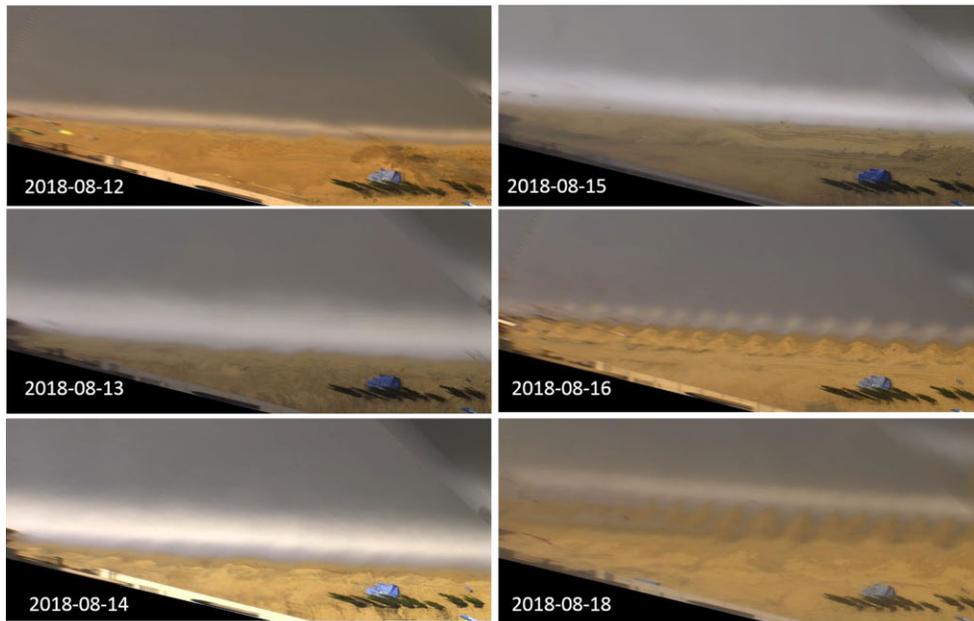


图3 台风“摩羯”影响期间海滩每日时均图像变化

Fig.3 Images at 10:00 am during typhoon “Yagi”

18日一周时间里每天上午6点监测区的时均图像, 图像为2个镜头(5号和6号摄像头)图像的合并区域, 位于监测站的东部, 距监测站100~300 m。8月12日台风前, 波浪弱、破波带窄; 台风期间(8月13—15日), 波浪明显加大, 波浪在较大水深处开始破碎, 破波带明显加宽; 8月16—18日台风后, 波浪减缓、破波带宽度减小。

海滩地形地貌变化也十分显著。台风前岸滩水下地形平缓, 波浪破碎均匀; 台风期间波浪破碎不均匀, 岸滩受到强浪作用, 在高水位线处形成明显的侵蚀陡坎; 台风过后, 在海滩上留下典型的波状韵律地形, 海滩上部侵蚀陡坎明显。

### 3.2 台风前后海滩实测剖面变化

台风前后开展了岸滩剖面的RTK-GPS地形重复测量, 绘制了两次测量的岸滩地形剖面, 分析海滩地形变化及其对台风波浪和增水的响应。P01—P06六个剖面整体上呈现上部侵蚀、下部堆积的趋势, 岸滩陡坎蚀退显著, 滩肩以上的后滨略有堆积(图4)。海岸侵蚀的情况与海滩坡度密切相关, P01、P03和P06剖面坡度较陡, 侵蚀较严重, 剖面最大的高程变化分别为1.2、0.8、1.3 m, 最大蚀退宽度分别为6.8、8.1和16.3 m。P02、P04和P05剖面坡度较缓, 侵蚀幅度较小, 剖面最大高程变化分别为0.5、0.6和0.5 m, 最大蚀退宽度分别为5.4、6.1、3.6 m。其中P06剖面坡度最陡, 侵蚀最为明显, 滩肩陡坎后退12 m。这与波浪在不同坡度的海滩的

能量耗散相关。坡度较为平缓的海滩为耗散型海滩, 波浪在海滩下部破碎, 波能传播过程耗散大, 海滩上部侵蚀能量小; 而坡度陡的海滩为反射型海滩, 波能在海滩上部破碎耗散, 破波回流产生明显的侵蚀, 海滩上部侵蚀幅度大。在靠近Argus监测站的4个加密监测剖面(Pj1—Pj4)坡度较陡, 发育侵蚀陡坎, 表现为海滩剖面 and 陡坎一致的侵蚀后退现象(图5)。

多数海滩剖面的侵蚀和堆积临界点发生在平均海平面和海岸的交界线位置(剖面高程2.2 m处), 侵蚀上界临界点基本在滩肩处, 而堆积临界点超出了本次测量的滩面范围。根据两次剖面测量数据计算了各个剖面不同部位的单宽蚀积量(表1), 计算结果显示, 单宽蚀积量收支不均衡, 说明上部滩面侵蚀下来的沉积物垂直海岸向海搬运超出了剖面测量的范围, 在海域的更深处还有分配。根据海滩均衡剖面理论, 波浪影响的泥沙搬运外界应为封闭水深, 即7~10 m水深左右, 台风大浪期间的影响范围可能更远。

### 3.3 台风前后岸滩沉积物变化

岸滩表层沉积物的粒度特征显示台风前后发生明显变化, 总体上沉积物平均粒径变细、分选变好, 中细砂组分显著增加(表2, 图4)。台风前, 海滩上部粒度组分主要以中砂为主, 台风后中砂含量平均值增加10%, 而粗砂含量平均值减少5%, 分选变好。海滩中部粒度组分以细砂为主, 台风后中滩

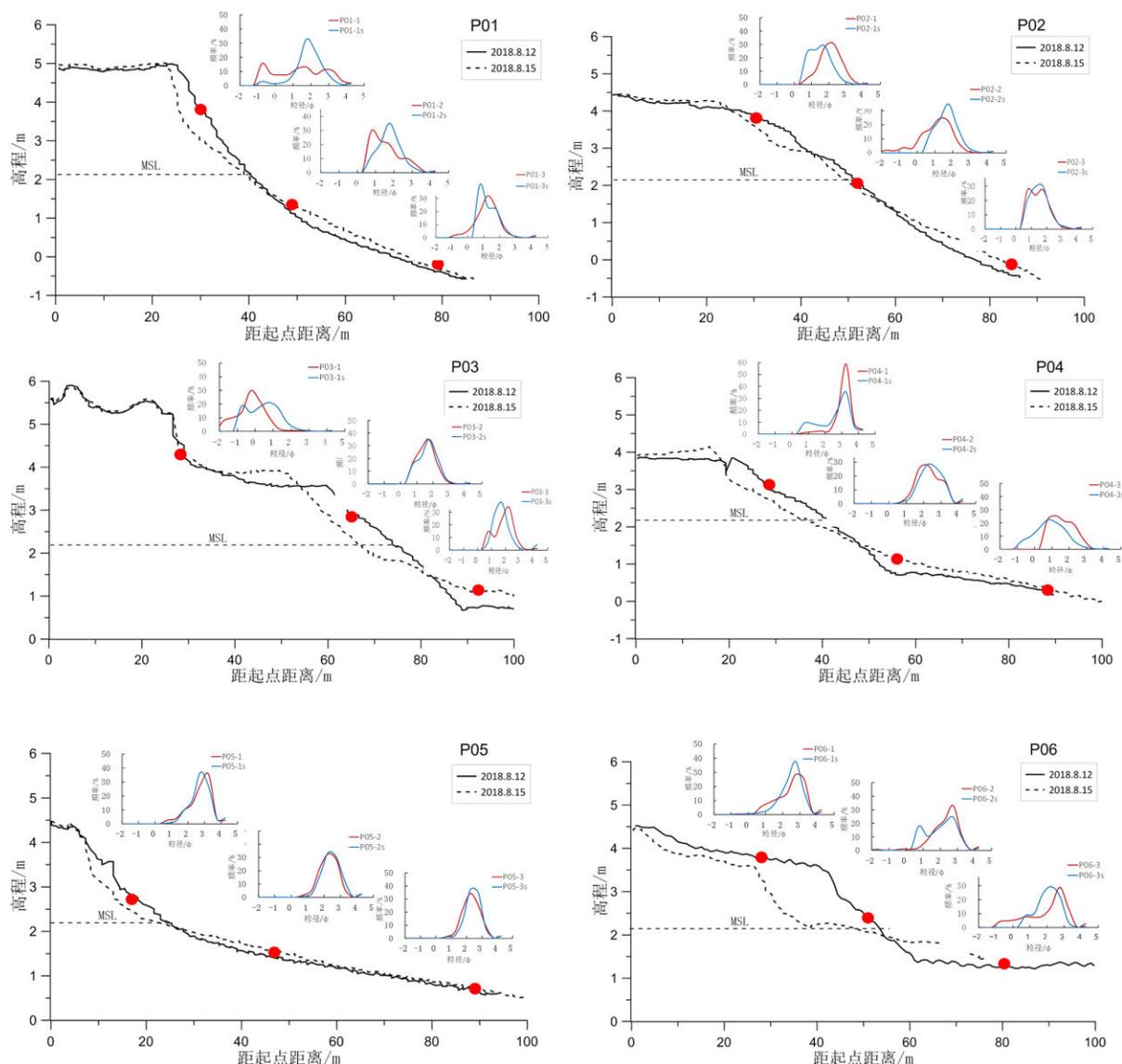


图 4 台风前后海滩剖面地形及沉积物粒度频率变化

注: 粒度曲线横坐标为  $\Phi$  值粒径, 纵坐标为频率百分数。蓝线表示台风前, 红线表示台风后。

Fig.4 Changes of beach topography and sediment grain size frequency before and after typhoon “Yagi”

Note: The red line indicates grain size before the typhoon and the blue line indicates that after the typhoon.

沉积物粗砂和中砂含量都有略微减少 (<5%), 细砂含量增加, 平均粒径变小, 分选更好。低滩沉积物含量变化比较显著, 中砂含量平均值增加 12%, 粗砂含量减少, 细砂含量基本不变, 平均粒径变小, 分选更好。

从各剖面沉积物粒度频率曲线来看 (图 4), 海滩上部取样点沉积物分选变化差异较大, P03、P04 剖面出现双峰, 沉积物分选变差, 其他几个剖面则显示分选变好、粒度细化的趋势; 海滩中部取样点则总体为沉积物粒径变小、整体变细, 粒径分布更加集中, 分选变好的趋势; 海滩下部取样点总体上表现为分选变好、中值粒径粗化的趋势, 尽管统

计的平均粒径变细 (表 2)。

## 4 海滩对台风的响应

### 4.1 海滩剖面对台风的响应分析

研究区为砂质夷平海岸, 滩面上部坡度较大具有反射性滩面特征, 滩面下部宽阔平缓具有消散性滩面特征, 台风期间在风暴浪和风暴增水影响下岸线急剧后退, 整体海滩剖面呈现上部侵蚀、下部淤积的现象, 海滩坡度越大, 侵蚀越严重。

台风“摩羯”影响期间, 波浪由平均值不到 1 m

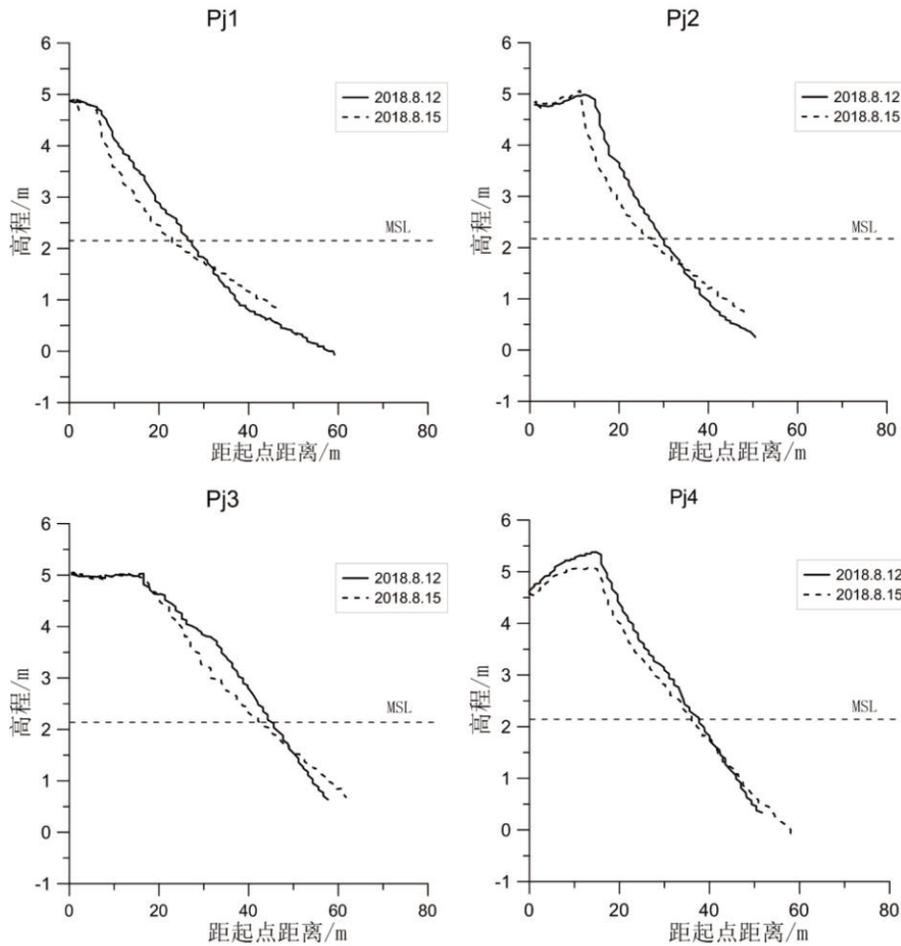


图5 加密区台风前后各岸滩剖面地形对比

Fig.5 Topographic variation of beach profile near an Argus station before and after typhoon “Yagi”

表1 台风前后海滩剖面特征变化

Table 1 Characteristics of beach profile before and after typhoon

	坡度/(°)	高滩UED (m <sup>3</sup> /m)	中滩UED (m <sup>3</sup> /m)	低滩UED (m <sup>3</sup> /m)	岸线变化/m	陡坎变化/m	陡坎高程/m
P01	9.9	2.13	-10.36	6.49	-1.09	-2.24	0.05
P02	4.7	3.25	-10.20	17.24	-2.3	-4.3	0.2
P03	5.4	10.77	-16.15	6.23	-7.6	-7.71	0.28
P04	4.5	2.56	-9.6	8.79	-4.7	-4.8	0.29
P05	5.0	0.4	-1.55	6.15	-2.2	-1.34	0.1
P06	7.2	1.66	-5.53	6.15	-3.6	-8.42	0.25
Pj1	7.6	0	-11.5	NA	-3.45	-1.36	0.04
Pj2	7.2	0	-13.96	NA	-2.41	-3.36	0.17
Pj3	6.0	0	-18.27	NA	-2.18	-0.9	-0.02
Pj4	8.1	NA	-6.66	NA	-1.57	-0.73	-0.28

注: UED为单宽蚀积量数据, 向海淤积为+, 向陆后退为-; MSL位置变化和沙丘陡坎位置变化以向海方向移动为+, 向陆方向移动为-, 沙丘陡坎高程上升为+, 下降为-。

骤增至2.5~3.8 m, 风暴增水和天文大潮叠加, 水位抬升, 波浪可以到达平均海况下难以波及的海滩上部(图6), 大浪直接打击岸滩, 海滩物质被强劲的垂

直波生环流或侵蚀性裂流携带至滩面下部较远处, 从而导致了从滩肩到平均海面的上滩面在大浪期间严重侵蚀, 而平均海面以下的下滩面则以堆积为

表 2 台风前后海滩剖面粒度参数统计  
Table 2 Statistics on grain size parameters on beach profiles before and after the typhoon

潮区	时间	平均粒径/ $\phi$	分选系数	粗砂含量/%	中砂含量/%	细砂含量/%
海滩下部	台风前	1.97	0.88	20.52	18.48	57.36
	台风后	2.08	0.74	13.78	30.18	53.55
海滩中部	台风前	1.78	0.97	18.29	33.62	42.61
	台风后	1.93	0.75	14.77	37.23	45.35
海滩上部	台风前	1.54	0.84	30.58	35.51	32.6
	台风后	1.64	0.7	23.5	44.05	30.89



图 6 台风期间 Argus 瞬时图像反应的强浪作用  
(Pj4 剖面附近)

Fig.6 Argus snap image showing the strong wave effect  
during typhoon

主。在台风增水的影响下, 暴风浪在滩面上部破碎后形成的上冲流可能产生越顶冲越现象, 上冲流挟带泥沙越过滩肩到达后滨, 由于水流下渗和能量耗散, 冲越的上冲流无法形成回流, 携带的沉积物在

后滨滞留, 这是我们在海滩监测剖面上发现的后滨发生少量堆积的成因。后滨侵蚀陡坎是海滩侵蚀的地貌标志, 形成于之前的台风或较大的波浪下, 在本次风暴浪影响下, 后滨陡坎不断地被侵蚀后退, 直到风暴浪波及不到而保持相对稳定的位置。

受到人为活动扰动的海滩剖面的变化情况更为复杂。P01 剖面位于南海旅游海滩的中部, 是文登南海沙雕节的举办场地, 每逢夏季, 通过挖掘机将海滩中下部的海滩沙搬运到海滩上部和后滨地带, 堆建沙雕(图 7)。由于人为调整海滩剖面, 导致海滩上部的滩面坡度明显变陡, 坡度可达  $10^\circ$ (图 4, P01)。Pj1—Pj4 剖面位于监测站附近, 后滨建有宾馆和其他海滩旅游设施, 为维护这些设施的稳定, 建有防浪墙或人为定期从潮间带推沙堆高海滩, 保持海滩后部不受海水的影响, 这样海滩上部的坡度明显变陡, 为  $8^\circ \sim 11^\circ$ , 同时人为扰动改变了沙滩沉积结构, 变得更为松散, 相较于自然堆积的沙滩易于遭受侵蚀, 在台风期间发生明显蚀退, 高滩部分也处于侵蚀状态。



图 7 P01 剖面的人为活动扰动情况

Fig.7 Impact of human activity on the beach near profile P01

## 4.2 沉积物对台风的响应特征分析

在台风影响下,岸滩沉积物粒度总体变细,分选更好,中砂含量增加,呈近对称和中等峰态。在强烈的波浪作用下,粗颗粒组分被携带至海滩最高处,波能消耗减弱后,粗颗粒组分无法回到海域参与海滩过程,同时,细砂组分在强的波浪回流作用下,被带向更深的海域,海滩的中下部细砂组分没有增加,中砂组分相对增高。

台风、风暴潮等极端天气引发的风浪作用及突然性的增水破坏性大,对海滩沉积物产生强烈影响。台风形成的高能环境对沉积物的扰动和搬运作用,使沉积物组分较常浪有很大不同,台风引起的风暴浪、离岸流可以将滩脊和潮间带上部的粗颗粒物质带走,同时波浪掀起水深较大的海底残留沙,泥沙颗粒在海滩剖面上进行重新分配。粗颗粒或细颗粒物质被带到海滩后滨或深水区,而中砂组分则更多地参与破波带动力沉积过程,风暴浪的反复冲刷可以使粒度分布更加集中,呈现分选更好的特点。粗颗粒组分在后滨的滞留,使得后滨沉积物出现粒度分布曲线的双峰现象,有可能这一现象在较深水域的风暴后沉积物粒度特征中也有呈现,但是由于调查工作未在深水区取样,因此未经验证。

## 4.3 海滩韵律地形成因讨论

在研究区内,台风主过程过后,海滩出现了韵律特征地形——滩角的现象。滩角在15日夜间的海浪过程中形成,滩角间距10~20 m。关于滩角现

象的成因已有很多假说,目前驻立边缘波假说和自组织机制假说是研究者较为认同的两种解释滩角成因的假说。驻立边缘波假说认为,驻立边缘波是在相对平直的海岸、基本垂直海岸仍有较小交角的人射波在岸边形成的边缘波,由于能量难以耗散,被困在倾斜的海岸上,从而引起波浪上冲流在沿岸方向上有规律地变化,导致沿海岸的泥沙输移梯度变化,进而产生了韵律性地貌<sup>[24]</sup>。自组织机制假说认为,滩角是波、流、泥沙及地形之间的耦合作用形成<sup>[25]</sup>。

通过视频图像(图8)的观察,在风浪还未较大时,不完全平行于海岸的人射波叠加边缘波,加之些许地形的影响使波浪不断在沿岸方向规律变化。14日大浪后有些许地形变化,但变化不明显。而在15日傍晚台风期间大风浪作用后,16日上午出现了明显的韵律地形,高潮线附近出现明显的地形起伏。可以推测,在台风期间波浪强度加大,边缘波效应增强,能量被困在破波带,引起显著的地形效应。较高波浪能量,使研究区海岸迅速产生了不同程度的侵蚀和堆积,其中边缘波波谷处向下的能量汇聚效应大,当海浪冲过滩面时,沉积物被强化的回流带回大海造成侵蚀,形成滩角的凹部。边缘波波节处能量小,回流侵蚀作用相对较小,泥沙沉积在上滩面上形成尖角并形成滩角的凸部<sup>[26]</sup>,波浪的反复冲刷堆积,滩角地貌逐渐形成。由于缺少更多深入分析,研究区滩角出现的成因还需进一步研究。



图8 C5镜头不同时段视频图像

Fig.8 C5 video images at different time

## 5 结论

(1)在台风的大浪波动力影响下,文登南海海岸剖面整体遭受侵蚀,形成高0.8~1.0 m的沙丘陡坎,岸线后退。海滩剖面整体呈现上部侵蚀、下部淤积的特点,且海滩坡度越大,侵蚀越严重。人类对海岸的干预也对研究区域的海滩可蚀性产生了重要影响,人类活动密集区对台风的响应更加剧烈。

(2)台风后,研究区中、高滩海滩沉积物都有细化现象,且沉积物分选变好;低滩区沉积物有粗化现象,分选变差。受波浪和潮汐的耦合作用,研究区中滩沉积物大部分被带到低滩,少部分被带至高滩。同时在多动力影响下,高滩沉积物出现双峰现象。

(3)通过Argus数字影像数据可发现台风期间波浪条件主导海岸线响应,且台风过程中地形地貌发生显著变化。在风暴浪作用下,岸滩剖面侵蚀严重,地形结构发生改变,发育韵律特征地形——滩角。

## 参考文献 (References)

- [1] Scott T, Masselink G, O'Hare T, et al. The extreme 2013/2014 winter storms: Beach recovery along the southwest coast of England [J]. *Marine Geology*, 2016, 382: 224-241.
- [2] Aubrey D G. Seasonal patterns of onshore/offshore sediment movement [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1979, 84(C10): 6347-6354.
- [3] Wright L D, Short A D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis [J]. *Marine Geology*, 1984, 56(1-4): 93-118.
- [4] Splinter K D, Kearney E T, Turner I L. Drivers of alongshore variable dune erosion during a storm event: observations and modelling [J]. *Coastal Engineering*, 2018, 131: 31-41.
- [5] 任美镠, 张忍顺, 杨巨海, 等. 风暴潮对淤泥质海岸的影响——以江苏省淤泥质海岸为例[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1983(04): 3-26. [Meie R, Renshun Z, Juhai Y. The influence of storm tide on mud plain coast—with special reference to Jiangsu province [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1983(04): 3-26.]
- [6] Otvos E G. Beach aggradation following hurricane landfall: impact comparisons from two contrasting hurricanes, Northern Gulf of Mexico [J]. *Journal of Coastal Research*, 2004, 20(1): 326-339.
- [7] Qi H S, Cai F, Lei G, et al. The response of three main beach types to tropical storms in South China [J]. *Marine Geology*, 2010, 275(1-4): 244-254.
- [8] Puig M, Del Río L, Plomaritis T A, et al. Contribution of storms to shoreline changes in mesotidal dissipative beaches: case study in the Gulf of Cádiz (SW Spain) [J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2016, 16(12): 2543-2557.
- [9] 蔡锋, 雷刚, 苏贤泽, 等. 台风“艾利”对福建沙质海滩影响过程研究[J]. *海洋工程*, 2006, 24(1): 98-109. [CAI Feng, LEI Gang, SU Xianze, et al. Study on process response of Fujian beach geomorphology to typhoon Aere [J]. *The Ocean Engineering*, 2006, 24(1): 98-109.]
- [10] 陈子燊. 弧形海岸海滩地貌对台风大浪的响应特征[J]. *科学通报*, 1996, 41(12): 1015-1019. [CHEN Zishen. Response characteristics of beach morphologies in an arc-shaped coast to typhoon waves [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1996, 41(12): 1015-1019.]
- [11] 郭俊丽, 时连强, 童宵岭, 等. 浙江朱家尖岛东沙滩对热带风暴“娜基莉”的响应及风暴后的恢复[J]. *海洋学报*, 2018, 40(9): 137-147. [GUO Junli, SHI Lianqiang, TONG Xiaoling, et al. The response to tropical storm Nakri and the restoration of Dongsha Beach in Zhujiajian Island, Zhejiang Province [J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(9): 137-147.]
- [12] Holland K T, Holman R A, Lippmann T C, et al. Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies [J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 1997, 22(1): 81-92.
- [13] Armaroli C, Ciavola P, Balouin Y, et al. An integrated study of shoreline variability using Gis and ARGUS techniques [J]. *Journal of Coastal Research*, 2006, SI(39): 473-477.
- [14] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第三分册(山东半岛北部和东部海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 241-469. [China Bays Compling Committee. *Encyclopedia of China Bays: Volume III* [M]. Beijing: Ocean Press, 1991: 241-469.]
- [15] 杨继超, 宫立新, 李广雪, 等. 山东威海滨海沙滩动力地貌特征[J]. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(12): 107-114. [YANG Jichao, GONG Lixin, LI Guangxue, et al. Morphodynamic feature on the beaches in Weihai, Shandong Province [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(12): 107-114.]
- [16] Holman R A, Stanley J. The history and technical capabilities of Argus [J]. *Coastal Engineering*, 2007, 54(6-7): 477-491.
- [17] Van Enckevort I M J, Ruessink B G. Effect of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2001, 106(C8): 16969-16979.
- [18] Ranasinghe R, Symonds G, Black K, et al. Morphodynamics of intermediate beaches: a video imaging and numerical modelling study [J]. *Coastal Engineering*, 2004, 51(7): 629-655.
- [19] 刘海江, 时连强. 海岸带实时实地视频观测ARGUS技术[J]. *海洋工程*, 2016, 34(2): 80-87. [LIU Haijiang, SHI Lianqiang. Nearshore real-time in-situ video monitoring technique—the ARGUS system [J]. *The Ocean Engineering*, 2016, 34(2): 80-87.]
- [20] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1957, 27(1): 3-26.
- [21] Dolan R, Hayden B P, Heywood J. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs [J]. *Shore and Beach*, 1980, 48(4): 22-29.
- [22] Angnuureng D B, Almar R, Senechal N, et al. Shoreline resilience to individual storms and storm clusters on a meso-macrotidal barred

- beach [J]. *Geomorphology*, 2017, 290: 265-276.
- [23] Aarninkhof S G J, Turner I L, Dronkers T D T, et al. A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry [J]. *Coastal Engineering*, 2003, 49 (4): 275-289.
- [24] Guza R T, Inman D L. Edge waves and beach cusps [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1975, 80 (21): 2997-3012.
- [25] Werner B T, Fink T M. Beach cusps as self-organized patterns [J]. *Science*, 1993, 260 (5110): 968-971.
- [26] 李志强, 陈子燊. 两种滩角成因假说的实证分析 [J]. *热带海洋学报*, 2008, 27 (2): 12-17. [LI Zhiqiang, CHEN Zishen. Comparing two dominating hypotheses about beach cusp formation with measured data [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2008, 27 (2): 12-17.]