



岱山西北海域海床冲淤演变分析*

王诚超, 潘国富, 季有俊

(国家海洋局第二海洋研究所, 工程海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 根据不同年份的水深地形资料及遥感影像, 采用 GIS 技术对近 30 a 来岱山西北岸线变化及海床冲淤进行数字化分析。同时, 结合该海域的水文泥沙特征及人类活动因素, 研究海底冲淤变化的主要影响因素。综合分析表明: 2011 年以前岱山西北海岸岸线稳定, 岸滩经历了由滩淤槽冲转为滩冲槽冲的动态演变过程, 除岱山西部与大鱼山之间的槽沟局部地形变化较大外, 其它海区冲淤速率不到 10 cm/a, 整个海域的侵蚀速率有加速趋势。2011 年之后, 岱山北部开始实施大规模围涂工程, 岱山西北近岸 5 m 等深线以浅的岸滩发生 1.75 m/a 的淤积, 而计算范围内的其它海区仍以微侵蚀为主。岱山西北海域泥沙主要以过境输移为主, 长江来沙量的减少和近年围垦活动的增加是该海域海床冲淤演变的两个主要影响因素。

关键词: GIS 技术; 岱山西北海域; 海床冲淤; 岸滩演变

中图分类号: TV148; P 736.22; U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)06-0035-07

Seabed evolution off northwest Daishan island

WANG Cheng-chao, PAN Guo-fu, JI You-jun

(Key Laboratory of Engineering Oceanography, Second Institute of Oceanography, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Based on the topography, bathymetry data and remote sensing image in different periods, we adopt the GIS technology to analyze changes of Daishan northwest coastline and the seabed erosion and silting offshore. Then local hydrological and sediment features and the human sea reclamation activities are combined to study the main influential factors on the sea erosion and silting of the northwest area of Daishan island in recent 30 years. Research shows that, before 2011, northwest Daishan coastline was stable, and the seabed had experienced a dynamic evolution process from silting on beach and erosion in trough to erosion both on beach and in trough. The erosion and silting-up rate were generally less than 10 cm/a in the sea area between Daishan island and Dayushan island, with a trend of overall increasing erosion rate, except for some local troughs where the seabed change was more intense. After 2011, due to the large-scale reclamation project, seabed shallower than 5 meters off northwest Daishan silted with a rate of about 1.75 m/a, while other sea areas were still rushed by erosion. The sediment route in Daishan northwest mainly depends on the transit transport. The reduction of sediment from the Yangtze River and the increase of the reclamation activity in recent years are the two main influential factors of the seabed sediment evolution of the waters.

Keywords: GIS technology; sea area off northwest Daishan island; seabed erosion and silting; coastal evolution

近岸海床演变是广泛存在的自然现象, 对其研究具有重要的实用价值和理论意义。近年来,

舟山近岸的港航建设及围涂造地等海洋工程明显增多, 对该海域的海洋动力、泥沙输移、地貌环

收稿日期: 2015-12-28

***基金项目:** 海洋公益性行业科研专项 (201305009); 国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项 (JT1307)

作者简介: 王诚超 (1990—), 男, 硕士研究生, 从事河口海岸过程及工程应用研究。

境和海床演变等的研究也受到国内学者越来越多的关注^[1-4]。另外，蒋国俊^[5]系统研究了舟山群岛的峡道水动力及沉积特性；夏小明等^[6]对舟山海区的沉积状况及其趋势也做过很多有益的工作，对舟山近岸海区的动力地貌及水沙运移进行了不同层次的分析，但对岱山西北部近岸海域海床冲淤的研究却鲜有报道。随着舟山新区的设立，尤其是岱山北部围涂工程、绿色石化基地、舟山江海联运服务中心等重大建设项目的实施，对岱山西北海域动力地貌的研究显得更加重要。为研究西北近岸海域(图1)的海床演变形态及其影响因素，笔者收集1980年以来不同年份的水深地形资料、卫星遥感影像和最新的水文泥沙数据。通过资料分析，对床冲淤演变形态和驱动因子进行初步探讨，得出的结论可供相关工程作为设计参考。

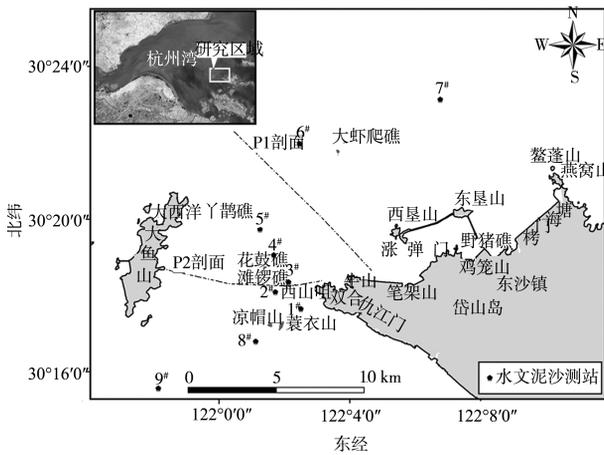


图1 研究区范围、剖面及水文测站位置

从海域地势看，双合山、花鼓山、蓑衣山之间形成水深12~18 m的浅槽，仅在岛礁附近有30~40 m深的冲刷沟。海底由浅槽向东南和西北方向逐渐抬高至10 m，东南-西北走向的水道两边分别是海域开阔的0~5 m水深大鱼山东部浅滩和5~10 m水深的双合山北部水下缓坡。大鱼山北部形成冲刷深槽，水深达50 m。

1 岸线变化分析

岱山西北海岸岬角与舂湾相间发育，海岛岸线由基岩海岸和人工海堤组成。基岩海岸岩性坚硬、抗冲刷能力强，根据从不同年份的卫星遥感影像提取的岸线进行叠加(图2)分析显示：1984—1990年岱山岛西北部岸线由于修建栲门海堤和野猪礁海堤两处规模较大的人工堤工程发生明显变化。栲门海堤增加陆域面积373万m²，岸线外推620~1200 m；野猪礁海堤增加陆地面积64万m²，原人工岸线外推约350 m。其它岸段主要为基岩海岸，岸线在自然状况下未发生明显改变。1990—2011年岱山岛西北海岸全线稳定，未见明显变化。2011—2015年，岱山北部围涂工程全面展开。工程规划对岱山岛、双合牛山及鲞蓬山形成的凹形区域进行围塘造地。预计建设完成后的围填海区东西长约10 km，面积20 km²，堤线总长11.5 km。一期促淤工程的牛山—笔架山海堤于2012年6月开始施工，2013年10月围堤合拢。2014年5月开始实施西垦山—东垦山、东垦山—野猪头码头的2个促淤堤工程，至2015年5月，一期促淤工程的3个海堤修建项目全面竣工。西垦山—东垦山海堤、东垦山—岱山海堤以及双合山—岱山海堤将成为新的海岸线，岸线外推800~2000 m，潮滩范围也将逐渐向外海推移。

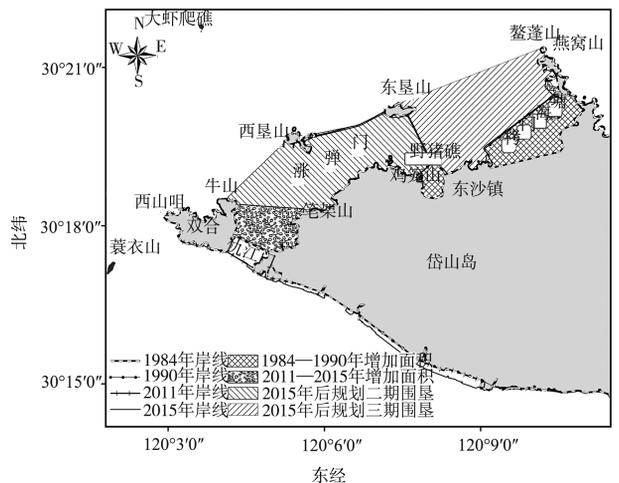


图2 历年岸线及围涂面积变化

根据规划, 2016 年开始实施二期围垦工程的牛山—西垦山海堤, 将完成围涂面积 1 353 万 m²。之后三期工程兴建东垦山—鸯蓬山海堤, 规划增加围涂面积 1 053 万 m²。岱山北部二期、三期围垦工程建成后, 牛山—西垦山—东垦山—鸯蓬山连线成为新的海岸, 届时人工海堤基本取代自然岸线, 岱山岛西北部岸线全线外推 600~2 400 m。

岱山岛北部促淤围涂工程的实施, 围垦区附

近岸线、潮滩及近岸海床均将发生明显变化。

2 各时段的岸滩冲淤变化

根据现有条件, 本文共收集 1984 年(1/3.5 万)、2007 年(1/1 万)、2011 年(1/1 万)、2015 年(1/1 万)等多个批次的岱山西北部海域水深地形资料(均转为理论深度基准面), 对岱山西北部海域进行海床冲淤的数字化计算分析(表 1)。

表 1 岱山西北海域海床冲淤特征值

| 计算时段 | 淤积量/ 万 m ³ | 冲刷量/ 万 m ³ | 淤积面积/ km ² | 冲刷面积/ km ² | 淤积幅度/ m | 冲刷幅度/ m | 净冲淤量/ 万 m ³ | 净冲淤 幅度/m | 净冲淤速率/ (cm/a) |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|------------|---------------------------|-------------|------------------|
| 1984—2007 年 | 6 925.3 | 9 056.3 | 67.36 | 72.33 | 1.03 | 1.25 | -21.31 | -0.15 | -0.65 |
| 2007—2011 年 | 1 423.0 | 4 616.3 | 22.39 | 117.30 | 0.64 | 0.39 | -31.93 | -0.23 | -5.75 |
| 2011—2015 年 | 2 754.4 | 817.3 | 18.85 | 32.44 | 1.46 | 0.25 | +19.37 | 0.38 | +37.77 |

注: “+”表示淤积, “-”表示冲刷, 下同。

2.1 1984—2007 年

利用 1984 年海图和 2007 年实测水深地形资料, 对特征等深线进行分析, 同时运用 GIS 技术进行海床冲淤的数字化计算。涨弹门水道内的 5 m 等深线由西向东淤涨至西垦山南侧(图 3), 双合山北侧潮滩发生较大面积的淤积(图 4), 双合山与西垦山之间已不存在 5 m 以深的潮沟, 淤积幅度 0~7.0 m, 淤积速率 0~0.30 m/a。5 m 水深海区向西北淤进 330~580 m。整个浅滩平均淤积 1.02 m, 淤积速率 0.04 m/a。西山咀北侧海底轻微冲刷, 5 m 等深线朝东平移约 200 m。岱山西北

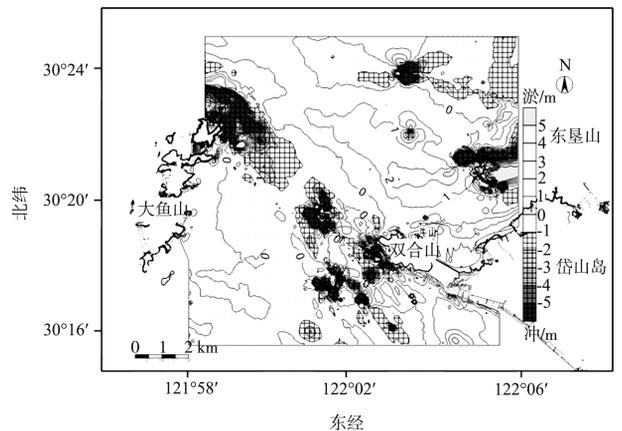


图 4 1984—2007 年冲淤变化

部海域中大虾爬礁的东西两侧水下边坡发生 0.5~2.5 m 的冲刷, 东部侵蚀速率大于西部。双合山西部至大鱼山之间浅槽是该海域的潮汐主通道, 平均冲刷 1.25 m, 年侵蚀速率 0.05 m/a。除岛屿附近的深槽区冲刷 3~6 m, 浅槽区域冲刷 0~2 m, 侵蚀速率 0~0.11 m/a, 侵蚀速率随水深增大逐渐加剧。大鱼山东侧 2 m 等深线以浅的岸滩有 0~0.8 m 的淤积。整个计算区域冲刷面积占 51%, 淤积面积占 49%。

2.2 2007—2011 年

双合山北侧 5 m 等深线位置 2007 年与 2011 年基本保持一致, 北侧 10 m 等深线出现 310~500 m 的向岸侵退(图 5)。岱山西北海域海床冲淤形态

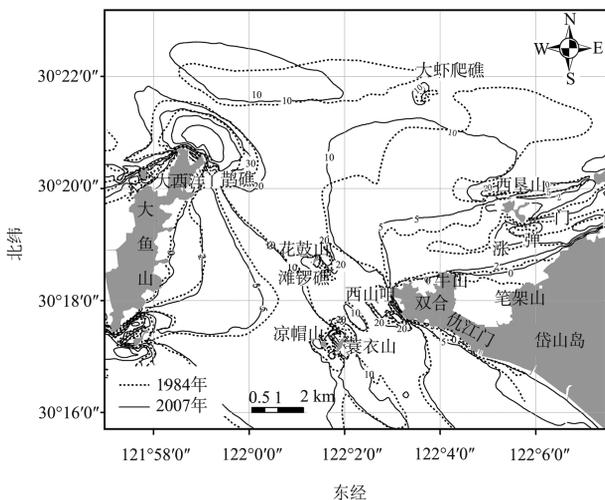


图 3 1984—2007 年等深线 (单位: m)

由1984—2007年的微淤积转变为2007—2011年的微冲刷，岱山西北浅滩平均冲刷0.22 m，侵蚀速率0.06 m/a，向西侵蚀速率逐渐增大。岱山西部与大鱼山之间海域以冲刷为主，除在岛屿附近的深槽区局部有大于5 m的刷深外，大部分海床表现为微侵蚀状态(图6)。大鱼山东部10 m以浅海域平均冲刷0.14 m，侵蚀速率0.03 m/a，2~5 m水深区域侵蚀速率大于水深5~10 m的区域。大鱼山2 m等深线以浅的水下缓坡有0~0.5 m的淤积，随水深增大，淤积速率减小。整个岱西北海区呈现侵蚀态势，冲刷面积较1984—2007年增加62%，淤积面积减小67%，净冲刷幅度约0.23 m，年均侵蚀速率0.05 m/a。

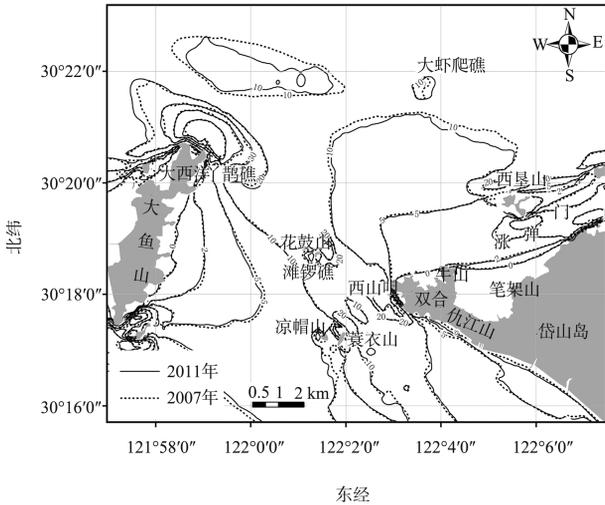


图5 2007—2011年等深线(单位:m)

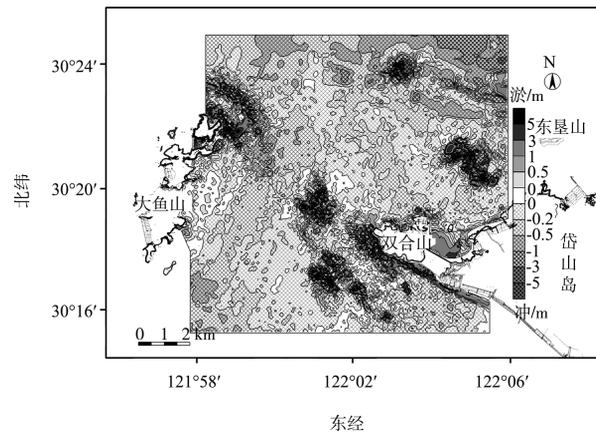


图6 2007—2011年冲淤变化

2.3 2011—2015年

由于2个年份的水深地形资料因2015年测区范围的限制，对海床冲淤的计算分析只能限于2015年

地形测量的区域(图7、8)。虽然研究范围仅限于双合山与大鱼山之间的局部海域，但对整个区域的海床冲淤演变研究仍有一定参考意义。双合山至西悬山之间5 m等深线范围以内的浅滩发生0~7.5 m的淤积，平均淤积速率1.48 m/a，沿水深增大淤积速率有减小趋势。2 m等深线外推至西山嘴和西悬山一线，向外海推移最大距离达1 800 m，0 m线也外推了200~1 400 m。2011年大鱼山东侧浅滩及双合山西部水道的浅槽等深线走势和形态与2015年基本一致，仅局部略有变化。但整个测区除岱山西北5 m向岸的浅滩出现淤涨外，其它海域总体继续保持微侵蚀态势，侵蚀速率0.06 m/a。岱山西北浅滩出现淤积的主要原因是2013年在双合山、岱山、西悬山、东悬山之间新建的3条海堤使该区域形成一个岬湾，导致水流挟沙能力迅速降低，接受的外来泥沙不断沉降，发生大幅度淤积。

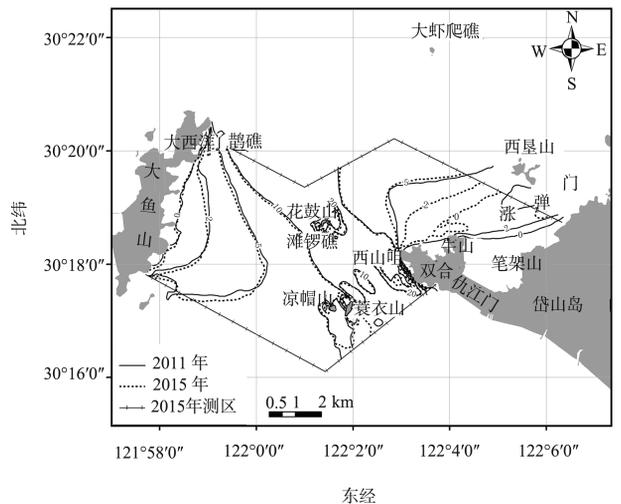


图7 2011—2015年等深线(单位:m)

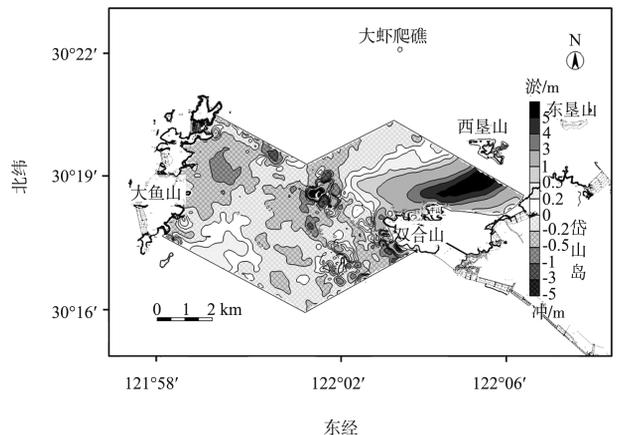


图8 2011—2015年冲淤变化

综合上述分析可以得出近 30 余年岱山西北部近岸海床演变的一些基本特征: 1) 西北海岸以抗冲蚀的基岩为主, 人工岸线则主要由围塘筑成的海堤构成。2011 年以前此海域海洋开发活动较少, 几个较大规模的涉海工程仅局部改变海岸线, 岸线总体比较稳定。2) 岱山北部浅滩 1984 年以来经历了微淤积-微侵蚀的动态演变过程, 岱山西部至大鱼山海域以微侵蚀为主。整个研究区域通过冲淤定量计算, 发现该海域一直呈现微侵蚀的海床演变趋势, 侵蚀速率由 1984—2007 年的 0.66 cm/a 加速为 2007—2011 年的 5.75 cm/a。2011 年以后, 岱山北部由于连岛围涂工程修建的海堤阻断北部潮滩的水流通道(涨弹门水道), 致使岱山西北海岸至西悬山之间的 5 m 等深线以浅区域处于全面淤积状态, 但岱山西部至大鱼山之间水道浅槽和浅滩的冲淤形态并未发生明显变化, 仍以微侵蚀为主。

3 剖面变化分析

为更清楚地察看岱山西北近岸海床演变的特征, 选择由双合山向大虾爬礁西侧和大鱼山岛中部的 2 个剖面进行剖面地形和冲淤分析(图 1)。剖面水深地形资料采用 1984 年海图和 2007 年、2011 年及范围更小的 2015 年等 4 个时期的实测水下地形数据。

P1 剖面(图 9)显示, 1984—2007 年整个剖面呈淤积状态, 平均淤积幅度 1.27 m, 淤积速率 5.52 cm/a。2007—2011 年剖面由淤积形态变为侵蚀形态, 平均冲刷幅度 0.17 m, 侵蚀速率 4.25 cm/a。5~10 m 浅滩的侵蚀速率明显大于 0~5 m 浅滩(表 2)。2011—2015 年 5 m 等深线向岸浅滩发生 2.97 m 的淤积, 但 5 m 以深向海区域仍然呈现 0.05 m 左右的冲刷幅度(以 2015 年测区范围为界)。

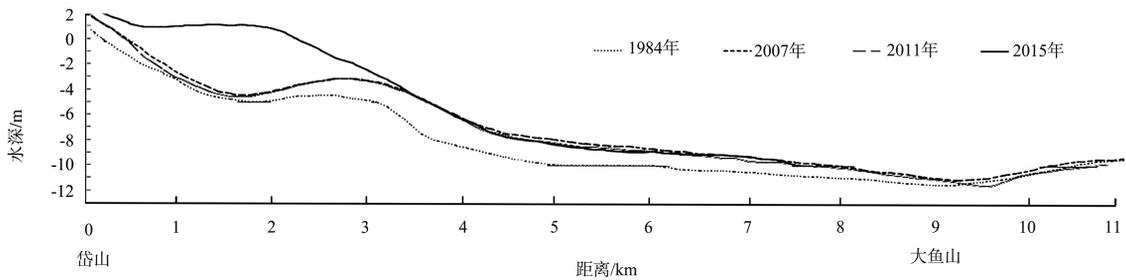


图 9 P1 剖面

表 2 P1 剖面特征值

| 计算时段 | 10 m 线 迁移/m | 5 m 线 迁移/m | 0~5 m 冲淤厚度/m | 0~5 m 冲淤 速率/(cm/a) | 5~10 m 冲淤厚度/m | 5~10 m 冲淤 速率/(cm/a) | 总冲淤 厚度/m | 总冲淤 速率/(cm/a) |
|-------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------|------------------|
| 1984—2007 年 | 1950 | 550 | 1.16 | 5.11 | 1.57 | 7.21 | 1.27 | 5.52 |
| 2007—2011 年 | -180 | -60 | -0.10 | -2.52 | -0.21 | -5.25 | -0.17 | -4.25 |
| 2011—2015 年 | | 60 | 2.97 | 74.25 | (-0.05) | (-1.25) | | |

P2 剖面(图 10)沟槽浅滩相间, 其冲淤形态具有一定的地貌特征。1984—2007 年大鱼山东部浅滩水深 5 m 以浅有 0.39 cm/a 的淤积, 但 5 m 以深向东至双合山发生 0.52~0.87 cm/a 的侵蚀。浅槽的冲淤变化较为剧烈, 槽沟淤积明显。剖面平均侵蚀速率 0.45 cm/a。2007—2015 年剖面形态未发生剧烈变化, 处于微侵蚀状态, 侵蚀速率约 3.10 cm/a, 浅槽的冲刷强度略大于浅滩(表 3)。剖面图显示, 尽

管浅槽区潮流动力较为强劲, 水下地形变化并不大, 但 2007 年后的侵蚀速率较 1984—2007 年明显增大。

上述 3 个时段的剖面分析表明: 岱山西北海域有冲有淤, 岱山北部浅滩自 1984 年经历先淤后冲。双合山与大鱼山海域浅滩深槽相间, 岛屿散落其中, 1984 年以来处于冲刷状态, 侵蚀速率近年有加速趋势。整个研究区域由槽冲滩淤演变为槽冲滩冲, 且侵蚀速率加快。

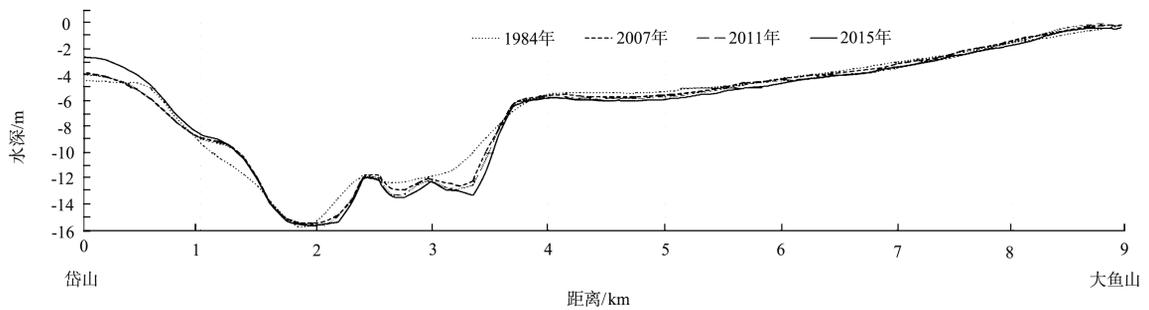


图10 P2剖面

表3 P2剖面特征值

| 计算时段 | 10 m线 迁移/m | 5 m线 迁移/m | 0~5 m 冲淤 厚度/m | 0~5 m 冲淤 速率/(cm/a) | 5~10 m 冲淤 厚度/m | 5~10 m 冲淤 速率/(cm/a) | 浅槽冲淤 厚度/m | 浅槽冲淤 速率/(cm/a) | 总冲淤 厚度/m | 总冲淤速率/ (cm/a) |
|------------|---------------|--------------|------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|--------------|-------------------|-------------|------------------|
| 1984—2007年 | -160 | -550 | 0.09 | 0.39 | -0.12 | -0.52 | -0.20 | -0.87 | -0.11 | -0.45 |
| 2007—2011年 | -40 | -100 | -0.10 | -2.50 | -0.14 | -3.51 | -0.15 | -3.75 | -0.13 | -3.19 |
| 2011—2015年 | -30 | -130 | -0.11 | -2.75 | -0.16 | -4.13 | -0.16 | -4.02 | -0.12 | -3.02 |

4 海床演变影响因素

4.1 动力条件

岱山西北海区的潮振动主要为太平洋潮波引起的协振动^[7]，潮汐以半日潮为主，为正规浅海潮，浅水效应显著。2015年9—10月双合山渡轮码头临时潮位站连续1个月的实测最大潮差4.20 m，平均潮差2.80 m，潮波表现出驻波性质。岱山西侧深槽、浅滩相间，北侧为相对开阔的海域，受地形的控制，其涨落潮流路较为清晰。双合山西侧水道潮流呈东南-西北走向，岱山岛北部处于岱瞿洋强潮流区，潮流呈东西向的往复流。根据2015年9月研究区9个水文泥沙测站潮流泥沙资料统计(图1)，岱山至大鱼山水道(1#~5#、8#)海域涨、落潮流速最大值分别为192和174 cm/a，1#~5#、8#测站垂向平均最大涨潮流速141~160 cm/s，最大落潮流速103~119 cm/s；岱山岛西北侧的6#测站最大涨、落潮流速分别为151和182 cm/s，由浅滩向槽沟流速增大。岱山岛北侧的7#测站处于岱衢洋的强流区域，流速最大，实测最大涨潮流速达到221 cm/s。大鱼山南侧的9#测站最大涨、落潮流速分别为170和164 cm/s。研究水域总体表现为涨潮流速明显强于落潮流。

据1988年浙江省海岸带与海涂资源综合调查资料，整个研究区及周边海域，主要以黏土质粉砂为主，表明该区海底底流的冲刷强度一般。通过对2015年9月各测站的资料统计分析，沉积物颗粒全部为较细的黏土质粉砂。岱山西北海域海底表层沉积物粒度分布都呈现单峰分布，表明测区沉积物来源较为单一。测区主要粒级为0.002~0.063 mm，中值粒径在0.009~0.018 mm。表层沉积物平面分布表现为岱山岛西侧特别是花鼓山以北(5#、6#)较粗，其中值粒径平均值为0.018 mm；大鱼山和岱山岛之间(1#~3#、8#)较细，其中值粒径平均值为0.013 mm。在强劲的潮流作用下，细颗粒沉积物易悬浮，沉降到海底表层的泥沙未经密实又被悬扬，导致水体含沙量较高。研究水域实测平均含沙量0.648 kg/m³，各测站全潮平均含沙量0.336~0.769 kg/m³。实测含沙量最大值为2.660 kg/m³，出现在5#站大潮的底层。总体而言，岛礁区域的水道槽沟(1#~5#测站)的含沙量大于其他水域，大鱼山南侧的9#站含沙量最低。含沙量的垂向变化明显，随着水深的增加，含沙量都逐渐升高。泥沙在波浪掀沙、潮流输沙的作用下以过境为主，较少发生淤积。整个海区的净输沙量

并不大,海床滩冲淤基本处于相对平衡状态。

4.2 泥沙供给

舟山海区陆域没有大河流,只有径流量较小的间歇性山溪流,陆域来沙量很少。因此,海域来沙成为岱山西北海区主要的泥沙供给源。海域来沙有长江入海物质和湾外浅海沉积再悬浮物质,岱山西北部海床演变的主要物源是长江来沙。近几十年来长江上游拦河大坝和水土养护等水利工程截留部分向下游输移的泥沙,导致扩散至杭州湾及浙闽沿岸流携带的细颗粒泥沙呈逐年减少的趋势。据长江大通站输沙观测资料,1985—2000年均输沙3.34亿t,2001—2010年输沙量降低为1.9亿t/a;进入2004年,受三峡工程蓄水影响,输沙量迅速减少到1.47亿t,仅为2001年的一半左右,2006年只有0.86亿t^[8]。入海泥沙减少,造成从湾口随涨潮流进入杭州湾内的泥沙相应减少。岱山西北海域潮流动力基本不变,而水流含沙量的减少使海床冲刷速率加快。长江入海泥沙近期内将持续保持较低的水平,参与地貌塑造的泥沙量减少,岸滩沉积物补给不足,这在一定程度上也将减弱围涂活动和自然条件引起的淤积。

4.3 海岸工程

2011年以前,岱山西北海岸的海洋开发活动较少,仅20世纪80年代栲门海塘和野猪礁码头围涂造地2个工程使局部岸线向外迁移200~1800m,其它岸线未发生明显改变。岱山西北近岸海域的潮流、泥沙运移形态比较稳定,受围垦工程影响较小。2011年之后,岱山北部连岛围涂工程加速推进,新建的海堤将涨弹门水道完全封堵。岱山与西垦山、东垦山之间海区的水沙运移形态发生改变,双合山北部5m等深线以内的浅滩及围堤形成的岬湾发生大量淤积,但岱山与大鱼山海域的水道浅槽与浅滩以2.5~4.5cm/a微冲刷为主,且侵蚀加速。随着舟山江海联运服务中心的建设,岱山西北部围涂项目将会进一步加速实施,这些人类活动必将改变沿岸的潮流流路和水流挟沙能

力,进而影响海床冲淤。

5 结语

1) 1984—2011年,岱山岛西北部岸线在自然状态下基本稳定,仅局部实施的人工围堤使岸线外移。但2011年后,大规模海岸开发项目使海岸加速改变,岸线开始整体大幅外移。

2) 海床冲淤形态有一个动态变化过程,由滩淤槽冲演变为滩冲槽冲。大部分海区冲淤速率不到10cm/a,仅局部冲刷槽形态变化较大。整个研究海域呈侵蚀加剧状态,平均侵蚀速率由1984—2007年的0.65cm/a变为2007—2011年5.75cm/a。2011年以来,岱山岛围垦工程的实施使近岸的冲淤形态发生新的变化,岱山西北部5m等深线以浅边滩淤积明显,岱山与大鱼山之间的水道浅槽和浅滩以2.5~4.5cm/a的侵蚀为主。

3) 这些变化除受潮流等驱动因素影响外,长江来沙的逐年递减和岱山北部的围涂筑堤改变近岸水沙运移形态是该海域近30a来海床冲淤演变的两个主要影响因素。

参考文献:

- [1] 海湾志编纂委员会.中国海湾志:第五分册[M].北京:海洋出版社,1993.
- [2] 赵建春,李睿元,杨娟.舟山海域潮流能资源空间分布特征初析[J].华东工程技术,2012,33(2):28-31.
- [3] 黄世昌,张舒羽,余炯.杭州湾灰鳖洋海域海床演变趋势研究[J].泥沙研究,2005(1):46-52.
- [4] 陆琦,刘阿成,范代读.舟山群岛岱衢洋海床的活动性研究及其工程意义[J].海洋通报,2010,29(4):385-391.
- [5] 蒋国俊.舟山群岛峡道水动力及沉积特性[J].浙江大学学报:理学版,2001,28(1):82-91.
- [6] 夏小明,杨辉,李炎,等.长江口-杭州湾毗连海区的现代沉积速率[J].沉积学报,2004,22(1):30-135.
- [7] 宋亚民.舟山群岛水文特性[J].水文,2001,21(6):59-62.
- [8] 中华人民共和国水利部.中国河流泥沙公报(2001-2006)[M].北京:中华人民共和国水利部,2002-2007.