

· 综合 ·



大鱼山填海工程对海床冲淤变化影响分析*

罗 意¹, 来向华¹, 季有俊¹, 黄潘阳¹, 宋泽坤²

(1. 自然资源部第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012;

2. 杭州国海海洋工程勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 根据舟山大鱼山海域1960—2021年间5个年份的水深地形资料, 基于GIS(地理信息系统)技术采用数字化定量冲淤计算和特征等深线叠加方法, 对工程附近典型水下地形的平面冲淤和平面形态变化规律进行研究, 探讨大鱼山填海工程对周边海床冲淤变化的影响。结果表明: 自然状态下, 研究区整体处于轻微冲刷状态; 填海后, 南侧深槽近岸淤积, 外侧和北侧深槽继续冲刷, 东西两侧浅滩呈现大幅度淤积。大鱼山填海工程极大地改变了原本岸线分布以及周边水动力泥沙环境, 最终导致填海区附近海床冲淤变化, 但整体仍维持海底的潮流分布格局。

关键词: 填海工程; 海床冲淤; 数字高程模型

中图分类号: P751; U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0001-07

Influence of Dayushan reclamation project on sea-bed erosion and siltation

LUO Yi¹, LAI Xianghua¹, JI Youjun¹, HUANG Panyang¹, SONG Zekun²

(1. Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou 310012, China;

2. Hangzhou Ocean Engineering Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: Based on the bathymetric and topographic data of five years from 1960 to 2021 in the Dayushan Sea area of Zhoushan, we discuss the influence of the Dayushan reclamation project on the changes of surrounding seabed erosion and siltation. We adopt the digital quantitative erosion and siltation calculation and the method of characteristic isobath superposition based on GIS technology to study the changes in surface erosion and siltation and surface morphology of typical underwater terrains near the project. The results show that the whole study area is in a slight erosion state in natural conditions. After reclamation, the south trough silts near shore, while the outer and northern deep troughs continue to erode, and the shoals on the east and west show significant siltation. The Dayushan reclamation project has greatly changed the original shoreline distribution and the surrounding hydrodynamic sediment environment. This eventually leads to sea-bed erosion and siltation changes near the reclamation area, but the seabed tidal flat distribution is unchanged.

Keywords: reclamation project; sea-bed erosion and siltation; digital elevation model

填海造地可缓解土地资源紧张问题, 促进经济发展, 但也对周边海域水动力和海底冲淤环境造成影响。填海工程改变局地海岸形态, 影响工程区附近海域的潮流、波浪等水动力环境, 导致附近泥沙运移状态发生改变, 并形成新的冲淤变

化趋势^[1]。关于填海工程对海域冲淤变化的影响研究较多, 冯秀丽等^[2]研究了威海靖海湾港区张家埠新港建设对海域泥沙冲淤的影响, 结果表明在引堤透空段附近和防波堤端头冲刷严重。周广镇等^[3]、宋渥^[4]研究了莱州湾东岸近海海域、凤

收稿日期: 2023-02-08

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52071289)

作者简介: 罗意 (1998—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事近海工程研究工作。

凰岛东侧海域规划围填海后的泥沙冲淤演变。巩明等^[5]通过对乐清湾大乌港水道冲淤变化特性的分析发现,堵港、围涂的围填海工程加速了大乌港水道的淤积过程。从研究方法看,填海工程对海床冲淤的影响研究大多基于水力学、泥沙运动力学和沉积动力学方法,构建相应的数学模型模拟工程前后流场分布,用经验公式计算淤蚀强,或辅以必要的物理模型^[6-11]。也有基于 RS(遥感)和 GIS(地理信息系统)手段,分析海岸工程对近岸海床演变造成的影响^[12-14]。

已有研究为认识填海工程对海域冲淤变化的影响奠定了基础,然而大多数研究的填海工程都在海湾内或沿海岸进行,其对海域的影响只是填海工程外侧局部海域。本研究的对象是离岸以海岛为依托的岛型填海造陆,围堤的外侧海床为水道深槽和潮滩相间格局,围填产生的陆地对周边海域潮水涨落、泥沙运移等均产生影响。同时,由于海洋生态文明建设和海洋经济发展的需要,类似的大规模海上岛型填海项目对海洋环境的影响越来越受关注,研究其对周边海域产生的影响

将为类似工程提供有益的参考。本文利用丰富的历史水深地形资料,基于 GIS 技术,采用数字化冲淤计算和特征等深线叠加分析,通过对工程附近典型水下地形平面冲淤和平面形态变化规律的研究,探讨大鱼山填海工程对海床冲淤变化的影响。

1 工程概况

研究区域地处舟山群岛西部,北濒杭州湾和长江口,南接灰鳌洋,西邻七姊八妹列岛,东近岱山岛。围填工程于 2020 年完成,将西起渔山小峙山岛、东至大鱼山岛的岛礁通过围堤围成一体,造地面积 26 km²。区域潮汐为浅海半日潮,潮流涨、落潮主流向基本为西北—东南向,往复流特征以及涨落潮不等现象较为显著。区域附近海域海底地貌发育,整体呈现南北深东西浅的地形特征,大鱼山岛南北两侧长期受潮流冲刷各形成一个水道深槽,最深处为 55 m 以上,东西两侧为水深较浅的水下浅滩,形成明显的滩槽格局,研究区域位置及水下地形见图 1。

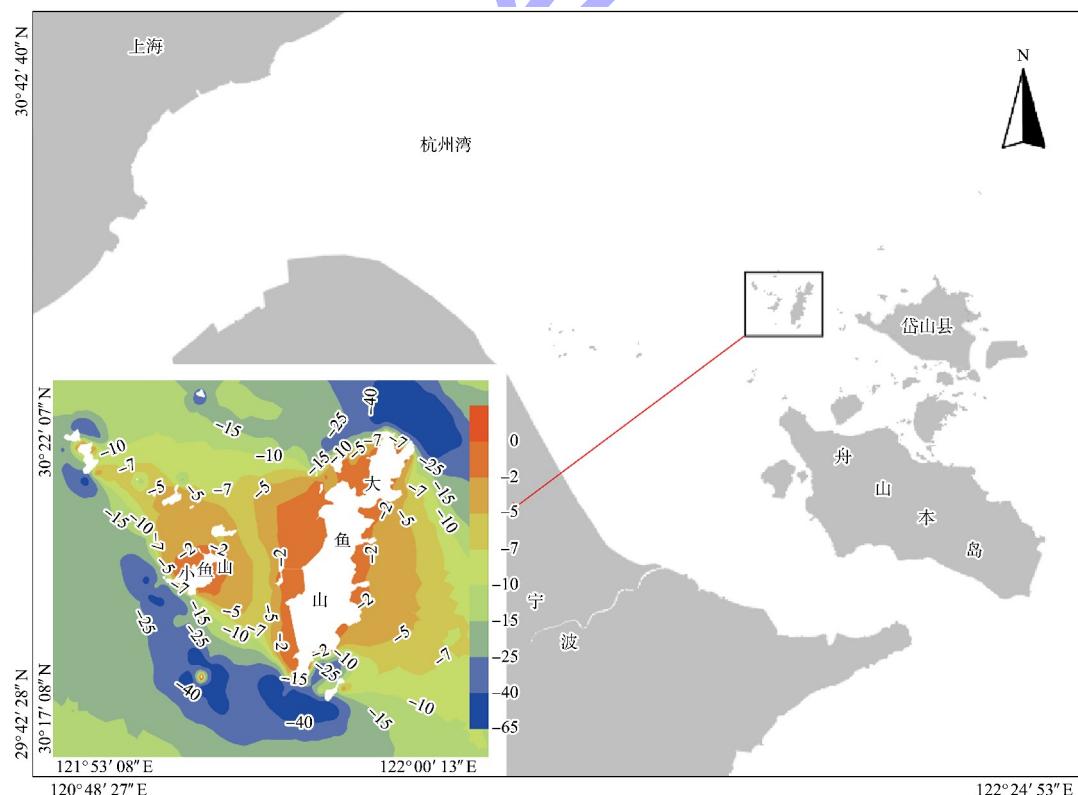


图 1 研究区域位置及水下地形

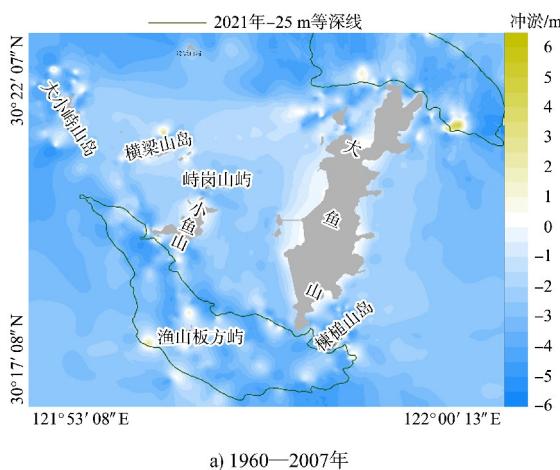
2 资料来源与方法

收集研究区域 1960—1984(统称为 1960 年)、2007、2011、2015 和 2021 年 5 个年份历史海图及水下地形图资料, 通过将其坐标转换为同一投影, 基准面换算为同一基准面, 将数字化的离散水深数据采用 Kringing 插值的方法进行网格化, 进而建立研究区域不同年份的数字高程模型。大鱼山附近海域潮流的往复流特性以及岛屿岸线形态, 基本形成了以深槽和水下浅滩为代表的两种典型水下特征地形。如图 1 所示, 本文在 $121^{\circ}52'08''\text{E}$ — $122^{\circ}00'13''\text{E}$ 以及 $30^{\circ}17'08''\text{N}$ — $30^{\circ}22'07''\text{N}$ 的研究范围内将大鱼山岛南北两侧深槽按 -25 m 等深线以深区域划分为南侧深槽和北侧深槽; 将大鱼山岛东西两侧水下浅滩按各年份 -5 m 等深线以浅区域划分为东侧浅滩和西侧浅滩。通过对南部深槽和北部深槽范围平面冲淤变化以及对东、西侧浅滩平面形态变化的研究, 探讨大鱼山填海工程对海床冲淤变化的影响。

3 研究结果

3.1 南北两侧深槽平面冲淤变化特征

近 81 a 来, 大鱼山南侧深槽总体以冲刷为主, 冲刷区面积远大于淤积区面积。从深槽平面冲淤分布来看, 冲刷区占据两深槽的大部分区域, 其中靠近小鱼山南侧岸线位置的南侧深槽有小部分淤积, 靠近大鱼山岸线及周边岛礁位置的北侧深槽南部有小范围淤积。自然状态下, 两深槽不同年间以及填海工程实施后存在一定的冲淤性质和分布变化差异, 见图 2。



a) 1960—2007年

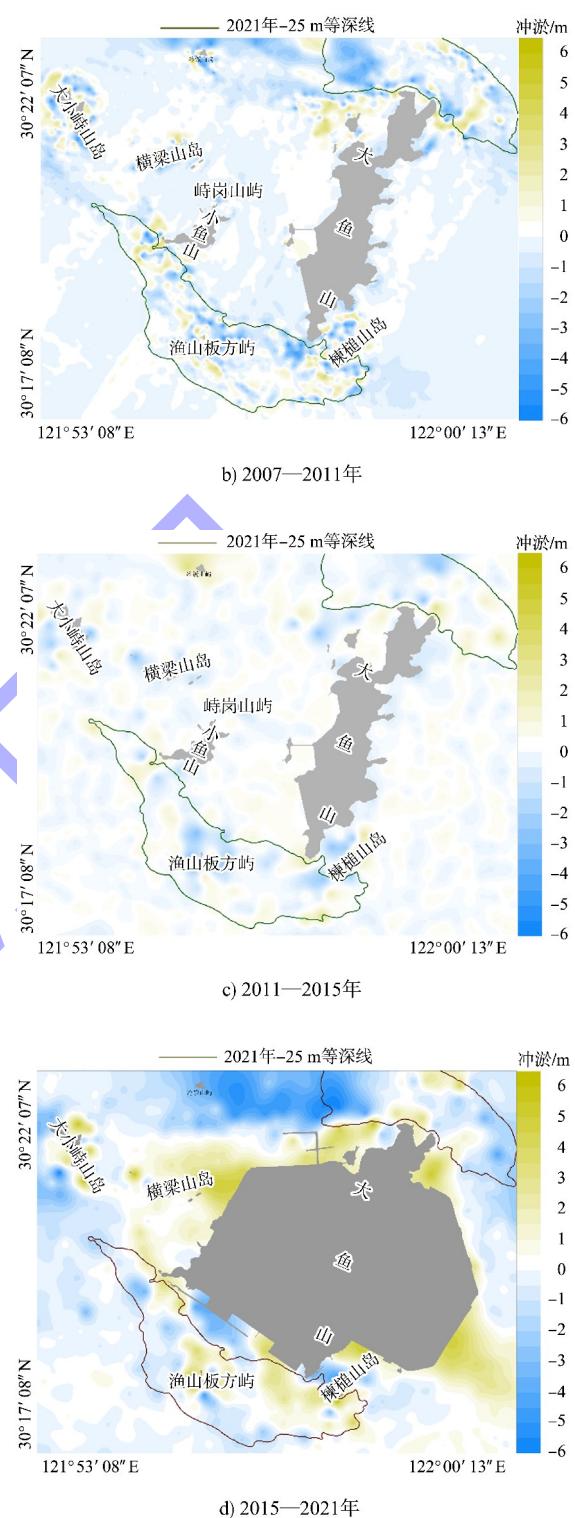


图 2 海床平面冲(-)淤(+)分布

由计算数据及图 3、4 发现 1960—2007 年间, 南侧深槽冲淤面积比为 87:1, 平均冲刷深度为 3.07 m , 年平均冲刷速率为 6.53 cm/a ; 北侧深槽冲淤面积比为 39:1, 平均冲刷深度为 3.4 m , 年均冲刷速率为 7.23 cm/a 。这段时间内南北两侧深槽基本处于

全区冲刷状态，冲刷速率较大。

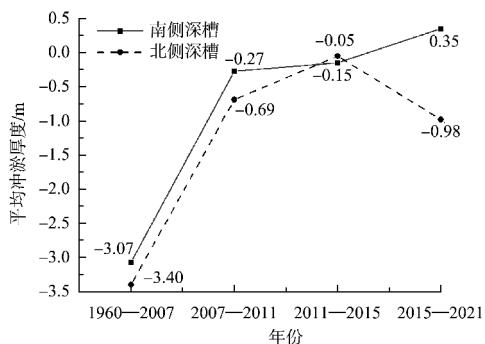


图 3 南北两侧深槽平均冲淤厚度

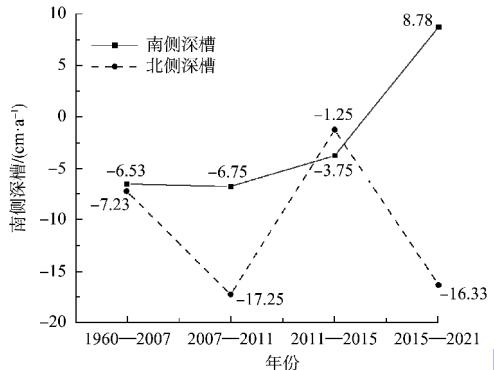


图 4 南北两侧深槽年均冲淤速率

2007—2011 年南侧深槽冲淤面积比值为 1.3:1，平均冲刷深度 0.27 m，年均冲刷速率为 6.75 cm/a；北侧深槽冲淤面积比值为 2.8:1，平均冲刷深度为 0.69 m，年均冲刷速率为 17.25 cm/a。此时间段南侧深槽冲刷态势减缓，冲刷性质由全区冲刷转为局部冲刷，北侧深槽冲刷区面积大幅减小，但局部冲刷加大。

2011—2015 年南侧深槽冲淤面积比为 1.4:1，平均冲刷深度 0.15 m，年均冲刷速率为 3.75 cm/a；北侧深槽冲淤面积比为 1.1:1，平均冲刷深度为 0.05 m，年均冲刷速率为 1.25 cm/a。由此可知，南侧深槽冲刷速率减半，冲刷态势减缓；北侧深槽冲刷深度及年均冲刷速率大幅降低，冲刷性能减小。

2015—2021 年受填海造陆工程影响，南侧深槽冲淤性质变化剧烈，冲淤面积比值转换为 1:1.2，平均淤积厚度为 0.35 m，年均淤积速率达 8.75 cm/a；北侧深槽冲淤面积比为 2.5:1，平均冲刷深度为

0.98 m，年均冲刷速率为 16.33 cm/a。从图 2d) 可以看出，围填海工程的实施后，南侧深槽靠近岸边位置发生大规模淤积，淤积面积首次大于冲刷面积，该时段全区大部分处于淤积状态，但离岸较远处仍保持冲刷；北侧深槽则仍保持冲刷的态势，且冲刷速率加大。

综上，近 81 a 来，大鱼山南侧深槽经历了自然状态下全区冲刷、局部冲刷和缓慢冲刷的动态调整过程；北侧深槽的冲淤性质变化过程则为全区冲刷、局部冲刷加大和冲刷减缓。近几年由于填海工程的实施，南侧深槽冲淤性质虽然由冲刷转变为淤积，但局部仍保留冲刷性质，而北侧深槽冲刷性质得到进一步加强。

3.2 东西两侧浅滩冲淤变化特征

通过 1960、2007、2011、2015 和 2021 年 5 个年份的大鱼山东东西两侧水下浅滩的边界 -5 m 等深线变动、面积和平均水深等形态要素计算与统计，数据结果见表 1，等深线变动见图 5。

1960 年大鱼山东侧浅滩形态总体呈三角形状，在接近大鱼山南北两端略有收缩，面积约 12.82 km²，平均水深为 3.05 m；西侧浅滩的 -5 m 等深线囊括了大小峙山岛和小鱼山岛在内的大片海域，受周边岛屿岸线及潮流水动力影响，西侧浅滩南北两侧等深线呈现向内凹陷的特征，其总面积约 11.35 km²，平均水深为 2.14 m。

表 1 东、西侧浅滩平面形态要素

区域	年份	-5 m 等深线移速 / (m·a ⁻¹)	面积 / km ²	平均 水深 /m
东侧 浅滩	1960	0	12.82	3.05
	2007	-26.85	5.39	3.10
	2011	-6.12	5.30	3.03
	2015	2.39	5.28	3.27
	2021	150.06	1.23	3.42
西侧 浅滩	1960	-	11.35	2.14
	2007	0	10.61	2.53
	2011	-3.46	10.53	2.53
	2015	-1.55	9.43	2.59
	2021	271.85	3.60	2.36

注：-5 m 等深线移速一列中负值代表内移，正值代表外移。

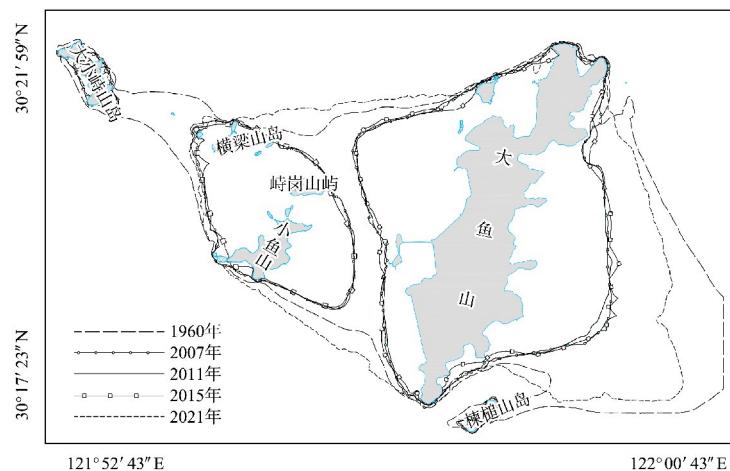


图 5 大小鱼山周边-5 m 特征等深线分布变化

2007 年东侧浅滩-5 m 等深线较 1960 年大幅度内移, 年均内移速率 26.85 m/a, 水下浅滩形状大体与同年份西侧水下浅滩沿大鱼山岛东北西南轴线对称。浅滩面积较 1960 年大幅度减小, 平均水深有所增加, 表明东侧浅滩在 1960—2007 年间总体处于冲刷状态; 西侧浅滩形状较 1960 年有较大改变, 1960 年时囊括大小峙山岛、小鱼山岛的大片水下浅滩区域分化为大小峙山岛、小鱼山岛和大鱼山西侧近岸水下浅滩, 原本-5 m 等深线基本被-10 m 等深线所替代。西侧水下浅滩形状同 1960 年类似, 但范围大大减小, 平均水深略微增加, 表明西侧浅滩在 1960—2007 年总体处于冲刷状态。

2011 年东侧浅滩-5 m 等深线形态较 2007 年变化不大, 在此期间浅滩边界线呈内移与外移交替分布, 总体以内移为主, 年均内移速率约 6.12 m/a。浅滩整体面积较 2007 年有所减少, 平均水深小幅减小, 表明东侧水下浅滩在 2007—2011 年间总体处于轻微冲刷或冲淤平衡的状态; 西侧浅滩-5 m 等深线形态与 2007 年大体一致, 两个年份间西侧浅滩外边界同样呈现出内移与外移交替分布的特点, 总体以内移为主, 年均内移速率约 3.46 m/a。水下浅滩面积较 2007 年略微减少, 平均水深基本保持不变。表明西侧水下浅滩在 2007—2011 年间总体处于轻微冲刷状态。

2015 年东侧浅滩-5 m 等深线形态与 2011 年

相似, 边界线总体以外移为主, 年均外移速率约 2.39 m/a。整体水下浅滩面积较 2011 年略微减少, 平均水深小幅减小, 表明东侧浅滩在 2011—2015 年处于轻微淤积状态。西侧浅滩-5 m 等深线形态与 2011 年大体一致, 浅滩边界线总体以内移为主, 年均内移速率约 1.55 m/a。浅滩面积较 2011 年有所减少, 平均水深小幅增加, 表明西侧浅滩在 2011—2015 年处于轻微冲刷状态。

2021 年填海工程将大、小鱼山岛中间海域围填成陆地, 因此大鱼山东西两侧浅滩均发生大幅外移, 年均外移速率分别为 150.06 和 271.85 m/a, 面积均大幅缩减, 东侧浅滩平均水深略微增加, 而西侧浅滩平均水深则有所减小。

综上, 在 1960—2015 年自然条件状态下大鱼山东侧浅滩经历了总体冲刷、轻微冲刷和略微淤积的动态调整过程, 而西侧浅滩冲淤态势变化则是总体冲刷、轻微冲刷和缓慢冲刷的动态调整过程; 2015—2021 年受大鱼山填海工程的影响, 东西两侧水下浅滩边界大幅度外移, 两区域均发生淤积。

4 数值模拟

无论从冲淤分布变化还是形态演变的角度分析, 在近 81 a 期间, 当处于自然状态时大鱼山海域海床冲淤总体上基本保持轻微冲刷的状态, 但填海工程各个围堤的建设明显改变了岸线边界条件, 相应地改变了围堤外侧潮流结构, 造成水流

挟沙能力的变化，最终导致海床发生相应调整。采用数值模拟方法对填海工程前后的涨、落急潮流场进行了模拟。

4.1 自然状态下冲淤演变趋势

工程前研究海域涨、落急潮流见图 6，自然状态下流经研究区域的涨潮流主要来自东海前进波，经舟山群岛之间的狭道进入杭州湾，在到达研究区域时整体流向呈现东南流向西北。由于区域潮流的流向与主要岛屿走向接近垂直，在涨落潮时大鱼山南北两端的矶头岸线均对潮流产生调流和收束作用，加强了水流流速，流速长时间保持较高水平使大鱼山南北两侧形成水下深槽。大鱼山东侧浅滩处于涨潮流的迎流面，且处于落潮流的背流面，因此潮流动力总体较小，整体为轻微淤积状态；离岸较远处不受岸线保护，并受从群岛峡道间流出的高速潮流影响，表现出轻微冲刷的性质。大鱼山西北侧处于落潮流的迎流面，受小鱼山等岛屿岸线的导流和束狭作用，岛间水道水动力较强，导致在自然状态下西侧浅滩整体处于轻微冲刷状态。另外，自长江上游三峡工程于 2003 年建成蓄水以来，输沙量大幅度减小，根据下游大通控制站资料统计显示，长江多年平均输沙量与 2003 年后多年平均输沙量相比由 3.51 亿 t 减少至 1.34 亿 t^[15]。研究区处于长江口南侧，长江口来沙量的减少一定程度上减小了泥沙淤积的可能。

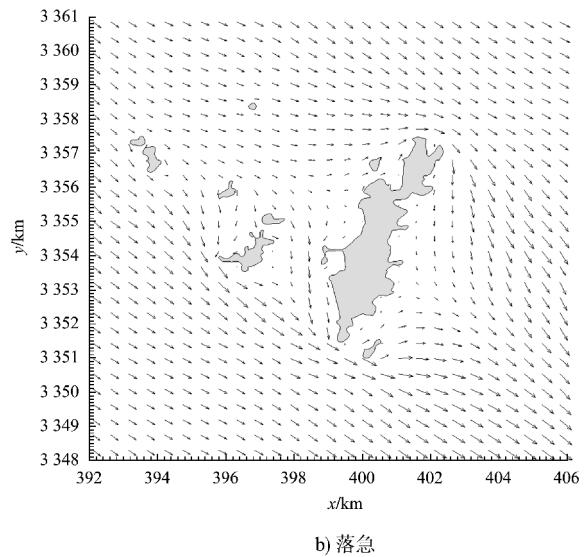
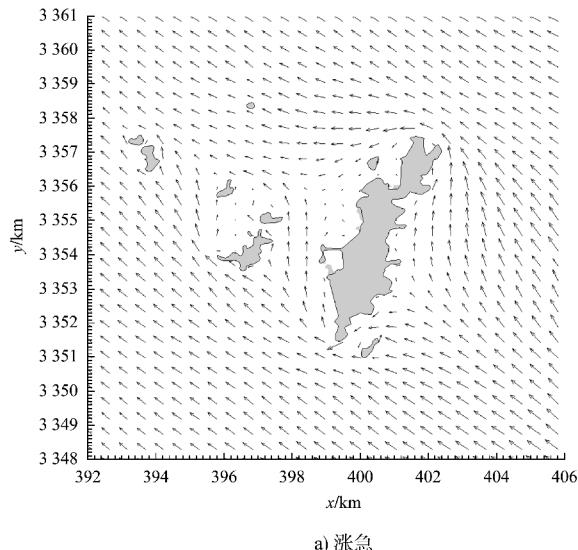


图 6 工程前涨、落急时刻流场变化

4.2 填海工程对海床冲淤影响

填海工程围绕大、小鱼山岛修建了多个围堤，极大地改变了原本的岸线分布，大量人工岸线的建立改变了附近的潮流结构，局部水动力条件发生剧烈变化，进而影响海床冲淤。工程前后涨、落急时刻流速变化分布见图 7，填海工程后研究区的涨、落潮流主要流向未发生改变，仍然为西北—东南向。由于东北堤在涨潮时对潮流的导流作用，东北堤外侧流速有所增大，但对北侧深槽影响较小。从流速变化分布图可知，北侧深槽涨、落急时刻流速变化均不明显，基本处于冲淤平衡状态。推测计算结果为冲刷的原因是大鱼山岛北侧海域挖砂吹填导致水深大幅增加；南侧深槽东南部处于南堤外侧，此处堤线存在 1 个接近 90° 的拐角，涨潮时存在 2 个不同方向漩涡，落潮时存在 1 个较大的逆时针旋转的漩涡，流态复杂，水动力较缓弱，小岛的存在也加大了泥沙在此沉降淤积的可能。南侧深槽中部及北部的淤积推测为附近港池开挖导致的人为泥沙堆积。大鱼山东、西侧浅滩外边界在围堤建成后大幅度外移，一方面是因为填海工程建立的人工岸线相对于自然岸线向外大幅度推移；另一方面，东侧浅滩分别处于涨、落潮的迎流面和背流面，而西侧浅滩分别处于涨、落潮的流影区和迎流面，两者均处于水动力缓弱区域，流速减小，挟沙能力较弱，其挟带的泥沙颗粒易于在此沉积。

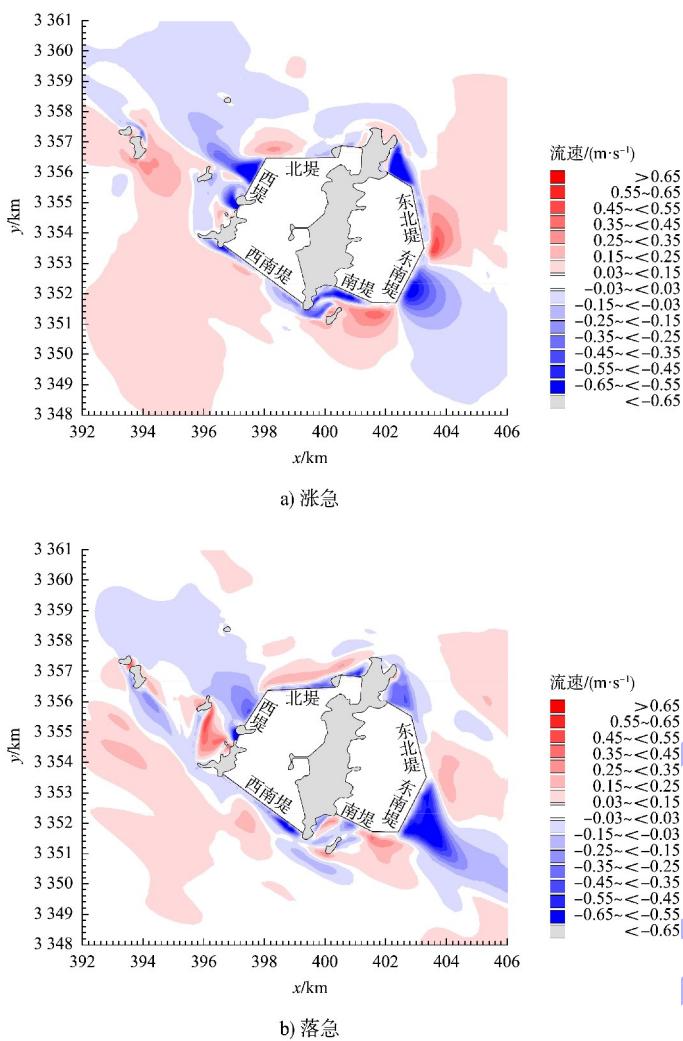


图 7 工程前后涨、落急时刻流速变化

5 结论

1) 主要岛屿走向与潮流主流向独特的垂直关系造就了大鱼山岛南北两侧深槽发育和东西两侧浅滩堆积的典型水下地形。2003 年长江上游建成的三峡大坝使长江口来沙减少，并影响着研究区域海床的冲淤环境。填海工程后，由于各围堤的建设极大地改变了原本的岸线分布，进而影响围堤外侧水道深槽的潮流结构，局部水动力条件发生明显变化，最终导致海床冲淤变化。

2) 自然状态下，研究区附近海域总体以冲刷为主，但不同年间表现出不同的冲淤性质。大鱼山填海工程后，深槽区和浅滩区冲淤性质发生明显变化，深槽区中的南侧深槽近岸部分转变为淤积，而离岸较远的区域以及北侧深槽则继续保持冲刷；浅滩区表现出大幅度淤积，但并未改变原有的滩槽格局。

3) 研究表明大鱼山填海工程在原浅滩部位适度围填，可整体维持原有水下地形地貌格局，不剧烈改变潮流结构，将围填海造成的海床冲淤变化影响控制在一定范围内。

参考文献：

- [1] 周安国, 周大成, 姚炎明. 海湾围垦工程作用下的动力沉积响应[J]. 环境污染与防治, 2004(4): 281-284, 324.
- [2] 冯秀丽, 隋倩倩, 林霖, 等. 威海靖海湾港区张家埠新港建设对泥沙冲淤影响预测分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(3): 72-76.
- [3] 周广镇, 冯秀丽, 刘杰, 等. 莱州湾东岸近岸海域规划围填海后冲淤演变预测[J]. 海洋科学, 2014, 38(1): 15-19.
- [4] 宋涅. 凤凰岛东侧海域冲淤演变及其应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [5] 巩明, 李伯根, 周鸿权. 乐清湾大乌港水道冲淤变化分析[J]. 海洋通报, 2011, 30(2): 206-213.
- [6] 蔡家新, 潘国富, 陈培雄. 围海工程前后瓯飞滩冲淤变化特征及动力机制分析[J]. 海洋学研究, 2021, 39(3): 63-71.
- [7] 田立柱, 王福, 裴艳东, 等. 渤海湾天津滨海新区围海造陆前后海底冲淤变化[J]. 华北地质, 2021, 44(4): 28-34.
- [8] 王诺, 颜华锟, 左书华, 等. 大连海上机场人工岛建设对区域水动力及海床冲淤影响分析[J]. 水运工程, 2012(4): 5-11.
- [9] 夏华永, 林迪洋, 钮智旺. 湛江湾填海工程对海床冲淤的影响预测[J]. 海洋通报, 2007(1): 61-66.
- [10] 张敏, 吴航星, 陆逸彬, 等. 海岸线围垦对广西钦州湾地形演变的影响分析 [J]. 热带海洋学报, 2023, 42(2): 124-131.
- [11] 范红霞, 王建中, 朱立俊. 围垦工程对象山港纳潮量与泥沙淤积的影响[C]//. 中国海洋学会海洋工程分会. 第十九届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下), 重庆: 2019: 46-52.
- [12] 李加林, 王艳红, 张忍顺, 等. 潮滩演变规律在围堤选线中的应用—以江苏辐射沙洲内缘区为例[J]. 海洋工程, 2006, 24(2): 100-106.
- [13] 韩震, 恽才兴, 叶梅, 等. 基于遥感和地理信息系统的浙江台州大港湾岸滩和海床稳定性分析[J]. 上海海事大学学报, 2007, 28(1): 7-10.
- [14] 李贵东, 周云轩, 田波, 等. 基于遥感和 GIS 的上海市滩涂湿地资源近期变化分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008(2): 319-323.
- [15] 水利部长江水利委员会, 长江泥沙公报(2015 年)[R]. 武汉: 长江出版社, 2015. (本文编辑 赵娟)