

莱州湾东部潮上带土地利用对海岸蚀退的影响*

李雪艳 王庆^① 王红艳 战超 王昕 仲少云 杜国云

(鲁东大学海岸研究所 烟台 264025)

摘要 基于二维浅水方程、波作用守恒方程和对流扩散方程,建立了波浪-潮流-泥沙耦合数值模型,分析了最近 20 年来莱州湾东部潮上带土地利用对海岸蚀退的影响。结果显示,潮上带土地利用改变了风暴潮时的水动力边界条件,显著增大了岸线附近的水流流速。随着潮上带养殖设施覆盖比例的提高,从平面分布看,岸线附近侵蚀显著加重,侵蚀条带平行岸线并向下游延伸、向海侧拓展;从剖面分布看,岸线两侧侵蚀深度显著增大、范围明显扩展,水下岸坡的闭合水深加大,闭合点外移;从动力条件变化看,岸线附近水流流速最大。分析表明,最近 20 年来大规模的潮上带土地利用是莱州湾东部海岸蚀退的重要影响因素。

关键词 土地利用变化; 海岸侵蚀; 海岸动力; 风暴潮; 莱州湾东部

中图分类号 P731 **doi:** 10.11693/hyhz20150800220

海岸是陆海直接作用的地带,能量、物质运输、转化极其活跃,自然环境系统极其敏感和脆弱,极易受风暴潮和海平面上升等影响,导致海岸侵蚀及海水入侵(Nicholls *et al.*, 2006; Splinter *et al.*, 2011)。最近几十年来,日益强烈的土地利用、水库修建等人类活动,导致河流入海输沙及径流显著减少,海岸蚀退在全球各地普遍发生,且程度有日益提高之趋势(Yang *et al.*, 2003, 2011a, b; Ericson, 2006; Dallas *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2011)。海岸侵蚀除导致土地资源、人类财产直接损失外,还引发严峻的环境生态问题,制约、威胁着海岸带可持续发展,成为影响海洋经济发展的重要不确定性因素。

目前,海岸侵蚀或淤积放缓及其环境效应研究多集中于大河三角洲、平原海岸(Fanos, 1995; Yang *et al.*, 2003; 王兆印等, 2005, 2006; Ericson *et al.*, 2006),但对广布的山地海岸关注和研究较少。从引发海岸蚀退及环境变迁的人为驱动力看,海水养殖产业的海岸环境效应近年来受到国内外学者重视和研究(Anh *et al.*, 2010; e Silva *et al.*, 2010; Berlanga-Robles *et al.*, 2011; Brojo *et al.*, 2011; Swapan *et al.*, 2011; 战超等,

2013)。但是,关于潮上带海水养殖对海岸动力地貌过程,尤其是地貌冲淤变化影响的研究还少见报道。莱州湾东部为典型的温带季风气候区砂岸,是我国工厂化海水养殖业最发达地区之一(仲少云等, 2015),同时也是我国海岸侵蚀发生暨研究较早(庄振业等, 1989),而且目前蚀退仍很严重的岸段。因此,本文以莱州湾东岸为例,研究潮上带海水养殖设施建设对海岸地貌冲淤和蚀退的影响。

1 区域背景

莱州湾系公元 1855 年以来形成的弱潮海湾,为现代黄河三角洲将古渤海湾南部分隔而形成。海湾东部濒临胶东半岛西北部山地,沿其山前堆积平原发育砂质海岸,总体呈 NE-SW 展布(图 1)。全新世中期该岸段为沙坝—泻湖海岸,坝外有岬岛、石虎嘴等基岩小岛,后经岛屿连陆、泻湖淤塞而成现代海岸(庄振业等, 1994)。此砂岸系由 NE-SW 泥沙流塑造而成(蔡爱智, 1980),而该泥沙流又系半岛西北部界河、王河等山地河流输沙、NE 和 NNE 向波浪与 NE-SW 向海岸相互作用的结果(王琦等, 1982)。

* 国家自然科学基金项目, 41271016 号, 41471005 号; 山东省高等学校科技计划项目, J14LH02 号; 烟台市科技发展计划项目, 2014ZH075 号。李雪艳, 博士, 讲师, E-mail: yanzi03@126.com

通讯作者: 王庆, 博士生导师, 教授, E-mail: schingwang@126.com

收稿日期: 2015-08-16, 收修改稿日期: 2015-08-30

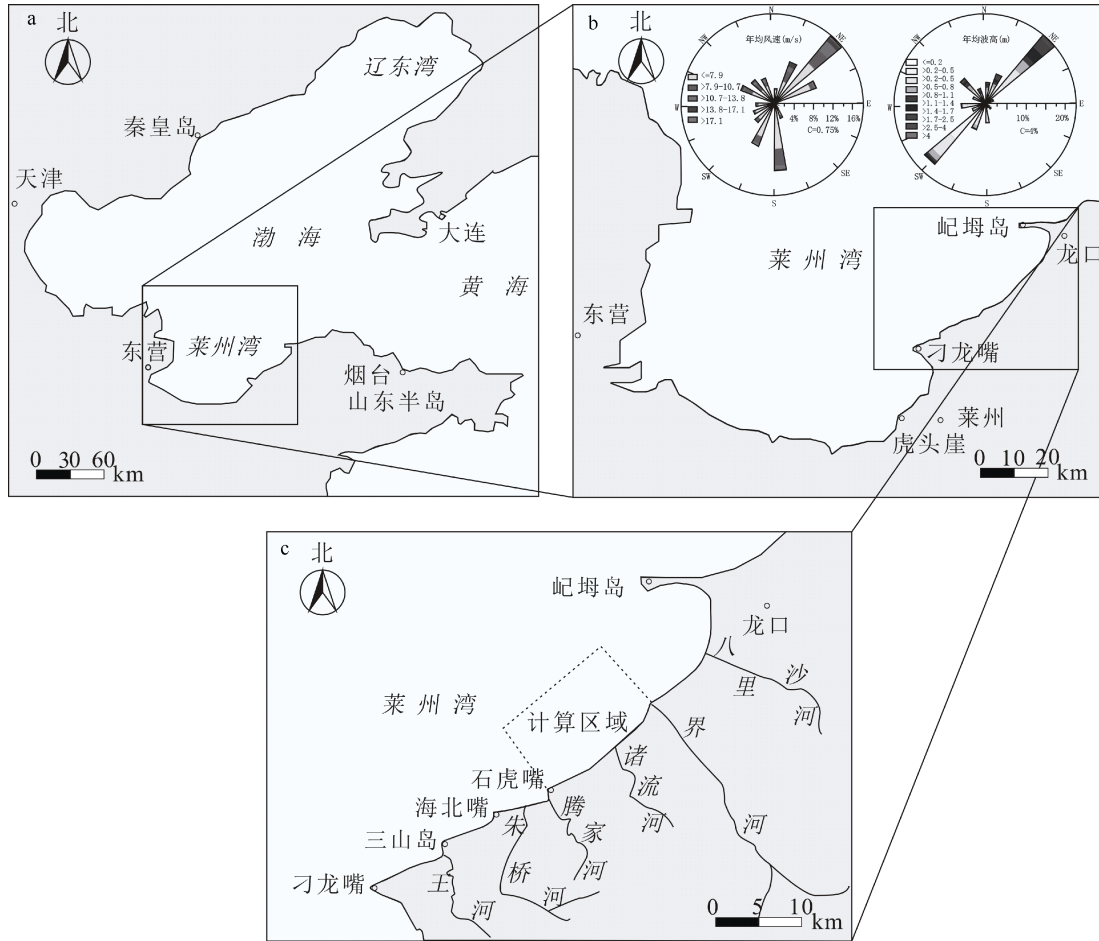


图1 莱州湾东岸及本文计算区域的地理位置

Fig.1 Geographical location of the eastern coast of Laizhou Bay and the area of study simulated

20世纪50年代末至60年代初,胶东半岛西北部山地修建了大量水库,界河、王河等河流中上游流域基本被水库控制(王庆等, 2003)。至20世纪80年代,开始出现该段海岸侵蚀后退的报道,是我国较早发现并研究的蚀退砂岸(庄振业等, 1989)。有研究认为,水库拦截导致河流入海输沙减少是该段海岸蚀退的主要原因(庄振业等, 1989; 常瑞芳等, 1993)。近期野外调查发现,从1990s年代初起该岸段蚀退范围扩大,强度有越来越大的趋势。

莱州湾东部属不规则半日潮,平均潮差 1.0m;强浪和常浪向 NE, 平均波高 1.06m, 频率 22%。该海域为风暴潮多发区,1952年12月到2013年5月有21次灾害性风暴潮,平均不到3年1次,羊角沟站记录的最高潮位达 6.74m。在风暴潮和其它波浪交替作用下,海岸线(大潮平均高潮线)与风暴潮时高潮线之间的潮上带宽阔,20世纪80年代前为宽 250—450m 的平坦风沙地,风暴潮时可被海水淹没(图 1)。80年代

初起利用潮上带修建养殖棚(池、塘)开展海水养殖,外侧建有防浪堤。

调查表明,从20世纪90年代初以来,莱州湾东部潮上带风沙地大部为养殖设施覆盖,形成了平行岸线、宽达数百米,基本连续展布的养殖设施带(仲少云等, 2015)。土地覆被的高强度变化,必然导致风暴潮消能空间及边界条件变化。但是,关于其海岸地貌效应及其对海岸侵蚀的影响尚缺乏专门研究,而其结果有助于解释最近二十年随着水库修建时间的日渐久远,该段海岸侵蚀不仅未因动力地貌趋于平衡而减弱,反而越来越严重的地貌事实。

2 研究方法

在野外海岸地貌、沉积和蚀退状况调查的基础上,以界河口至石虎嘴岸段为典型岸段,运用水动力数值模拟方法,针对养殖设施带所占潮上带宽度的比

例 0%(即未利用)、30%和 70%三种情境, 分别对潮上带土地利用/土地覆被变化后的海岸沉积动力进行模拟计算, 分析土地利用对海岸带波浪、潮流等的影响, 揭示潮上带土地利用/土地覆被变化对海岸动力地貌、冲淤状态和侵蚀后退的影响。

2.1 模型搭建

根据该岸段水深、动力、沉积和地貌特征, 基于二维浅水方程建立潮流场模型, 采用丹麦水力学研究所(DHI)开发的 MIKE21 软件进行计算。所用动量方程和连续方程分别如下:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \\ \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_{s,s} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} = -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \\ \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_{s,s} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hs \quad (3)$$

式中: t 为时间; h 为水深; x, y 为笛卡尔坐标系中位移; η 为自由水面高度; \bar{u}, \bar{v} 为流速在 x, y 方向分量; s 为源汇项排放量; p_a 为当地大气压; f 为科氏力系数 ($f = 2\Omega \sin \varphi$, Ω 为地球自转角速度, φ 为地理纬度); ρ 为水密度; ρ_0 为标准水密度; u_s, v_s 为源汇项流速在 x, y 方向分量; $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$ 为辐射应力分量; $T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$ 为水平黏滞力项; τ_{bx}, τ_{by} 为底摩擦力在 x, y 方向分量; τ_{sx}, τ_{sy} 为表面摩擦力在 x, y 方向分量; g 为重力加速度。

基于波作用守恒方程建立波浪场模型, 如方程(4)所示:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla_x \cdot (c_g A) + \nabla_\theta \cdot (c_\theta A) + \nabla_\sigma \cdot (c_\sigma A) = S \quad (4)$$

式中: $\frac{\partial A}{\partial t}$ 为波能; $\nabla_x \cdot (c_g A)$ 为波能随地理空间的变化; $\nabla_\theta \cdot (c_\theta A)$ 为波能随方向的变化; $\nabla_\sigma \cdot (c_\sigma A)$ 为波能随频率的变化; S 为源函数。

基于对流扩散方程建立泥沙输运数值模型, 如方程(5)所示:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \\ \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{h} \end{aligned} \quad (5)$$

式中: u, v 分别为速度在 x, y 方向分量; \bar{C} 为泥沙浓度; D_x, D_y 为扩散系数在 x, y 方向分量; S 为对应泥沙沉降和悬起的源汇项; n 表示源汇总数; i 为源汇数, 其余量的含义与上述相同。

根据莱州湾及渤海的潮汐及潮流场基本特征, 模型计算海域的范围确定为点 I (120°1.848'E, 37°31.452'N)、点 II (120°10.068'E, 37°37.050'N)、点 III (120°14.622'E, 37°32.916'N)、点 IV (120°6.006'E, 37°27.258'N) 连线所构成的矩形区域(图 2), 计算海域的初始流速和潮位均取值为 0, 东边界、西边界和北边界三个开边界(图 2)的水位 ζ 通过潮位预报方法获得, 计算方程如公式(6)所示:

$$\zeta = A_0 + \sum_{i=1}^4 H_i F_i \cos[\sigma_{it} - (v_0 + u)_i + g_i] \quad (6)$$

式中: A_0 为平均海面; F_i 和 $(v_0 + u)_i$ 为天文要素; H_i 和 g_i 为调和常数。其中, 调和常数选用 4 个分潮, 包括 O1 和 K1 两个日分潮、M2 和 S2 两个半日分潮。

计算海域的东边界设为外海来浪方向(图 2)。根据 2003 年 10 月 10—12 日莱州湾“10.11”特大温带风暴潮资料, 有效波高为 4.5 m, 波向为 NE。水边线位置随潮位涨落而迁移, 其最南位置为特大潮高潮线即潮上带南界。因此, 模型考虑了动边界内网格节点的干湿变化, 养殖设施带前缘假定为直墙边界。根据 1985 年测量结果编绘的 1:10000 地形图, 计算岸段潮上带南边界大致与岸线平行, 其宽度统一确定为 450 m。

计算海域的水深按 1985 年测量的 1:250000 海图数据确定, 西、北和东边界的开边界处水位根据点 I、II、III、IV 的潮汐预报水位经线性插值得到(图 2a)。采用三角形网格法对计算海域进行单元划分, 其中, 外海区域的网格空间步长约为 700 m, 近岸区域的步长约为 25 m(图 2b)。

根据潮上带养殖始于潮上带向陆侧, 然后自陆向海展宽、平行海岸延伸的实际情况(仲少云等, 2015), 通过调整潮上带南界至养殖设施带北侧前缘距离, 即养殖设施覆盖占潮上带宽度的比例即潮上带土地利用程度, 设定了三种不同的情境分别模拟计算: 潮上带未利用(即土地利用 0%)、150 m 宽养殖设施带(即土地利用 30%)和 300 m 宽养殖设施带(即土地利用 70%)。

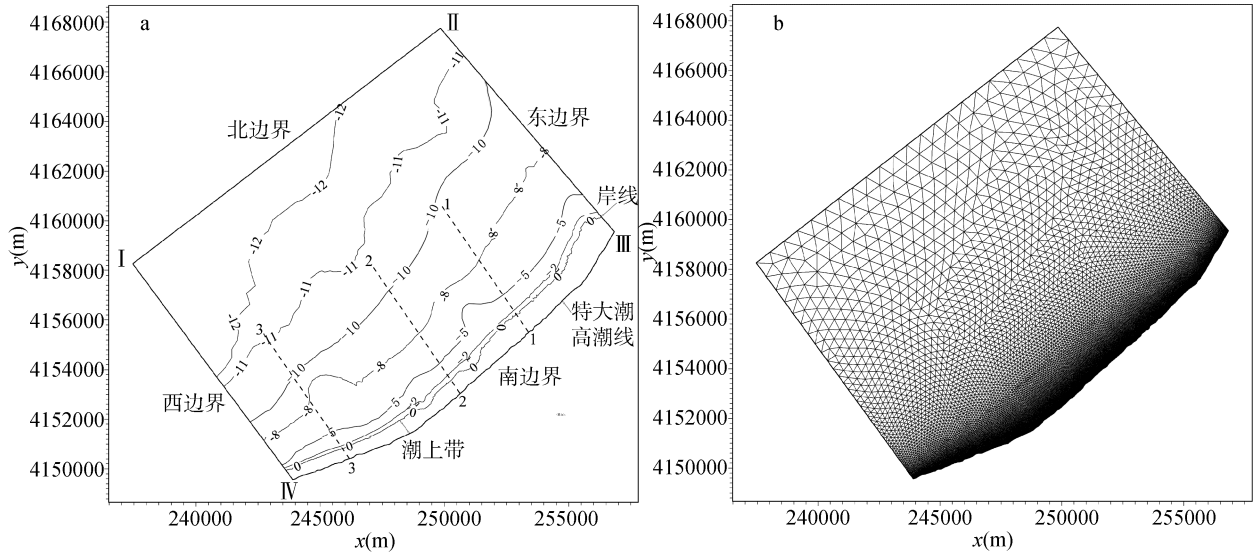


图2 计算区域水深分布和网格划分

Fig.2 The water depths and grids of the study region

采用 UTM 坐标系。图中，剖面 1—3 代表研究结果中用于提取波高、流速数据的剖面位置，三个剖面与南边界相交点的具体坐标值分别为 1(120°7.80'E, 37°28.20'N), 2(120°10.80'E, 37°29.40'N)和 3(120°12.60'E, 37°31.20'N)。0m 等深线为岸线，南边界为特大潮高潮线，岸线与特大潮高潮线之间区域为潮上带

2.2 模型验证

由于计算海域内没有水文测站，采用距离最近的龙口站 1984 年 9 月 24 日 4 时至 25 日 4 时的潮位资料进行验证。结果显示，该海域属于不规则半日潮，一日潮位变化包括两个涨潮和落潮过程，存在显著的高低潮不等现象(图 3)。根据验证结果，数值模拟计算潮位与实测潮位吻合较好，模拟结果符合动力地貌演变研究的精度要求。据此确定潮流场模型的涡扩散系数(Cs)为 0.28，曼宁糙率系数(n)为 32，干湿动边界相关的干水深为 0.005 m，淹没水深为 0.05 m，湿水深为 0.1 m；科氏力设置为随纬度不同而不同。

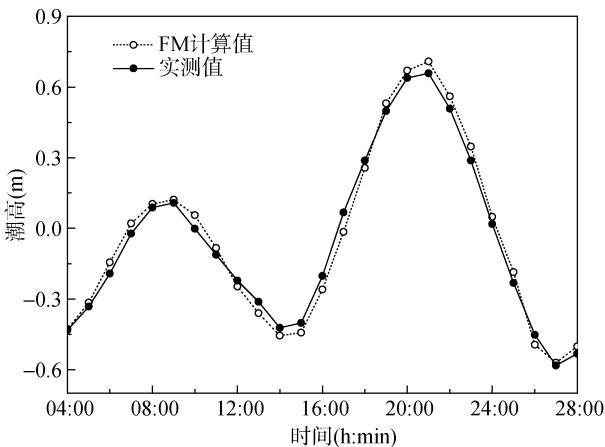


图3 计算海域潮位验证

Fig.3 Verification on tidal level of the study region

3 研究结果

3.1 对波高的影响

潮上带养殖设施覆盖对近岸波高影响显著。对于选取的剖面 1-1、2-2 和 3-3，在风暴潮作用 12h 和 24h 后，养殖设施占潮上带比例 30%和 70%时近岸波高较 0%(即没有修建养殖池)时均显著增大，且越靠近岸线位置，增大幅度越大。波高随着潮上带土地利用程度的增强呈现非单调变化的趋势，养殖设施覆盖比例 30%时最大。在不同的土地利用/土地覆被情境下，三个剖面波高的沿程波动性差异显著，但总体上自海向陆波动均减小。在岸线两侧存在自海向陆先增大、岸线附近最大、再减小的趋势。波浪自外海向近岸传播过程中，受底部摩擦等导致的能量损耗引起波高沿程衰减，在接近岸线时因发生破碎而迅速减小，在岸线附近完全破碎(图 4)。

由于模型所设置的直墙边界位置不同，其所产生的反射波与入射波相互叠加后的结果也有所不同，从而导致不同土地利用程度下波高大小的不同。考虑到海底地形的粗糙程度不同，不同剖面的底摩阻均不同，波浪在不同剖面传播过程中损耗的能量也有差别，因此不同剖面波高的沿程衰减变化也不同。再者，由于土地利用改变了海岸动力边界条件，致使同一剖面不同土地利用程度下的波浪沿程变化特征也不尽相同。此外，风暴潮作用时间不同，也会影响近岸波高大小和分布。

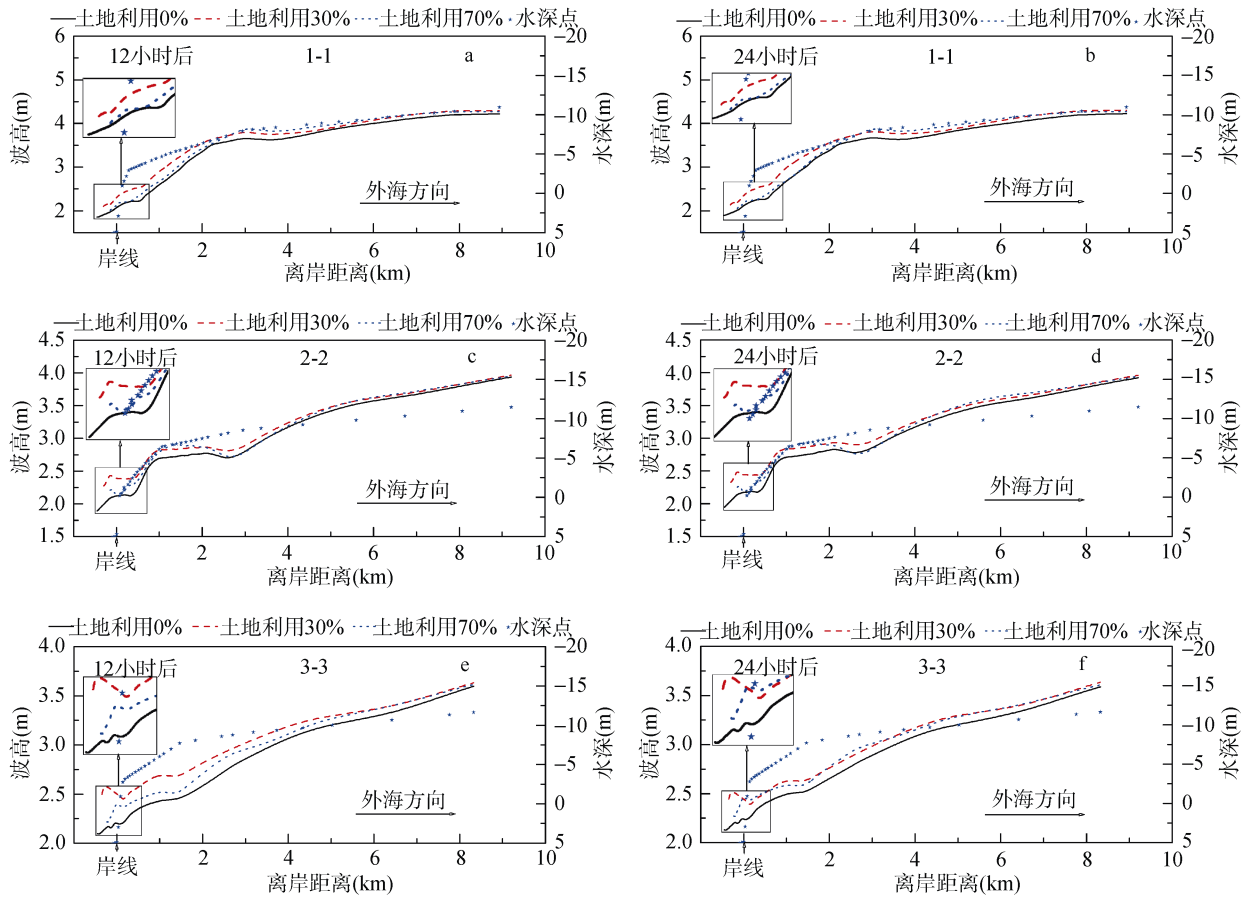


图 4 不同土地利用情境下波高剖面分布图

Fig.4 Distribution of wave height in different land use scenarios

3.2 对水流的影响

受 NE 向波浪入射方位的影响，在东边界附近海域的水流流速比其他位置处的流速大。涨急时刻，水流主流向在近岸海域为 NE 向，在靠近北边界海域转为 NW 向，在靠近西边界海域则转为 NNE—E 向。落急时刻，西边界附近海域水流流向为 SW 向，东边界附近由 NE 向转为 EES 向，共同流出北边界。潮上带养殖设施修建后，莱州湾东部海域的流场特征发生了显著改变。随着养殖设施覆盖比例的增大，无论落急时刻还是涨急时刻，东边界附近流速矢量分布更加密集，流速显著增大。靠近养殖设施带附近海域流速呈递增趋势，流向自 NE 向 SW 方向。此外，涨急时刻西边界海域水流主流向，由初始未建养殖设施时的 NE 向逐渐转为 E 向(图 5)。

潮上带养殖设施覆盖比例的提高显著增大了近岸海域流速。不同土地利用/土地覆被情境下，剖面 1-1、2-2 和 3-3 的流速总体上自海向陆呈现先减小—后增大—再减小的变化趋势。在岸线两侧，自海向陆先剧增、再剧减的趋势更加显著，岸线附近流速最大

(图 6)。

对于剖面 1-1，养殖设施覆盖比例为 30%时，除距岸约 0.8—1.7 km 范围外，计算海域流速较未建养殖设施(即土地利用 0%)时显著增大，岸线附近流速由 0.29 m/s 增至 0.37 m/s; 覆盖比例 70%时，除距岸约 5.0 km 之外范围外，计算海域流速较覆盖比例 30%时显著增大，岸线附近流速达 0.41 m/s(图 6a 和图 6b)。

对于剖面 2-2，养殖设施覆盖比例为 30%时，潮上带和距岸约 3.0 km 范围内流速较未建养殖设施(即土地利用 0%)时显著增大，最大流速由 0.26 m/s 增至 0.34 m/s; 覆盖比例 70%时，整个计算范围内流速较覆盖比例 30%时显著增大，岸线附近流速达到 0.41 m/s(图 6c 和图 6d)。

对于剖面 3-3，养殖设施覆盖比例为 30%时，潮上带和距岸约 0.60 km 范围内流速较未建养殖设施(即土地利用 0%)时显著增大，而且越靠近岸线增幅越大，岸线附近流速由 0.12 m/s 增至 0.30 m/s; 覆盖比例 70%时，岸线附近流速较覆盖比例 30%时显著增大，达 0.36 m/s(图 6e 和图 6f)。

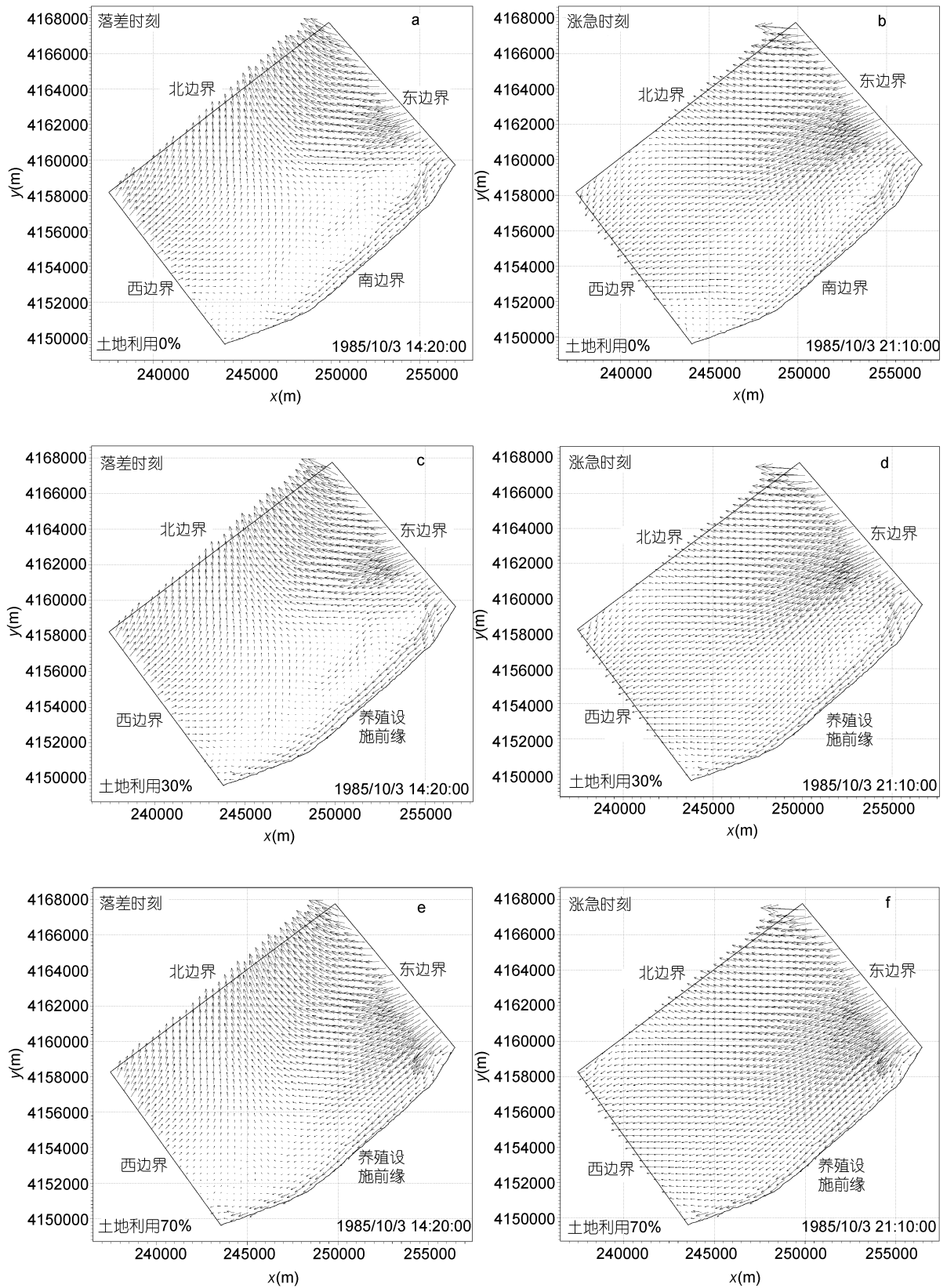


图 5 不同土地利用情境下流场及流速流向特征

Fig.5 Velocity and direction of ocean currents in different land use scenarios
采用 UTM 坐标系。

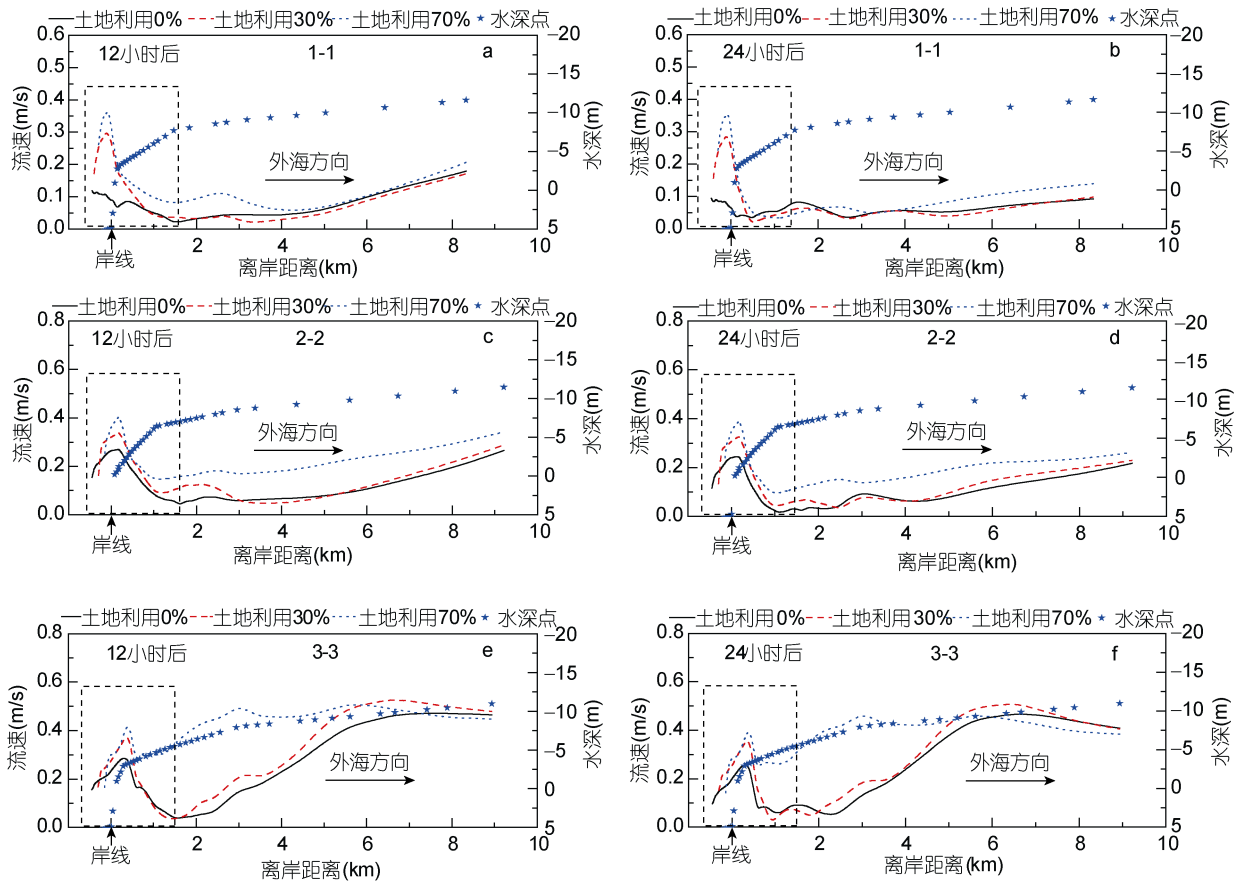


图 6 不同土地利用情境下各剖面的流速分布图

Fig.6 Distribution of current velocity in different land use scenarios

3.3 海岸地貌冲淤及其分布

潮上带土地利用对海岸地貌冲淤及其分布影响显著。总体上来看，随着潮上带养殖设施覆盖比例的提高，海岸地貌冲淤强度和分布范围均显著增大。侵蚀区域不断向外海扩展，向下游延伸，最远至 10 m 等深线附近。其中，岸线附近侵蚀最为显著，形成 NE-SW 向侵蚀条带，岸线显著后退(图 7)。

风暴潮作用 12h 后，潮上带未建养殖设施(即土地利用 0%)时，东北岸段较西南岸段侵蚀显著，在 5.0 m 水深以外有 NE-SW 向侵蚀条带，侵蚀深度 0.04—0.08 m，主要在 8.0 m 等深线附近及以浅，岸线附近局部侵蚀显著；而西南岸段侵蚀深度多在 0.04 m 以下，岸线附近及潮上带侵蚀深度 0.04—0.08 m(图 7a)。养殖设施覆盖比例 30%时，东北岸段地貌冲淤发生调整，8.0 m 等深线附近侵蚀带向外海扩展，局部达 10.0 m 等深线，5.0 m 水深以外 NE-SW 向侵蚀条带向外海扩展，侵蚀深度 0.06—1.0 m；而西南岸段侵蚀深度在 0.04 m 左右，岸线附近及潮上带侵蚀深度达 0.06—1.0 m(图 7c)。养殖设施覆盖比例 70%时，东北

岸段侵蚀范围显著增大，8.0 m 等深线附近侵蚀条带局部到达 10.0 m 等深线以外，5.0 m 水深以外 NE-SW 向侵蚀条带也向外海延展，侵蚀深度 0.08—1.50 m；而西南岸段侵蚀深度多在 0.04—0.08 m，岸线附近及潮上带侵蚀深度达 0.08—1.50 m(图 7e)。

风暴潮作用 24h 后，潮上带未建养殖设施(即土地利用 0%)时，5.0 m 水深以外 NE-SW 向侵蚀条带有三分之一展宽至 10.0 m 等深线，侵蚀深度 0.04—0.08 m；在东北岸段 5.0 m 水深到岸线附近，新形成了 NE-SW 向平行岸线的侵蚀条带，侵蚀深度达 1.5—2.5m(图 7b)。养殖设施覆盖比例 30%时，海岸地貌冲淤调整显著，5.0 m 水深以外 NE-SW 向侵蚀条带有三分之二展宽至 10.0 m 等深线外，侵蚀深度达 1.0—1.5 m；东北岸段岸线附近侵蚀条带进一步向外海和陆侧展宽，侵蚀深度达 2.0—3.0 m(图 7d)。养殖设施覆盖比例 70%时，5.0 m 水深以外 NE-SW 向侵蚀条带整体延至 10.0 m 等深线附近，侵蚀深度达 1.5—2.0m；岸线附近侵蚀条带继续向西南延伸、向外海和陆侧展宽，侵蚀深度达到 2.5—3.0 m，局部 3.0 m 以上(图 7f)。

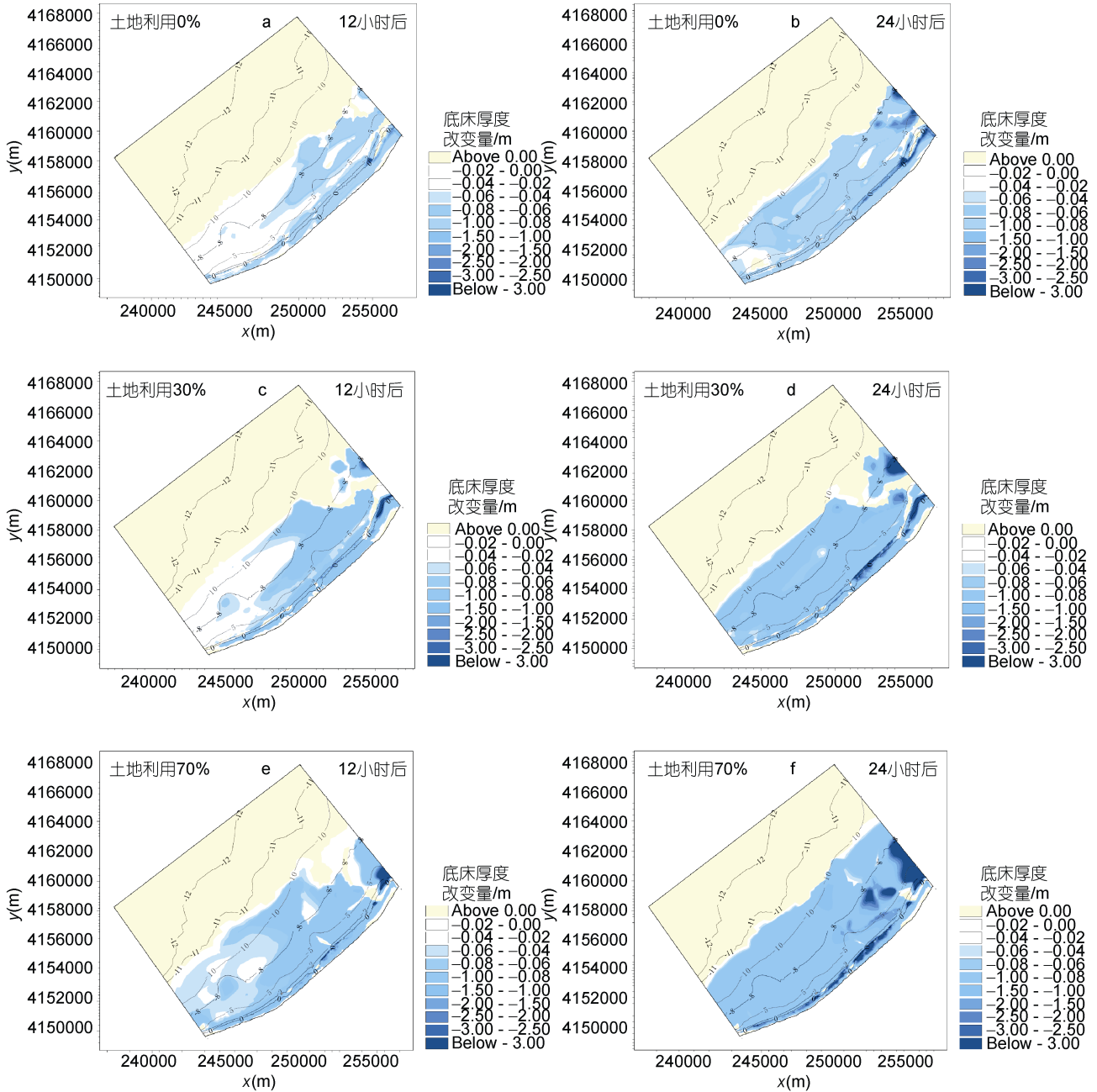


图 7 不同土地利用情境下的海岸冲淤变化分布图

Fig.7 Coastal erosion/accretion in different land use scenarios

采用 UTM 坐标系。

3.4 海岸横剖面变化

潮上带土地利用对海岸横剖面冲淤变化影响显著。随着潮上带养殖设施覆盖比例的提高,各个剖面的侵蚀深度均随之增强,侵蚀范围也随之增大,闭合深度则随之变深至约 10.0 m,闭合位置外推至距岸约 5.0—6.0 km(图 8)。

风暴潮作用 12h 后,对于剖面 1-1,潮上带未建养殖设施(即土地利用 0%)时,岸线附近侵蚀明显,养殖设施带前缘侵蚀微小;养殖设施覆盖比例 30%和

70%时侵蚀强度显著增大,集中在距岸约 4.0 km 范围内(图 8a),养殖设施带前缘侵蚀略有增强。对于剖面 2-2,未建养殖设施(即土地利用 0%)时,岸线附近呈微侵蚀;覆盖比例 30%时,岸线附近仍呈微侵蚀,但比未建养殖设施时略有增强;覆盖比例为 70%时,岸线附近侵蚀较显著,集中在距岸约 0.60 km 范围内;不同覆盖比例时养殖设施带前缘侵蚀均很微弱(图 8c)。对于剖面 3-3,未建养殖设施(即土地利用 0%)时,基本处于冲淤平衡状态;覆盖比例 30%时,岸线

附近和养殖设施带前缘出现微弱侵蚀, 其余仍处于冲淤平衡状态; 覆盖比例 70%时, 岸线附近和养殖设施带前缘侵蚀较显著(图 8e)。

风暴潮作用 24h 后, 对于剖面 1-1, 潮上带未建养殖设施时, 岸线附近和距岸约 1.0 km 内水下岸坡侵蚀显著, 养殖设施带前缘侵蚀非常微弱。覆盖比例 30%时, 岸线附近和养殖设施带前缘侵蚀均明显增强, 距岸约 4.0 km 范围内水下岸坡侵蚀增强。覆盖比例 70%时, 岸线附近、养殖设施带前缘和距岸约 4.0 km 范围内水下岸坡侵蚀均显著(图 8b)。对于剖面 2-2, 未建养殖设施时, 岸线附近和养殖设施

带前缘侵蚀显著, 范围集中在距岸约 0.60 km 内。覆盖比例 30%时, 岸线附近和养殖设施带前缘侵蚀略有增强, 范围集中在距岸约 0.60 km 内。覆盖比例 70%时, 岸线附近和养殖设施带前缘侵蚀显著, 距岸约 6.0 km 范围内水下岸坡出现轻微侵蚀(图 8d)。对于剖面 3-3, 未建养殖设施时, 处于冲淤平衡状态, 岸线附近和养殖设施带前缘微弱侵蚀。覆盖比例 30%时, 岸线附近和养殖设施带前缘侵蚀略有增强。覆盖比例 70%时, 岸线附近和养殖设施带前缘侵蚀显著, 距岸约 4.0 km 范围内水下岸坡出现轻微侵蚀(图 8f)。

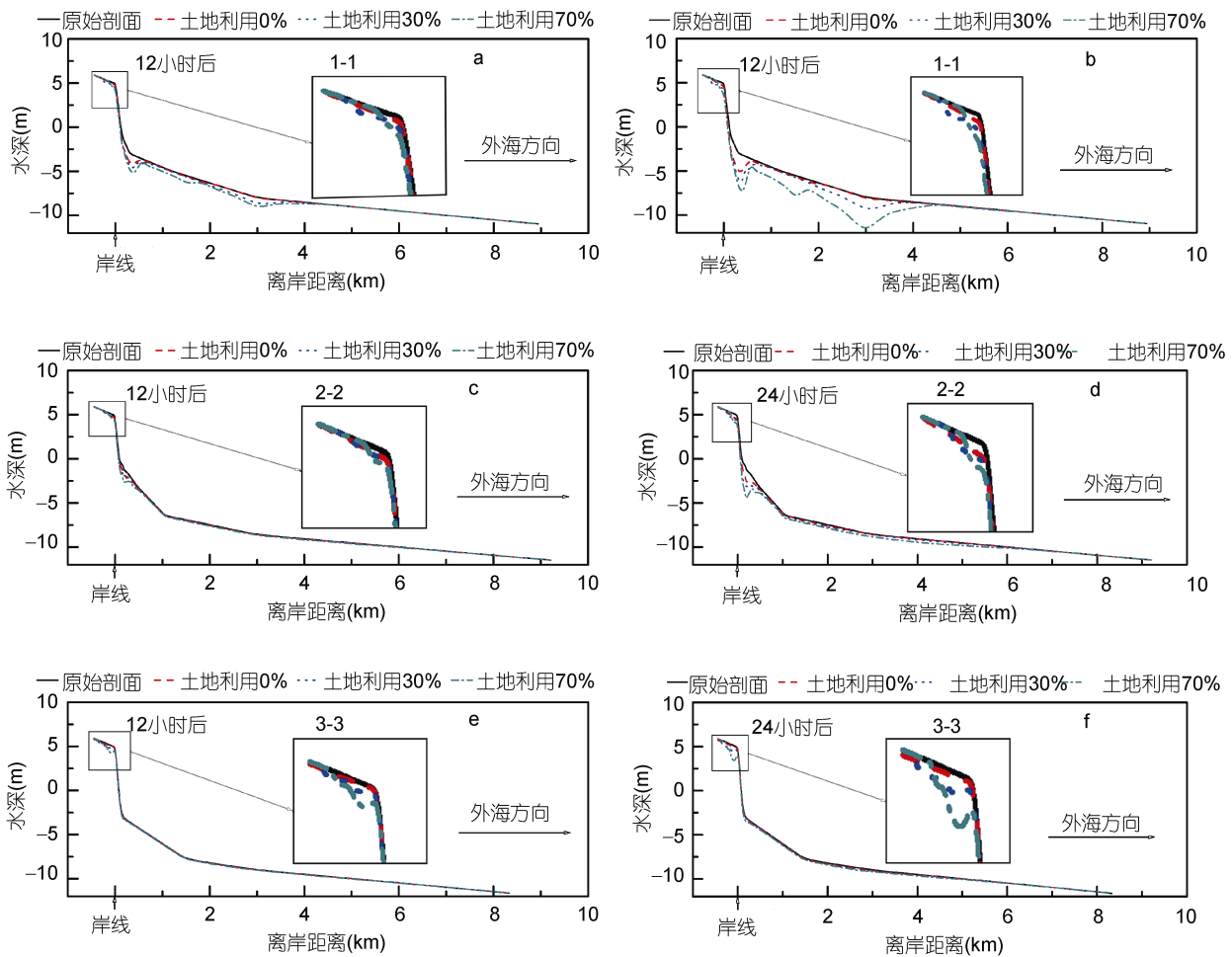


图 8 不同土地利用情境下各剖面形态变化图

Fig.8 Changes in shape of cross-sections in different land use scenarios

4 讨论

从 20 世纪 90 年代以来, 莱州湾东岸潮上带风沙地大部分已为工厂化海水养殖棚(池、塘)及相关设施所覆盖, 在海岸线与防护林之间形成了一条平行于

岸线, 并基本连续展布的养殖设施带(仲少云等, 2015)。野外调查结果显示, 随着养殖设施带的修建, 最近 20 多年来莱州湾东岸蚀退范围扩展、程度加重, 与本文水动力数模计算结果相吻合, 由此可见, 本文所建立的数值模型是切实可行的。

如上述,三个剖面的流速总体上自海向陆先减小—后增大—再减小,岸线附近的流速最大。潮上带未建养殖设施时,三个剖面的最大流速均不超过 0.29m/s(图 6)。据有关研究,该流速仅能起动部分细砂(窦国仁,1960,1999;武汉水利电力学院河流动力学及河道整治教研组等,1961;唐存本,1964)。因此,除岸线附近的侵蚀相对显著外,仅在剖面 1-1 和 2-2 距岸 1km 范围内有微弱侵蚀,剖面 3-3 则基本处于冲淤平衡状态(图 8)。此外,计算区域东北岸段的岸线附近,形成了 NE-SW 向平行岸线的侵蚀条带,侵蚀强度较其它区域显著(图 7)。由此可见,流速最大的岸线附近也是地貌侵蚀发生最显著的区域。

随着养殖设施持续扩建,覆盖比例达 70%时,剖面 1-1 和 2-2 岸线附近和距岸 5km 范围内水下岸坡流速显著增大,最大值 0.41m/s,剖面 1-1 增大更显著。剖面 3-3 岸线附近流速较其它海域增大显著,最大值 0.36m/s(图 6)。除砾石和部分粗砂外,上述流速几乎能起动所有粒级的泥沙(窦国仁,1960,1999;张瑞瑾等,1961;唐存本,1964)。因此,剖面 1-1 和 2-2 岸线附近和距岸 5km 范围内水下岸坡侵蚀均显著,剖面 1-1 更为显著,剖面 3-3 岸线附近侵蚀显著(图 8)。此外,在计算区域东北岸段,岸线附近平行海岸的侵蚀条带向下游延伸至西边界附近,10m 等深线附近及其以浅侵蚀深度也显著增大(图 7)。由此可见,侵蚀显著部位与流速增大部位对应,且流速增大越显著处侵蚀也越显著。

计算海域属于宽浅型区域,水平尺度远大于垂直尺度。因此,可将实际三维浪流运动简化为二维模型,但在预测地貌冲淤演变时略显不足,无法同时直观地呈现剖面地貌形态和平面岸线的进退。此外,本研究仅考虑了一种风暴工况,在今后研究中可考虑多种工况来全面深入地探讨潮上带土地利用的地貌冲淤效应。

5 结论

自从 20 世纪 80 年代中期开始,在潮上带大规模地修建海水养殖设施,到 90 年代初期在岸线与防护林之间形成了基本连续的养殖设施带,深刻地改变了海岸水动力边界条件,致使风暴潮时岸线附近波高和流速变化显著。其中,波高沿横剖面自海向陆波动减小,岸线两侧先增大、岸线附近达到最大后再减小;流速自海向陆先减小后增大再减小,岸线两侧先剧增、再剧减。潮上带养殖设施修建显著改变了原有

的地貌演变趋势,侵蚀强度和范围均显著增大。随着养殖设施覆盖比例的提高,在平面分布上,沿岸侵蚀条带向下游延伸,向外海展宽;在剖面分布上,岸线附近的侵蚀深度和范围均明显增大,水下岸坡闭合水深加大,闭合位置向外海推移。因此,20 世纪 80 年代中期以来的潮上带土地利用对海岸边界改变,导致风暴潮能量强度及分布发生深刻变化,是本地区最近二十年来海岸蚀退的重要原因。

参 考 文 献

- 王 庆,杨 华,仲少云等,2003. 山东莱州浅滩的沉积动态与地貌演变. 地理学报,58(5): 749—756
- 王 琦,周 莉,吕亚男,1982. 莱州湾东缘沿岸沉积物的特征及运移趋势. 海洋通报, (1): 32—42
- 王兆印,程东升,刘 成,2005. 人类活动对典型三角洲演变的影响— 长江和珠江三角洲. 泥沙研究, (6): 76—81
- 王兆印,程东升,刘 成,2006. 人类活动对典型三角洲演变的影响— 黄河和海河三角洲. 泥沙研究, (1): 76—81
- 仲少云,王 庆,战 超等,2015. 最近 50 年来莱州湾东部典型砂岸潮上带土地利用变化研究. 海洋与湖沼, 46(2): 410—419
- 庄振业,陈卫民,许卫东等,1989. 山东半岛若干平直砂岸近期强烈蚀退及其后果. 青岛海洋大学学报, 19(1): 90—98
- 庄振业,鞠连军,冯秀丽等,1994. 山东莱州三山岛—刁龙嘴地区沙坝泻湖沉积和演化. 海洋地质与第四纪地质, 14(4): 43—52
- 武汉水利电力学院河流动力学及河道整治教研组,1961. 河流动力学. 北京: 中国工业出版社, 27—41
- 战 超,王 庆,夏艳玲等,2013. 胶东半岛南部典型海湾地貌过程对滩涂养殖的响应. 海洋与湖沼, 44(2): 283—291
- 唐存本,1964. 泥沙起动规律. 水利学报, (2): 73—77
- 常瑞芳,庄振业,吴建政,1993. 山东半岛西北海岸的蚀退与防护. 青岛海洋大学学报, 23(3): 60—68
- 窦国仁,1960. 论泥沙起动流速. 水利学报, (4): 44—60
- 窦国仁,1999. 再论泥沙起动流速. 泥沙研究, (6): 1—9
- 蔡爱智,1980. 刁龙咀海岸的发育. 海洋与湖沼, 11(3): 204—210
- Anh P T, Kroeze C, Bush S R *et al*, 2010. Water pollution by intensive brackish shrimp farming in southeast Vietnam: Causes and options for control. *Agricultural Water Management*, 97(6): 872—882
- Berlanga-Robles C A, Ruiz-Luna A, Bocco G *et al*, 2011. Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 54(7): 535—543
- Dallas K L, Barnard P L, 2011. Anthropogenic influences on shoreline and nearshore evolution in the San Francisco Bay coastal system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(1): 195—204
- e Silva C A R, Dávalos P B, da Silveira Lobo Sternberg L *et al*, 2010. The influence of shrimp farms organic waste

- management on chemical water quality. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 90(1): 55—60
- Ericson J P, Vörösmarty C J, Lawrence Dingman S *et al*, 2006. Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*, 50(1—2): 63—82
- Fanos A M, 1995. The impact of human activities on the erosion and accretion of the Nile Delta coast. *Journal of Coastal Research*, 11(3): 821—833
- Gao S, Wang Y P, Gao J H, 2011. Sediment retention at the Changjiang sub-aqueous delta over a 57 year period in response to catchment changes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95(1): 29—38
- Nicholls R J, Tol R S J, 2006. Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 364(1841): 1073—1095
- Paul B G, Vogl C R, 2011. Impacts of shrimp farming in Bangladesh: Challenges and alternatives. *Ocean & Coastal Management*, 54(3): 201—211
- Splinter K, Palmsten M L, Holman R A *et al*, 2011. Comparison of measured and modeled run-up and resulting dune erosion during a lab experiment. In: Wang P, Rosati J D, Roberts T M eds. *Coastal Sediments 2011: bring together theory and practice*. Miami, Florida, USA: Word Scientific Publishing, 782—795
- Swapan M S H, Gavin M, 2011. A desert in the delta: Participatory assessment of changing livelihoods induced by commercial shrimp farming in Southwest Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 54(1): 45—54
- Yang S L, Belkin I M, Zhao Q Y *et al*, 2003. Delta response to decline in sediment supply from the Yangtze River: evidence of the recent four decades and expectations for the next half-century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(4): 689—699
- Yang S L, Milliman J D, Li P *et al*, 2011a. 50, 000 days later: Erosion of the Yangtze River and its delta. *Global and Planetary Change*, 75(1—2): 14—20
- Yang Z S, Ji Y J, Bi N S *et al*, 2011b. Sediment transport off the Huanghe (Yellow River) delta and in the adjacent Bohai Sea in winter and seasonal comparison. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(3): 173—181

IMPACT OF SUPRATIDAL LAND USE ON COASTAL EROSION ALONG THE EASTERN COAST OF LAIZHOU BAY IN RECENT 20 YEARS: A NUMERICAL SIMULATION

LI Xue-Yan, WANG Qing, WANG Hong-Yan, ZHAN Chao,
WANG Xin, ZHONG Shao-Yun, DU Guo-Yun
(Coast Institute, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract Using equations of two-dimensional shallow-water movement, wave action conservation, and convective-diffusion, we numerically modeled the coupling wave and tidal current to analyze the impact of land use in the supratidal zone on coastal erosion in recent 20 years along the eastern Laizhou Bay, North China. Results show that land use has significantly altered the supratidal zone and the boundary conditions of storm surges. The ocean current velocity near coastline increased obviously. With the increase of supratidal land use, erosion near coastline worsened seaward in scale, area, and depth in the coastal zones of the bay. The depth of closure increased and the area expanded. The current velocity reached its maximum near coastline. Therefore, large-scale land use in the supratidal zone is accountable for the coastal erosion in the eastern Laizhou Bay in the recent 20 years.

Key words land use; coastal erosion; coastal dynamics; storm surge; eastern Laizhou Bay