

# 江苏沿海辐射沙脊群泥沙过程及输运模拟

黄惠明<sup>1,2</sup>, 刘桂平<sup>3</sup>, 王义刚<sup>1,2</sup>, 饶文波<sup>4</sup>

(1. 河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 长江水利委员会长江口水文水资源勘测局, 上海 200136; 4. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 针对江苏沿海辐射沙脊群泥沙过程及沿海围垦布局关键技术问题, 提出在综合大范围水文泥沙监测的基础上, 开展江苏沿海独特地形地貌条件下的高分辨率泥沙输运数值模拟和同位素地球化学示踪研究, 为准确提供辐射沙脊群泥沙输运的方向及输沙量、明确辐射沙脊群泥沙来源、预测泥沙输运对辐射沙脊群滩槽稳定性及港口航道正常运行影响提供必要支撑, 并阐述开展研究的技术路线, 明确研究的预期成果。

**关键词** 辐射沙洲 泥沙输运模拟 泥沙来源 同位素示踪

**中图分类号** :TV148.7 **文献标识码** :A **文章编号** :1003-9511(2012)03-0010-05

## 1 国内外研究现状

近岸复杂的潮滩-破波带-近岸波带-潮汐潮流运动及其耦合形式驱动着时空多变的尺度岸滩演变的过程。近岸水沙输运对岸滩演变的作用机制与海岸型态、沉积物组成密切相关, 海岸带环境演变过程又决定了近岸水沙动力过程的确性和随机性。随着沿海近岸潮滩水沙输运对岸滩演变影响机制研究的发展, 南黄海辐射状沙洲系统逐渐成为探索粉沙淤泥质海岸水沙输运对岸滩演变影响机制的典型。

南黄海典型粉沙淤泥质潮滩-沙洲海岸水沙环境研究始于 20 世纪 80 年代, 大量的泥沙物质、类似海湾的特有环境、潮流辐合和辐散的水动力共同形成了南黄海辐射沙脊群系统<sup>[1]</sup>。北部区域黄海泥沙与南部区域古长江水下三角洲泥沙是辐射沙洲海域的两大主要泥沙来源<sup>[2]</sup>, 受南黄海旋转潮波和东海前进潮波作用, 潮能率和潮流速决定了辐射沙洲南北沙脊、深槽的空间分布与型态<sup>[3]</sup>, 浅水波分选作用通过深槽重塑了宽广的沙脊群<sup>[4]</sup>, 并且, 潮汐水道强劲的往复流和次生环流影响和维系了沙洲动态平衡的内在机制<sup>[5]</sup>。随着近百年来废黄河口泥沙来源的断绝和海岸线变迁, 大范围海域水动力主轴的南移

导致了辐射沙洲的整体南移<sup>[6]</sup>, 且深槽处于冲刷状态, 近岸潮滩和长江口水下三角洲成为泥沙净输运的主要方向<sup>[7-9]</sup>, 由此, 在潮间带初始型态、潮差的综合作用下, 影响着潮间带的平衡剖面<sup>[10]</sup>。随着沿海开发利用研究的发展, 水沙输运与潮滩湿地耦合作用逐渐受到越来越广泛的关注。Shen 等<sup>[11]</sup>认为细颗粒沉积物的供给决定了互花米草盐沼地的扩展, 且细颗粒泥沙在盐沼地比在临近无植被覆盖淤泥质潮滩更难以再悬浮输运。Gao<sup>[12]</sup>利用潮间带沉积发展潜力模型研究了江苏近岸潮滩系统, 指出潮间带沉积发展潜力随着海岸线的前移而逐渐减弱, 同时, 其空间分布受到床面坡度、潮流方向、泥沙再悬浮强度的共同影响。

海岸滩涂演变分析由于传统方法的复杂和精度问题, 一直比较棘手。随着地质地貌遥感监测技术的发展, 综合地理信息及地球物理学科领域, 阐明近岸海域水沙输运及潮滩演化趋势逐渐成为热点。邢飞等<sup>[13]</sup>利用 2006—2007 年间的 4 个季节在江苏近岸海域 69 个站位的水样采集资料, 并结合对 TM 遥感数据的反演, 就江苏沿海大范围悬沙浓度的季节与空间分布趋势进行了深入研究。陈君等<sup>[14]</sup>结合卫片、现场观测资料等, 详细分析了东沙的地形地貌特征、沉积特征及两侧潮汐通道的水沙特征。Liu

基金项目 国家科技支撑计划课题(2012BAB03B01)

作者简介 黄惠明(1980—), 男, 福建福清人, 讲师, 博士, 主要从事海岸、河口动力环境及其模拟研究。

等<sup>[15]</sup>基于水深及地震数据研究提出,辐射沙洲海域泥沙净运输方向为西南方向,且随着沙脊向西南方向推进,新沙脊逐渐代替旧沙脊,沙洲中部至外部沙脊由数代沙脊发展而成。Shi等<sup>[16]</sup>采用SAR和海色观测结果,改进了利用卫星数据辨别海洋沙脊的精度,并定量分析了沙脊区域的水质特征。黄海军<sup>[17]</sup>则依据大量海图、雷达影像、卫片及岸滩实测剖面资料对辐射沙洲潮沟位置进行分析,给出了4个时期主要潮沟深泓线的位置。

此外,由于地球化学手段具有明显的示踪物源优势,因此,近年来这一方法特别是同位素地球化学方法在内陆沙漠及地表沉积物的来源研究中已经得到了较广泛的应用。这主要是因为不同的矿物、岩石中有不同的地球化学特征,利用地球化学的相似性及质量平衡原理,即可追踪物质来源、迁移路线及其输入通量。目前,有极少部分学者利用这一手段研究河口、海岸泥沙的演化特征与物质来源。例如,杨守业等<sup>[18]</sup>根据REE和Nd同位素地球化学研究了长江口晚新生代沉积物的物质来源;刘韶等<sup>[19]</sup>利用元素地球化学手段研究了汕头广澳前江湾的泥沙运移规律;Edwards等<sup>[20]</sup>分析了墨西哥西部滨海泥沙的微量元素地球化学特征,进一步探讨了泥沙的来源。然而,总体上看(同位素地球化学示踪方法在沿海泥沙研究中应用较少)。

另外,随着社会经济的发展,人类社会面临越来越严峻的资源困境。作为海域和陆域的交汇地带,海岸带一般具有生物生产力高、资源丰富、交通便利、易于开发利用等特点,往往成为挖掘土地资源的重要索取对象,以解决经济发展与土地供给不足的矛盾。因此,近几十年来,国内外在沿海区形成了一股围填海热潮。然而,围海过程的影响主要通过改变海陆过程的自然界面、阻断物质自然交换的通道、改变水文条件与沉积过程等格局,不可避免地改变海域自然水文泥沙输运环境。因此,现阶段沿海人类活动背景下,海岸水沙输运过程、发展趋势以及水文泥沙环境变迁与人类活动的互馈机制等方面的研究逐渐上升为热点。

李加林等<sup>[21]</sup>从围垦工程对水沙环境的影响、围垦对海岸带物质循环的影响、围垦对潮滩生物生态学的影响和盐沼恢复与生态重建等方面探讨了不同学科学者对围垦环境影响的主要研究进展及存在的问题;季子修等<sup>[22]</sup>从海平面上升导致海岸带灾害加剧与海岸防护问题凸显的角度,提出了海岸防护的相应对策;陈雪英等<sup>[23]</sup>分析了风暴潮导致的风暴增水和沿岸输沙的增强对山东海岸侵蚀的影响,并指

出校核高潮位偏低、护岸工程设计参数不符合标准等为山东海岸工程遭到破坏的重要原因;李加林等<sup>[24]</sup>通过对条子泥西侧岸滩仓东片匡围对淤泥质海岸的涵闸排水影响的研究,探讨了不同堤线方案下邻近闸下流槽各种落潮水量组成及维护闸下排水能力的有效性;Ramanujam等<sup>[25]</sup>通过研究出水和淹没的天然防波堤的变迁对于海岸线演变的影响指出,海岸受到防波堤保护时,海岸或岛屿容易形成稳定的突出部,而当防波堤的防护作用减弱时,由于传播至近岸的波能上升,若泥沙供给不足,则海岸容易受到侵蚀;Winter等<sup>[26]</sup>结合北海东南部区域不同空间尺度的水动力、泥沙和地形演变的过程以及人类活动的影响等方面的研究成果,提出采用现场观测的资料及数值模拟的方法研究海岸演变过程时,需保证观测数据的准确性和数值模型的精确度;Kumar等<sup>[27]</sup>通过研究提出了6条关于渗透性海岸防护的建议;Nedoroda等<sup>[28]</sup>利用风暴及海岸水动力模拟的方法,研究了美国密西西比州海岸的风暴增水及所造成的洪涝灾害的变化;Snoussi等<sup>[29]</sup>采用基于GIS的洪水分析和海岸侵蚀模型的方法,研究了摩洛哥海岸由于海平面上升可能造成的危害,并由此进一步提出了固定沙丘、海岸营养化及建筑海堤等的防护策略;Fernández<sup>[30]</sup>从海岸盐湿地的水位的下降、土壤酸化、水体中金属离子含量的升高等方面研究了西班牙北海岸比斯开湾的长时间大规模围垦造成的海岸生态恶化等问题;French等<sup>[31]</sup>研究了英国东南部海岸大规模无序的围垦开发对周围水域的淤积和冲刷动力特性的影响;Fiore等<sup>[32]</sup>指出当风暴潮与天文大潮同时出现时,海平面的明显上升将使得更大的波浪可以袭击近岸及比邻区域,并加剧海岸的侵蚀和海岸防护的难度;Wamsly等<sup>[33]</sup>通过就海岸湿地对于降低风暴潮危害的研究指出,湿地具有削弱风暴潮强度的功能,但削弱的幅度主要还是依赖于周围海岸的坡度、长度及风暴潮持续的时间等。

基于以上分析,以往关于沿海水动力、泥沙运动、地貌变迁、人类活动、风暴潮、海平面上升等的研究虽然不少,但如《江苏沿海滩涂围垦开发规划》中所涉及的如此大规模的沿海滩涂及辐射沙脊群的围垦开发对海岸及海洋动力环境和泥沙运动及海岸演变等影响的研究,目前还鲜有经验可供借鉴。并且,目前大量的研究还是以定性为主,定量化的研究还相对较少,大规模海岸变迁背景下岸滩演化趋势、泥沙输运过程及路径、辐射沙脊群泥沙来源等依然是困扰学术界和工程界的难题之一,有待于进一步深入探讨。同时,从不同学者采用的研究手段可以看

出现阶段综合利用现场观测和数值模拟的方法是研究海岸水沙动力环境及其对大规模围垦等的响应的有效途径和必然趋势,而现场观测数据的精确度和数值模型的准确校正则是保证研究成果合理性的关键所在。

## 2 研究目标

随着 2009 年 6 月《江苏沿海地区发展规划》获国务院批准成为国家战略,以及 2010 年 6 月国家发展和改革委员会公布《长江三角洲地区区域规划》,江苏在全国区域发展大格局中占据了“连接南北、沟通东西”的重要战略地位。藉此,江苏省发展和改革委员会与江苏省沿海地区发展办公室共同颁布了《江苏沿海滩涂围垦及开发利用规划纲要(2010—2020 年)》,2009—2015 年间,江苏将围垦滩涂 5.33 万  $\text{hm}^2$ ,2016—2020 年间,将进一步围垦滩涂 12.83 万  $\text{hm}^2$ ,并在 2010—2020 规划的基础上,根据辐射沙洲独特的地貌型态及社会经济发展的需求,江苏省滩涂匡围远景规划于 2021—2050 年再增加围涂面积 28.67 万  $\text{hm}^2$ 。然而,大范围的围垦活动不可避免地将改变海域水沙环境,进而对周边重要港口、航道产生重要影响,因此,现阶段大范围围垦活动对海域水沙运输过程的影响已成为亟待探索的重要问题之一。

为此,根据江苏沿海独特地形地貌型态下高精度水流泥沙输运特点、泥沙输运对辐射沙脊群滩槽稳定性及港口航道正常运行的影响、大规模围垦工程与沿海水动力条件变迁之间的响应等内容的系统研究,解决江苏近岸海域水动力过程与围垦工程及现有港口航道之间的响应、江苏沿海及辐射沙脊群泥沙输运和大规模围垦后岸滩演变之间的响应等主要关键技术问题,并综合多学科、多领域交叉的优势,构建江苏沿海重点滩涂围垦区域示踪泥沙来源及运移途径的关键示踪技术,给出综合水文泥沙大面监测、海洋水沙输运数值模拟、同位素地球化学示踪等技术的广阔海域泥沙输运要素实时监测及评价方法,以此构建科学评估辐射沙脊群滩槽稳定性及沿海大范围匡围条件的综合评价体系。

## 3 研究内容

江苏海岸除全新世高海面时期海水入侵较深外,海岸线在相当长时间内大致稳定在赣榆、板浦、阜宁、盐城至海安一线,在海岸线附近形成了数条沿岸堤,其中以西冈、中冈和东冈最为有名,成为不同时期海岸线的自然标志。

随着 1128 年黄河夺淮入黄海,江苏海岸的北段(灌河口以北)和中段(灌河口至东台—海安交界处)逐渐淤进。至 1494 年黄河全流夺淮之后,岸滩淤积大大加快,海岸迅速东移。受黄河口南下及长江口北上的丰富径流和泥沙汇集作用,1494 年以前,河口淤长速度为 54  $\text{m/a}$ ,1494 年黄河全流夺淮后,河口延伸速度加快至 215  $\text{m/a}$ 。直至 1855 年黄河再次北归,江苏海岸又经历了一次与前次方向相反的动力泥沙条件的突变,巨量泥沙来源的断绝,使海岸及水下沙洲重新调整。近百年来,海洋作用相对加强,黄河北归后泥沙来源近乎断绝,在南黄海旋转潮波和东海前进潮波系统独特的辐合和辐散作用以及固有岸边地形的影响下,江苏岸外固有地形、沉积物、河流及海洋动力作用塑造而成的沙脊—水道形态不断演化,最终形成了以港为顶点辐射状沙脊群。

由于江苏沿海沉积物以粉沙淤泥质为主,潮滩宽广、平缓,离岸沙洲—水道相间,地形地貌十分复杂,同时,在南黄海旋转潮波和东海前进潮波的联合作用下,江苏东部沿海,尤其是辐射沙洲海域,水沙输运过程及规律极为复杂。

为此,针对现阶段江苏沿海海域泥沙输运研究中存在的不足和薄弱环境,拟开展以下研究:

a. 江苏沿海独特地形地貌形态下高分辨率泥沙输运模拟。针对江苏沿海宽广潮滩—沙洲—水道相间的特点以及沉积物以粉沙淤泥质为主的特征,综合海洋动力、泥沙、地貌演变等多要素,建立江苏沿海独特地形地貌形态下的高分辨率泥沙数学模型。以此,研究江苏沿海大范围泥沙输运过程及特点,进行沿海泥沙输运的方向及输沙量的定量计算。

b. 泥沙输运对辐射沙脊群滩槽的稳定性及港口航道正常运行的影响。研究水沙动力条件变迁对辐射沙脊群重要滩、槽演变及沿海重要港口、航道附近水域冲淤趋势的影响。

c. 海岸线大规模调整后冲淤趋势的变迁及淤长型海岸淤长速率计算。研究滩涂粉沙淤泥质海岸围垦后,近岸泥沙淤积的强度及岸线淤长的速率,及滩涂辐射沙脊群的演变趋势。

d. 围垦区泥沙的来源及泥沙迁移路径和年输沙通量计算。分析围垦区与潜在源区泥沙不同粒度组分、化学相及单矿物的同位素与化学组成,提取表征围垦区与各潜在源区的同位素与化学指标,对比分析围垦区与潜在源区泥沙的同位素地球化学异同,圈定围垦泥沙的来源区域,深入研究围垦区与潜在源区底部与悬浮泥沙的同位素地球化学特征,并进行对比,判别泥沙的迁移路径,进一步应用元素与

同位素质量平衡原理,定量计算主要与次要来源区各自的泥沙年均输送通量。

## 4 技术路线

现阶段,大范围泥沙输运过程及路径的研究主要采用物理模型试验、数值模型试验及野外资料统计分析的方法开展。然而,江苏沿海海域宽广,辐射状沙脊-潮滩水下地形观测困难,物理模型试验的方法耗费巨大,近期难以全面实现。随着泥沙输运理论的逐步深化,目前,泥沙输运数值模拟的技术已经得到了广泛的应用,且取得了不菲的成果,同时,随着江苏沿海海涂资源专项调查的开展,已经积累了大量江苏近岸海域的基础资料,为泥沙输运数值模拟技术的应用打下了坚实的基础。此外,由于泥沙输运过程的复杂性,采用单一方法往往存在难以证伪的缺陷,藉此,引入同位素示踪的技术,与数值模拟研究同步开展,相互印证,提升研究成果的可靠性和深度。

本课题综合和借鉴以往研究中所采用的方法、路线,将广泛的调研、资料收集和系统的分析整理作为研究的根本,采用多学科、跨领域交叉的研究方法,通过建立江苏沿海独特地貌条件下的高分辨率水沙输运数学模型,开展沿海辐射沙脊群泥沙过程及输运数值模拟研究,并藉此探讨和明确泥沙来源以及岸线大规模变迁背景下海域水沙混经的演化趋势等方面的研究。具体包括以下几个方面(图1)。

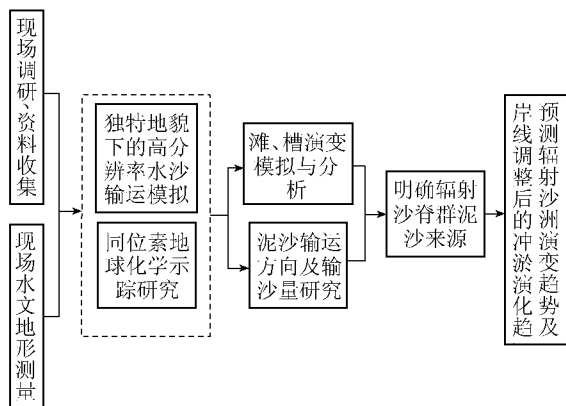


图1 技术路线

a. 开展广泛的调研、资料收集和系统的分析整理工作,总结现有研究成果,结合研究目标剖析所要解决的问题,拟定更为细致的研究计划。

b. 建立宽阔海域及复杂地形地貌条件下的高精度二维和局部三维水沙输运数学模型,进行滩、槽演变模拟与分析,并就水沙动力环境变迁对沿海港口航道影响进行科学分析和评价。

c. 综合大范围水文泥沙监测、高精度水沙输运

数值模拟、同位素地球化学示踪技术,准确地提供辐射沙脊群泥沙输运的方向及输沙量,明确辐射沙脊群泥沙来源。

d. 预测辐射沙脊群演变趋势及不同类型海岸岸线大规模调整后的冲淤趋势与江苏沿海大规模围垦条件及保护的相容性,并制定科学评估沿海大范围围垦条件的梯级式综合评价体系。

## 5 预期成果

综合江苏沿海水动力环境的特征,以及粉沙淤泥质潮滩-沙洲系统独特地形地貌系统的特点,融合高分辨率输沙输运数值模拟、同位素地球化学示踪研究,建立高分辨率数值模拟和同位素地球化学示踪相结合的海洋泥沙研究方法,确定辐射沙脊群泥沙输运的方向及输沙量,解决辐射沙脊群独特地貌泥沙来源及输沙均衡的难题。结合江苏沿海大范围围垦规划,预测辐射沙洲演变趋势及海岸线调整后的冲淤演化趋势,明确围垦工程的实施对周边海域尤其是周边重要港口航道海域水沙环境变迁的影响,为建立科学评估沿海大范围围垦条件的梯级式综合评价体系提供必要的支撑。

此外,本项目的研究近期可对条子泥示范工程的建设提供科学的借鉴,中期将应用到辐射沙洲 18 万  $\text{hm}^2$  围垦工程,远期将应用于江苏沿海滩涂 46.67 万  $\text{hm}^2$  围垦建设,而根据现阶段江苏地区工业用地单位效益(378 万元/ $\text{hm}^2$ )及农业用地单位效益(123.6 万元/ $\text{hm}^2$ ),项目预期成果应用背景下的沿海滩涂围垦建设的经济效益将十分显著。

## 参考文献:

- [1] 任美镔,许廷官,朱季文,等.江苏省海岸带和海涂资源综合调查[M].北京:海洋出版社,1986.1-134.
- [2] WANG X Y,KE X K. Grain-size characteristics of the extent tidal flat sediments along the Jiangsu coast, China[J]. Sedimentary Geology, 1997, 11(X 1-2): 105-122.
- [3] 诸裕良,严以新,薛鸿超.南黄海辐射沙洲形成发育水动力机制研究:I.潮流运动平面特征[J].中国科学(D 辑),1998, 28(5): 403-410.
- [4] WANG Y,ZHANG Y,Z,ZOU X Q, et al. The sand ridge field of the South Yellow Sea: origin by river-sea interaction[J]. Marine Geology, 2012, 291: 132-146.
- [5] 宋志尧,严以新,薛鸿超,等.南黄海辐射沙洲形成发育水动力机制研究:II.潮流运动立面特征[J].中国科学(D 辑),1998, 28(5): 411-417.
- [6] 陈可锋,陆培东,王艳红,等.南黄海辐射沙洲趋势性演变的动力机制分析[J].水科学进展,2010, 21(2):

- [ 7 ] XING F ,WANG Y P ,WANG H V . Tidal hydrodynamics and fine-grained sediment transport on the radial sand ridge system in the Southern Yellow Sea [ J ]. *Marine Geology* ,2012 ,291-294 :192-210.
- [ 8 ] 黄惠明 ,王义刚 ,杨海宁 . 冬季苏北辐射沙洲悬沙分布及输运特征分析 [ J ]. *河海大学学报 :自然科学版* ,2011 ,39( 2 ) 201-205.
- [ 9 ] MILLIMAN J D ,BEARDSLEY R C ,YANG Z S ,et al . Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea :identification and potential transport mechanisms [ J ]. *Continental Shelf Research* ,1985 4( 1-2 ) :175-188.
- [ 10 ] LIU X J ,GAO S ,WANG Y P . Modeling profile shape evolution for accreting tidal flats composed of mud and sand :a case study of the central Jiangsu coast ,China [ J ]. *Continental Shelf Research* ,2011 31( 16 ) :1750-1760.
- [ 11 ] SHEN Y M ,YANG J S ,WANG Y H ,et al . Impact of sediment supply on spartina salt marshes [ J ]. *Pedosphere* ,2008 ,18( 5 ) :593-598.
- [ 12 ] GAO S . Modeling the preservation potential of tidal flat sedimentary records , Jiangsu coast , eastern China [ J ]. *Continental Shelf Research* ,2009 29( 9 ) :1927-1936.
- [ 13 ] 邢飞 ,汪亚平 ,高建华 ,等 . 江苏近岸海域悬沙浓度的时空分布特征 [ J ]. *海洋与湖沼* ,2010 41( 3 ) :459-468.
- [ 14 ] 陈君 ,王义刚 ,张忍顺 ,等 . 江苏岸外辐射沙脊群东沙稳定性研究 [ J ]. *海洋工程* ,2007 25( 1 ) :105-113.
- [ 15 ] LIU Z X ,BERNÉD S ,SAITO Y ,et al . Internal architecture and mobility of tidal sand ridges in the East China Sea [ J ]. *Continental Shelf Research* ,2007 27( 13 ) :1820-1834.
- [ 16 ] SHI W ,WANG M H ,LI X F ,et al . Ocean sand ridge signatures in the Bohai Sea observed by satellite ocean color and synthetic aperture radar measurements [ J ]. *Remote Sensing of Environment* ,2011 ,115( 8 ) :1926-1934.
- [ 17 ] 黄海军 . 南黄海辐射沙洲主要潮沟的变迁 [ J ]. *海洋地质与第四纪地质* ,2004 24( 2 ) :1-8.
- [ 18 ] 杨守业 ,韦刚健 ,夏小平 ,等 . 长江口晚新生代沉积物的物源研究 :REE 和 Nd 同位素制约 [ J ]. *第四纪研究* ,2007 27( 3 ) :339-346.
- [ 19 ] 刘韶 ,赵焕庭 ,张乔民 . 用元素地球化学方法研究汕头广澳前江湾的泥沙运移 [ J ]. *海洋通报* ,1998 ,17( 6 ) :28-39.
- [ 20 ] CARRANZA-EDWARDS A , CENTENO-GARCÍA E , ROSALES-HOZ L ,et al . Provenance of beach gray sands from western México [ J ]. *Journal of South American Earth Sciences* ,2001 ,14( 3 ) :291-305.
- [ 21 ] 李加林 ,杨晓平 ,童亿勤 . 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展 [ J ]. *地理科学进展* ,2007 26( 2 ) :43-51.
- [ 22 ] 季子修 ,施雅风 . 海平面上升、海岸带灾害与海岸防护问题 [ J ]. *自然灾害学报* ,1996 5( 2 ) :56-64.
- [ 23 ] 陈雪英 ,王文海 ,吴桑云 . 近年风暴潮对山东海岸及海岸工程的影响 [ J ]. *海岸工程* ,2000 ,19( 2 ) :1-5.
- [ 24 ] 李加林 ,张忍顺 . 滩涂围垦海堤选线对邻近涵闸排水的影响分析 [ J ]. *海洋技术* ,2005 24( 4 ) :8-13.
- [ 25 ] RAMANUJAM N ,SUDARSAN R . A study of coastal transformation at Tuticorin as a result of emerged and submerged natural breakwaters of Van Island ,Gulf of Manner [ J ]. *Environmental Geology* ,2003 43( 5 ) :521-525.
- [ 26 ] WINTER C ,BARTHOLOMÄ A . " Coastal dynamics and human impact 'south-eastern North Sea " an overview [ J ]. *Geo-Marine Letters* ,2006 26( 3 ) :121-124.
- [ 27 ] KUMAR A ,SERALATHAN P ,JAYAPPA K S . Distribution of coastal cliffs in Kerala ,India :their mechanisms of failure and related human engineering response [ J ]. *Environ Geol* ,2009 ,58( 4 ) :815-832.
- [ 28 ] NIEDORODA A W ,RESIO D T ,TORA G R ,et al . Analysis of the coastal Mississippi storm surge hazard [ J ]. *Ocean Engineering* ,2010 37( 1 ) :82-90.
- [ 29 ] SNOUSSI M ,OUCHANI T ,KHOUAKHI A ,et al . Impacts of sea-level rise on the Moroccan coastal zone :quantifying coastal erosion and flooding in the Tangier Bay [ J ]. *Geomorphology* ,2009 ,107( 1 ) :32-40.
- [ 30 ] FERNÁNDEZ S ,SANTÍN C ,MARQUINEZ J ,et al . Saltmarsh soil evolution after land reclamation in Atlantic estuaries ( Bay of Biscay ,North coast of Spain ) [ J ]. *Geomorphology* ,2010 ,14( 4 ) :497-507.
- [ 31 ] FRENCH C E ,FRENCH F R ,CLIFFORD N J ,et al . Sedimentation erosion dynamics of abandoned reclamations :the role of waves and tides [ J ]. *Continental Shelf Research* ,2000 ,20( 12-13 ) :1711-1733.
- [ 32 ] FIORE M M E ,D 'ONOFRIO E E ,POUSA J L ,et al . Storm surges and coastal impacts at Mardel Plata ,Argentina [ J ]. *Continental Shelf Research* ,2009 29( 14 ) :1643-1649.
- [ 33 ] WAMSLY T V ,CIALONE M A ,SMITH J M ,et al . The potential of wetlands in reducing storm surge [ J ]. *Ocean Engineering* ,2010 37( 1 ) :59-68.

( 收稿日期 2012-04-05 编辑 陈玉国 )

