

文章编号:1004-8227(2010)11-1314-08

长江口滩涂地形冲淤分析研究

刘扬扬¹, 张行南¹, 徐双全², 倪斐²

(1. 河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098; 2. 上海市水务局, 上海 200050)

摘要: 为获得长江口滩涂地形的冲淤演变规律, 运用 GIS 的数据处理与空间分析功能, 提出了基于分区的冲淤量时间序列分析、冲淤量与上游来沙量相关分析、沙洲质心推移分析、典型断面分析的滩涂地形综合分析方法, 即以滩涂分区和江心沙洲为对象、分时段定量研究冲淤变化的方法。在对全系列实测滩涂地形资料逐年分析的基础上, 对长江口滩涂地形进行分区域的冲淤分析, 并选取 1991、2001 和 2008 年 3 个代表年份, 研究了长江南支上段主要沙洲地形演变规律。总体上, 崇明东滩、长江南支、长江南港、长江北港、南汇东滩、九段沙近期冲刷大于淤积, 而崇明北沿、横沙东滩以淤积为主, 长江南支冲刷作用明显, 江心沙洲往东南方向推移, 分析表明长江入海泥沙年输移量以及年均含沙量变化是造成长江口江心沙洲冲淤演变的重要因素之一。

关键词: 滩涂地形; 冲淤分析; 沙洲演变; 长江口

文献标识码: A

长江口地处我国东南沿海, 边滩、沙洲和水下暗沙众多。在长期径流和潮流的相互作用下, 形成了目前三级分汊、四口入海的格局。长江口陆海相互作用剧烈, 受河口分汊、上游输水输沙、外海掀沙、水动力、海岸工程等诸多因素影响, 长江口河段河势动荡, 滩涂地形冲淤变化十分显著。近年来, 基于 GIS 技术对水下地形进行冲淤分析和计算已经成为冲淤研究的主要手段, 张杰艳利用 GIS 技术对长江口北港冲淤演变规律进行了定量分析研究^[1]; 陈荣、张鹰等在构建数字高程模型的基础上研究了长江口北港多年槽蓄量变化规律及可视化方法^[2]; 王赋、贺宝根采用 RS 和 GIS 结合的手段得出 6 a 期间九段沙的冲刷与淤积变化结果, 并分析了其变化的趋势^[3]; 赵常青、茅志昌也对崇明东滩的冲淤演变规律进行深入分析^[4]等等。他们的实践研究表明, GIS 技术和 DEM 模型结合是定量研究泥沙冲淤的一种有效手段, 在冲淤量计算、冲淤分布制图等方面取得了不少成果, 但都只是针对冲淤研究的某一方面进行, 缺少系统的研究和对比, 对冲淤机制的分析也不够深入, 且对局部区域滩涂地形变化开展的研究, 缺乏对整个长江口滩涂地形冲淤情况的系统分析, 也就无法从整体上把握各个区域冲淤演变的内在联系与主要

影响因素。因此运用现有的多年长江口实测地形资料构建各个年份的 DEM, 在 GIS 软件的支持下计算和分析长江口滩涂地形冲淤演变具有重要的理论和现实意义。

1 数据来源和研究分区

数据源为长江口滩涂地形实测数据, 资料系列长为 1982~2008 年, 比例尺为 1:25 000, 2000 年以后部分区域为 1:10 000。主要信息包括等深线、测深点、水利工程、滩涂植被以及其他一些地物。数据覆盖了长江北支、长江南支、长江南槽、长江北槽、长江南港、长江北港和杭州湾北沿的大部分区域, 其中包括了崇明东滩、横沙浅滩、南汇边滩、九段沙、江心洲等主要滩涂资源区域。

在上游来水和潮流的相互作用下, 长江河口滩涂地形最主要的特征是三级分汊, 在三级分汊特征的制约下滩涂地形分隔为相应的 8 个区域: 一级分汊崇明岛将河段径流分隔, 向北形成崇明北沿边滩, 向南形成长江南支边滩; 二级分汊长兴岛、横沙岛将南支河段分为长江北港滩涂与长江南港滩涂, 其中进入北港的径流向东入海, 在与海潮的相互作用下

收稿日期: 2009-10-26; 修回日期: 2009-12-22

基金项目: 国家自然科学基金(50879017); “十一五”国家科技支撑计划(2008BAB29B08-02); 高等学校博士学科点专项科研基金(20060294002)

作者简介: 刘扬扬(1986~), 男, 河南省信阳市人, 博士研究生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: lyyang@foxmail.com

形成崇明东滩;三级分汊九段沙把长江南港的河段分隔,在北部沉积为横沙东滩,中间受沙岛的阻截在岛屿周围形成九段沙边滩,南部顺流而下在芦潮港以东地区形成南汇东滩,如图 1。受实测资料限制,本文滩涂冲淤计算的范围大都在-5 m 等深线以内,见图 2。

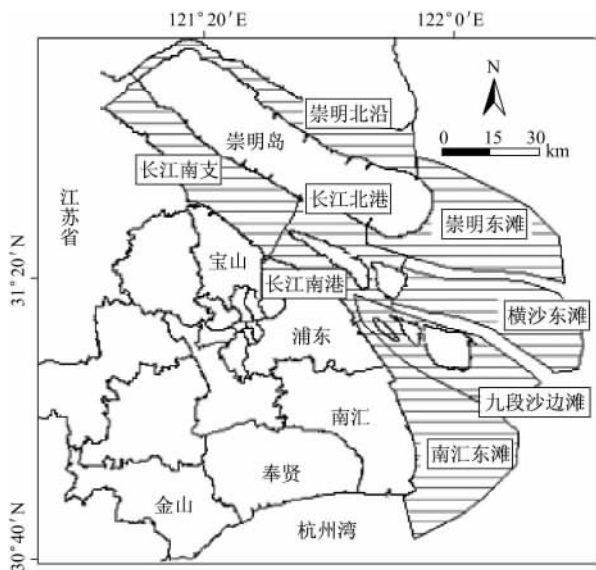


图 1 长江口滩涂地形分区示意图

Fig. 1 Zoning Sketch of Foreshore Landforms of the Yangtze River Estuary

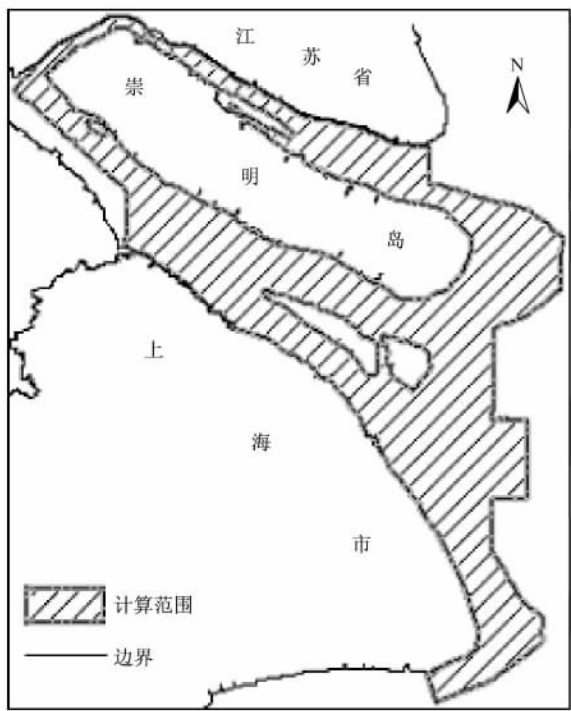


图 2 滩涂计算范围示意图

Fig. 2 Sketch of Calculation Range of Foreshore Landforms

2 数字高程模型构建

将历年滩涂地形数据(2000 年以前的数据为纸质图件)通过统一的投影、数据格式转换处理后构建不同年份的 DEM。构建 DEM 模型采用 ArcMap 的 3D Analyst 模块对原始的测深点、等深线进行三角网插值,再转化成栅格数据模型 GRID,以 20 m×20 m 作为栅格单元建立数字高程模型。由于采用 1:10 000 及 1:25 000 原始水下地形勘测图,其实际地物分辨率均高于 10 m,可满足生成 20 m 数字高程模型的精度要求。

由于数据量庞大,本文采用图幅分割和面向对象的设计来存储 DEM 高程信息。

①图幅分割。利用网格对长江口滩涂研究范围进行分割。先将研究区划分成近 700 个 5km×5km 的大网格,并按照从西向东、从南向北的原则进行顺序编号,然后再将每个大网格按 250 行、250 列细分为 20 m×20m 的小网格以匹配 DEM 栅格单元。

②面向对象的设计与存储。把一个大网格当作一个对象,也就是一个子图层。将每个小网格对应于大网格的行列号以及所匹配的历年 DEM 栅格单元的高程值作为属性信息,并利用 GIS 软件自带的属性库来存放这些属性信息。这种面向对象的数据组织方式存储空间小、结构简单、查询与计算方便。

3 长江口滩涂地形冲淤计算

3.1 滩涂地形冲淤量分区计算

按照长江口滩涂地形的分区情况,利用 1982~2008 年的水下测深数据,分别以上 1 a 为基准,逐年对各区的冲淤变化量和平均冲淤变化深度进行计算。冲淤变化量的计算公式如下,计算的结果用累计的图表表示(图 3),图中横轴表示年份,纵轴表示该年份相对于数据起始年冲淤变化深度累计值,正值为淤积,负值为冲刷。

$$V_{\text{变}} = \sum_{i=1}^N S_i (H'_i - H_i) \quad (1)$$

式中: $V_{\text{变}}$ 为时段内计算区域的冲淤变化量 (10^8 m^3); i 为计算区域的网格数(个); S_i 为计算区域内第 i 个网格的面积,均为 400 m^2 ; H_i 为第 i 个网格时段初的高程(m); H'_i 为第 i 个网格时段末的高程(m)。

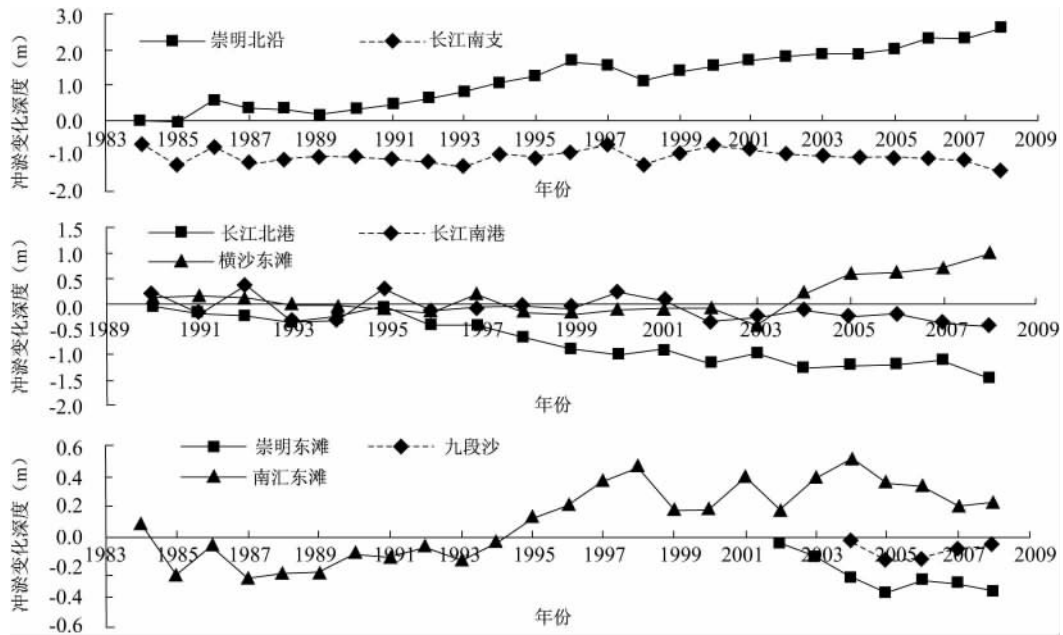


图 3 滩涂地形分区累计冲淤变化深度过程线

Fig. 3 Depth of Cumulative Erosion-deposition Change in Various Regions of Foreshore Landforms

从图 3 可以看出,除崇明北沿变化过程线有明显上升趋势外,长江口滩涂其它各区的累计冲淤变化深度自 20 世纪 80 年代以来没有明显的变化趋势,随机变化的成分较大。因此,可分时段统计冲淤变化量,获得各区不同时期的冲淤变化情况,如表 1。

表 1 长江口滩涂地形不同时期冲淤变化分区统计

Tab. 1 District Statistics of Erosion-deposition Change at Different Times

指标 区域/ 年份	冲淤变化量(10^8m^3)			平均冲淤变化深度(m)		
	1983~ 1990	1990~ 2000	2000~ 2008	1983~ 1990	1990~ 2000	2000~ 2008
崇明 北沿	0.602	2.488	2.859	0.319 5	1.2023	1.093
长江 南支	-1.148	0.419	-3.630	-1.008 3	0.281	-0.714
南汇 东滩	-0.260	0.409	-0.154	-0.087 6	0.275	-0.036
长江 北港	/	-1.394	-0.943	/	-0.963	-0.572
长江 南港	/	0.029	-1.271	/	0.031	-0.686
横沙 东滩	/	-0.052	0.626	/	-0.243	1.091
崇明 东滩	/	/	-1.412	/	/	-0.367
九段 沙	/	/	-0.139	/	/	-0.043

注:崇明东滩统计年份为 2001~2008,九段沙统计年份为 2003~2008 年。冲淤变化量和平均冲淤变化深度“—”表示冲刷

从表中平均冲淤变化深度来看,崇明北沿是淤积最明显的区域,3 个时期都处于不同程度的淤积

状态,20 世纪 90 年代最为显著,这是由于长江北支是以涨潮流为优势的河段,主要以海域来沙为主,呈向上输移的特征,涨潮流带入的泥沙落潮时不能全部挟带出海,导致崇明北沿的淤积。长江南支经历了 90 年代的轻度淤积以后,依然呈现出较强的冲刷态势,成为近期冲刷程度最大的区域;南汇东滩 1983~1990 年间略有冲刷,90 年代以来由于圈围工程的开展基本保持了持续淤涨的态势,但近期冲淤变化不大,稍有冲刷,这与统计范围的增大和上游来沙情况改变有关^[7]。2003 年三峡水库蓄水以来,下游的来沙量急剧减少,造成河口滩涂不同区域的冲刷加强,长江南支、南汇东滩就是例子。

长江北港和南港的变化情况各不相同,90 年代北港的冲刷程度最大,南港稍有淤积,河势基本稳定;而 2000 年以后北港冲刷强度减弱,南港则冲刷严重。究其原因,南北港的河势变化主要受南北港上口分流通道及分流口河势变化的影响,南北港分汊口河段存在多滩多槽,其中连接南港的有宝山南、北水道和南沙头通道,连接北港的有新桥通道。南港近 10 a,由于瑞丰沙阻隔形成明显的复式河槽,因外沙内泓,北侧长兴岛涨潮沟维持较深水深。北港受青草沙水源基地建设,河势在进一步调整中。

横沙东滩 20 世纪 90 年代仍轻度冲刷,但近期的淤积作用十分明显,仅次于崇明北沿,这主要是受近期促淤工程影响,淤积速度加快。九段沙和崇明东滩从 2000 年以后才有测深数据,这期间虽然有不

同程度的促淤圈围,但从近期的冲淤情况来看,两个区域都处于冲刷状态。

3.2 重要泥沙、水文事件对滩涂冲淤的影响分析

(1)三峡工程围堰蓄水的影响分析:三峡水库 2003 年 6 月 1 日正式下闸蓄水,多年连续蓄水导致了下游泥沙的急剧减少^[8]。据统计,大通站 2004 至 2008 年平均输沙量为 1.436 亿 t,仅为 2002 年的 1/2。泥沙减少将对河口滩涂地形的冲淤演变带来影响,以逐年冲淤变化计算为基础,分区统计 2003 年前后的多年平均冲淤变化深度,见图 4。

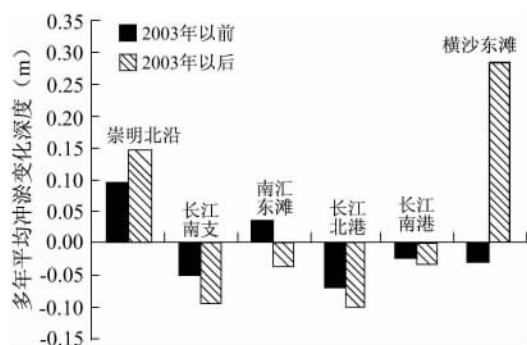


图 4 三峡工程围堰蓄水前后滩涂各区平均冲淤深度比较

Fig. 4 Average Depth of Erosion-deposition Change Before and After the Cofferdam of Three Gorges Project

从图中可以看出,虽然 2003 年以后入海泥沙大量减少,滩涂各区的冲刷并没有较大幅度的增长,长江南支、北港、南港、南汇东滩 2003 年以后冲刷加强,但冲淤变化深度的绝对值都不足 0.05 m。这一方面与滩涂促淤的抵消作用有关,更重要的是三峡围堰蓄水带来的泥沙效应并没有完全发挥出来。

(2)洪水年、枯水年的影响分析:据有关资料记载^[9],长江大通站 1982~2000 年间径流量各有 1 次典型的洪水、枯水过程,分别是 1998 和 1986 年。1998 年大通站径流总量超过 12 000 亿 m^3 ,仅次于 1954 年的洪水流量,年输沙量也超过 4 亿 t,属于丰水多沙年;1986 年大通站径流总量接近 7 000 亿 m^3 ,年输沙量不足 3 亿 t,属于枯水年。此外,据 2006 年长江泥沙公报记载,2006 年大通站径流量为 6 886 亿 m^3 ,年输沙量为 0.848 亿 t,是典型的枯水少沙年。

然而,从图 5 各区冲淤变化深度的计算结果来看,在 1986、2006 年的枯水年和 1998 年的洪水年里,大体只有崇明北沿和长江南支的冲淤变化情况明显受到了径流过程的影响。虽然当年来沙量与径

流过程相反,对径流冲刷有一定的抵消作用,但这并没有在很大程度上影响崇明北沿和长江南支的冲淤状况。两个区 1986 年的平均冲淤变化深度分别达到 0.61 和 0.54,高于其它年份;1998 年平均冲淤变化深度为 -0.42 和 -0.60 m,基本处于最低水平。这是因为,崇明北沿和长江南支是径流冲刷的最前端,冲刷与淤积的规律受径流作用影响较大,潮流作用相对较小,保持了与洪水过程相一致的特性,其它区域则受径流与潮流相互作用,冲淤变化十分复杂。

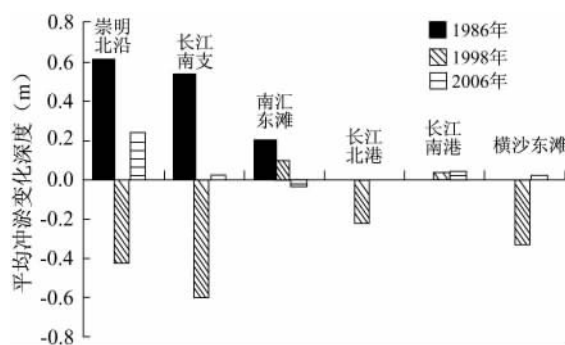


图 5 洪水年、枯水年滩涂各区平均冲淤深度比较

Fig. 5 Average Depth of Erosion-deposition Change in Flood Year and Dry Year

3.3 滩涂地形冲淤空间分布

利用不同年份的滩涂地形 DEM,在 ArcMap 中制作冲淤空间分布图来体现水下地形淤积或冲刷的深度^[10],图 6 为长江南支近期冲淤变化分布图。

由图可见,2001~2008 年间长江南支滩涂地形冲淤变化十分显著,是近期长江口水下泥沙活动最剧烈的地区。南支主槽有大幅度的冲刷,局部地区下切深度达 -10 m 以下,部分沙体淤高也达 5 m 以上,相应地造成了沙洲的频繁演变。

3.4 江心沙洲演变分析

长江口江心沙洲主要包括白茆沙、东风沙、扁担沙,其中白茆沙处于南支河道的中央,西起崇头,东到庙港;东风沙是紧邻大堤的沙洲,在新建河以下延伸至庙港;扁担沙较大,以南门港为界,往西为上扁担沙,以东为下扁担沙,东西大约分别至新河港与鸽笼港(图 7)。采用 3 种方法对长江口江心主要沙洲的演变进行分析:一是确定不同时期的沙洲质心,通过求偏移距离计算沙洲移动的方向和速率;二是统计沙洲不同等深线以上体积,得到沙洲自身形态的演变情况;三是进行典型横断面高程变化分析,获得定量的冲淤变化规律。

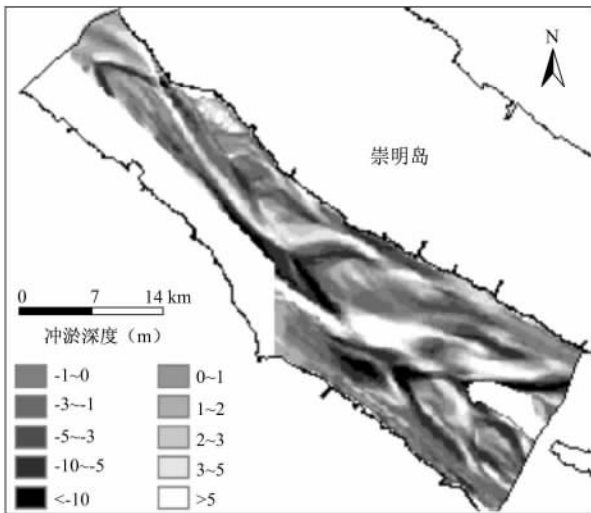


图 6 2001~2008 年长江南支冲淤空间分布

Fig. 6 Erosion-Deposition Change of the Branch of the Yangtze River Estuary in 2001~2008

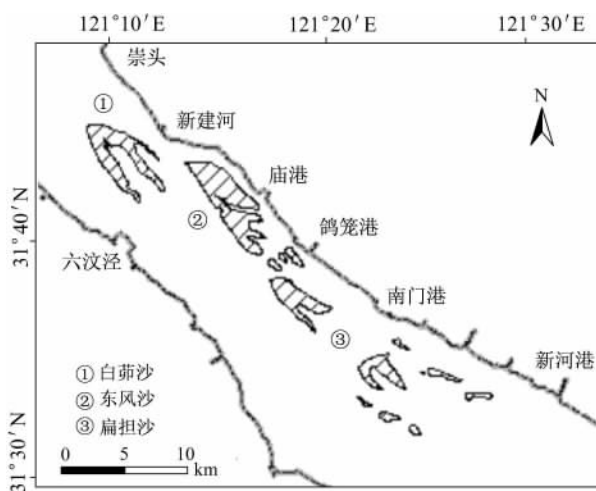


图 7 江心沙洲平面图

Fig. 7 Sketch of the Middle Sandbank of the Yangtze River Estuary

3.4.1 沙洲质心移动演算及分析

(1) 沙洲质心移动演算: 选取测深资料较全的

1991、2001、2008 年为代表年,并在两个研究时段区内选定 1996、2005 年将研究期划分成 4 个时间段。在此基础上对白茆沙、东风沙、扁担沙 0 m 等深线以上沙洲进行质心计算,分别得到选定年份的质心坐标,再计算不同时间段沙洲在东西和南北方向上的移动距离和平均推移速率(表 2)。坐标计算利用 Arc-Map 中质心计算功能实现,地理坐标系采用 1954 北京坐标,计算基面采用 Pulkovo-1942 基准面,投影坐标系为高斯克吕格 Pulkovo1942 北纬 21 度带。

从表 2 可看出,1991~2008 年间,白茆沙、东风沙、扁担沙 0 m 等深线以上沙洲都是整体往东南方向移动,扁担沙累计移动距离超过 4 000 m。3 个沙洲在东西和南北方向上的移动速率在 2001~2008 年间比 1991~2001 年间慢,特别 2005~2008 年间移动速率最慢。其中扁担沙无论在东西还是南北方向上的移动速率均最快,这是因为扁担沙的小沙洲比较多,易于冲刷移动。而且从冲淤空间分布图的冲刷情况来看,淤积沙洲的沙头一般伴有严重的冲刷,导致了沙洲整体向下移动。

(2) 沙洲推移的水动力机制分析: 南支河道是长江流域泥沙到口门地区之间的过渡河段,流速大,盐度低,悬沙属过境性质,不易沉积。在南支河道沙体的发育和演变过程中,以径流和潮流为主的动力因素起着重要作用^[11]。

在径流的作用下,白茆沙沙头受上游水流顶冲作用使沙体向下移动^[12],水流切滩所产生导流的作用使南水道的分流量得到加强,北水道水流绝大部分进入南支主槽,小部分向扁担沙分流,南支主槽进一步加深。同时,老效港至张网港南侧在 2001~2008 年间产生较严重的冲刷,新桥水道上段水深加深,该区域沙体随之整体向下移动。

长江口潮流作用的影响也十分显著。涨落潮流速、历时、含沙量决定了潮流对沙体作用的动力机制。据观测结果显示,受长江河口地区上游径流与

表 2 长江口江心主要沙洲质心推移情况表

Tab. 2 Drift Calculation of the Middle Sandbank of the Yangtze River Estuary

沙洲名称	白茆沙		东风沙		扁担沙	
年份	东西方向(m)	南北方向(m)	东西方向(m)	南北方向(m)	东西方向(m)	南北方向(m)
1991~1996	742.21	-112.76	102.54	-4.95	1 350.52	-646.72
1996~2001	389.18	-354.25	300.67	-590.27	1 310.55	-2 755.48
2001~2005	230.30	-47.41	138.14	-356.13	1 504.94	-970.23
2005~2008	24.57	-96.23	170.94	-235.50	238.26	-367.67
合计(m)	1 386.25	-610.65	712.29	-1 186.85	4 404.27	-4 740.10
年均移动速率(m/a)	81.54	-35.92	41.90	-69.82	259.07	-278.83

注:“-”号表示在竖直方向上向南移动

落潮流叠加及地形效应造成潮波变形的影响,长江口南支大部分站位涨潮流速小于落潮流速,落潮平均流速比涨潮平均流速大 6%~40%,南支各站位的落潮历时也均比涨潮历时长约 70~300 min^[13]。因此,虽然含沙量在潮流周期内的变化的一般特征是涨潮含沙量大于落潮含沙量,但由于南支水道落潮流速、历时都强于涨潮,涨潮时水流动力弱,作用时间也短,潮流带来的泥沙不易在上游沉积,而落潮

流水流动力和挟沙能力强,历时也长,会对沙体产生严重的冲刷作用,使沙体沿着潮流方向移动。

3.4.2 沙洲体积与输沙量相关分析

为进一步获得江心洲沙体近期的演变情况并初步分析沙体演变影响因素,对 2001~2007 年-5 m 等深线以上白茆沙、东风沙、扁担沙总体积进行统计(表 3),并结合 2001~2007 年长江泥沙公报的大通站、汉口站水文统计要素值做相关分析。

表 3 2001~2007 年-5 m 等深线以上沙洲体积与大通站、汉口站水文要素统计表

Tab. 3 Volume of Sandbanks with more than -5 m Contour and Hydrological Elements in Datong, Hankou Hydrological Station

年份	-5m 以上沙洲总体积 (10 ⁸ m ³)	大通站		汉口站		年份	-5m 以上沙洲总体积 (10 ⁸ m ³)	大通站		汉口站	
		输沙量 (10 ⁸ t)	含沙量 (kg/m ³)	输沙量 (10 ⁸ t)	含沙量 (kg/m ³)			输沙量 (10 ⁸ t)	含沙量 (kg/m ³)	输沙量 (10 ⁸ t)	含沙量 (kg/m ³)
2000	6.023	3.390	0.366	3.360	0.451	2004	5.843	1.470	0.186	1.360	0.201
2001	5.971	2.760	0.336	2.850	0.435	2005	5.897	2.160	0.239	1.740	0.233
2002	5.911	2.750	0.277	2.390	0.310	2006	5.787	0.848	0.123	0.576	0.108
2003	5.877	2.060	0.223	1.650	0.224	2007	5.818	1.380	0.179	1.140	0.176

图 8 为长江大通、汉口站 2001~2007 年下泄输沙量、含沙量与相应年份-5 m 等深线以上白茆沙、东风沙、扁担沙总体积的相关关系,确定系数都在 0.94 以上,最高达到 0.98。相关结果表明了近期长江入海泥沙年输移量以及年均含沙量变化是造成长江口江心沙洲冲淤演变的重要因素。

3.4.3 典型横断面分析

为了进一步从空间上体现泥沙冲淤与地形变化,分别在沙头、沙中选取具有代表性的 I、II、III、IV、V、VI 6 个横断面做不同年份的高程变化分析^[14](图 9)。断面以崇明南岸大堤为起点,长度分别为 5 268.4、4 588.4、5 953.9、5 737.9、5 314.6、5 542.9 m,分析结果如图 10,X 轴表示距南岸大堤起点的距离,Y 轴表示点位高程。

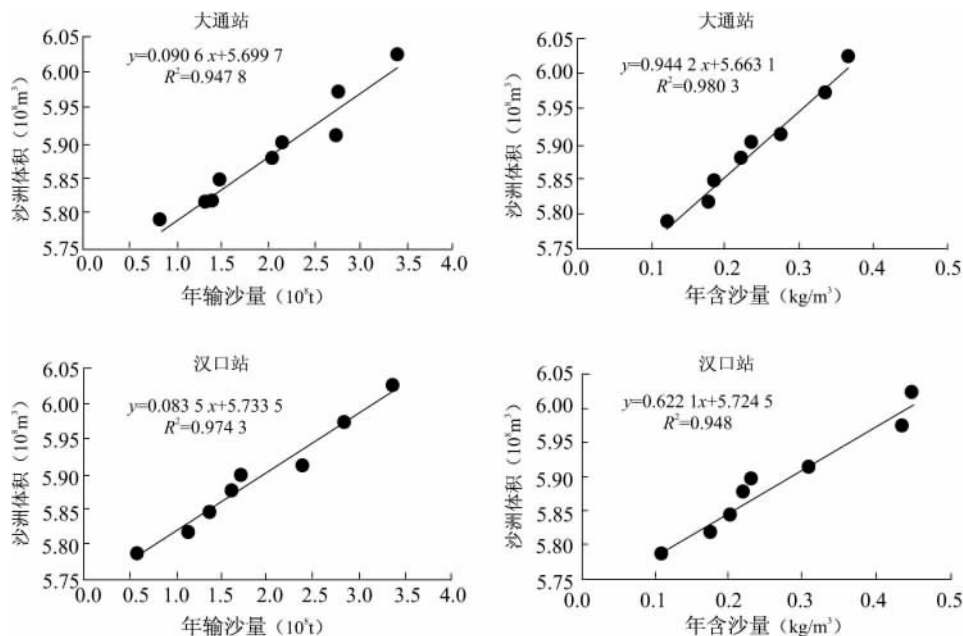


图 8 2001~2007 年大通、汉口站年输沙量、年均含沙量与-5m 等深线以上沙洲体积相关关系

Fig. 8 Relationship Between Volume of Sandbanks and Average Annual Sediment Volume and Sediment Concentration from Datong, Hankou Hydrological Station in 2001~2007

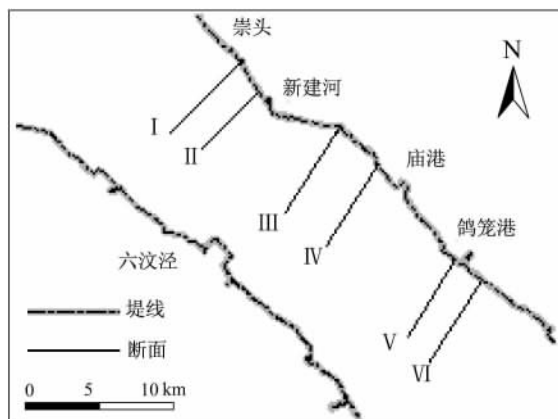


图 9 横断面示意图

Fig. 9 Sketch of Cross-sectional

I 断面在距起点 500 m 左右的地方出现一个深水槽,即为白茆沙北水道,北水道呈现萎缩,最深水深由 -25 m 萎缩至 -15 m, II 断面处北水道显示逐步刷深,最深水深由 1991 年的 -28 m 刷深至 2008 年的 -38 m, I 断面在 450~1 000 和 1 500~2 250 m 出现连续的淤积,因为 1991~2008 年间白

茆沙南北水道不断冲刷和沙头后退,使得沙洲后退和中高滩不断淤积,这与白茆沙质心的移动规律也是相吻合的。III 断面和 IV 断面横穿了东风沙的沙头与沙洲中央,距岸 2 000 m 范围内沙洲高滩区域基本处于不断淤积的状态,中段则不断冲刷,说明了东风沙逐渐地膨胀和迁移,这与表 2 的变化趋势是一致的。V 断面和 VI 断面除了距起点 250 m 处的深槽外,剖面形状基本上呈现“凸”字形,沿程的变化呈现出先淤积—冲刷—淤积的特点,这与扁担沙的不断下移是分不开的。

4 结论

基于滩涂水下地形数据建立数字高程模型,设计合理的数据组织方式将 GIS 技术运用于滩涂地形冲淤变化空间定量分析,对冲淤区域进行空间划分,最后通过冲淤量分区统计与冲淤分布图得到滩涂淤积与冲刷的变化量与具体空间位置,是定性和定量研究滩涂冲淤的一种有效手段。

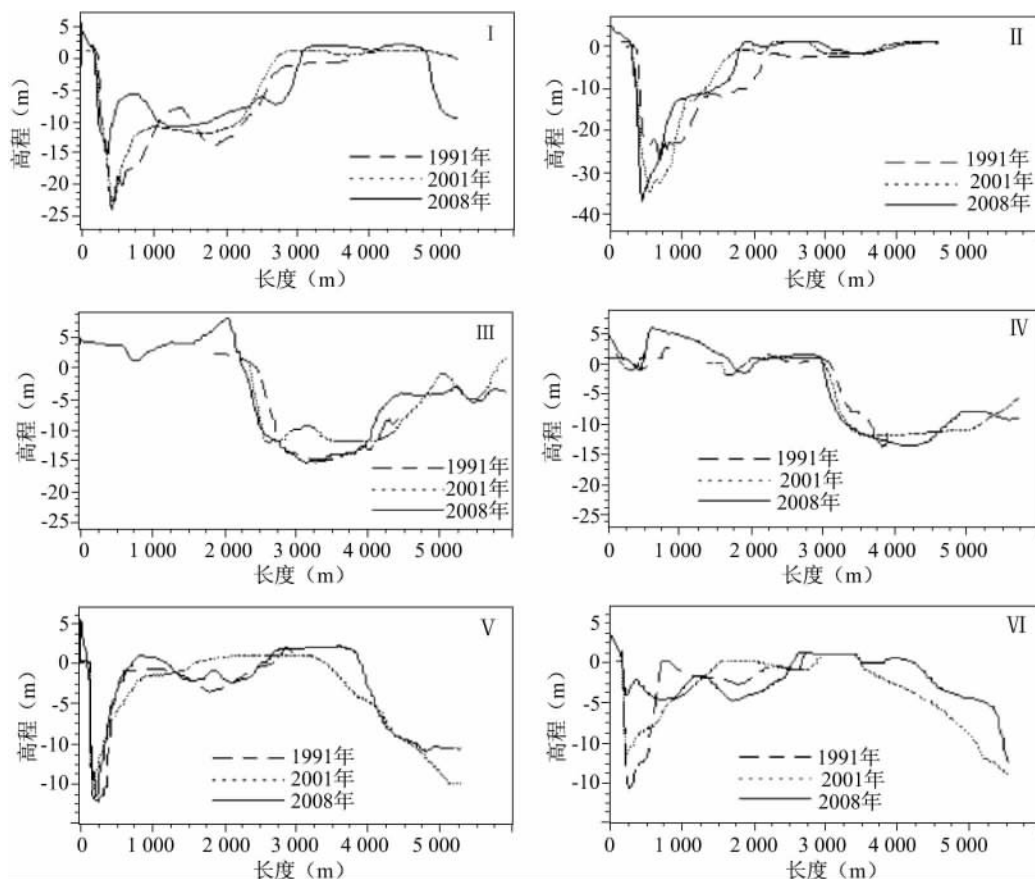


图 10 长江南支横断面变化图

Fig. 10 Cross-Sectional Variation of the Branch of the Yangtze River Estuary

据研究分析,崇明北沿是长江口滩涂淤积最严重的区域,2000~2008 年冲淤变化深度达 1.093 m,长江南支是近期冲刷最多的区域,2000~2008 年冲淤变化量达到-3.63 亿 m^3 。通过质心计算与剖面分析,长江南支主要沙洲的演变趋势是向东南方向移动,其中扁担沙在水平和垂直方向上移动的速率最快,达到 259.07 和 -278.83 m/a。2001~2007 年白茆沙、东风沙、扁担沙 3 个沙洲-5 m 等深线以上总体积的变化与长江入海泥沙年输移量以及年均含沙量变化相关关系良好,表明了长江入海泥沙年输移量以及年均含沙量变化是造成长江口江心沙洲冲淤演变的重要因素。

参考文献:

- [1] 张艳杰. 基于 GIS 的长江口北港冲淤演变规律的定量分析研究[J]. 海洋信息技术, 2003(2): 13~17.
- [2] 陈 荣, 张 鹰. 基于数字高程模型的长江口北港多年槽蓄量变化及可视化研究[J]. 水运工程, 2007, 3(3): 8~11.
- [3] 王 赋, 贺宝根. 基于 RS, GIS 的长江口冲积沙岛冲淤变化[J]. 上海师范大学学报, 2005, 34(3): 87~92.
- [4] 赵常青, 茅志昌, 虞志英, 等. 长江口崇明东滩冲淤演变分析[J]. 海洋湖沼通报, 2008(3): 27~34.
- [5] 左书华, 李九发, 时连强, 等. 基于 GIS 的长江河口没冒沙动态演变及稳定性分析[J]. 地理科学, 2007, 27(5): 701~706.
- [6] 张行南, 郭亨波, 倪 斐, 等. 滩涂数字地形模型的建模与应用[J]. 国土资源遥感, 2004(1): 73~77.
- [7] 虞志英, 楼 飞. 长江口南汇嘴近岸海床近期演变分析——兼论长江流域来沙量变化的影响[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 47~53.
- [8] 陈 立, 吴门伍, 张俊勇. 三峡工程蓄水运用对长江口径流来沙的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 50~54.
- [9] 恽才兴. 长江河口近期演变基本规律[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 119~140.
- [10] 邓吉秋. 基于 GIS 的目平湖泥沙冲淤变化空间定量分析[J]. 中南大学学报, 2007, 38(5): 1 000~1 006.
- [11] 胡红兵, 胡 刚, 胡光道. GIS 支持下长江口南支河道百年来的演变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(2): 23~29.
- [12] 张 东, 潘雪峰, 张 鹰. 基于可见光遥感测深技术的长江口南支河段河势演变规律研究[J]. 海洋学报, 2008, 30(2): 33~37.
- [13] 万正松, 闵凤阳, 张志林, 等. 长江口南支分流分沙比观测与分析[J]. 南京大学学报, 2009, 45(3): 416~422.
- [14] 时连强, 李九发, 应 铭, 等. 长江口没冒沙演变过程及其对水库工程的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4): 459~464.

ANALYSIS ON EROSION-DEPOSITION OF FORESHORE LANDFORMS OF THE YANGTZE RIVER ESTUARY

LIU Yang-yang¹, ZHANG Xing-nan¹, XU Shuang-quan², NI Fei²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Water Authority of Shanghai, Shanghai 200050, China)

Abstract: In order to obtain the evolution of erosion-deposition in the Yangtze River Estuary, the synthesizing analysis method based on the time series analysis of sediment quantity of scour-silt, correlation analysis of the amount of upstream sediment and sediment quantity of scour-silt, drift analysis of the middle sandbank and typical cross-section analysis was put forward using the data-processing and spatial analyzing of geographical information system (GIS). This synthesizing analysis method was targeted to the zoning of foreshore landforms and the middle sandbank of the Yangtze River Estuary, and quantitatively analyzed the change of erosion-deposition in different time periods. The year of 1991, 2001 and 2008 were selected to analyze the topographic evolution of the major sandbanks in the upside of south branch of the Yangtze River Estuary, based on the analysis of whole series of actually measured data. As a whole, in Chongming tidal flat, southern branch, southern channel, northern channel, Nanhui tidal flat and Jiudian sandbank, the erosion effect played a dominant role in the recent years. Deposition was the key trend in Chongming northern branch and Hengsha tidal flat. The erosion in southern branch of the Yangtze River Estuary was serious and the major sandbanks in southern branch were all moved to the southwest. It indicates that the change of annual sediment discharge and the annual suspended sediment concentration of the Yangtze River into the sea is one of the important factors in the evolution of erosion-deposition in the middle sandbanks of the Yangtze River Estuary.

Key words: foreshore landforms; erosion-deposition analysis; evolution of sandbank; the Yangtze River Estuary