

近半个世纪长江口九段沙湿地的冲淤演变

杨世伦¹, 杜景龙^{1,2}, 郜 昂¹, 李 鹏¹, 李 明¹, 赵华云¹

(1 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062 苏州科技学院城市与环境系, 江苏 苏州 215011)

摘要: 根据 1958~2004 年的系列地形图, 在地理信息系统软件 ArcGIS 2 的支持下, 探讨近半个世纪九段沙湿地演变过程。研究表明: 九段沙在长期的自然淤积过程中既具有趋势性的渐变, 又存在非趋势性的突变, 北槽深水航道工程改变了九段沙的自然冲淤模式, 使九段沙顶端至江亚南沙大片区域显著淤积, 工程后期, 淤积速率回落, 九段沙形态稳定。

关键词: 湿地; 九段沙; 冲淤演变; GIS 北槽深水航道工程; 长江口

中图分类号: P236.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2006)03-0335-05

湿地研究近年来受到更多重视^[1~5], 各种特色的湿地自然保护区相继成立^[6]。九段沙是国家和上海市近期规划的河口湿地自然保护区之一, 其北以长江口深水航道南导堤为界, 东、南、西三个方向以 6 m 等深线为界^[7], 现有面积 500 多 km² (图 1)。九段沙原是横沙东滩组成部分之一, 横沙东滩被长江口北槽穿沟切开后, 20 世纪 50 年代中期, 被切割出来的部分逐渐淤涨形成三个比较明显的水下阴沙, 这就是九段沙雏形。1954 年的特大洪水使 5 m 深槽贯穿整个穿沟形成北槽, 九段沙开始作为一个独立的沙体, 成为长江口第三代新生沙岛^[8]。九段沙不同于内陆湿地和一般滨海湿地之处在于: 四周都被波浪和潮流包围, 冲淤过程更加复杂多变。认识九段沙的冲淤历史有助于展望其今后的演变趋势, 从而有利于制定更加科学合理的管理规划。利用 3S (GIS, RS, GPS) 技术研究湿地的演变是湿地科学近期发展的方向之一^[9,10]。

1 资料与研究方法

收集 1958~2004 年多幅研究区地形图, 采用地理信息系统软件 ArcGIS 2 进行图形资料的数字化和高程数据录入、编辑和订正。由于各海图都缺乏 6 m 等深线, 我们采用 ArcGIS 2 三维分析模块, 利用 Kriging 插值技术建立不同时期 DEM 库,

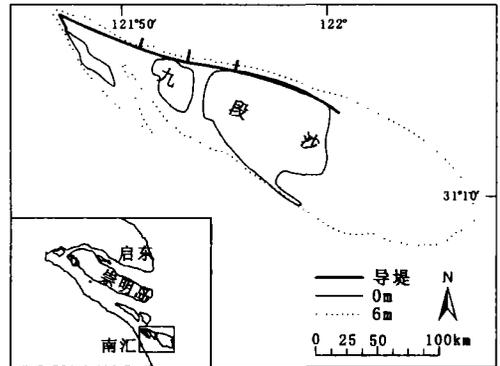


图 1 研究区示意图

Fig 1 Sketch of study area

再从 DEM 库中生成 6 m 等深线, 通过 0 m 和 5 m 线验证, 证明该方法对大比例尺地形图生成的等深线精度很高, 而小比例尺地形图由于数据点较稀疏, 该方法不适用 (故有些年份缺乏 6 m 线数据)。面积和距离的计算采用 ArcGIS 2 提供的空间分析模块进行量算, 等深线形态变化采用图层的配准和叠加技术进行定量、定性分析。

2 研究结果

形成之初的九段沙形状很不规则, 沙头很尖, 沙尾发育两条指状涨潮槽 (5 m 线), 0 m 线将九段沙分为九段上沙、九段中沙和九段下沙三个沙体,

收稿日期: 2005-04-14 修订日期: 2005-10-22

基金项目: 上海市重大攻关项目“上海市九段沙湿地生态系统保护和修复技术及其效应”子课题“九段沙湿地的动态监测效应评价及后备土地资源的科学利用”(04DZ19305)、国家自然科学基金(40570043)项目、国家重大基础研究发展规划(973)项目课题(2002CB412407)资助。

作者简介: 杨世伦(1954-), 男, 四川乐山人, 博士, 博士生导师, 从事河口海岸环境研究。E-mail: shyang@sklec.ecnu.edu.cn

其中上沙和中沙距离较为接近,呈东西排列,下沙位于东南方向,上、中、下沙的 2 m 等深线已基本连成一片(图 2)。

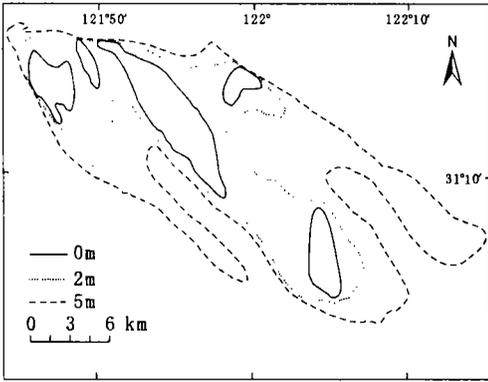


图 2 1961年的九段沙
Fig 2 Jiuduansha in 1961

进入 20 世纪 70 年代,九段沙基本成型,位置相对稳定,0 m 线以上沙体面积增长很快,1961 年 0 m 线以上的沙体面积只有 36.32 km²,到 1978 年则增加到 75.6 km²,面积增长 1 倍多,致使中、下沙逐渐连为一片,其与九段上沙间仅有一条狭窄的潮汐通道相隔(图 3),由于受南槽涨潮流和北槽落潮流的共同作用,该通道尽管轮廓和宽度不断变化,仍保持畅通状态,只是近年受北槽深水航道工程的影响,槽内淤积强烈,2 m 线退至其南端。在发生 0 m 线并沙的过程中,下段 5 m 和 6 m 线轮廓也发生了一定变化:在向外淤涨的过程中,5 m 线尾部的指状涨潮槽消失;6 m 线增幅较大,1961~1981 年,其长度增加 2.2 km,宽度增长 0.5 km 左右,面积增长约 50 km²。

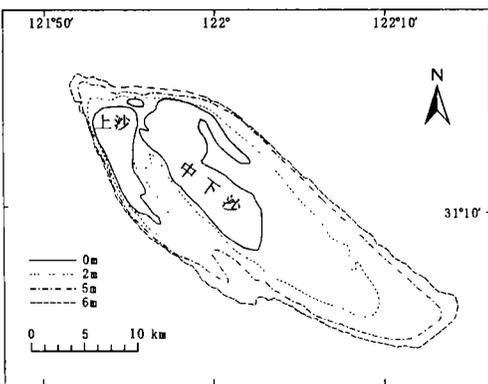


图 3 1978年的九段沙
Fig 3 Jiuduansha in 1978

槽上段改道,江亚南沙被切割下来的部分并入九段沙上沙头,使九段沙长度和形状都发生质的变化:6 m 线的最大长度由 1989 年的 38.2 km 增加到 1995 年的 52.2 m,使南北槽分流口上移约 10 km,在此阶段,虽然九段沙下段继续淤长扩大,但形状无明显变化;6 m 线的宽度略有增加,但幅度不大(约 200 m)。江亚南沙的并滩改变了九段沙系统组成,使江亚南沙正式成为九段沙系统新成员。

1995 年以来,九段沙下段仍保持稳定形态,而顶端轮廓却发生很大变化:江亚南沙 0 m 线的增肥及九段上沙的西进致使两者之间的窄沟几乎封闭,5 m 线南缩,1995 年尚处于分离状态的 2 m 线到 2004 年已基本连为一体(图 4、5)。介于九段上沙和中下沙之间的纵向窄沟是贯通南北槽的重要水沙通道,1995 年以来也发生了强烈的淤积,1995 年其平均水深 3.89 m,到 2000 年只有 1.68 m。

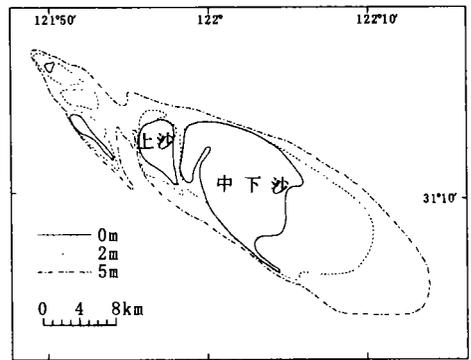


图 4 1995年的九段沙
Fig 4 Jiuduansha in 1995

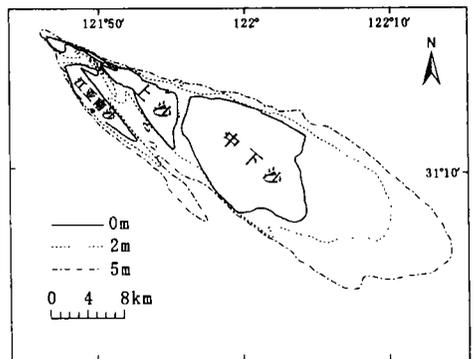


图 5 2004年的九段沙
Fig 5 Jiuduansha in 2004

表 1 计算出 1961~2004 年九段沙 6 m 等深线长度、宽度,宽长比变化基本代表九段沙 6 m 等深线轮廓变化:(1) 1961~1978 年长度增加 2.3 km,

1986~1992 年间,发生了江亚南沙切滩和南

表 1 九段沙 6m 等深线包围区域的最大长度和宽度的时间变化

Table 1 Temporal changes in maximum length and width of the area surrounded by the 6m isobath

年份(年)	1961	1978	1981	1984	1989	1995	2000	2004
长(km)	37	39.3	39.8	39.1	38.2	52.23	52.54	53.34
宽(km)	11.5	11.5	12.0	12.52	12.39	12.63	14.01	14.31
宽长比	0.31	0.29	0.30	0.32	0.32	0.24	0.27	0.27

宽度保持不变, 宽长比降低 2 个百分点, 九段沙变“瘦”; (2) 1978~1989 年, 长度有一定波动, 变化不大, 宽度增加近 1 km, 宽长比增加 3 个百分点, 九段沙变“胖”; (3) 1989~1995 年, 长度显著增加, 从 1989 年 38.2 km 上升到 1995 年 52.23 km, 增加 14 km, 宽度变化不大, 宽长比下降 8 个百分点; (4) 1995~2004 年, 总长度变化不大, 宽度在头 5 年变化较大, 增加 1.38 km, 最近几年宽长比较稳定, 表明九段沙轮廓没有发生大的变化。

在 GIS 软件支持下, 我们计算出九段沙各沙带面积的历年变化(表 2), 可以看出, 九段沙形成以来总体处于淤长过程。0 m 线以上面积由形成之初 1958 年的 32 km² 上升到 2004 年的 150.1 km², 总面积增长近 4 倍。各时期冲淤情形又有所不同: 1971 年以前处于形成初期不稳定与平衡的调整期, 面积变化有一定波动性; 1978~1989 年为局部冲淤调整, 面积变化比较平稳, 从 1978 年的 75.62 km² 上升到 1989 年的 80.2 km², 增长速率为 0.416 km²/a。20 世纪 90 年代以来出现两次快速增长, 一次在 20 世纪 90 年代初, 另一次发生在 90 年代末; 2000 年以来, 面积变化不大, 增长速率约 0.46 km²/a 与 20 世纪 80 年代增长水平相当。

与 0 m 线相比, 2.5 和 6 m 线面积形成以来一直平稳增长, 只在 20 世纪 90 年代初期出现一次快速增长(图 6): 1989 年 2.5、6 m 线面积分别为 205.45、315.63 和 379.0 km², 1995 年则上升到 244.79、404.28 和 482.80 km², 分别增长 39.34、88.65 和 103.8 km²。2m 和 5m 等深线以上面积 50 年来增长近 2 倍, 低于 0 m 线增长速率(6 m 线增长速率可能更低)。至 1999 年 6 m 等深线内湿地面积已经达 492 km², 这一湿地资源对保持长江口区生物多样性起重要作用, 同时九段沙滩地的稳定对南北槽航道的保持和维护有深刻影响。

3 讨论

1) 长江来水来沙是九段沙淤积扩大的物质基础。九段沙自形成以来面积不断扩大, 面积

表 2 九段沙各等深线所包围的面积的时间变化

Table 2 Temporal changes in areas surrounded by different isobaths in Jiuduansha

年代	0 m 线所围	2 m 线所围	5 m 线所围	6 m 线所围
	面积(km ²)	面积(km ²)	面积(km ²)	面积(km ²)
1958	32	87	156	230
1961	36.32	92.00	180	264.00
1965	29	130	227.00	303.73
1971	55	160	258	309
1978	75.62	176.32	271.77	311.25
1981	72.69	179.33	276.52	314.77
1984	81.40	194.00	299.80	351.53
1989	80.2	205.45	315.63	379.0
1995	121.96	244.79	404.28	482.80
1999	132.19	263.76	399.09	492.0
2000	148.26	269.34	425.64	525
2004	150.1	275.62	432.42	532

注: 1) 表 2 中 0、2、5 m 线内的面积由地形图等深线数字化得到, 6 m 线内面积通过数字化点图经插值获得; 2) 带下划线的数字是通过其它年份数据经合理的分析计算得到。

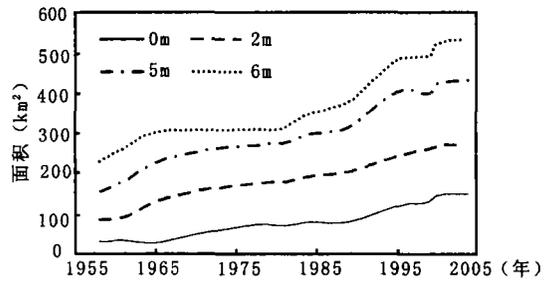


图 6 九段沙不同等深线以上面积的时间变化

Fig 6 Temporal change in areas surrounded by different isobaths in Jiuduansha

(0 m) 自形成之初的 32 km² 增加到目前的 150 km²。表 3 列出大通站历年的输沙量与九段沙 0 m 线淤积速率关系, 1961~1970 年大通站年输沙量 5.13 × 10⁸ t 同期九段沙 0 m 线的面积淤积速率为 1.868 km²/a。1971~1990 年, 大通站年输沙量为 4.26 × 10⁸ t 同期九段沙 0 m 线面积的淤积速率为 1.354 km²/a 输沙量与淤积速率呈正相关^[11-12]。90 年代以来, 长江输沙量虽然减少到 3.37 × 10⁸ t 但淤积速率却比前两个年代高出很多, 主要是受 20 世纪 90 年代初江亚南沙并滩和 90 年代末北槽深水航道工程的影响。

表 3 不同时段的大通站输沙率和九段沙 (0 m) 淤积速率

年份(年)	1961~1970	1971~1990	1991~2000
输沙率 (10^8 t/a)	5.13	4.26	3.37
淤积速率 (km^2/a)	1.868	1.354	6.189
备注	受江亚南沙并沙和北槽深水航道工程南导堤影响		

2) 长江口南北槽分水、分沙的变化对九段沙冲淤的影响。1985年以前,九段沙基本上是南淤北冲,5 m线向南摆动,1965~1985年20年内5 m线平均向东南整体移动约1.5 km,致使南槽萎缩,北槽扩展;1985年以后,九段沙5 m线没有发生明显的摆动,只是其下段明显淤大,至2004年,5 m线向南北两侧分别扩展了约1.5 km,向海一侧最大推移距离约4 km。造成这种摆动的原因可能和南北槽分水、分沙变化有关:1964~1983年,北槽的分水、分沙比明显高于南槽,约占68%,1983年以后,南北槽的分水、分沙比较接近^[13~15]。

3) 上游沙体的下移和并沙是九段沙面积突增的重要因素之一。1986~1992年间,江亚南沙切滩并入九段沙上沙头,使南北槽分流口上移约为10 km,1989~1995年6 m线长度增加14 km,宽度没有明显变化^[16]。此时,沙体面积也发生了很大的变化,0.2~5和-6 m线的面积分别增加了21.76、59.34、88.65和103.80 km^2 。江亚南沙的并入改变了九段沙系统的组成。

表 4 九段沙不同分区 0 m 以上面积 (km^2) 和淤积速率 (km^2/a) 的时间变化Table 4 Areas above 0 m isobath (km^2) and accretion rates (km^2/a) in different parts of Jiuduansha

年代	中下沙		上沙		江亚南沙		累计	
	面积	淤积速率	面积	淤积速率	面积	淤积速率	面积	淤积速率
1995	100.81		16.56		4.46		121.83	
1999	108.33	1.88	15.94	-0.16	7.92	0.87	132.19	2.59
2000	112.03	3.7	22.38	6.44	13.85	5.93	148.26	16.07
2004	112.09	0.015	26.37	1.00	15.6	0.44	150.1	0.46

5) 长江三峡工程使长江的来沙量减少,可能会增加九段沙遭受冲刷的几率。如前所述,长江泥沙是九段沙形成和淤长的物质基础,半个世纪以来长江平均输沙率为 4.32×10^8 t/a(大通站),三峡工程前后50年大通站平均输沙率将下降到 2.0×10^8 t/a^[16],输沙率的大幅度下降至少会降低九段沙的淤积速率。同时海平面上升和上海地区的地

4) 北槽深水航道工程改变了九段沙自然冲淤模式,使九段沙串沟的淤积速度加快。从形成至北槽深水航道工程建设(1999年)之前,九段沙一直处于自然冲淤,除江亚南沙并滩产生较大面积和轮廓突变外,其它年份变化较平稳^[17]。深水航道南导堤修建在九段沙北缘,一期工程西起江亚南沙顶端,东至九段沙中下沙的上部,全长约15 km,于1999年9月完工。深水航道工程的建设改变了该地区水动力条件,削弱了九段沙与北槽水沙交换,涨潮流受南导堤的阻挡,动力减弱,泥沙滞留和淤积在堤坝的南缘,使江亚南沙和九段沙上沙发生强烈淤积。表4中,工程前1995~1999年,各沙洲淤积速率都不高,上沙还出现微弱冲刷;1999~2000年受工程影响,淤积明显加快,尤其上沙和江亚南沙一年内各淤涨6.44 km^2 和5.93 km^2 ,江亚南沙和九段上沙0 m线间的距离只有600 m左右,两者间的2 m线已为一体(图4)。2000~2004年九段沙在新动力条件下处于大淤后的恢复和调整期,淤积速率明显下降,只有0.46 km^2/a 低于工程前的2.59 km^2/a 。九段沙上沙头的移动规律也体现了工程影响:九段沙自形成以来,受落潮流的影响沙头持续后退,如1973~1992年,沙头下移(东南方向)0.9 km,1989~1995年下移0.64 km;而受深水航道工程的影响,1999~2000年九段沙上沙头上移(西北方向)1.6 km,并在其西侧又淤积出一个面积为1.79 km^2 的小沙洲,可以预测,在未来几年内,随着淤积的继续,这两个小沙洲将连为一体并将继续向西推进^[18]。

面沉降将会使冲刷几率增加,但是否会发生冲刷还取决于其它条件,如海洋动力条件以及北槽深水航道工程等的综合影响,有待今后的监测研究。

4 结 语

九段沙的形成和演变历史反映出了自然与人为因素的共同作用。在自然演变过程中,九段沙既

具有趋势性的渐变,又存在非趋势性的突变,前者诸如沙洲面积的增大、沙头的持续后退和沙尾的逐渐淤涨,而江亚南沙并入造成的面积及形状的急剧变化及南北槽分水分沙比的变化造成的沙洲南北摆动则属于后者。北槽深水航道工程是对九段沙冲淤具有重大影响的事件,一期工程对九段沙上沙和江亚南沙的深刻影响已经得到证实,对于二、三期工程的建设及其可能对九段沙产生的影响需进一步的观测和研究。

参考文献:

- [1] R Costanza, R Arge, R Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387**: 253–260
- [2] 张峰,周维芝,张坤. 湿地生态系统的服务功益及可持续利用 [J]. *地理科学*, 2003 **23**(6): 674–679
- [3] 杨永兴,黄锡畴,王世岩,等. 西辽河平原东部沼泽发育与中全新世早期以来古环境演变 [J]. *地理科学*, 2001 **21**(3): 242–249
- [4] 崔保山,刘兴士. 黄河三角洲湿地生态特征变化及可持续性管理对策 [J]. *地理科学*, 2001 **21**(3): 250–258
- [5] 刘子刚. 湿地生态系统碳储存和温室气体排放研究 [J]. *地理科学*, 2004 **24**(5): 634–639
- [6] 张明祥,董瑜. 双台河口自然保护区滨海湿地景观变化及其管理对策研究 [J]. *地理科学*, 2002 **22**(1): 119–122
- [7] 陈家宽,马志军,李博,等. 上海九段沙湿地自然保护区科学考察集 [M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [8] 杨世伦,贺松林,谢文辉. 长江口九段沙的形成演变及其与南北槽发育的关系 [J]. *海洋工程*, 1998, **16**(4): 55–65
- [9] Sader S A. Accuracy of landsat-TM and GRS rule-based methods for forest wetlands classification in Maine [J]. *Remote Sensing Environment*, 1995, **3**: 133–144.
- [10] 汪爱华,张树清,何艳芬. RS和GIS支持下的三江平原沼泽湿地动态变化研究 [J]. *地理科学*, 2002 **22**(5): 636–640
- [11] Yang Shihun, Ding Pingxing, Chen Shenliang. Changes in progradation rate of the tidal flats at mouth of the Changjiang (Yangtze) River China [J]. *Geomorphology*, 2001, **38**: 167–180
- [12] Fan Shenjun, Yu Zhiying. The dynamic process and erosion-deposition pattern of tidal flat—a case as Lianyungang tidal flat [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1997, **19**(3): 67–85
- [13] 陈吉余,恽才兴,徐海根,等. 两千年来长江河口的发育模式 [J]. *海洋学报*, 1979, **1**(1): 103–111
- [14] 沈焕庭,李九发,金元欢. 河口涨潮槽的演变及治理 [J]. *海洋与湖沼*, 1995 **26**(1): 85–89.
- [15] 恽才兴. 长江河口潮流冲淤和滩槽泥沙交换 [J]. *泥沙研究*, 1983 (4): 43–52
- [16] Yang Shihun, Zhao Qingying, Igor M. Belkin. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities [J]. *Journal of Hydrology*, 2002, **263**: 56–71.
- [17] 沈金山,朱金妹,张新琴. 长江口拦门沙的成因和演变 [J]. *海洋与湖沼*, 1983 **14**(6): 582–590.
- [18] 杜景龙,杨世伦,张文祥,等. 长江口北槽深水航道工程对九段沙冲淤影响研究 [J]. *海洋工程*, 2005 **23**(3): 71–76

Evolution of Jiuduansha Wetland in the Changjiang River Estuary During the Last 50 Years

YANG Shi-Lun, DU Jing-Long, GAO Ang, LI Peng, LIM ing, ZHAO Hua-Yun

(State Key Laboratory of Estuarine & Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract Based on the topographic maps dated from 1958 to 2004, supported by the GIS software ArcGIS 8.2, the paper mainly deals with the evolution of the Jiuduansha tidal island. The result shows that there have been two basic types of change during the long course of natural siltation and erosion: continuous change and periodic change. The former includes broadness of the island area, down stream migration of the head of tidal island and continuous siltation of the tail of tidal island. The latter includes the tidal island swaying south. On the other hand, the deep-water channel project at north passage of the Changjiang River changed the natural siltation pattern of Jiuduansha tidal island. A very large area from the head of Jiuduansha to Jiangyanan tidal island was silted greatly. The speed of accumulation declined and the shape of Jiuduansha tidal island leveled off after the project.

Key words wetland, Jiuduansha, GIS, morphological evolution, Changjiang River Estuary, Deep Channel Project