

# 基于遥感和 GIS 的现代黄河三角洲岸线变迁及发育演变研究

薛允传<sup>1</sup>, 马圣媛<sup>1</sup>, 周成虎<sup>2</sup>

(1. 青岛市气象局, 山东 青岛 266003; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**收集了 1976~2000 年现代黄河三角洲地区的 Landsat 影像, 采用平均高潮线法解译出 25 a 来的海岸线, 分析了现代黄河三角洲地区的岸线长度变化, 迁移特征以及河口三角洲的时空发育规律。结果表明: 现代黄河三角洲地区岸线变迁可以分为三部分: 北部、中部和南部, 其中中部是变化最剧烈的岸段。根据河道摆动规律和三角洲的延伸方向, 现代黄河三角洲的发育可以分为四个阶段: 填湾阶段(1976~1981 年)、中部突出阶段(1981~1983 年)、东南方向突出和鸟嘴状沙嘴形成阶段(1983~1996 年)、河流改道和新沙嘴形成阶段(1996~2000 年), 四个阶段共淤积造陆 378.2 km<sup>2</sup>, 侵蚀 49.3 km<sup>2</sup>, 净增长 328.9 km<sup>2</sup>。此研究结果对于认识现代黄河三角洲的时空发育演变具有一定的意义。

**关键词:** 黄河三角洲; 海岸线变迁; 遥感; GIS

**中图分类号:** P512.32

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3096(2009)05-0036-05

河口三角洲作为“河道—海湾—三角洲”体系的重要组成部分, 位于河流入海的河口地区, 是海洋过程与河流过程复杂交互作用的产物, 其生长发育取决于多种因素。黄河是我国的第二大河, 也是举世闻名的万里巨川, 每年径流量为  $419 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 输沙量为  $10.6 \times 10^8 \text{ t}^{[1]}$ , 是世界上含沙量最高的河流; 同时黄河口为弱潮河口, 极高含沙径流和弱潮的作用, 使黄河口成为一个独特的河口, 其淤积速率和三角洲延伸速度均居世界前茅。1976 年 5 月 25 日黄河在西河口人工破堤改道清水沟流路以来, 黄河开始了新一轮的淤进。

黄河三角洲的发育进行研究<sup>[2~6]</sup>。卫星遥感信息在资料来源、重复观察、覆盖面广、费用低等方面具有许多优越性, 广泛应用于海岸动态监测。在黄河三角洲地区的应用也有一些研究出现<sup>[7~10]</sup>。本研究在收集 1976 年以来长时间系列的遥感卫星影像基础上, 在 GIS 的支持下重点分析 1976 年黄河人工改道后形成的亚三角洲的岸线变迁以及冲淤演化规律(图 1)。

## 1 数据与方法

本研究收集了 1976 年到 2000 年黄河三角洲地区的 Landsat MSS 和 TM 影像数据(表 1)。实验用 ERDAS 图像处理软件对影像数据进行了增强等处理, 并以黄河三角洲地区 1:50 000 的地形图作为主控图件进行影像配准。采用自动提取和目视解译相结合的方法提取平均高潮线(干/湿线)作为海岸线, 为提高解译精度, 同时参照实地潮滩调查的地貌特征线, 植被情况以及沉积物特征等数据。所有空间数据的管理和分析都在 ArcGIS 地理信息系统软件中进行。

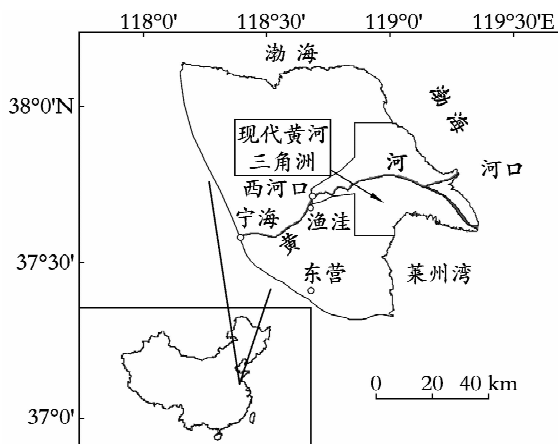


图 1 研究区域位置

Fig. 1 The study area

很多学者从流路演化和泥沙输运角度对现代

收稿日期: 2005-08-01; 修回日期: 2009-03-11

作者简介: 薛允传(1974-), 男, 山东临沂人, 高级工程师, 博士, 研究方向为海洋地理信息系统, 电话: 0532-82799938, E-mail: ycxue@qingdao.gov.cn

表 1 遥感影像数据

Tab. 1 Remote sensing images

| 影像类型             | 时间(年-月-日)                                   |
|------------------|---------------------------------------------|
| MSS              |                                             |
| 4 个波段            | 1976-12-01 1977-05-10 1981-11-21 1983-10-27 |
| 80 m 分辨率         |                                             |
| TM               | 1984-10-05 1985-03-04 1986-06-05 1987-05-07 |
| 6 个波段            | 1988-12-03 1989-02-13 1991-01-26 1992-04-02 |
| 30 m 分辨率         | 1993-10-30 1994-02-19 1995-03-10 1996-05-31 |
|                  | 1997-10-09 1998-05-05 1999-06-25            |
| ETM <sup>+</sup> |                                             |
| 6 个波段            |                                             |
| 30 m 分辨率         | 2000-05-02                                  |
| 波段和一个            |                                             |
| 15 m 分辨率         |                                             |
| 的全色波段            |                                             |

2 结果

2.1 岸线长度演化

随着现在黄河三角洲(图 1)的不断发育,海岸线的长度也不断增加(图 2)。1976 年 12 月 1 日,海岸线长度为 51.2 km,到 2000 年 5 月 2 日已经增长到了 106.3 km,增长了一倍多。从 1981 年到 1985 年岸线长度增长迅速,主要有两个原因:一是从 1981 年开始三角洲迅速向海延伸;二是随着黄河入海口逐渐向南、东南偏移,在三角洲的北部海岸受到剧烈侵蚀,岸线变得曲折。从 1985 年开始,随着在北部地区修建防潮堤,岸线平稳增长,但是也有一些小波动,出现岸线长度波动的主要原因有两个:一是黄河年际来水来沙的不均匀,是主要原因;二是由于遥感影像的时相不同形成的解译误差。

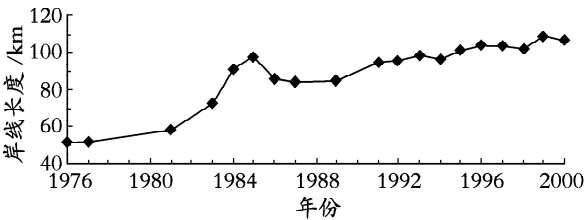


图 2 现代黄河三角洲岸线长度变化

Fig. 2 Shoreline Length changes of the modern Yellow River Delta

2.2 岸线变迁

根据海岸线的演化特点,将现代黄河三角洲岸线分为三部分:北部、中部和南部(图 3)。北部:1976 年到 1983 年岸线迅速向海推进约 5 km。在接下来的两年里,由于黄河逐渐向南偏转,这一地区失去了沉积物供应,岸线迅速侵蚀后退平均达 2 km。之后由于防潮堤的修建,岸线保持稳定至今。在南部,岸线侵蚀和后退的幅度都不大,基本保持动态平衡。中部岸线是变化最剧烈的区域,1976 年到 1983 年沿正东方向向海推进约 7 km,平均 1 km/a。1984 年到 1996 年,随着黄河逐渐向东南偏转,岸线沿东南方向伸入莱州湾约 14 km,平均 1.2 km/a。由于 1996 年 6 月 2 日的在清 8 断面附近的人工改道,黄河向东北方向注入渤海,到 2000 年,一个长约 6.5 km 的小沙嘴已经形成,同时由于失去了沉积物供应,废弃沙嘴被侵蚀了约 2 km。

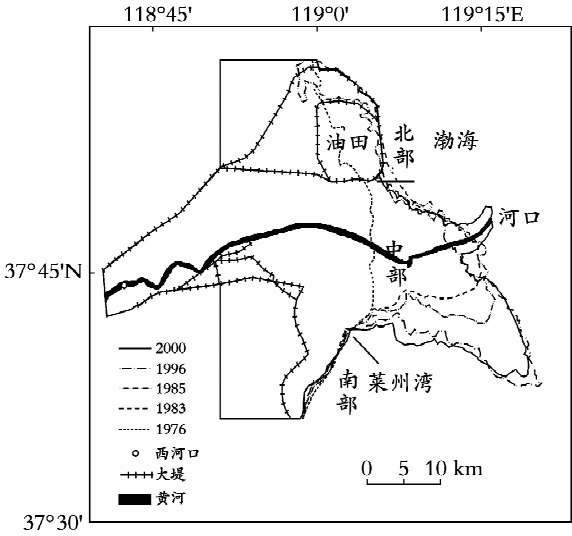


图 3 现代黄河三角洲岸线变迁

Fig. 3 Shoreline migrations of the modern Yellow River Delta

2.3 三角洲时空发育格局

从 1976 年 12 月 1 日到 2000 年 5 月 2 日,共淤积造陆 378.2 km<sup>2</sup>,侵蚀面积仅 49.3 km<sup>2</sup>,净增长 328.9 km<sup>2</sup>。黄河于 1976 年 5 月 25 日在西河口改道,而本研究中的第一幅影像的成像时间为 1976 年 12 月 1 日的,在这段时间内约 100 km<sup>2</sup>的海湾淤积成陆<sup>[7]</sup>,如果将此增长面积也计算在内,净增面积 428.9 km<sup>2</sup>,平均 18.3 km<sup>2</sup>/a。根据河道的摆动规律和三角洲的延伸方向,现代黄河三角洲的发育过程可以分为如下四个阶段:(1)填

湾阶段(1976~1981 年),改道初期河流散乱,河无定槽,并多心滩,小幅改道时有发生。五年来的河道摆动和填湾造陆演变可分为三个阶段<sup>[10]</sup>: 1976 年 6 月到 1978 年 8 月为中南部和中北部填湾摆动造陆期;1978 年 8 月到 1979 年 7 月为北部填湾摆动造陆期;1979 年 7 月到 1981 年 6 月为南部填湾摆动造陆期。1979 年汛期开始,河道由北向南摆动了 30 km,这是填湾阶段最大幅度的一次摆动。经这次摆动之后,河道变得顺直、通畅。本阶段新造陆地 152.3 km<sup>2</sup>,侵蚀 9.0 km<sup>2</sup>,净增长面积 143.3 km<sup>2</sup>(图 4a)。如果把 1976 年汛期到年底这段时间的淤积面积约 100 km<sup>2</sup> 算在内,共造陆 243.3 km<sup>2</sup>,年均 48.7 km<sup>2</sup>/a。(2) 中部突出阶段(1981~1983 年),这段时期内,黄河入海口在河口附近小幅摆动,上部河道保持稳定。1981 年黄河东向注入渤海,1982 年入海口又转向东北方向,在 1983 年汛期转向东南方向。本阶段整个岸段几乎全部增

长,新造陆面积 72.1 km<sup>2</sup>,仅仅侵蚀 1.0 km<sup>2</sup>,年均造陆面积 35.6 km<sup>2</sup>/a(图 4b)。(3) 东南向延伸和鸟嘴状沙嘴形成阶段(1983~1996 年),1983 年汛期过后,黄河入海口转向东南方向注入莱州湾,之后在科氏力的作用下不断向东南偏转,到 1996 年河流入海口方向正好为东南方向,一个巨大的鸟嘴状沙嘴已经形成。在这段时间内随着沙嘴逐渐向海延伸,其前端的海洋动力越来越强,大量入海泥沙被携带扩散到外海,淤积造陆速度明显变慢。共造陆 117.1 km<sup>2</sup>,同时有 26.2 km<sup>2</sup> 的陆地被侵蚀(图 4c),净增加面积为 90.9 km<sup>2</sup>,平均 7.0 km<sup>2</sup>/a。(4) 河流改道和新沙嘴形成阶段(1996~2000 年),1996 年 6 月 2 日,黄河在入海口上游约 21 km 处清 8 断面附近人工改道向东北方向注入渤海,一个小型的鸟嘴状沙嘴已经形成,这段时间内新增造陆面积 36.7 km<sup>2</sup>,13.1 km<sup>2</sup> 被侵蚀,净增长 23.6 km<sup>2</sup>,平均增长速度为 5.9 km<sup>2</sup>/a(图 4d)。

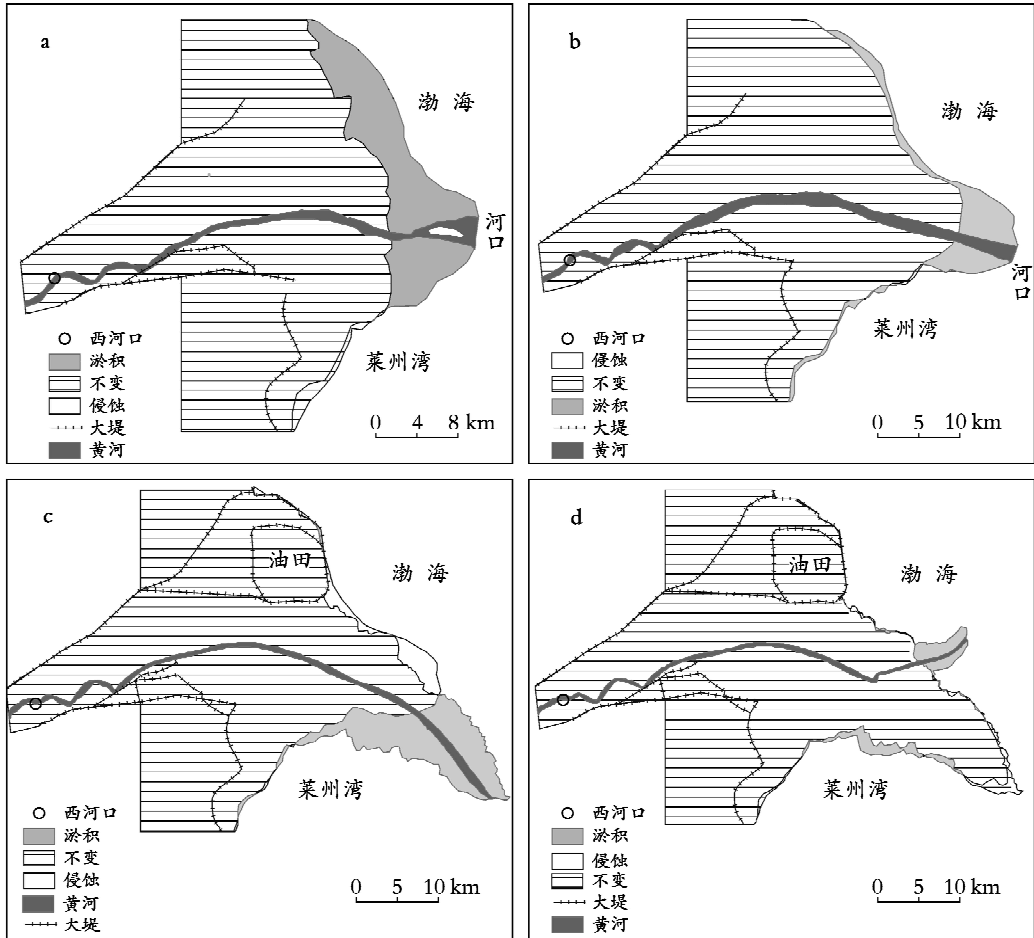


图 4 现代黄河三角洲时空演化模式

Fig. 4 Changes of the modern Yellow River Delta

a. 1976-12-01~1981-11-21; b. 1981-11-21~1983-10-27; c. 1983-10-27~1996-05-31; d. 1996-05-31~2000-05-02

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

众所周知黄河是世界上含沙量最高的河流,黄河三角洲的发育演化十分迅速,航空照片和地形图的更新速度和频率远远不能满足研究的需要。卫星遥感影像就成为恢复、监测黄河三角洲地区较长时间海岸线演化的重要数据源,在本研究中采用 25 年的 Landsat 影像,其误差主要来自遥感影像和海岸线的解译方法两个方面,下面分别加以讨论。

相对于地形图、航空像片以及实测海滩剖面卫星影像的分辨率较低,Prabhakara Rao 等<sup>[11]</sup>研究发现在印度的 Kerala 海岸,只有较长时间(通常为几年)的海岸线变化才能在 Landsat 影像上分辨出来。同时本研究中使用 Landsat 影像的分辨率有 30 m 和 80 m 两种,把这两种影像的解译结果放在一起分析,也会带来一定的误差。

用遥感影像解译海岸线一般有三种方法:理论低潮线法,平均高潮线法和同潮位法,受条件的限制,在本研究中采用高潮线法,虽然能够比较容易地从影像上解译出来,但平均高潮线随着季节和潮汐的变化而发生变化<sup>[12]</sup>。Smith 等<sup>[13]</sup>研究发现在墨西哥湾长岛南部海滩(潮差为 0.9 m,海滩坡度为 5.5°)在 13 个月的时间内平均高潮线位置变化达在 20 m。同时平均高潮线也随着潮周期、潮差、海岸坡度、海滩沉积物粒度、风以及波浪高度等不断地发生变化<sup>[14]</sup>。理想的方法是尽量收集相同季节的影像数据,但在本研究中所用的遥感影像几乎是一年四季都有,这方面的误差肯定存在,但在黄河三角洲地区这个误差有多大,这方面的研究在还未见报道,需要进一步研究。

#### 3.2 结论

虽然用卫星影像研究海岸线变迁有一定的误差,但对黄河三角洲地区而言,河口每年平均向海推进达 1 km<sup>[15]</sup>,用这种方法研究分析其岸线变化趋势和规律是完全可行的。研究结果表明:现代黄河三角洲地区岸线变迁可以分为三部分:在北部,1976 年到 1983 年,向海推进约 5 km,在接下来的两年里又侵蚀后退 2 km,然后由于防潮堤的修建,岸线一直保持稳定;在南部,过去的 25 年里总的来说变化不大;中部是变化最剧烈的岸段,1976 年到 1983 年向海推进约 7 km,1984 年到 1996 岸线向东南方向伸入莱州湾约 14 km,随着 1996 年的人工改道,一个长约 6.5 km 的小型鸟嘴状沙嘴已经形成,同时废弃沙嘴

被侵蚀后退约 2 km。根据河道摆动规律和三角洲的延伸方向,现代黄河三角洲的发育可以分为四个阶段:(1) 填湾阶段(1976~1981 年),共造陆 243.3 km<sup>2</sup>,年均 48.7 km<sup>2</sup>;(2) 中部突出阶段(1981~1983 年),新造陆面积 72.1 km<sup>2</sup>,仅侵蚀 1.0 km<sup>2</sup>,年均造陆面积 35.6 km<sup>2</sup>;(3) 东南方向突出和鸟嘴状沙嘴形成阶段(1983~1996 年),共造陆 117.1 km<sup>2</sup>,同时有 26.2 km<sup>2</sup> 被侵蚀,净增加面积为 90.9 km<sup>2</sup>,年平均 7.0 km<sup>2</sup>;(4) 河流改道和新沙嘴形成阶段(1996~2000 年),这段时间内新增造陆面积 36.7 km<sup>2</sup>,13.1 km<sup>2</sup> 被侵蚀,净增长 23.6 km<sup>2</sup>,年平均为 5.9 km<sup>2</sup>。

#### 参考文献:

- [1] Ren M E, Shi Y L. Sediment discharge of the Yellow River (China) and its effect on the sedimentation of the Bohai and the Yellow Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 1986, 6: 785.
- [2] 庞家珍,姜明星,李福林. 黄河口径流、泥沙海岸线变化及其发展趋势 [J]. 海洋湖沼通报, 2000, 4: 1-6.
- [3] 庞家珍. 河口演变及对黄河下游的影响 [A]. 庞家珍. 黄河泥沙 [C]. 郑州:黄河水利出版社, 1996.
- [4] 李平,王涛,高文永. 黄河水清沟流路稳定性分析 [J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(2): 165-171.
- [5] 张世奇. 黄河口输沙及冲淤变形计算研究 [J]. 水利学报, 1990, 1: 23-33.
- [6] 王万成. 黄河水清沟流路河道演变及其对近口段的影响 [J]. 人民黄河, 1995, 4: 11-14.
- [7] 黄海军,李成治,郭建军. 卫星影像在黄河三角洲岸线变化研究中的应用 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(2): 29-37.
- [8] 吉祖稳,胡春宏,曾庆华,等. 运用遥感卫星照片分析黄河口近期演变 [J]. 泥沙研究, 1994, 3: 12-22.
- [9] 赵庚星,张万清,李玉环,等. GIS 支持下的黄河口近期淤、蚀动态研究 [J]. 地理科学, 1999, 19(5): 442-445.
- [10] 范兆木,郭永盛. 黄河三角洲沿岸遥感动态分析图集 [M]. 北京:海洋出版社. 1992.
- [11] Prabhakara R P, Nair M M, Raju D V. Assessment of the role of remote sensing techniques in monitoring shoreline changes: a case study of the Kerala coast [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1985, 6(3): 549-558.
- [12] Moore L J. Shoreline mapping techniques [J]. *Journal of Coastal Research*, 2000, 16(1): 111-124.
- [13] Smith G L, Zarillo G A. Calculating long-term shoreline recessing rates using aerial photographic and beach profiling techniques [J]. *Journal of Coastal Research*,

- 1990, 1: 111-120.
- [14] Dolan R, Hayden B P, May P, *et al.* The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs [J]. *Shore and Beach*, 1980, **48**(4):22-29.

# The shoreline migration and the Delta changes study in the modern Yellow River Delta using remote sensing and GIS

XUE Yun-chuan<sup>1</sup>, MA Sheng-yuan<sup>1</sup>, ZHOU Cheng-hu<sup>2</sup>

(1. Qingdao Meteorological Bureau, Qingdao 266003, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Science & Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Received:** Aug. , 1, 2005

**Key words:** the Yellow River Delta; shoreline migration; remote sensing; GIS

**Abstract:** Due to the Yellow River's huge sediment load, frequent floods, and shifts in course, shoreline of the Yellow River Delta changes quickly. To detect the shoreline migrations in the modern Yellow River Delta, a set of Landsat images from 1976 to 2000 were collected and shorelines were interpreted using HWL method. According to the shoreline migrations characteristics, the whole shoreline can be divided into three parts: north section, south section and central section. According to the river course oscillation and the delta progradation direction, the modern Yellow River Delta formation can be divided into four stages: bay silting stage (1976~1981), central progradating stage (1981~1983), southeast progradating and beak-shaped spit formation stage (1983~1996), and river course shift and a new spit forming stage (1996~2000). During the four stages, with only about 49.3 km<sup>2</sup> eroded, there were 378.2 km<sup>2</sup> new land formed, and net accretion area was 328.9 km<sup>2</sup>. It is helpful to study the spatial and temporal formation pattern of the modern Yellow River delta.

(本文编辑:刘珊珊)