

基于 DSAS 和 FA 的 1959—2002 年黄河三角洲海岸线演变规律及影响因素研究*

刘鹏 王庆^① 战超 王昕 杜国云 李雪艳

(鲁东大学海岸研究所 烟台 264025)

摘要 采用数字岸线分析系统(DSAS)和岸线分形分析(FA),以不同年份测量的 9 期历史地图为数据源,对 1959—2002 年黄河三角洲海岸线长度、形态及变化过程进行了定量分析。结果表明,从 1959—1984 年黄河三角洲海岸线长度减小,岸线平面轮廓形态变得平滑、简单;从 1984—2002 年三角洲海岸线长度增加,岸线平面轮廓形态变得曲折、复杂。与此同时,整个三角洲海岸中前进、后退及进退平衡岸线的比例构成变化也具有显著的阶段性。从总体上看,前进岸线所占比例变化呈不断减小趋势,但 1980—1984 年、1996—2000 年曾有两次短暂的突然增大。从岸线变化速率及其空间分布看,三角洲海岸线进退变化于 1968—1974 年、1992—1996 年两度达到或接近平衡状态。根据初步分析,1959—2002 年黄河三角洲岸线演变是在黄河入海泥沙总体减少的背景下发生的,受到河口地貌变迁、海岸沉积动力系统的深刻影响。

关键词 黄河三角洲;数字岸线分析;分形分析;海岸线;海岸地貌

中图分类号 P731 doi: 10.11693/hyhz20141200343

海岸线是海岸带环境的重要组成部分,受全球气候变化、海平面上升和流域—海域人类活动的影响,其变化具有复杂、敏感和多变的特性(庄振业等, 2003; 谌艳珍等, 2010)。从海岸地貌学角度看,海岸线变化是海岸带冲淤演变的直接体现,是泥沙、动力等因素在特定相对海平面变化背景和海陆边界条件下共同作用的结果(Fenster *et al*, 2001; 丰爱平等, 2006; 薛春汀, 2009)。在三角洲地区,因受入海河流和海洋的双重动力作用,其海岸线变化的速率和方向较一般海岸又有明显差异(李安龙等, 2004; Cui *et al*, 2011; 栗云召等, 2012)。另一方面,海岸带和流域日益强烈的人类活动,特别是最近数十年来大规模的流域土地利用、水库调蓄、滩涂(浅海)围垦导致的入海水沙、海岸动力变化,对海岸地貌及海岸线变化的影响也日趋剧烈(王颖等, 2011; 李蒙蒙等, 2013; 战超等, 2013)。

作为全球著名的陆相淤积性弱潮三角洲,最近数十年来黄河三角洲地区的河口、岸线及地貌变迁非常频繁,而且随着黄河三角洲高效生态经济区被列入我国国家战略规划区,其城市规划、产业结构与布局、环境保护和资源利用,对未来岸线变迁及海岸地貌冲淤趋势预测的要求变得更高。鉴于前人对黄河河口沉积动力过程、黄河入海悬沙扩散、废弃河口—亚三角洲及若干重要岸段的动力、地貌演变已有较多研究(Hu *et al*, 1998; Li *et al*, 2000; Li *et al*, 2001; Chu *et al*, 2006; Wang *et al*, 2006; Qiao *et al*, 2010; Cui *et al*, 2011),为揭示最近 50 年尺度上三角洲岸线变化与黄河河口河道变迁、河流入海输沙数量变化及海岸沉积动力过程的相互关系,将黄河三角洲海岸作为一个统一的地貌体,研究其在数十年尺度上的海岸地貌冲淤演变机制与趋势。本文基于黄河三角洲 1959 年至 2002 年之间的多期实测海岸线数据,利用数字岸线分析系统(DSAS)

*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; 烟台市科技攻关计划项目, 2014ZH075 号。刘鹏, 硕士研究生, E-mail: 62liupeng@163.com

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

收稿日期: 2014-12-09, 收修改稿日期: 2015-01-23

和岸线分形分析(FA), 对黄河三角洲岸线演变规律及影响因素进行研究。

1 研究区概况

黄河三角洲濒临渤海湾南部和莱州湾西部, 系由古代、近代和现代三角洲组成的亚三角洲联合体。其中, 近、现代三角洲形成于 1855 年黄河夺大清河路入渤海以来。本文所指黄河三角洲海岸线范围, 西北端起于湾湾沟附近, 东南端止于淄脉沟附近。最近 50 多年来, 由于黄河下游河道变迁, 黄河口位置发生了多次迁移(图 1)。1960 年黄河口自神仙沟口向东迁至老神仙沟口, 1964 年向西迁到钓口, 1976 年向东南迁到清水沟口, 1996 年又向北迁到清水沟河口沙嘴北侧的清 8 口。每次新的河口形成后, 新的河道迅速向海延伸, 形成大规模的河口沙嘴及亚三角洲, 而废弃河口—亚三角洲及水下三角洲因泥沙消失而由

淤进转为蚀退。与此同时, 河口附近的海岸线也随之快速地变化。

黄河三角洲为典型的弱潮海岸。沿岸潮汐主要受 M_2 分潮控制, 在五号桩东北方向近岸海域存在一无潮点, 其西为濒临渤海湾的三角洲北岸, 其南为濒临莱州湾的三角洲东岸。三角洲沿岸平均潮差约 1m(0.6—1.3m), 大部分岸段为不正规半日潮, 仅神仙沟附近岸段为不正规全日潮。行水期河口潮流以平行于河道的往复流为主, 口门两侧海岸则为大致平行岸线的往复流(薛鸿超等, 1996)。根据 1987 年在三角洲东北岸外的黄河海港码头北端处(水深 7m)的观测结果, 波高大于 1.5m 的波浪出现频率为 11.8%, 常浪向 SSE-S、强浪向 NE-NNE, 最大波高 5.3m、波向 NE、周期 8.0s。

黄河口为著名的多沙河口。但是, 河口输沙的年内分配、年际差异极大。据利津水文站 1950—2007

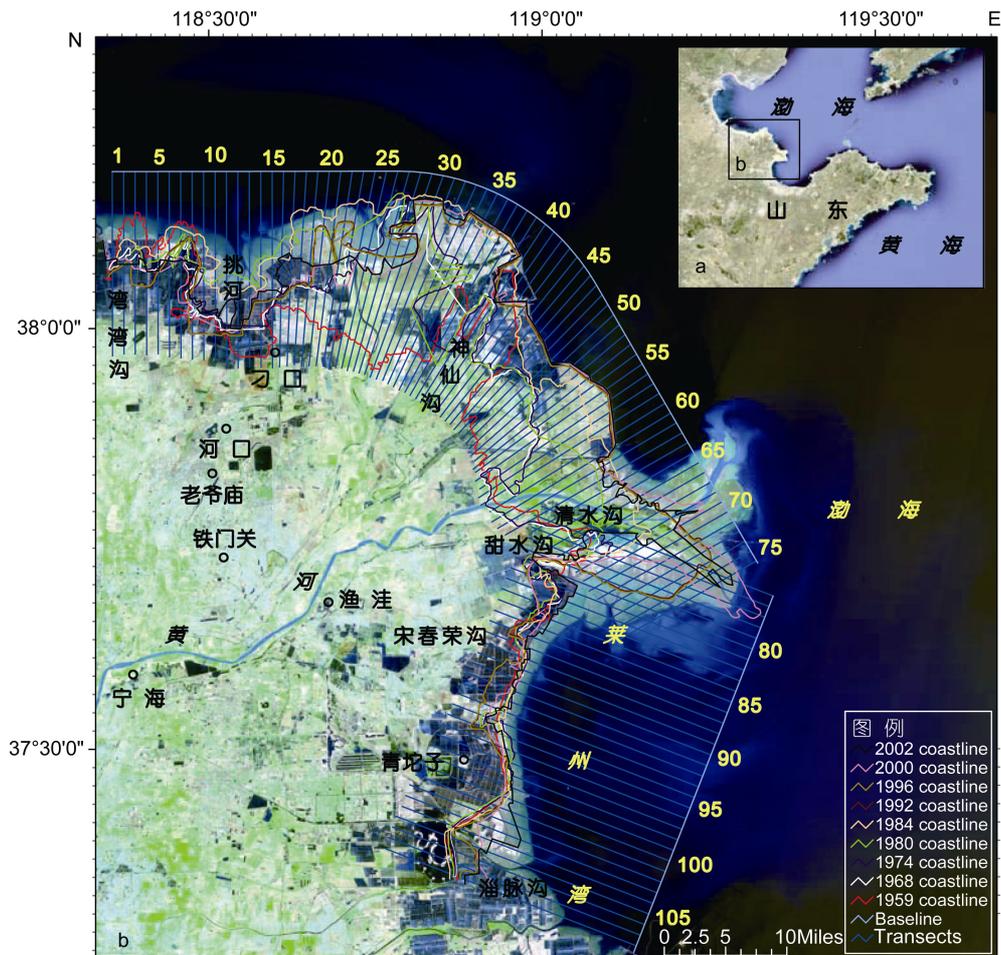


图 1 黄河三角洲位置、范围、不同时期海岸线及 DSAS 分析所用的基线和切线分布

Fig.1 Location, range, and the coastlines in different periods of the Yellow River delta and the distributions of baseline and transects for DSAS (Digital Shoreline Analysis System) analysis

年的观测数据统计, 黄河口年输沙量最大高达 20.98 亿 t, 最小年份仅 0.16 亿 t。其中, 多年汛期平均的入海沙量占全年 84.4%, 年汛期输沙量最大高达 19.26 亿 t, 最小年份仅 0.07 亿 t。黄河泥沙来源为黄土高原, 主要由粉砂、粘土构成, 粒径小于 0.063mm 的颗粒占 94.2%。这些细粒泥沙在波浪作用下极易启动但难以沉积, 其入海后主要被潮流搬运、迁移, 为黄河三角洲海岸地貌形成演变提供了丰富的物质基础。

2 数据及方法

2.1 数据源及预处理

由于最近 10 多年来黄河三角洲人工岸线迅速增加, 再考虑到历史时期实测海岸地形、水深资料的限制, 本文选取测量于 1959 年、1968 年、1974 年、1980 年、1984 年、1992 年、1996 年、2000 年、2002 年

的 9 期黄河三角洲附近海域水深图和海图为数据源。其中, 对各年份水深图或海图上的海岸线位置, 均利用相同年份成像的卫星遥感影像进行校正, 并补齐缺失海岸线数据的局部岸段岸线。文中所指海岸线均为大潮平均高潮线, 所用岸线数据详情如表 1 所示。

在定量分析前, 先对岸线数据进行预处理, 其处理流程如下。首先, 将纸质水深图或海图扫描数字化并得到 RGB 格式图像, 将其椭球体和基准面设置为 WGS84。其次, 根据图上标注的经纬度选取约 30 个控制点进行配准。然后, 提取矢量化并配准后的水深图或海图上的岸线信息。最后, 根据海岸线变化速率计算需要, 对所得不同时期的岸线数据进行空间叠加。在空间叠加前, 在 ArcGIS10.1 软件的支持下, 将经过预处理的水深图或海图统一转换到墨卡托投影 (UTM, Zone 50), 椭球体和基准面均为 WGS 84。

表 1 黄河三角洲历史海岸线数据情况一览表
Tab.1 Historical coastline data source of the Yellow River delta

序号	测量年份	比例尺	数据来源
1	1959 年	1: 8000	1959 年黄河口区海域深度数据图
2	1968 年	1: 8000	1968 年黄河口区海域深度数据图
3	1974 年	1: 8000	1974 年黄河口区海域深度数据图
4	1980 年	1: 8000	1980 年黄河口区海域深度数据图
5	1984 年	1: 8000	1984 年黄河口区海域深度数据图
6	1992 年	1: 50000	黄河三角洲 1992 年滨海区水深图
7	1996 年	1: 50000	黄河三角洲 1996 年滨海区水深图
8	2000 年	1: 100000	黄河三角洲滨海区水深图
9	2002 年	1: 150000	莱州湾海图

2.2 数字岸线计算

采用美国地质调查局(USGS)研发的数字海岸线分析系统(DSAS, Digital Shoreline Analysis System), 对黄河三角洲岸线进行定量化分析。DSAS 分析借助于 ArcGIS 平台, 通过回归分析方法计算出岸线的变化速率, 从而定量揭示大范围、长时间序列的海岸线变迁历史。目前, DSAS 系统已在国内外很多有关岸线变迁的研究中得到成功应用, 并取得了有价值的研究成果(Jabaloy-Sánchez *et al*, 2010; Kuleli *et al*, 2011; 张晓祥等, 2014; Jabaloy-Sánchez *et al*, 2014; Kaliraj *et al*, 2014)。

利用 DSAS 进行数字海岸线分析的主要计算流程如下。首先, 结合已有的岸线数据, 通过多次拟合、修改和调整, 选定了作为岸线数字计算基准的基线(图 1b)。其次, 统一设置 1500m 的采样间距, 在进行多次拟合、修正和调整, 生成了 109 条垂直于上述

基线并与所有岸线相交的等间距切线(图 1b)。然后, 分别选取相邻的两期岸线, 利用 DSAS 系统对 109 个断面进行计算。

根据岸线变迁及地貌冲淤分析需要, 计算了不同年份岸线长度、不同时段岸线年平均变化速率、终点变化速率以及前进、后退、进退平衡岸线所占比例等参数, 用于对黄河三角洲海岸线变迁进行定量分析研究。其中, 岸线长度、岸线年平均变化速率反映三角洲岸线的总体进退情况, 而终点变化速率以及前进、后退和平衡岸线所占比例则反映岸线变化的空间差异。

岸线年平均变化速率的计算公式如下:

$$R_{i,i+1} = \frac{S_{i+1} - S_i}{L_i * \Delta Y_{i,i+1}}$$

式中, $R_{i,i+1}$ 是相邻年份间的岸线年平均变化率 ($i=1-8$); S_{i+1} 为第 $i+1$ 期海岸线与研究区陆域纵、竖

边界所围区域的面积($i=1-8$); S_i 为第 i 期海岸线与研究区陆域纵、竖边界所围区域的面积($i=1-8$); L_i 为第 i 期海岸线的长度($i=1-8$); $\Delta Y_{i,i+1}$ 为第 $i+1$ 期与第 i 期海岸线年份数的差值($i=1-8$)。

终点变化速率(End Point Rate)的计算公式如下:

$$E_{i,j} = \frac{d_j - d_i}{\Delta Y_{j,i}}$$

式中, $E_{i,j}$ 是相邻年份间沿某条切线 m 的岸线终点变化速率; d_j 为沿切线 m 第 j 期海岸线到基线的距离; d_i 为沿切线 m 第 i 期海岸线到基线的距离; $\Delta Y_{j,i}$ 为沿切线 m 第 j 期与第 i 期海岸线年份数的差值。

前进岸线、后退岸线和进退平衡岸线所占比例的计算公式如下:

$$P_{i,i+1} = \frac{t_{i,i+1}}{T_{i,i+1}}$$

式中, $P_{i,i+1}$ 是相邻年份之间前进、后退和进退平衡岸线所占比例($i=1-8$); $T_{i,i+1}$ 为参与计算的切线总数($i=1-8$); $t_{i,i+1}$ 为岸线处于前进、后退和平衡的切线数量($i=1-8$)。考虑到传统纸质海图的极限精度为 0.1mm、作业分辨率为 0.2mm, 而本文所用纸质海图(水深图)的最小比例尺为 1 : 150000, 故以 $\pm 30\text{m/a}$ 作为划分标准, 若岸线变化速率大于 30m/a , 则为前进岸线; 若岸线变化速率小于 -30m/a , 则为后退岸线; 若岸线变化速率介于 $-30-30\text{m/a}$ 之间, 则确定为进退平衡岸线。

2.3 岸线分维数计算

岸线分维数表示岸线平面轮廓形态的复杂程度, 而岸线形态复杂程度又与地貌冲淤有关, 即岸线分维数与海岸侵蚀强度呈正相关。本文用 Matlab 基于盒子法通过编程计算不同时期的岸线分维数。计算流

程如下。首先, 用 ArcGIS 将岸线矢量数据转换为单一图层栅格数据, 并进行二值化运算。其次, 生成覆盖全部研究区的正方形网格, 计算子网格边长统一为 r_0 时覆盖全部岸线所需最少网格数。然后, 逐次减小 r_0 并使之趋于 0, 得到一系列离散的 r_0 值。最后, 在对数坐标系中对 $\ln(1/r_0)$ 、 $\ln N(r_0)$ 进行线性回归, 所得直线段斜率即为岸线分维数。如果某时期的岸线分维数变大, 则岸线变得曲折、复杂; 分维数变小, 则岸线变得平滑、简单。分维数 (D) 的计算公式如下:

$$D = \lim_{r_0 \rightarrow 0} \frac{\ln N(r_0)}{\ln \left(\frac{1}{r_0} \right)}$$

3 研究结果

3.1 岸线长度及其年平均速率变化

从 1959 年到 2002 年, 以 1984 年为转折点, 黄河三角洲海岸线长度变化趋势相反(图 2)。在 1984 年以前, 岸线长度总体上呈减小趋势, 从 1959 年的 264703.21m 减小到 1984 年的 219959.11m, 减少幅度为 16.9%。其中, 从 1968 年到 1974 年发生了一次短暂逆转, 由 1968 年的 249696.32m 增加到 1974 年的 271577.65m, 增加了 8.8%。在 1984 年以后, 岸线长度则总体上呈增加趋势, 从 1984 年的 219959.11m 增加到 2002 年的 302928.23m, 增加幅度高达 37.7%。其中, 从 1992 年到 2000 年又存在短暂逆转, 从 1992 年的 268630.06m 减少到 2000 年的 262574.1m, 减少了 2.3%。

从 1959 年到 2002 年, 以 1984 年为转折点, 黄河三角洲岸线的年平均变化速度变化过程包括总体上分别由小变大的两个阶段(图 2)。在 1984 年以前, 岸线年平均变化速率数值较大, 除了从 1968 年到 1974

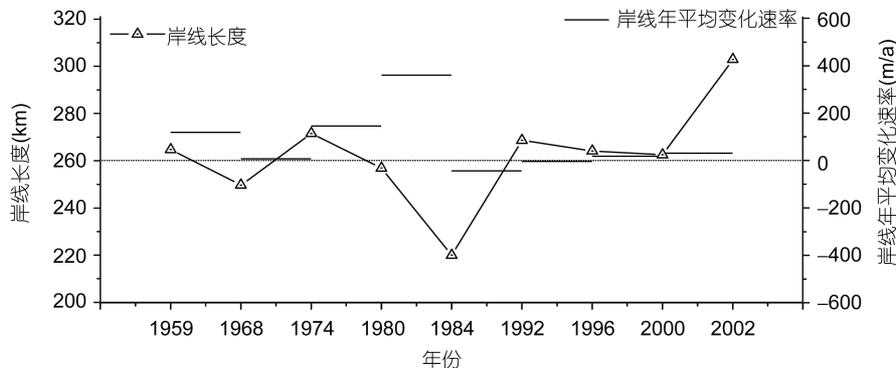


图 2 1959 年到 2002 年黄河三角洲岸线长度及其年平均变化速率

Fig.2 Coastline length and annual average change rate of the Yellow River delta from 1959 to 2002

年有短期的锐减外,其变化趋势是总体上由小增大,从 1959—1968 年的 119.15m/a 增大到 1980—1984 年的 360.58m/a。在 1984 年以后,岸线变化速率数值较小,且前期速率为负值、后期为正值,速率变化的总趋势是由小变大,但变化幅度不显著,从 1984—1992 年的 -43.67m/a 增大到 2000—2002 年的 31.33m/a。

从 1959 年到 2002 年,黄河三角洲岸线长度变化和进退速率变化均具有显著的阶段性,即以 1984 年为界存在突变,岸线长度由总体变短转为总体增长,岸线进退速率变化则以此为界由前、后两个显著不同的阶段组成。对比发现,1984 年以前的岸线长度总体减小对应于同期的岸线变化速率总体增大,1984 年以后的岸线长度总体增加对应于同期的岸线变化速率总体减小。其中,1968—1974 年的岸线长度短暂增加对应于同期的岸线速率减小,而 1992—2000 年的岸线长度短暂减小对应于同期的岸线速率增加。

3.2 岸线分维数变化

从 1959 年到 2002 年,以 1984 年为转折点,黄河三角洲岸线分维数的变化趋势相反(图 3)。在 1984 年以前,三角洲岸线分维数变化总体呈减小趋势,从 1959 年的 1.5780 减小到 1984 年的 1.2997,减少了 17.6%。其中,从 1968 年到 1974 年岸线分维数变化趋势存在短暂的逆转,从 1968 年的 1.4157 增加到 1974 年的 1.5299,增加了 8.1%。在 1984 年以后,三角洲岸线分维数变化则呈总体增加趋势,从 1984 年的 1.2997 增加到 2002 年的 1.4163,增加了 9.0%。其中,从 1992 年到 2000 年岸线分维数变化趋势存在短暂的逆转,从 1992 年的 1.3951 减少到 2000 年的 1.3335m,减少了 4.4%。

如前所述,从 1959 年到 2002 年,黄河三角洲岸线的长度和进退速率变化具有显著的阶段性,1984 年以前岸线的长度减小、进退速率增加,1984 年以后岸线长度增加、进退速率减小。因此,比较而言,1959

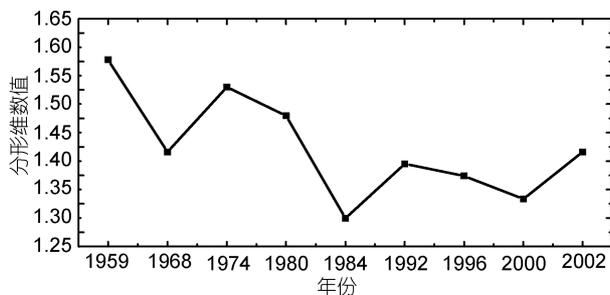


图 3 1959—2002 年黄河三角洲岸线分维数变化

Fig.3 Coastline fractal dimensions change of the Yellow River delta from 1959 to 2002

年到 1984 年的三角洲岸线进退速率较大、岸线长度减小,同期岸线的平面展布形态变得平滑、简单;1984 年到 2002 年的三角洲岸线进退速率较小、岸线长度增加,同期岸线的平面展布形态变得曲折、复杂。

3.3 前进、后退和平衡岸线比例构成变化

从 1959 年到 2002 年,除 1974—1980 年(43.16%)、1984—1992 年(35.29%)、1992—1996 年(17.76%)外,黄河三角洲前进岸线占全部岸线比例均在 50%以上(图 4)。其中,1980—1984 年、1996—2000 年均超过 70%,分别为 76.53%、73.58%(图 4)。其变化过程由三个自高而低的阶段构成,三个阶段之间存在两次由低而高的突变(图 4)。其中,第一个阶段从 1959 年到 1980 年,前进岸线比例由 56.48%(1959—1968 年)降至 43.16%(1974—1980 年),后退及平衡岸线比例之和则相应由 43.52%升至 56.85%;第二个阶段从 1980 年到 1996 年,前进岸线比例由 75.53%(1980—1984 年)降至 17.76%(1992—1996 年),后退及平衡岸线比例之和则相应由 24.47%升至 82.24%;第三个阶段由 1996 年到 2002 年,前进岸线比例由 73.58%(1996—2000 年)降至 56.48%(2000—2002 年),后退及平衡岸线比例之和则相应由 26.42%升至 43.52%。

在后退岸线和平衡岸线中,后退岸线比例超过 50%以上者,仅出现在 1974—1980 年(50.53%)和 1984—1992 年(55.88%),其余时段均在 31%以下(图 4)。其中,1974—1980 年后退岸线比例超过了前进岸线。平衡岸线所占比例超过 50%以上者,仅出现在 1992—1996 年(56.07%),其余时段则均在 30%以下。其中,1968—1974 年平衡岸线(27.37%)超过了后退岸线(18.95%),而 1992—1996 年平衡岸线则超过了前进岸线(17.76%)和后退岸线(26.17%)之和。

3.4 岸线变化速率的时空分布

根据沿各切线计算的终点变化速率,在 1959 年

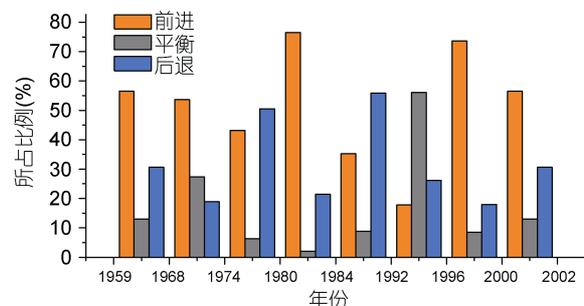


图 4 1959—2002 年黄河三角洲前进、后退和平衡岸线所占比例

Fig.4 Percentage of forward, backward and balanced coastline of the Yellow River delta from 1959 to 2002

到 2002 年的 40 多年中,黄河三角洲岸线变化具有显著的阶段性和区域性(图 5)。从时间上看,岸线速率变化过程包括三个不同的阶段。在从 1959 年到 1974 年的 15 年中,1959—1968 年清水沟以西岸段变化速率较大、以东变化不明显,而到 1968—1974 年几乎全部岸段均转为低速率阶段。在从 1974 年到 1996 年的 22 年中,1974—1984 年总体上岸线变化速率最大,到 1992—1996 年转为低速率阶段,1984—1992 年岸线变化速率则介于其间。在从 1996 年到 2002 年的 6 年中,岸线变化速率数值总体上较大,而且 1996—2000 年和 2000—2002 年两个阶段的变化速率数值差别不大,但是同一岸段的变化方向却大致相反。

从 1959 年到 1968 年,黄河三角洲清水沟以东岸线进退速率均很小;以西则岸线进退速率很大,且前进段与后退段在空间上交替出现。其中,前进段位于钓河口、老神仙沟口附近,在两河口之间及钓河口以西为后退段。从 1968 年到 1974 年,黄河三角洲岸线总体稳定,岸线进退速率均很小,仅神仙沟口与钓河口之间局部岸段进退速率较大。从 1974 年到 1980 年,除钓河口以西、清水沟口附近岸线以较大速率前进外,黄河三角洲大部分岸段岸线发生低速后退,且速率沿平行海岸方向波动。

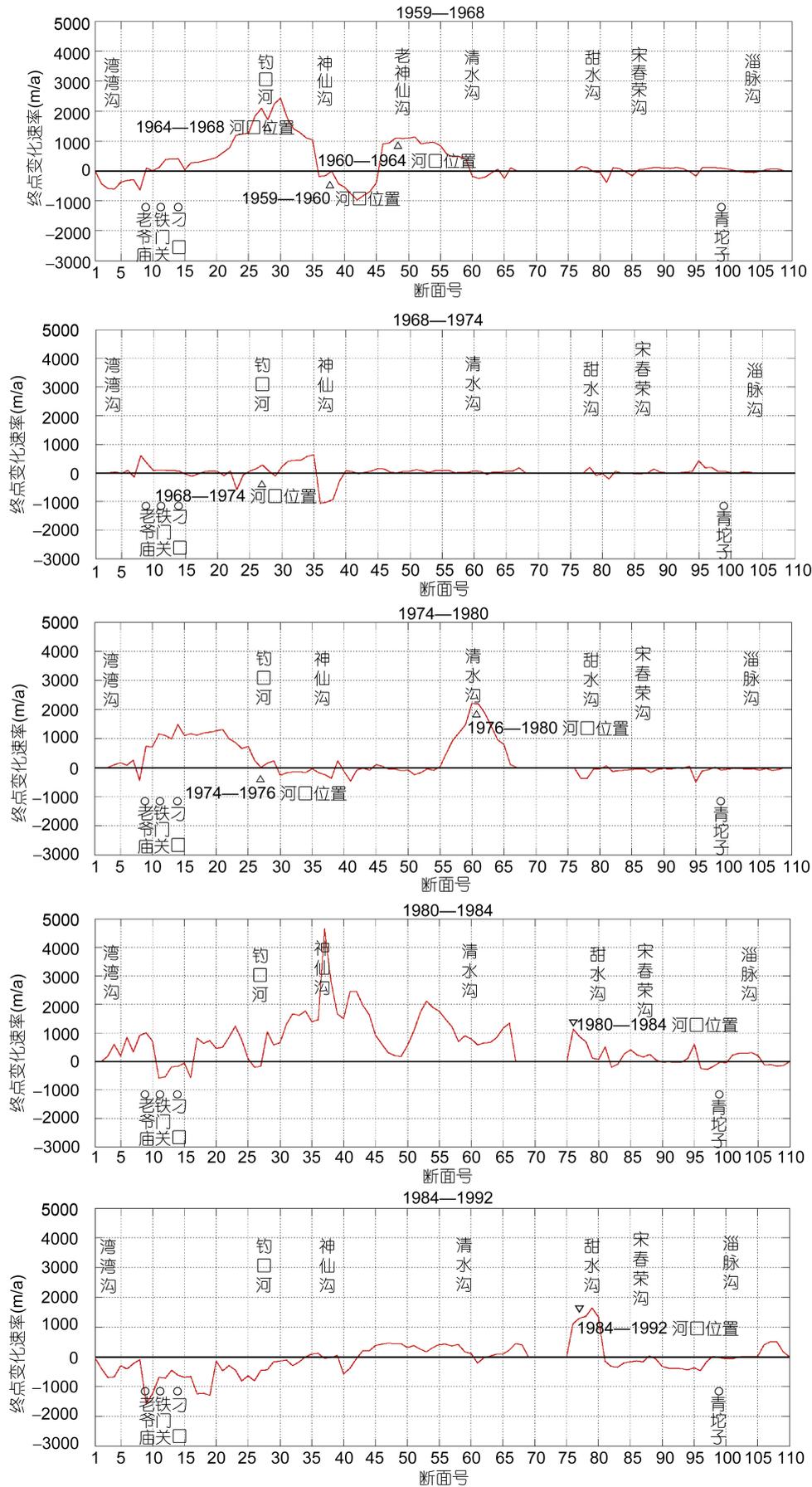
从 1980 年到 1984 年,黄河三角洲岸线总体上高速前进,但不同岸段速度差别很大,以神仙沟口附近最大。从 1984 年到 1992 年,除行水河口附近岸段以较大速率前进外,大部分岸线发生低速后退和前进。从 1992 年到 1996 年,三角洲岸线整体稳定,仅河口附近有小范围的低速前进。从 1996 年到 2002 年,位于中段的清水沟口到神仙沟口之间岸线稳定,但三角洲两翼部位的岸线进退却较显著,而且前进段与后退段在空间上发生频繁交替。其中,同一岸段 1996—2000 年和 2000—2002 年的岸线迁移方向大致相反。

从岸线进退的空间分布看,在从 1959 年到 2002 年的 40 多年中,黄河三角洲岸线不同阶段的前进岸段均位于该时期的河口附近,而岸线后退和基本岸段均位于前进岸段之间及三角洲北、东两翼(图 5)。其中,前期河口均位于黄河三角洲北部渤海湾沿岸,此时岸线进退主要发生在河口附近,东部的莱州湾沿岸则进退不显著。后期河口位于三角洲东部莱州湾沿岸,此时除河口附近岸线发生剧烈进退外,北部的渤海湾沿岸进退变化也非常剧烈。

4 讨论

塑造黄河三角洲海岸的物质基础是黄河入海泥沙,而黄河入海泥沙最近 60 年来总体上呈显著的减少趋势。根据利津水文站观测数据,1954—1964 年黄河入海泥沙量 11.7 亿 t/a,1964—1976 年 11.2 亿 t/a,而 1976—1996 年只有 5.3 亿 t/a,1996 年以后则不到 2.6 亿 t/a。进一步的分析表明,黄河入海泥沙的减少过程具有显著的突变性,年入海泥沙量于 1968、1985、1996 年突变,汛期泥沙量于 1959、1985、1996 年突变,非汛期泥沙量则突变于 1975 年(樊辉等, 2009)。其中,从 1959 年到 1985 年,黄河入海泥沙数总量较多(达 5 亿 t 以上),故三角洲平原以较大的速率向海淤进,海岸地貌在纵向上向夷平方向演替,海岸线变得平滑、简单,整个三角洲岸线长度减小;从 1985 年到 2002 年,入海泥沙数量大幅度减少,三角洲海岸的淤积作用减弱、侵蚀作用增强,海岸线变得曲折、复杂,整个三角洲岸线长度增大(图 2、3、4)。据此推测,黄河入海泥沙总量 5 亿 t 可能是三角洲岸线变化趋势的转折点,即利津水文站年泥沙总量在 5 亿 t 以上时,三角洲岸线变短、曲折性降低,而 5 亿 t 以下则岸线变长、曲折性增加。

受黄河入海泥沙数量减少的影响,从 1959 年到 1980 年虽然黄河三角洲海岸总体上为淤积前进、岸线总长度减小,但前进岸线的比例却发生了显著减少(图 4)。导致这种现象的因素,除入海泥沙数量的影响以外,还受到河口河道地貌演变的影响。其中,从 1959 年到 1960 年为神仙沟流路的单股河道末期,从 1960 年起在四号桩剖面开始出汉,从 1968 年起钓河口流路单股成河,从 1972 年起在罗 13 断面上游附近出汉,从 1976 年起又在清水沟出汉,直至 1980 年清水沟流路单股河道形成。因此,在 1980 年前的 21 年中绝大部分时间不存在单股河道,有大量河流输沙在入海前即堆积在沿河低洼部位。但是,1980 年清水沟流路河口单股成河后,因河道突然束狭、河床纵比降大,河流输沙中实际入海的比例显著增加。因此,虽然位于河口段上游的利津站泥沙量减少,从 1980 年到 1984 年前进岸线比例却呈短暂的突然增加(图 4)。此后,随着清水沟单股成河后河道向海延长,河床纵比降变小,河道输沙能力减小,有大量泥沙淤积在河滩上,其结果是前进岸线的比例再次减小(图 4)。



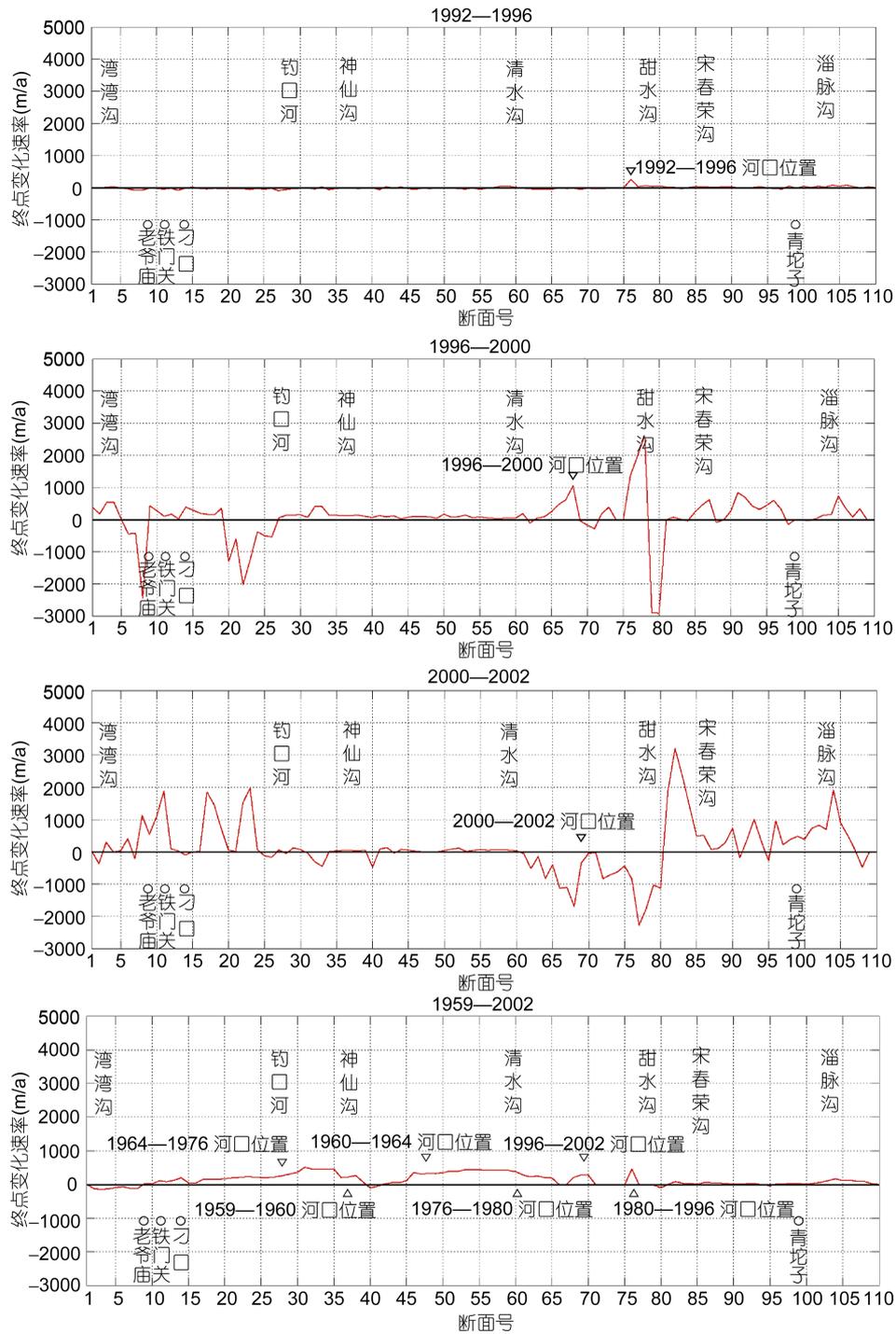


图 5 1959—2002 年黄河三角洲不同时期的岸线终点速率及其分布

Fig.5 The End Point Rate and distribution of coastline during different periods of the Yellow River delta from 1959 to 2002

从海岸线进退速率变化及其空间分布看, 在从 1959 年到 2002 年的 40 多年中, 1968—1974 年、1992—1996 年两个阶段中的黄河三角洲岸线总体上进退变化不显著(图 5)。这说明在黄河入海泥沙总体减少背景下, 不管河口处于三角洲北部还是东部, 黄河三角洲岸线在 40 年尺度上曾两度达到或接近平衡

状态, 其原因应与黄河三角洲特有的海岸沉积动力体系有关。如前所述, 黄河口潮流为平行河道的往复潮流, 而河口两侧海岸为大致平行岸线、垂直河口河道的往复潮流。根据 1984 年观测, 在三角洲东北部沿岸常年存在弧形高速流带, 在三角洲东部沿岸则存在平行海岸的季节性高流速带, 其中心区域的潮

流流速均在 120cm/s 以上(薛鸿超等, 1996)。另据研究表明, 三角洲东北部岸外海域波高 1.5m 波浪的扰动水深 6.6—10.8m, 与上述潮流高流速带所处位置的水深相当, 即波浪扰动区和强潮流区在空间上一致(陈沈良等, 2004)。河口往复流带、近岸高流速带、波浪破碎带的这种空间配置关系, 有利于河流入海泥沙沿海岸的纵向输运、堆积, 进而起到海岸夷平的地貌效应。简单而言, 在新河口形成初期, 河口均较两侧海岸显著凹进、距口外高流速带较远, 大量泥沙在河口附近堆积, 河口附近岸线淤进迅速, 而原废弃河口附近则蚀退迅速。此后, 随着河口沙嘴形成并向海突出、延伸, 河口往复流带与高流速带距离减小甚至重叠, 大量泥沙输送到河口以外并沿岸输运、堆积, 因而海岸淤积、侵蚀均变缓, 淤进岸线和蚀退岸线比例均减小, 而进退平衡岸线比例增大, 其中又尤其以 1992—1996 年最为显著(图 5)。

5 结论

综上所述, 基于岸线数字分析和分形分析结果, 从 1959 年到 1984 年黄河三角洲岸线进退速率增大、岸线长度减小, 岸线的平面轮廓展布形态变得平滑、简单; 从 1984 年到 2002 年三角洲岸线进退速率变小、岸线长度增加, 岸线的平面轮廓展布形态变得曲折、复杂。另一方面, 前进、后退及冲淤进退平衡岸线的比例构成变化具有显著的阶段性。总体上, 前进岸线所占比例呈不断减小趋势, 但在 1980—1984 年、1996—2000 年又有短暂的突然增大。从岸线变化速率及其空间分布看, 在 40 年中黄河三角洲岸线变化曾经于 1968—1974 年、1992—1996 年两度达到或接近平衡状态。根据初步分析, 1959—2002 年黄河三角洲岸线演变是在黄河入海泥沙总体减少背景下发生的, 是黄河口地貌变迁、海岸沉积动力系统共同作用的结果。

参 考 文 献

- 丰爱平, 夏东兴, 谷东起等, 2006. 莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究. 海洋科学进展, 24(1): 83—90
- 王 颖, 季小梅, 2011. 中国海陆过渡带——海岸海洋环境特征与变化研究. 地理科学, 31(2): 129—135
- 庄振业, 林振宏, 刘志杰等, 2003. 海平面变化及其海岸响应. 海洋地质动态, 19(7): 1—12
- 李安龙, 李广雪, 曹立华等, 2004. 黄河三角洲废弃叶瓣海岸侵蚀与岸线演化. 地理学报, 59(5): 731—737
- 李蒙蒙, 王 庆, 张安定等, 2013. 最近 50 年来莱州湾西——南部淤泥质海岸地貌演变研究. 海洋通报, 32(2): 141—151
- 张晓祥, 王伟玮, 严长清等, 2014. 南宋以来江苏海岸带历史海岸线时空演变研究. 地理科学, 34(3): 344—351
- 陈沈良, 张国安, 谷国传, 2004. 黄河三角洲海岸强侵蚀机理及治理对策. 水利学报, (7): 1—6, 13
- 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
- 栗云召, 于君宝, 韩广轩等, 2012. 基于遥感的黄河三角洲海岸线变化研究. 海洋科学, 36(4): 99—106
- 谯艳珍, 方国智, 倪 金等, 2010. 辽河口海岸线百年来的变迁. 海洋学研究, 28(2): 14—21
- 樊 辉, 刘艳霞, 黄海军, 2009. 1950—2007 年黄河入海水沙通量变化趋势及突变特征. 泥沙研究, (5): 9—16
- 薛春汀, 2009. 7000 年来渤海西岸、南岸海岸线变迁. 地理科学, 29(2): 217—222
- 薛鸿超, 谢金赞, 1996. 中国海岸带水文. 北京: 海洋出版社, 1—265
- Chu Z X, Sun X G, Zhai S K *et al*, 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. Marine Geology, 227(1—2): 13—30
- Cui B L, Li X Y, 2011. Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976—2005). Geomorphology, 127(1—2): 32—40
- Fenster M S, Dolan R, Morton R A, 2001. Coastal storms and shoreline change: signal or noise? Journal of Coastal Research, 17(3): 714—720
- Hu C H, Ji Z W, Wang T, 1998. Dynamic characteristics of sea currents and sediment dispersion in the Yellow River Estuary. International Journal of Sediment Research, 13(2): 16—26
- Jabaloy-Sánchez A, Lobo F J, Azor A *et al*, 2010. Human-driven coastline changes in the Adra River deltaic system, southeast Spain. Geomorphology, 119(1—2): 9—22
- Jabaloy-Sánchez A, Lobo F J, Azor A *et al*, 2014. Six thousand years of coastline evolution in the Guadalfeo deltaic system (southern Iberian Peninsula). Geomorphology, 206: 374—391
- Kaliraj S, Chandrasekar N, Magesh N S, 2014. Impacts of wave energy and littoral currents on shoreline erosion/accretion along the south-west coast of Kanyakumari, Tamil Nadu using DSAS and geospatial technology. Environmental Earth Sciences, 71(10): 4523—4542
- Kuleli T, Guneroglu A, Karsli F *et al*, 2011. Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. Ocean Engineering, 38(10): 1141—1149
- Li G X, Tang Z S, Yue S H *et al*, 2001. Sedimentation in the shear front off the Yellow River mouth. Continental Shelf Research, 21(6—7): 607—625
- Li G X, Zhuang K L, Wei H L, 2000. Sedimentation in the Yellow River delta. Part III. Seabed erosion and diapirism in the abandoned subaqueous delta lobe. Marine Geology, 168(1—4): 129—144
- Qiao S Q, Shi X F, Zhu A M *et al*, 2010. Distribution and transport of suspended sediments off the Yellow River (Huanghe) mouth and the nearby Bohai Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 86(3): 337—344
- Wang H J, Yang Z S, Li G X *et al*, 2006. Wave climate modeling on the abandoned Huanghe (Yellow River) delta lobe and related deltaic erosion. Journal of Coastal Research, 22(4): 906—918

QUANTITATIVE ANALYSIS OF COASTLINE CHANGE IN THE YELLOW RIVER DELTA FROM 1959 TO 2002

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

Abstract Based on Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and fractal analysis (FA), the coastline length, shape, and changing process of the Yellow River delta has been analyzed quantitatively from 1959 to 2002, nine historical maps were used as data source. The results show that the coastline length decreased from 1959 to 1984, but increased from 1984 to 2002. The shape of the coastline was smooth and simple from 1959 to 1984, but complex and curved from 1984 to 2002. The forward, backward, and balanced coastline changes featured clear stages. Generally, the coastline forwarding reduced gradually, during which two sudden increase events interrupted during 1980—1984 and 1996—2000. In frequency and spatial distribution, the coastline stayed stationary or balanced during 1968—1974 and 1992—1996. Our preliminary study shows that the coastline change in 1959—2002 was largely due to the overall reduction of river-borne sediments into the sea, and affected obviously by the specifications of local geomorphology and coastal current dynamics.

Key words Yellow River delta; digital shoreline analysis system; fractal analysis; coastline; coastal geomorphology