

1944—2012年胶州湾岸线时空动态特征

毋亭^{1,2}, 侯西勇¹

1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003
2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 基于地形图与遥感影像,提取胶州湾1944—2012年间7个时相的岸线数据;基于剖面,计算岸线变化的端点速率、平均端点速率和加权线性回归速率,进而揭示胶州湾自1944年以来岸线变化的整体趋势及时空差异特征。结果表明:1)端点速率与加权线性回归速率揭示的胶州湾1944—2012年岸线变化的时空特征高度相似,后者因为有置信区间与相关系数的检验而更加可靠;2)1944—2012年,胶州湾岸线处于整体向海推进的趋势,具体表现为:白沙河以东岸线小幅度、平直化向海推移;白沙河、大沽河与洋河河口附近岸线以盐田与养殖发展形式向海扩张;20世纪70年代黄岛成为陆连岛,岸线大幅度外移,随后其附近岸段因大力发展港口与临港工业,岸线又以围填海形式向海推进,成为胶州湾岸线变化最为强烈的区域;3)胶州湾岸线开发具有阶段性特征:新中国成立初以盐田建设与扩张为主;20世纪80—90年代养殖业的规模及扩张速率超过盐业;而在21世纪,港口与临港工业建设成为岸线变化的主要方式;岸线变化的阶段性特征说明,经济社会发展是海岸带变化的主要驱动因素。

关键词 胶州湾岸线;端点速率;平均端点速率;加权线性回归速率;时空动态

中图分类号 X144

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.02.002

Spatial-temporal characteristics of coastline in Jiaozhou Bay during the period of 1944–2012

WU Ting^{1,2}, HOU Xiyong¹

1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract In order to depict the overall trend and the spatio-temporal characteristics of coastline changes of Jiaozhou Bay, the coastlines of Jiaozhou Bay in 1944, 1954, 1986, 2001, 2006, 2009 and 2012, respectively, are extracted from topographic maps and remote sensing imageries, and the end point rate, the average rate, the weighted linear regression rate are then calculated based on transects. The results are as follows: 1) The end point rate and the weighted linear regression rate can equally detect the spatio-temporal characteristics of coastline changes in Jiaozhou Bay during 1944–2012, nevertheless, the latter, with regard to the confidence interval and the correlation coefficient, is more reliable; 2) During the period of 1944–2012, the coastline of Jiaozhou Bay shows a prevailing trend of advancing seaward. Segments in the east of Baisha River are straightened and have an advancing trend but with a small magnitude; Segments near the Baisha River, Dagu River and Yang River advance in the form of the salt pan and the aquaculture pond expansion; Afterwards the coastline shifts to the seaward edge of Huangdao after it becomes a land-tied island, segments near Huangdao advances seaward in the form of the reclamation due to the vigorous development of the harbor and the harbor industry, and consequently becomes the hotspots of the coastline expansion in Jiaozhou Bay during nearly the past 30 years; 3)

收稿日期:2014-05-26;修回日期:2014-12-18

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA05130703);中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)

作者简介:毋亭,博士研究生,研究方向为海岸带环境与生态遥感监测,电子信箱:twu@yic.ac.cn;侯西勇(通信作者),研究员,研究方向为海岸带土地利用变化、海岸线变化监测、海岸带生态风险评估,电子信箱:xyhou@yic.ac.cn

引用格式:毋亭,侯西勇.1944—2012年胶州湾岸线时空动态特征[J].科技导报,2015,33(2):28–34.

Coastline changes of Jiaozhou Bay see remarkable periodical characteristics, and it is shown that the eco-social development is the main driven factor of the coastal zone change: At the beginning of the New China, the construction and the expansion of salt fields are the predominant mode of coastline change, and during the period of 1980s to 1990s, both the extent and the expansion rate of aquaculture exceed the salt industry, and then, in the 21st century, the coastline development driven by the construction of harbor and harbor industry becomes the primary mode. This study provides a comprehensive understanding of the coastal utilization history of Jiaozhou Bay and its impacts on eco-environmental system, which could be used in the scientific planning and the integrated management of the coastal zone.

Keywords coastline of Jiaozhou Bay; end point rate; average of rate; weighted linear regression rate; spatio-temporal characteristics

海平面持续上升并非海岸带系统变化的独立影响因素,在此背景和基础上的人类活动对海岸带生态系统及岸线的直接改变或间接干扰作用也是海岸线剧烈变化、海岸带灾害日益增加的主要原因^[1-5]。海岸带系统对于海平面上升和人类活动的响应具有显著的地域性特征,因此,只有不断加强和丰富区域案例研究的成果,全面和深入了解海岸带变化的区域差异性,管理者和决策者才能在面对海岸带灾害时提出具有针对性而又恰当的预防与应对措施。

海岸线变化速率是海岸带系统变化监测的基本指标之一,也是海岸带综合管理不可或缺的基础信息。变化速率对岸线变化时空动态的客观反映,很好地揭示了海岸带对气候变化和人类活动过程的响应特征及其时空差异,是近年来海岸带相关研究和管理工作较为常用的指标,其较为成熟的计算方法从最初的简单的端点速率、线性回归速率^[6]发展到考虑岸线提取过程中误差项的加权线性回归速率^[7]。2009年,美国地质调查局(USGS)国家海岸线评价项目(national shoreline assessment project)中提出“相关性”概念,使得岸线的非线性变化成为一个新的研究重点^[8-10]。但由于岸线非线性变化的研究方法及模型尚未标准化与软件化,此类速率模型的应用仍较为有限,目前,国际上应用最广的仍是加权线性回归速率和端点速率。

国内对于岸线变化的研究大多集中于岸线类型^[11]、分形维^[12]、岸线长度^[13]及岸线位移所引起的海陆面积变化^[14]等,而国外的研究大多针对自然岸段利用变化速率进行分析。加权线性回归速率是否适用于人类活动主导下的岸线变化研究尚未得到验证。位于山东半岛南部的胶州湾经历了20世纪50年代的盐田建设,70年代前后的填湾造陆,80年代以来的围建养殖池和21世纪以来的港口开发、临港工业发展等填海高潮,滩涂湿地和自然岸线几乎消失殆尽^[15]。本文以胶州湾1944年以来7个时相的岸线数据为基础,分析和判断端点速率与加权线性回归速率在人工岸线变化研究中的有效性,揭示胶州湾岸线变化的时空特征。

1 数据与方法

1.1 研究区介绍

胶州湾是以团岛头(120°16'49"E, 36°02'36"N)与薛家岛脚子石(120°17'30"E, 36°00'53"N)连线为界、与黄海相通的半

封闭式原生构造海湾,位于胶东半岛,湾口开向东南,与黄海相连(图1)。海湾东侧与南侧陆域分别为崂山和珠山山地,北部和西部则为胶莱河平原及丘陵。大部分为基岩海岸,只有红石崖以北至山角底为粉砂淤泥质海岸,在湾内的一些小海湾顶有砂质海岸。主要河流有白沙河、大沽河、洋河、辛安河等,属温带季风气候,又具有显著的海洋性气候特点。空气湿润,雨量充沛,温度适中,四季分明。

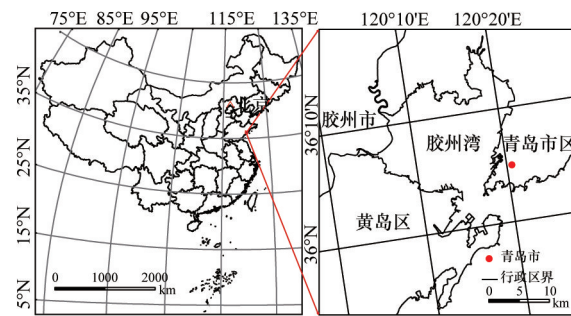


图1 胶州湾位置与范围示意

Fig. 1 Location and boundary of Jiaozhou Bay

胶州湾隶属青岛市区、胶州市,自东向西分别与青岛市市南区、市北区、李沧区、城阳区、胶州市、黄岛区相邻。沿湾地区的科学文化、交通运输、内外贸易等方面,特别是海洋科研与海洋产业都比较发达:20世纪初,青岛市成为中国北方重要的现代港口城市,港口建设、发展与贸易从未有过停滞和间断,目前已发展有青岛港、青岛小港、红石崖港、薛家岛港、黄岛港等;陆上铁路、公路交通也较发达,沿湾分布有胶济铁路、兰烟铁路、济青公路、青烟公路等;自1958年以来,胶州湾海水养殖业迅速兴起,水产品加工也随之有了相应的发展;胶州湾是山东省原盐和盐化工生产的重要基地,也是中国比较闻名的海盐产区之一^[16]。

1.2 数据源与数据处理

所用的数据资料包括:1) 美国陆军制图局1944年编绘的1:250000地形图1幅;2) 1954年测绘的1:50000地形图4幅;3) 1986、2001、2006和2009年成像的30 m分辨率Landsat TM影像各一景,通过NASA的EROS(earth resources observation and science center)网站(<http://glovis.usgs.gov/>)下

载获取,辐射校正、几何校正和地形纠正已经完成;4) 2012年成像的环境与灾害监测预报小卫星 CCD数据一景,30 m空间分辨率,通过中国资源卫星应用中心 (<http://www.cresda.com>) 下载获取。

基于上述数据,经过人工目视解译,提取7个时相的海岸线数据,并投影转换至同一坐标系——Albers投影坐标系(正轴等积圆锥投影)下。2012年5月和2013年10月,课题组对青岛共开展2次野外考察,利用Trimble GPS接收机采集到17个岸线点,其中较稳定的岸线点(如防潮堤、港口码头、路堤等岸线点)能同时代表多时相的岸线位置,因此,17个控制点中既包括有现代岸线的位置,也包含有相对稳定的多时期或过去时期岸线的位置。根据这一特点,为各时相岸线分配控制点集合,分别计算相对应的控制点集与岸线距离的均方根误差^[17,18],结果显示1944、1954、1986、2001、2006、2009和2012年各个时相岸线的误差分别为6.9、8.4、5.4、6.6、6.2、6.2、6.2 m。

对单时相岸线分别以5 km为半径做缓冲区,合并7个缓冲区多边形,得到能同时覆盖7个时相岸线的独立多边形。垂直于此独立多边形的陆上边界,以500 m为间隔作射线与7个时相岸线均相交,调整自相交以及与同一岸线相交两次的射线^[19],最终得到243条剖面线,自东向西依次编号(图2)。基于各个剖面线,计算胶州湾岸线的变化速率,速率为正值时,表明剖面处的岸线向海推进,反之,则向陆后退。

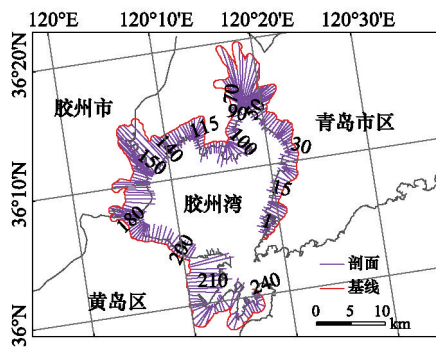


图2 243个剖面线的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of 243 transects

1.3 研究方法

1) 端点速率(end point rate, EPR): 等于某一剖面上两条岸线间的距离除以时间间隔(式(1))。其优点是容易计算且只需要2个时期岸线,缺点是当有更多数据可用时,其余数据都被忽略掉,变化轨迹、变化程度及周期变化趋势都可能被掩盖^[20]。

$$EPR_{m(i,j)} = \frac{D_{mi} - D_{mj}}{T_{m(i,j)}} \quad (1)$$

式中, $EPR_{m(i,j)}$ 为 m 剖面第 i 至第 j 时相岸线变化的端点速率, D_{mi} 、 D_{mj} 分别为 m 剖面上第 i 与第 j 时相岸线离开基线位置的距

离, $T_{m(i,j)}$ 为第 i 与第 j 时相的时间间隔。

2) 平均端点速率(average of rate, AOR): 当有多时期岸线时,平均端点速率为所有相邻时相岸线端点速率的平均值(式(2))。此方法能排除测量误差的影响,但若相邻时相岸线时间间隔过短,又恰逢极端风暴潮时,会出现异常的端点速率值,造成平均速率偏离正常值而出现较大误差^[21]。

$$AOR_m = \frac{\sum_i EPR_{m(i,i-1)}}{N_m} \quad (2)$$

式中, AOR_m 为 m 剖面岸线变化的平均端点速率, i 为第 i 时相, $EPR_{m(i,i-1)}$ 为 m 剖面上任意两相邻时相岸线变化的端点速率, N_m 为 m 剖面上相邻时相岸线变化的端点速率的数量。

3) 加权线性回归速率(weighted linear regression rate, WLRR): 估计每一个时相岸线的位置误差,计算速率时,以误差平方的倒数为权重对多时相岸线数据进行最小二乘法线性回归,回归线的斜率即为加权线性回归速率(式(3)~式(6))。计算结果参数包括标准差(WSE)、相关系数(WR2)、误差置信区间(WCI),用来评价回归速率的稳健及可靠性^[22]。只有当速率位于误差置信区间外时,即岸线位置的变化大于岸线获取过程中各种因素产生的位置误差时(如瞬时大潮高潮线与平均大潮高潮线间的距离),其所表明岸线变化趋势才是有效的。同时,本研究认为,当相关系数值大于0.5时,有效的变化趋势才是显著的。

$$y = a_m x + b_m \quad (3)$$

$$b_m = \frac{\sum_i w_i x_i y_i - (\sum_i w_i x_i)(\sum_i w_i y_i) / (\sum_i w_i)}{\sum_i w_i x_i^2 - (\sum_i w_i x_i)^2 / \sum_i w_i} \quad (4)$$

$$w_i = 1/e_i^2 \quad (5)$$

$$a_m = \frac{\sum_i w_i y_i - b_m \sum_i w_i x_i}{\sum_i w_i} \quad (6)$$

式中, a_m 、 b_m 分别为 m 剖面上线性回归方程的斜率与截距, x_i 为第 i 时相, y_i 为剖面 m 上第 i 时相岸线离开基线的距离, w_i 为第 i 时相岸线在线性回归过程中的权重, e_i 为第 i 时相岸线的位置误差,式(5)表明,岸线位置误差越大,在回归过程中所占的权重越小,对回归方程的影响也就越小。

2 结果与分析

2.1 加权线性回归速率的可靠性分析

基于243个剖面线,计算1944—2012年间岸线的端点速率、平均端点速率、加权线性回归速率及其在80%的置信度下的置信区间。在不考虑加权线性回归速率的有效性与显著性的前提下,绘制3种速率的对比折线图(图3);在考虑加权线性回归速率的有效性及显著性时,提取变化趋势有效且显著的剖面(图4),判断其指示的岸线变化趋势,并与其他两种速率指示的变化趋势进行比较,统计3种变化速率指示的变化趋势:均相同的剖面、均为侵蚀的剖面以及均为扩张的剖面。结果如表1所示。

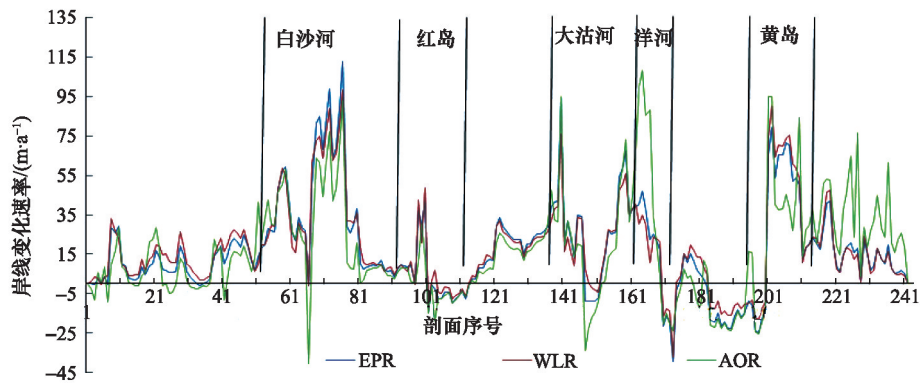


图3 1944—2012年岸线变化端点速率、平均端点速率、加权线性回归速率对比折线

Fig. 3 Broken line graph for comparison of EPR, AOR, WLR of shoreline changes during 1944—2012

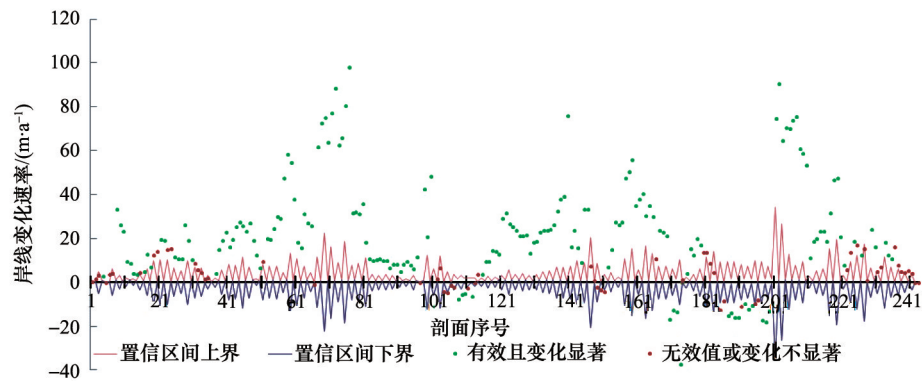


图4 加权线性回归速率的有效性及其显著性判断

Fig. 4 Validity and significance of WLR

表1 端点速率、平均端点速率、加权线性回归速率指示的变化趋势相同的剖面数量统计

Table 1 Number statistics of transects where EPR, AOR, and WLR have the same change trend

指标	WLR有效且显著	变化趋势相同	同侵蚀	同扩张
个数	182	174	20	154
比例/%	74.90	95.60	11.00	84.62

由图3可见,当不考虑加权线性回归速率的有效性与其显著性时,3种速率指示的岸线变化趋势大致相同,波动规律高度一致;其中,端点速率和加权线性回归速率在数值及其所体现的特征方面更为接近,平均端点速率较前两者有较明显的差异,特别是在极值处,差异则更为显著,说明平均端点速率沿海岸振动振幅较大,所体现的区域差异较端点速率和加权线性回归速率显著,对于异常值也更为敏感。

由表1可知,当考虑加权线性回归速率的有效性及其显著性时,加权线性回归速率有效且显著的剖面有182个,占全部剖面74.90%;其中:其所指示的岸线变化趋势与端点速率与平均端点速率相同的有174个,占有效剖面数量的95.60%;同侵蚀的20个,占11.00%,同扩张的154个,占84.62%。74.90%的有效且显著率、同端点速率与平均端点速率所指示

规律的高度相似性等也都表明,加权线性回归速率能有效地探测1944—2012年间胶州湾海岸线变化的整体趋势及其空间分布特征。

2.2 近70年来岸线变化的总体特征

图5所示为加权线性回归速率所指示的胶州湾岸线在1944—2012年间变化的整体趋势及空间分布特征。白色指示变化趋势不显著的剖面线;白色、红色系及蓝绿色系分别指示岸线变化趋势为不显著、向陆侵蚀及向海推进。

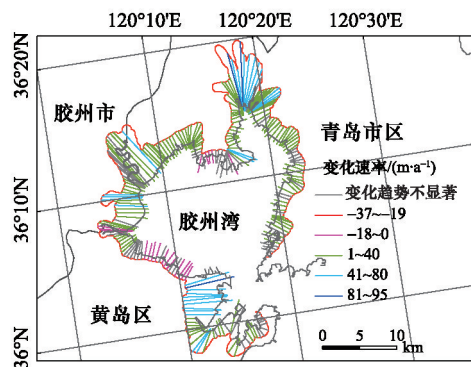


图5 近70年来胶州湾海岸线变化趋势的空间差异

Fig. 5 Spatial variations of shoreline change during the nearly 70 years in Jiaozhou Bay

1944—2012年间:胶州湾海岸线以平均18.5 m/a的速度整体向海推进;20世纪70年代,人工建坝使得黄岛与大陆相连成为陆连岛,90年代后,青岛开始在黄岛海域实施大规模的填海工程,致使黄岛区岸线成为近70多年来胶州湾地区岸线推进速率最快的岸段,平均推进速度达69.3 m/a;20世纪80年代,白沙河河口将盐田区改造为养殖区,养殖规模不断扩大,近70多年来的岸线推进速率约为59.7 m/a,仅次于黄岛岸段;20世纪初,白沙河以东的青岛市辖区成为中国北方的重要港口聚集区,从此,港口建设、发展与贸易从未间断,岸线平均推进速率达20.2 m/a,但较黄岛岸段和缓;自20世

纪50年代以来,红岛以西、大沽河以东的盐田建设与扩张较为剧烈,近70多年来,岸线平均推进速率为23.6 m/a;黄岛区红石崖至大石头岸段,近70多年来受人类活动影响较小,因此在东北风形成的波浪作用下经常受蚀后退,处于冲刷状态,平均侵蚀速率为-13.8 m/a。

2.3 岸线变化的阶段性特征

计算不同时期胶州湾岸线变化的端点速率,分析不同阶段海岸线变化的空间特征,如图6所示。红色系指侵蚀岸段,蓝色系指向海推进岸段;同时,剖面线的长度表明岸线变化距离,即剖面线越长,岸线侵蚀或推进距离越大。

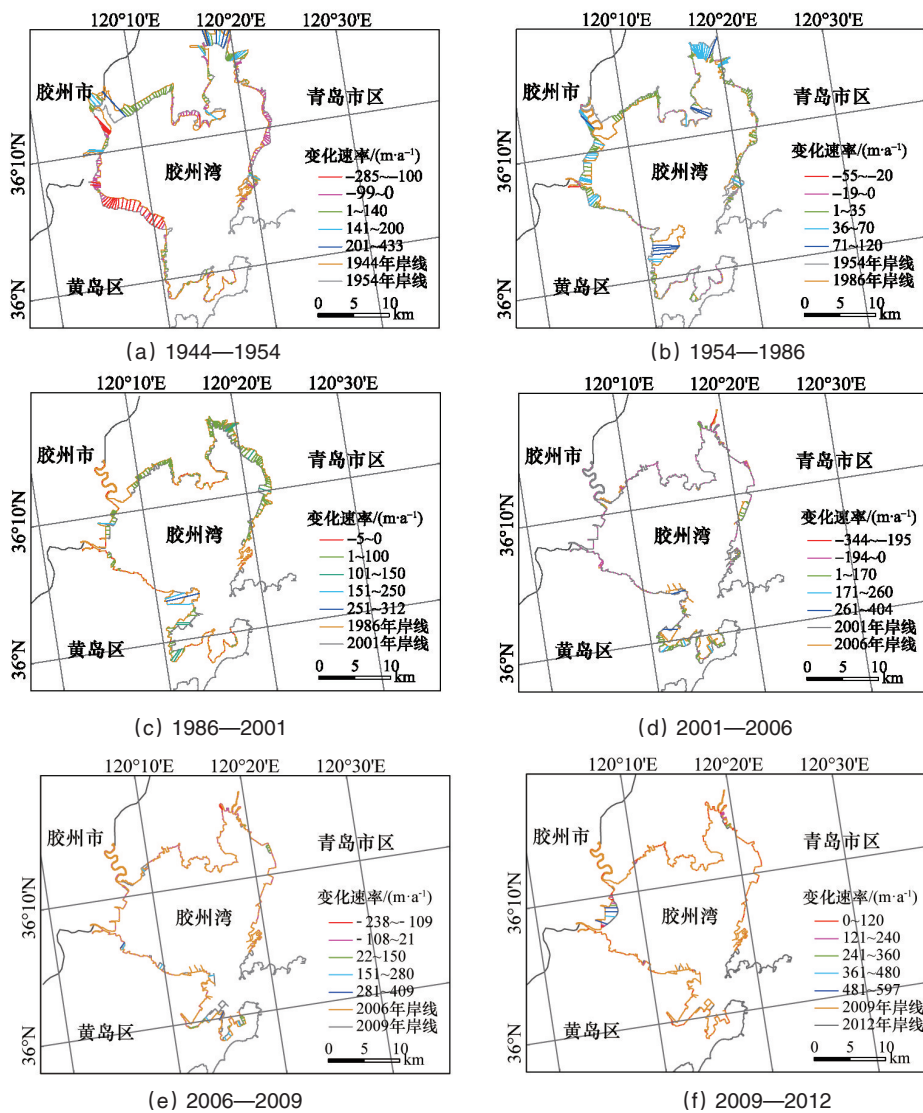


图6 不同时期胶州湾岸线变化的空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution of shoreline changes during different periods in Jiaozhou Bay

如图6(a)所示,1944—1954年,由于盐田的迅速发展,胶州湾岸线在白沙河、大沽河、洋河河口附近处于大规模向海推进趋势,推进平均速率分别为268.4、95.0、203.0 m/a;辛安河口部分岸段由于河流泥沙的输送作用,整体处于淤进状态,但淤进速度较慢,平均28.2 m/a;胶州湾的主要泥沙来源

是河流输沙,但盐田在河口地区的围堵,加上上游河流水利工程的兴建,致使其他岸段岸线因为泥沙补给量不能弥补海岸侵蚀量而处于侵蚀状态,其中黄岛区红石崖至大石头岸段侵蚀量相对较大,平均-102.0 m/a。

如图6(b)所示,从1958年开始,胶州湾海水养殖业开始

大发展,白沙河河口盐田改造为养殖,洋河河口北部则开始围海用以养殖;1954—1986年间,盐田产业继续扩大,盐田规模在大沽河河口东西两侧及洋河河口南部持续向海延伸。因此,1954—1986年,白沙河、大沽河及洋河河口附近岸线继续向海扩张,扩张平均速率分别为47.1、21.2、34.5 m/a;20世纪70年代黄岛因为人工建坝成为陆连岛,致使黄岛段岸线显著向海推移。

如图6(c)所示,1986—2001年,是养殖业蓬勃发展时期,白沙河及大沽河河口以北养殖继续向海扩张,大沽河以南盐田改造为养殖池并向海扩张,此期间,白沙河与大沽河河口岸线扩张的平均速率分别为42.6、34.9 m/a;青岛市辖区的港口及码头建设,使得白沙河以东及黄岛附近岸段以强烈的围填海形式向海扩张,扩张速率分别为42.2、73.8 m/a。

如图6(d)所示,2001—2006年,黄岛及其以南岸段,港口及码头建设全线展开,引发新一轮填海高潮,岸线以平均106.5 m/a的速率向海推进;此期间,河口附近养殖与盐田产业趋于稳定,白沙河东部的青岛市辖区港口开发强度较弱,除黄岛以南黄岛区岸段,湾内其他岸段岸线基本稳定。

如图6(e)所示,2006—2009年,黄岛区辛安河以东港口及码头的建设规模达到最大,开发及围填也因此最为强烈,岸线以平均107.6 m/a的速率向海推进;其余地区岸线均处于相对稳定状态。

如图6(f)所示,2009年后,黄岛区的围填活动基本告一段落,围填区域等待沉降与排水完成后将投入港口建设,因此2009—2012年,黄岛区岸线稳定;大沽河及洋河河口之间的岸段,养殖池扩张,出现新生围填区域,围填区域的岸线平均向海扩张速率为509.9 m/a;其余地区岸线均处于相对稳定状态。

3 讨论

端点速率及加权线性回归速率揭示的1944—2012年间胶州湾岸线变化特征高度相似,但平均速率因为考虑了所有时相的岸线位置而对异常值较为敏感,揭示的岸线变化特征的不确定性也因而较大;加权线性回归速率以置信区间与相关系数为辅助参数确定其有效性及所指示岸线变化趋势的显著性,因此揭示的岸线变化特征最可靠。

1944—2012年间,胶州湾岸线处于整体向海推进趋势;港口及临港工业建设对岸线的改变最为剧烈,致使黄岛以南的黄岛区岸段成为胶州湾近70余年来向海扩张的热点区域;盐田沿岸线方向的规模在萎缩,但在大沽河河口附近却不断向海扩张;养殖自20世纪80年代兴起至今,一直处于向海扩张、沿岸线方向延展的趋势,发展速率赶超原盐及盐化工生产;盐田及养殖池以及上流水利工程对河流泥沙的拦截与滞留,使胶州湾湾内泥沙来源不足,在东北风风浪作用下,黄岛区红石崖至大石头岸段在新中国成立初侵蚀现象明显,但20世纪60年代后,经过临海公路建设、港口开发等岸线固化

作用,侵蚀现象减弱,岸线位置整体趋于稳定。

20世纪50年代,在计划经济主导下,白沙河及大沽河河口地区盐田建设掀起新中国成立以后胶州湾的第一轮填海高潮,在地理空间上则表现为东北及西北岸段以盐田类型大规模向海扩张;改革开放以后,在市场经济发展和居民生活水平不断提高的驱动下,私有养殖业急速发展,使胶州湾在20世纪80年代至90年代迎来第二轮填海高潮,黄岛也因养殖池与人工坝的连接作用而成为陆连岛,这一时期,胶州湾岸线变化在空间上表现为东北及西北盐田岸段转为养殖岸段,黄岛并入大陆;20世纪90年代以来,受内外贸易一体化政策的驱动,港口开发及临港工业蓬勃发展,引发胶州湾新一轮更为强烈的填海运动,岸线变化表现为东部岸段平直化、黄岛及黄岛以南的黄岛区岸段更快更大规模地向海扩张。

总之,自20世纪50年代以来,胶州湾先后经历了盐田建设、围建养殖池、港口及临港工业开发等几轮围填海高潮,湾内的海域面积以自然状态下200多倍的速度缩小^[23],造成海湾纳潮量的减损,并导致环境自净能力下降,环境污染趋于严重,绿潮规模愈加引人注目。大规模的围填海造陆运动造成湾内湿地自然景观面积大量减少甚至消失,鱼类产卵场及幼场受到干扰,陆地生态系统的生物支持及海洋生物资源的供给功能降低,生物多样性持续退化。湾内已占主导地位的硬化岸线,通过影响登陆海湾地区风暴潮的高度、沉积物的运移及沉积过程、内陆土壤水的补给过程,加重内陆地区的地面下降问题,增加沿海地区洪涝灾害的风险,干扰海岸线的自然淤积过程从而引发较为严重的港口航道淤堵问题。

由此可看出,沿海地区环境与生态问题已经开始阻碍社会经济的进一步发展,因此,围填面积对海湾纳潮量减损的决定关系、盐田/养殖与海水富营养化加剧的相关关系、岸线硬化程度与生物多样性退化的因果关系、岸线的开发利用程度是否对地区洪涝灾害风险机率及损失增加有诱导作用,值得更多的关注和更深入的研究。岸线的利用方式与利用程度的变化、岸线的变化速率能够为此类研究提供最基本的数据与特征信息,而反过来,通过分析岸线变化的特征、主导因素与环境/生态问题的因果关系,可全面而又深入地了解海岸带的开发利用过程,及其对环境与生态的影响,从而为海岸带管理与决策部门的管理、规划与治理提供信息支持。因此,岸线变化的研究在海岸带科学规划、综合管理、环境问题的预防与治理、生态修复等方面具有重要意义。

4 结论

基于地形图与遥感影像,提取胶州湾1944、1954、1986、2001、2006、2009和2012年7个时相的岸线数据,基于剖面线,通过岸线变化3种速率的相互检验,证明端点速率及加权线性回归速率对于胶州湾岸线变化探测的有效性,进而揭示胶州湾自1944年以来岸线变化的时空特征,主要结论如下:

1) 3种速率揭示了较为相似的岸线变化特征,但不同的

是,平均速率对异常值较为敏感,而加权回归速率对岸线变化特征的刻画最可靠;

2) 从速率变化揭示的岸线变化特征看,在过去 70 多年间,胶州湾先后经历了盐田建设、围养开发、港口及临港工业发展与扩张这几轮围填海热潮,空间发展形式表现为岸线向海推进趋势由河口区域逐步扩散至整个海湾。

参考文献(References)

- [1] Woodruff J D, Irish J L, Camargo S J. Coastal flooding by tropical cyclones and sea-level rise[J]. *Nature*, 2013, 504(7478): 44-52.
- [2] Coleman J M, Huh O K, Braud Jr D. Wetland loss in world deltas[J]. *Journal of Coastal Research*, 2008, 24(Suppl 1): 1-14.
- [3] Syvitski J P M, Kettner A J, Overeem I, et al. Sinking deltas due to human activities[J]. *Nature Geoscience*, 2009, 2(10): 681-686.
- [4] Syvitski J P M, Vörösmarty C J, Kettner A J, et al. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean[J]. *Science*, 2005, 308(5720): 376-380.
- [5] Kirwan M L, Megonigal J P. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise[J]. *Nature*, 2013, 504(7478): 53-60.
- [6] Dolan R, Hayden B, Heywoode J. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion[J]. *Coastal Engineering*, 1978, 2: 21-39.
- [7] Romine B M, Fletcher C H. A summary of historical shoreline changes on beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii[J]. *Journal of Coastal Research*, 2013, 29(3): 605-614.
- [8] Romine B M, Fletcher C H, Frazer L N, et al. Historical shoreline change, Southeast Oahu, Hawaii; Applying polynomial models to calculate shoreline change rates[J]. *Journal of Coastal Research*, 2009, 25(6): 1236-1253.
- [9] Fenster M, Dolan R. Large-scale reversals in shoreline trends along the U.S. mid-Atlantic coast[J]. *Geology*, 1994, 22(6): 543-546.
- [10] Crowell M, Douglas B C, Leatherman S P. On forecasting future US shoreline positions: A test of algorithms[J]. *Journal of Coastal Research*, 1997, 13(4): 1245-1255.
- [11] 姚晓静, 高义, 杜云艳, 等. 基于遥感技术的近 30 年海南岛海岸线时空变化[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(1): 114-125.
Yao Xiaojing, Gao Yi, Du Yunyan, et al. Spatial and temporal changes of Hainan coastline in the past 30 years based on RS[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(1): 114-125.
- [12] 陈正华, 毛志华, 陈建裕. 利用 4 期卫星资料监测 1986—2009 年浙江省大陆海岸线变迁[J]. *遥感技术与应用*, 2011, 26(1): 68-73.
Chen Zhenghua, Mao Zhihua, Chen Jianyu. Coastline change monitoring using 4 periods remote sensing data in Zhejiang Province from 1986 to 2009[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(1): 68-73.
- [13] 武芳, 苏奋振, 平博, 等. 基于多源信息的辽东湾顶东部海岸时空变化研究[J]. *资源科学*, 2013, 35(4): 875-884.
Wu Fang, Su Fenzhen, Ping Bo, et al. Multi-source-based space-time analysis of shoreline changes in eastern Liaodong Bay top[J]. *Resources Science*, 2013, 35(4): 875-884.
- [14] 陈曦, 倪金, 邴智武, 等. 辽宁省海岸线近百年变迁特征分析[J]. *地质与资源*, 2011, 20(5): 354-357.
Chen Xi, Ni Jin, Bing Zhiwu, et al. Research on the changes of coastline in Liaoning Province in a century[J]. *Geology and Resources*, 2011, 20(5): 354-357.
- [15] 马妍妍, 李广雪, 刘勇, 等. 胶州湾湿地动态变化的遥感分析及质量评价[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(1): 69-75.
Ma Yanyan, Li Guangxue, Liu Yong, et al. Dynamic change and quality evaluation of Jiaozhou Bay wetland based on remote sensing analysis[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28(1): 69-75.
- [16] 陈红霞, 华锋, 刘娜, 等. 胶州湾近期海岸线、水深变化研究[J]. *海洋科学进展*, 2009, 27(2): 149-154.
Chen Hongxia, Hua Feng, Liu Na, et al. Study on variability of coastline and water depth of Jiaozhou Bay in recent years[J]. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(2): 149-154.
- [17] Genz A S, Fletcher C H, Dunn R A, et al. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii[J]. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(1): 87-105.
- [18] Eulie D O, Walsh J P, Corbett D R. High-resolution analysis of shoreline change and application of balloon-based aerial photography, Albemarle-Pamlico Estuarine System, north Carolina, USA[J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2013, 11: 151-160.
- [19] Jackson Jr C W, Alexander C R, Bush D M. Application of the AMBUR R package for spatio-temporal analysis of shoreline change: Jekyll Island, Georgia, USA[J]. *Computers & Geosciences*, 2012, 41: 199-207.
- [20] Crowell M, Honeycutt M, Hatheway D. Coastal erosion hazards study: Phase one mapping[J]. *Journal of Coastal Research*, 1999, SI(28): 10-20.
- [21] Dolan R, Fenster M S, Holme S J. Temporal analysis of shoreline recession and accretion[J]. *Journal of Coastal Research*, 1991, 7(3): 723-744.
- [22] Keyes T K. Applied regression analysis and multivariable methods[J]. *Technometrics*, 2001, 43(1): 101-101.
- [23] 刘洪滨, 孙丽, 何新颖. 山东省围填海造地管理浅探——以胶州湾为例[J]. *海岸工程*, 2010, 29(1): 22-29.
Liu Hongbin, Sun Li, He Xinying. Preliminary study on reclamation management in Shandong: Taking Jiaozhou Bay as an example[J]. *Coastal Engineering*, 2010, 29(1): 22-29.

(责任编辑 吴晓丽)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。