

# 近 40 年芝罘湾岸线时空演变及围填海活动评价

杜逢超, 徐艳东, 于 宁, 杜冰青

(山东省海洋资源与环境研究院, 山东 烟台 264006)

**摘要:** 利用 1975、1985、1995、2005 和 2015 年 5 期 Landsat 影像对烟台芝罘湾海岸线 40 年的时空变化进行了分析, 在此基础上, 对围填海活动进行开发强度评价和潜力预测, 结果表明, (1)40 年间, 芝罘湾岸线以向海方向运动为主, 岸线长度增加 13.09 km, 湾顶部岸线变化强烈, 海湾面积以大约 0.19 km<sup>2</sup>/a 的速度持续缩小; (2)岸线类型已由最初自然岸线为主转变为以人工岸线占绝对优势, 其中, 港口、码头类型岸线长度增速为 0.52 km/a, 是引起岸线向海变化的主要岸线类型; (3)沿岸开发活动长期以围填海为主导, 利用强度持续增强。至 2015 年, 芝罘湾围填海可利用面积约为 2.57 km<sup>2</sup>, 照目前的开发速度, 预计大约 15~16 a 后到达围填海潜力极限, 节约、集约用海尤为重要。

**关键词:** 海岸线; 芝罘湾; 时空演变; 围填海开发评价

中图分类号: P737.1; P748; TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)04-0028-08

DOI: 10.11759/hyxx20170515002

芝罘湾位于山东省烟台市, 因北部芝罘岛而得名, 主要由芝罘岛后方连岛沙坝逐渐向南同陆地相连所形成。芝罘湾口门北起芝罘岛东南角(37°32'48"N, 121°25'24"E), 南至东炮台山(37°32'07"N, 121°25'47"E), 三面环陆, 湾口向东, 湾内水域开阔, 是山东半岛北部天然良港<sup>[1]</sup>。芝罘湾沿岸地区具有发达的经济及密集的人口, 工业、商业、旅游业发展繁荣。日益频繁的开发活动使得湾内海岸线承载的环境压力不断增加。

利用多时相遥感影像提取海岸线空间变化信息, 探讨由海岸线、海岸带范围变动所引发的环境、生态、社会等相关问题, 已经取得了众多的成果。对于我国渤海<sup>[2-3]</sup>、南海<sup>[4-5]</sup>、沿海各省份部分海域<sup>[6-9]</sup>以及黄河口<sup>[10-11]</sup>、珠江口<sup>[12]</sup>、莱州湾<sup>[13]</sup>等典型河口及海湾地区<sup>[14-16]</sup>的岸线, 海岸带时空变化的研究已十分丰富。就芝罘湾地区而言, 邸向红等<sup>[17]</sup>分析了土地利用变化对芝罘湾连岛沙坝附近海岸带的影响, 宫立新等<sup>[18]</sup>研究了 20 年间烟台市主要海湾的海岸线变化并分析了变化原因。此外, 近期相关研究主要集中在水体、沉积物等环境要素以及土地利用方面。所以, 本文选取了 1975、1985、1995、2005 和 2015 年 5 期覆盖芝罘湾的 Landsat 影像数据进行海岸线提取, 分析芝罘湾岸线 40 年的时空变化, 评价芝罘湾围填海活动强度及可利用潜力, 以期对芝罘湾将来的发展, 岸线资源的合理利用及海域使用的集约管理提供决策依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 数据来源

本文使用 Landsat MSS/TM/OLI 影像作为数据源, 自 1975 年起, 每 10 年选取一景影像, 共 5 景。所有影像均来自美国地质调查局(USGS)网站免费下载。数据均为经过精确几何校正及地形校正的 Level 1T 级产品, 研究区范围见图 1。具体信息如表 1 所示。另外, 使用 1992、1999、2005、2008 和 2011 年烟台港 1:15000 海图以及烟台地区 1:50000 数字线划图(DLG)作为影像处理及岸线提取的辅助参考资料。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 影像处理及岸线解译

为保证所用数据具有一致的几何精度, 利用烟台地区 1:50000 数字线划图对 1995 年影像进行几何精校正, 后使用校正后的 1995 年影像对其余四景影像进行图像配准。采用二次多项式模型, 校正配准误差在 0.5 个像元以内, 使用双线性内插法进行重采

收稿日期: 2017-05-15; 修回日期: 2017-07-27

基金项目: 国家海洋局海域管理技术重点实验室基金(201608)

[Foundation: Project Supported by The Key Laboratory of Marine Management Technology of State Oceanic Administration Foundation, No. 201608]

作者简介: 杜逢超(1987-), 男, 山东东营人, 助理研究员, 主要方向: 海域管理技术研究, 电话: 18669833066, E-mail: dys\_000@163.com; 徐艳东, 通信作者, 电话: 18153518176, E-mail: xuyandong@163.com

样。将校正后的影像进行统一投影，按照近红外、红、绿波段生成假彩色影像并按研究区范围进行裁剪。结合不同时期海图资料使用人机交互的方式进行目视解译，重点编辑岸线变化的岸段。

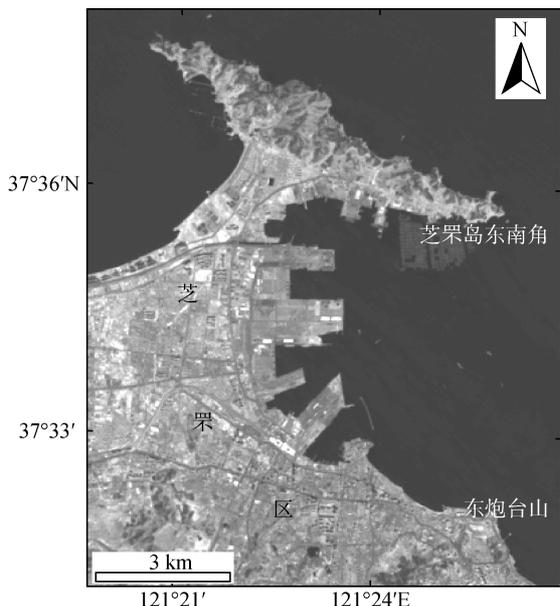


图 1 研究区范围  
Fig. 1 Study area

### 1.2.2 岸线分析

采用垂直断面法进行岸线变动建模。使用美国联邦地质调查局(USGS)开发的 ArcGIS 扩展模块数字岸线分析系统(DSAS)进行分析<sup>[19-20]</sup>。如图 2 所示，首先，以 1975 年提取岸线走势形态为基准，向陆方向缓冲建立基线，基线总长 16.66 km；其次，统一采

用 60 m 采样间距，依次生成垂直基线向海，并与所有岸线相交等间距研究断面，后根据岸线整体形态进行基线的局部人为调整，更新生成的断面，避免断面相交，最终生成 280 条研究断面；最后，根据断面同各时期海岸线相交形成的交点，利用各交点之间的距离计算芝罘湾岸线的最大变化距离(SCE)及端点变化速率(EPR)。对矢量岸线、海湾面积数据进行编辑并统计分析，划分岸线类型，提取围填海岸段，计算围填海海域面积。

### 1.2.3 岸线数据质量评估

岸线数据集多是基于特定时间静态影像进行提取，仅表示特定的时段或时间点具有特定意义的陆海分界线，存在一定的人为主观判断，使得提取结果必然同实际存在差异。因此对提取的岸线数据进行精度控制和分析，以满足特定应用的要求，是十分必要的。Fletcher 等<sup>[21]</sup>、李行等<sup>[7]</sup>、毋亭等<sup>[22]</sup>、闫秋双等<sup>[9]</sup>的研究认为影像数据源自身、后处理过程、岸线解译的一系列过程中所存在或引入的误差，将累积并传递至最终所提取的岸线数据中。据此本文采用多误差综合法<sup>[22]</sup>评价 Landsat 影像提取岸线的精度。计算公式如下：

$$E = \sqrt{e_s^2 + e_{id}^2 + e_d^2 + e_r^2 + e_g^2 + e_t^2} \quad (1)$$

式中， $E$  为提取岸线数据总误差； $e_s$  为季节误差； $e_{id}$  为潮汐波动误差； $e_r$  为配准误差； $e_d$  为数字化误差； $e_g$  几何校正误差和  $e_t$  地形校正误差是 Landsat LIT 影像产品下载前处理过程中产生的误差，记录在影像元数据文件中。

表 1 研究所用影像资料信息

Tab. 1 List of different satellite data used in the study

传感器	获取时间(年-月-日)	空间分辨率/m	轨道号/行号	景数
Landsat-2 MSS	1975-05-19	60	128/34	1
Landsat-5 TM	1985-04-01	30	119/34	1
Landsat-5 TM	1995-05-15	30	119/34	1
Landsat-5 TM	2005-03-07	30	119/34	1
Landsat-8 OLI	2015-04-20	30	119/34	1

### 1.2.4 围填海活动评价

本文主要从开发强度与潜力两方面对围填海活动进行评价。采用围填海强度指数以及基于强度等级计算围填海潜力的评价方法<sup>[23]</sup>。本文以 1975 年岸线长度作为基准，计算围填海强度指数。其计算公式为

$$R = S/L \quad (2)$$

式中， $R$  为围填海强度指数， $\text{hm}^2/\text{km}$ ； $S$  为研究区内围填海总面积累计值， $\text{hm}^2$ ； $L$  为基准年海岸线总长度， $\text{km}$ 。

依据围填海强度指数划分 5 个强度等级区间，各等级所表示的意义见表 2。

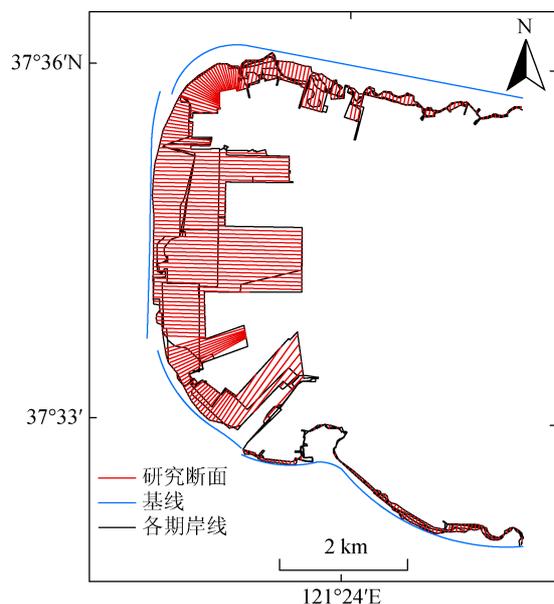


图 2 DSAD 分析所用基线和断面分布

Fig. 2 Distributions of the baseline and transects for DSAD analysis

以强度等级 3 级下最大围填海供应能力  $50 \text{ hm}^2/\text{km}$  作海岸承受围填海压力健康与否的临界值; 以强度等级 4 级下最大围填海供应能力  $100 \text{ hm}^2/\text{km}$  作为海岸可承载围填海压力的最高强度。当强度等级达到 5 级时, 认为已不具备围填海开发的潜力。各等级最

表 2 围填海强度等级设置及各等级意义<sup>[23]</sup>

Tab. 2 Setting of the sea reclamation intensity grade and meaning of each grade<sup>[23]</sup>

$R$	$I$ /级	等级意义
$0 \leq R < 10$	1	压力微弱, 开发潜力很大
$10 \leq R < 20$	2	压力较小, 有一定开发潜力
$20 \leq R < 50$	3	有一定围填海压力, 对后续开发有一定影响
$50 \leq R < 100$	4	围填海压力较大, 注重节约、集约利用围填海域
$R \geq 100$	5	围填海压力很大, 不宜新增围填海项目

表 3 岸线数据总误差

Tab. 3 Errors in the shoreline position extraction

年份	空间分辨率/m	总误差/m
1975	60	30.85
1985	30	13.44
1995	30	10.38
2005	30	11.74
2015	30	14.21

为验证经上述岸线质量评价方法所得误差的有效性, 本文利用其他高精度数据集进行了验证, 由于不便获得每一期对应的高精度验证数据, 本文仅采用 2004 年 11 月获取的 2.5 m 分辨率 SPOT5 正射

大围填海供应能力减去现有围填海强度即得到目前剩余围填海开发潜力。计算公式如下<sup>[23]</sup>:

$$P = \begin{cases} R_3 - R_n, & I = 1 \text{ 或 } 2 \text{ 级} \\ R_{3 \text{ or } 4} - R_n, & I = 3 \text{ 或 } 4 \text{ 级} \\ 0, & I = 5 \text{ 级} \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $P$  为岸线目前承载的剩余围填海潜力;  $R_3$  表示 3 级强度等级对应的最大围填海供应能力;  $R_{3 \text{ or } 4}$  表示 3 级或 4 级强度等级为对应的最大围填海供应能力;  $R_n$  为研究区目前围填海强度

## 2 结果与分析

### 2.1 岸线数据质量

本文在提取芝罘湾岸线的过程中, 早期自然岸线主导时期着重提取相对稳定的植被岸线, 而后期提取的多为经人为改造的人工岸线, 因此潮汐波动误差  $e_{td}$  可忽略不计; 所选取的影像成像时间主要为 3 到 5 月春季期间, 由于季节变化引起的影像解译误差  $e_s$  可不在考虑范围内。数字化误差  $e_d$  为提取矢量岸线过程中引入的误差, 因此, 本文岸线解译数字化工作均由同一人完成, 用以消除不同数字化人员所引入的误差差异。因此根据式(1), 仅考虑配准误差  $e_r$ , 几何校正误差  $e_g$  及地形误差  $e_t$ , 计算的岸线提取数据总误差见表 3。

影像以及 2005 年 908 专项修测岸线数据, 对提取的 2005 年岸线分别进行精度评估。经计算, 提取的 2005 年岸线到 SPOT5 影像岸线及 908 专项修测岸线的标准偏差分别为 15.71 m 和 16.70 m。该结果同本文采用方法获得的 2005 年岸线数据误差 11.74 m 相比, 相差较小。说明本文所采用的方法是可行有效的。

因此, 如表 3 所示本文岸线数据总误差均小于 1 个像元, 满足岸线遥感解译的精度要求。

### 2.2 岸线分析

#### 2.2.1 岸线长度及海岸面积分析

将提取的 1975—2015 年 5 期芝罘湾岸线结果进

行叠加(图 3)可以看出,自 1975 年起,各期芝罘湾岸线基本上呈现向海前进的状态,岸线形态变化迅速,整体形态最初成“C”型,随着岸线逐渐向海前进,岸线长度逐渐增长,中期湾顶弧形岸线逐渐变得平直,使得岸线长度在 1995—2005 年出现增长放缓且稍有缩短的现象(图 5),近十年来,沿岸开发活动使得岸线向湾口凸出,岸线曲折度再度增加,岸线长度再次增长。1975 年、2015 年两年岸线长度分别为 22.11 km 和 35.20 km,40 年间岸线长度增加 13.09 km,增长速率为 0.33 km/a(表 4)。

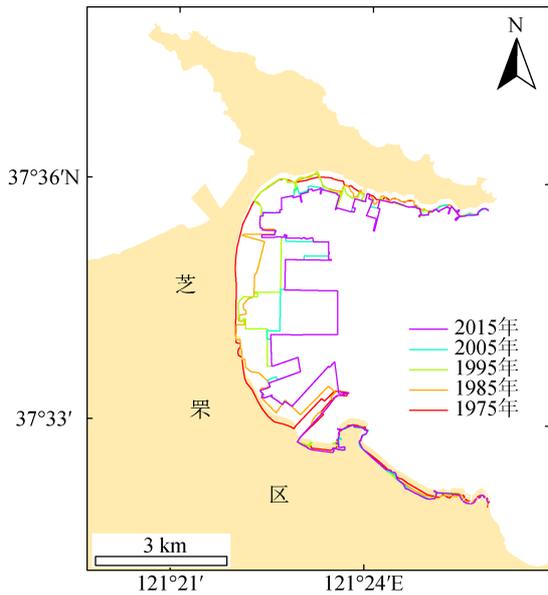


图 3 海岸线提取结果叠加  
Fig. 3 Overlap of the shoreline extraction results

表 4 芝罘湾岸线长度、海湾面积变化  
Tab. 4 Changes in the shoreline length and the bay area in Zhifu Bay

年份	自然岸线/ km	人工岸线/ km	岸线总长/ km	海湾面积/ km <sup>2</sup>
1975	13.23	8.88	22.11	33.63
2015	4.83	30.37	35.20	26.20

岸线的向陆向海变动决定了海岸及海湾总体面积的变化。1975 年芝罘湾面积为 33.63 km<sup>2</sup>, 沿岸围填海面积为 0.38 km<sup>2</sup>; 2015 年芝罘湾面积为 26.20 km<sup>2</sup>, 减少 7.43 km<sup>2</sup>, 沿海围填海面积为 8.51 km<sup>2</sup>, 累计增加 7.63 km<sup>2</sup>, (表 4、表 5)。图 4 显示, 各一时期, 芝罘湾海岸前进的面积均远大于岸线后退的面积。由图 5 可知 40 年间芝罘湾海湾面积一直保持减少的趋势且速率并未出现放缓的迹象, 大约为 0.19 km<sup>2</sup>/a。

就芝罘湾而言, 海湾面积以几乎恒定的速度持续减少, 从另一个侧面反映出沿岸的开发活动在近 40 年的时间内持续增强。

表 5 围填海强度及潜力  
Tab. 5 Sea reclamation intensity and potential

年份	围填海面积/ km <sup>2</sup>	R/ (hm <sup>2</sup> /km)	I/ 级	P/ (hm <sup>2</sup> /km)
1975	0.38	1.72	1	48.28
1985	2.37	10.70	2	39.30
1995	4.76	21.49	3	28.51
2005	6.81	30.74	3	19.26
2015	8.51	38.42	3	11.58

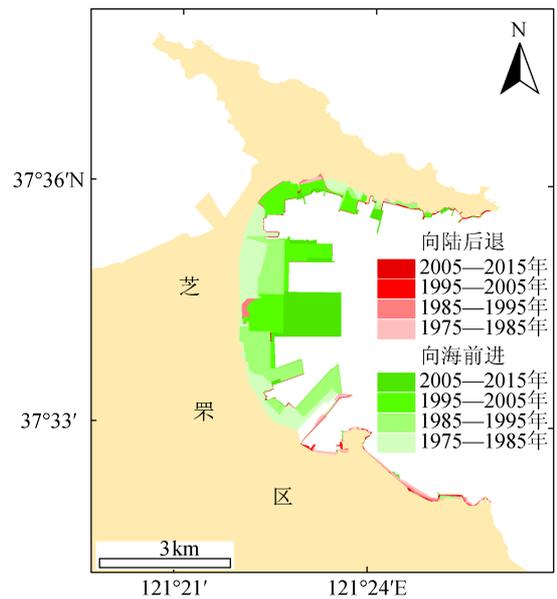


图 4 芝罘湾海岸面积变化  
Fig. 4 Changes in the coastal land area in the Zhifu Bay

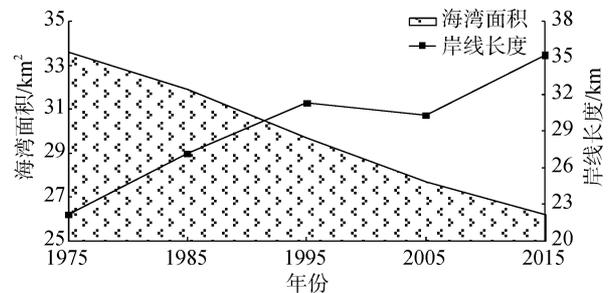


图 5 1975—2015 芝罘湾海湾面积及岸线长度变化  
Fig. 5 Changes in the area and the shoreline length in the Zhifu Bay, 1975—2015

### 2.2.2 岸线类型分析

主要岸线类型按照自然岸线及人工岸线划分, 自然岸线将砂质岸线和基岩岸线加以区别; 人工岸

线又分为港口、码头岸线及其他人工岸线两类(图 6)。1975 年, 芝罘湾主导岸线类型是自然岸线, 长度为 13.23 km, 占比 59.84%, 其中, 砂质岸线所占比例为 34.01%, 基岩岸线所占比例为 25.83%, 此外, 人工岸线长度 8.88 km, 占比 40.16%; 至 2015 年, 人工岸线所占比例上升为 86.28%, 长度增长至 30.37 km, 其中, 港口、码头岸线占比 74.38%, 其余部分为其他人工岸线, 相应的, 自然岸线长度下降至 4.83 km, 仅占总体岸线长度的 13.72%, 其中仅包括 7.16% 的砂质岸线和 6.56% 的基岩岸线。40 年间, 自然岸线减少 8.4km, 减少速率为 0.21km/a; 人工岸线增长 21.49 km, 增长速率为 0.54 km/a, 其中港口、码头岸线增加 20.86 km, 增速 0.52 km/a, 是引起岸线向海运动的主要岸线类型。

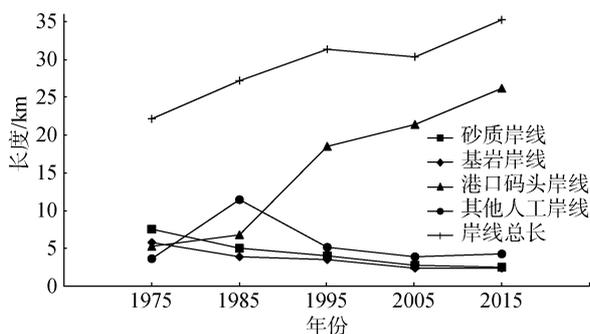


图 6 岸线类型变化  
Fig. 6 Changes in the shoreline type

### 2.2.3 岸线移动分析

岸线向海前进及向陆蚀退断面分别为 211 条和

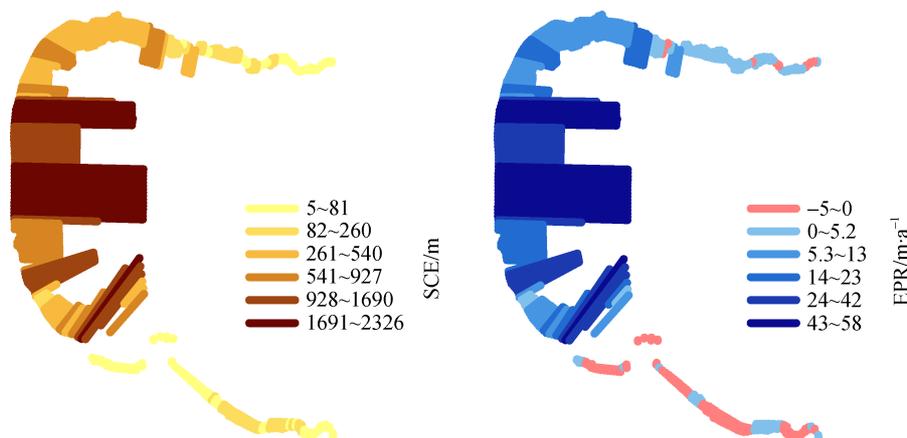


图 7 1975—2015 年各断面岸线变化最大距离及各断面变化速率计算结果  
Fig. 7 Results of the shoreline change envelope and the annual rate of change from 1975 to 2015

使用 SPSS 软件对围填海面积( $\text{hm}^2$ )与时间(a)进行回归分析(图 8), 根据计算, 选用相关性更高的二

62 条, 忽略断面 7 条。经分析获得芝罘湾 1975—2015 年海岸线移动变化结果。岸线向海前进最大距离为 2 325.53 m, 速率为 58 m/a; 岸线整体平均向海前进距离 641.98 m, 平均前进速率 16.05 m/a。岸线向陆最大蚀退距离为 126.34 m, 速率为 3.16 m/a, 岸线整体平均蚀退距离为 48.35 m, 平均蚀退速率为 1.21 m/a。由图 4、图 7(b)可以看出, 蚀退岸段位于芝罘湾南北两端, 主要是由于砂质岸线的侵蚀及基岩岸线的改造, 除此之外, 其余大部分岸段由于烟台港和其他港口码头的建设以及其他围填海活动的进行, 岸线向海大幅前进。

### 2.3 围填海强度及潜力

结合提取的矢量岸线数据, 计算各时期芝罘湾围填海面积, 按照公式(2)和公式(3)计算各期的围填海强度和围填海潜力(表 5)。

根据计算结果可以看出, 1975 年芝罘湾围填海强度  $1.72 \text{ hm}^2/\text{km}$ , 强度等级 1 级, 经历 20 年的时间到 1995 年, 围填海强度开始达到 3 级强度, 2015 年围填海强度为  $38.42 \text{ hm}^2/\text{km}$ , 此 20 年间, 围填海强度虽逐期增加, 但强度等级依然处于 3 级范围内。随着围填海强度的持续增加, 岸线利用压力增大, 相应的围填海开发潜力也逐步减少, 围填海潜力由 1975 年  $48.28 \text{ hm}^2/\text{km}$  下降至 2015 年的  $11.58 \text{ hm}^2/\text{km}$ , 下降幅度为 76.01%。围填海潜力换算为可利用围填海面积剩余  $2.57 \text{ km}^2$ 。可见, 围填海活动在 40 年间, 对于芝罘湾海岸的影响, 随着开发强度的增强而不断增加。

次项模型进行曲线估计, 得到围填海面积的时间序列方程如下:

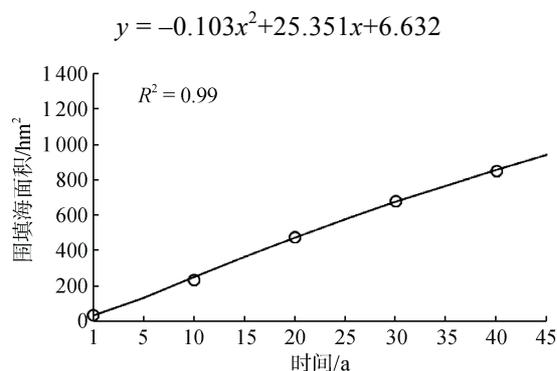


图8 围填海面积时间序列拟合结果

Fig. 8 Results of the sea reclamation area with a time-series fitting

按照目前围填海开发强度,以剩余可利用围填海面积全部开发完毕为时间界限,预测自2015年起,芝罘湾内围填海潜力可供应时间约为15~16 a。即到2030年左右达到围填海可承受开发极限。

## 2.4 因素分析及建议

芝罘湾所在的烟台市芝罘区作为主城区,其城市建设用地范围不断扩大,20世纪80年代以来,大量的城市建筑侵占海岸,岸线开始转变为对建筑工程所引起的海岸环境改变的响应<sup>[17]</sup>。自然岸线所占比重逐年下降,岸线形态由原来的简单平滑逐步变得曲折复杂,自然条件下岸线动态平衡被打破。

芝罘湾因其特殊的地理条件,其海域尤其适合港口建设。自20世纪70年代末,烟台港大建港以来,进出港货物吞吐需求不断提高,湾内港口建设一直保持着较快的发展速度。由遥感影像可以明显的看出,湾内原有地貌类型如砾石堤、潟湖、砂质海滩已经大面积消失,多数被港口、码头占据。

目前,芝罘湾海域开发利用已接近尾声,发展潜力有限,岸线为城市环抱,港口发展空间受到制约。同时,产业间对于有限海域的争夺也愈发激烈,海域生态环境及海域自然属性的保护仍然十分重要。为此应合理配置资源,健全管理体制,提高用海综合效益。

随着将来城市中心区港区货运功能的逐步退出,在现有海域空间布局基础上,应严格控制新增围填海项目,合理规划城市滨海生活和旅游娱乐用海。加强对现有自然岸线的保护及修复,防止进一步人工化。

## 3 结论

本研究利用遥感及GIS技术分析了芝罘湾40年

间岸线时空变化,并定量分析了芝罘湾围填海活动强度及开发潜力。纵观近40年芝罘湾岸线的变化,体现的是以港口、码头建设等为主要形式的人类围填海活动,打破自然平衡,对于处在快速城市化发展过程中的海湾岸线造成的改变。本文的主要结论如下:

(1) 40年间,芝罘湾岸线形态变化迅速,岸线经历由弧形到平直再到曲折的变化过程,并逐步向海推进,使得海湾面积逐渐减小。

(2) 岸线最初由自然岸线占主导,40年间逐步转变为以人工岸线占绝对优势。港口、码头岸线的增长是引起岸线向海变化的主要因素。

(3) 沿岸开发活动长期以围填海为主导,利用强度持续增强。照目前的开发速度,预计芝罘湾围填海可利用面积大约将能够维持供应15~16 a。节约、集约利用岸线及海域,严格控制新增围填海项目,合理规划城市滨海生活和旅游娱乐用海,加强对现有自然岸线的保护及修复显得尤为重要。

综上,本研究对于芝罘湾岸线的时空变化分析以及围填海开发的评价结果,可作为制定宏观管理政策的参考依据,对于将来科学规划海域开发,节约、集约利用岸线资源具有积极的指导意义。

### 参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志-第三分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 181.  
Editorial Committee of the Chinese Gulf. Chinese Gulf-fascicule III[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991: 181.
- [2] Zhu L H, Wu J Z, Xu Z Q, et al. Coastline movement and change along the Bohai Sea from 1987 to 2012[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2014(8): 1-16.
- [3] 李亚宁, 王倩, 郭佩芳, 等. 近20a来渤海岸线演变及其开发利用策略[J]. 海洋湖沼通报, 2015(3): 32-38.  
Li Yaning, Wang Qian, Guo Peifang, et al. Shoreline succession during recent 20 years in the Bohai Sea and the strategies for the development and utilization[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015(3): 32-38.
- [4] 朱国强, 苏奋振, 张君珏. 南海周边国家近20年海岸线时空变化分析[J]. 海洋通报, 2015, 34(5): 481-490.  
Zhu Guoqiang, Su Fenzhen, Zhang Junjue. Analysis on spatial-temporal changes of the coastline in the countries around the South China Sea in recent two decades[J]. Marine Science Bulletin, 2015, 34(5): 481-490.
- [5] 张君珏, 苏奋振, 左秀玲, 等. 南海周边海岸带开发利用空间分异[J]. 地理学报, 2015, 70(2): 379-332.  
Zhang Junjue, Su Fenzhen, Zuo Xiuling, et al. Research

- on the spatial differentiation of coastal land development surrounding South China Sea[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 379-332.
- [6] 刘荣杰, 张杰, 闫秋双, 等. 1982~2012年间福建省主要河口海岸岸线变迁遥感监测分析[J]. *应用海洋学报*, 2014, 33(3): 425-433.  
Liu Rongjie, Zhang Jie, Yan Qiushuang, et al. Remote sensing monitoring and analysis of shoreline evolution in estuaries of Fujian Province from 1982 to 2012[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2014, 33(3): 425-433.
- [7] 李行, 张连蓬, 姬长晨, 等. 基于遥感和GIS的江苏省海岸线时空变化[J]. *地理研究*, 2014, 33(3): 414-426.  
Li Hang, Zhang Lianpeng, Ji Changchen, et al. Spatio-temporal changes of Jiangsu coastline: A remote sensing and GIS approach[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 414-426.
- [8] 孙超, 刘永学, 李满春, 等. 近 25a 来江苏中部沿海盐沼分布时空演变及围垦影响分析[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(9): 1486-1498.  
Sun Chao, Liu Yongxue, Li Manchun, et al. Spatio-temporal evolution of salt marsh and influential analysis of reclamation of Jiangsu middle coast in recent 25 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(9): 1486-1498.
- [9] 闫秋双, 刘荣杰, 马毅. 1973 年以来射阳河口附近海岸蚀淤变化遥感分析[J]. *海洋科学*, 2015, 39(9): 94-100.  
Yan Qiushuang, Liu Rongjie, Ma Yi. Remote sensing analysis of shoreline changes along the coast near the Sheyang River Estuary of Jiangsu Province since 1973[J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(9): 94-100.
- [10] 王集宁, 蒙永辉, 张丽霞. 近 42 年黄河口海岸线遥感监测与变迁分析[J]. *国土资源遥感*, 2016, 28(3): 188-193.  
Wang Jining, Meng Yonghui, Zhang Lixia. Remote sensing monitoring and change analysis of Yellow River Estuary coastline in the past 42 years[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2016, 28(3): 188-193.
- [11] 刘鹏, 王庆, 战超, 等. 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[J]. *海洋与湖沼*, 2015, 46(3): 585-594.  
Liu Peng, Wang Qing, Zhan Chao, et al. Quantitative analysis of coastline change in the yellow river delta from 1959 to 2002[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(3): 585-594.
- [12] 张怡. 近 40 年来珠江口海岸线变迁[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2014.  
Zhang Yi. Analyzing shoreline changes of the Pearl River Estuary based on remote sensing in recent forty years[D]. Huhhot: Inner Mongolia Normal University, 2014.
- [13] 杜培培, 吴晓青, 都晓岩, 等. 莱州湾海域空间开发利用现状评价[J]. *海洋通报*, 2017, 36(1): 19-26.  
DU Peipei, WU Xiaoqing, DU Xiaoyan, et al. Situation evaluation on the marine spatial development and utilization in the Laizhou Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2017, 36(1): 19-26.
- [14] 于杰, 杜飞燕, 陈宝国, 等. 基于遥感技术的大亚湾海岸线的变迁研究[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(4): 514-516.  
Yu Jie, Du Feiyan, Chen Baoguo, et al. Research on coastline change of Daya Bay using remote sensing technology[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(4): 514-516.
- [15] 侯西勇, 侯婉, 毋亭. 20 世纪 40 年代初以来中国大陆沿海主要海湾形态变化[J]. *地理学报*, 2016, 71(1): 118-129.  
Hou Xiyong, Hou Wan, Wu Ting. Shape changes of major gulfs along the mainland of China since the early 1940s[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1): 118-129.
- [16] 张霞, 庄智, 张旭凯, 等. 秦皇岛海岸线遥感提取及变化监测[J]. *遥感技术与应用*, 2014, 29(4): 625-630.  
Zhang Xia, Zhuang Zhi, Zhang Xukai, et al. Coastline extraction and change monitoring by remote sensing technology in Qinhuangdao City[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2014, 29(4): 625-630.
- [17] 邸向红, 王周龙, 王庆, 等. 土地利用变化对芝罘岛沙坝附近海岸带的影响[J]. *海洋科学*, 2011, 35(8): 76-82.  
DI Xianghong, Wang Zhoulong, Wang Qing, et al. Effects of land use on the development of coastal zone near the Zhifu Island tombolo[J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(8): 76-82.
- [18] 宫立新, 金秉福, 李建英. 近 20 年来烟台典型地区海湾海岸线的变化[J]. *海洋科学*, 2008, 32(11): 64-68.  
Gong Lixin, Jin Bingfu, Li Jianying. The changing of typical bay coastline in Yantai in recent 20 years[J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(11): 64-68.
- [19] Oyedotun T D T. Shoreline geometry: DSAS as a tool for historical trend analysis[J]. *Geomorphological Techniques*, 2014, 3(2.2): 1-12.
- [20] 高义, 王辉, 苏奋振, 等. 中国大陆海岸线近 30a 的时空变化分析[J]. *海洋学报*, 2013, 25(6): 31-42.  
Gao Yi, Wang Hui, Su Fenzhen, et al. The analysis of spatial and temperal changes of the continental coastline of China in recent three decades[J]. *Acta Oceanologic Sinica*, 2013, 25(6): 31-42.
- [21] Fletcher C, Rooney J, Barbee M, et al. Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii[J]. *Journal of Coastal Research*, 2003, 38: 106-124.
- [22] 毋亭, 侯西勇. 海岸线变化研究综述[J]. *生态学报*,

2016, 36(4): 1170-1182.

Wu Ting, Hou Xiyong. Review of research on coastline changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 1170-1182.

[23] 付元宾, 曹可, 王飞, 等. 围填海强度与潜力定量评

价方法初探[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(1): 27-30.

FU Yuanbin, Cao Ke, Wang Fei, et al. Study on the quantitative assessment method of coastal reclamation intensity and development potential[J]. Ocean Development and Management, 2010, 27(1): 27-30.

## Spatiotemporal evolution of the shoreline and evaluation of sea reclamation during the recent 40 years in the Zhifu Bay

DU Feng-chao, XU Yan-dong, YU ning, DU Bing-qing

(Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China)

**Received:** May 15, 2017

**Key words:** shoreline; the Zhifu Bay; spatiotemporal evolution; sea reclamation utilization evaluation

**Abstract:** Shorelines in the Zhifu Bay, Yantai City are extracted from Landsat satellite image data for the years of 1975, 1985, 1995, 2005, and 2015. The spatiotemporal evolutions of shorelines are analyzed, and the corresponding sea reclamation intensity and potential are evaluated and predicted for the recent 40 years. The results show that (1) the spatial locations of shorelines are mainly advancing seaward, the length of shoreline has increased by 13.09 km, rapid variation of the shoreline has appeared at the top of the bay, and the total area of the Zhifu Bay decreased continuously at an average rate of 0.19 km<sup>2</sup>/a; (2) natural shoreline was originally the primary type, which now has been almost entirely replaced by artificial shoreline, and the port and wharf shoreline increased at a rate of 0.52 km/a, which is the main cause of shoreline seaward movement; and (3) development activities were dominated by sea reclamation for a long time, and the utilization intensity has strengthened continuously. By 2015, the area available for sea reclamation was approximately 2.57 km<sup>2</sup>. This research predicted that the reclamation potential would reach its limit after 15–16 years based on the current utilization rate. Both saving and intensive use of sea area are very important.

(本文编辑: 刘珊珊)