

唐江浪, 薛峭, 李刚. 泉州湾海岸线时空演变研究 [J]. 华南地震, 2020, 40 (3): 137-147. [TANG Jianglang, XUE Qiao, LI Gang, et al. Research on the Temporal and Spatial Evolution of the Quanzhou Bay Coastline [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (3): 137-147]

泉州湾海岸线时空演变研究

唐江浪^{1, 2}, 薛峭^{1, 2}, 李刚^{1, 2}, 朱博勤³

(1. 自然资源部海底矿产资源重点实验室广州海洋地质调查局, 广州 510075; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广州 511458; 3. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094)

摘要: 基于福建省泉州湾过去 40 多年(1973—2016)的卫星遥感影像数据, 通过海岸线提取的方法, 对比分析不同时间段泉州湾岸线长度、面积、结构和分形维数变化情况, 获得该研究区 1973—2016 年海岸线时空变迁的特征。泉州湾海岸线长度总体呈增长趋势, 研究期内总长度增加 9940 m, 其中 1973—1990 年岸线总长度略有缩减, 而 1990 年之后呈增长趋势。海岸线持续向海扩进, 由此增加海岸总面积约 26 km²。具体而言, 1973—1990 年、1990—2000 年和 2000—2016 年分别增加了 10.34 km²、3.98 km² 和 12.61 km²。区内基岩、砂质、泥质海岸的岸线长度呈下降趋势, 人工岸线长度大幅度增加, 基岩、砂质以及泥质海岸的岸线向人工岸线转变趋势明显, 类间连线效应持续增强。研究区岸线分形维数变化趋势和岸线长度变化趋势一致, 成正相关关系。围垦养殖、港口扩建和城市建设等人类活动造成陆地向海洋延伸, 是造成研究区岸线变迁的主要原因。

关键词: 遥感; 海岸线; 时空演变; 泉州湾

中图分类号: P737.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 03-00137-011

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.03.018

Research on the Temporal and Spatial Evolution of the Quanzhou Bay Coastline

TANG Jianglang^{1, 2}, XUE Qiao^{1, 2}, LI Gang^{1, 2}, ZHU Boqin³

(1. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China; 3. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Based the satellite remote sensing image data of the Quanzhou Bay in Fujian province over the past 40 years (from 1973 to 2016), spatial and temporal change characteristics of coastline in this area were analyzed by coastline extraction method, including comparative analysis of the changes in the coastline length, bay area, structure and fractal dimension in different periods. In generally, the coastline length of the Quanzhou Bay

收稿日期: 2020-03-15

基金项目: 中国地质调查局调查项目(DD20190366, DD20190378, DD20190577, DD20190209, DD20191002, GZH201400202); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GM2019ZD0209)

作者简介: 唐江浪(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事遥感地质解译、地理信息系统建设等方面研究。

E-mail: 68871524@qq.com.

通信作者: 李刚(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事遥感地质解译、三维地质建模、空间数据库建设等方面研究。

E-mail: rsgis123@126.com.

shows a increase trend, and the total length increased by 9 940 meters during the study period. The total length of coastline has decreased slightly from 1973 to 1990, whereas, it has shown an increasing trend since 1990. The coastline migrated seaward successively, leading to an increase in the coastal zone of 26 km². During 1973-1990, 1990-2000 and 2000-2016, the coastal zone increased by 10.34 km², 3.98 km² and 12.61 km², respectively. The length of bedrock, sandy and muddy coastline in the Quanzhou Bay was declining, and the length of artificial shorelines has increased significantly. The trend of coastline shift from bedrock, sandy and muddy coast to artificial coast was obvious and its inter-category connection became stronger. The change trend of coastline fractal dimension is consistent with its length changing trend with a positively correlation. Human activities such as reclamation and breeding, port expansion and urban construction have caused the extension of the bay area, which are the main reasons for coastline changes of the study area.

Keywords: Remote sensing; Coastline; Spatio-temporal evolution; Quanzhou Bay

0 引言

海岸带为海洋与陆地之间的过渡带,是海洋系统与陆地系统交互带,也是人类经济活动最重要的场所,全球人类约 38% 人口集散在距离海岸带 60 km 的沿海周边,超过 50% 人口集散在距离海岸 120 km 的沿海周边^[1]。海岸线变迁是海岸带研究的重要内容和焦点问题^[2-3]。海岸线易受自然因素和人为活动影响而发生变迁,引发一系列环境生态问题^[4]。近年来,沿海城市经济高速发展,导致海洋开发强度不断加大,海岸生态环境保护和海岸带开发利用矛盾进一步凸显。开展海岸线变迁研究,可以为海岸带经济开发发展和海岸带生态修复提供数据支撑和科学依据^[5-6]。

遥感技术作为近年来快速发展的高精度空间观测技术,具有可观测面积大、时效性强、更新周期短、影像分辨率高、不受地形和地貌条件约束等优点,可以对同一区域进行长时间重复观测,该方法已广泛应用于海岸线变迁研究^[7]。国内海岸线变迁研究成果多集中于经济发达地区的海岸^[8-11]、河口海湾^[12-16]和三角洲等^[17-19]。泉州作为福建省中心城市和全国改革开放典型地区,部分学者在该地区进行了基于遥感应用的岸线变迁研究,刘荣杰等^[20]利用 1982、1991、2001 年的 Landsat 影像和 2012 年的 HJ 影像对包括福建泉州湾晋江河口海岸进行了时空变迁分析,研究表明该岸段向海推进速度逐年增加;赖志坤^[21]基于多年遥感影像,获取了泉州湾岸线变迁速率,并分析了湾内古浮澳岸段的岸线变迁成因;李朦等^[22]利用 1994—2011 年泉州湾海岸线数据集进行分形维度计算,

表明分维值的变化趋势可以较好的反映海岸线变迁动态平衡状况;赖国棣^[23]基于 1988—2011 年 Landsat MSS/TM、SPOT5、World View-1 卫星数据对泉州湾海岸线进行遥感监测研究,发现泉州湾海岸线变迁主要受人为活动影响,海岸线变迁最大的是泥质海岸,砂质和基岩等海岸的变化较小。上述关于泉州湾岸线变迁研究大多基于海岸线的提取和动态演变,分析方法较为单一,随着遥感技术的发展和影像数据的不断更新,利用多种方法及现势性更强的影像数据开展泉州湾岸线变迁研究,对于泉州湾经济持续快速发展具有重要现实意义。

本文通过对泉州湾 1973 年、1990 年、2000 年以及 2016 年共 4 个时相的遥感影像数据进行解译提取,从岸线长度、结构类型、面积和分形维数对研究区开展海岸线时空演变研究,以期为该区域将来的海岸带开发和修复工作提供决策支持。

1 研究区概况

泉州湾位于福建省东南沿海,北起惠安县下洋村外佳屿,南至石狮市祥芝岬角,湾口向东敞开与台湾海峡相连,属开敞式海湾^[24](图 1)。该湾区海岸线曲折,湾内岛礁众多,口门中部有大坠岛、小坠岛横亘,且为晋江、洛阳江入海湾。泉州湾人口众多,海岸带周边分布较多工业园区,是我国重要的港口经济发展区域,也是我国对外开放的前沿阵地,在当前建设海峡西岸经济区、完成祖国统一大业和促进闽台交往中,具有十分重要的地位^[25]。

泉州湾处于欧亚板块东南缘,属华南地块

上的闽浙隆起区和东海陆架海盆区。该区域自印支运动之后，其地质构造活动主要受（古）太平洋板块向欧亚板块俯冲作用的控制和影响，主要表现为燕山期和喜山期的地质构造活动特征，燕山期的火山岩和花岗岩广泛发育，其岩浆岩主要以酸性、中酸性为主；喜山期岩浆岩发育中性、酸性和基性岩浆岩，以基性为主^[26-27]。泉州湾主要受两条断裂带影响，分别是呈北东向的南澳—长乐断裂带和北西向的沙

县—南日岛断裂带，两条断裂带对该区域构造分带性和地层的发育起着控制作用^[28]。区内以海滨地貌为主，主要表现为海积平原、沙陇、潮滩、海滩、磨蚀岩滩等，沉积物主要来源于晋江和洛阳江，大多为第四纪松散堆积，沉积物类型包括细砂、粉砂和淤泥等^[29]。另外，泉州湾内水系的急剧转向、袭躲、跌水和不对称分布等现象亦较为常见。

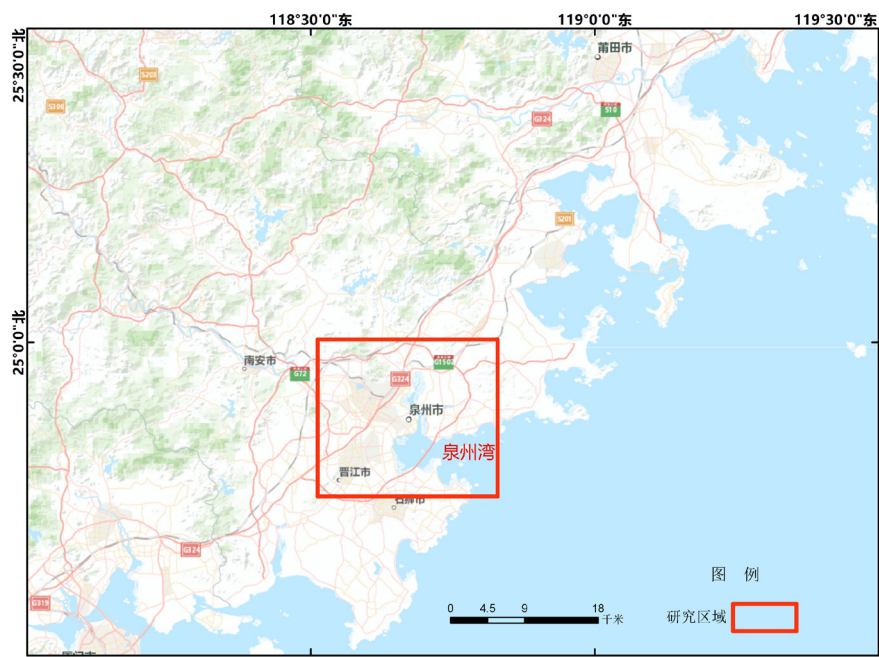


图 1 研究区位置概况图
Fig.1 Location of study area

2 数据与研究方法

2.1 数据源

岸线变迁遥感影像数据要求时相间隔相对均匀，尽量选取少云和无条带的质量较好的数

据。本文研究所用数据均为美国陆地卫星系列遥感影像，选取了最早期 1973 年的 Landsat1 的 MSS 传感器数据、1990 年 Landsat5 的 TM 传感器数据、2000 年 Landsat7 的 ETM 传感器数据和 2016 年 Landsat8 的 OLI 传感器数据。所选影像数据遥感数据相关信息见表 1 所示。

表 1 遥感数据表
Table 1 Table1 Remote sensing data sheet

| 年份 / 年 | 卫星 | 传感器类型 | 采集时间 / 年 - 月 - 日 | 分辨率 /m |
|--------|-----------|-------|------------------|--------|
| 1973 | Landsat 1 | MSS | 1973-12-22 | 30 |
| 1990 | Landsat 5 | TM | 1990-07-20 | 30 |
| 2000 | Landsat 7 | ETM | 2000-04-18 | 30 |
| 2016 | Landsat 8 | OLI | 2016-07-09 | 30 |

2.2 研究方法

2.2.1 数据预处理

受传感器性能、姿态角、太阳光照、云层以及地形等因素影响，所获取的遥感影像数据需要进行计算机处理和人工干预。根据中国地质调查局颁布的《多光谱遥感数据处理技术规程》，遥感影像原始数据需要进行辐射校正（含大气校正）、几何校正、图像信息增强、镶嵌配准、颜色调差、消除重叠等技术方法才能达到遥感解译标准^[30]。

本文所获得的影像数据质量较好，云和条带纹理干扰因素可以忽略不计，可直接进行几何校正。以 2016 年 OLI 数据作为参考基准，对其他时相数据进行几何校正，校正控制点尽可能多的全面均匀覆盖研究区内，并且控制点应选取易于分辨、变化较小的特征物，两条明显道路形成的正十字或丁字交叉口为最佳选择点^[31]。最终获得符合海岸线提取标准的遥感影像图^[32]。

2.2.2 岸线提取与类型划分

依据岸线的定义，基于 RS 和 GIS 相结合的技术，采用归一化水体指数（NDWI）设置阈值对水陆边界进行识别^[33]，并采用图像增强技术确定水边线，最后根据海图、地形图和 Google 卫星混合图、区域地质资料和野外实地调查资料对水边线进行校验和修正，获取了泉州湾 4 个时期的海岸线（图 2）。

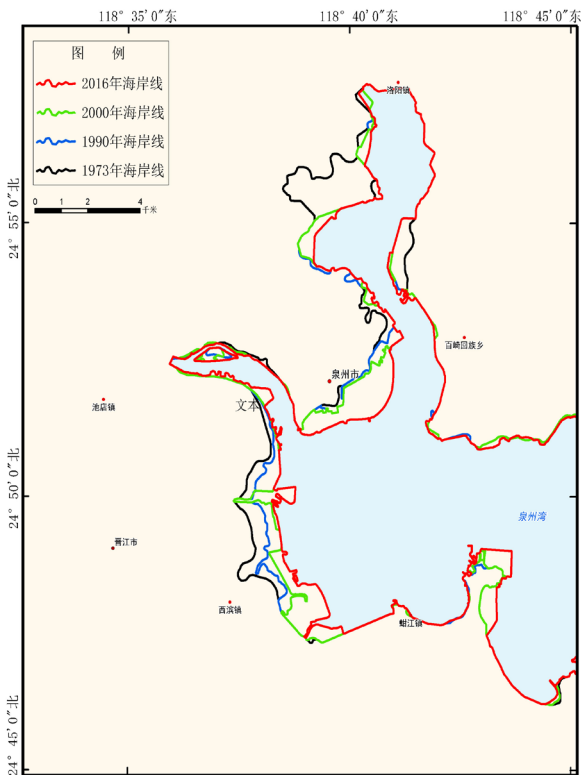


图 2 泉州湾四时相海岸线变迁图
Fig.2 Map of 4-temporal coastline changes in Quanzhou Bay

根据《我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程》^[34]和《海域使用分类遥感判别指南》（国海管字[2014]500号），结合研究区地形地貌特征和实地勘测，建立了泉州湾海岸划分方案及解译规则^[35]。海岸线分类方案如表 2 所示。

表 2 海岸线分类方案表
Table2 Coastline classification sheet

| 海岸线类型 | 岸线成因及特征 |
|--------------------|--|
| 基岩岸线 | 坚硬岩石组成的海岸，岬角、港湾相间，岬角向海突出，海湾深入陆地，基岩海岸岸坡陡峭，奇峰林立，怪石嶙峋，海水直逼悬崖。 |
| 砂质岸线 | 由沙、砾等沉积物质在波浪的长期作用下形成的岸线，该类型岸线不稳定，形态多变，近岸常形成沙嘴、沙坝等 |
| 泥质岸线 | 底质基本为粉沙淤泥，多分布在有大量细颗粒泥沙输入的大河入海口沿岸，多生长有植被 |
| 人工岸线 (养殖、人工建筑等) | 包括鱼塘、盐田及农田围堤，以及防波堤、防潮堤、港口码头等，岸线平直，形状规则 |

注：由于研究区内无生物岸线发育，故该分类方案表不包含生物岸线，自然岸线包括基岩岸线、泥质岸线和砂质岸线。

2.2.3 海岸线时空演变定量研究方法

研究海岸线时空演变常用的方法主要有数学统计法、基线法、分形维数法等，每种方法都有其自身的特点^[36]。数学统计法是利用 GIS 相关软件对海岸线进行长度、面积变化的计算统计，能够清楚直观反映岸线变化趋势；基线法是基于已提取的海岸线引出多条同向的基准岸线，计算其采样间隔，从而求取海岸线变化距离和变化速率，该方法能够较好的反映海岸线空间分布特征；分形维数法是用尺码法或计盒维数法对海岸线进行分形维数计算，维数越大，说明岸线形态越复杂。

本文选用数学统计法和分形维数法，以岸

线长度、面积、类型结构和分形维数变化为指标，对泉州湾区域海岸线时空变化进行定量研究分析。

3 处理结果与分析

根据上述岸线遥感判别标志和分类方案，本研究分别解译了四个时相的基岩岸线、砂质岸线、泥质岸线和人工岸线。最后通过 GIS 矢量线修正处理，得到符合要求的岸线文件，以用于 ArcGIS 软件进行岸线分析处理，其解译结果如图 3 所示。

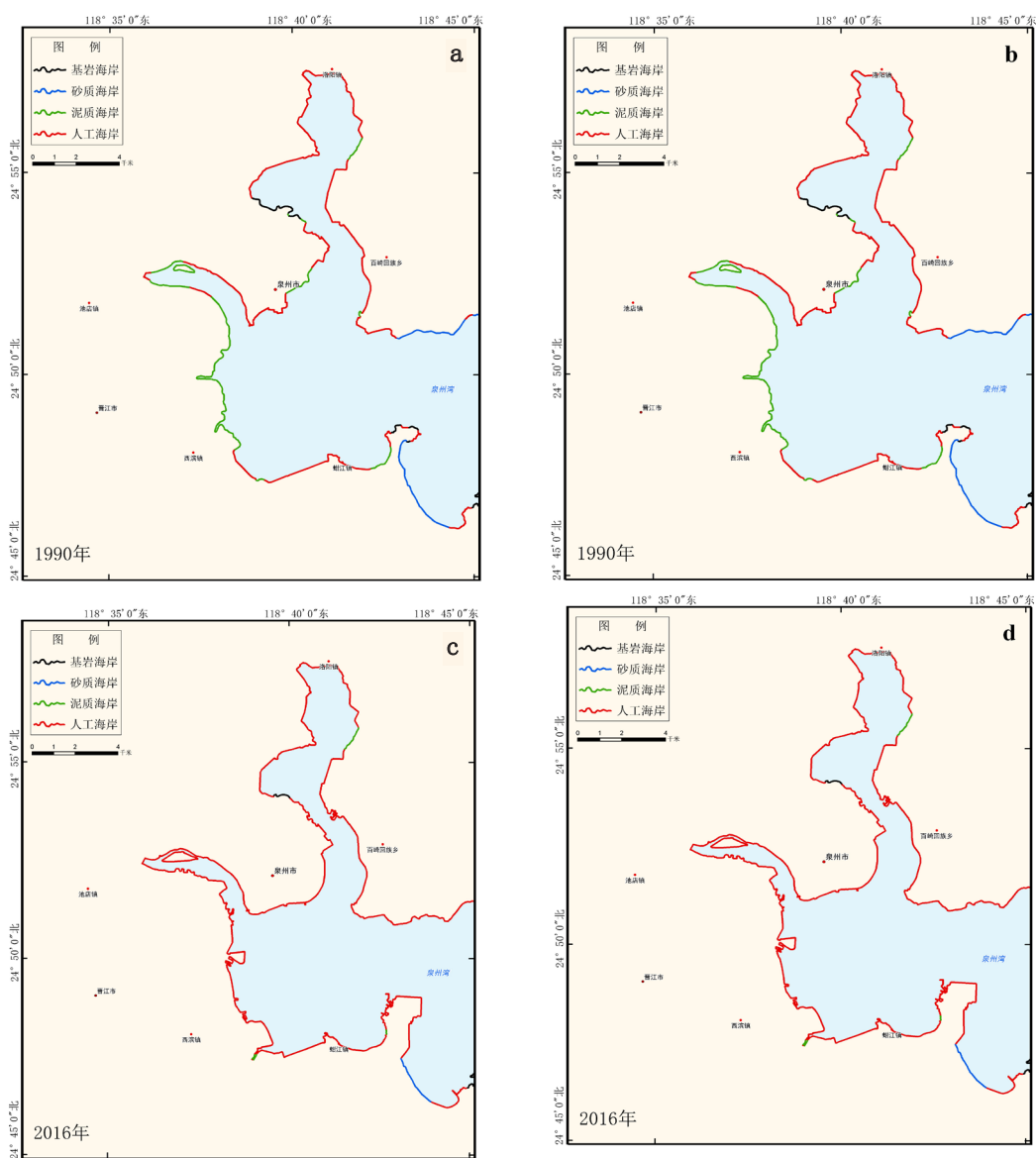


图3 1973-2016年泉州湾海岸线类型解译图

Fig.3 Interpretation map of Coastline types from 1973 to 2016 in Quanzhou Bay

由图 3a 可以看出,1973 年泉州湾区域内四种岸线均有发育,各类型岸线交叉分布在沿岸各处且各类型长度相差不大,其中以人工岸线为主,泥质岸线和基岩岸线次之,砂质岸线占比最少。泥质岸线主要发育于泉州湾南部锦里村、思进村及晋江入海口的溪头村、沉洲一带,洛阳江入海口西岸的金屿、凤屿一带和东岸西方村至曾垵村一带也有发育;基岩岸线主要发育于晋江入海口北岸和洛阳江入海口西岸北山沿线;砂质岸线主要分布在湾口最南边的大厦村及对岸的后港村沿线。

由图 3b 可以看出,1973—1990 年研究区内主要表现为自然岸线向人工岸线转换,各类型岸线所占比例都有不同程度的变化,人工岸线迅速大幅度增加,基岩岸线大幅度减少,而泥质岸线只有较小比例的变化。在晋江入海口北岸法石至洵浦一带和洛阳江入海口西岸,因修建后渚港和港丰石化码头等人工建筑,大量砂质、泥质、基岩岸线转变为人工岸线,在这些区域,人工岸线大面积连接成片。区域内没有发育生物岸线。

由图 3c 可以看出,1990—2000 年,自然岸

线继续向人工岸线转换,人工岸线持续保持高速增长态势,泥质岸线大幅度减少,人工岸线成为绝对主导岸线类型。在西滨镇北头村一直往北至晋江入海口南岸海尾村,期间围垦养殖发展迅速,以及城市用地扩张,该区域内泥质岸线和基岩岸线几乎全部转变为人工岸线。至此,湾区内人工岸线全面成片连线,只有个别地区存在泥质岸线。生物岸线仍然未在该区域出现,砂质岸线变化较为微弱。

由图 3d 可以看出,到 2016 年,人工岸线持续增加的趋势更为明显,自然岸线长度继续下降。港口码头扩建和围垦等社会经济活动使人工岸线全面连接成片,湾内几乎全为人工岸线。基岩岸线长度上虽然仍然出现了减少,但是减少的幅度较以往年份有所下降。区域内没有发育生物岸线,砂质岸线仅仅在泉州湾南端的大厦村有少量发育。

3.1 海岸线长度变化

利用 ArcGIS 软件计算研究区四个时相各类型岸线的长度及条带数(表 3)。

表 3 泉州湾岸线长度统计
Table3 Statistical list of coastline length along Quanzhou Bay

| 时间 / 年 | 类型 | 基岩岸线 | 泥质岸线 | 砂质岸线 | 人工岸线 | 自然岸线 | 合计 |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1973 | 长度 /m | 18 263 | 25 247 | 10 523 | 37 364 | 54 033 | 91 397 |
| | 条数 | 21 | 25 | 10 | 23 | 56 | 79 |
| 1990 | 长度 /m | 6 009 | 23 302 | 9 327 | 51 343 | 38 638 | 89 981 |
| | 条数 | 10 | 19 | 7 | 25 | 36 | 61 |
| 2000 | 长度 /m | 2 917 | 5714 | 8 633 | 77 547 | 17 264 | 94 811 |
| | 条数 | 5 | 7 | 6 | 22 | 18 | 40 |
| 2016 | 长度 /m | 2 224 | 2 159 | 2 562 | 94 392 | 6 945 | 101 337 |
| | 条数 | 3 | 4 | 1 | 12 | 8 | 20 |

注:自然岸线长度为基岩岸线、砂质岸线和泥质岸线总长度之和。

表 3 的各时相岸线类型统计数据显示,岸线总体呈增长趋势。除 1973 年到 1990 年岸线总长度略有缩减,1990 年到 2016 年均为增长态势,43a 来海岸线总长度增加了约 9940 m,其中人工岸线持续增长,自然岸线持续减少。1973 年到 1990 年岸线总长度减少了 1416 m,减少量约为 1.5%,其中基岩岸线大幅减少了 122

545 m,人工岸线增加了 13 979 m。1990 年后岸线长度开始增加,到 2000 年岸线总长度达到了 94 811 m,增加 4 830 m,平均增长速率为 483 m/a,基岩岸线和泥质岸线减少,尤其是泥质岸线锐减 17 588 m,人工岸线增长速度加快,增长了 26 204 m。2000 年到 2016 年增加了 6 526 m,增长率约为 6.9%,平均增长速率约为 408 m/

a, 自然岸线全部类型向人工岸线转换。由此可见, 1990—2016 年, 随着福建沿海经济的高速发展, 岸线的增长速度较快, 海岸线长度增加主要是围垦养殖、港口码头扩建等人工海岸线修筑造成, 该区域内有明显的人为陆地向海洋延伸现象发生。

3.2 海岸线类型结构变化

四个时相的岸线数据表明 (表 3), 泉州湾自然岸线比例不断缩减, 从占比 19.7% 减少到

6.6%, 缩减幅度多达 70%, 自然岸线大类中的所有类型岸线均有不同程度减少, 其中泥质岸线减少最大, 缩减幅度超过 90%, 基岩岸线缩减幅度也接近 90%, 砂质岸线缩减幅度为 78%。与自然岸线减少趋势相反, 研究区人工岸线一直保持快速增长态势, 增长速度十分明显, 从 1973 年的占比 40.9% 增长到 2016 年的 93.1%, 增长幅度超过 100% (图 4)。

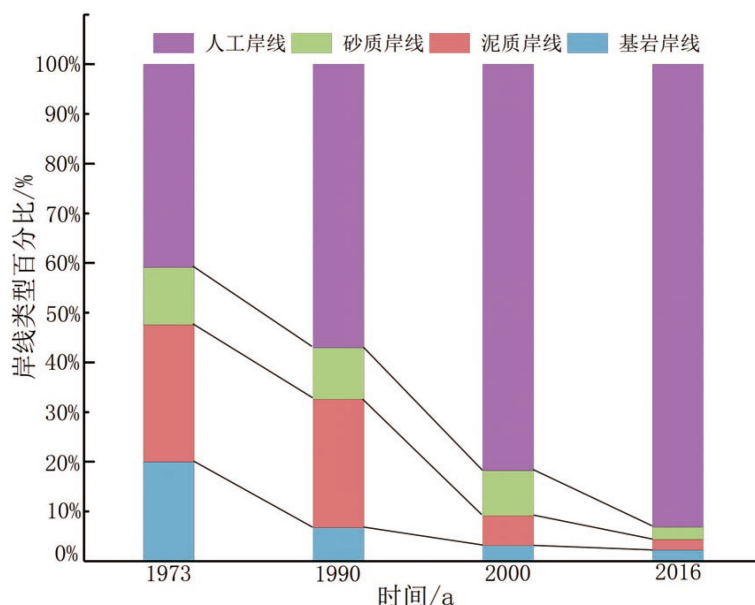


图4 泉州湾海岸类型结构示意图
Fig.4 Schematic diagram of coastline types of Quanzhou Bay

1973—1990 年岸线类型结构中, 人工岸线和自然岸线相互转化较大, 人工岸线占比由 40.8% 增加到 57%, 自然岸线占比则由 59.2% 减少到 43%, 岸线类型结构变化最大的是人工岸线和基岩岸线, 主要原因是研究区内台风频发, 每年 5~10 月常有台风登陆, 出于保护岸线内部陆地少受自然灾害破坏, 大量基岩岸线修筑为人工岸线, 以抵御台风侵袭。而 1990—2000 年岸线类型结构变化幅度大于前一时间段, 该期间内变化最为突出的是泥质岸线和人工岸线, 泥质岸线岸段围垦了大量的养殖区和部分晒盐场而转变为人工岸线。到 2016 年, 自然岸线仍继续向人工岸线转换, 砂质岸线转换量最大, 随着国内经济高速发展, 经济建设对土地迫切需求, 出现数量众多的填海造地经济活动, 用以修建

港口码头、工业园区和沿海公路等。

总之, 基岩、砂质和泥质岸线不论是长度还是条数都呈下降趋势, 说明这三类岸线以向人工岸线转变为主, 总体呈减少趋势; 而人工岸线条数 1973—1990 年先增加, 而后到 2016 年一直下降, 说明在 1973—1990 年间, 这些岸线既在绝对长度上有所增加, 又在内部有所连片, 但以其他类向该类转换为主, 主要是区内人工海堤、港口码头、围垦养殖、围海造地等人类社会活动造成。

3.3 海岸陆域面积变化

海岸线空间位置的变化导致海岸陆域面积的变化 (图 5)。1973 年以来, 由于填海造陆、扩建港口码头工程、围海养殖等人为因素导致泉州湾区域内大部分岸段海岸线向海扩

进,造成陆域面积增加。1973—2016年,陆域面积共增加了 26 km²,年平均增加速率为 0.6 km²/a,1973—1990 年、1990—2000 年、2000—2016 年三个时期阶段陆地面积分别增加了 10.34

km²、3.98 km²、12.61 km²,年平均增加速率分别为 0.61 km²/a、0.40 km²/a、0.79 km²/a。海岸线向海推进速度 1990—2000 年稍低于其它时相水平。

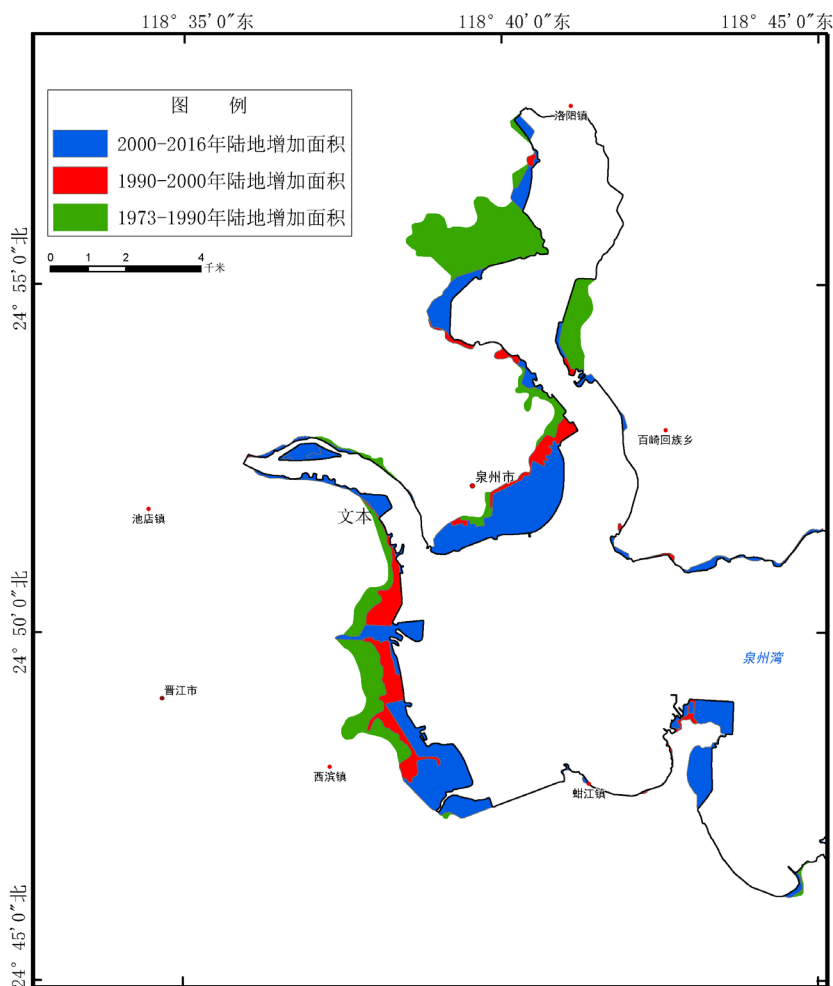


图 5 泉州湾海岸线围垦面积示意图

Fig.5 Schematic map of reclamation area along Quanzhou Bay coastline

根据岸线变化速率和陆地面积变化速率关系(图 6),1973—1990 年岸线收缩,岸线增长速率为负,该时期陆地增加面积主要表现为围垦养殖和防浪堤、港口修建,使得弯曲度较大的岸段复杂度降低,岸线变短。在西滨镇至池店镇沿岸,围垦养殖造成陆域向海呈条带状推进,而洛阳江入海口北岸的后渚港扩建改造亦导致海岸大面积的向海扩张;1990—2000 年岸线增长速率最大,陆地面积增加速度严重滞后于岸线增长速度,该时期泉州湾区域经济发展速度较为平缓,围填海模式较为单一。向海推进区域主要为西滨镇-陈埭镇一带以及海星街

和丰海路交接一带,围垦养殖是陆地面积增加的主要原因;2000—2016 年是泉州湾经济高速发展阶段,城市建设、工业发展用地需求增大,各种围填海工程加快实施。该时期岸线增长速率和陆地面积增加速率契合度较高,二者速率在三个时期内均接近最大值,晋江和洛阳江入海口沿江两岸以及大多岸段都有向海推进的迹象,建成农田鱼塘、港口码头、工业园区、市政新城和沿海公路等。现泉州市政府所在地即为该时期车坂填海造地围填海工程而获取的土地,也是该时期研究区内海岸向海推进最大的区域。

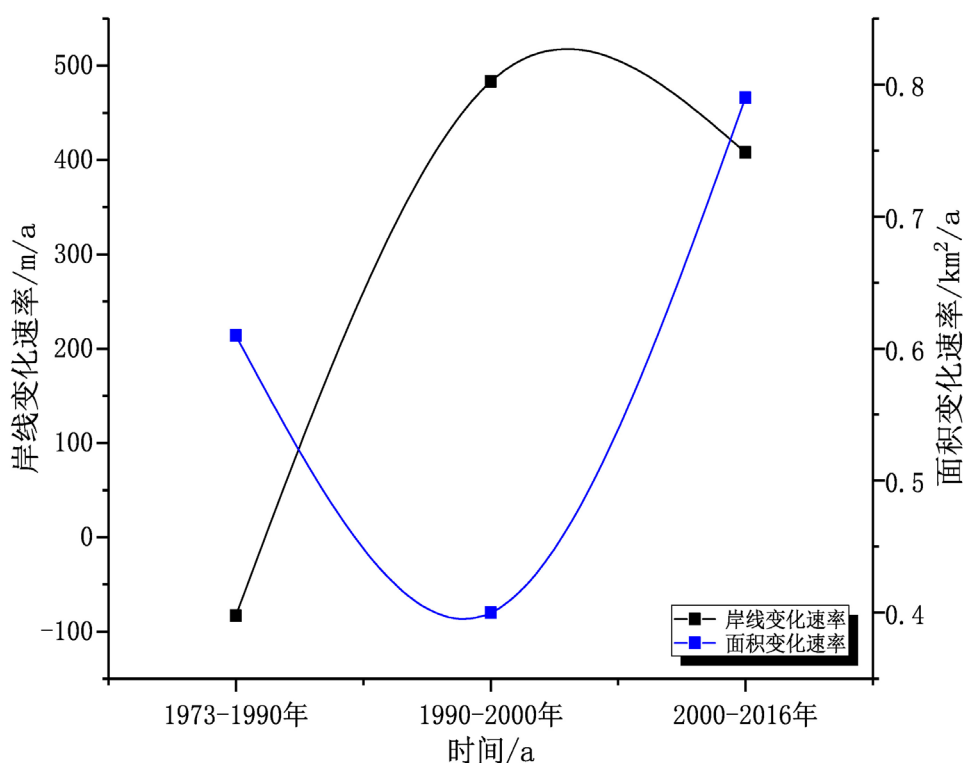


图6 岸线速率与陆地面积速率变化关系图

Fig.6 Relationship between coastline growth rate and land area increasing rate changes

3.4 海岸线分形维数变化

分形维数是线性轮廓的度量，是线性体复杂性和不规则性重要的指标，可以较好的反映岸线形态的复杂度^[37]。岸线分形维数的计算方法通常有尺码法和计盒维数法^[38]，本文采用计盒维数法计算研究区四个时相岸线的分形维数。

计算表明，研究区1973年、1990年、2000年和2016年岸线分形维数分别为1.048、1.042、1.061和1.092（图6）。由于研究区海岸地形复杂，岸段周边地形以山地和丘陵为主，其间多半岛、港湾，海域中岛屿星罗棋布，导致海岸线弯曲复杂度较高。

近40年来，除1990年岸线分形维数有降低外，其他时相的分形维数均为递增态势（图6）。其中，1973—1990年，分形维数减少了0.006，该时期内大量错落无序的基岩岸线修筑成整齐划一的防浪堤，用以保护沿泉州湾地区免受台风危害；从1990年以后呈上升趋势，1990—2000年增加了0.019，2000—2016年增加了0.031。分形维数变化值的大小即变化强度代表了研究时

期内海岸线曲折程度的变化情况，也反映了人类活动对该地区影响力的大小。可见，研究区从2000—2016年分形维数变化强度最大，与该地区海岸增长型围垦方式密切相关，海岸线向海扩进幅度最大，造成海岸线变化复杂。

结合研究区岸线类型分析，由于围垦养殖和围海造田等围填行为大多在岸线复杂度低的地段进行，故此类岸段的形状和轮廓会发生较大的改变，岸线复杂度会有较大提高。另外，研究区部分城市岸段进行的围海造陆、填海造田和修建港口码头等活动，使海岸线向海大幅推进，岸线长度增加，岸线分形维数变大。

将四个时相岸线分形维数和岸线长度叠加形成双坐标折线图（图6），分形维数变化趋势和岸线长度变化趋势基本一致，成正相关关系，除1973年至1990年出现下降，其他时相都是增加的。由此说明，岸线长度变化是影响岸线分形维数变化的主要因素，人类社会经济活动对岸线分形维数的改变影响较为明显。

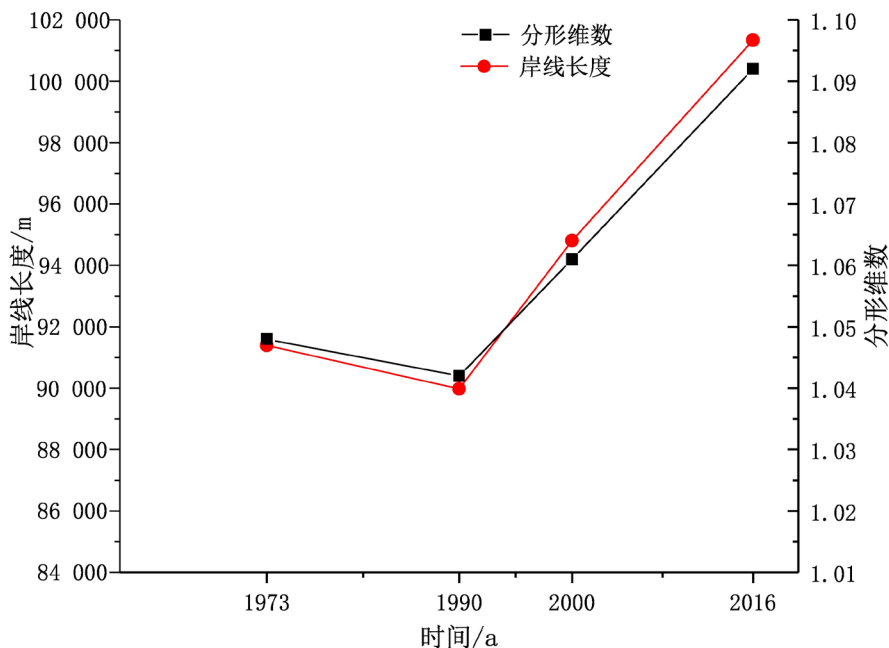


图7 岸线长度与分形维数变化关系图

Fig.7 Relationship between changes of coastline length and fractal dimension

4 结束语

本文对泉州湾四十多年的遥感影像数据进行解译和海岸线提取,从岸线长度、类型结构、面积和分形维数等4个方面对该区域海岸线变化趋势及变迁原因进行了分析。主要结论如下:

(1) 1973–2016年,岸线持续向海推进,长度呈增长趋势,其中2000–2016年岸线增长速度和向海推进速度最快,总长度共增加了9940 m,向海推进总面积约26 km²。人工岸线持续增加,自然岸线持续减少,自然岸线向人工岸线转换。岸线发生变化较大的区域主要是晋江和洛阳江入海口沿江两岸。

(2) 泉州湾岸线分形维数变化趋势和岸线长度变化趋势一致,成正相关关系。其中,2000–2016年岸线分形维数变化强度最大,该时期人类活动对岸线的影响力最大。

(3) 人类社会经济活动是岸线变迁的主要原因。填海造地、修筑防浪堤、扩改港口码头和围垦养殖等原因,造成了人工岸线增长最为突出。随着经济的发展,海岸带开发和沿岸环境保护将不再是单纯的你进我退关系,制定相关政策需要综合考量。

参考文献

- [1] 陈林生. 海岸带区域经济发展中的政府作用探析[J]. 海洋经济, 2011, 01(6): 12-16
- [2] 边华菁. 浙江省海湾岸线时空动态变化分析[D]. 杭州: 浙江师范大学, 2016
- [3] 毋亭, 侯西勇. 海岸线变化研究综述[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1170-1182
- [4] 康波, 林宁, 徐文斌, 等. 基于遥感和GIS的长岛南五岛近30年海岸线时空变迁分析[J]. 海洋通报, 2017(5): 585-593
- [5] 杨磊, 李加林, 袁麒麟, 等. 中国南方大陆海岸线时空变迁[J]. 海洋学研究, 2014, 32(3): 42-49
- [6] 梁雄伟. 基于自然资源统一管理的广东省海岸带生态修复[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(6): 33-38
- [7] 申家双. 基于海岸带辅助数据的遥感影像定位技术研究[D]. 北京: 解放军信息工程大学, 2011
- [8] 张琳, 潘玉良, 雷惠, 等. 近30年浙江省大陆海岸线遥感监测与变迁分析[J]. 科技通报, 2017, 232(12): 62-67+148
- [9] 廖甜, 蔡廷禄, 刘毅飞, 等. 近100a来浙江大陆海岸线时空变化特征[J]. 海洋学研究, 2016, 034(003): 25-33
- [10] 李亮, 田福金, 郭建明. 近30年福建省海岸线变迁遥感解译分析[J]. 地质论评, 2017(S1): 376-378
- [11] 杜家伟, 柯丽娜, 李钰, 等. 大连市海岸线及围填海时空演变分析[J]. 国土与自然资源研究, 2017(06): 34-37
- [12] 罗昆, 丁波, 龙根元. 基于多源遥感影像的宁远

- 河口海岸线变迁分析[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(04):190-195
- [13] 王建步, 张杰, 陈景云, 等. 近 30 余年辽河口海岸线遥感变迁分析[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(1):86-92
- [14] 陆求裕. 基于多时相遥感影像闽江口海岸线变迁特征[J]. 地质灾害与环境保护, 2015, 26(1):61-67
- [15] 李刚, 孙桂华, 姚永坚, 等. 三沙湾海岸线时空演变[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2019, 49(1):196-205
- [16] 孙贵芹, 徐艳东, 林蕾, 等. 基于遥感和 GIS 的烟台芝罘湾海岸线变迁研究[J]. 海洋科学进展, 2020, 38(1):140-152
- [17] 杨伟, 陈沈良, 陈小英, 等. 现代黄河三角洲河口段海岸线演变特征[J]. 人民黄河, 2010(10):16-17+21+154
- [18] 陈金月. 基于 GIS 和 RS 的近 40 年珠江三角洲海岸线变迁及驱动因素研究[D]. 成都: 四川师范大学, 1, 2017
- [19] 杨伟兵. 长江三角洲岸线演变研究[J]. 鄱阳湖学刊, 2011(2):105-116
- [20] 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]. 应用海洋学学报, 2014, 33(3):425-433
- [21] 赖志坤. 泉州湾海岸线变化特征的定量分析研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(8):75-78
- [22] 李滕, 林从谋, 黄逸群. 泉州湾海岸线变迁的分形分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2015(36):214
- [23] 赖国棣. 泉州湾海岸线变迁遥感监测研究[J]. 福建地质, 2015, 034(004):322-328
- [24] 吴承强, 蔡锋, 吴建政, 等. 泉州湾海岸带地形地貌特征及控制因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011(4):75-81
- [25] 李荣欣. 基于生态系统的海湾综合管理研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2011
- [26] 张路, 曲国胜, 陈建强. 福建东南沿海第四纪盆地构造沉降[J]. 第四纪研究, 2009, 029(003):633-643
- [27] 黄昭, 王善雄. 台湾海峡滨海断裂带的构造特征与活动性[J]. 大地测量与地球动力学, 2006(03):20-26.
- [28] 徐先兵, 李源, 薛德杰, 等. 福建泉州晚中生代伸展构造变形特征与年代学制约[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2014, 39(01):45-63
- [29] 张璞, 陈建强, 田明中, 等. 福建省泉州市第四纪沉积物粒度特征及沉积环境分析[J]. 盐湖研究, 2005(02):25-33
- [30] 邓琳, 胡勇, 黄健, 等. 长时序 Landsat 数据辐射校正方法对比研究[J]. 航天返回与遥感, 2018, 39(5):104-112
- [31] 拓万兵, 陈昱蓉, 赵新坤. 卫星遥感影像几何纠正模型精度对比研究[J]. 地理空间信息, 2019, 17(05):50-52+5
- [32] 卢薇艳, 罗鹏, 龚淑云. 基于遥感技术的海岸线提取及应用研究综述[J]. 华南地质与矿产, 2019, 35(03):393-397
- [33] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取[J]. 中国图象图形学报, 2005(02):93-99
- [34] 国家海洋局 908 专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程: 试行本[M]. 北京: 海洋出版社, 2007
- [35] 索安宁, 曹可, 马红伟, 等. 海岸线分类体系探讨(J). 地球科学, 2015, 35(7), 933-937
- [36] 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
- [37] 李爽, 詹文欢, 姚衍桃. 漠阳江入海口海岸线分维及其机制分析[J]. 海洋通报, 2019, 38(02):93-99
- [38] 朱晓华. 海岸线分维数计算方法及其比较研究[J]. 黄渤海海洋, 2002, 20(2):31-36