



基于谷歌地球历史影像的大连市海岸线变化分析

江山, 周丽, 马宏伟, 朱巍, 倪金, 马诗敏, 张静, 郇恒飞

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘要: 为了研究大连市近 40 年海岸带环境变迁和演化规律, 基于谷歌地球历史影像, 采用 GIS 技术提取和分析了大连市 1984—2018 年海岸线变化信息。结果显示大连市海岸线增长经历了低—高—低 3 个阶段, 时间节点为 2004 年和 2014 年。围(填)海增速与 GDP 增速曲线具有较强的相关性。从空间来看, 大连市海岸线变化主要分布在湾区和河口地区, 主要类型为填海造陆区和围海养殖区。其中填海造陆区主要集中在市辖区中南部沿岸和长兴岛开发区, 围海养殖区则分散在北部和东部瓦房店、普兰店和庄河等地。

关键词: 海岸线; 土地利用; 谷歌地球; GIS; 卫星图像; 大连市; 辽宁省

COASTLINE CHANGES OF DALIAN CITY BASED ON GOOGLE EARTH HISTORICAL IMAGES

JIANG Shan, ZHOU Li, MA Hong-wei, ZHU Wei, NI Jin, MA Shi-min, ZHANG Jing, HUAN Heng-fei

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: To study the environmental changes and evolution rule of coastal zones in Dalian City in the last 40 years, the paper uses GIS technology to extract and analyze the coastline information during 1984-2018 based on the historical images from Google Earth. The results show that the coastline has grown in three stages: low-high-low, separated by the years of 2004 and 2014. The growth rate of sea reclamation is highly correlated to the GDP growth curve. Spatially, the coastline changes are mainly distributed in the bay and estuary areas, with the main types of land reclamation and sea mariculture. The land reclamation area is mainly concentrated in the central and southern coast of municipal district and Changxing Island Development Zone, while the sea reclamation area is scattered in Wafangdian, Pulandian and Zhuanghe areas in the north and east.

Key words: coastline; land use; Google Earth; GIS; satellite image; Dalian City; Liaoning Province

0 前言

海岸带是指现在海陆之间相互作用的地带, 是人

类活动较集中、频繁的区域, 也是生态较脆弱的区域。

海岸线处在这一区域前锋地带, 具有复杂、敏感和多变

收稿日期: 2022-08-26; 修回日期: 2022-09-27. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“东北振兴区资源环境承载能力监测”(DD20221730); “东北地区自然资源综合调查”(DD20211383).

作者简介: 江山(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事资源与环境遥感研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//jiangshan85@qq.com

通信作者: 周丽(1984—), 女, 硕士, 现从事期刊编辑、科技英语翻译等工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//270428690@qq.com

的特性. 海岸线的建设布局与合理开发, 对当地经济社会及生态环境的可持续发展有着重要影响^[1-3]. 海岸线变化监测已成为近年来地球观测研究的热点, 传统的地面调查费时、费力、时效性差, 而遥感技术具有宏观、快速、高频、定量和节约成本等优势, 是海岸带变化动态监测的重要方法^[4-12]. 国内外很多学者利用遥感和 GIS 技术在海岸线变迁研究方面做了大量的工作. Moran 等利用 GIS 技术分析了得克萨斯州墨西哥湾海岸线演变规律, 并预测了未来海岸线的位置^[4]; Ekercin 等利用多时相 Landsat 卫星图像检测爱琴海海岸线变化, 发现局部地区位移超过 200 m^[6]; 夏真等利用遥感技术研究了大亚湾地区海岸线变迁, 探讨了以多时相数据为基础开展海岸线变迁研究的技术和方法^[10]; 朱小鸽等应用多时相 Landsat 卫星影像, 采用神经网络分类方法监测了珠江口等地区海岸线的变化情况^[11]; 蔡则健等利用 3 期卫星遥感图像定量和定性分析了江苏海岸线 20 a 的演变特点和趋势^[12].

随着空间探测和信息技术的发展, 遥感技术在农业、林业、地质等很多行业成了常规手段^[13-15], 但是以往的遥感调查和监测工作中, 遥感数据收集和预处理工作, 仍需耗费相当的精力. 谷歌地球(Google Earth)平台集中了全球多种卫星数据, 包括 Landsat、QuickBird、

IKONOS 和 SPOT5 等卫星影像. 2016 年上线的 Timelapse 模块, 用户可以方便地浏览全球 1984 年以来的逐年历史卫星图像, 为海岸线变化时间序列分析提供了极大的便利^[16]. 本研究主要基于谷歌地球平台的时间序列影像数据, 综合运用“3S”技术, 提取和分析大连市 1984—2018 年间大陆海岸线变化情况, 为大连市海岸带监测和管理提供科学依据, 同时探索一种高效便捷进行海岸线监测的技术方法.

1 研究区概况

大连市位于辽东半岛南端, 地处黄海和渤海之滨, 北依中国东北腹地, 南与山东半岛隔海相望, 是东北地区最大的港口城市. 全市总面积 12 574 km², 管辖海域面积约 2.9×10⁴ km², 超过陆地面积 1 倍有余. 大连市辖区海岸线长 1 906 km, 占辽宁省海岸线总长度的 73%, 其中陆地海岸线 1 288 km, 海岛岸线 618 km, 是全国海岸线最长的城市. 研究区地形为北高南低、北宽南窄, 地貌以山地丘陵为主, 少平原低地^[17]. 本次研究对象为大连市大陆海岸线, 未考虑离大陆较远的海岛. 为了方便统计, 将沿海岸线划分为 19 段, 命名借用了邻近海湾或河口的地名, 不具有严格的地理含义(如图 1 所示).

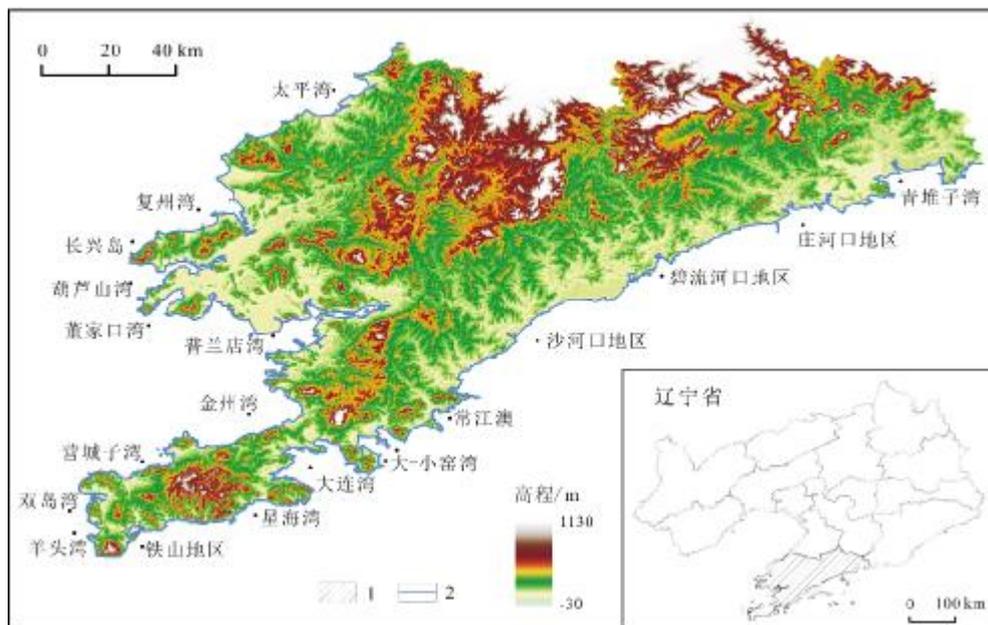


图 1 研究区地理位置图

Fig. 1 Location map of the study area

1—大连市范围(Dalian City); 2—大陆海岸线(continental coastline)

2 数据源

本研究采用数据主要来源于谷歌地球平台,该平台卫星影像主要来自 QuickBird、IKONOS、SPOT 和 Landsat 等卫星数据.基于谷歌地球,获取了大连地区 1984、1989、1994、2000、2004、2009、2014 和 2018 年共 8 期遥感图像.此外,还收集了 2005 年的 SPOT5 影像、2018 年的 GF2 影像数据,以及 1954 年编制的地形图(部分)和 1988 年海图等资料.对遥感数据的预处理主要有几何校正、图像镶嵌和裁剪等,数据处理基于 ArcGIS 平台进行.

3 海岸线提取

3.1 解译标志的建立

根据海岸线的形态和成因,可以分为自然海岸线和人工海岸线.大连市自然海岸主要有基岩海岸、淤泥质海岸和砂砾质海岸.在本次海岸线解译工作之前,首先确定海岸线的划分原则.自然岸线以平均大潮高潮线为准,人工岸线以修建的堤坝、挡水墙、围海

造陆区外围海堤等为准^[18-19].

经过野外调查和初步解译,研究区自然海岸线以基岩海岸线和淤泥质海岸线为主,其中淤泥质海岸大多被开垦为围海养殖区,变更为人工海岸.因此,本次解译工作的重点为基岩海岸和人工海岸.通过分析海岸线在遥感图像上的颜色、色调、纹理、形状和地物空间关系等特征,建立了海岸线解译标志(如图 2 所示).基岩海岸线位于山体的水边线之上,一般位于植被覆盖与水边中间,具有明显的阴影和纹理,在遥感影像上的区分度较好.人工海岸以人工修建的码头建筑物或围海养殖堤坝为界,边界清晰,且比较平直,在遥感影像上容易辨别.砂砾质海岸线由于具有较高的光谱反射率,在遥感影像上为高亮度像元,取滩脊痕迹线上限或陡崖基部与沙滩交线处为海岸线边界^[18].

3.2 海岸线提取方法

采用精度较高的人工目视解译的方法提取海岸线.目视解译常用的方法有直接判读法、对比分析法、信息复合法、综合推理法和地理相关分析法.在海岸



图 2 主要海岸线类型解译标志图

Fig. 2 Interpretation marks of main coastline types

a—基岩海岸 (bedrock coast); b—砂砾质海岸 (sandy gravel coast); c—人工海岸 (码头) (artificial coast for wharf); d—人工海岸 (围海养殖) (artificial coast for mariculture)

线解译过程中,综合运用这些方法,将前后不同时间的遥感影像进行对比分析,还原海岸线发展演变过程,提高解译的可靠性. 主要工作流程分为资料收集和预处理、海岸线解译与验证和成果图制作 3 个部分,如图 3 所示.

3.3 海岸线提取结果

在无法获得有效数量的高精度控制点以及“真实海岸线”的情况下,通用的方案是采用推论评估法来评价海岸线解译质量,即将 2005 年和 2018 年两期解译结果与同期高分辨率 SPOT5 和 GF2 卫星图像进行对比验证^[20]. 同时设计了两条验证路线,将地貌特征不明显且变化较大的地区作为重点,如长兴岛—董家口湾—葫芦山湾—普兰店湾,为重点验证路线^[21-22]. 专题图制作基于 ArcGIS 平台,最终制作的大连市海岸线

遥感解译图如图 4 所示.

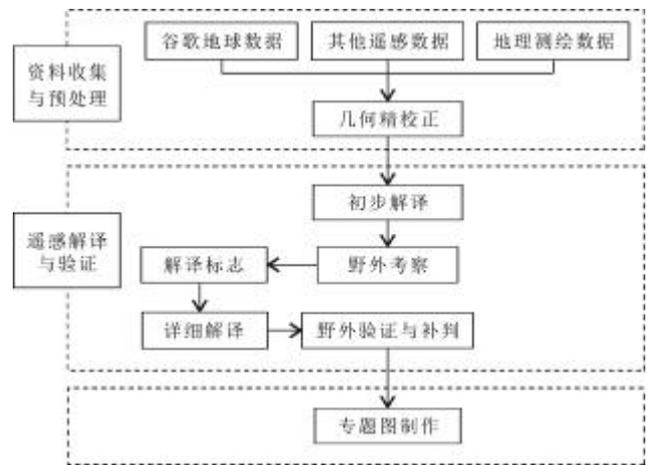


图 3 海岸线提取流程图

Fig. 3 Flowchart of coastline extraction

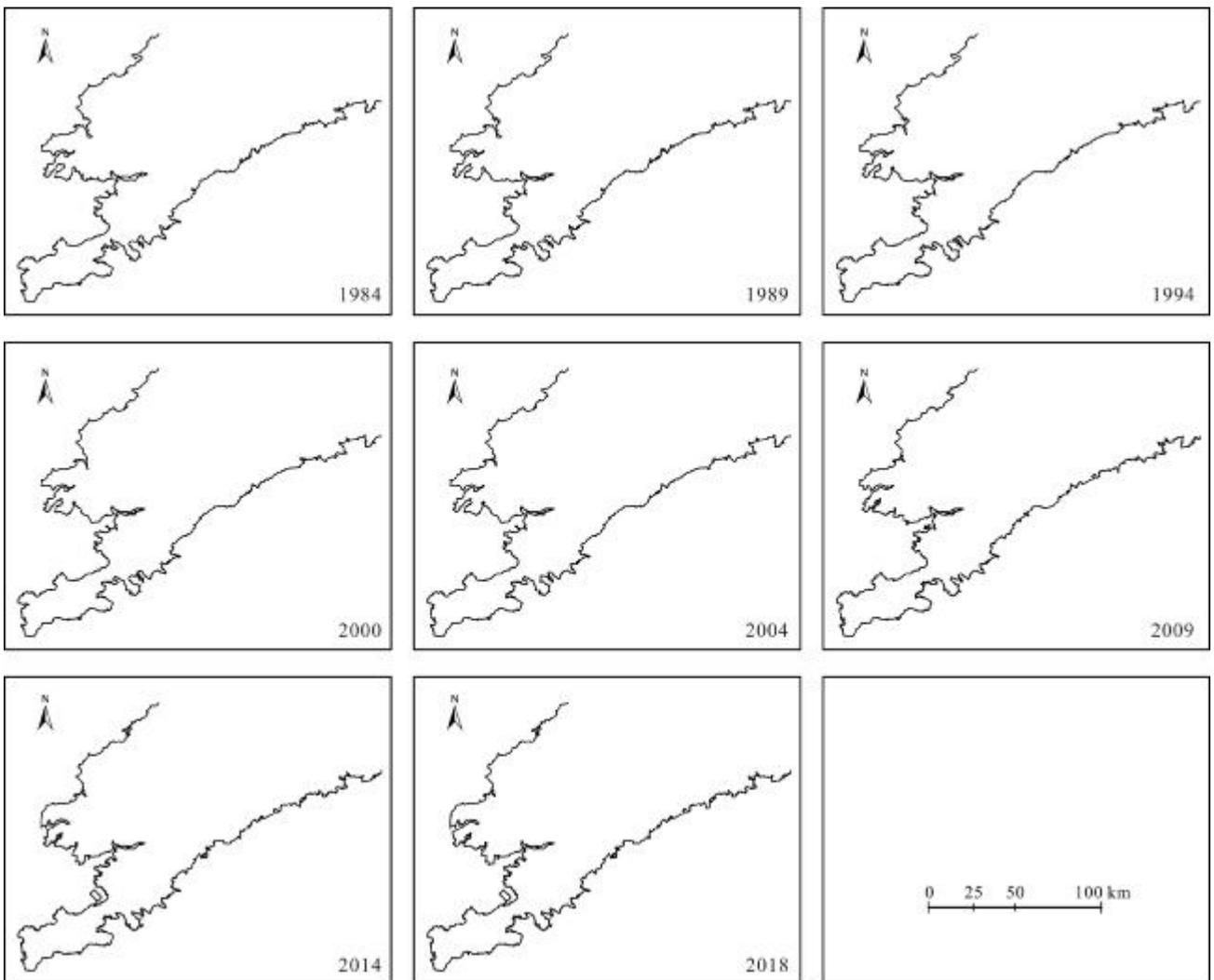


图 4 大连市 1984—2018 年海岸线遥感解译图

Fig. 4 Remote sensing interpreted coastlines in Dalian City during 1984—2018

需要说明的是,海岸线一般受潮汐影响,而卫星影像揭示的是地物的瞬时特征. 考虑到主要海岸线类型为基岩海岸和人工海岸,受潮位影响较小,所以本研究忽略了潮汐影响下瞬时海岸线的轻微变化.

4 结果分析

4.1 总体变化分析

从解译结果可以看出,1984—2018年间,大连市大陆海岸线长度发生了较大的变化. 1984年大连市大陆海岸线长度为1 148.042 km, 1989年增长到1 165.547 km,随后经历了缓慢减小,至2004年,海岸线长度为1 093.738 km. 此后,海岸线一直增长,到2018年为1 247.483 km,总体呈“V”字型发展(图5).

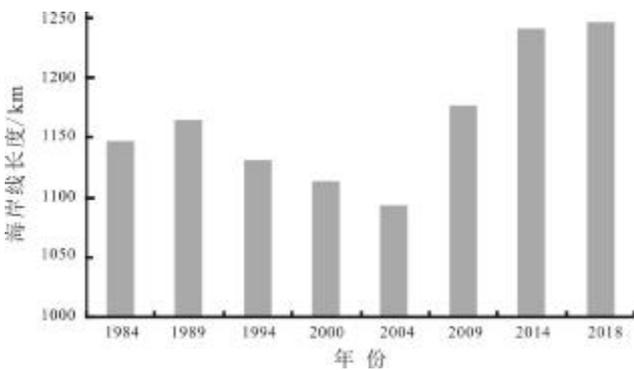


图5 大连市1984—2018年间海岸线长度变化图

Fig. 5 Coastline length changes of Dalian City during 1984–2018

为了分析海岸线变化情况,将8个期次的海岸线以每相邻两期分为1组,共7组进行变化分析. 海岸线变化的部分,忽略自然变化,便是人工围(填)海或拆围的部分,以前者为主. 统计海岸线变化面积,可以看出,大连市1984—2018年间,围(填)海面积总量为685.23 km²,年平均变化量为20.154 km². 从围(填)海增长速度来看,大连市1984年以来,可以分为3个阶段. 第一个阶段,1984—2004年,平均围(填)海增速均小于14 km²/a;第二个阶段,2004—2014年,是大连市围(填)海速度最快的10年,平均增速超过44 km²/a;第三个阶段,2014—2018年,大连市减少了围(填)海工程,年均增长率降低至不足5 km²/a(图6).

将围(填)海增速曲线与大连市国内生产总值(GDP)变化曲线进行对比(图7),可以看出20年间,两者曲线具有较强的相关性. 由此可见,大连市作为滨海城市,岸线的扩张与城市发展关系密切.

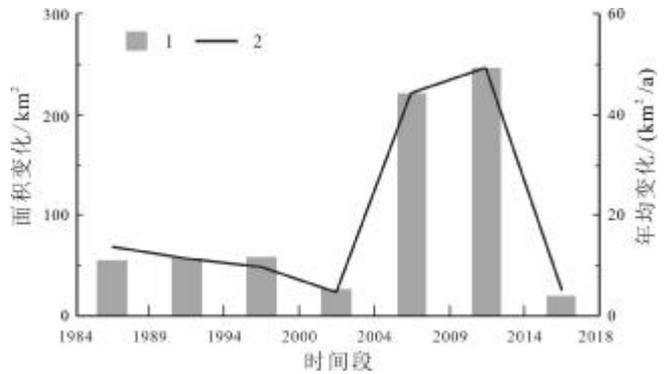


图6 大连市1984—2018年间围(填)海面积变化

Fig. 6 Change of sea reclamation area in Dalian City during 1984–2018

1—总变化面积(total change area); 2—平均年变化面积(average annual change area)

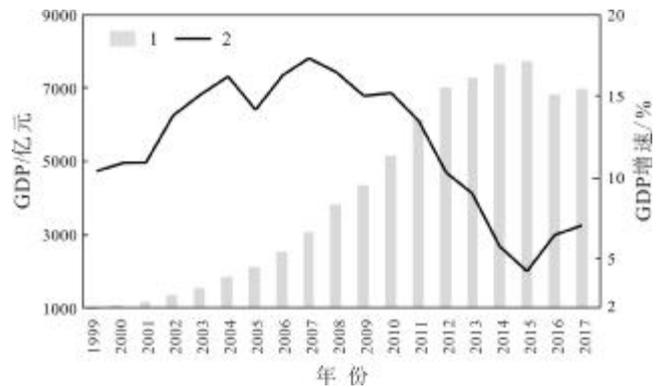


图7 大连市国内生产总值统计图

(数据来自大连市统计局)

Fig. 7 GDP statistics of Dalian City

(Data from Statistical Bureau of Dalian City)

1—大连市GDP (GDP of Dalian City); 2—GDP增速(GDP growth rate)

4.2 空间分布分析

从空间分布来看,海岸线的变化主要集中在大连市各个湾区和河口地区,其中变化量从大到小依次为普兰店湾、太平湾、葫芦山湾、沙河口地区、庄河口地区、青堆子湾、金州湾、大连湾、碧流河口地区、复州湾、大窑湾、小窑湾、董家口湾、长兴岛、星海湾、双岛湾、常江澳、营城子湾、羊头湾和铁山地区(图8).

分析1984年和2018年两期海岸线变化,可以看出大连市海岸线变化总面积为636.719 km²(见表1),相比分期统计总面积(图8),减少了49.09 km². 这部分面积反映的是海岸线反复变化的面积. 比如,先建设的是围海养殖区,后来废弃和变更为围海造地项目,这种情况主要集中在普兰店湾和长兴岛一带.

海岸线的变化区,从用途而言可分为港口、建设用 地、填而未用、围而未填、围垦、盐田和养殖区等.为了 多期次对比研究的便利,将这些细分类型概括为两大类. 第一类为围海养殖区,包括围而未填、围垦、盐田 和养殖区,主要特征为人工建设的堤坝完全或基本阻 隔海水自由流通.第二类为填海造陆区,包括港口、建 设用地、填而未用 3 种类型,其主要特征为海域变更为 陆地.根据该方案,将 1984—2018 年的海岸线变化情 况进行分类,分析变化情况(表 1).

表 1 大连市各地区 1984—2018 年间海岸线变更类型统计表
Table 1 Statistics of coastline changes in different regions of Dalian City during 1984—2018

地区	填海造陆面积	围海养殖面积	合计
普兰店湾	18.846	141.401	160.247
太平湾	14.208	41.190	55.397
葫芦山湾	29.021	16.980	46.001
沙河口地区	2.306	41.356	43.662
青堆子湾	3.680	37.904	41.584
庄河口地区	13.775	27.796	41.571
金州湾	29.297	10.688	39.985
大连湾	28.110	0.297	28.407
碧流河口地区	4.020	22.366	26.385
复州湾	0.000	24.651	24.651
大窑湾	17.187	1.445	18.632
董家口湾	0.000	14.174	14.174
长兴岛	8.167	5.723	13.890
星海湾	4.258	3.624	7.882
小窑湾	7.645	0.000	7.645
双岛湾	0.000	3.992	3.992
常江澳	2.926	0.000	2.926
营城子湾	0.283	1.415	1.698
羊头湾	1.191	0.000	1.191
铁山地区	1.125	0.000	1.125
其他地区	12.043	43.631	55.675
总计	198.085	438.633	636.719

面积单位:km².

截至 2018 年,大连市填海造陆总面积为 197.568 km², 围海养殖区总面积为 439.150 km². 其中填海造陆区主 要集中于金州湾、葫芦山湾、大连湾、普兰店湾、大窑

湾、庄河口地区等,围海养殖区主要集中在普兰店湾、 庄河口地区、太平湾、青堆子湾、沙河口地区、复州湾、 碧流河口等地(图 9). 主要规律为,填海造陆区主要集 中在中南部市辖区和开发区,围海养殖区则分散于大 连市北部和东部两侧.

4.3 典型岸段分析

选择普兰店湾和长兴岛一带作为典型,分析大连 市海岸线局部变化规律.普兰店湾地区海岸线变化较 大的时间段有两个,第一个为 1984—2000 年,第二个 为 2004—2014 年(如图 10、11).1984 年遥感图像显 示,普兰店湾北侧、南侧和东侧鞍子河河口一带就有一 定规模的海水养殖业基础.1984—1989 年间,该地区的 围海养殖业发展很快,增长的海水养殖区面积占大 连市总围(填)海面积的一半左右.1994—2014 年间, 南侧的部分海水养殖区变更为围海造地项目,海水养 殖业向湾区西北侧发展.这段时间,普湾新区和金普 新区相继成立,三十里铺临港工业区、松木岛化工园区 等建设项目,是土地用途变更的主要原因.

长兴岛一带,包括长兴岛—葫芦山湾—董家口湾, 是海岸变化较为频繁的地区(如图 10、11).根据 1984 年影像资料,本地海水养殖区主要集中在董家口湾附 近.2004 年之前,该地区海岸线变化面积较小,年均围 (填)海面积为 0.315 km².2004 年之后,该地区围(填) 海工程迅速增加,年平均增长面积达到 5.111 km².部 分海水养殖区被废弃,增加了很多围海造地项目,这些 项目主要集中在葫芦山湾和长兴岛西侧.主要原因是 2005 年成立长兴岛临港工业区,2010 年长兴岛经济技 术开发区升级为国家级经济开发区,大面积的围海造 地项目开始实施.

5 结论

基于谷歌地球平台的遥感时间序列影像数据,提 取和分析了大连市 1984 年至 2018 年间的海岸线变化 情况.研究表明:

(1)大连市海岸线增长经历了低—高一低 3 个阶 段,时间节点为 2004 年和 2014 年.海岸线增速曲线 与 GDP 增速曲线具有较强的相关性,说明大连市经济 与海洋关系较为密切.

(2)大连市海岸线变化主要分布在湾区和河口地

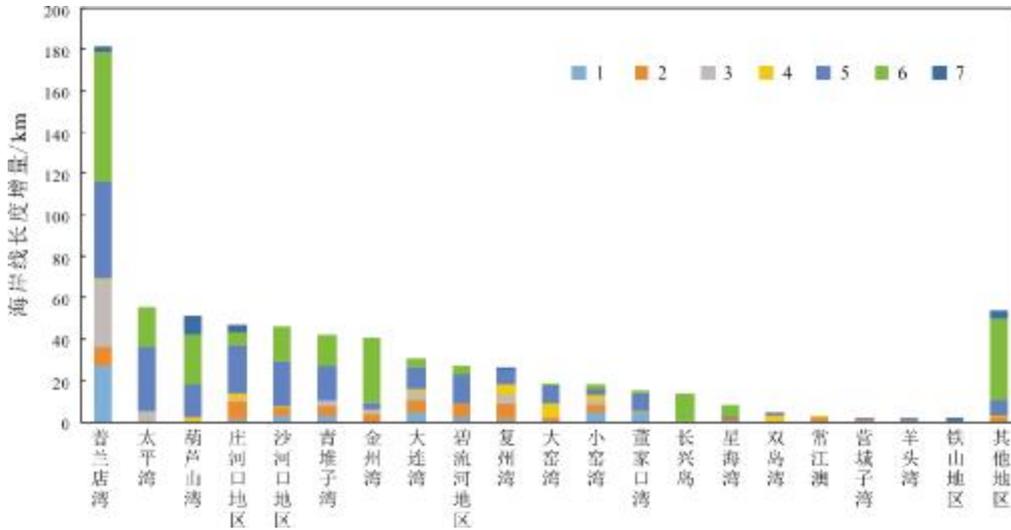


图8 大连市1984—2018年分地区海岸线变化情况

Fig. 8 Coastline changes in Dalian City by region during 1984-2018

1—1984—1989年; 2—1989—1994年; 3—1994—2000年; 4—2000—2004年; 5—2004—2009年; 6—2009—2014年; 7—2014—2018年



图9 大连市各地区海岸线变化空间分布图

Fig. 9 Spatial distribution map of coastline changes in Dalian City

1—围海养殖区面积(area of sea mariculture); 2—填海造陆区面积(area of land reclamation)

区,变更土地类型,可以概括为围海养殖区和填海造陆区两种.其中填海造陆区主要集中在市辖区中南部和长兴岛开发区,围海养殖区则分散在北部和东部的瓦房店、普兰店和庄河等地.

(3)大连市海水养殖业起步早,且一直在发展.近年来,城市扩张和产业升级,在一定程度上挤压了传统海水养殖业的空間,造成部分海水养殖区变更或迁移.

总之,大连市海岸线变化主要受人为干预影响,与经济发展方式密切相关.作为全国海岸线最长的城市,大连市有着得天独厚的海洋资源优势.确保海洋资源的合理开发和利用,是海洋经济持续、稳定、协调发展的关键,因此采用科学有效的方法来加强海洋资源的监测和管理至关重要.遥感技术发展到今天,积累了海量的数据,遥感大数据的处理和信息挖掘必将

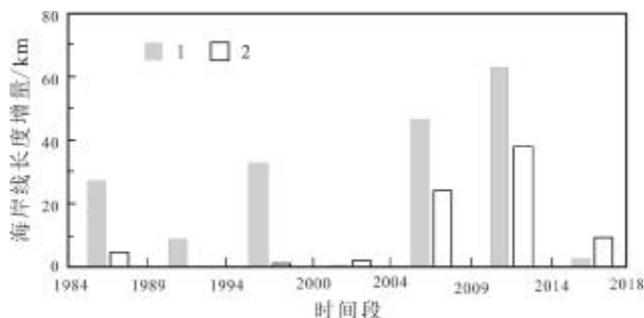


图 10 长兴岛开发区和普兰店湾海岸线变化柱状图

Fig. 10 Histogram of coastline changes in Changxing Island Development Zone and Pulandian Bay

1—长兴岛开发区(Changxing Island Development Zone); 2—普兰店湾(Pulandian Bay)

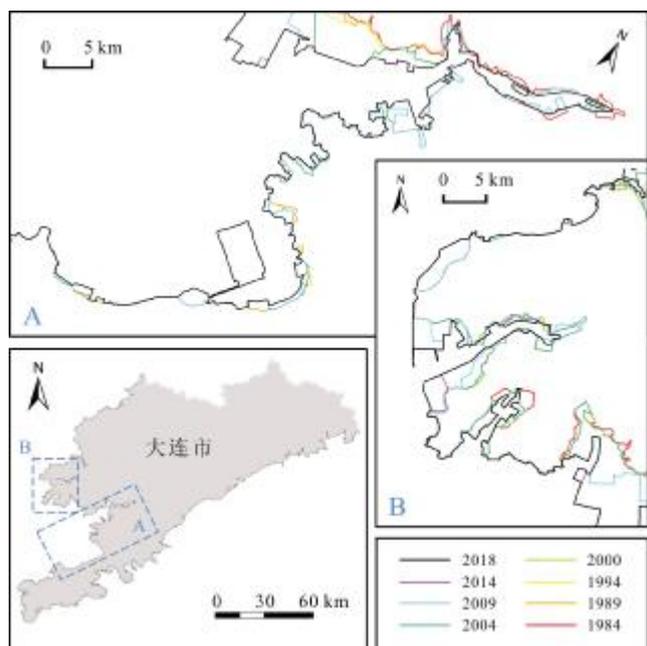


图 11 1984—2018 年典型岸段海岸线变化

Fig. 11 Coastline changes of typical segments during 1984–2018
A—普兰店湾(Pulandian Bay); B—长兴岛开发区(Changxing Island Development Zone)

成为新的学科. 谷歌地球平台整合海量遥感数据,为快速开展海洋监测提供了便利,但免费公开的数据精度有限,本文对海岸线类型未做精细分类. 下一步,可以选择长兴岛地区和普兰店湾等重点岸段,进行大比例尺遥感调查,为政府管理和科学研究提供支撑.

参考文献(References):

[1]徐进勇,张增祥,赵晓丽,等. 2000—2012 年中国北方海岸线时空变化分析[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 651–660.

Xu J Y, Zhang Z X, Zhao X L, et al. Spatial-temporal analysis of coastline changes in northern China from 2000 to 2012 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 651–660.

[2]刘富强,吴涛,蒋国俊,等. 海岸线与海岸景观格局对人为干扰的动态响应——以营口市南部海岸为例[J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7427–7437.

Liu F Q, Wu T, Jiang G J, et al. Dynamic response of the coastline and coastal landscape patterns to Hemeroby: A case study along the south coast of Yingkou [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(22): 7427–7437.

[3]印萍,林良俊,陈斌,等. 中国海岸带地质资源与环境评价研究[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 842–856.

Yin P, Lin L J, Chen B, et al. Coastal zone geo-resources and geo-environment in China[J]. *Geology in China*, 2017, 44(5): 842–856.

[4]Moran C A A. Spatio-temporal analysis of Texas shoreline changes using GIS technique[D]. Texas: Texas A&M University, 2004.

[5]Masria A, Nadaoka K, Negm A, et al. Detection of shoreline and land cover changes around Rosetta promontory, Egypt, based on remote sensing analysis[J]. *Land*, 2015, 4(1): 216–230.

[6]Ekercin S. Coastline change assessment at the Aegean Sea coasts in Turkey using multitemporal Landsat imagery [J]. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(3): 691–698.

[7]El Islam B N, Fouzia H, Khalid A. Combination of satellite images and numerical model for the state followed the coast of the bay of Bejaia-Jijel[J]. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 2017, 4(1): 1–7.

[8]Sagar S, Roberts D, Bala B, et al. Extracting the intertidal extent and topography of the Australian coastline from a 28 year time series of Landsat observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 195: 153–169.

[9]Thi V T, Xuan A T T, Nguyen H P, et al. Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam[J]. *Biogeosciences*, 2014, 11(14): 3781–3795.

[10]夏真,陈太浩,赵庆献. 多时相卫星遥感海岸线变迁研究——以大亚湾地区为例[J]. 南海地质研究, 2022(12): 102–108.

Xia Z, Chen T H, Zhao Q X. Study on the shoreline changes by multiseasonal satellite remote sensing data: Take Dayawan Bay as a pilot[J]. *Research of Geological South China Sea*, 2022(12): 102–108.

[11]朱小鸽. 珠江口海岸线变化的遥感监测[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 19–22.

Zhu X G. Remote sensing monitoring of coastline changes in Pearl River estuary[J]. *Marine Environmental Science*, 2002, 21(2): 19–22.

[12]蔡则健,吴曙亮. 江苏海岸线演变趋势遥感分析[J]. 国土资源遥感, 2002, 53(3): 19–23.

- Cai Z J, Wu S L. Remote sensing analysis of the coastline development in Jiangsu Province [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2002, 53(3): 19-23.
- [13] 林辉, 童显德, 黄忠义. 遥感技术在我国林业中的应用与展望[J]. *遥感信息*, 2002(1): 39-43, 51.
- Lin H, Tong X D, Huang Z Y. A review on remote sensing's application, puzzle and prospect in forestry [J]. *Remote Sensing Information*, 2002(1): 39-43, 51.
- [14] 姚远, 陈曦, 钱静. 遥感数据在农业旱情监测中的应用研究进展[J]. *光谱学与光谱分析*, 2019, 39(4): 1005-1012.
- Yao Y, Chen X, Qian J. Advance in agricultural drought monitoring using remote sensing data [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2019, 39(4): 1005-1012.
- [15] 江山, 张渝金, 汪岩, 等. 基于 Landsat8 OLI 数据的遥感蚀变异常提取应用研究——以内蒙古阿鲁科尔沁旗地区为例[J]. *地质与资源*, 2018, 27(1): 93-98.
- Jiang S, Zhang Y J, Wang Y, et al. Application of alteration anomaly extraction by remote sensing based on Landsat 8 OLI data: A case study of Ar Horqin Qi, Inner Mongolia [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(1): 93-98.
- [16] 徐南. 利用美国陆地卫星监测 1987—2016 年全球海岸线变化[D]. 北京: 清华大学, 2019.
- Xu N. Monitoring global coastline changes over 1987-2016 using Landsat data[D]. Beijing: Tsinghua University, 2019.
- [17] 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(6): 31-34.
- Du J W, Ke L N, Li Y, et al. Analysis of temporal and spatial evolution of coastline and reclamation in Dalian [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2017(6): 31-34.
- [18] 施佩歆, 王福, 商志文, 等. 津冀海岸线现状、变化特征及保护建议[J]. *地质通报*, 2016, 35(10): 1630-1637.
- Shi P X, Wang F, Shang Z W, et al. The present situation and changing characteristics of the shorelines along Tianjin-Hebei coastal areas and proposal for protection [J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(10): 1630-1637.
- [19] 王雪鸽, 李晓燕, 贾明明, 等. 1975~2015 年大连市海岸线变迁和围填海变化[J]. *海洋环境科学*, 2017, 36(1): 87-93.
- Wang X G, Li X Y, Jia M M, et al. Analysis on changes in coastline and reclamation in Dalian from 1975 to 2015 [J]. *Marine Environmental Science*, 2017, 36(1): 87-93.
- [20] 黄婷, 师庆三, 师庆东, 等. 利用高分辨率影像验证低分辨率遥感数据的分类精度研究[J]. *新疆大学学报(自然科学版)*, 2013, 30(2): 238-242.
- Huang T, Shi Q S, Shi Q D, et al. Validate classification precision of low spatial resolution remote sensing data by using high spatial resolution data [J]. *Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition)*, 2013, 30(2): 238-242.
- [21] 陈曦, 倪金, 祁智武, 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 X, Ni J, Bin Z W, et al. Research on the changes of coastlines in Liaoning Province in a century [J]. *Geology and Resources*, 2011, 20(5): 354-357.
- [22] 马宏伟, 冯雨林, 崔健, 等. 基于遥感和 GIS 技术的辽河三角洲岸线变迁与成因分析[J]. *地质通报*, 2014, 33(10): 1578-1581.
- Ma H W, Feng Y L, Cui J, et al. An analysis of shoreline changes in Liaohe River delta based on remote sensing and GIS technology [J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(10): 1578-1581.

(上接第 48 页/Continued from Page 48)

- [22] 李子文, 林柏泉, 郝志勇, 等. 煤体多孔介质孔隙度的分形特征研究[J]. *采矿与安全工程学报*, 2013, 30(3): 437-442, 448.
- Li Z W, Lin B Q, Hao Z Y, et al. Fractal characteristics of porosity for porous media in coal mass [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2013, 30(3): 437-442, 448.
- [23] 赵洪伟, 陈树旺, 汪大明, 等. 阜新盆地油气勘探获得重大突破[J]. *中国地质*, 2018, 45(4): 857-858.
- Zhao H W, Chen S W, Wang D M, et al. Major breakthroughs in oil and gas exploration in the Fuxin Basin [J]. *Geology in China*, 2018, 45(4): 857-858.
- [24] 赵洪伟, 张德军, 陈树旺, 等. 阜新盆地辽阜地 2 井沙海组烃源岩地球化学特征及油源对比[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2021, 48(5): 582-590.
- Zhao H W, Zhang D J, Chen S W, et al. Geochemical characteristics and oil-source correlation of Shapai Formation hydrocarbon source rocks in Well Liaofudi 2, Fuxin Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2021, 48(5): 582-590.