

我国海岸带海岛礁遥感研究进展及建议

王志华, 杨晓梅, 苏奋振, 张慧芳, 颜凤芹, 张君珏

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 为厘清我国海岸带海岛礁遥感近年来发展取得的成就以及存在的问题, 本文摘选近十年来若干典型性研究, 按照“近海陆域-潮间带-近海水域-海岛礁”的空间顺序进行综述和探讨。总体而言, 海岸带的土地覆盖、海岸线等仍是当前遥感应用研究的热点; 同时, 随着我国经济的快速发展和城镇化出现的环境问题, 地面沉降、海水入侵、潮间带生态监测、海水养殖、赤潮、岛礁证据等新兴遥感应用方向也取得大幅进展, 有效支撑了国家海洋战略。但同时也发现使用的遥感数据自主性不强、遥感信息更新频率低、学科孤立发展难以满足实际需求等问题。建议加强国产多源数据协同、多学科交叉以及大数据云平台支持下的大范围与局部高精度自动化、常态化监测等。

关键词: 遥感; 海岸带管理; 海洋战略; 海岸线; 海水养殖

中图分类号: S931 **文献标识码:** A

Remote Sensing Application in China's Coastal Zones and Islands: Recent Progress and Some Suggestions

Wang Zhihua, Yang Xiaomei, Su Fenzhen, Zhang Huifang, Yan Fengqin, Zhang Junjue

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To summarize the recent achievements and problems of remote sensing application in China's coastal zones and islands, this study reviews a quantity of typical studies selected from the last decade in a space order of "offshore land area-intertidal zone-offshore waters-island". Classical remote sensing in land cover change and coastline dynamics is still the research hotspots. With China's rapid economic development and urbanization, coastal environmental problems become serious. Remote sensing is increasingly applied into research on land subsidence, seawater intrusion, intertidal ecosystem monitoring, mariculture, red tide, and island reef sovereign evidence, which strongly supports China's ocean strategies. However, the acquirement of remote sensing data still depends largely on foreign satellites; the update frequency of the remote sensing data is low; and different disciplines in this field are often isolated. We propose to promote fusion of multisource data and different disciplines, and ultimately realize high-precision, automatic, and regular monitoring supported by cloud computing at both national and regional levels.

Keywords: remote sensing; coastal zone management; ocean strategy; coastline; mariculture

收稿日期: 2019-07-20; 修回日期: 2019-10-12

通讯作者: 苏奋振, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为海岸带遥感及海洋地理信息系统; E-mail: sufz@lreis.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“海洋强国战略研究 2035”(2018-ZD-08); 国家自然科学基金委员会重大项目“高强度扰动下大湾区海陆场景功能优化与综合调控”(41890854)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

作为陆地与海洋的过渡区域，海岸带是众多物质、能量的集散地，同时也是物理、化学、生物、地质构造等各种过程的强耦合区域。因此，海岸带也成为人类活动最为强烈的区域。以我国为例，在仅占全国陆地国土面积 14% 的沿海地区集中了三大都市圈、50% 以上的大城市和 40% 的中小城市、50% 左右的人口和 60% 的国内生产总值 [1]。在气候变化和人类活动增强的双重影响下，海岸带生态环境不断恶化 [2]，成为生态脆弱和灾害性频发的重点区域。此外，海岛礁作为四面环海的小块陆地，可以作为人类开发海洋的远涉基地和前进支点，在全球经济向海洋发展的大背景下，其开发利用强度和速度越来越快，同样扮演着极其重要的经济和军事角色。因此，监测海岸带、海岛礁对指导我国制定海洋发展战略具有重要意义。

遥感作为远距离观测技术，具有空间覆盖广、时间一致性好、获取周期短等诸多优点，已成为变化速度快、空间范围广的海岸带以及可达性较差的海岛礁等目标的重要监测手段 [3]。及时、准确地了解我国海岸带、海岛礁遥感研究进展和存在的问题，可为我国海岸带、海岛礁生态系统研究和管理、社会经济发展和规划以及可持续发展提供快速、准确的信息支撑。为此，本文对近十年来我国海岸带、海岛礁遥感研究现状及存在的问题进行综述，并结合当前相关技术发展背景，给出若干建议，以期为我国的海洋强国发展战略服务。

二、研究现状

为系统总结研究现状，以下根据海岸带的结构（见图 1），按照内陆到海洋的顺序，依次从“近海陆域—潮间带—近海水域—海岛礁”四个方面分别综述。

（一）近海陆域遥感

1. 全要素土地利用 / 覆盖遥感进展

土地利用 / 覆盖数据是全球变化研究的重要组成部分，长久以来都是海岸带遥感监测的研究重点和热点。当前，我国研究、生产并对全球共享了一套 30 m 空间分辨率的全球土地利用 / 覆盖数据 (GlobeLand30) [4]。此外，针对海岸带的特殊性，开展了周期 5 年（2000—2015 年）的中国海岸带土地利用 / 覆盖高精度制图 [5]。在持续更新方面，通过挖掘历史影像与历史土地覆被数据间的关系，实现更新制图的自动化 [6]。随着高分遥感的发展，例如分辨率为 1 m 的国产高分二号卫星影像，地物目标识别的精细程度增加，挖掘海岸带人类居住区域的内部空间结构成为可能 [7]，这对于以功能为导向的城市空间结构规划研究和生态环境研究具有十分重要的意义。

2. 专题目标遥感研究进展

针对海岸带一些重点目标开展了时空制图及评估研究。针对具有促淤造陆、防浪护堤以及维持生物多样性和全球碳平衡等功能的红树林，借助 Landsat 卫星在全国范围内开展了长时间序列的数

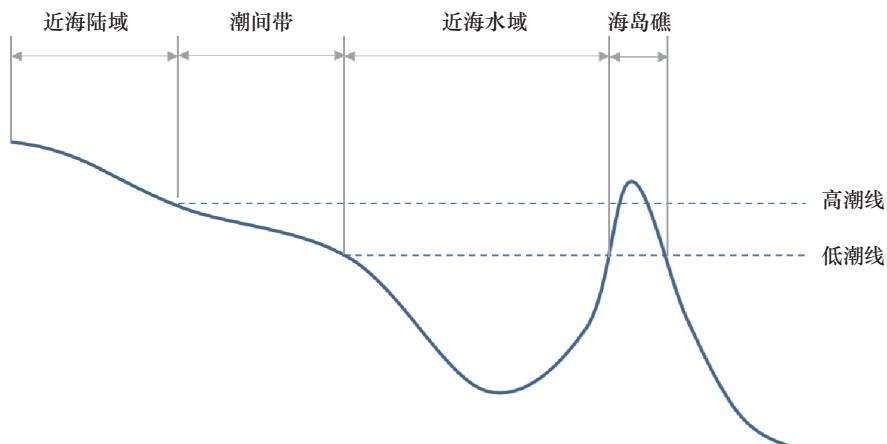


图 1 本文“近海陆域—潮间带—近海水域—海岛礁”地域结构划分示意图

据获取 [8]; 在高分遥感技术的发展背景下, 还探索了局部地区不同树种的制图, 有效支撑红树林精细管理 [9]; 针对兼具湿地生态和经济生产功能的养殖池塘与盐田, 开展了 1984—2016 年全国范围的长时间序列研究 [10]。针对海陆交通集结点的海港, 通过遥感土地覆被制图开展重要港口城市及其周边区域的生态环境评估, 以及高分遥感支持下通过港口内部制图评估港口货物吞吐量 [11]。

3. 沿海地区地面沉降研究进展

沿海地区在快速城镇化的进程中消耗了大量地下资源, 例如地下水位下降导致地面下沉, 损失严重。合成孔径雷达干涉 (InSAR) 测量能够以毫米级的精度监测这种变形, 并且在黄河三角洲、珠江三角洲开展实验, 证实这种变化源自快速城镇化和渔业养殖抽取地下水 [12]。

(二) 潮间带遥感

1. 海岸线遥感

海岸线是海陆的分界线, 不仅能够量化地衡量人类活动结果和海陆自然相互作用, 还能够反映全球气候变化背景下海平面的上升趋势。针对海岸线的特点建立遥感解译标志, 并开展近 30 年的中国大陆海岸线提取和变化分析 [13], 同时针对遥感影像中潮间带难以确定的问题开展研究。

2. 生物入侵遥感

为了保护海岸带生态系统免受有意引入或者船只通航等无意引入的外来物种的破坏, 开展了系列研究, 为准确掌握生物入侵和消退规律提供关键性数据, 进而为管控提供有益参考。互花米草是其中面积较广、影响严重的一个物种, 大量取代本地海三棱藨草, 导致很多水鸟难以获取食物。基于高分遥感影像, 文献 [14] 对浙江沿海区域入侵的空间格局进行精细识别研究; 此外, 基于 15/30 m 分辨率的卫星遥感, 开展了大陆海岸带互花米草时空动态监测 [15]。

3. 海水入侵及土壤盐渍化遥感

快速城镇化, 尤其是地下水开采, 引发海水入侵及土壤盐渍化, 严重影响沿海生态环境。通过盐渍化土壤表面光谱特征差异和地表植被覆盖的变化, 遥感可以用于反演和评估海水入侵及土壤盐渍化的发展过程和影响, 为相关治理提供科学指导 [16]。

(三) 近海水域遥感

1. 海上养殖遥感

海上养殖区是海岸带经济的另一个主要产业, 同时也是重要的海洋灾害承灾体。随着高分遥感影像在空间分辨率和灰度分辨方向的发展, 海上养殖区域目标提取成为可能。文献 [17] 基于面向对象和直线段基元的关系, 实现了国产资源三号卫星影像的筏式养殖区高精度提取; 文献 [18] 将人眼视觉机制与面向对象结合, 实现了一种水色背景较复杂的筏式海水养殖区提取。

2. 海洋灾害遥感

风暴潮、海上溢油、赤潮等海洋灾害发生迅速、涉及面广, 而遥感可以快速大面积获取灾害要素的空间分布和现势状态, 为评估、救灾发挥重要支撑作用 [19]。文献 [20] 利用遥感数据反演的水面风、海表温度等参数, 结合模型算法, 实现山东半岛浒苔爆发的路径预测, 并发现这种浒苔暴发起源于江苏省海岸线。

(四) 岛礁遥感

1. 海岛礁遥感

根据岛礁四面临海的特征, 在应用遥感监测技术时, 可以在很大程度上借鉴海岸带遥感技术, 例如岛礁制图及岸线提取监测, 利用 InSAR 监测岛礁沉降变形 [21], 土地覆被或专题信息提取技术, 珊瑚礁的高精度分类, 以及珊瑚礁地貌制图及变化监测 [22]。

2. 岛礁证据遥感

岛礁涉及到领海主权问题, 经常在国家海洋主权之争中成为重要的焦点。现有仲裁机制多以第一个登陆并有效控制的国家作为岛礁主权认证原则, 而遥感数据的历史存档功能恰好迎合了这一需求。文献 [23] 系统总结了当前的相关案例, 对遥感证据的证明价值、提交方式、影响其证明分量的诸因素结合遥感技术及行业发展趋势展开分析。文献 [24] 以中国南沙岛礁为实例, 通过遥感影像和历史文献资料调查, 提出《联合国海洋公约》中的岛礁认定方法不严谨。

三、存在的问题

海岸带是一个海陆交界的强交互复杂区域, 遥

感可研究的内容非常丰富，以上只是代表性总结部分研究。总体而言，我国的海岸带遥感发展是比较全面先进的，能够有效支撑国家经济建设和海洋战略。但综合以上分析，发现主要存在以下几个突出问题。

（一）遥感数据自主性不强

在资源卫星、海洋卫星、气象卫星等一些卫星项目的成功实施下，尤其是“高分专项”项目，我国的卫星影像获取能力大幅提升。但由于用户使用惯性、数据共享宣传机制不完善等问题，多数研究人员在选择数据时仍惯性地使用国外的数据，例如以上综述介绍的覆盖、专题信息提取等研究大多是采用美国的 Landsat 系列卫星。在国内外局势不稳定的情况下，这种重度依赖国外遥感数据的习惯，尤其是面对海岸带这种变化频率高、人类活动密集的区域，极易受制于人，也不利于国内遥感卫星影像质量在使用中不断提升。

（二）遥感信息产品更新频率低

尽管遥感制图极大地提高了制图周期，但很多专题信息产品依然更新频率缓慢，例如全国范围的土地利用基本是五年一更新，这种频率对于活动剧烈、频繁的海岸带区域，是难以满足需求的。此外，在面临台风、风暴潮等海洋灾害时，很多应急数据多是灾前储备的基础数据，而实况信息仍主要依靠影像获取后的人工解译并逐级汇总实现，时效性很差。虽然研发了很多遥感信息自动提取算法，但大多是集中在小区域的特殊条件下，很难直接推广至大区域和复杂背景下。

（三）学科研究孤立发展，难以满足实际需求

海岸带是一个异常复杂的综合性系统，在实际管理中，遥感更多的是对该系统进行观测的一种技术，也有很大的局限性。例如，对近海环境有重要影响的海岸带陆域的土地利用场景划分，尽管高分遥感影像能够提供一个关键的本底影像信息，但仅据此进行场景解译，仍存在很多的困难，还需要提供额外的街区、兴趣点（POI）等非遥感数据加以辅助；对于海水养殖与浒苔爆发等事件关联的研究，不仅需要遥感专家提供养殖分布、水质状况等动态信息，还需要海洋水动力专家、海洋微生物专

家、海水养殖专家等提供的多领域知识，开展联合实验模拟，方能全面认知其耦合机理。

四、建议

针对以上问题，结合作者研究经验和当前相关领域的发展，提出以下建议。

（一）持续完善国产数据共享

在我国发射的一系列遥感卫星基础上，例如高分系列卫星、资源卫星、海洋卫星等，尤其是中国科学院 A 类战略先导的“地球大数据科学工程”，持续完善国产数据共享及宣传。这不仅需要国家层面的持续性财政和制度支持，还需要承担主体持续性投入技术改善、维护，更需要各终端用户的支持和使用，进而充分发挥数据的共享和协同使用，提高国产数据使用比例和效益，同时增强多元数据融合使用，以协同解决复杂海岸带生态系统问题。

（二）加强海岸带遥感算法研究，借助云平台和大数据系统，实现大区域性与局部高精度监测自动化与常态化

在云平台和大数据系统的基础上，加强海岸带目标的遥感信息自动提取及更新算法的研究和集成。不仅要注重从原始影像提取信息的算法，还要注重已有数据再利用的算法。例如，深度学习技术能够自动拟合中间特征和过程，非常有利于数据驱动规律发现，具有十分重要的借鉴意义。但也应注意这类机理不明算法在遇到问题时人工修改不便利性问题。建议将深度学习与常规方法结合，尽可能扬长避短 [25]。此外，注重算法库的积累构建。多年研究实践表明，尚未有一种算法能解决所有信息提取问题。因此，应厘清各种算法的优缺点以及适用条件和范围，以便数据获取后能够准确、及时调用，生成信息产品，进而实现大区域和局部高精度监测的自动化和常态化。

（三）凝练、支持重大科学问题，促进多学科交叉融合

遥感获取的数据具有综合性，在研究复杂海岸带时非常有优势，可以做到“一方实验，多方受益”。

虽然遥感也有自己的科学问题,但应用于海岸带时,更多的是作为一门技术,应当秉持陈述院士提出的“没有技术支撑的科学队伍是落后的;没有科学理论指导的技术是盲目的”理念,通过凝练、支持一批重大科学问题研究,例如海岸带演变机制、海洋灾害致灾机理、赤潮形成机理等,不仅可以汇聚各领域专家的理论知识,促进学科交叉,还能够使得遥感技术从中更好地找到自己的位置和努力发展的方向,进而为海岸带管理贡献更多的科技力量。

参考文献

- [1] 苏奋振. 海岸带遥感评估 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
Su F Z. Coastal remote sensing evaluation [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2015.
- [2] 陈军. 海岸带环境遥感原理与应用 [M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
Chen J. The principle and application of the coastal environmental remote sensing [M]. Beijing: China Ocean Press, 2013.
- [3] 李清泉, 卢艺, 胡水波, 等. 海岸带地理环境遥感监测综述 [J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1216–1229.
Li Q Q, Lu Y, Hu S B, et al. Review of remotely sensed geo-environmental monitoring of coastal zones [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 1216–1229.
- [4] Chen J, Ban Y F, Li S N. China: Open access to earth land-cover map [J]. Nature, 2014, 514(7523): 434.
- [5] 侯西勇, 邸向红, 侯婉. 中国海岸带土地利用遥感制图及精度评价 [J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(10): 1478–1488.
Hou X Y, Di X H, Hou W, et al. Accuracy evaluation of land use mapping using remote sensing techniques in coastal zone of China [J]. Journal of Geoinformation Science, 2018, 20(10): 1478–1488.
- [6] Wang Z H, Yang X M, Lu C, et al. A scale self-adapting segmentation approach and knowledge transfer for automatically updating land use/cover change databases using high spatial resolution images [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 69: 88–98.
- [7] Lu C, Yang X M, Wang Z H, et al. Using multi-level fusion of local features for land-use scene classification with high spatial resolution images in urban coastal zones [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 70: 1–12.
- [8] Hu L J, Li W Y, Xu B. Monitoring mangrove forest change in China from 1990 to 2015 using Landsat-derived spectral-temporal variability metrics [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 73: 88–98.
- [9] Wang T, Zhang H S, Lin H, et al. Textural-spectral feature-based species classification of mangroves in mai po nature reserve from worldview-3 imagery [J]. Remote Sensing, 2016, 8(1): 1–15.
- [10] Ren C Y, Wang Z M, Zhang Y Z, et al. Rapid expansion of coastal aquaculture ponds in China from Landsat observations during 1984–2016 [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 82: 1–12.
- [11] Ge Y, Chen Y H, Jia Y X, et al. Dynamic monitoring the infrastructure of major ports in Sri Lanka [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(7): 973–984.
- [12] Higgins S, Overeem I, Tanaka A, et al. Land subsidence at aquaculture facilities in the Yellow River delta, China [J]. Geophysical Research Letters, 2013, 40(15): 3898–3902.
- [13] 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, 35(6): 31–42.
Gao Y, Wang H, Su F Z, et al. Spatial and temporal of continental coastline of China in recent three decades [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(6): 31–42.
- [14] Liu M Y, Li H Y, Li L, et al. Monitoring the invasion of *Spartina alterniflora* using multi-source high-resolution imagery in the Zhangjiang Estuary, China [J]. Remote Sensing, 2017, 9(6): 1–18.
- [15] Liu M Y, Mao D H, Wang Z M, et al. Rapid invasion of *Spartina alterniflora* in the coastal zone of mainland China: New observations from Landsat OLI images [J]. Remote Sensing, 2018, 10(12): 1–19.
- [16] Cao X M, Gao Z Q. The responses of evapotranspiration due to changes of LUCC under seawater intrusion in a coastal region [J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 70(4): 1853–1862.
- [17] Wang M, Cui Q, Wang J, et al. Raft cultivation area extraction from high resolution remote sensing imagery by fusing multi-scale region-line primitive association features [J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2017, 123: 104–113.
- [18] Wang Z H, Yang X M, Liu Y M, et al. Extraction of coastal raft cultivation area with heterogeneous water background by thresholding object-based visually salient NDVI from high spatial resolution imagery [J]. Remote Sensing Letters, 2018, 9(9): 839–846.
- [19] 兰国新, 李颖, 陈澎. 溢油遥感监测时效性分析——以大连新港溢油为例 [J]. 海洋科学进展, 2012, 30(4): 556–566.
Lan G X, Li Y, Chen P. Time effectiveness analysis of remote sensing monitoring of oil spill emergencies: A case study of oil spill in the Dalian Xingang port [J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(4): 556–566.
- [20] Hu P, Liu Y H, Hou Y J, et al. An early forecasting method for the drift path of green tides: A case study in the Yellow Sea, China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 71: 121–131.
- [21] Lan H X, Zhao X X, Wu Y M, et al. Settlement and deformation characteristics of calcareous Island-reef [J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(10): 1–8.
- [22] 左秀玲, 苏奋振, 赵焕庭, 等. 南海珊瑚礁高分辨率遥感地貌分类体系研究 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(11): 1463–1472.
Zuo X L, Su F Z, Zhao H T, et al. Development of a geomorphic classification scheme for coral reefs in the South China Sea based on high resolution satellite images [J]. Progress in Geography, 2018, 37(11): 1463–1472.
- [23] 夏帆. 海洋争端案件中的遥感证据研究 [J]. 太平洋学报, 2017, 25(6): 55–64.
Xia F. Study on remote sensing evidence of maritime disputes [J]. Pacific Journal, 2017, 25(6): 55–64.
- [24] Jiang H P, Su F Z, Zhou C H, et al. The geographical characteristics of Nansha Islands in the South China Sea [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(7): 957–972.
- [25] Reichstein M, Camps-Valls G, Stevens B, et al. Deep learning and process understanding for data-driven earth system science [J]. Nature, 2019, 566(2): 195–204.