

◆海洋生态环境◆

我国围填海卫星遥感监测技术研究进展*

姜雯斐¹, 陈 烽¹, 张 莉¹, 王 宁², 谭 萌¹, 丁 一^{2**}

(1. 国家海洋局北海信息中心, 山东青岛 266061; 2. 国家海洋局北海预报中心, 山东青岛 266061)

摘要:围填海解决了沿海地区土地不足的问题, 刺激了当地经济的发展, 但过度的围填海活动造成了严重的生态环境问题。为有效管控围填海活动, 2018年7月25日国务院发布《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》。卫星遥感具有瞬时、广域的特点, 是围填海监测的主要手段。因此, 本文在查阅文献资料和调研的基础上, 综述我国围填海卫星遥感监测数据源、分类体系、监测技术, 梳理我国围填海监管现状和需求, 进而结合监管需求和卫星遥感监测现状, 提出现今围填海卫星遥感监测的不足并指出其发展方向, 拟为我国围填海监管业务工作的开展提供参考。

关键词:围填海 卫星遥感 动态监测 监管需求 发展重点

中图分类号: P714 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2021)01-0013-09

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20210429.004

0 引言

随着时代的发展, 为扩大社会生存和发展空间, 世界沿海地区普遍通过围填海来解决土地供需矛盾^[1-2]。在其经济高速发展的时期, 荷兰、韩国、新加坡和日本都曾进行过大规模的填海造地工程, 而后发现填海造地工程严重影响和破坏海洋生态, 不得不陆续放缓甚至放弃这项工程, 并开始斥巨资恢复近海生态环境^[3]。改革开放以来, 我国城市化、工业化水平迅速提高, 导致沿海地区的土地资源逐渐匮乏, 人地矛盾日益尖锐。为促进经济发展, 沿海各地掀起了围

填海的热潮, 而围填海活动的过度进行造成海洋生态系统失衡, 引发一系列环境灾害, 造成长期且难以估量的负面影响^[4]。针对这一现象, 2018年7月25日国务院发布《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》(国发〔2018〕24号)(以下简称24号文), 提出以“生态优先”及“绿色发展”为指导思想, 进一步加强滨海湿地保护, 严管围填海审批手续及严控围填海新增项目, 并提出利用卫星遥感技术进行围填海现状调查, 以加强围填海监管^[5]。

卫星遥感具有覆盖范围广、时效连续、运作高效等特点, 是我国围填海监测的主要手段。相关学者应

* 北海局海洋科技项目(2018B09)资助。

【作者简介】

姜雯斐(1987-), 女, 工程师, 主要从事北海区围填海卫星遥感监测研究。

【**通信作者】

丁 一(1979-), 男, 高级工程师, 主要从事海岸带和绿潮、海冰、溢油等海洋灾害卫星遥感监测研究, E-mail: 15092221639@163.com。

【引用本文】

姜雯斐, 陈烽, 张莉, 等. 我国围填海卫星遥感监测技术研究进展[J]. 广西科学院学报, 2021, 37(1): 13-21.

JIANG W F, CHEN F, ZHANG L, et al. Research Progress on Remote Sensing Monitoring Technology of Reclamation Satellite in China [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2021, 37(1): 13-21.

用 Landsat、SPOT、Quickbird、HJ-1 等国内外不同分辨率的卫星影像,采用人工目视解译法^[6]、面向对象分类法^[7]、水陆分离法^[8]等对我国围填海信息进行提取,研究获取我国不同区域围填海现状并分析围填海产生的原因,对围填海管理起到了积极的作用。为充分利用卫星遥感技术,提高海洋行政主管部门对围填海的监管效率,同时降低监管成本,实现“早发现”“早治理”的监管目标,本文在梳理现有围填海研究中所用卫星遥感数据源、围填海分类体系、卫星遥感监测方法的基础上,调研我国围填海卫星遥感业务监测的现状和不足,提出围填海卫星遥感监测技术的重点发展方向,拟为围填海卫星遥感业务监测提供参考。

1 卫星遥感监测影像

随着遥感技术多平台、全时段、全方位的发展,遥感卫星从低空间分辨率到高空间分辨率,从光学遥感到微波遥感,基本满足了围填海监管对影像空间和时

间的需求,是围填海监测主要数据源。国内外遥感卫星监测影像在我国围填海监视监测中发挥了重要作用,其中,国外卫星影像主要有 Landsat、SPOT、Quickbird、WorldView、ALOS、IRS-P5 等,国内自主研发的卫星影像主要有环境一号(HJ-1A/B)、资源一号(ZY-1)、资源三号(ZY-3)、高分一号(GF-1)、高分三号(GF-3)等。

美国的 Landsat 系列卫星自 1975 年至今已相继发射 8 颗,法国 SPOT 系列卫星自 1986 年至今已相继发射 7 颗。这两个系列的卫星因发射时间早、数据连续,在围填海监测中应用最为广泛,特别体现在长时间跨度的围填海卫星遥感监测研究中。我国的资源系列卫星(ZY)、环境系列卫星(HJ)、高分系列卫星(GF)分别于 1999 年、2008 年、2013 年发射,至今也积累了大量连续的卫星影像,在围填海卫星遥感监测研究中发挥着越来越重要的作用。上述各卫星的技术参数如表 1 所示。

表 1 卫星影像技术参数

Table 1 Technical parameters of satellite images

星源 Satellite source	传感器谱段 Sensor spectrum	空间分辨率 Spatial resolution (m)	幅宽 Swath (km)	相关文献 Related literatures
Landsat	多光谱 Multispectral	30	185	[6,9-30]
SPOT	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	2.5/10	60	[7,13,16,31-34]
Quickbird	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	0.6/2.4	16.5	[8,31,33]
WorldView	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	0.5/2	16.4	[31,33]
ALOS	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	2.5/10	70	[21]
IRS-P5	全色 Panchromatic	2.5	55	[31]
HJ-1A/B	多光谱 Multispectral	30	700	[8,13,35]
ZY-1	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	2.36/20	113	[28,31,33]
ZY-3	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	2.1/6	51	[16,31,33,36,37]
GF-1	全色/多光谱 Panchromatic/Multispectral	2/8	60	[9,32,37-39]
GF-3	合成孔径雷达 Synthetic aperture radar	1-500	10-650	[34]

2 卫星遥感分类体系

围填海卫星遥感分类体系作为研判标准,对遥感监测提取信息的准确性与其性质判断有着至关重要的作用。国家发布与围填海相关的分类体系主要是

《海域使用分类》(HY/T 123-2009)。《海域使用分类》包括海域使用类型体系与用海方式体系,其中海域使用类型体系是根据不同的海域使用方式和特点所形成的海域差异性进行划分的海域类别体系,用海方式体系是根据海域使用活动特征及对海域自然属

性的影响程度进行划分的海域使用方式体系^[40]。围填海在用海方式分类体系中分为填海造地与围海2个一级类,其中填海造地分为建设填海造地、农业填海造地、废弃物处置填海造地3个二级类,围海分为港池/蓄水、盐业、围海养殖3个二级类^[40]。该分类体系对围填海的分类较为笼统,且缺乏针对性,不能完全满足围填海卫星遥感监测的需求,因此学者们会参考现有的海域使用分类体系、研究区域围填海实际

表2 围填海卫星遥感分类体系——以现有分类体系为主要依据

Table 2 Satellite remote sensing classification system of sea reclamation—Based on existing classification system

参考依据 Reference	遥感影像 Remote sensing images	研究区域 Study area	围填海卫星遥感分类 Satellite remote sensing classification of sea reclamation	相关文献 Related literatures
《海域使用分类体系》中对填海造地、围海的定义,研究目的 Definition of reclamation in <i>Sea Area Use Classification System</i> , research objective	Landsat	全国沿海海域 National coastal areas	待利用水面、养殖池、港口、建设用地、农业用地和其他用地 The area to be used, aquaculture pond, port, construction land, agricultural land and other land	[6]
《海域使用分类体系》 <i>Sea Area Use Classification System</i>	无人机影像、GF-1 UAV image, GF-1	江苏省连云港市东西连岛周边海域 Sea area of Dongxilian Island, Lianyungang City, Jiangsu Province	围海:养殖池塘、盐田、已围待利用水面;填海:城镇建设填海、港口码头填海、其他 Sea enclosure includes aquaculture pond, salt land, enclosed area to be used Sea reclamation includes urban construction reclamation, port and wharf reclamation and other	[38]
《海域使用分类》、围填海信息监测的业务需求 <i>Sea Area Use Classification</i> , the demand of sea reclamation information monitoring	GF-1	厦门港湾海域 Sea area of Xiamen Harbour	填海造地、构筑物、漂浮物和围割海域 Reclamation land, structure, floating objects and enclosed sea area	[39]
《海域使用分类》、研究区域海域使用的实际情况 <i>Sea Area Use Classification</i> , the actual situation of sea area use in the study area	ZY-1、Quick-Bird、WorldView、SPOT、IRS-P5、ZY-3	唐山市海域 Sea area of Tangshan City	围垦养殖、填海造地、基础建设、道路建设、桥梁建设、水道建设、码头建设、盐场建设、储罐建设 Reclamation aquaculture, reclamation land, infrastructure construction, road construction, bridge construction, waterway construction, wharf construction, saltworks construction, tank construction	[31]
《海域使用分类》对围填海的定义 Definition of sea reclamation in <i>Sea Area Use Classification</i>	Landsat, GF-1	环渤海沿海区域 Coastal area around Bohai Rim	盐田、养殖池、建筑用地、农用地、待利用地 Salt land, aquaculture pond, construction land, agricultural land, land to be used	[9]
《海域使用分类》、海域使用管理和遥感监测的业务需求、遥感信息提取原理、现行海域使用动态监测系统中遥感资料的监测能力 <i>Sea Area Use Classification</i> , operational requirements of sea area use management and remote sensing monitoring, principle of remote sensing information extraction, monitoring capability of remote sensing data in sea area use dynamic monitoring system	-	全国沿海海域 National coastal areas	用海地物分类:人造陆地、构筑物、漂浮物、围割海域; 海域使用分类:渔业用海、工业用海、交通运输用海、旅游娱乐用海、造地工程用海、其他用海 Classification by sea terrain use includes reclaimed land, structure, floating objects, enclosed sea area; Classification by sea area use includes fishery sea, industrial sea, transportation sea, tourism and entertainment sea, land construction sea and other sea	[41]
《海域使用分类体系》《土地利用现状分类》、沿海地区土地利用类型、沿海海域使用用途、围填海监测图斑特点 <i>Sea Area Use Classification System</i> , <i>Current Land Use Classification System</i> , land use types in coastal areas, coastal sea area use, characteristics of reclamation monitoring patterns	QuickBird、WorldView、ZY-1、ZY-3、SPOT5	全国沿海海域 National coastal areas	农业用海围填海:渔业、耕地、园地、林地、草地、设施农用地; 建设用海围填海:工矿、交通运输、旅游娱乐、城建、其他建设; 在建围填海:填海、围海 Agricultural reclaimed land includes fisheries, arable land, orchard land, forest, grassland, agricultural facility land; Construction reclaimed land includes industry and mining, transportation, tourism and entertainment, urban construction, other construction; Reclamation under construction includes sea reclamation, sea enclosure	[33]

情况、研究目的、卫星影像识别能力等制定各自研究所需的围填海卫星遥感分类体系。

首先,《海域使用分类》、“908”专项的海域使用分类体系、围填海的定义与学者们对围填海的理解,是许多学者制定围填海卫星遥感分类体系的主要依据,此类围填海卫星遥感分类体系具有较为系统、科学的参考标准,通用性较高,适用于围填海演变的卫星遥感分析(表2)。

续表 2

Continued table 2

参考依据 Reference	遥感影像 Remote sensing images	研究区域 Study area	围填海卫星遥感分类 Satellite remote sensing classification of sea reclamation	相关文献 Related literatures
《海域使用分类体系》、海域使用类型、 主要用海单元 Sea Area Use Classification System, types of sea area use, the main of sea use units	Landsat	大连市海域 Sea area of Dalian City	其他工业用海、围海养殖用海、城镇建设填 海造地用海、旅游基础设施用海、港口用海、 电力工程用海、盐业用海、船舶工业用海 Sea use for other industrial, sea use for en- closure aquaculture, sea use for urban con- struction reclamation, sea use for tourism infrastructure, sea use for port, sea use for power engineering, sea use for salt industry, sea use for shipbuilding industry	[26]

其次,研究目的与研究区域围填海实际类型也是围填海卫星遥感分类体系制定的重要依据,此类分类体系更具有针对性,适用于研究目标或研究范围较为

具体的围填海卫星遥感分析,例如,围填海覆被特征、围填海存量资源、滨海湿地演变等研究(表3)。

表3 围填海卫星遥感分类体系——以研究区域实际情况为主要依据

Table 3 Satellite remote sensing classification system of sea reclamation—Based on the actual situation of the study area

参考依据 Reference	遥感影像 Remote sensing images	研究区域 Study area	围填海卫星遥感分类 Satellite remote sensing classification of sea reclamation	相关文献 Related literatures
研究区域海岸带地表覆被特征 Surface cover characteristics of coastal zone in the study area	Landsat	大连市沿海海域 The coastal sea area of Dalian City	林地、草地、湿地、耕地、人工表面、无植被 土地 Forest, grassland, wetlands, arable land, arti- ficial surface, unvegetated land	[10]
研究区域滨海湿地的现状、研究目的 Current situation of coastal wetlands in the study area, research objective	Landsat	长江三角洲区域 Yangtze River Delta region	城镇建设用海、工业用海、港口建设用海、旅 游用海和、旱田 Urban construction land, industrial land, port construction land, tourism land, dry farmland	[11]
研究区域海岸围填海存量资源的特点 Characteristics of coastal reclamation stock resources in the study area	GF-1、SPOT	营口市南部海域 South sea area of Yingkou City	围而未填区域、填而未建区域、低密度建设 区域、低效盐田、低效养殖池塘、低洼坑塘 Enclosure area without reclamation, recla- mation area without construction, low densi- ty construction area, low efficiency salt land, low efficiency aquaculture pond, low lying pond	[32]
研究区域填海造地和滨海湿地的变化 趋势 Trends of reclamation and coastal wet- lands in the study area	Landsat	长江口区域 Yangtze Estuary re- gion	森林、草地、湿地(人工湿地与自然湿地)、农 田、聚落地、其他土地 Forest, grassland, wetlands (natural wet- lands and man-made wetlands), farmland, settlement and other land	[12]
研究区域围填海实际情况、卫星影像的 识别能力 Actual situation of reclamation in the study area, recognition ability of satel- lite image	Landsat	金沙湾海域 Sea area of Jinsha Bay	围填海:养殖池塘、待利用水面; 填海:城镇建设用海、农业用海、港口码头用 海、其他 Sea enclosure include aquaculture pond, the area to be used; Sea reclamation include sea use for urban construction, sea use for agricultural, sea use of port and wharf and other	[15]
研究区域围填海利用类型 Reclamation land use types in the study area	Landsat	广东省海域 Sea area of Guangdong Province	养殖用海、盐业用海、港口用海、城镇建设用 海、未利用地 Sea use for aquaculture, sea use for salt in- dustry, sea use for port, sea use for urban construction, unused area	[27]
研究区域海域使用实际情况、卫星遥感 影像识别能力 Actual situation of sea area use in the study area, recognition ability of satel- lite remote sensing image	Landsat、ZY-1	广东省海域 Sea area of Guangdong Province	围海:养殖池塘、盐田、已围待利用水面; 填海:城镇建设填海、农业填海、港口码头填 海、其他 Sea enclosure include aquaculture pond, salt land, enclosed area to be used; Sea reclamation include urban construction reclamation, agricultural reclamation, port and wharf reclamation and other	[28]

再者,许多学者以围填海光谱、形状、空间关系特征及围填海在卫星影像上的识别能力为主要依据,制定围填海卫星遥感分类体系,该类分类体系准确性与实用性较高,更有利于围填海信息的提取(表4)。

表4 围填海卫星遥感分类体系——以卫星影像识别能力为主要依据

Table 4 Satellite remote sensing classification system of sea reclamation—Based on the recognizability of satellite images

参考依据 Reference	遥感影像 Remote sensing images	研究区域 Study area	围填海卫星遥感分类 Satellite remote sensing classification of sea reclamation	相关文献 Related literatures
围填海的光谱特征;研究区域实际情况 Spectral characteristics of reclamation, actual situation in the study area	Landsat、SPOT、HJ-1	锦州湾附近海域 Sea area of Jinzhou Bay	围海养殖用海、盐业用海、港口用海、城镇建设填海造地用海及、未利用 Sea use for enclosure aquaculture, sea use for salt industry, sea use for urban construction reclamation, unused area	[13]
研究区域光谱、形状、空间关系等特征;海域使用遥感动态监测的业务特点 Spectrum, shape, spatial relationship and other characteristics in the study area, characteristics of remote sensing dynamic monitoring for sea area use	SPOT	江苏省海域 Sea area of Jiangsu Province	水体、滩涂、植被、建设用地、未分类地 Water area, mudflat, vegetation, land use for construction, unclassified land	[7]
遥感解译自动分类的可行性;研究区域的实际情况;《海域使用分类体系》及《海籍调查规范》中对海域使用类型的定义 Feasibility of automatic classification in remote sensing interpretation, the actual situation in the study area, Sea Area Use Classification System and the definition of type of sea area use in Specifications for Sea Area Use Register Investigating	Landsat	锦州湾海域 Sea area of Jinzhou Bay	围海:盐业用海、养殖用海、围而未填区域;填海造地:建设填海造地、农业填海用地、填而未建区域;未利用地:未利用水域、滩涂 Sea enclosure include sea use for salt industry, sea use for aquaculture, enclosure area without reclamation; Sea reclamation include construction reclamation land, agricultural reclamation land, reclamation area without construction Unused area include unused sea, mudflat	[14]
TM卫星影像上的地物类型可分性;“908”专项的海域使用分类体系 Separability of surface features on TM satellite images, sea area use classification system in "908" research project	HJ-1	全国沿海海域 National coastal areas	港口建设用海、城镇建设用海、围垦用海、围海养殖、盐田用海、其他用海 Sea use for port construction, sea use for urban construction, sea use for reclamation, enclosure aquaculture, sea use for salt industry, sea use for others	[35]
地物间的光谱、纹理、空间属性特性 Spectral, texture and spatial properties of ground objects	Landsat	环渤海海域 Sea area of Bohai Rim	植被用地、自然海域、未利用地、养殖水域、盐田用地、建设用地 Land use for vegetation, natural sea area, unused area, aquaculture sea area, land use for salt land, land use for construction	[25]

3 卫星遥感监测方法

卫星遥感技术是利用人造地球卫星上的传感器,感知目标反射或自身辐射的电磁波、可见光、红外线,对目标进行探测和识别的技术。该技术已广泛应用于地球资源普查、土地利用规划、农作物估产、海洋监测等方面。围填海卫星遥感监测就是利用不同时相的卫星遥感图像和参考数据来提取海域使用动态变化,进而对围填海信息进行定量分析。常用的方法可分为人工目视解译和自动检测两类。

人工目视解译流程如下:(1)收集研究区域监测时段内的卫星遥感影像数据;(2)对影像数据进行融合、辐射校正、几何校正、拼接裁切、色彩增强等预处理;(3)通过人工目视解译的方式对遥感影像数据进行叠加分析,发现海域使用动态变化,进而识别围填海信息。人工目视解译的方法广泛应用于全国海区、

省、市、河口等区域的围填海监测以及影响分析研究中。例如,高志强等^[6]、Meng等^[16]利用Landsat、SPOT、ZY-2、ZY-3等卫星影像,采用人工目视解译方法提取全国的围填海信息,并分析围填海的主要驱动因素。Ma等^[17]利用Landsat卫星数据,通过人工目视解译方法,提取沿海鸟类迁徙栖息所经的9省和2市的湿地及围填海信息,指出过半的鸟类自然栖息地遭到围填,影响鸟类的正常栖息繁衍。Ding等^[18]利用49幅Landsat卫星影像,采用人工目视解译的方法,提取并分析渤海1985-2015年7个时期填海造地的时空变化。马学奎等^[11]、刘康等^[19]利用中等分辨率的天宫二号宽波段成像仪数据与Landsat遥感影像数据,采用人工目视解译对辽宁省部分沿海县市的围填海信息进行提取,分析围填海变化及湿地与围填海的转移关系。徐进勇等^[35]根据围填海类型在HJ-1CCD影像上的分布特征,建立了相应的解译标

志,并采用人工目视解译对2000-2012年河北省曹妃甸新区和滦河口的围填海进行信息提取。刘晓颖等^[29]利用Landsat卫星遥感影像,采用人工目视解译的方法,提取并分析近20年渤海湾围填海空间利用变化。张俊丽等^[30]利用Landsat卫星遥感影像,通过人工目视解译的方法,对锦州湾附近海域的海岸线进行提取,并分析锦州湾围填海海岸线的演变过程。Chen等^[12]和Xie等^[20]利用Landsat卫星遥感影像,分别以长江三角洲和黄河三角洲为研究对象,采用人工目视解译的方法,提取并分析围填海信息。

人工目视解译提取围填海信息的方法精度高,但同时存在工作量大、耗时长等问题,因此许多学者通过开展自动检测,对围填海图斑进行自动提取,以弥补人工目视解译的不足。自动检测常用方法可归结为水体分离法、面向对象分类方法、边缘检测法等。

水体分离法主要思路是提取多期卫星影像中的水体,通过对比发现水体变为陆地的区域,即为围填海区域,主要方法有水体指数法、特征波段水体提取法、数据挖掘法等。例如,温礼等^[8]及阮波等^[27]利用归一化差异水体指数(NDWI)、李志刚等^[21]利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI),分别对天津滨海新区、广东省和锦州湾的围填海信息进行提取,证明水体指数法在围填海监测中的有效性。宋红等^[22]选用Landsat绿光波段作为特征波段,对其进行二值化处理,使其清晰地区分陆地和海洋,并将获得的二值图进行彩色合成以揭示深圳湾填海造地的总体进程。朱丽丽等^[23]以Landsat TM遥感影像为数据源,从数据挖掘的视角,研究围填海的智能检测方法,利用光谱值、数学统计分析量及纹理特征来进行海陆分离,通过特征选择法精确挖掘结果,并利用关联规则算法,挖掘围填海区域的检测规则,并应用该规则对待检测影像进行检测,从而提取整个渤海区域的围填海变化情况。水陆分离法的优点是简单易行、效率高,可快速定位水域变为陆地的区域,从而有效地监测围填海信息。但需要注意的是,利用该方法提取的围填海类型仅限于水体变为陆地,并不适合所有的围填海情形,例如裸露滩涂、长有植被的湿地被开发利用的情况,则无法使用水体指数法进行有效监测。

面向对象信息提取方法的思路是利用影像的光谱、纹理等特征对遥感影像进行分割,获取同质影像对象,然后结合上述特征和空间关系特征,进一步利用分类技术对同质影像对象进行分类,获取多时相全

要素分类图,应用多时相分类结果开展变化检测,进而筛选出围填海信息。研究人员利用高分辨率卫星影像,采用面向对象方法对重点区域的围填海工程、围海养殖、湿地变化、围填海存量资源等内容进行研究。例如,Wu等^[24]和温馨燃等^[25]基于多时相Landsat卫星影像,采用面向对象分类法分别对上海浦东新区湿地动态和环渤海地区的围填海进行监测,并分析演化特征。鞠明明等^[7]针对江苏省围填海用海工程的实际情况,应用SPOT-5卫星影像,设计面向对象自动提取的技术流程,通过图像分割、特征提取、面向对象分类及分类后变化检测,获取海域使用动态变化,实现对围填海用海工程的遥感监测。索安宁等^[32]以营口市南部海岸为例,利用GF-1和SPOT-5卫星遥感影像,建立了面向对象的围填海存量资源遥感影像分类提取的方法与技术流程,构建了围填海存量资源指数及计算方法,用以分析研究区域围填海存量资源现状特征与形成机制。孙裕钰等^[36]、梁婷婷^[37]和吴军超等^[39],利用GF-1和ZY-3卫星遥感影像,采用面向对象分类法,分别提取了江苏省盐城市大丰区、长兴岛附近海域、厦门港湾地区的围填海信息。上述研究不仅应用了影像自身的纹理、光谱信息,同时应用了斑块的几何特征和斑块之间的空间关系特征,从而获得高精度的围填海信息,可以作为业务监测工作中重点考虑的信息提取方法。但是该方法步骤相对繁琐、计算量较大,目前多用于局部区域研究,是否适合开展全国范围的围填海信息提取还有待进一步验证。

边缘检测法主要依据影像边缘处灰度梯度的不连续性进行边界检测。学者往往利用边缘检测算子、主动轮廓模型法、水平集方法等对多年的卫星影像进行边缘提取,进而获取围填海信息。例如,杜家伟等^[26]利用OpenCV平台进行编程,实现Canny边缘检测算子,从而对大连地区的海岸线及围填海信息进行提取。范剑超等^[34]依据围填海类型在SAR遥感影像和可见光影像上的可分性,建立了围填海遥感分类系统及相应的围填海类型解译标志,采用水平集方法有效地获取了大连金州湾机场的围填海变化信息。边缘检测方法是通过在末期影像上检测出新边缘来监测围填海工程,具有自动快速的优点,但是边缘检测法不能有效检测出在原围海工程的基础上开展填海工程的情况。

4 我国围填海监管业务化卫星遥感监测现状及存在的问题

4.1 围填海监管现状

24号文发布之后,国家加大了围填海监管力度,通过卫星遥感监测与现场踏勘相结合的形式对近岸海域开展全国范围的遥感监测,其频次为每月2次,且采用多源、高分辨率遥感影像以确保覆盖范围与影像精度能够满足监测需求,主要包括GF-1、GF-2、GF-6、ZY-3等卫星遥感影像。在完成波段融合、镶嵌拼接等影像处理后,遥感监测人员通过人工目视解译的方式进行围填海变化图斑的筛查、研判、提取,并对围填海变化图斑进行现场踏勘或无人机核查,从而实现海域动态的实时监测及围填海活动的严格管控。

相较于仅依靠现场踏勘方式开展的围填海监管,遥感监测与现场结合的监管方式有更大的优势。首先利用遥感监测提取围填海变化图斑,然后现场踏勘确认所提取的围填海区域,这样可以简化围填海监管工作,节约人力物力,提高监管效率。通过严格监管,全国违法填海行为得到有效遏制:24号文印发前,2018年1-7月,全国确认的违法填海面积总计187.48 hm²;而2018年7月25日24号文印发后至2019年7月,全国确认的违法填海面积仅约3.1 hm²[42]。由此可见,卫星遥感监测结合现场踏勘的监管方式,达到“早发现”“早治理”的效果,有效地保护了海洋生态环境。

4.2 围填海监管遥感业务监测存在的问题

基于我国围填海卫星遥感发展现状和围填海监管现状,我国围填海卫星遥感监测在卫星影像、分类体系、监测技术3个方面存在以下问题。

(1)围填海卫星遥感影像存在的问题。我国自主研发的高分辨率遥感卫星发展迅速,提高了围填海监测的覆盖能力和监管效率。但光学卫星易受天气影响,云、雾会遮挡或模糊目标区域,且在有冰、雪等覆盖物的情况下,围填海边界的识别会受到影响,围填海信息提取的难度增加,从而影响海域动态变化的准确判断。

(2)围填海卫星遥感监测分类体系存在的问题。在前述围填海卫星遥感监测研究中,大部分卫星遥感分类体系是参考原国家海洋局发布的海域使用分类标准,结合所用卫星影像以及当地的围填海特点进行制定,多样的卫星遥感分类体系仅针对学者们各自的研究领域,分类体系差异较大,不能进行全国范围的

对比和综合分析,满足不了新形势下全国范围的围填海监管需求。

(3)围填海卫星遥感监测技术存在的问题。围填海监管遥感监测工作采用人工目视解译的方式,每月开展2次全国范围的围填海监测,确保了围填海监管的全面性、时效性,但大大增加了遥感监测的工作量,需投入较大大力。另外,人工目视解译难免发生围填海变化信息提取遗漏的问题,以及由于潮位、水位、养殖池干涸等原因造成的遥感误判问题[43]。因此,完全依靠人工目视解译进行围填海信息提取将制约着围填海监管水平。

5 展望

本文从卫星遥感监测影像、卫星遥感监测分类体系、卫星遥感监测方法3个方面,阐述了卫星遥感监测在海域动态监测中的研究进展,并进一步梳理我国现阶段围填海卫星遥感业务监测监管的需求,认为今后的研究应从以下3个方面入手:

第一,提高多元化遥感影像的应用。为提高卫星遥感监测围填海的能力,建议加大国产GF-3卫星影像的研究应用,弥补因为天气原因导致光学影像不能有效监测的问题。另外,鉴于无人机技术响应快、机动灵活、成本低、风险小、分辨率高的特点,其在海洋、电力、测绘、救灾和军事等方面均得到广泛应用[44],并有效应用到围填海现场踏勘和疑点疑区核查工作中,弥补了卫星影像在空间和时间上的不足,建议利用无人机的三维成像能力对围填海的围填量进行深入评估,进一步深化围填海监管的技术保障。

第二,建立全国范围的卫星遥感围填海监测分类体系。目前国家已经建立起较为完善的围填海监管体系,所用卫星数据也基本稳定,因此有必要根据卫星遥感影像的技术特点和围填海监管的需求与评估要求,借鉴海域使用分类体系和学者们研究的遥感分类体系,制定系统、完善、统一的围填海遥感分类体系和遥感影像解译标志,利于国家围填海管理中的监测结果汇总和评估。

第三,发展自动、高效、准确的围填海提取技术。在监测频率半月一次、围填海面积小和事件少的新情形下,发展围填海卫星影像自动识别方法来解放人力、提高效率,就显得非常重要。因此,可评估现有卫星遥感围填海监测技术方法的适用性,进而筛选出高辨识、高效率、高精度的技术方法,并将其应用到业务监测监管中。

参考文献

- [1] 王厚军,丁宁,赵建华,等.围填海项目海域使用动态监视监测内容及方法研究[J].海洋开发与管理,2015,32(12):7-10.
- [2] 朱高儒,许学工.关于有序填海的思路与方法[J].生态环境学报,2011,20(12):1974-1980.
- [3] 姜雅.“海上机场”值不值得造——填海造地国际经验与教训[J].资源导刊,2014(11):50-51.
- [4] 侯西勇,张华,李东,等.渤海围填海发展趋势、环境与生态影响及政策建议[J].生态学报,2018,38(9):3311-3319.
- [5] 中华人民共和国国务院.关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知(国发〔2018〕24号)[EB/OL].(2018-07-25).http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/25/content_5309058.htm.
- [6] 高志强,刘向阳,宁吉才,等.基于遥感的近30 a中国海岸线和围填海面积变化及成因分析[J].农业工程学报,2014,30(12):140-147.
- [7] 鞠明明,汪闽,张东,等.基于面向对象图像分析技术的围填海用海工程遥感监测[J].海洋通报,2013,32(6):678-684.
- [8] 温礼,吴海平,姜方方,等.高分遥感影像的围填海变化图斑自动提取方法[J].测绘科学,2015,40(6):42-45,76.
- [9] 魏帆,韩广轩,韩美,等.1980~2017年环渤海海岸线和围填海时空演变及其影响机制[J].地理科学,2019,39(6):997-1007.
- [10] 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.
- [11] 马学焱,杜嘉,梁雨华,等.20世纪60年代以来6个时期长江三角洲滨海湿地变化及其驱动因素研究[J].湿地科学,2018,16(3):303-312.
- [12] CHEN L,REN C Y,ZHANG B,et al. Spatiotemporal dynamics of coastal wetlands and reclamation in the yangtze estuary during past 50 years (1960s - 2015) [J]. Chinese Geographical Science, 2018, 28(3): 386-399.
- [13] 柯丽娜,曹君,武红庆,等.基于多源遥感影像的锦州湾附近海域围填海动态演变分析[J].资源科学,2018,40(8):1645-1657.
- [14] 孙书翰.基于决策树方法的锦州湾围填海信息提取[D].大连:辽宁师范大学,2018.
- [15] 刘荣杰,张杰,马毅.三沙湾30余年来围填海遥感监测与分析[J].海洋开发与管理,2014,31(9):17-21.
- [16] MENG W Q,HU B B,HE M X,et al. Temporal-spatial variations and driving factors analysis of coastal reclamation in China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2017, 191: 39-49.
- [17] MA T T,LI X W,BAI J H,et al. Habitat modification in relation to coastal reclamation and its impacts on waterbirds along China's coast [J]. Global Ecology and Conservation, 2019, 17: e00585. DOI: 10. 1016/j. gecco. 2019. e00585.
- [18] DING X S,SHAN X J,CHEN Y L,et al. Dynamics of shoreline and land reclamation from 1985 to 2015 in the Bohai Sea, China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(12): 2031-2046.
- [19] 刘康,覃帮勇,牟伶俐,等.基于多时相遥感影像的围填海动态监测与变化分析——以辽宁省部分沿海县市为例[J].海洋环境科学,2017,36(6):911-917.
- [20] XIE C J,CUI B S,XIE T,et al. Reclamation shifts the evolutionary paradigms of tidal channel networks in the Yellow River Delta, China [J]. Science of The Total Environment, 2020, 742: 140585. DOI: 10. 1016/J. SCITOTENV. 2020. 140585.
- [21] 李志刚,李小玉,高宾,等.基于遥感分析的锦州湾海域填海造地变化[J].应用生态学报,2011,22(4):943-949.
- [22] 宋红,陈晓玲.基于遥感影像的深圳湾填海造地的初步研究[J].湖北大学学报:自然科学版,2004,26(3):259-263.
- [23] 朱丽丽,邵峰晶,王常颖,等.基于数据挖掘的遥感影像围填海智能检测方法研究[J].青岛大学学报:自然科学版,2012,25(2):53-57,66.
- [24] WU W T,YANG Z Q,TIAN B,et al. Impacts of coastal reclamation on wetlands: Loss, resilience, and sustainable management [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, 210: 153-161.
- [25] 温馨燃,王建国,王雨婷,等.1985-2017年环渤海地区围填海演化及驱动力分析[J].水土保持通报,2020,40(2):85-91,99.
- [26] 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.
- [27] 阮波,曾丽红,仇月萍.广东省2006-2015年围填海演变分析[J].海洋开发与管理,2020,37(9):9-12.
- [28] 李晓敏,张杰,马毅,等.广东省围填海遥感调查与分析[C]//全国海岸带和海涂开发与管理学术研讨会.全国海岸带和海涂开发与管理学术研讨会论文集.青岛:[s. n.],2010.
- [29] 刘晓颖,倪衡.基于RS的近20年渤海湾沿岸围填海空间利用变化分析[J].知识经济,2015(13):10-11.
- [30] 张俊丽,赵云,柯丽娜.基于锦州湾围填海的海岸线演变分析[J].海洋开发与管理,2016,33(10):89-91.
- [31] 王立贵,贾旭飞,张冉,等.唐山海域动态变化遥感业务化监测及模式研究[J].海洋学研究,2015,33(3):26-33.
- [32] 索安宁,王鹏,袁道伟,等.基于高空间分辨率卫星遥感影像的围填海存量资源监测与评估研究——以营口市南部海岸为例[J].海洋学报,2016,38(9):54-63.
- [33] 温礼,吴海平,姜方方,等.基于高分辨率遥感影像的围填海图斑遥感监测分类体系和解译标志的建立[J].国土资源遥感,2016,28(1):172-177.
- [34] 范剑超,姜大伟,赵建华,等.GF-3号SAR卫星遥感围填海监测方法研究——以大连金州湾为例[J].海洋科

- 学, 2017, 41(12): 60-65.
- [35] 徐进勇, 张增祥, 赵晓丽, 等. 围填海遥感监测方法研究[J]. 测绘通报, 2014(5): 60-62, 75
- [36] 孙裕钰, 应警亮, 王梅, 等. 面向对象的围海养殖用海信息分类提取与动态监测研究[J]. 海洋信息, 2016(2): 6-11.
- [37] 梁婷婷. 基于高分辨遥感影像的围填海演变分析——以长兴岛附近海域为例[J]. 国土与自然资源研究, 2020(4): 52-53.
- [38] 赵新生, 张彦彦, 许海蓬, 等. 基于机载与高分遥感数据的连云港市东西连岛周边围填海分析[J]. 海洋科学, 2015, 39(2): 98-103.
- [39] 吴军超, 李利伟, 胡圣武. 基于多分类器集成的 GF-1 影像围填海地物识别[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 143-148.
- [40] 国家海洋局. 海域使用分类: HY/T 123 - 2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [41] 刘百桥, 赵建华. 海域使用遥感分类体系设计研究[J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(6): 20-24.
- [42] 熊平平. 国家海洋局局长王宏: 上半年未出现大规模违法填海 [EB/OL]. (2019-08-01). <http://m.caijing.com.cn/article/168982?target=blank>.
- [43] 高宁, 杜新远, 许鹏, 等. 围填海疑点疑区监测技术方法[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(2): 14-16.
- [44] 刘鲁燕, 栾奎峰, 刘志国, 等. 无人机技术在围填海项目监视监测中的应用[C]//海洋开发与管理第二届学术会议. 海洋开发与管理第二届学术会议论文集. 北京: 海洋出版社, 2018: 114-118.

Research Progress on Remote Sensing Monitoring Technology of Reclamation Satellite in China

JIANG Wenfei¹, CHEN Feng¹, ZHANG Li¹, WANG Ning², TAN Meng¹, DING Yi²

(1. North China Sea Data & Information Service of State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China; 2. North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China)

Abstract: Reclamation has solved the problem of insufficient land in coastal areas and stimulated the development of local economy, but excessive reclamation activities have caused serious ecological and environmental problems. In order to effectively curb reclamation activities, the State Council issued the Notice on Strengthening the Strict Control of Coastal Wetland Protection and Reclamation on 25 July 2018. Satellite remote sensing has the characteristics of instantaneous and wide range, which is the main means of reclamation monitoring. Therefore, on the basis of literature review and investigation, this paper summarizes the data sources, classification system and monitoring technology of satellite remote sensing monitoring of reclamation in China, and sorts out the current situation and requirements of supervision of reclamation. Combined with the regulatory requirements and the status of satellite remote sensing monitoring, the shortcomings of satellite remote sensing monitoring of current reclamation are put forward and the development direction is pointed out. It is intended to provide reference for the development of reclamation supervision in China.

Key words: sea reclamation, satellite remote sensing, dynamic monitoring, demand of supervision and management, development focuses

责任编辑: 米慧芝