

DOI: 10.5846/stxb201501200168

吴文挺, 田波, 周云轩, 舒敏彦, 戚纤云, 胥为. 中国海岸带围垦遥感分析. 生态学报, 2016, 36(16): - .

Wu W T, Tian B, Zhou Y X, Shu M Y, Qi X Y, Xu W. The trends of coastal reclamation in China in the past three decades. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): - .

中国海岸带围垦遥感分析

吴文挺, 田波*, 周云轩, 舒敏彦, 戚纤云, 胥为

华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062

摘要: 海岸带围垦是沿海区域缓解人口增长与城镇扩张所带来土地压力的重要途径和方式。建国以来, 中国大陆沿海围垦大量滨海湿地以满足社会经济发展所导致的土地需求, 对滨海湿地的资源、生态和环境造成影响和胁迫。为掌握自改革开放以来中国大陆沿海地区的围填海状况, 以 5 年为间隔, 选取 1985—2010 年间 Landsat 系列卫星影像数据, 基于遥感与 GIS 技术, 解译 6 个年份的围垦岸线, 计算分析围垦面积, 研究并提出围垦强度系数。结果表明, 1985—2010 年, 中国大陆沿海共围垦土地 755183 ha, 年均围垦 30207 ha, 围垦强度达到 $1.7 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$, 围垦总量趋势表现先减少后增加。环渤海经济圈与长三角经济圈围垦强度最大, 其围垦总量占到全国总体的 85.7%。围垦的时空分布及其利用形式受沿海区域自然地理条件和地区经济发展水平的制约和影响。

关键词: 海岸带围垦; 遥感; 地理信息系统; 滨海湿地; 海岸带管理

The trends of coastal reclamation in China in the past three decades

WU Wenting, TIAN Bo*, ZHOU Yunxuan, SHU Minyan, QI Xianyun, XU Wei

State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Coastal reclamation plays an important role in the mitigation of land-use pressure in the coastal zone brought by population growth and urbanization. Mainland China has been experiencing a massive transfer of tidal flats into land to satisfy the land-use needs of the developing society, which has caused significant changes to the coastal environment since the founding of the People's Republic of China. Heavy construction, such as coastal reclamation, has always been considered in the Five-Year Plan, which is an essential part of China's planned economy. Hence, Landsat series imagery was adopted to evaluate the temporal and spatial distributions of China's coastal reclamation from 1985 to 2010. During this period, 755,183 ha of coastal wetland was reclaimed for different uses, at an annual rate of 30,207 ha and the intensity of coastal reclamation of $1.7 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$. A majority of reclamation, accounting for 85.7% of total reclamation area in China's coastal zone, was concentrated in the Bohai Bay Economic Circle and Yangtze River Delta Economic Circle. Additionally, the intensity of coastal reclamation decreased initially, and then increased from 1985 to 2010. To understand the primary factor that has the greatest impact on China's coastal reclamation, the coastal zone was divided into four sections by geographic and economic conditions in the coastal zone, including Bohai Bay Economic circle, Yangtze River Delta Economic Circle, Pearl River Delta Economic circle, and other coastal zones. The analysis of combined physical geographical and economic pattern of China's coastal zone showed that: (1) Physical geographical conditions affect the spatial distribution and intensity of reclamation. Natural shorelines in China are separated into two sections by the Hangzhou Bay in the Zhejiang Province. Because of the low cost of reclamation of mud flats, intensive reclamation was concentrated in the northern section of the shoreline in China to satisfy the needs of agriculture and aquaculture, the both having low repay.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41371112); 上海市科委项目(13231203502)

收稿日期: 2015-01-20; **修订日期:** 2015-05-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: btian@sklec.ecnu.edu.cn

Much higher percentage of coastal reclamation in the southern section of China's shoreline was for industry and construction of ports because of the widely distributed sandy shorelines that impose high cost of reclamation. (2) Social economic status greatly affects the temporal distribution and use pattern of reclamation. China's coastal zone experienced three stages of land reclamation from 1985 to 2010, including the coastal aqua-cultural reclamation in the 1980s, a hibernated period in coastal reclamation in the 1990s, and urbanized coastal reclamation after 2000, all of which were affected by the social and economic needs at the time. Especially, social and economic status during the second and third stage in reclamation had great impact on the onset of the third period. Cities such as Shanghai that have faster economic growth rate and higher urbanization rate entered the third period earlier and vice versa. Furthermore, considering the complexity of China's coastal zone, future research will address the change in land-use and land-cover in coastal zone in order to assist in coastal decision-making and management.

Key Words: coastal reclamation; remote sensing; geographical information system; coastal wetlands; coastal management

通过围垦来增加海岸带地区的陆域土地面积,缓解日益增长的人口与城市扩张所带来的土地压力问题,已经成为海岸带地区普遍采用的手段和方法。在过去的数百年里,绝大多数沿海发达国家如日本^[1]、荷兰^[2]、美国^[3]通过围垦获得大量土地,用于满足人口居住、工业生产、农业种植、水产养殖及娱乐休闲等众多方面需求。目前,大规模围填海活动在欧美发达国家地区已基本停止^[4],但是在一些发展中国家,如中国^[5]、印度尼西亚^[6]、墨西哥^[7],仍然进行着高强度的围填海活动,以应对社会经济发展过程中所面对的土地需求压力。虽然围填海能够在一定程度上快速、有效地缓解区域发展过程中所导致的土地需求问题,但同时也影响和破坏滨海湿地特别是沿海潮间带盐水沼泽和红树林原有的生态功能,导致滨海湿地保滩护岸、防灾减灾、污染净化、生物多样性和生境栖息地维护及湿地产品供给等功能部分削弱和丧失^[8],引发众多资源、生态和环境问题^[9]。

中国沿海地区,以 13% 的国土面积,承载超过 40% 的全国人口,产生 60% 左右的国内生产总值^[10],是人类开发活动最为剧烈的区域,区域内资源 and 环境承载压力巨大。中国沿海围垦活动最早始于汉代,到唐宋时期,围垦规模不断扩大。新中国成立以来,随着经济发展,围垦活动持续不断进行。建国初期到 19 世纪 80 年代,中国沿海地区围垦多用于盐田、农业以及水产养殖^[11]。改革开放至今,围垦主要用来满足经济飞速增长、人口持续增加、城市快速扩张所导致的巨大土地资源需求。已有研究表明,1978—2008 年间,中国大陆因围垦共减少滨海湿地 521500 ha^[12],滨海湿地资源和生态系统已面临极大威胁^[13]。针对海岸带地区围填海活动,国内已有学者采用遥感技术,开展了滨海湿地在围垦活动下的历史动态变化研究^[5,14-15]。高义等^[16]采用 Landsat 影像数据,解译了以 10 年为间隔的中国大陆岸线利用类型,并利用数字海岸线分析系统(Digital Shorelines Analysis System, DSAS)分析岸线动态变化状况。高志强等^[17]通过 Landsat 影像,解译中国 10 年为间隔的中国海岸带各省份围垦状况,研究其变化状况和驱动因素。

海岸带围垦活动受经济发展和城镇化扩展驱动,特别是 2000 年来,中国沿海区域经济飞速发展,围填海面积总量和强度不断加大。由于区域经济发展与自然环境差异,加之国民经济和社会发展规划实施期的影响,海岸带不同区域在不同时期的围填海活动表现不同的状态和趋势。为分析中国海岸带地区不同区域的围垦历史动态变化情况,本研究以沿海地级市为研究单元,选用 1985—2010 年,涵盖 5 个国民经济和社会发展规划阶段,共 6 个时相的 Landsat 系列卫星历史存档影像。通过遥感影像图像处理、围垦岸线解译、GIS 空间分析,得到中国大陆海岸带近 30 年来围垦活动时空变化及其发展过程(不包括小型海岛岸线围垦和港澳台区域),为科学合理利用海岸带湿地资源,有效进行我国滨海湿地生态系统保护,促进我国沿海经济社会可持续健康发展提供基础数据和决策依据。

1 数据与方法

1.1 遥感数据获取及处理

本项研究采用美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)(<http://glovis.usgs.gov/>)提供的美国陆地资源卫星 Landsat 历史存档影像,以 5 年为间隔,选取 1985—2010 年间 6 个时相,216 景数据质量较好、云覆盖较少的遥感影像。数据覆盖中国大陆海岸带地区,但不包括南海区域。遥感数据选取基本控制在 1985、1990、1995、2000、2005、2010 年份内,所有数据依据基础地理信息标准数据(GB/T 21139)处理,采用西安 80 坐标系,根据地形图和海图,利用 ERDAS IMAGE 软件,对 2000 年 Landsat 遥感影像数据进行辐射校正和几何校正。以 2000 年校正影像图像为基准,对其它 5 个时期影像采用图像对图像方法配准,所有影像数据几何校正误差不超过 0.5 个像元。校正后的影像利用 ERDAS IMAGE 软件 ATCOR 模块进行大气校正,以确保多时相遥感影像的数据处理和显示质量。

1.2 围垦岸线提取与分析

我国海岸带区域岸线种类复杂多样,主要有基岩岸线、沙砾质岸线、粉砂淤泥质岸线、生物岸线和人工岸线。其中自然海岸线为多年平均大潮高潮位时海陆分界点痕迹线所在分界线,人工岸线主要是永久性构筑物组成的岸线,包括防潮堤、防波堤、护坡、挡浪墙、码头、防潮闸(坝)以及道路等挡水(潮)构筑物。海岸带地区自然岸线受到潮汐影响,水位变化明显,不同区域由于地貌与构造差异,自然岸线位置不一^[18]。通过给不同类型自然海岸线制定遥感识别提取规则,确保多个时期提取围垦线的可比性^[16]。围填海活动主要造成人工岸线发生变化,由于人工岸线不受潮水水位影响并呈现规则线性特征,易于遥感判读识别提取。对于岸线遥感提取,主要依据分类规范,利用 ArcGIS 软件,将 TM、ETM+卫星影像以 5、4、3 波段彩色组合,MSS 影像以 4、3、2 波段假彩色组合,在 1:50000 的比例尺下,目视解译并数字化岸线,对转折或弯曲岸段加密采点,保证提取岸线的形状和精度。先判读识别提取 2000 年海岸线。以 2000 年识别海岸线为基准,逐步提取其他 5 个时期围垦线,保证数据的准确性和可比性。经与地形图、海图和实测 GPS 点检验,6 个年份的岸线遥感解译总体空间位置精度均在 30 米内。为分析海岸带地区各区域不同时期的围垦程度,研究制定围垦强度系数(Coastal Reclamation Index, CRI),反映某一时期内沿海每公里岸线年均围垦的面积。其计算公式如下所示:

$$CRI = \frac{s_{t-t_0}}{(t - t_0) \times \frac{(l_t + l_{t_0})}{2}}$$

式中,CRI 为围垦强度系数, s_{t-t_0} 为两个年度间的围垦面积, t 目标年份, t_0 起始年份, l_t 为目标年份岸线长度, l_{t_0} 始年份岸线长度。

2 岸线变化与围垦状况

2.1 围垦分布及特征分析

1985—2010 年,5 个“五年计划”期间,中国大陆围垦滨海湿地 755183 ha,平均每年围垦 30207 ha,岸线围垦强度为 1.7 ha a⁻¹ km⁻¹。1985—2010 年间,全国围垦总量表现先减少,后增加,各个五年计划时期内分别围垦土地 122672 ha、95827 ha、124769 ha、145493 ha 和 266422 ha。相较于世界上已经完成城市化进程的发达国家,我国的围垦强度较大,是围垦大国^[9]。各省份由于经济发展与地理条件,围垦面积总量差异巨大,其中快速发展的辽宁、山东、江苏及浙江在 1985—2010 年总围垦滨海湿地面积均超过 100000 ha,而围垦总量最小的海南,仅为 2071 ha(表 1)。

在围垦的空间分布上,呈现“北强南弱”的态势(图 1),围垦活动集中在辽宁中部、河北、天津、山东北部、江苏、上海以及浙江北部的淤泥质海岸,如苏北沿海、渤海湾等及大河河口处如长江口、黄河口处,围垦强度大于 5 haa⁻¹km⁻¹。辽宁、山东大部分地区以及杭州湾以南所有区域,围垦强度均小于 2 ha a⁻¹ km⁻¹。

表 1 沿海省份围垦状况
Table 1 Area of coastal reclamation in coastal provinces

地区 Regions	围垦面积 Area of reclamation/ha						年均围垦 Average area of reclamation
	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010	1985—2010	
辽宁	20369	17246	6236	19214	46448	109513	4380
河北	22788	4947	3663	3394	39727	74519	2981
天津	2932	725	978	6415	20752	31802	1272
山东	28572	6009	17078	44644	35163	131466	5259
江苏	9822	16301	44559	19329	37432	127443	5098
上海	11143	2814	17327	13258	13496	58038	2322
浙江	8870	12862	18803	22515	51395	114445	4578
福建	7861	5318	4860	7434	10510	35983	1439
广东	8794	27361	9644	7463	6158	59420	2377
广西	966	2042	663	1604	5208	10483	419
海南	555	202	958	223	133	2071	83
总计 Totally	122672	95827	124769	145493	266422	755183	30207



审图号: GS (2015) 1637号

图 1 中国大陆海岸带地区 1985—2010 年围垦强度及状况 (未包含港澳台和南海区域)
Fig.1 Intensity of coastal reclamation of Chinese Mainland from 1985 to 2010

海岸带围垦主要受经济发展与人口增长两个方面影响,区域海岸线自然特征也是影响围垦状况和强度的

重要因素之一。河口区域经济发达,人口密集,对土地需求巨大。独特的自然地理条件及泥沙来源补给,冲淤过程迅速频繁,也使得河口区域易于围垦^[16]。如黄河与长江河口,河流入海携沙量巨大,为淤泥质海岸冲淤带来丰富的泥沙补给,分析表明近 30 年来围垦强度大于 $5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。相对淤泥质海岸,砂质海岸与基岩质海岸的所在区域围垦强度均较低,大都小于 $1 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。

2.2 环渤海湾地区

环渤海经济圈是中国北方地区重要的沿海经济带,包括辽宁、河北、天津和山东 4 个省级行政单位,17 个地级市,是海岸围垦总量和强度最大的区域,以海湾型围垦为主(表 2)。1985—2010 年间,环渤海经济圈共围垦滨海湿地 347306 ha,占全国围垦滨海湿地总面积的 46.0%。环渤海经济圈内的围垦以海湾型围垦为主,主要集中在辽东湾、渤海湾以及莱州湾三个海湾处。较之四处海湾地区,山东半岛及辽东半岛的围垦强度则较低,受到地理条件及经济发展水平影响,大都小于 $2 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$,尤其是山东半岛,其围垦强度大都小于 $1 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。

表 2 环渤海经济圈围垦状况及强度

Table 2 Intensity and Area of coastal reclamation in Bohai Bay economic circle

地区 Regions	围垦面积 Area of reclamation/hm ²					围垦强度 Intensity of reclamation/($\text{ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$)				
	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010
滨州	5180	1611	3158	18960	4334	12.2	3.8	7.2	36.0	9.0
沧州	15636	419	1473	355	6228	44.5	1.2	4.5	1.1	15.7
大连	4205	7508	1403	12101	19402	0.7	1.3	0.2	2.0	3.2
丹东	2900	173	406	640	766	3.6	0.2	0.5	0.8	0.9
东营	6191	122	10975	10642	14330	4.2	0.1	7.1	6.7	9.6
葫芦岛	64	1291	482	660	4368	0.1	1.2	0.5	0.6	4.1
锦州	4316	2739	1308	2600	5529	6.9	4.3	2.0	4.2	9.3
盘锦	8439	5174	2129	316	9503	12.9	7.2	3.2	0.5	14.7
青岛	3321	1446	336	1755	1416	1.1	0.5	0.1	0.6	0.5
秦皇岛	52	653	1295	1091	1205	0.1	0.9	1.8	1.5	1.6
日照	372	78	249	612	440	0.8	0.2	0.5	1.2	0.8
唐山	7100	3875	895	1948	32294	7.3	3.9	0.9	2.0	28.3
天津	2932	725	978	6415	20752	4.5	1.1	1.4	8.3	20.3
潍坊	10088	1256	1689	9404	11558	14.8	1.7	2.3	13.8	18.3
威海	1041	600	241	1640	648	0.3	0.2	0.1	0.5	0.2
烟台	2379	896	430	1631	2437	0.9	0.3	0.2	0.6	0.9
营口	445	361	508	2897	6880	0.8	0.7	0.9	5.0	10.1

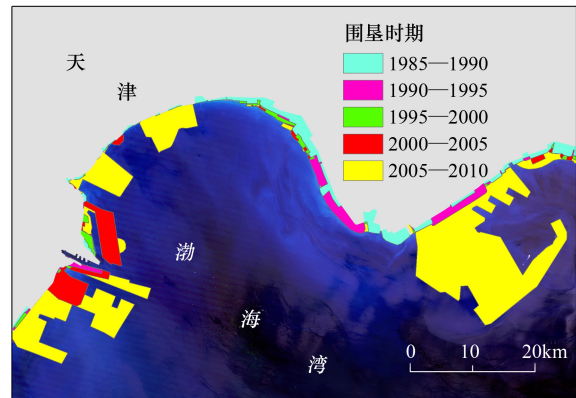
环渤海经济圈海岸围垦强度最大的区域为滨州、沧州、锦州、东营、盘锦、唐山、天津以及潍坊。该区域围垦强度均大于 $5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$,共围垦 253576 ha,占总围垦面积的 73.0%。区域内的海岸围垦强度先减少,后增加。1985—1990 年间是第一个围垦高峰,区域内海岸围垦强度大于 $5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 的地级市达到 6 个,而 1990—1995 年和 1995—2000 年两个时期内,海岸围垦强度大于 $5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 的地级市分别只有 1 个和 2 个。在进入 21 世纪后,区域内进入了第二个围垦高峰期,2000—2005 年,区域内围垦强度大于 $5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 的地级市达 5 个,最高的滨州市达到 $36 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。2005—2010 年,区域内共围垦滨海湿地 142091 ha,海岸围垦强度大于 $5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 的地级市达到 9 个,强度均在 $9 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 以上。如图 2 所示,该时期内围垦了包括唐山曹妃甸区以及天津港地区等诸多城市扩张以及港口建设用地。

1985—2010 年间,环渤海经济带围垦工程的土地用途主要有三个不同时期变化。(1)是养殖围垦期。改革开放以来,随着经济增长和人民生活水平提高,居民对于水产品的需求增大,兴起的滩涂围垦养殖热潮^[19]。(2)二十世纪九十年代的围垦“蛰伏”期。这个时期内,经济随着改革开放稳定恢复和增长,土地压力并不明

显,区域内的围垦工程进入较为平缓的时期,围垦强度降低。(3)是城市扩张型围垦期。进入二十一世纪以来,经济飞速发展,人口大量增长,城市扩张迅速,土地压力剧增,需要大量的土地资源以满足经济、人口增长以及城市扩张的需要。经济发展需求型围垦是环渤海经济圈围垦主要推动形式,从水产品需求的滩涂养殖围垦到城市发展的土地需求,主要满足养殖及工业生产的需求,区域内各时期的围垦强度与经济发展对土地需求成正比。

2.3 长江三角洲地区

长江三角洲经济圈是中国最重要的经济区域之一,包括上海市、江苏省、浙江省,经济发展是影响长江三角洲经济圈海岸围垦强度的最重要因素。1985—2010年间,区域内围垦土地面积达到 299930 ha,占全国围垦土地面积的 39.7%(表 3)。区域内围垦强度为 $3.7 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$,远高于全国平均水平,围垦主要集中在 4 个区域:江苏沿岸、长江口内区域、上海南汇嘴以及杭州湾区域(图 3)。长江三角洲经济圈经济发展迅速,人口密集,土地资源紧张,围垦强度大。区域内的围垦受到经济发展水平影响显著。与环渤海经济圈相似,围垦主要集中在淤泥质海岸与河口地区。由于浙江省中南部沿海地区多丘陵山地,但经济发展迅速,城市扩张空间不足。因此,在 2000 年以后,出现了比其他同地理类型地区更高的海岸围垦强度。



审图号: GS (2015) 1637号

图 2 渤海湾各时期围垦状况

Fig.2 Coastal reclamation of Bohai Bay in different periods

表 3 长江三角洲经济圈围垦状况及强度

Table 3 Intensity and area of coastal reclamation in Yangtze delta economic circle

地区 Regions	围垦面积 Area of reclamation/hm ²					围垦强度 Intensity of reclamation/(ha a ⁻¹ km ⁻¹)				
	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010
杭州	3890	5832	5298	1885	4053	11.2	15.4	13.5	4.8	9.9
嘉兴	108	42	1356	3470	2957	0.2	0.1	2.5	6.2	5.3
连云港	1055	294	584	23	2867	1.6	0.4	0.8	0.0	4.1
南通	1169	6574	5185	6268	20224	0.8	4.5	3.4	4.0	12.4
宁波	3296	1993	9823	13203	16458	0.8	0.5	2.4	3.3	4.2
上海	11143	2814	17327	13258	13496	4.4	1.1	6.4	4.8	4.8
台州	1430	4325	1623	3269	18852	0.5	1.4	0.5	1.1	7.0
温州	146	670	703	688	9075	0.1	0.4	0.4	0.4	5.1
盐城	7598	9433	38790	13038	14341	4.3	5.3	21.8	6.8	7.2

江苏沿岸每年围垦大量土地,包括连云港、盐城以及南通,1985—2010年间三个地区分别围垦土地 4823ha、83201 ha 及 39420 ha,海岸围垦强度分别为 $1.4 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 、 $8.9 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $5.1 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。尤其是盐城,围垦形式是以盐田、养殖塘和农田为主^[20]。南通的围垦强度稍弱于盐城,围垦形式以养殖塘和农田为主(图 3a)。2005—2010年间,南通和连云港由于设立滨海新区,围垦面积陡增,分别围垦了 20224 ha 和 2867 ha,围垦强度分别为 $12.4 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $4.1 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$,主要为港口建设与城市扩张的用地需求^[21]。

上海市是长江三角洲区域 1985—2010年间围垦滨海湿地最多的地区。其同样经历了围垦“蛰伏”期,但由于经济发展较快,相较于环渤海经济区,其经济、人口对于土地的压力更为显著,造成其“蛰伏”期较短,迅速转入快速城镇化的土地需求模式,围垦节奏加快。1995—2000年间,2000—2005年间和 2005—2010年间的海岸围垦强度分别为 $6.4 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 、 $4.8 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $4.8 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。1995—2000年间,上海市大量农田转化为建设用地,耕地面积减少,通过围垦可以满足耕地平衡问题,形成大量滩涂围垦为农田和养殖塘(图

3b、图 3c)。2000 年后,上海市的围垦主要集中在水库、港口及建成区的建设,包括青草沙水库、横沙港、芦潮港和浦东机场等。

杭州湾南岸是杭州湾的主要围垦区域。海岸围垦强度最大的区域为杭州市,研究期间海岸围垦强度为 $11.1 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (图 3d)。由于该地区位于钱塘江河口,泥沙来源丰富,淤积迅速,经济发展迅速,土地需求大,因此海岸围垦强度大。次之为宁波市,宁波市围垦活动受到经济活动影响明显。1985—1990 年和 1990—1995 年两个时期,宁波市海岸围垦强度较低,分别为 $0.8 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $0.5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。随着 20 世纪 90 年代市场经济政策实行后,宁波市经济快速发展,城市扩张迅速,土地资源压力增大。为满足经济发展的土地需求,1995—2000 年、2000—2005 年和 2005—2010 年三个时期的围垦强度迅速加大,分别为 $2.4 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 、 $3.3 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $4.2 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。台州和温州两个地区均存在类似的现象,但受限于经济发展程度与地理条件,围垦强度不如宁波。

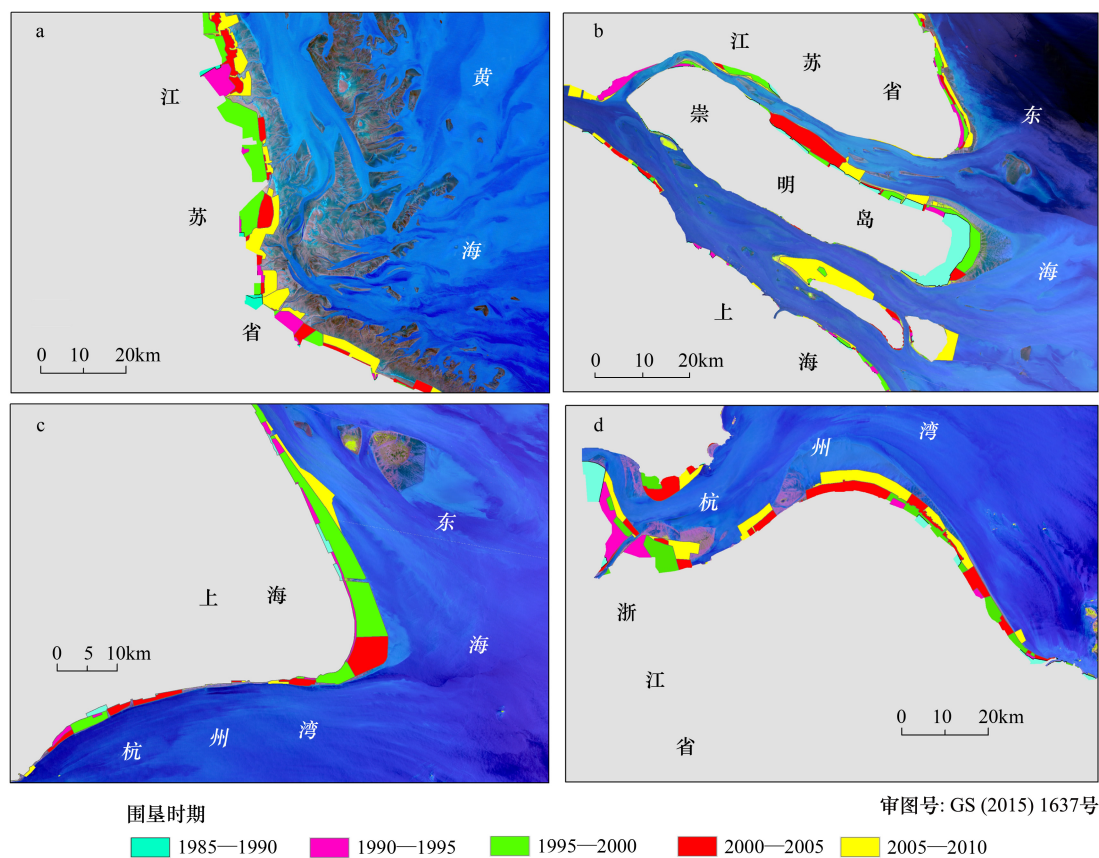


图 3 长江三角洲各区域围垦情况图(a 江苏沿岸;b 长江口内地区;c 南汇及杭州湾北岸;d 杭州湾南岸)

Fig.3 Coastal reclamation of Yangtze delta (a. coastal zone of Jiangsu Province. b. Yangtze Estuary. c. Nanhui and northern bank of Hangzhou Bay. d. Southern bank of Hangzhou Bay)

2.4 珠江三角洲地区

珠江三角洲地区是中国三大重要的经济圈之一,包括 6 个地级市或地区。1985—2010 年间,广东省海岸带共围垦 59422 ha,占全国围垦总面积的 7.9%(表 4)。区域内围垦强度最大的区域为珠江河口地区,共围垦 47075 ha,占整个区域围垦总面积的 79.2%,海岸围垦强度为 $1.6 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。珠江三角洲地区沿海以砂质岸线为主^[16],海岸带淤积速率较慢,同时珠江河流输沙量远小于黄河与长江^[22],区域内围垦的自然条件不如环渤海和长江三角洲经济圈,围垦量较小。区域内围垦利用形式与全国其他地区类似,主要表现为在 20 世纪 80 年代主要围垦用于农田、养殖塘用地,2000 年以后围垦主要用于满足城市扩张需要。

表 4 珠江三角洲经济圈围垦状况及其强度

Table 4 Intensity and area of coastal reclamation in Pearl River delta economic circle										
地区 Regions	围垦面积 Area of reclamation/hm ²					围垦强度 Intensity of reclamation/(ha a ⁻¹ km ⁻¹)				
	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010
潮州	29	800	816	4	156	0.0	0.4	0.4	0.0	0.1
惠州	847	375	135	910	345	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2
茂名	88	285	895	28	32	0.1	0.4	1.2	0.0	0.0
阳西	1076	832	1029	374	43	0.8	0.6	0.8	0.3	0.0
湛江	186	2497	84	28	451	0.0	0.6	0.0	0.0	0.1
珠江口	6568	22572	6685	6119	5131	1.1	3.9	1.2	1.0	0.9

珠江河口东西两岸存在不同的围垦模式,围垦的面积大小受到自然地理条件制约(图4)。其中珠江口西岸主要为河口淤泥质滩涂,围垦相对较为容易,早期围垦面积较大,海岸围垦强度大的主要时间段在1985—1990年间、1990—1995年间和1995—2000年间,之后围垦活动仍在继续,围垦规模降低,围垦用地的主要利用形式是农田和水产养殖塘。珠江河口东岸为人工岸线,围垦难度较高,围垦面积较小,围垦多集中在2000年以后,利用形式多为港口用地等建成区。珠江河口以外其它区域,其围垦发展模式与全国其他区域类似,在1985—1990年、1990—1995年和1995—2000年三个时期内,主要是以农田养殖塘围垦为主,2000年后,主要是为满足经济、人口增长下的城市扩张需要为主的围垦。

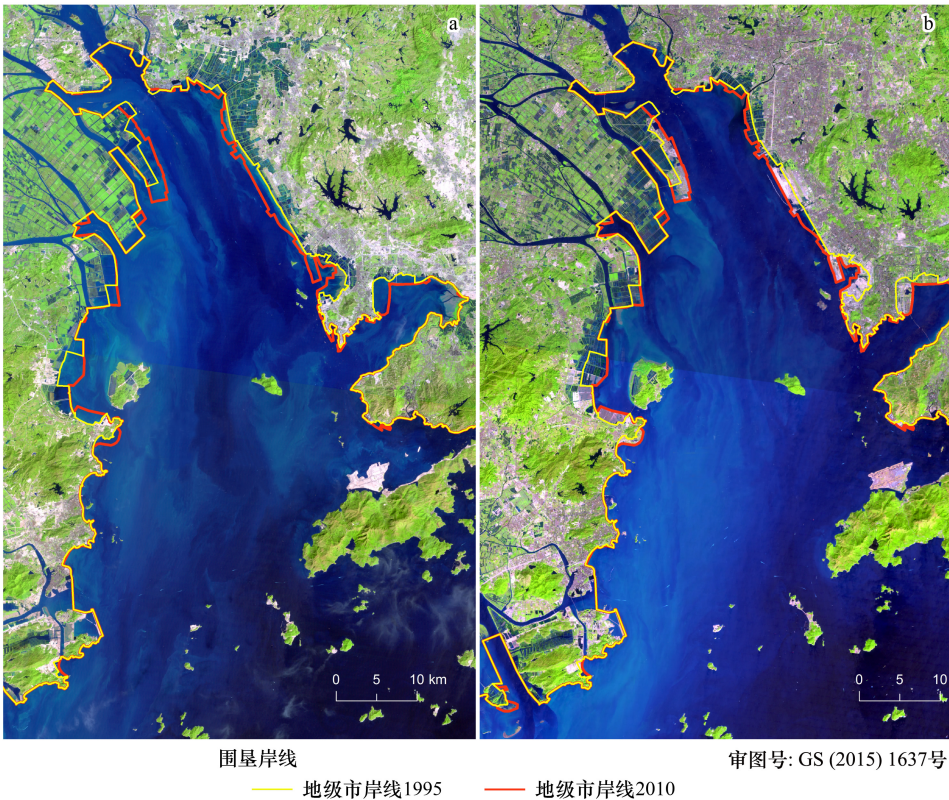


图 4 珠江口遥感影像及围垦线(a 1995 年;b 2010 年)

Fig.4 Satellite images and coastal reclamation lines of Pearl River Estuary (a. 1995; b. 2010)

2.5 其他沿海地区

福建省、广西省以及海南省是我国三大沿海经济圈以外的区域,广西省以及海南省沿海地级市数量少,经济发展水平相近。1985—2010年间,区域内8个地区共围垦土地48538 ha,占全国围垦总面积的6.4%(表5)。区域内海岸围垦强度最大是厦门市,为1.0 ha a⁻¹ km⁻¹。厦门市与全国其他沿海城市围垦历史过程类似,经历

了从养殖塘到建设用地的围垦利用形式过程,并在 1990—1995 年存在类似的围垦“蛰伏期”。福州市是区域内围垦强度第二的地级市,由于位于闽江入海口,福州市海岸带拥有相对丰富的泥沙沉积物,容易淤积并进行围垦。根据距闽江河口距离,莆田、泉州和漳州的海岸围垦强度依次递减,分别为 $0.7 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 、 $0.6 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $0.4 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。海南省与广西沿海由于广布砂质岸线,并且区域内经济与人口并未对土地产生巨大的需求,海岸围垦强度较低,分别为 $0.5 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 和 $0.1 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。

其它沿海区域内由于无大型河流入海,并以砂质岸线为主,岸线淤积速率缓慢。1985—2010 年间,该区域围垦面积总量远小于环渤海经济圈和长江三角洲经济圈。相对于沿海三大经济圈,其它沿海区域内的经济发展和人口增长水平较低,对于土地需求的压力相对较小,区域内的因城镇扩张驱动导致围垦强度增大趋势主要集中在 2005—2010 年间,均晚于沿海三大经济圈中大部分地区。

表 5 福建省、海南省及广西沿海围填海状况及强度

Table 5 Coastal reclamation of Fujian Province, Hainan Province and Guangxi Province

地区 Regions	围垦面积 Area of reclamation/ hm^2					围垦强度 Intensity of reclamation/ $(\text{ha a}^{-1} \text{ km}^{-1})$				
	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010	1985—1990	1990—1995	1995—2000	2000—2005	2005—2010
福州	3396	3706	2607	1185	4534	0.9	1.0	0.7	0.3	1.4
钦州	966	2042	663	1604	5208	0.2	0.5	0.2	0.4	1.2
海南	555	202	958	223	133	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0
宁德	488	16	7	241	254	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1
莆田	678	660	819	458	1430	0.5	0.5	0.7	0.4	1.2
泉州	68	398	242	3695	1018	0.0	0.2	0.1	2.2	0.6
厦门	564	381	554	848	2052	0.6	0.4	0.6	0.9	2.3
漳州	2667	157	631	1007	1222	1.0	0.1	0.2	0.4	0.4

3 结论

通过 1985—2010 年 Landsat 系列卫星影像数据处理,提取中国大陆海岸围垦现状,结合 GIS 分析,得到:

(1) 1985—2010 年间,中国海岸带区域进行了高强度的围垦工程,共围垦 755183 ha,年均围垦 30207 ha,海岸围垦强度呈先减少后增加趋势,全国平均海岸围垦强度为 $1.7 \text{ ha a}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。该期间,围垦主要集中于环渤海经济圈和长江三角洲经济圈,二者围垦土地面积占全国围垦总面积的 85.7%。

(2) 自然地理条件影响围垦的空间分布、强度及形式。中国大陆岸线类型丰富,以长江口和杭州湾为界,北面以淤泥质海岸为主,南面则以砂质海岸为主。因此,中国海岸带高强度围垦区域主要集中在环渤海经济圈与长江三角洲经济圈中的淤泥质海岸处,如渤海湾、莱州湾、辽东湾、苏北平原等地区。这些区域围垦成本低,围垦面积大,围垦土地主要用于农业和养殖业生产。对于砂质和基岩质海岸广泛分布的区域,由于难以形成有效的淤积,围垦代价高,围垦主要用于满足城市扩张所产生的建设用地需求,例如港口和工业区建设。

(3) 区域社会经济发展水平决定围垦总量和强度的变化及其利用形式。1985—2010 年间,中国海岸带围垦共经历三个阶段:养殖围垦、“蛰伏期”和城市扩张围垦。在围垦“蛰伏期”向城市扩张围垦转换的过程中,社会经济发展水平和总量占主导作用。沿海发达区域,经济发展迅猛,人口持续增长,土地资源压力境大,导致自 1995 年开始进入城市扩张围垦期,如上海等。而经济发展稍慢的沿海地区,土地压力产生的时间较晚,一般在 2005 年以后进入城市扩张时期,如广西沿海等。

由于海岸带系统的复杂性,本文未研究海岸带地区的土地利用变化对于滨海湿地围垦及利用形式的影响。基于遥感和 GIS 分析技术,研究我国海岸带围垦及其产生的资源、生态和环境问题,为海岸带湿地修复、恢复、湿地保护利用以及海岸带综合管理提供合理科学决策建议,具有十分重要意义。

参考文献 (References):

- [1] Suzuki T. Economic and geographic backgrounds of land reclamation in Japanese ports. Marine Pollution Bulletin, 2003, 47(1/6): 226-229.

- [2] Hoeksema R J. Three stages in the history of land reclamation in the Netherlands. *Irrigation and Drainage*, 2007, 56(S1): S113-S126.
- [3] Kennish M J. Coastal salt marsh systems in the U.S.: a review of anthropogenic impacts. *Journal of Coastal Research*, 2001, 17(3): 731-748.
- [4] Piersma T. Threats to intertidal soft-sediment ecosystems // *Water Policy in the Netherlands: Integrated Management in a Densely Populated Delta*. Groningen: University of Groningen, 2011.
- [5] Yang H Y, Chen B, Barter M, Piersma T, Zhou C F, Li F S, Zhang Z W. Impacts of tidal land reclamation in Bohai Bay, China: ongoing losses of critical Yellow Sea waterbird staging and wintering sites. *Bird Conservation International*, 2011, 21(3): 241-259.
- [6] Martosubroto P, Naamin N, Others. Relationship between tidal forests (mangroves) and commercial shrimp production in Indonesia. *Marine Research in Indonesia*, 1977, 18(8): 81-86.
- [7] Berlanga-R C A, Ruiz-Luna A, Bocco G, Vekerdy Z. Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 2011, 54(7): 535-543.
- [8] 陆健健. 我国滨海湿地的功能. *环境导报*, 1996, (1): 41-42.
- [9] 黄国柱, 朱坦, 曹雅. 我国围填海造陆生态化的思考与展望. *未来与发展*, 2013, (5): 12-17.
- [10] 赵晓涛, 杨威, 周丹, 陈沈良. 影响我国河口地区可持续发展的五大问题. *海洋开发与管理*, 2008, 25(3): 91-93.
- [11] Wang W, Liu H, Li Y Q, Su J L. Development and management of land reclamation in China. *Ocean & Coastal Management*, 2014, 102: 415-425.
- [12] 牛振国, 张海英, 王显威, 姚文博, 周德民, 赵魁义, 赵惠, 李娜娜, 黄华兵, 李丛丛, 杨军, 柳彩霞, 刘爽, 王琳, 李展, 杨镇钟, 乔飞, 郑姚闯, 陈炎磊, 盛永伟, 高小红, 朱卫红, 王文卿, 王红, 翁永玲, 庄大方, 刘纪远, 罗志才, 程晓, 郭子琪, 宫鹏. 1978—2008 年中国湿地类型变化. *科学通报*, 2012, 57(16): 1400-1411.
- [13] Kirwan M L, Megonigal J P. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, 2013, 504(7478): 53-60.
- [14] 左平, 李云, 赵书河, 周鑫, 滕厚锋, 陈浩. 1976 年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析. *海洋学报*, 2012, 34(1): 101-108.
- [15] 温庆可, 张增祥, 徐进勇, 左丽君, 汪潇, 刘斌, 赵晓丽, 易玲. 环渤海滨海湿地时空格局变化遥感监测与分析. *遥感学报*, 2011, 15(1): 183-200.
- [16] 高义, 王辉, 苏奋振, 刘桂梅. 中国大陆海岸线近 30a 的时空变化分析. *海洋学报*, 2013, 35(6): 31-42.
- [17] 高志强, 刘向阳, 宁吉才, 芦清水. 基于遥感的近 30a 中国海岸线和围填海面积变化及成因分析. *农业工程学报*, 2014, 30(12): 140-147.
- [18] Ryu J H, Won J S, Min K D. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat-A case study in Gomso Bay, Korea. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(3): 442-456.
- [19] 刘伟, 刘百桥. 我国围填海现状、问题及调控对策. *广州环境科学*, 2008, (2): 26-30.
- [20] 翟可, 刘茂松, 徐驰, 崔丽娟, 徐惠强. 盐城滨海湿地的土地利用/覆盖变化. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1081-1086.
- [21] 肖建红, 陈东景, 徐敏, 于庆东. 围填海工程的生态环境价值损失评估——以江苏省两个典型工程为例. *长江流域资源与环境*, 2011, (10): 1248-1254.
- [22] 中华人民共和国水利部. *中国河流泥沙公报*. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.