

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

高志强, 刘向阳, 宁吉才, 芦清水

(中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003)

摘要: 该文利用4期遥感影像和中国沿海地区调查资料, 综合运用遥感和GIS技术, 结合Google Earth/Google Maps在线遥感信息, 完成了对中国沿海地区1980—2010年间海岸线变迁和围填海演变信息的提取, 并对其具体进程和驱动因素进行了深入研究, 研究表明: 30 a间, 中国海岸线呈增长趋势, 海岸线变迁程度较为剧烈, 80年代中国海岸线变迁面积最大, 90年代变迁面积最小, 中国海岸线的变迁方向是向海洋推进, 且推进的趋势越来越明显。1990—2000年间, 中国沿海地区围填海增加面积最少; 2000—2010年间, 中国沿海地区围填海增加面积最多, 远远大于其他时期的增加量。30 a间, 围填海利用类型经历了从农业用地为主到养殖池为主再到待利用水面为主的演变过程; 待利用水面是30 a围填海增加面积最大的利用类型; 港口所占比例不断上升, 而农业用地所占比例则在逐渐下降。人为因素是近30 a中国海岸线变迁的关键因素, 自然因素和社会因素共同决定了沿海地区围填海的演变过程。该文可为海岸带规划管理和可持续发展提供数据支持。

关键词: 遥感; 土地利用; 整治; 围填海; 海岸线; 中国; 变化特征

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.12.017

中图分类号: P237; P229.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-12-0140-08

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.

Gao Zhiqiang, Liu Xiangyang, Ning Jicai, et al. Analysis on changes in coastline and reclamation area and its causes based on 30-year satellite data in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(12): 140—147. (in Chinese with English abstract)

0 引言

改革开放以来, 东部沿海地区凭借得天独厚的区位优势, 成为了国民经济快速增长的重要支撑。但是经济的腾飞以及城市化、工业化水平的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。为了不断促进经济发展, 人们开始将目光转向大海, 沿岸兴修各类海岸工程, 掀起了围填海的热潮。在创造巨大的经济效益和社会效益的同时, 也改变了沿海地区自然海岸格局, 使得海岸带发生了巨大变化, 造成海洋生态系统失衡, 引发了一系列严重的环境灾害。因此, 准确提取并及时掌握中国海岸线和围填海动态变化信息, 深入研究海岸线变迁和围填海演变进程, 对于推进东部沿海地区可持续发展, 更好地实现国家海洋经济战略具有重大的现实意义。

目前对海岸线及围填海的分析研究主要集中在

在以下两个方面: 一是定性分析两者的驱动因素、现状、影响结果及整治对策等^[1-5]; 二是借助遥感和GIS技术, 定量地进行海岸线及围填海的研究^[6-11]。前者缺乏实时准确的信息, 后者时间跨度短且多集中于省域范围之内, 不仅缺乏国家尺度的定量调查和区域之间的对比分析^[9], 更缺乏对海岸线变迁和围填海演变过程的研究及对两者相互关系的探讨。事实上, 海岸带变化特别是高强度开发的人工岸段的变化非常剧烈, 需要时间跨度更长和更加精确地监测与分析。因此, 本文选择改革开放以来经济快速发展的1980—2010年作为研究时期, 利用Landsat系列卫星的MSS/TM/ETM+影像, 对中国沿海地区近30 a间海岸带变化进行连续监测, 以期获得研究区更为精确的海岸线变迁和围填海演变信息, 从而动态地掌握海岸线及围填海时空分布和数量变化特征, 以期为海岸带的宏观管理和保护提供快速、准确的基础数据支持。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

《中国海洋统计年鉴》中指出沿海地区是指拥有海岸线的地区。中国沿海地区北起鸭绿江口, 南至北仑河口, 包括辽宁、河北、天津、山东、江苏、

收稿日期: 2014-03-20 修订日期: 2014-05-20

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14); 国家自然科学基金(41171334); 海岸带所人才引进基金和135项目(Y254021031, Y355031061)

作者简介: 高志强(1966—), 男, 山东滨州人, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事遥感和模型模拟研究。烟台 中国科学院烟台海岸带研究所, 264003。Email: zqgao@yic.ac.cn

上海、浙江、福建、广东、广西、海南、香港、澳门和台湾省（市、自治区、特别行政区），本文研究区域不涉及港澳台地区。凭借临海的区位优势，沿海地区沿岸拥有大连港、青岛港、上海港、宁波港、深圳港和广州港等著名港口，对外经济联系十分便利。同时，受海洋影响，沿海地区气候湿润，生态环境优美，适合人类居住。可见，沿海地区是中国经济发达、人口承载力较高的区域。

1.2 数据来源

本文所用数据分为遥感影像数据和非遥感影像数据。遥感影像数据包括研究区 1980 年 MSS 影像、2000 年 ETM+影像、1990 年和 2010 年 TM 影像。非遥感影像数据有中国行政区划矢量数据和野外实地调查勘测数据等文字资料，用其作为遥感影像提取海岸线及围填海变化信息的参考资料。

2 研究方法

2.1 海岸线变迁信息提取

在测绘学、地理学、经济学和政治领域中，基于不同研究目的关于海岸线的定义不尽相同^[12-13]。本文研究期为 1980—2010 年，时间跨度较长，为了最准确地反映各个时期不同地区的海岸线变迁信息，本文将新修建的养殖池、岸堤、码头等人工建筑和自然形成的滩涂、基岩等自然地物作为海岸线提取的标准。

利用 ENVI 软件完成影像的拼接、配准和镶嵌等预处理，然后在 ARCGIS 平台下，利用 TM/ETM+影像的 432 波段和 MSS 影像的 421 波段 RGB 假彩色合成图像，采用人工矢量的方法提取海岸线变迁信息。具体的技术路线如下：1) 完成 2010 年海岸线信息的提取。然后将 2010 年海岸线加载到 2000 年的遥感影像上，修改发生变化的岸段，完成 2000 年海岸线信息的提取。采用同样的方法，相继提取 1990 年和 1980 年的海岸线。在提取过程中为避免误判，可借助 Google Earth/Google Maps 在线遥感信息进行佐证。2) 海岸线提取完成之后，得到 1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年中国沿海地区海岸线总体长度的变化情况。将海岸线矢量图与中国行政区划图叠加，获取辽宁省、京津唐地区、山东省、苏沪地区、浙江省、福建省、广东省、广西省和海南省各个地区的海岸线长度变化情况。所提取的海岸线实际是海洋和陆地的分界线，命名为水边线。大多数学者认为海岸线是多年平均大潮高潮位形成的痕迹线^[12-14]，但这条痕迹线基于遥感技术提取十分困难。所以，绝大多数学者都是基于遥感和数字高

程模型（digital elevation model, DEM），结合遥感影像过境时间及潮汐计算公式，通过水边线进行纠正得到海岸线^[15-18]。水边线受潮起潮落及卫星过境时间的影响，同多年平均大潮高潮位形成的痕迹线（即海岸线）存在着一定的误差，误差的大小受海岸带类型影响^[19-22]。本文根据不同类型的海岸带，通过不同时期的遥感影像提取的多期水边线的分析对比，结合 DEM 数据，在 ARCGIS 中利用拓扑工具和裁剪工具，通过设置不同的阈值进行不同地区海岸线区间误差消除处理，尽可能的除去潮汐的影响，通过水边线求得海岸线的位置。

2.2 围填海演变信息提取

对于围填海目前尚没有明确的定义，现有研究资料和调查成果中通常引用填海、围海、滩涂围垦、围海造陆、填海造地等术语。国家海洋局编制的《海域使用分类体系》对填海造地和围海的定义如下：填海造地，指筑堤围割海域填成土地，并形成有效岸线的用海方式；围海，指通过筑堤或其他手段，以全部或部分闭合形式围割海域进行海洋开发的用海方式^[23-24]。本文结合研究目的界定围填海内涵，即通过人类在海岸线外进行围海和填海活动，使指定海域失去海洋属性，从而对其进行有效利用的方式；并确定围填海的分类体系，将围填海的土地利用类型分为待利用水面、养殖池、港口、建设用地、农业用地和其他用地 6 个类别（见表 1）。

表 1 围填海分类体系表

Table 1 Classification table of coastal reclamation

类别 Type	定义 Define
待利用水面	尚未利用的围海区域，包括已经筑堤和正在筑堤 2 种
养殖池	用于养殖水产品或者盐业生产的围海
港口	用于港口建设的填海
建设用地	用于住宅、交通、工业用地的填海
农业用地	用于耕地、林地、园地等农业用地的填海
其他用地	主要包括防洪堤和正在填充中的填海

由围填海内涵可知，围填海会导致海岸线向海洋推进。所以，利用海岸线变迁分析中获取的变迁方向为海洋的海岸带空间范围变化信息，在 ARCGIS 平台下采用目视解译的方法，剔除因淤积等自然因素导致的变化，得到围填海演变信息。同时，结合 Google Earth/Google Maps 在线遥感信息和收集到的调查资料，赋予围填海类别属性。

围填海提取完成之后，将其矢量图与中国行政区划图叠加，得到辽宁省、京津唐地区、山东省、苏沪地区、浙江省、福建省、广东省、广西省和海南省各个地区的围填海总体的演变情况。然后，将

在 ARCGIS 中获取的属性数据转换到 SPSS 软件下完成数据分析和制图表达。

3 结果与分析

3.1 海岸线变迁分析

本文利用 4 期遥感影像提取中国沿海地区 1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年海岸线的长度、发生变化的岸线、岸线变迁面积和变迁方向, 根据影像信息和相关资料对海岸线的变迁过程进行详细地分析。

3.1.1 海岸线长度变化分析

1980 年中国大陆海岸线(包括海南岛)长度为 15 349.86 km, 1990 年为 16 546.51 km, 2000 年为 16 770.62 km, 2010 年为 18 814.00 km。海岸线总体呈增长趋势, 其中 2000—2010 年间增长 2 043.38 km, 占总增长长度的 58.99%, 增长比率最为迅速; 其次是 1980—1990 年间增长 1 196.65 km, 占总增长长度的 34.54%; 而 1990—2000 年间增长最为缓慢, 只增长 224.11 km, 占总增长长度的 6.47%。具体到

每个地区而言, 除苏沪地区、福建省和海南省在个别年间海岸线有一定减少之外, 其余地区都呈逐步增长的趋势。1980—1990 年间福建省和广东省增长长度最大, 占 80 年代海岸线增长长度的 41.24%; 苏沪地区是 90 年代海岸线增长最快的地区; 而进入新世纪以来, 成为新的经济增长极的环渤海地区海岸线增长最为迅速, 可占到 2000—2010 年间增长长度的 60.35%。具体的海岸线长度变化情况见表 2。

3.1.2 海岸线变迁程度分析

结合表 2 可知, 30 a 间中国海岸线总体变迁程度高达 71.31%, 海岸线变迁程度比较剧烈。而 1980—1990 年、1990—2000 年和 2000—2010 年间中国海岸线总体变迁程度分别为 41.91%、47.79% 和 41.36%, 由此可见, 各个时期海岸线变迁程度差别不大。具体到每个地区而言, 30 a 来, 苏沪地区和京津唐地区海岸线变迁程度比较剧烈, 而广东省、广西省和海南省变迁程度相对平缓。

表 2 1980—2010 年海岸线变迁情况表

Table 2 Change table of coastline during 1980 to 2010

	长度 Length/km				长度增量 Length increment/km			变迁程度 Change degree /%				变迁面积 Change area/km ²			前进度 Forward degree F/%			
	1980年	1990年	2000年	2010年	1980—1990年	1990—2000年	2000—2010年	1980—1990年	1990—2000年	2000—2010年	1980—1990年	1990—2000年	2000—2010年	1980—1990年	1990—2000年	2000—2010年	1980—1990年	1990—2000年
辽宁省	1 681.59	1 824.43	1 926.02	2 391.25	142.84	101.59	465.22	40.76	33.61	43.56	74.87	332.34	249.05	449.06	66.62	18.91	88.73	64.73
京津唐地区	426.01	494.91	520.60	920.03	68.90	25.69	399.43	67.5	74.32	69.28	82.46	375.65	382.84	611.87	8.50	99.11	69.28	60.95
山东省	2 066.87	2 251.81	2 311.33	2 679.80	184.94	59.52	368.47	47.29	52.43	50.71	78.25	1 017.54	485.48	605.06	45.91	50.17	54.22	49.27
苏沪地区	1 137.68	1 113.12	1 341.82	1 505.07	-24.56	228.70	163.25	80.21	82.76	59.63	97.26	1 542.59	1 361.93	394.28	92.78	7.26	86.74	56.75
浙江省	1 683.73	1 713.78	1 756.25	1 775.30	30.05	42.47	19.05	40.22	40.75	52.46	71.88	529.51	265.84	823.61	54.26	70.29	86.96	73.53
福建省	2 335.30	2 582.65	2 368.98	2 706.26	247.35	-213.68	337.28	38.45	54.00	36.67	69.76	636.48	420.92	332.49	15.91	98.56	24.15	42.91
广东省	3 794.52	4 040.62	4 047.80	4 194.88	246.09	7.18	147.08	33.32	40.58	27.82	62.45	659.89	318.11	307.51	58.79	90.02	82.04	72.08
广西省	895.45	998.98	1 006.85	1 069.30	103.54	7.86	62.45	36.53	43.59	33.27	64.88	138.49	93.08	106.37	1.98	58.16	92.73	46.02
海南省	1 328.71	1 526.21	1 490.97	1 572.11	197.50	-35.24	81.14	30.45	42.98	34.44	61.80	177.31	80.75	104.04	16.19	77.53	93.41	52.06
总计	15 349.86	16 546.51	16 770.62	18 814.00	1 196.65	224.11	2 043.38	41.91	47.79	41.36	71.31	5 409.79	3 658.01	3 734.29	54.71	48.49	73.30	58.35

3.1.3 海岸线变迁面积分析

1980—1990 年间海岸线变迁面积为 5 409.79 km², 1990—2000 年间海岸线变迁面积为 3 658.01 km², 2000—2010 年间海岸线变迁面积为 3 734.29 km²。由此可见, 80 年代中国海岸线变迁面积最大, 90 年代变迁面积最小。结合表 2 具体到每个地区而言, 1980—1990 年和 1990—2000 年间, 苏沪地区海岸线变迁面积最大; 2000—2010 年间浙江省变迁面积最大; 广西省和海南省 30 a 年间变迁面积都比较小。

3.1.4 海岸线变迁方向分析

30 a 间, 中国海岸线总体前进度为 58.35%。具体到每个地区而言, 福建省和广西省的海岸线前进度分别为 42.91% 和 46.02%, 海岸线轻微向内陆后

退; 山东省和海南省海岸线前进度分别为 49.27% 和 52.06%, 海岸线变迁方向基本保持不变; 其余 5 个地区海岸线前进度都大于 50%, 海岸线向海洋方向前进。所以可以得出结论, 30 a 来, 中国海岸线的变迁方向是向海洋推进。

分时期进行海岸线变迁方向的分析: 1980—1990 年间, 中国海岸线总体前进度为 54.71%。辽宁省、苏沪地区、浙江省和广东省的海岸线前进度高于 50%, 但是京津唐地区、福建省、广西省和海南省的海岸线前进度都远低于 50%。可知, 80 年代海岸线向海洋推进的趋势并不明显。

1990—2000 年间, 虽然中国海岸线总体前进度为 48.49%, 整体变迁方向基本保持不变。但通过对

各地区分析可知，只有辽宁省和苏沪地区海岸线前进度低于 50%，而京津唐地区、浙江省、福建省、广东省、广西省和海南省 6 个地区的海岸线前进度都远高于 50%，由此可见，90 年代海岸线向海洋推进的趋势比较明显。

2000—2010 年间，中国海岸线总体前进度高达为 73.30%，除福建省海岸线前进度低于 50% 之外，其余 8 个地区的海岸线前进度都远大于 50%，新世纪以来海岸线向海洋推进的趋势更加的明显。

综上所述得出结论，1980—2010 年间，中国海岸线的变迁方向是向海洋推进，且推进的趋势越来越明显。

3.2 围填海演变分析

本文利用 4 期遥感影像提取中国沿海地区 1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年围填海的面积和类型（图 1），根据影像信息和相关资料对围填海的演变过程进行分析。

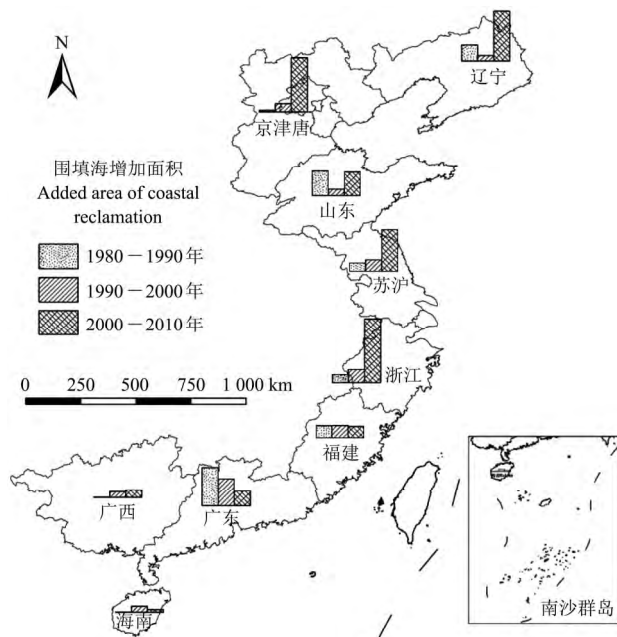


图 1 近 30 a 来中国围填海增加面积图

Fig.1 Add area map of coastal reclamation in 30 a

3.2.1 围填海增加面积分析

如图 1 所示：1980—1990 年间，中国沿海地区围填海增加面积是 874.35 km²。其中，广东省围填海增加面积最大，为 305.82 km²，占总增加面积的 34.98%；广西省围填海增加面积最小，为 1.54 km²，只占总面积的 0.18%。1990—2000 年间，中国围填海增加面积是 759.99 km²。广东省仍然是增加面积最大的省份，增加面积为 216.65 km²，占总增加面积的 28.51%；辽宁省增加面积最少，为 41.43 km²，占总增加面积的 5.45%。2000—2010 年间，中国围填海增加面积是 2123.59 km²。其中，浙江省围填海增

加面积最大，为 506.30 km²，占总增加面积的 23.84%；其次是河北，海南省围填海增加面积最小，为 18.88 km²，只占总面积的 0.89%。而 1980—2010 年 30 a 间，浙江省、广东省围填海总增加面积较大，福建省、广西省和海南省围填海总增加面积较小。

综上所述，1990—2000 年间，中国沿海地区围填海增加面积最少；2000—2010 年间，中国沿海地区围填海增加面积最多，远远大于其他时期的增加量；1980—2010 年 30 a 间，浙江省、广东省围填海增加面积较大，福建省、广西省和海南省围填海增加面积较小。

3.2.2 围填海利用类型分析

1980—1990 年，农业用地增加面积为 269.89 km²，占围填海总增加面积的 30.87%，是 80 年代增加面积最大的利用类型。1990—2000 年间，养殖池是增加面积最大的围填海利用类型，增加面积达 251.36 km²，占总增加面积的 33.07%。2000—2010 年间，待利用水面增加面积为 382.92 km²，是增加面积最大的围填海利用类型，占总增加面积的比例达 32.16%。由此可见，1980—2010 年 30 a 间，围填海利用类型经历了从农业用地为主到养殖池为主再到待利用水面为主的演变过程。

1980—2010 年 30 a 间，待利用水面、养殖池、港口、建设用地、农业用地和其他用地 6 种围填海利用类型累积增加面积分别是：1 119.40、935.26、474.52、550.01、544.10 和 134.63 km²。可见，30 a 间，待利用水面是围填海增加面积最大的利用类型。而港口的增加面积虽然较小，但是从 1980—2010 年间，港口面积占总增加面积的比例从 4.98% 到 9.88% 最后到 16.76%，港口的比例正在不断地增加。相反，农业用地则从 30.87% 下降到 14.17% 再到 7.84%，比例逐渐下降，如图 2 所示。

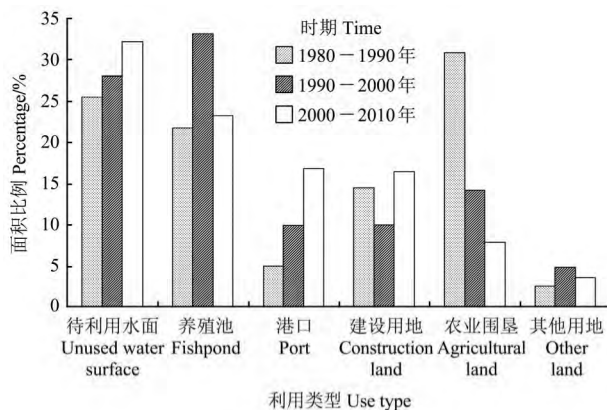


图 2 1980—2010 年围填海利用类型变化

Fig.2 Type change of coastal reclamation during 1980 to 2010

4 讨论

4.1 海岸线变迁原因分析

海岸线变迁原因可以归纳为2个方面：自然因素和人为因素。自然因素主要包括因全球气候变暖引起的海平面上升、河流入海口以及风浪较大地区的海岸侵蚀、河口的泥沙堆积等；人为因素则主要包括人工围垦构筑城镇建设用地、沿海养殖、修建码头等方面^[25-26]。通过选取海岸线变迁显著区域，结合遥感影像和当地调查资料，从海岸线长度变化、变迁程度、变迁面积和变迁方向4个方面，对海岸线变迁原因进行分析。

30 a间辽宁省海岸线长度增量为709.65 km，占中国海岸线长度总增加量的20.47%，是30 a间海岸线长度变化较大的地区。通过属性选择获取辽宁省不同时期具有代表性的区域：凤鸣岛（1980—1990年）、大连湾（1990—2000年）和葫芦岛港区（2000—2010年），对比分析各地区相邻两期遥感影像可以看出：沿海养殖，修建港口码头和城镇建设用地是海岸线长度变化的主要原因。

江苏省是30 a间海岸线变迁范围较大和变迁程度较为剧烈的地区，根据收集的调查资料可知，江苏省拥有全国1/4的滩涂资源，滩涂开发一直是江苏最为重要的后备土地资源保障。1980—2010年间，江苏省共围滩涂约400 km²，并实现了围垦方式由农业围垦为主到以工业用地、建设用地为主的转变。通过属性选择获取江苏省不同时期具有代表性的区域：大丰市北部（1980—1990年）、射阳县南部（1990—2000年）和连云港港区（2000—2010年）。对比分析各地区相邻两期遥感影像可以明显看出，农业围垦、滩涂养殖和围垦构筑城镇建设用地和港口是江苏省海岸线变迁范围较大和变迁程度较为剧烈的主要原因。

30 a间，广东省和浙江省的海岸线向海洋方向推进的趋势比较明显，采用相同的方法，选取变化显著区域，对比各地区相邻两期遥感影像，分析可知，人为因素仍是影响海岸线变迁方向的主要原因。

因此可得出结论，修建港口码头、构筑建设用地、沿海养殖、农业围垦等人为因素是近30 a来中国海岸线变迁的关键因素。

4.2 围填海演变原因分析

围填海是人为的向海洋索要生存和生产空间的一种方式，受到自然因素和社会因素的影响。其中自然因素主要包括岸线的长度和类型、滩涂

资源的数量，社会因素包括农业用地(耕地)的扩张、工业发展需要、交通需求、人口增加、城市化发展的需求和政策因素的影响^[21,27]。本文结合获取的分析数据和当地的调查资料，从围填海增加面积和围填海利用类型2个方面探讨围填海演变的原因。

80年代发展看深圳，90年代发展看浦东，新世纪看滨海新区，沿海地区凭借临海的区位优势，一直是国家经济增长的重心。自1978年改革开放以来，国家在沿海地区设立经济特区和对外开放城市，同时兴建曹妃甸、滨海新区等工业园区，极大地促进了沿海地区的经济发展。本地人口的增长以及外来务工人员的大量涌入，使沿海地区人口数量急剧增加，扩大了对土地和空间的需求，使人地矛盾愈发尖锐。根据国家统计局统计，沿海地区总面积仅占我国国土面积的13.63%。90年代（1992—2000年）沿海地区的GDP占全国GDP总量的58.37%，21世纪以来（2001—2011年）占全国GDP总量的60.30%。在第5次人口普查中沿海地区人口总数占全国总人口的42.29%，第6次人口普查中比例增加到44.71%。可见，经济发展、政策扶持和人口增加等社会因素共同促进了沿海地区围填海工程的快速发展，是驱动沿海地区围填海面积增加的主要因素。

辽宁省多为淤泥质海岸，围堤成本低，工艺简单且养殖利润高，所以养殖池一直是辽宁省围填海的主要类型；江浙地区拥有丰富的滩涂资源，广西省沿岸生长着大量的红树林，所以农业围垦在江苏、浙江和广西3省围填海总面积中所占比例较大。尖锐的人地矛盾一直是沿海地区发展面临的主要问题，从而催生了一个接一个围填海工程的热潮，致使30 a来待利用水面是围填海增加面积最大的利用类型。80年代以后，国家和各个地区开展了一系列的海岸带综合调查，为沿海地区的科学发展提供了强有力的支撑，各地区逐步摆脱了围垦扩展农业用地、围垦养殖的传统开发模式，走向了综合开发，规模经营的道路；同时，经济持续快速增长以及对外联系的迫切要求，扩大了人们对建设用地和港口的需求，从而共同导致了30 a来，农业围垦的逐渐减少和港口面积的不断增加。

综上所述：经济发展、政策扶持和人口增加等社会因素是沿海地区围填海面积增加的驱动因素；海岸类型、滩涂资源等自然因素以及土地需求、政策导向、对外联系需要等社会因素共同决定了各个地区围填海的利用类型。

5 结 论

本文利用 4 期遥感影像和中国沿海地区调查资料, 综合运用遥感和 GIS 技术, 结合 Google Earth/Google Maps 在线遥感信息, 完成了对中国沿海地区 1980—2010 年间海岸线变迁和围填海演变信息的提取, 并对其具体进程和相互关系进行了深入研究, 结论如下:

1) 近 30 a 来, 中国海岸线呈增长趋势, 变迁程度比较剧烈, 80 年代中国海岸线空间变化范围最大, 90 年代空间变化范围最小, 且中国海岸线的变迁方向是向海洋推进, 推进的趋势越来越明显。

2) 近 30 a 来, 浙江省、广东省和河北省围填海总增加面积较大, 福建省、广西省和海南省围填海总增加面积较小; 围填海利用类型经历了从农业用地为主到养殖池为主, 再到待利用水面为主的演变过程, 待利用水面是 30 a 来围填海增加面积最大的利用类型。港口所占比例不断上升, 而农业用地所占比例则在逐渐下降。

3) 修建港口码头、构筑建设用地、沿海养殖、农业围垦等人为因素是近 30 a 来中国海岸线变迁的关键因素; 围填海工程促使了海岸线向海洋方向推进, 并对海岸线长度增长起到了积极的促进作用。

[参 考 文 献]

- [1] 刘伟, 刘百桥. 我国围填海现状、问题及调控对策[J]. 广州环境科学, 2008, 23(2): 26—30.
Liu Wei, Liu Baiqiao. Current situation and countermeasures of sea reclamation in China[J]. Guangzhou Environmental Sciences, 2008, 23(2): 26—30. (in Chinese with English abstract)
- [2] 戴桂林, 兰香. 基于海洋产业角度对围填海开发影响的理论分析——以环渤海地区为例[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(7): 24—28.
Dai Guilin, Lan Xiang. Theoretical analysis of sea reclamation development based on the perspective of marine industry: as an example of the Bohai region[J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(7): 24—28. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李建国, 韩春花, 康慧. 滨海新区海岸线时空变化特征及成因分析[J]. 地质调查与研究, 2010, 33(1): 63—70.
Li Jianguo, Han Chunhua, Kang Hui. Causal analysis on the resent spatio-temporal changes of the shorelines in binhai new area, Bohai bay[J]. Geological Survey and Research, 2010, 33(1): 63—70. (in Chinese with English abstract)
- [4] 冯守珍, 于甲, 李杰. 广西海岛海岸线变迁与动态变化及影响分析[J]. 海岸工程, 2010, 29(3): 37—42.
Feng Shouzhen, Yu Jia, Li Jie. Coastline displacements and dynamical variabilities of some islands in Guangxi and their effects[J]. Coastal Engineering, 2010, 29(3): 37—42. (in Chinese with English abstract)
- [5] 赵迎东, 马康, 宋新. 围填海对海岸带生境的综合生态影响[J]. 齐鲁渔业, 2010, 27(8): 57—58.
Zhao Yingdong, Ma Kang, Song Xin. Sea reclamation integrated ecological impact on coastal Habitats[J]. 2010, 27(8): 57—58. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张国华, 郭艳霞, 黄韦良, 等. 1986 年以来杭州湾围垦淤涨状况卫星遥感调查[J]. 国土资源遥感, 2006, 17(2): 50—54.
Zhang Guohua, Guo Yanxia, Huang Weiliang, et al. A remote sensing investigation of inring and silting in Hangzhou bay since 1986[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2006, 17(2): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [7] 丁丽霞, 周斌, 张新刚, 等. 浙江大陆淤涨型海岸线的变迁遥感调查[J]. 科技通报, 2006, 22(3): 292—298.
Ding Lixia, Zhou Bin, Zhang Xingang, et al. Continental coastline change research by remote sensing in Zhejiang Province[J]. Bulletin of Science and Technology, 2006, 22(3): 292—298. (in Chinese with English abstract)
- [8] 马小峰, 赵东至, 邢小是, 等. 海岸线卫星遥感提取方法研究[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(2): 185—189.
Ma Xiaofeng, Zhao Dongzhi, Xing Xiaoshi, et al. Means of withdrawing coastline by remote sensing[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(2): 185—189. (in Chinese with English abstract)
- [9] 赵玉灵. 近 30 年来我国海岸线遥感调查与演变分析[J]. 国土资源遥感, 2010, 22(增刊): 174—177.
Zhao Yuling. The remote sensing dynamic monitoring of china's shoreline evolution in the past 30 years[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010, 22(Supp.): 174—177. (in Chinese with English abstract)
- [10] 陈正华, 毛志华, 陈建裕. 利用 4 期卫星资料监测 1986~2009 年浙江省大陆海岸线变迁[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(1): 68—73.
Chen Zhenghua, Mao Zhihua, Chen Jianyu. Coastline change monitoring using 4 periods remote sensing data in Zhejiang Province from 1986 to 2009[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(1): 68—73. (in Chinese with English abstract)
- [11] 吴正鹏, 奚歌, 王健洁. 基于多源遥感影像的围填海监测——以天津南港工业区为例[J]. 城市勘测, 2012, 23(6): 77—80.
Wu Zhengpeng, Xi Ge, Wang Jianjie. Reclamation monitoring based on the multi-source remote sensing image - As an example of Tianjin Nangang industrial zone[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2012, 23(6): 77—80. (in Chinese with English abstract)
- [12] 赵明才, 章大初. 海岸线定义问题的讨论[J]. 海岸工程, 1990, 9(4): 91—99.
Zhao Mingcai, Zhang Dachu. Discussions on the definition of shoreline[J]. Coastal Engineering, 1990, 9(4):

- 91—99. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王长海, 邱桔斐, 丁红. 海域使用中有关海岸线的问题探讨[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(4): 51—56.
Wang Changhai, Qiu Jufei, Ding Hong. Discussion about issue related to coastline in sea area use[J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(4): 51—56. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王祎萍, 李瑞敏, 王轶, 等. 海岸线变化的地质指标体系[J]. 地质通报, 2011, 30(11): 1752—1756.
Wang Weiping, Li Ruimin, Wang Yi, et al. Geoindicator system of coastline changes[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(11): 1752—1756. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张鹰, 邱永红. 海岸带地物特征的遥感信息提取方法[J]. 海洋预报, 2002, 19(3): 14—21.
Zhang Ying, Qiu Yonghong. Remote sensing information extraction of coastal land features[J]. Marine Forecasts, 2002, 19(3): 14—21. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张振德, 肖继春. 遥感在滩涂演变调查中的应用方法研究[J]. 国土资源遥感. 1995, 7(3): 25—28.
Zhang Zhende, Xiao Jichun. The application of remote sensing to investigate tidal flat evolution[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 1995, 7(3): 25—28. (in Chinese with English abstract)
- [17] 霍继双, 王超, 王正志. 一种基于多阈值的形态学提取遥感图象海岸线特征方法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 805—809.
Huo Jishuang, Wang Chao, Wang Zhengzhi. A multi-threshold based morphological approach for extracting coastal line feature from remote sensed images[J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(7): 805—809. (in Chinese with English abstract)
- [18] 于永海, 苗丰民, 王玉广, 等. 基于 3S 技术的海岸线测量与管理应用研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 6(19): 24—27.
Yu Yonghai, Miao Fengmin, Wang Yuguang, et al. Study on application of 3S techniques in coastline surveying and managing[J]. Geography and Geo-Information Science, 2003, 6(19): 24—27. (in Chinese with English abstract)
- [19] 崔步礼, 常学礼, 陈雅琳, 等. 黄河口海岸线遥感动态监测[J]. 测绘科学, 2007, 32(3): 108—109.
Cui Buli, Chang Xueli, Chen Yalin, et al. Dynamic monitoring of coastline in the Yellow River Estuary by Remote sensing[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(3): 108—109. (in Chinese with English abstract)
- [20] 严海兵, 李秉柏, 陈敏东. 遥感技术提取海岸线的研究进展[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 100—105.
Yan Haibing, Li Bingbai, Chen Mindong. Progress of researches in coastline extraction based on rs technique[J]. Areal Research and Development, 2009, 28(1): 100—105. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘琴琴. 基于 3S 技术的广东省围填海调查与分析[D]. 济南: 山东科技大学, 2010: 45—55.
Liu Qinqin. Survey and Analysis of Sea Reclamations in Guangdong Province Based on 3S Technology[D]. Jinan: Shandong University of Science and Technology, 2010: 45—55. (in Chinese with English abstract)
- [22] 姚月, 许惠平. 福建围填海及其对海洋环境影响的遥感初探[J]. 热带海洋学报, 2012, 31(1): 72—78.
Yao Yue, Xu Huiping. Preliminary application of remote sensing: Reclamation on Fujian coast and its effects on marine environment[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2012, 31(1): 72—78. (in Chinese with English abstract)
- [23] 盛静芬, 朱大奎. 海岸侵蚀和海岸线管理的初步研究[J]. 海洋通报, 2002, 21(4): 50—57.
Sheng Jingfen, Zhu Dakui. Discussion about coastline erosion and management[J]. Marine Science Bulletin, 2002, 21(4): 50—57. (in Chinese with English abstract)
- [24] 朱志伟, 高茂生, 朱远峰. 海岸带基本类型与分布的定量分析[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 315—321.
Zhu Zhiwei, Gao Maosheng, Zhu Yuanfeng. Quantitative analysis of basic types of coastal zones and their distribution[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 315—321. (in Chinese with English abstract)
- [25] Marfai M A, Almohammad H, King L. Coastal dynamic and shoreline mapping multi-sources spatial data analysis in Semarang Indonesia[J]. Environ Monit Assess, 2008, 142(1/3): 297—308.
- [26] 柯丽娜, 王权明. 基于 RS 的辽宁省海岸线 1990—2005 年动态变化及驱动力分析[J]. 海洋开发与管理, 2012, 29(7): 54—56.
Ke Lina, Wang Quanming. Dynamic change and driving force analysis on coastline in liaoning province from 1990 to 2005 based on remote sensing[J]. Ocean Development and Management, 2012, 29(7): 54—56. (in Chinese with English abstract)
- [27] 冯伍法, 潘时祥, 张朝阳, 等. 中国海岸带分布规律及其海部要素变化检测[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(5): 370—377.
Feng Wufa, Pan Shixiang, Zhang Chaoyang, et al. The distributing rules and the change detection of coast-elements for Chinese coastland[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2006, 23(5): 370—377. (in Chinese with English abstract)

Analysis on changes in coastline and reclamation area and its causes based on 30-year satellite data in China

Gao Zhiqiang, Liu Xiangyang, Ning Jicai, Lu Qingshui

(Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Science, Yantai 264003, China)

Abstract: Since the reform and open-door policy in 1978, China coastal zone has experienced huge changes under a large number of coastal projects. However, there are few studies on the whole China coastline change and reclamation evolution during the period. For this reason, China's coastline and coastal reclamation change information were extracted from 1980 to 2010 period, from which four remote sensing images and the Chinese coastal survey data were used. In addition, Google Earth / Google Maps online remote sensing information was used as an auxiliary. Based on these, in-depth research on specific processes and driving forces of coastline change and reclamation evolution in the past 30 years were conducted. First, Chinese coastal zone was divided into nine regions combining with policy, economic, and natural factors as well as the administrative division. Then, we analyzed coastline change from five aspects which contained coastline length change, coastline change extent, coastline change area, coastline change direction and reasons of coastline change in combination with using two indicators: coastline change degree and coastline forward degree. Correspondingly, we also analyzed reclamation evolution from three aspects: reclamation added area, land use types of reclamation and reasons of reclamation evolution. The results demonstrated that China's coastline length showed an increasing trend and a drastic change degree in the past 30 years. The change direction of China's coastline has been promoting to the ocean and the trend became more and more obvious. Situations of coastline change varied with time and region. China's coastline length increment and trend to ocean were most remarkable from year 2000 to 2010. It had the largest change area in the 1980s, while the smallest change area was found in the 1990s. Shanghai – Jiangsu and Jing – Jin – Tang had significant coastline changes while the changes of Guangxi province and Hainan province were rather mild. The minimum increase of China's coastal reclamation area was found during the period of year 1990 to 2000, while the maximum area increase was found during the period of year 2000 to 2010 and much larger than the amount of area increase in other periods. The coastal reclamation for land use type had been changed from mainly agricultural land to the pond and then to unused water surface in the past 30 years. The unused water surface was the largest increased reclamation land use type. The proportion of port was increasing, while the proportion of agricultural land gradually decreased. China's coastline change was mainly induced by human factors for construction of ports, coastal aquaculture and etc. Natural and social factors such as economic development, population increase, coast type, distribution of tidal flat et al., together determined the evaluation of coastal reclamation. This paper can serve as the scientific foundation for management and sustainable development in the coastal areas of China.

Key words: remote sensing; land use; consolidation; coastal reclamation; coastline; China; variation