

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2020.04.011

1990—2017 年杭州湾大陆岸线时空变迁分析

王力彦, 邢喆, 侯辰, 章任群, 张苗苗, 杨慧贤

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘 要: 以 1990、2000、2005、2010、2014、2017 年遥感影像为数据源, 采用人机交互的方式提取杭州湾各时期大陆岸线。通过对岸线长度和类型、岸线变化速率, 以及岸线变化区域类型的变化情况统计, 综合分析杭州湾大陆岸线时空变迁规律。研究表明, 20 世纪 90 年代以来, 杭州湾大陆岸线整体向海一侧推进, 自然岸线保有率持续下降。围填海等工程建设是导致岸线变化的主要因素, 加强对围填海工程的管控和海岸线保护与利用管理, 可以进一步优化资源配置, 促使科学合理的海岸带格局的形成。

关键词: 遥感影像; 杭州湾; 大陆岸线; 时空变迁

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2020)04-0481-07

The spatio-temporal change analysis of mainland coastline in Hangzhou Bay from 1990 to 2017

WANG Liyan, XING Zhe, HOU Chen, ZHANG Renqun, ZHANG Miaomiao, YANG Huixian

(National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Abstract: Using remote sensing images obtained in 1990, 2000, 2005, 2010, 2014 and 2017, mainland coastline in Hangzhou Bay was extracted with man-computer interaction. By calculating the coastline length, type, changing rate and type of changing areas, the spatio-temporal changing rule of the extracted mainland coastline was analyzed. Results showed that, the mainland coastline in Hangzhou Bay was pushed towards the sea and the natural coastline preservation rate kept decreasing since the 1990s. It demonstrated that reclamation engineering was the main factor of these changes. A more scientific and reasonable natural coastline pattern would be established by strengthening both the control of reclamation engineering and the management of coastline protection and utilization.

Keywords: remote sensing images; Hangzhou Bay; mainland coastline; spatio-temporal changing rule

大陆岸线是海陆相互交汇的界线, 蕴藏着丰富的生物资源和景观资源(严恺等, 2002), 其时空变迁对海岸带的自然地理环境有重要指示作用, 不但表现为岸线位置变迁和类型转变, 还会引起海岸带滩涂资源的演化, 对生物多样性、滨海湿地生态系统及近岸海洋环境产生影响, 进而影响人类的生存环境(高义等, 2013; 杨磊等, 2014)。大陆岸线信息提取与变化监测对海岸资源管理、海岸环境保护、海岸可持续发展, 以及合理规划起到至关重要的作用(Li et al, 2002)。改革开放以来, 随着中

国沿海经济带的不断发展, 中国大陆岸线在自然作用和人类活动的共同影响下发生了剧烈的变化。杭州湾位于我国沿海中部, 长江三角洲南翼, 是钱塘江河口区外海滨部分, 外形呈喇叭状, 自海口向内由宽变窄。其大陆岸线类型多样, 沿岸资源丰富。通过对杭州湾大陆岸线的变化监测与成因分析, 可以为大陆岸线的变迁规律研究提供借鉴和参考, 对于沿海生态环境保护、资源开发和可持续发展意义重大。

遥感具有宏观、高时效、可重复观测的优点

收稿日期: 2018-07-31; 修订日期: 2020-02-02

基金项目: “全球变化与海气相互作用”专项(GASI-02-PAC-YGDL01)

作者简介: 王力彦(1987-), 硕士, 工程师, 主要从事海洋遥感数据处理与分析研究。电子邮箱: wly_smile@163.com

(彭修强等, 2014; 许宁等, 2016), 能够快速准确地提取杭州湾大陆岸线的变化信息, 从而实现海岸动态实时监测。杨金中等 (2002) 选用杭州湾 20 世纪 50—70 年代的航空摄影图像和 20 世纪 70 年代以来的 MSS、TM、IRS 卫星扫描资料, 对杭州湾南北两岸的岸线进行了遥感调查, 研究岸线变迁规律及影响因素, 为杭州湾合理开发、管理和保护提供了依据。张华国等 (2005) 利用 1986 年以来 8 个时相的 TM/ETM+ 遥感数据, 调查杭州湾围垦淤涨情况, 发现杭州湾岸线变化主要是由人工围垦和滩涂养殖引起。李建佳 (2013) 基于近 30 年来的杭州湾地区遥感影像和两岸的历史变迁资料, 系统分析了杭州湾两岸岸滩冲淤的历史和近期的演变规律。徐凉慧 (2015) 以 1990、2000、2010 年的 TM 遥感影像、野外实地考察数据、地图及其他相关参考数据等为数据源, 利用 3S 等技术手段, 对浙江省大陆岸线的时空演化特征、空间格局及围填海格局进行了分析评价。邵明明 (2016) 采用历史资料和 Landsat MSS、TM、ETM+ 遥感影像数据, 分析了 1962、1973、2005、2015 年 4 个不同时期杭州湾海岸线的变化情况, 研究近 53 年岸线变迁对其内部水动力过程的影响及作用机理。叶梦姚等 (2017) 以 1990—2015 年 6 期的 TM/OLI 遥感影像为数据源, 利用 RS 和 GIS 技术, 分析了浙江省大陆岸线变迁及开发利用空间格局变化。张琳等

(2017) 以 1985、1995、2005 年 TM 影像和 2015 年 OLI 影像为数据源提取浙江省大陆岸线, 分析了各期岸线长度、围填面积和土地利用类型及分形维数的变化情况。这些研究均在一定程度上涉及了杭州湾大陆岸线变化情况分析, 但是也存在一些问题。主要表现在: 其一, 研究采用数据以中等分辨率影像为主; 其二, 部分研究范围为浙江全省, 对杭州湾区域的分析较少; 其三, 部分研究受学科限制, 分析方法相对单一。

本文以中、高分辨率遥感影像为数据源, 分别提取杭州湾 1990、2000、2005、2010、2014、2017 年 6 个时期的大陆岸线, 从岸线长度和岸线类型、岸线变化趋势以及岸线变化区域类型 3 个方面分析其时空变迁规律和形成原因, 可以掌握 20 世纪 90 年代以来海岸开发对杭州湾大陆岸线的影响, 为未来海域合理使用与开发提供参考依据。

1 研究区及数据

1.1 研究区概况

杭州湾西起浙江省海盐县澉浦镇和慈溪市之间的西三丰收闸断面, 与钱塘江水域为界; 东至上海扬子角—宁波镇海区连线, 与舟山市、北仑区海域为邻; 南连宁波镇海区, 北接上海金山区 (图 1)。其上游接入钱塘江, 下游濒临东海, 是比较典型的



图 1 杭州湾地理位置示意图

河口海湾。由于湾底的地貌地形和海湾的喇叭状外形特征，使得这里经常产生巨大海潮差，出现涌潮或是暴涨潮现象。在潮汐、风浪等水动力作用下，杭州湾南、北两岸长期受到侵蚀、淤积的作用，使其两岸岸线、潮滩发生较大的演变（李亮，2015）。

1.2 数据源

研究收集了杭州湾 1990、2000、2005、2010、2014、2017 年共 6 个年份的遥感影像，数据见表 1。一方面，随着遥感技术的革新和新型传感器的出现，遥感影像分辨率显著提升；另一方面，所有卫星影像数据均为无云或少云遮挡，能够清晰地辨认大陆岸线所在的位置，有利于岸线的提取。

表 1 遥感影像数据列表

年份	影像类型	空间分辨率/m
1990	Landsat TM	30
2000	Landsat TM	30
2005	SPOT5	5
2010	SPOT5	5
2014	GF-1、GF-2、ZY-3 等	2
2017	GF-1、GF-2、ZY-3 等	2

考虑到各时期遥感影像由于传感器不同导致空间位置和分辨率存在差异，对上述数据进行标准化处理。以 2005 年“我国近海海洋综合调查与评价专项”（简称“908 专项”）SPOT 5 影像数据为基准，利用 ENVI 软件采用二次多项式和双线性内插重采样法，对各期影像进行几何精校正和重采样处理，得到标准化后的遥感影像，用于岸线信息提取（廖甜等，2016）。

2 大陆岸线提取方法

根据《我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程》（国家海洋局 908 专项办公室，2007）相关内容建立杭州湾大陆岸线遥感解译标志库（表 2），采用人机交互方式采集各时期大陆岸线。具体方法是以 908 专项修测岸线和海域确权数据为参考，首先确定 2005 年大陆岸线位置，然后在此基础上依据遥感解译标志依次向前提取 2000、1990 年大陆岸线，向后提取 2010、2014、2017 年大陆岸线。为避免不同年份间主观判断不一致而造成的岸线变化干扰，仅对大陆岸线类型和空间位置

发生变化的岸段进行编辑。

表 2 遥感解译标志

一级分类	二级分类	大陆岸线位置
人工岸线		人工岸线一般位于永久性构筑物向海一侧的边缘线。
自然岸线	基岩岸线	基岩岸线一般位于明显的水陆分界线处，多为陡崖的基部。
河口岸线		河口岸线一般位于河口区域的道路、桥梁、防潮闸、各省（自治区、直辖市）“海洋功能区划”的边界线或河口突然展宽处的突出点连线处。

为了定量分析大陆岸线时空变迁的成因，在岸线的基础上进一步对大陆岸线变化区域进行分类提取。大陆岸线变化区域是指两个不同年份的大陆岸线相互叠加，在岸线位置发生变化的地方围成的面状区域。大陆岸线变化区域分类体系见表 3。

表 3 大陆岸线变化区域类型

区域类型	类型描述
填海造地	将海域通过人工技术手段填成陆地。
围海工程	通过筑堤或其他手段，以完全或不完全闭合形式围割海域。
河口变化	通过人工治理造成的河口岸线变化，简称河口变化。
退陆还海	通过自然或人工的方式，将陆地重新变成海域。

3 大陆岸线提取结果

分别提取杭州湾 1990、2000、2005、2010、2014、2017 年 6 个时期大陆岸线以及 1990—2000 年、2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2014 年、2014—2017 年间大陆岸线变化区域，并对大陆岸线变化区域进行分类，结果如图 2—图 4 所示。

4 大陆岸线时空变迁分析

4.1 基于大陆岸线长度和类型的分析

针对不同年份大陆岸线提取结果，统计各年份大陆岸线总长度，分析岸线长度变化趋势。基于 908 专项岸线成果中自然岸线分布情况，结合遥感影像对 2005、2010、2014、2017 年自然岸线分布情况进行统计，同时结合岸线总长度统计结果，研究自然岸线保有率变化情况（表 4）。值得注意的

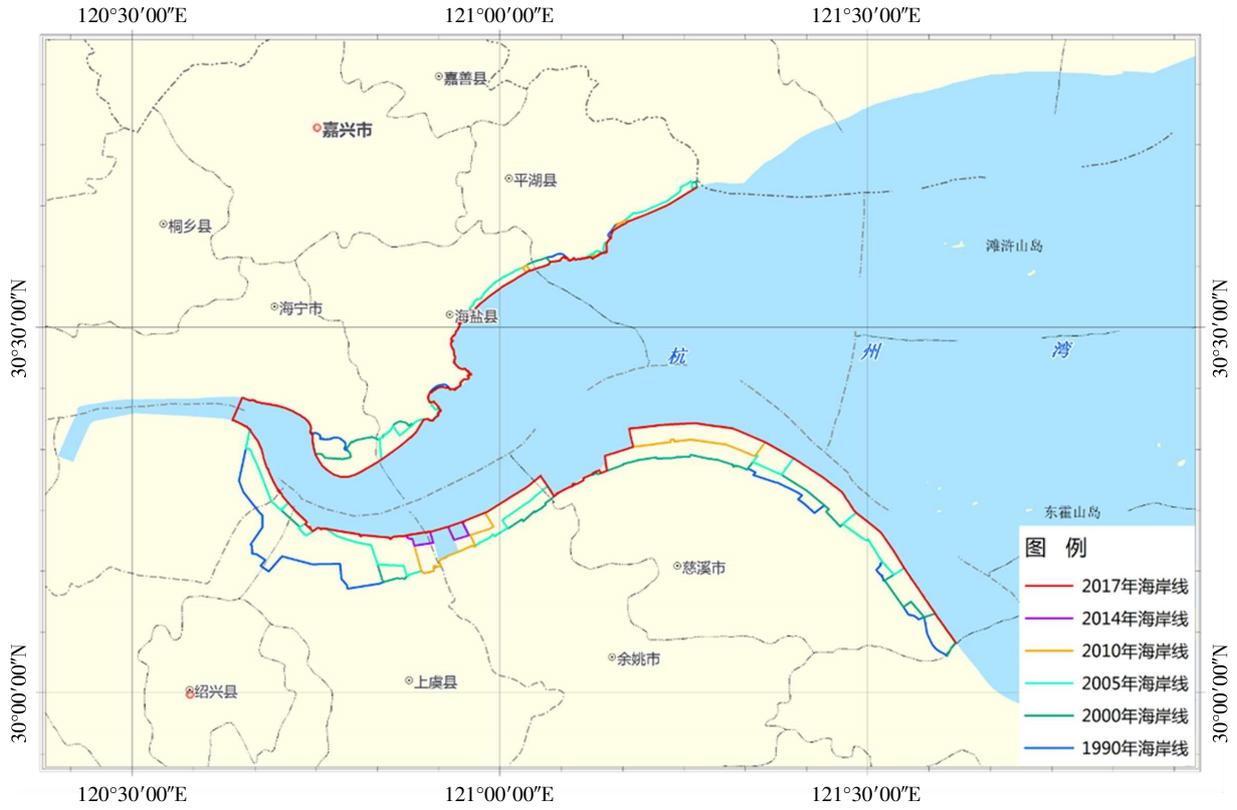


图2 杭州湾大陆岸线提取结果

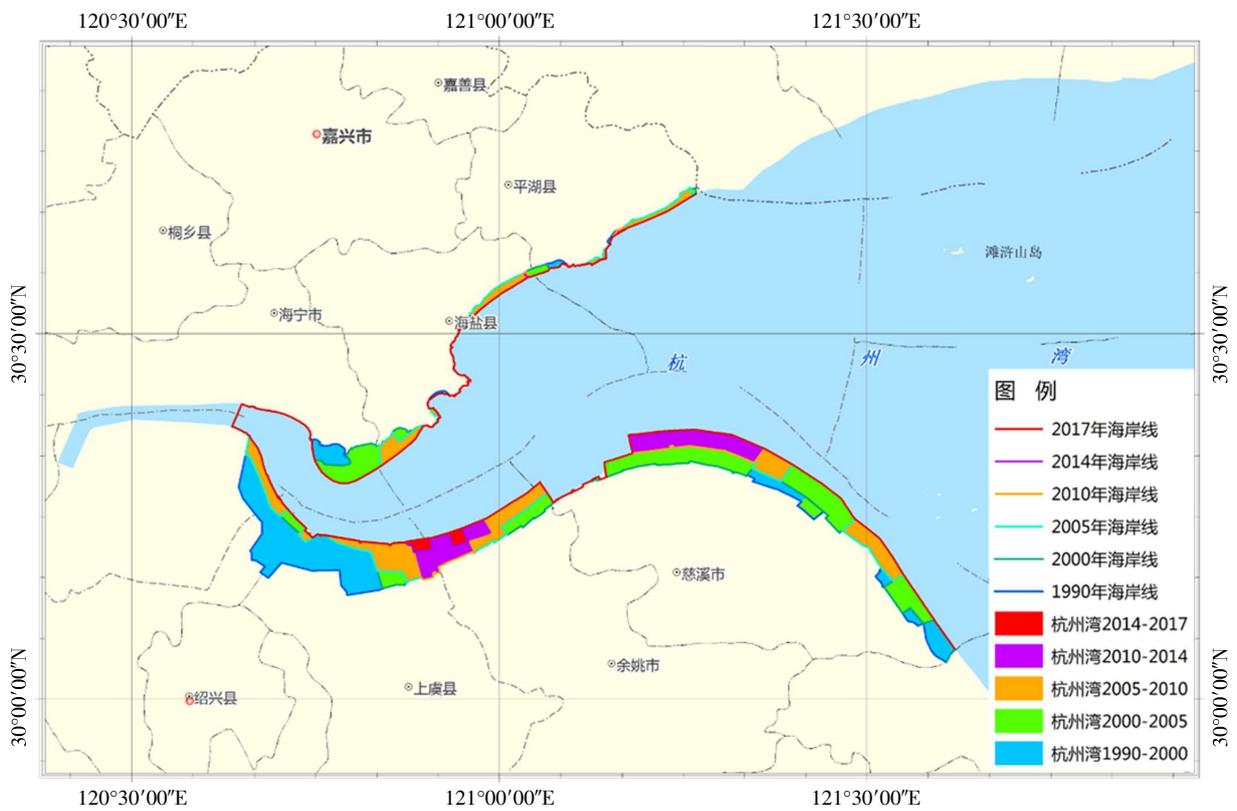


图3 杭州湾大陆岸线变化区域提取结果

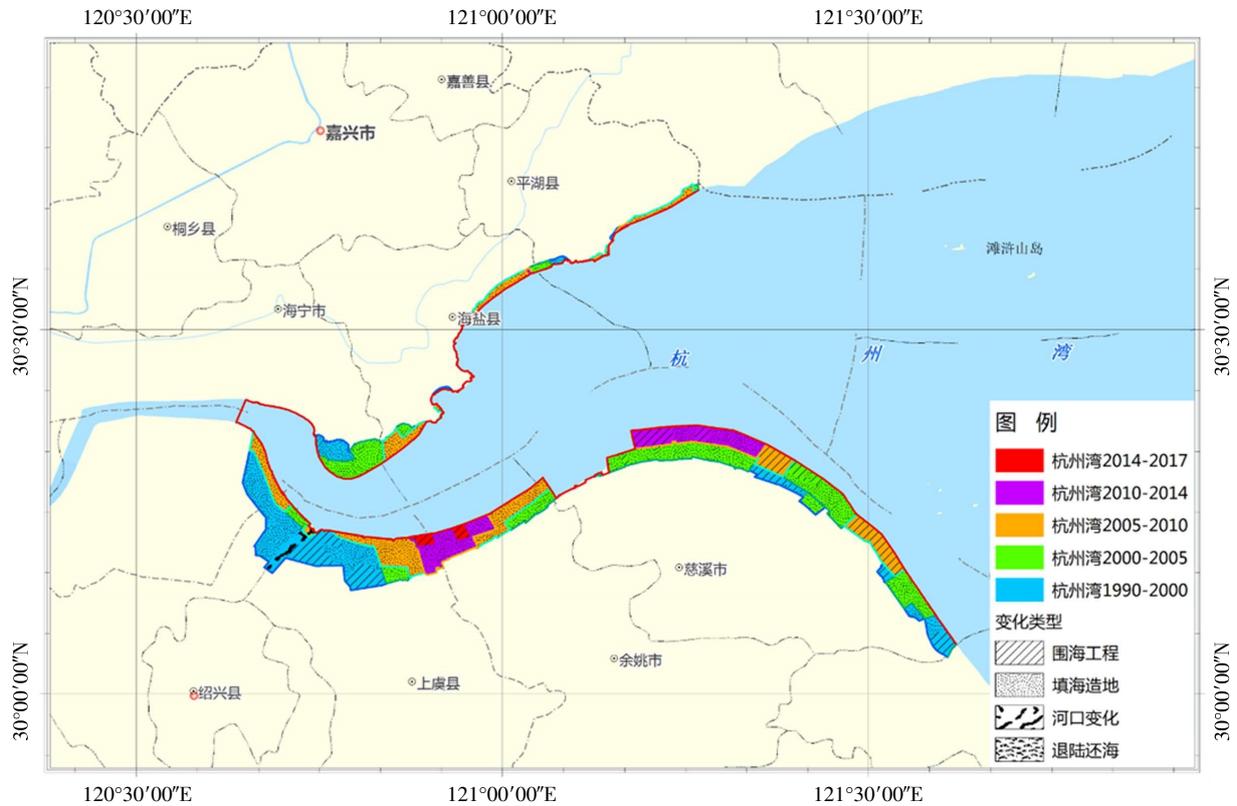


图 4 杭州湾大陆岸线变化区域分类结果

是，由于 1990、2000 年影像分辨率较低，为了避免由于影像误判造成的影响，暂不讨论这两个年份的自然岸线分布。

表 4 大陆岸线长度和岸线类型变化统计 (单位: km)

年份	1990	2000	2005	2010	2014	2017
自然岸线长度	—	—	13.07	8.43	7.71	7.71
河口岸线长度	—	—	5.14	4.36	4.36	4.36
人工岸线长度	—	—	251.09	243.67	237.93	230.75
南段岸线长度	152.70	144.08	153.83	147.92	143.97	136.79
北段岸线长度	108.84	111.95	115.47	108.53	106.03	106.03
大陆岸线总长度	261.54	256.00	269.29	256.44	250.00	242.82
自然岸线保有率/%	—	—	4.85	3.29	3.08	3.18

为了直观地展示大陆岸线总长度及其类型构成的变化趋势，图 5 给出了 2005 年以来大陆岸线类型权重分布统计结果。

结合表 4 和图 5 可以看出，1990—2017 年间，杭州湾大陆岸线总长度在 1990—2000 年间有所减少，2000—2005 年间转而增加并达到最大值，2005 年以后又呈现出明显的递减趋势。其中，南

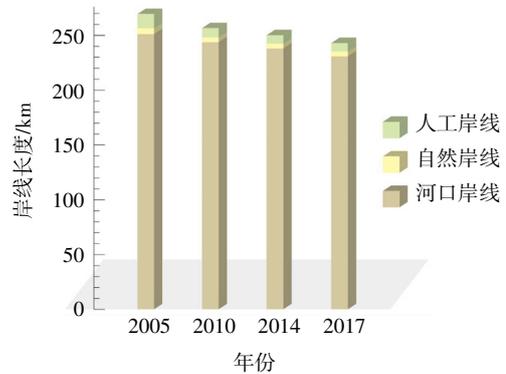


图 5 大陆岸线类型权重分布统计图

段岸线的长度变化较之北段岸线波动较大。而 2005—2014 年间自然岸线长度逐渐减少，相应的自然岸线保有率也有明显降低。2014—2017 年间，由于国家对自然岸线保护工作的重视，自然岸线长度没有发生变化，大陆岸线总长度的减少造成自然岸线保有率微弱提升。

4.2 基于大陆岸线变化速率的分析

岸线变化速率是用于分析海岸变化过程和预测海岸变化趋势的常用指标。岸线变化速率分析是利

用历史岸线位置随时间的变化计算岸线变化速率的方法。采用端点速率法(黎良财等, 2015)定量分析杭州湾大陆岸线变化速率过程如下:

(1) 根据大陆岸线数据生成大致平行于海岸的基线, 保证各期岸线均位于基线的同一侧。

(2) 在基线上以等间距向大陆岸线作垂线, 每一个垂线对应一个编号, 任意两期岸线与垂线交点的距离, 即为对应时期岸线变化距离, 从而可以定量地分析任一时期大陆岸线的变迁速率。

所谓的端点速率法就是基于基线, 计算两期大陆岸线在垂线上的距离与对应时期的时间间隔之间

的比值, 计算公式如下:

$$EPR_{m(i,j)} = \frac{D_{mj} - D_{mi}}{T}$$

式中: $EPR_{m(i,j)}$ 为 i, j 两个时相大陆岸线在 m 条基线上的变化速率, D_{mj} 、 D_{mi} 分别为 i, j 两个时相大陆岸线在第 m 条垂线的交点至基线的距离, T 为 i, j 两个时相的时间间隔。

本文采用端点速率法定量分析 1990—2000、2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2014 年和 2014—2017 年杭州湾大陆岸线变化速率, 结果见表 5。

表 5 大陆岸线变化速率统计 (单位: $m \cdot a^{-1}$)

变化速率	1990—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2014 年	2014—2017 年	
南段岸线	最大值	846.60	1 282.11	1 207.76	1 949.36	920.42
	最小值	0.00	0.00	0.00	-0.48	0.00
	均值	131.05	193.39	157.29	133.24	25.68
北段岸线	最大值	514.39	1454.63	977.88	237.23	0.00
	最小值	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	均值	23.58	80.90	76.08	4.90	0.00

结合大陆岸线提取结果和变化速率统计结果可以看出, 1990—2017 年期间杭州湾大陆岸线整体以较快的速率向海一侧推进。其中, 以 2000—2005 年和 2005—2010 年推进速率最快, 2014—2017 年推进幅度明显减弱。以河口为界, 北段岸线向海推进幅度较缓, 以海宁市和海盐县交界附近区域推进幅度最大。南段岸线则普遍以较大的幅度向海推进, 岸线平直、整齐, 说明人类活动是促使岸线向海推进的主要原因, 且南岸人类活动较之北岸更加剧烈。

4.3 基于大陆岸线变化区域类型的分析

大陆岸线变化区域类型分析是通过在不同时相间大陆岸线变化区域进行分类统计以定量分析造成岸线变化的原因。其过程如下。

(1) 将相邻年份的岸线进行叠加, 然后由线转

成面, 在生成的面文件中, 岸线重叠的位置为空, 岸线发生变化的部分构成变化区域。

(2) 对生成的岸线变化区域进行面积统计, 设定阈值, 对不具有统计意义的图斑予以舍弃。

(3) 对 b 中得到的岸线变化区域进行分类, 分别统计各类型变化区域的变化面积(表 6)。

可以看出, 虽然 4 个阶段大陆岸线变化区域围成的总面积逐渐减少, 但是平均每年的变化强度却有显著的不同。其中, 2000—2005 年变化最为剧烈, 2005—2010 年次之, 2010—2014 年和 1990—2000 年变化强度一般, 2014—2017 年变化最为缓慢。

此外, 为了更加直观地分析造成 1990—2000 年、2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2014 年、2014—2017 年间大陆岸线变化的原因, 图 6 展示

表 6 大陆岸线变化区域类型统计 (单位: km^2)

变化区域类型	1990—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2014 年	2014—2017 年
填海造地	96.531 2	155.912 8	102.745 1	61.510 8	0.000 0
围海工程	59.644 7	8.658 0	36.187 9	19.180 2	9.150 0
河口变化	10.609 4	0.000 0	1.679 2	0.000 0	0.000 0
退陆还海	0.000 0	0.000 0	0.002 7	0.000 0	0.000 0
总变化	166.785 2	164.570 8	140.614 9	80.691 0	9.150 0
年平均变化	16.678 5	32.914 2	28.123 0	20.172 8	3.050 0

了各阶段大陆岸线变化区域的类型分布。由于退陆还海变化区域面积积极小, 在图中未予显示。可以看出, 填海造地在大陆岸线变化区域类型权重分布中占比高达 57.88%~94.74%, 是造成杭州湾大陆岸线变化的最重要影响因素。其次是围海工程, 其在

1990—2014 年大陆岸线变化区域类型权重分布中占比达 5.26%~35.76%, 在 2014—2017 年间占比更是高达 100%。河口变化造成的大陆岸线变化相对较少, 即使在其权重分布占比最高的 1990—2000 年, 也仅占 6.36%。

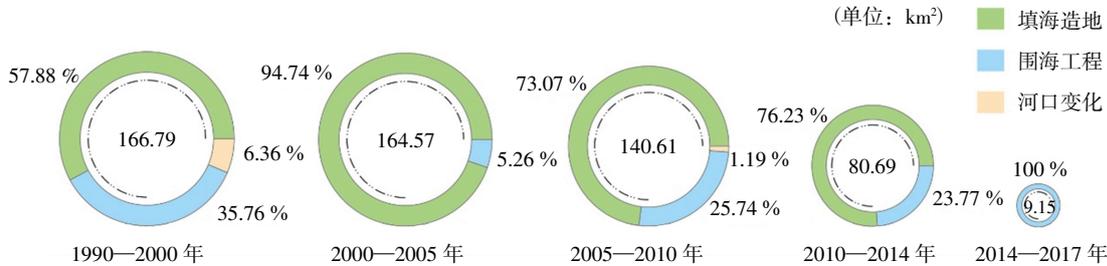


图 6 大陆岸线变化区域类型权重分布统计图

5 结束语

本文针对杭州湾 1990、2000、2005、2010、2014、2017 年大陆岸线提取结果展开研究, 通过对岸线长度和岸线类型、岸线变化速率以及岸线变化区域类型等 3 方面的分析, 探讨 1990—2017 年期间杭州湾大陆岸线的时空变迁规律和形成原因, 得出了以下结论。

(1) 杭州湾大陆岸线总长度在 1990—2005 年间存在一定的波动, 2005 年达到最大值, 之后至 2017 年表现出明显的递减趋势; 自然岸线整体呈递减趋势发展, 相应的自然岸线保有率也逐渐下降。

(2) 20 世纪 90 年代以来, 杭州湾大陆岸线整体向海一侧推进。一方面, 南岸岸线推进幅度比北岸明显得多; 另一方面, 平直、整齐的南岸岸线, 说明人类活动是促使岸线向海推进的主要原因。

(3) 围填海等工程建设是造成杭州湾大陆岸线变迁的主要影响因素。特别是 2000—2010 年间, 大陆岸线变化强度的剧增, 是围填海工程建设不断加强的直接后果。

(4) 随着 2017 年《海岸线保护与利用管理办法》的颁布, 国家对围填海工程的管控和对海岸线保护与利用管理的加强, 可以有效控制杭州湾大陆岸线的变化趋势, 促使科学合理海岸带格局的形成。

参 考 文 献

- 高义, 王辉, 苏奋振, 等, 2013. 中国大陆海岸线近 30a 的时空变化分析[J]. 海洋学报, 35(6): 31-42.
- 国家海洋局 908 专项办公室, 2007. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程[M]. 北京: 海洋出版社.
- 黎良财, LU Dengsheng, 张晓丽, 等, 2015. 基于遥感的 1987—2013 年北部湾海岸线变迁研究[J]. 海洋湖沼通报, (4): 132-141.
- 李建佳, 2013. 杭州湾岸线演化及稳定性研究[D]. 杭州: 浙江大学.
- 李亮, 2015. 杭州湾沿岸植被覆盖度遥感监测及变化研究[D]. 上海: 上海师范大学.
- 廖甜, 蔡廷禄, 刘毅飞, 等, 2016. 近 100a 来浙江大陆海岸线时空变化特征[J]. 海洋学研究, 34(3): 25-33.
- 彭修强, 夏非, 张永战, 2014. 苏北废黄河三角洲海岸线动态演变分析[J]. 海洋通报, 33(6): 630-636.
- 邵明明, 2016. 围垦工程对杭州湾潮波动力过程的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学.
- 徐琼慧, 2015. 岸线开发影响下的浙江省海岸类型及景观演化研究[D]. 宁波: 宁波大学.
- 许宁, 高志强, 宁吉才, 2016. 基于分形维数的环渤海地区海岸线变迁及成因分析[J]. 海洋学研究, 34(1): 45-51.
- 严恺, 梁其苟, 2002. 海岸工程[M]. 北京: 海军出版社.
- 杨金中, 李志中, 赵玉灵, 2002. 杭州湾南北两岸岸线变迁遥感动态调查[J]. 国土资源遥感, (1): 23-28.
- 杨磊, 李加林, 袁麒麟, 等, 2014. 中国南方大陆海岸线时空变迁[J]. 海洋学研究, 32(3): 42-49.
- 叶梦姚, 李加林, 史小丽, 等, 2017. 1990—2015 年浙江省大陆岸线变迁与开发利用空间格局变化[J]. 地理研究, 36(6): 1159-1170.
- 张华国, 郭艳霞, 黄韦良, 等, 2005. 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, (2): 50-54.
- 张琳, 潘玉良, 雷惠, 等, 2017. 近 30 年浙江省大陆海岸线遥感监测与变迁分析[J]. 科技通报, 33(12): 54-59.
- Li R X, Ma R J, Di K C, 2002. Digital tide-coordinated shoreline [J]. Marine Geodesy. 25(1-2): 27-36.

(本文编辑: 崔尚公)