

文章编号: 1672-8785(2017)09-0020-08

近 30 年上海大陆海岸线的遥感提取及变迁分析

孙 品^{1,2} 巩彩兰^{1*} 胡 勇¹ 张文奇^{1,2} 宋文韬^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 以上海海岸带为研究区域, 以 1985~2015 年的 Landsat 系列影像为数据来源, 提出了一种关于海岸线遥感提取的新思路。结合面向对象影像分割、阈值选取、边缘检测和潮位校正等过程, 分幅提取了研究区 7 个年份的海岸线。同时分析了近 30 年来上海海岸线的变迁规律。结果表明, 受自然和人为两方面因素的影响, 上海海岸线的变迁整体表现为岸线外推、海岸淤涨。海岸线的总长度表现为上升态势: 从 1985 年的 176.54 km 到 2015 年的 189.77 km, 新增的岸线长度为 13.23 km。该研究成果揭示了上海海岸带的发展进程, 为人们进一步提取和分析上海海岸带的土地利用变化规律提供了数据基础和参考价值。

关键词: 海岸线; 遥感影像; 面向对象分割; 水陆分离; 上海海岸带

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.09.004

Extraction and Change Detection of Shanghai Continental Coastline Using RS Imagery in Recent 30 Years

SUN Pin^{1,2}, GONG Cai-lan^{1*}, HU Yong¹, ZHANG Wen-qi^{1,2}, SONG Wen-tao^{1,2}

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Taking Shanghai coast zone as the study area and using the 1985-2015 landsat images as the data source, a new method for coastline extraction is proposed. By incorporating the processes such as object-oriented image segmentation, threshold selecting, edge detection and tide correction, the coastline within the study area over seven years is extracted frame by frame. The change rule of the coastline in Shanghai in recent thirty years is analyzed. The result shows that the change of the coastline in Shanghai is affected by both natural and human factors. The total change of the coastline in Shanghai appears as coastline outward extension and siltation. The total length of the coastline exhibits the trend of rising. The coastline increases from 176.54 km in 1985 to 189.77 km in 2015. The length of the new added coastline is 13.23 km. This research result reveals the developing process of Shanghai coast zone. It lays a basis for the further extraction and analysis of the change rule of land use in Shanghai coast zone.

Key words: coastline; remote sensing image; object-oriented segmentation; separation of land and water; Shanghai coast zone

收稿日期: 2017-04-07

基金项目: 中国科学院上海技术物理研究所创新专项项目 (CX-56)

作者简介: 孙品 (1993-), 男, 湖北天门人, 硕士, 主要研究方向为遥感影像信息提取技术。

* 通讯作者: E-mail: gclxw@163.com

0 引言

在海岸带研究领域, 海岸线的调查、信息提取及变迁研究是一项重要内容^[1]。海岸线是指由多年平均大潮高潮所形成的海水与陆地分界的痕迹线。不断发展与成熟的遥感和地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 技术可为海岸带调查提供实时、快速、全天候的技术支撑^[2]。与普通的地表调查相比, 遥感影像信息提取技术能够获取更多肉眼难以识别的信息, 因此已成为研究大范围海岸线变迁的重要工具^[3]。在海岸线提取技术方面, 国内外常用的方法包括边缘检测^[4]、区域生长^[5]、数学形态学^[6]和小波分析^[7]等。Wu Q S 等人提出了一种基于密度分割和 GIS 边缘追踪的海岸线检测方法^[8]。张旭凯等人提出了一种结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取方法。该方法所提取的海岸线精度较高^[9]。贾明明等人结合面向对象方法, 利用多源遥感数据提取了杭州湾的海岸线。结果表明, 该方法所提取的多期海岸线精度均在 90% 左右^[10]。通过借鉴将面向对象方法用于海岸线提取的研究思路, 本文以 1985 ~ 2015 年上海海岸带的 Landsat 系列影像作为数据来源, 结合面向对象影像分割、阈值提取、边缘检测和潮位校正等过程, 分幅提取了上海海岸带多个年份的大陆海岸线, 同时统计了近 30 年来上海海岸线变化的位置、方向和长度等动态信息。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区

上海海岸带位于北纬 30°40' 至 31°53' 之间, 地处我国沿海岸线与长江入海口的交汇点, 包括长江口南岸岸带及岛屿和杭州湾北岸岸带两部分。上海海岸带有着悠久的围垦开发历史。长江每年都有大量泥沙下泄入海, 沉积在长江口和杭州湾, 使江口沙洲不断淤高扩大。上海市现有土地面积的近三分之二都是两千年来上海历代人民筑堤围涂、开垦造地而形成的^[11]。随着近 30 年来上海城市化进程的加快, 由于浦东国

际机场、洋山国际深水港、浦东新区高桥港区、临海新城等项目的兴建以及金山、奉贤工业区的建设与开发等一系列事件, 上海海岸带已经发生了很大的变化。

作为本文的研究对象, 上海海岸带的大陆海岸线 (见图 1) 是一条连续的曲线段, 其两个端点分别是沪苏行政区划分界点——浏河口界碑和沪浙行政区划分界点——金丝娘桥界碑。这段海岸线主要由人工岸线和淤泥质岸线组成。上海地方志办公室以及现有的上海海岸带相关研究均注明上海大陆岸线的长度约为 173 km^[12-13]。根据上海市政府于 2015 年 9 月批复同意的上海大陆海岸线修测成果^[14], 上海大陆岸线全长 213.05 km, 其中从浏河口到南汇嘴的长江口岸段岸线长 122.43 km, 从金丝娘桥到南汇嘴的杭州湾北岸岸线长 90.62 km。



图 1 研究对象的示意图

1.2 数据来源

考虑到研究区大小以及研究的时间维度等因素, 本文选取 1985 ~ 2015 年的多期 Landsat 遥感影像作为数据源, 其空间分辨率均为 30 m × 30 m (见表 1)。选取影像卫星的原则是要保证其数据来源与研究年份最为接近。由于 Landsat-7 卫星上的 ETM+ 扫描行校正器在 2003 年出现了仪器故障, 2005 年和 2010 年的数据仍采用了 Landsat-5 卫星的 TM 影像。为了覆盖整个上海

表 1 遥感影像列表

成像日期	卫星/传感器	地面分辨率 (m)
1985.11.20	L5/TM	30
1990.12.4	L5/TM	30
1995.8.12	L5/TM	30
2000.9.18	L7/ETM+	30
2005.11.27	L5/TM	30
2010.12.27	L5/TM	30
2015.8.3	L8/OLI	30

海岸带范围, 每年的影像数据均由行带号为 118038 和 118039 的两景影像拼接而成。每隔五年设一个节点, 所以需要 7 个年份共 14 景原始影像。分别对各年份拼接后的影像进行辐射定标和大气校正等预处理, 并以 2015 年的拼接影像为基准, 对其他影像进行相对几何校正。校正误差控制在 0.5 个像元以内。

2 海岸线提取方法

图 2 所示为上海海岸线的完整提取流程。下面对其中的海陆分离、水边线提取和潮位校正的具体过程进行介绍。

2.1 海陆分离

传统的基于像元的信息提取方法仅仅依靠光谱特征, 所以在对地物进行分类提取时, 会存在严重的椒盐效应, 导致分类精度较低。但面向对象的影像分析技术则通过分割来依照某种同质性或异质性标准将影像划分成新的影像

对象, 而不再以一个个像素作为认知的基本单位。该技术通过综合考虑光谱统计特征、形状、大小、纹理以及相邻关系等因素, 可以得到较高精度的信息提取结果。因此, 本文将面向对象的影像分类方法应用于海岸线提取, 即先对预处理后的影像进行多尺度分割, 在保证获得完整、均一的海域对象的前提下, 根据分割效率达到最大值的原则, 通过反复试验选取最佳分割参数, 然后将影像分割成大小不同且异质化程度很高的海域和陆域对象。接着利用水体在中红外波段强吸收和在绿光波段强反射的特性, 建立水陆分离指标 (Land and Water Mask, LWM) [15]:

$$LWM = M_{MIR}/M_G * 100 \quad (1)$$

式中, M_{MIR} 和 M_G 分别为影像在中红外波段和绿光波段的反射率。该指标的取值范围为 0 ~ 255, 而水体对象的值一般为 0 ~ 80。通过设置阈值可将影像区分为陆地对象和水体对象。设阈值为 λ , 其选取依据是, 首先分辨出最靠近水体的明显陆地对象, λ 不得高于陆地对象的 LWM 值; 接着判断最靠近该陆地对象的明显水体对象, λ 不得低于水体对象的 LWM 值; 通过重复上述过程, 即对 λ 进行多次“夹逼”, 最终确定每个年份的阈值 λ 。针对不同年份的影像, 我们根据试验选取了不同的阈值 (见表 2)。

2.2 水边线提取

采用以上方法得到了水陆分离后的二值化

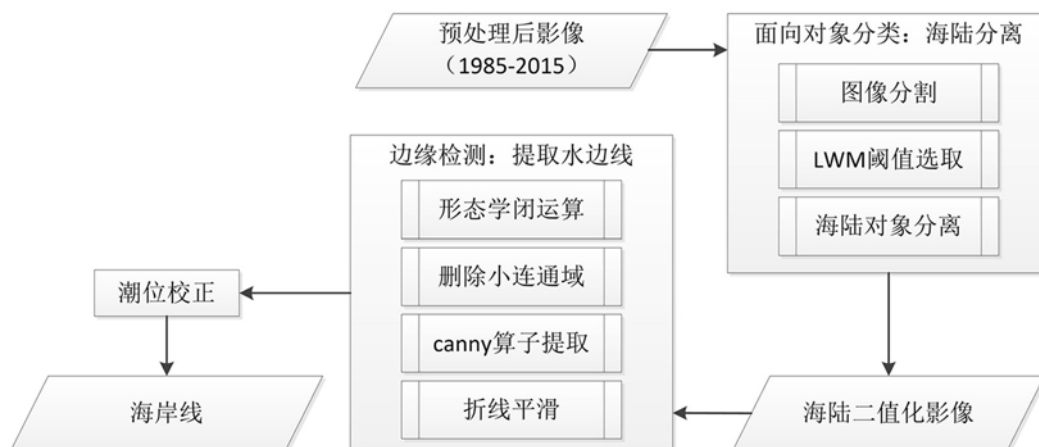


图 2 海岸线提取流程

表 2 水陆分离阈值表

年份	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
LWM 阈值	78	76	71	73	74	77	77

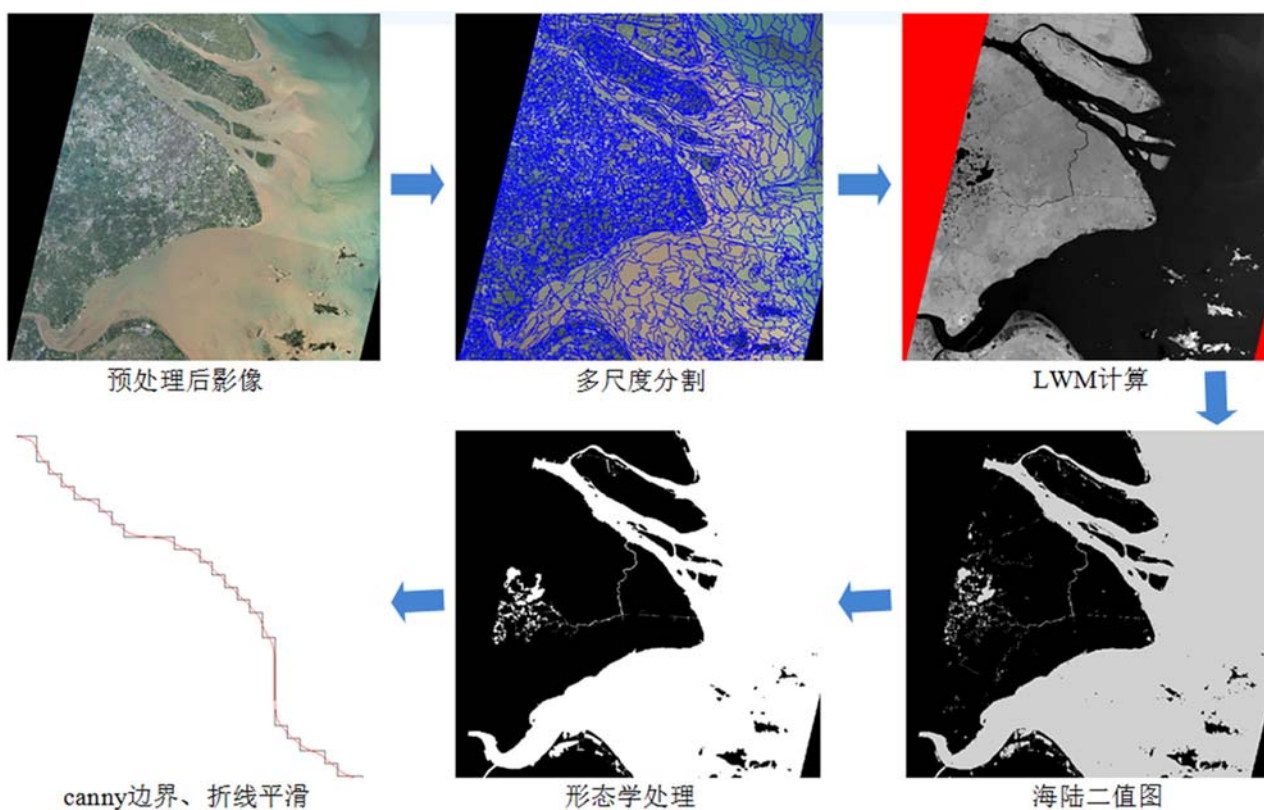


图 3 水边线的提取过程

图像。为了排除陆地水体如河流和湖泊等的干扰, 我们进行了取反、形态学闭运算和删除小面积连通域等操作, 使海岸边界变得平整光滑; 然后利用 Canny 算子提取了边界。所得的边界线表现为栅格图像特有的锯齿特征。最后对该折线进行了平滑处理, 所得结果即为上海海岸带的水边线。图 3 所示为水边线的具体提取过程。

2.3 潮位校正

由于海岸带地区的地形起伏较小, 很小的潮差就会导致水边线相距甚远。因为无法保证用于海岸线提取的遥感影像在其成像时刻的潮位即为大潮高潮位, 所以使用遥感影像提取海岸线时, 必须进行潮位校正。人工海岸在修筑时就高于大潮高潮位, 所以无需校正。淤泥质海岸的海岸线位置受潮位影响较大, 所以需要对水边线进行潮位校正, 以获得准确的海岸线。潮位

校正一般根据卫星成像时刻的潮位高度、平均大潮高潮位高度以及海岸坡度等信息计算出水边线至高潮线的水平距离, 进而确定海岸线的位置。图 4 所示为潮位校正的基本原理。

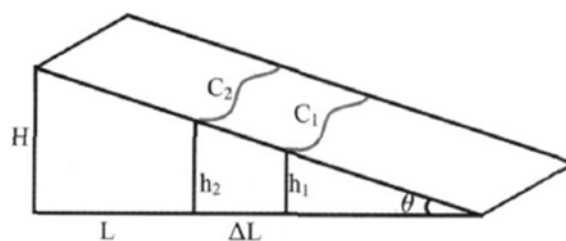


图 4 潮位校正的原理图

图 4 中, C_1 和 C_2 分别为两景卫星影像在成像时刻的水边线位置, ΔL 为水平距离, h_1 和 h_2 为潮位高度 ($h_2 > h_1$), θ 为海岸坡度, H 为平均大潮高潮位的潮位高度, L 为海岸线校正的距离, 则

有

$$\theta = \arctan [(h_2 - h_1) / \Delta L] \quad (2)$$

$$L = (H - h_2) / \tan \theta \quad (3)$$

结合吴淞口和芦潮港两个验潮站的潮位资料, 分别对长江口岸段和杭州湾北岸的淤泥质岸线进行了潮位校正。从上海水务海洋局提供的水务海洋公共信息平台 (<http://bmxx.shanghaiwater.gov.cn/shsw/default.asp?ActiveLayerName=YBSW#>) 上可以查询到卫星过境时两个站点的潮位高程 (见表 3)。通过统计多个年份《上海水资源公报》所发布的信息可知, 吴淞口的多年平均高潮位为 357 cm, 芦潮港的多年平均高潮位为 352 cm。

表 3 卫星过境时刻的潮位高程

成像日期	过境时刻	验潮站	潮位高程 (cm)
1985.11.20	9:53	吴淞口	181
		芦潮港	102
1990.12.4	9:44	吴淞口	86
		芦潮港	106
1995.8.12	9:28	吴淞口	92
		芦潮港	268
2000.9.18	10:15	吴淞口	102
		芦潮港	155
2005.11.27	10:14	吴淞口	293
		芦潮港	262
2010.12.27	10:15	吴淞口	82
		芦潮港	-20
2015.8.3	10:25	吴淞口	89
		芦潮港	224

3 结果与分析

3.1 精度验证

利用实地采点测得的 GPS 数据对 2015 年的海岸线提取结果进行精度验证。海岸线的实地测量点均匀分布在研究区内。实地数据采集工作开展于 2016 年 12 月 20 日至 24 日, 调查地点包括宝山区吴淞口宝杨码头、浦东新区三甲港海滩和奉贤区奉新镇沿海地段。在实地调查中, 保

证人工海岸和淤泥质海岸的测量点分别为 40 个和 20 个以上。验证内容为海岸线的实地测量点与 2015 年所提取海岸线的距离偏差。然后统计该偏差的最大值、最小值、平均值、标准差以及距离偏差超过 15 m 的点数 (验证结果见表 4)。

表 4 海岸线精度的验证结果

距离偏差指标 (m)	海岸线类型	
	人工海岸	淤泥质海岸
最大值	15.21	21.36
最小值	3.56	10.80
平均值	6.74	17.41
标准差	5.62	5.95
验证点数	40	20
超过 15 m 的点数	3	8

从表 4 中可以看出, 本文提取的上海两类海岸线的精度均较高, 距离偏差的最大值均小于 30 m (1 个像元)。从距离偏差的平均值和标准差来看, 人工海岸的提取精度最高且最稳定, 这是因为堤岸、码头等人工建筑具有规则的几何特征, 而且其修筑时的高度大于大潮的高潮位。淤泥质海岸虽然经过潮位校正, 但其距离偏差的平均值最大, 提取精度最低; 距离偏差的标准差与人工海岸相当, 即距离偏差的波动不大, 说明潮位校正方法还有待改进。用于验证的 60 个实地测量点与 2015 年所提取海岸线的距离偏差均小于 1 个像元, 说明本文方法对海岸线的提取精度较高。

3.2 海岸线的变迁分析

3.2.1 岸线的整体变迁

图 5 所示为上海大陆海岸线的提取结果。根据地标和海岸线类型的不同, 将整个海岸线划分为浏河口 - 吴淞口 (A)、吴淞口 - 三甲港 (B)、三甲港 - 南汇嘴 (C)、南汇嘴 - 漕泾 (D) 和漕泾 - 金丝娘桥 (E) 等五个岸段。表 5 列出了各岸段长度的统计数据。可以看出, 1985 ~ 2015 年岸线总长度增加了 13.23 km, 但岸线并不是每隔五年都在增加。其中, 1985 ~ 1990 年和 2005 ~ 2010 年岸线分别减少了 2.21 km 和 2.41 km; 1990

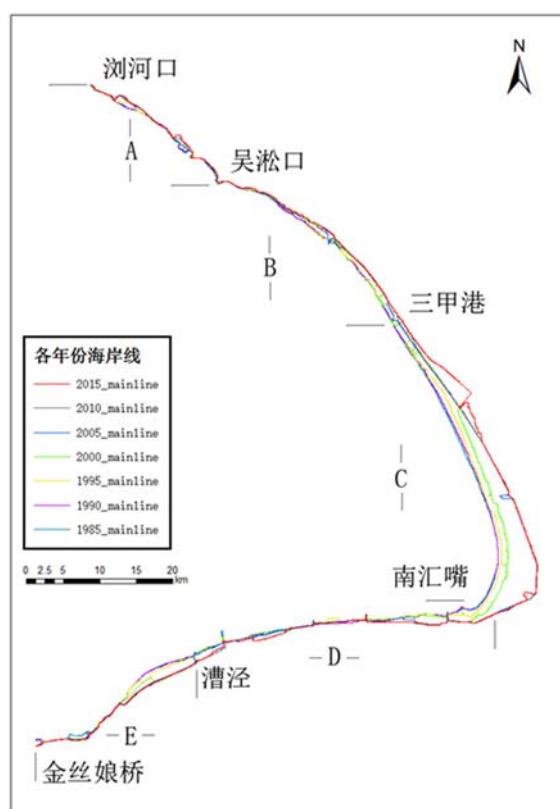


图 5 上海大陆海岸线的提取结果

~ 1995 年岸线的增加量 (8.90 km) 最大; 2000 ~ 2005 年岸线的增加量 (0.90 km) 最小; 1995 ~ 2000 年和 2010 ~ 2015 年岸线则分别增加了 3.77 km 和 4.28 km。海岸线在变迁过程中, 各处均有不同程度的外推, 最大外推距离为 6.21 km; 分段岸线长度的增加量最多为 8.29 km, 均发生在三甲港 - 南汇嘴岸段。受自然和人为两方面因素的影响, 上海海岸线的变迁整体表现为岸线外推、海岸淤涨。

3.2.2 长江口岸段的变迁

3.2.2.1 浏河口 - 吴淞口岸段

浏河口 - 吴淞口岸段 (见图 6a) 以人工岸线为主, 分布有石洞口电厂、煤气制气公司、宝钢、宝山码头和宝山滨江公园等, 且建有护岸工程; 近 30 年来冲淤变化很小, 比较稳定。1985 年, 该段岸线长 24.67 km, 且总体呈逐年增加的趋势; 至 2015 年岸线约长 26 km, 最大外推距离为 1.2 km。分析其变迁原因, 主要由工程建设等人为因素造成: 2002 年 9 月至 2004 年 12 月期间, 宝钢新日铁汽车板有限公司从建设到投产; 2005 年 6 月至 2008 年 7 月期间, 上海港罗泾二期钢杂码头从建设到竣工。

3.2.2.2 吴淞口 - 三甲港岸段

吴淞口 - 三甲港岸段 (见图 6b) 以人工岸线为主, 分布有滨江森林公园、外高桥港区和造船厂等, 其岸线被码头和排污口所占, 且建有护岸工程; 冲淤变化小, 比较稳定。该段岸线约长 35 km, 最大外推距离为 1.1 km。其变迁由人为和自然两方面因素造成: 一是外高桥港区的码头扩建; 二是岸带的淤涨堆积。

3.2.2.3 三甲港 - 南汇嘴岸段

三甲港 - 南汇嘴岸段 (见图 6c) 由淤泥质岸线和人工岸线组成, 总的变化趋势为淤涨堆积, 其沿岸分布有上海浦东国际机场、生态农业发展公司和南汇新城镇等。该段岸线的长度从 1985 年的 43.84 km 增至 2015 年的 52.13 km, 增幅达到 8.29 km; 最大外推距离为 6.21 km。其变迁原因比较多样化: 由于长江径流入海受到两岸约

表 5 海岸线分段长度的统计表

年份	A 段 (km)	B 段 (km)	C 段 (km)	D 段 (km)	E 段 (km)	总长度 (km)
1985	24.67	34.66	43.84	45.91	27.46	176.54
1990	25.44	33.95	43.75	43.56	27.63	174.33
1995	24.62	35.62	47.51	46.12	29.36	183.23
2000	24.73	35.97	49.25	47.56	29.49	187.00
2005	24.98	37.18	49.00	48.14	28.60	187.90
2010	25.19	34.97	47.39	50.81	27.13	185.49
2015	25.98	35.04	52.13	49.38	27.24	189.77

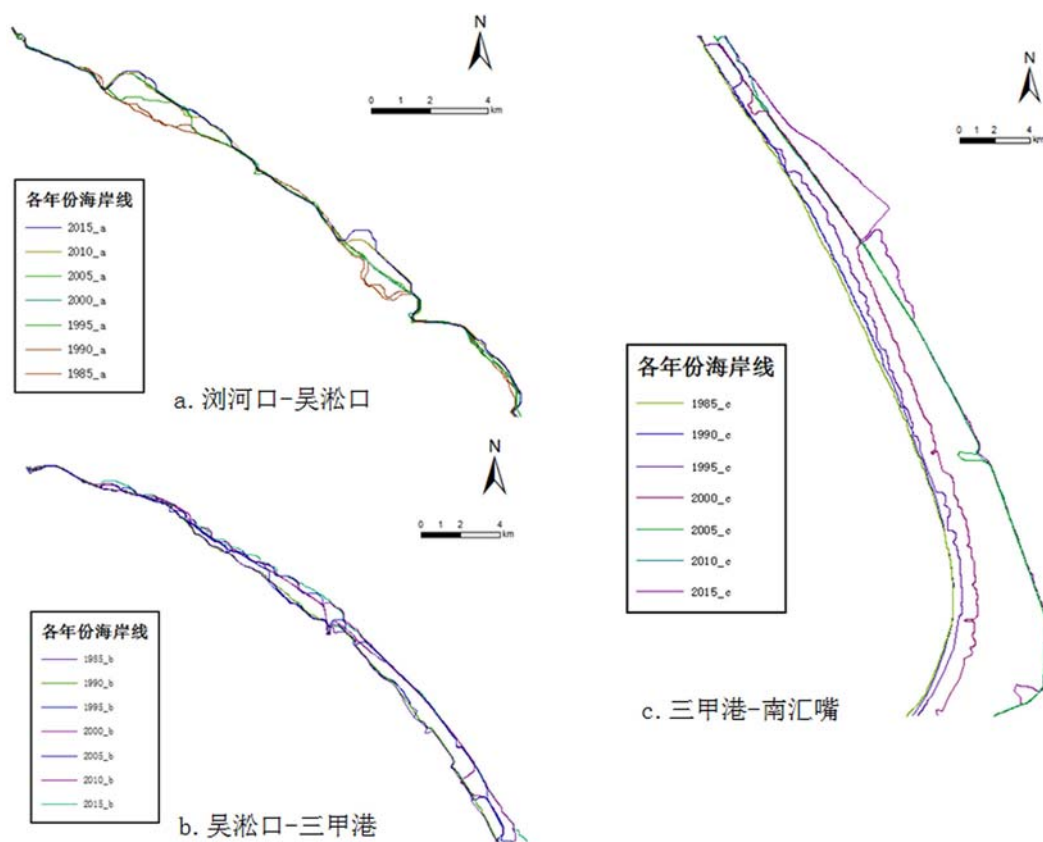


图 6 长江口岸段的变迁

束,北端滩窄坡陡,岸滩变化受主流摆动影响较大,其涨幅远不如南端;南汇东滩是在长江径流入海扩散跟杭州湾北岸两股水体涨潮分流、落潮合流的共同作用下所形成的地貌形态,其淤涨幅度大、速率快;另外,南汇新城于 2002 年 6 月开工建设,并持续规划到 2020 年,这一举措将淤泥质岸线转变为人工岸线,加大了海岸线的外推幅度。

3.2.3 杭州湾北岸的变迁

3.2.3.1 南汇嘴-漕泾岸段

南汇嘴-漕泾岸段(见图 7a)由淤泥质岸线和人工岸线组成,分布有芦潮港码头、沪临重工和海水养殖场等。该段岸线约长 49 km,最大外推距离为 2.19 km。20 世纪 90 年代以后,在该岸段东侧的芦潮港一带建造促淤坝,使岸线由侵蚀后退转为淤涨。人工半岛的圈围使其成为洋山港区的陆上重要基地。西侧的奉贤岸段从 20 世纪 80 年代中期开始遭到侵蚀。由于保滩护岸工程,侵蚀量总体较小。

3.2.3.2 漕泾-金丝娘桥岸段

漕泾-金丝娘桥岸段(见图 7b)由淤泥质岸线和人工岸线组成,分布有各大化工公司、漕泾电厂和上海石化等。该段岸线约长 27 km,仅石化厂所占的岸线就达 9 km;最大外推距离为 1.72 km。海岸线受自然因素的影响很小,只在局部地段有淤涨。外推的主要原因是由促淤围垦转变为工业用地。

4 结束语

本文以 1985~2015 年上海海岸带的 Landsat 系列影像作为数据来源,通过将面向对象的影像分析方法用于海岸线提取,建立了敏感、高效的水陆分离指标。经过多次试验获得了最佳分割参数和水陆分离阈值,并分幅提取了上海海岸带多个年份的大陆海岸线。利用实地采集的海岸线 GPS 测量点对 2015 年海岸线提取结果进行了精度验证。结果表明,本文方法对海岸线的提取精度较高。具体结论如下:

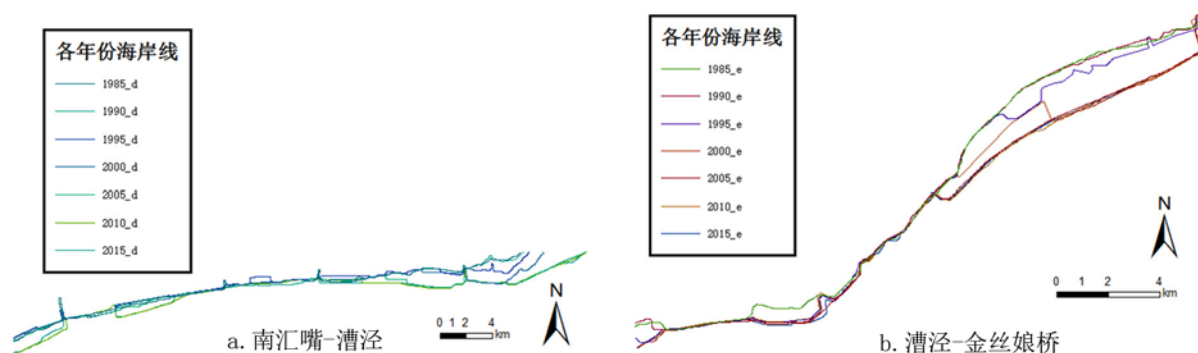


图 7 杭州湾北岸的变迁

(1) 与现有的海岸线遥感提取研究相比, 本文考虑到时间跨度, 在影像来源上选用了 Landsat 卫星数据; 在分类方法上, 借鉴面向对象的思想, 避免了传统的基于像元的分类方法容易产生的椒盐效应, 提高了分类的准确性; 在变迁分析上, 根据地标划分岸段, 综合考量了岸线长度和岸线推移距离两方面的变化, 并结合区域自身的特点阐述了这些变化的具体原因。

(2) 如上所述, 关于上海大陆海岸线的长度至今还没有确切数据, 已有的 173 km 和 213.05 km 两组数据竟相差约 40 km。而本文提取的上海大陆海岸线结果则介于两者之间。上海海岸带跨越宝山、浦东、奉贤、金山四区。该地区近 30 年来取得了飞速发展。本文结果表明, 近 30 年上海大陆海岸线的变迁整体表现为岸线外推、海岸淤涨, 总长度增加了 13.23 km, 最大外推距离达到了 6.21 km。

(3) 本文提取的海岸线误差虽然小于一个像元, 但由于影像分辨率 (30 m) 本身就不高, 海岸线提取的精度在绝对数值上仍较低。在今后的研究中, 我们可以尝试不同年份选用不同来源的影像数据, 即充分利用遥感技术近年来在分辨率上不断提高的优势, 从而获得更高精度的结果。

参考文献

- [1] 赵玉灵, 杨金中. 浙东象山港岸线及潮滩变迁遥感调查 [J]. 国土资源遥感, 2007, 19(4): 114-117.
- [2] 冯永玖, 刘丹, 韩震. 遥感和 GIS 支持下的九段沙岸线提取及变迁研究 [J]. 国土资源遥感, 2012, 24(1): 65-69.
- [3] 冯永玖, 袁佳宇, 宋丽君, 等. 杭州湾海岸线信息的遥感提取及其变迁分析 [J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(2): 345-352.
- [4] 张朝阳, 冯伍法, 张俊华. 基于色差的遥感影像海岸线提取 [J]. 测绘学院学报, 2005, 22(4): 259-262.
- [5] 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): 101-105.
- [6] 张磊, 陈海花. 基于 Otsu 方法和数学形态学的 SAR 图像海岸线检测 [J]. 微计算机信息, 2011, 27(7): 207-208.
- [7] 张鹏, 李洪平. 基于平稳小波变换的 SAR 图像海岸线提取 [J]. 电脑开发与应用, 2010, 23(5): 30-32.
- [8] Wu Q S, Su H B, Douglas J, et al. Algorithmic Foundation and Software Tools for Extracting Shoreline Features from Remote Sensing Imagery and LiDAR Data [J]. Journal of Geographic Information System, 2011, 3(2): 99-119.
- [9] 张旭凯, 张霞, 杨邦会, 等. 结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取 [J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 91-97.
- [10] 贾明明, 刘殿伟, 王宗明, 等. 面向对象方法和多源遥感数据的杭州湾海岸线提取分析 [J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(2): 262-269.
- [11] 宗玮. 上海海岸带土地利用/覆盖格局变化及驱动机制研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [12] 李蓉, 李俊祥, 李铖, 等. 快速城市化阶段上海海岸带景观格局的时空动态 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2353-2359.
- [13] 施玉麒, 王寒梅, 李金柱. 上海市海岸带资源现状与未来趋势 [J]. 上海地质, 2003, 24(1): 8-16.
- [14] 上海市海洋局. 上海市大陆海岸线修测成果获上海市政府批复同意 [EB/OL]. http://www.soa.gov.cn/xw/dfdwdt/dfjg/201509/t20150906_41094.html, 2015.
- [15] Kabir Uddin. Hands on Exercise Using eCognition Developer [EB/OL]. <http://www.doc88.com/p-2136157432821.html>, 2013.