使用多源遥感影像监测深圳市海岸线变迁

涂晔昕[1]，沈玉莲[1]，卢艺[1,2,3,4]，邬国锋[2,3,4]，费腾[1]

（1. 武汉大学资源与环境科学学院　武汉　430079；2. 深圳大学海岸带地理环境监测国家测绘地理信息局重点实验室　深圳　518060；3. 深圳大学空间信息智能感知与服务深圳市重点实验室　深圳　518060；4. 深圳大学生命科学学院　深圳　518060）

摘要：海岸线是陆地与海洋的分界线，一般指海潮时高潮所到达的界线。文章以深圳市为例，以1988—2015 年的多景 Landsat 和 SPOT 影像为数据源，分类提取 5 个时相的深圳市海岸线，利用遥感和地理信息系统手段，系统分析岸线类型、长度、位置变化特征，并用实测数据加以验证。结果表明，通过多时相遥感数据可以快速、准确、客观地提取不同类型海岸线的空间和类型信息，从而构建科学、准确、响应快速的监测体系。

关键词：海岸线；遥感监测；海域管理

中图分类号：TP75　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2016)10－0083－06

Monitoring Coastline Changes of Shenzhen by Using Multi-Source Remote Sensing Images

TU Yexin[1]，SHEN Yulian[1]，LU Yi[1,2,3,4]，WU Guofeng[2,3,4]，FEI Teng[1]

（1. School of Resource and Environmental Science，Wuhan University，Wuhan 430079，China；2. Key Laboratory for Geo-Environment Monitoring of Coastal Zone of the National Administration of Surveying，Mapping and GeoInformation，Shenzhen 518060，China；3. Shenzhen Key Laboratory of Spatial Smart Sensing and Services，Shenzhen 518060，China；4. College of Life Sciences，Shenzhen University，Shenzhen 518060，China）

Abstract：Coastline is the boundary between the land and the sea，a climax reached by tide line. This research focused on Shenzhen City，using Landsat and SPOT images from 1988 to 2015 as data sources，classified and extracted coastline in Shenzhen City during the period of time. Via remote sensing and geographic information system as an approach，the coastline characteristics changes of type，length，location were analyzed. The results showed that through the remote sensing data，different types of coastline information could be acquired rapidly，accurately and objectively，to construct a scientific monitoring system.

Key words：Coastline，Remote sensing monitoring，Sea area managementment

收稿日期：2016-05-13；**修订日期**：2016-08-31

基金项目：林业公益性行业科研专项“滨海湿地生态系统服务功能与评估技术研究”(201404305).

作者简介：涂晔昕，硕士研究生，研究方向为高光谱遥感、生态建模，电子信箱：yextu. sres@whu. edu. cn

通信作者：费腾，副教授，博士，研究方向为遥感应用，电子信箱：feiteng@whu. edu. cn

1 引言

海岸带是地球上岩石圈、水圈、气圈和生物圈相互作用、相互影响的场所，是海洋和陆地相互作用的地带[1]。海岸带自然条件复杂多变，又是我国经济最发达的区域，集中了 70％的大中城市、创造了约 60％的 GDP[2]。海岸线不仅标志沿海地区的水陆分界线，而且其变化直接影响海岸带环境，进而影响沿海人民的生存发展[3-4]。因此，对海岸线的监测必须具有时效性和准确性。

常规的测绘技术是获取海岸线调查信息的重要手段，但存在时间和空间尺度的局限性，即对海岸线的相关调查只针对某一时间对当前岸线参数的实测值，费时费力、成本较高；遥感影像具有大范围、实时同步、全天时、全天候、多波段成像等突出优势，可以快速实时监测海岸带多种环境参量的时空变异规律。目前利用遥感手段对海岸线变化进行研究的已有不少，但尚未形成完善的海岸线监测体系，缺少对海岸线位置、长度、类型，时空变化规律的宏观研究。Manoj 提出用归一化水体指数可以很好地确定岸线位置[5]，但没有对岸线长度、岸线类型进行分析；徐进勇等研究渤海地区 2000—2012 年岸线时空和分形维数变化特征[6]，李猷等提取深圳市 1978—2005 年岸线分析其时空演替特征[7]，但都缺少对岸线类型的划分；Choung 尝试用不同阈值提取不同类型岸线[8]，但缺少对岸线整体长度、形态变化的统计。

本研究根据海岸线的多源多时相影像特征和空间特征，与多种非遥感信息资料，如海岸带高程数据、验潮站数据等相结合，运用生物地学等相关规律，采用对照分析方法，完成海岸线长度、位置、类型提取，同时对岸线变迁的原因进行解释分析，构建基于多源遥感的深圳市海岸带岸线变化监测体系。

2 研究区与数据源

2.1 研究区概况

深圳市(113°46′E—114°37′E、22°27′N—22°52′N)位于广东省中部沿海，东临大亚湾、大鹏湾，西濒珠江口、伶仃洋，北与东莞交界，南与香港特别行政区的海、陆相连。由于其海岸线被九龙半岛分隔为东、西两部分，在后续的海岸线提取中将分东、西部岸线分别提取。西海岸邻近珠江口，岸线较为平直，地面起伏平缓，属平原海岸类型[9-10]；东海岸由海水淹没海岸山丘谷地而形成，山地直接临海，岸线曲折[11-12]。

2.2 多源多时相数据

本研究使用的遥感影像包括深圳市海岸带 1988 年和 1996 年的 Landsat5 TM 影像(30 m)、2005 年和 2011 年的 SPOT5 影像(10 m)以及 2015 年的 Landsat8 OLI 影像(30 m)。

除此之外，用到的数据资料包括：深圳市行政区划图，用于裁剪出属于深圳的影像；深圳市 1∶10 000 地形图，作为影像校正的基准图件；30 m 分辨率的海岸带数字高程模型数据，用于海岸线地形修正和水边线修正；影像获取时的珠江口验潮站数据，用于对岸线进行潮汐修正；2013 年海岸线实测线划图；利用星站差分 GPS 接收机(差分改正源为多功能卫星增强系统 MSAS，平面精度最低可达 5 m、最高达到亚米级)采集 30 个海岸线类型较为复杂的实测点的经度、纬度和岸线类型信息，用于精度检验。

3 研究方法

3.1 影像预处理

在 ArcGIS 和 ENVI 中进行影像预处理，主要包括几何校正、辐射校正、多元数据一体化表达和图像增强，完成海岸线提取的数据准备工作。

利用深圳市 1∶10 000 地形图，首先，采用基于控制点(Ground Control Points，GCP)的二次多项式校正方式，对各期影像进行几何校正；然后用最邻近点进行灰度重采样，直至将遥感影像与地形图调配至完全吻合。考虑到本研究影像中有大片海域和高密度植被，故采用暗目标法[13]对影像进行辐射校正，以消除大气、太阳高度角、视角和地形等对地面光谱反射信号的影响。由于多源数据存在参考系多源的问题，即参考系不同，将所有影像转化到同一投影坐标系下(WGS_1984_Albers)，再进行影像镶嵌和裁剪研究区域。

3.2 构建分类体系

根据海岸地貌类型组合特征和形态成因，同时参照《海岸带调查技术规程》[14]，将深圳市海岸线划

分为基岩岸线、砂砾质岸线、粉砂淤泥质岸线、生物岸线和人工岸线等 5 类（表 1）。

表 1　深圳市海岸线类型

Ⅰ级		Ⅱ级	
类型	编码	类型	编码
自然岸线	B1	基岩岸线	B11
		砂砾质岸线	B12
		粉砂淤泥质岸线	B13
		生物岸线	B14
人工岸线	B2	—	—

海边绿化程度较高的山体光谱反射率较低，表现为粗糙的斑块状，能够区别于一般的岩石或裸地；岩石山体的面积较大、植被覆盖较少，在图像中能表现出明显的凹凸感，有较明显的山脉纹理特征。根据以上 2 种特征可以判别基岩岸线，基岩岸线的解译标志是海岬角以及直立陡崖与海水的结合处[15]。

砂砾质岸线是砂粒在海浪作用下堆积形成的，在波浪无法作用的区域砂质也就会消失，因此可以把砂质海岸和陆地上非砂质地物的分界线作为海岸线。由于潮汐作用的影响，沙滩有时会被海水部分或全部淹没，当海水退去时，被海水淹没又露出的沙滩在图像上亮度较低、未被海水淹没的沙滩亮度较高，但海岸线是整个砂质海岸与非砂质地物的分界线。

粉砂淤泥质海岸可分为两种类型：一类是大部分已被开发的淤泥质海岸，已建成虾池、盐田等养殖区，如与海水有明显人工分界线，则以该分界线作为海岸线；另一类是保持自然状态的淤泥质海岸，由于未经开发且面积较大，与海水的分界线在图像上很清晰；但正因岸滩面积较大，在图像上无法找到明显的解译标志，需要依据海洋观测站的验潮数据，统计深圳市当地平均低潮和平均高潮的潮高，然后利用 DEM 分析方法，计算出滩涂倾斜度[16]，才能得到海岸线在此类淤泥质海岸的准确位置。

沿海地区的生物类型主要是红树林，因此生物岸线主要指红树林海岸线。红树林隶属高大乔木类，其边界不随潮汐而改变，因此将整个红树林最外围树木与海水交界的分界线作为红树林海岸线，在遥感影像上有明显的植被特征——近红外波段反射率高而红波段反射率低的反差可以作为生物岸线解译最明显的标志。

人工建筑在近红外波段图像上具有较高的光谱反射率，与图像中的海水区分明显，其海岸线位置即确定在人工建筑物边缘。

3.3　岸线提取与校正

用非监督分类方法对预处理后的海岸线进行预分类，再以预分类结果为基础，选取训练样区运用监督分类方法进行分类，对分类结果栅格矢量化，形成线状数据。不同海岸线在遥感图像中存在不同的色、行、位的差异，以此构成可供识别的目标地物特征，可以作为分析、解译、识别遥感图像的依据。根据目标地物的色调、纹理、形状和相关布局等特征，利用目视解译法，对监督分类的结果进一步修正。

基岩海岸往往较为陡峭、高差较大，当卫星拍摄侧视角比较大时，由于遮挡或阴影的原因容易产生拍摄遗漏区域，此外突出的岩石也会作为影像上的亮点干扰岸线提取。因此，将研究区海岸线切分成小块，借助 DEM 分析方法可以将每段高程的等高线提取出来，再结合遥感影像对其位置进行修正。在具有长期验潮资料支持的前提下，通过高程转换将平均高潮位归算至与 DEM 相同的高程基准[16]。

海岸线除受地形影响外，还受海洋动力环境影响，直接以目视提取的方法从影像上获得的岸线只是水边线，而不是具有代表性的海岸线数据，需要基于潮汐数据建立反演模型，由提取的水边线反演得到平均高潮线作为海岸线。由于基岩海岸和人工海岸受潮位影响较小，平均高潮线与水边线基本一致，可以直接在遥感图像上采用人工目视解译方法获取；而淤泥质海岸和砂质海岸的平均高潮线则需要将提取的水边线通过模型运算进行反演得到，辅以遥感分析修正。获得最终海岸线数据的总体流程如图 1 所示。

3.4　精度评价

本研究精度评价包括影像几何配准精度检验

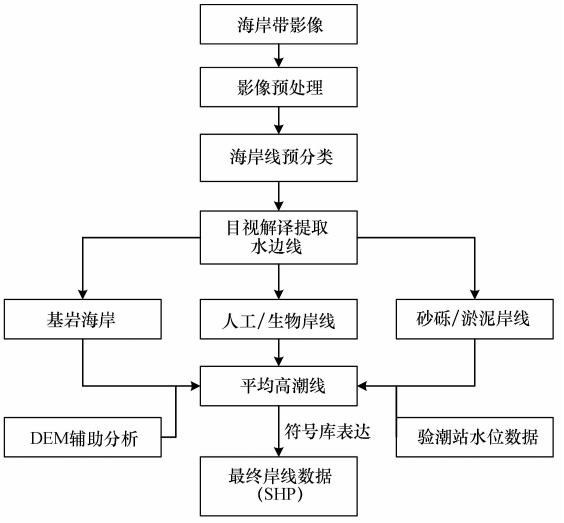

图 1 岸线提取技术流程

以及岸线空间和分类精度检验 2 部分。

利用深圳市 1∶10 000 地形图对各期影像进行几何校正后,根据影像特征选取控制影像(2011 年)和待配准影像(1988 年、1996 年、2005 年、2015 年)上的东、西部各 20 个局部特征不变的相同影像目标点作为检查点,检验几何校正精度。检查点的选取遵循以下标准:局部特征不变;特征明显且锐利以便识别;不过分集中且尽量平均分布。最后通过计算匹配后影像中上述检查点中的误差来评估影像匹配精度。

检测结果表明:深圳市海岸线不同历史时期遥感影像经过影像几何配准后,配准精度均达到待配准影像 1 个像元以内(表 2)。国家标准《1∶25 000,1∶50 000,1∶100 000 地形图航空摄影测量外业规范》中规定,对于 1∶50 000 制图,地物点图上点位中误差在平原不应大于图上 0.5 mm(即实地 25 m)。依据此标准,使用 2005 年及之后的 SPOT5 和 Landsat8 遥感影像绘制的深圳市海岸线 1∶50 000 专题图可以达到该精度要求;在高分辨率遥感影像数据缺失的八九十年代,深圳市东部海岸线精度检验的中误差略大于 25 m,但由于在当时条件下不存在更精细的遥感影像,且深圳市东部海岸线满足上述标准规范中"山地"的条件,中误差标准可调整为图上 0.75 mm(即实地 37.5 m),因此仍满足规范要求。

使用高精度差分 GPS(平面精度小于 5m)记录 30 个地面实测点的岸线类型,对岸线类型的划分进行检验;使用深圳市国土委信息中心存档的 2013 年海岸线调查数据作为 SHP 格式中的观测点数据,对岸线空间精度和类型划分的精确度进行再次检验。岸线最大点误差为 23.2 m、平均岸线误差为 8.6 m,以 1∶50 000 计,相当于图上 0.46 mm 和 0.17 mm,均优于验收标准;岸线判对率达到 96%,相应潮间带类型判对率达到 96%。

表 2 几何配准检查点中误差

年份	西部海岸线	东部海岸线
1988	0.53 个像元或实地 15.9 m	0.91 个像元或实地 27.3 m
1996	0.65 个像元或实地 19.5 m	0.84 个像元或实地 25.2 m
2005	0.88 个像元或实地 8.8 m	0.90 个像元或实地 9.0 m
2015	0.51 个像元或实地 15.3 m	0.81 个像元或实地 24.3 m

4 结果分析

4.1 海岸线长度变化

1988—2015 年深圳市海岸线由 228.4 km 变为 246.1 km,增长 17.7 km。其中,西部岸线增长 14.2 km、东部岸线增长 3.5 km,西部岸线长度变化相比东部更为显著(表 3)。

表 3 1988—2015 年深圳市海岸线长度变化 km

年份	西部海岸	东部海岸	全市
1988	80.8	147.6	228.4
1996	85.9	150.6	236.5
2005	94.7	149.7	244.4
2011	92.4	153.1	245.5
2015	95.0	151.1	246.1

1988—2015 年深圳全市海岸线不断增长。其中 1988—2005 年西部海岸因大规模滩涂围垦和填海造地,海岸线向海延伸且形态曲折,岸线增长明

显、达 13.9 km；东部海岸在部分岸段填海造地，岸线增长 2.1 km。2005－2015 年岸线长度变化趋于平缓，其中西部海岸因深圳机场三期、大铲湾港口等工程的实施建设，海岸线形态平直，岸线增加缓慢、仅增加 0.3 km；东部海岸大鹏湾附近因港口码头的开发建设，岸线增长 1.4 km。

利用多源多时相遥感影像解译岸线变化时，要考虑岸线变化与人类建设活动的关系。一般情况下人类建设活动会使海岸线形态趋于平直，缩短岸线长度；滩涂围垦和填海造地会使海岸线向近海延伸，形成新的人工岸线，增加岸线长度。

4.2　海岸线类型变化

从深圳市西部岸线空间变化情况和各类岸线类型分布（表 4）来看，深圳市西部海岸主要由 3 种类型岸线组成，分别为淤泥岸线、生物岸线和人工岸线。其中人工岸线为深圳市西部海岸最主要的岸线类型，岸线长度在 1988—2005 年不断地增加，2005 年以后趋于稳定且由于岸线的平直化还略有减少，如深圳机场三期、大铲湾港口地带；生物岸线为次要岸线类型，在 2005 年以前长度基本保持不变、稳定在 6 km 左右，但 2005—2015 年有大幅度增加，如福田区近香港岛部分；淤泥岸线主要分布在深圳西部海岸滩涂地区和深圳湾。总体来说，西部海岸线向近海延伸，岸线增长的变化趋势比较明显。

表 4　1988—2015 年深圳市西部岸线类型统计 km

年份	基岩岸线	砂砾岸线	淤泥岸线	生物岸线	人工岸线
1988	0	0	5.8	6.2	68.8
1996	0	0	5.1	6.9	73.9
2005	0	0	0	5.9	88.8
2011	0	0	0.2	8.2	84.0
2015	0	0	0.2	10.7	84.1

从深圳市东部岸线空间变化情况和各类岸线类型分布（表 5）来看，深圳市东部海岸主要由两种类型岸线组成：基岩岸线为主要岸线类型，岸线长度呈现稳定趋势；人工岸线为次要岸线类型，岸线长度呈现逐年上升趋势。总体来说，东部岸线长度和形态稳定，变化相对较大的分布在盐田港、大亚湾一带，均为人工岸线类型。

从历年数据可以看出：基岩岸线在 1988—2015 年间占主导地位且变化相对平稳，人工岸线长度居第二位且增长较快，砂砾岸线整体呈缓慢减少趋势，淤泥岸线连年递减。

表 5　1988—2015 年深圳市东部岸线类型统计 km

年份	基岩岸线	砂砾岸线	淤泥岸线	生物岸线	人工岸线
1988	75.4	24.0	8.9	0	39.3
1996	73.3	23.4	7.1	0	46.8
2005	72.8	22.7	5.5	0	52.1
2011	67.4	22.8	4.8	0	58.1
2015	68.5	19.6	3.4	0	59.6

深圳市大部分基岩海岸分布在东部海岸（盐田区和大鹏半岛），少量分布在蛇口半岛；砂砾海岸主要分布在东部海岸；淤泥海岸主要分布在西部滩涂地区和深圳湾；人工海岸主要分布在西部海岸。1988—2015 年深圳市海岸线发生复杂变化：人工岸线增长迅速；基岩岸线和砂砾岸线在 1996—2015 年缓慢减少后趋于稳定；生物岸线变化不大，2005—2015 年红树林岸线长度缓慢增加，这与地方政府重视红树林岸线保护、大力保护红树林生态有直接关系；淤积岸线一直呈现明显减少趋势，这与深圳市海岸建设工程活动增多有密切关系。

5　结论与展望

本研究利用遥感技术快速获取深圳市海岸线 1988—2015 年的动态变化信息，并制作成专题地图和统计表。

利用 Landsat 和 SPOT 卫星遥感影像可以很好地监测海岸线动态变化情况。由于 SPOT5 卫星空间分辨率和几何配准精度更高，在资金充足的情况下选择 SPOT5 作为数据源，结果更加理想。

对受人类活动影响较大的海岸线区域，如深圳西部海岸，岸线类型变化速度较剧烈；对受人类活动影响较小的海岸线区域，如深圳东部海岸，岸线类型变化速度较缓慢。在不同区域可选择不同频率进行监测，对受人类活动影响较大的区域和正在开发的海岸线监测频率可适当提高。

海岸线多源遥感监测方法可以节约大量时间

和经济成本，同时获得海岸线类型、长度、位置信息。本研究的结果基于特定的区域、数据源和方法，具体结论在其他区域的应用还需进一步验证。

在后续研究中，还可对海岸线的土地利用、植被和湿地的覆盖情况进行研究和提取，分析变化的原因和存在的问题，从而完善海岸线监测体系。

参考文献

[1] 王建. 现代自然地理学[M]. 北京：高等教育出版社，2004：45－46.

[2] 徐建华，鲁凤，苏方林，等. 中国区域经济差异的时空尺度分析[J]. 地理研究，2005(1)：3－8.

[3] 蔡则健. 江苏海岸线演变趋势遥感分析[J]. 国土资源遥感，2002，53(3)：19－23.

[4] 陶明刚. Landsat－TM 遥感影像岸线变迁解译研究：以九龙江河口地区为例[J]. 水文地质工程地质，2006(1)：107－110.

[5] GHOSH M K，KUMAR L，ROY C. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing，2015(101)：137－144.

[6] 徐进勇，张增祥，赵晓丽，等. 2000—2012 年中国北方海岸线时空变化分析[J]. 地理学报，2013，68(5)：651－660.

[7] 李猷，王仰麟，彭建，等. 深圳市 1978 年至 2005 年海岸线的动态演变分析[J]. 资源科学，2009，31(5)：875－883.

[8] CHOUNG Y J，JO M H. Shoreline change assessment for various types of coasts using multi-temporal Landsat imagery of the east coast of South Korea[J]. Remote Sensing Letters，2016，7(1)：91－100.

[9] 王颖，朱大奎. 海岸地貌学[M]. 北京：高等教育出版社，1994：169－204.

[10] WANG Y，AUBREY D. The characteristics of the China coastline[J]. Continental Shelf Research，1987，7(4)：329－349.

[11] 罗章仁，应秩甫. 华南港湾[M]. 广州：中山大学出版社，1992：4－16.

[12] 赵焕庭，张乔民，宋朝景，等. 华南海岸和南海诸岛地貌与环境[M]. 北京：科学出版社，1999：176－206.

[13] 程伟，王黎明，田庆久. 一种基于阴影像元的光学遥感大气校正方法[J]. 测绘学报，2008，37(4)：469－475.

[14] 国家海洋局 908 专项办公室. 海岸带调查技术规程[M]. 北京：海洋出版社，2005.

[15] 孙伟富，马毅，张杰，等. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究[J]. 测绘通报，2011(3)：41－44.

[16] 刘善伟，张杰，马毅，等. 遥感与 DEM 相结合的海岸线高精度提取方法[J]. 遥感技术与应用，2011，26(5)：613－618.