

王璿, 吴志峰, 李少英, 等. 珠江口湾区海岸线及沿岸土地利用变化遥感监测与分析[J]. 地理科学, 2016, 36(12): 1903-1911. [Wang Jin, Wu Zhifeng, Li Shaoying et al. Coastline and Land Use Change Detection and Analysis with Remote Sensing in the Pearl River Estuary Gulf. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(12): 1903-1911.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.12.016

# 珠江口湾区海岸线及沿岸土地利用 变化遥感监测与分析

王璿<sup>1,2</sup>, 吴志峰<sup>3</sup>, 李少英<sup>3</sup>, 王帅帅<sup>3</sup>, 张晓诗<sup>3</sup>, 高群<sup>3</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 广州大学地理科学学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 利用遥感、GIS技术对珠江口湾区1960~2012年海岸线以及海岸带土地利用进行监测, 通过定量化、空间化方法监测海岸线和土地利用的时空变化, 并分析二者的关系, 进而探究珠江口湾区海岸线变迁的原因。研究结果表明, 1960~2012年, 珠江口湾区海岸线长度由1 134.95 km增至1 508.02 km, 在此期间, 湾区新增的陆地面积为878.11 km<sup>2</sup>; 从空间上看, 广州、珠海及深圳市在珠江口五市中不仅海岸线增长幅度较显著, 新增陆地面积也较大; 1960~2012年, 珠江口湾区建设用地扩张幅度非常大, 增长了33.05倍, 城镇建设和农业发展等人类活动是52 a来珠江口湾区海岸线发生显著变化的重要原因。

**关键词:** 海岸线; 土地利用; 遥感监测; 珠江口湾区

**中图分类号:** X22; F902

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2016)12-1903-09

海岸线是沿海地区的海陆分界线, 它的位置与形态决定于地壳运动、河流与海洋沉积物淤积、海洋侵蚀、气候变化等自然因素以及人类社会经济活动。海岸线的改变对潮间带滩涂的面积与资源量、湿地生态系统产生直接影响, 进而改变海岸带环境<sup>[1,2]</sup>。此外, 海岸线的变化还会使潮汐河道的性质乃至河口的通航条件产生改变, 从而影响地区宏观经济<sup>[3,4]</sup>。因此, 沿海地区的岸线及土地利用的变化监测对于沿海地区的环境保护与可持续发展都具有重要意义<sup>[5]</sup>。

珠三角地区的海岸线以及沿岸的土地利用近几十年来一直处于显著的变化过程中, 传统的地理调查手段难以进行有效监测。与之相比, 遥感具有宏观、快速、准确、多时相的优势。因此, 2000年以来, 一些研究者通过遥感与地理信息系统技术的结合, 实现了海岸线变化的定量分析<sup>[6-15]</sup>。近年来, 一些研究深入地分析了不同区域海岸线变化与各种自然、人为因素间的关系<sup>[16-22]</sup>。然而现有

研究中缺乏海岸线与土地利用变迁之间动态关系的分析, 大尺度的海岸带研究目前也较少。

本研究以珠江口湾区为研究区, 主要通过面向对象和监督分类方法分别监测海岸线和土地利用变化, 采用目视解译方法修正监测结果; 分析了1960~2012年海岸线的变化特征, 进而得到这段时期研究区中的新增陆地。结合新增陆地和土地利用变化的分布对岸线变迁与土地利用之间关系进行分析, 进而探究52 a来珠江口湾区海岸线发生显著变化的原因。

## 1 研究区、数据源及研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区为珠三角五市(广州、东莞、深圳、中山、珠海)海岸线(1960年)为基准的10 km缓冲区, 即珠江口湾区。位于21°48'N~23°09'N、113°09'E~114°37'E之间(图1)。珠江口湾区是大珠三角城镇群的核心空间, 区位优势、资源丰富、经济繁

**收稿日期:** 2016-02-26; **修订日期:** 2016-05-16

**基金项目:** 国家自然科学基金(41671430)、广东省科技计划项目(2016A050502065)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China(41671430), Guangdong Provincial Science and Technology Planning Project(2016A050502065).]

**作者简介:** 王璿(1989-), 男, 湖北武汉人, 博士研究生。研究方向: GIS与遥感、环境科学。E-mail: egmontwj@gmail.com

**通讯作者:** 吴志峰(1969-), 男, 湖南湘潭人, 教授, 博士。研究方向: GIS与遥感、景观与城市生态。E-mail: zfwu@gzhu.edu.cn

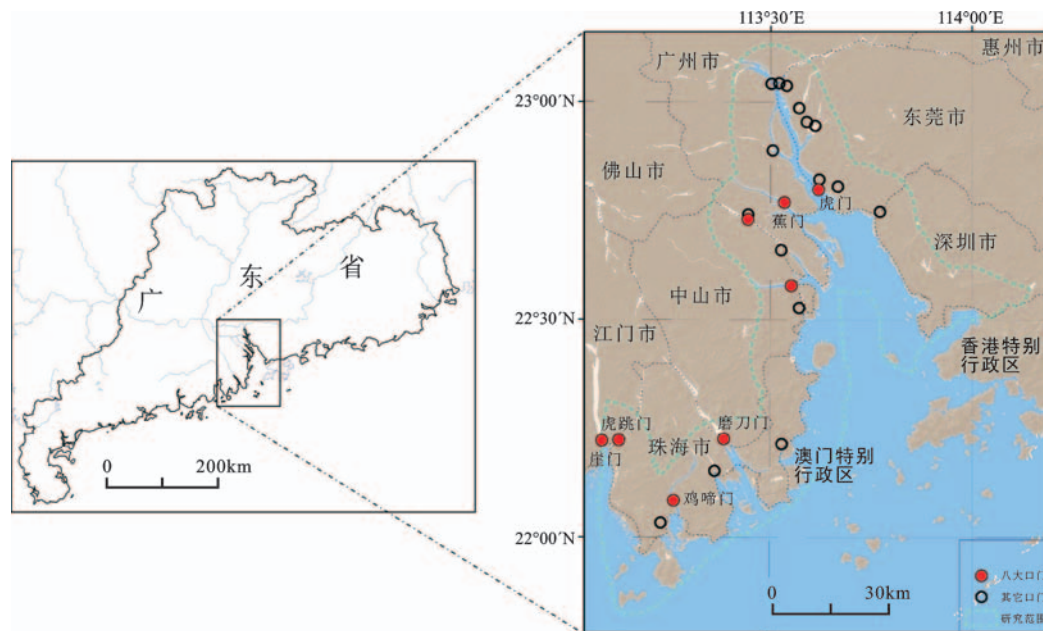


图1 研究区(珠江口湾区)及河口位置

Fig.1 Location of the study area (the Pearl River Estuary Gulf) and river mouth

荣。改革开放以来,该地区是中国社会、经济发展最快的地区之一。2013年,珠三角9个仅占全国面积0.57%的城市创造了全国9.33%的GDP<sup>[23]</sup>。

## 1.2 数据源的获取以及预处理

针对不同年份,本研究分别采用大比例尺地形图、Landsat TM/ETM影像、SPOT影像作为主要数据源(表1),辅助数据源包括数字高程模型数据、实地调查数据、历史数据、行政区划图等,为本研究的监测与验证提供了重要支持。

表1 主要数据源信息

Table 1 Data sources information

监测年份	主要数据源	分辨率(m)
1960	大比例尺地形图	/
1979	Landsat 2 MSS	78
1990	Landsat 5 TM	30
1995	Landsat 5 TM	30
2000	Landsat 5 TM	30
2002	Landsat 5 TM	30
2004	Landsat 7 ETM+	30
2006	SPOT 5	2.5
2008	SPOT 5	2.5
2010	Landsat 7 ETM+	30
2012	Landsat 7 ETM+	30

本研究共计使用遥感影像 37 景,采用

FLAASH模型进行辐射校正,尽可能消除传感器测量值与地物反射率之间的差异;本研究对所有遥感影像对照地形图进行几何校正,误差小于一个像元。LANDSAT 7 ETM+传感器故障导致部分 Landsat7 ETM+影像出现条带缝隙,本研究采用多影像局部自适应回归分析模型进行条带修复。

1960年主要数据源为 1:50 000 地形图,共 60 幅,测绘年份为 1960~1965 年。

## 1.3 海岸线提取方法

本研究主要采用面向对象方法提取海岸线。使用面向对象方法进行遥感影像分类时,分类的基本单元不再是像元,而是这些由同质像元聚合而成的多边形或区域,即对象。面向对象方法中的分类依据除了光谱信息以外,还可以包括对象的几何信息(包括形状、大小等)、纹理信息以及对象间的语义信息与拓扑关系、高程信息等等<sup>[24]</sup>。本研究选用较小尺度进行影像分割,根据影像波段信息和地理特征指标(归一化植被指数 NDVI、改进的归一化水平指数 MNDWI)进行海陆分类。

本研究采用目视解译、矢量化方法从地形图上提取 1960 年海岸线。对比 1960 年地形图与 1979 年海岸线提取结果,可以发现除广州南沙和珠海南部的沿海区域外,其余地区变化较小。变化较小区域参考 1979 年海岸线对在 1960 年的海

岸线提取结果进行修正。1960~2012年海岸线变化如图2所示。

珠江口湾区的海岸以人工海岸为主。对于人工海岸,围垦封闭的区域以最外围为海岸线,围垦尚未封闭的区域按围垦前的原有边界自然延伸,以原有边界及其延伸线为海岸线;珠江口湾区分布较少的自然岸线主要包括基岩海岸、生物海岸及砂质淤泥海岸。基岩海岸由岩石组成,常有突出的海岬和深入陆地的海湾,位于明显的水陆分界线上。生物海岸以高分影像中可见的海岸植物分布的外边界(靠海洋一侧)的最前沿为海岸线。砂质淤泥海岸主要根据大潮高潮位确定海岸线位置。最后人工修正跨海、河口的桥梁、靠岸船只等,筑坝以内的水体区域为陆地,由此得到了1979~2012年珠江口湾区海岸线的分布。此外,本研究还基于潮位、高分影像以及实地调查等数据对海岸线提取结果作进一步优化。

本研究采用目视解译、矢量化方法从地形图上提取1960年海岸线。对比1960年地形图与1979年海岸线提取结果,可以发现除广州南沙和

珠海南部的沿海区域外,其余地区变化较小。变化较小区域参考1979年海岸线对在1960年的海岸线提取结果进行修正。

#### 1.4 土地利用监测方法

本研究结合研究区内的土地利用特征确定分类体系,包括建设用地、林地、农用地、水体、养殖用地和围垦滩涂6种土地利用类型。1960年地形图较详细地标示了研究区中居民点、耕地、仓库、果林、山地等土地利用或自然地貌类型的位置,本研究对标示位置及其附近区域进行矢量化。通过对比1979年遥感影像可以发现地形图中的空白区域多为人迹罕至的山地,土地利用类型应为林地。1979~2012年遥感影像中,Landsat系列影像的空间分辨率较低而光谱信息较丰富,SPOT 5影像空间分辨率较高而光谱信息相对匮乏。本研究对Landsat MSS/TM/ETM+影像进行监督分类、对SPOT 5影像进行面向对象分类得到1979~2012年土地利用的初步监测结果。针对初步监测结果中农用地与植被二者间、围垦滩涂、沿海养殖与水体三者由于“异物同谱”导致的错分,本研究参考实

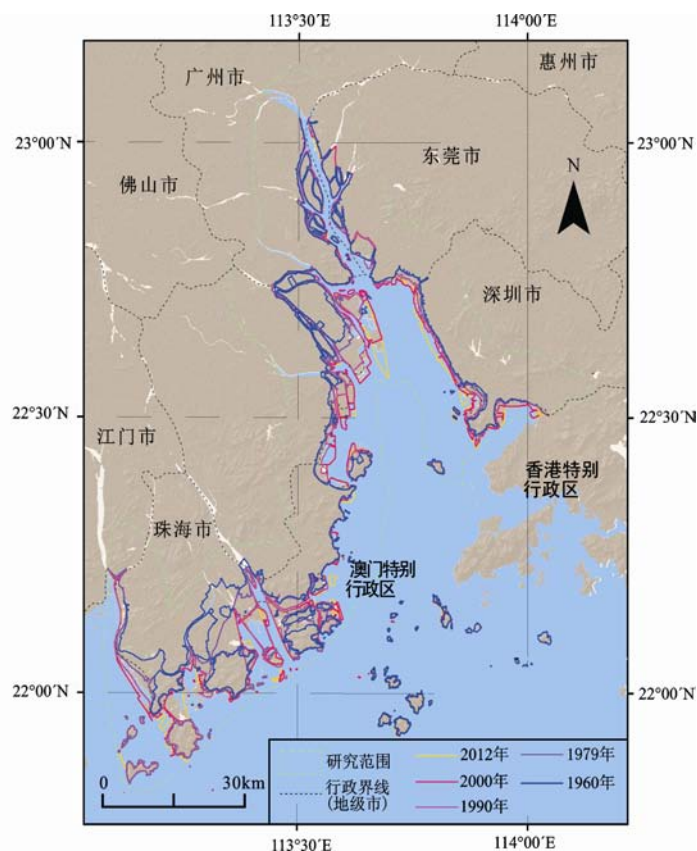


图2 1960~2012年珠江口湾区海岸线空间分布

Fig.2 The coastline distribution of the Pearl River Estuary Gulf in 1960-2012



地调查数据、高分辨率遥感影像进行人工修正。此外,通过人工目视解译方式提取光谱特性较复杂的围垦滩涂。

### 1.5 精度评价

本研究从研究区中随机选取了400个样点,对照2012年高分辨影像和实地调查结果对每个样点赋予海/陆属性和土地利用属性,分别验证海岸线提取和土地利用监测结果的精度。其中,海/陆属性以及土地利用类型估测正确的样点数分别为379、342,精度分别为94.75%、85.5%,Kappa均高于0.75。

## 2 结果分析

本研究基于珠江口湾区1960年、1979年、1990年、1995年、2000年、2002年、2004年、2006年、2008年、2010年以及2012年共11期监测结果,分析海岸线及土地利用的时空变化特征并探讨二者关系。

### 2.1 珠江口湾区海岸线变化分析

提取结果显示,自1960~2012年,珠江口湾区海岸线由1 134.95 km增至1 508.02 km,年均增速为7.17 km/a(图3)。海岸线变化最显著的时期为2004~2006年、2006~2008年以及2008~2010年3个时间段,年均变化率分别为-3.45%、2.85%以及2.98%。珠海市、广州市以及深圳市在珠江口五市中海岸线的增长幅度较显著,增长率分别为60.81%、22.00%以及19.71%。2004~2010年,珠江口湾区海岸线的年均变化率达3%左右,是变化最显著的时期(表2)。其次为1990~1995年、2000~2002年,年均变化率分别为2.01%、-1.93%。

1960~1979年、2002~2004年以及2010~2012年,海岸线长度也产生了较明显的变化,年均变化率分别为0.90%、1.51%以及-1.19%。其余时间段海岸线长度变化不明显。

2012年广州市海岸线长度为318.14 km,较1960年增长22.00%,增长率在珠江口湾区五市中仅次于珠海。52 a间,海岸线变化最显著的时期为2000~2002年以及2002~2004年,年均变化率分别为-2.94%、3.21%。龙穴岛和万顷沙在这段时期内急剧扩张,使南沙地区的海岸线产生了明显变化。此外,1990~1995年变化幅度也较大,年均变化率达1.80%。

1960~2012年,深圳市海岸线从100.72 km增至120.58 km,较1960年增长19.71%。1995年以前,深圳市海岸线持续增加,其中1990~1995年间年均增长率达3.32%。1995年后,持续多年的填海造地工程使深圳蛇口半岛以及福田沿海地区原本蜿蜒曲折的自然岸线变为平坦笔直的人工岸线,海岸线长度因此持续下降(2004~2006年除外)。2004~2006年,大铲湾码头的建设使海岸线猛增6.65 km,全市年均增长率高达7.53%。

2012年中山市海岸线长度为108.97 km,与1960年相比增长幅度14.90%。2000~2002年、2006~2008年以及2008~2010年海岸线的长度变化都非常显著,年均变化率分别为-9.20%、-10.72%以及12.94%,全市海岸线变化最明显的区域是横门滩。

与珠江口湾区其余四市不同,东莞市海岸线的长度在1960~2012年不增反减,从136.67 km减少至130.25 km。原因是东莞市海岸线改变最大的区

表2 海岸线长度年均变化率统计表

Table 2 The average annual change rate of coastline length

	广州	东莞	深圳	中山	珠海	总计
1960~1979年	0.29%	-0.58%	0.02%	-0.24%	2.10%	0.90%
1979~1990年	0.63%	1.60%	0.23%	-0.16%	-0.55%	0.05%
1990~1995年	1.80%	-4.43%	3.23%	5.59%	2.47%	2.01%
1995~2000年	-0.39%	2.10%	-0.71%	2.31%	-0.48%	-0.06%
2000~2002年	-2.94%	-4.41%	-0.79%	-9.20%	-0.06%	-1.93%
2002~2004年	3.21%	-0.54%	-0.09%	0.68%	1.78%	1.51%
2004~2006年	-0.44%	4.08%	7.53%	1.71%	-11.06%	-3.45%
2006~2008年	-0.80%	2.34%	-2.18%	-10.72%	9.69%	2.85%
2008~2010年	0.79%	5.11%	-0.25%	12.94%	3.36%	2.98%
2010~2012年	0.54%	-5.58%	-2.52%	-2.67%	-0.37%	-1.19%

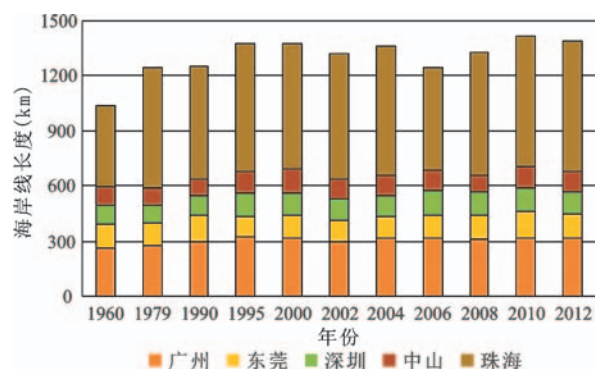


图3 1960~2012年珠江口湾区海岸线长度

Fig.3 The length of coastline of the Pearl River Estuary Gulf in 1960-2012

域位于长安镇交椅湾,多年来的围垦养殖填海使陆地不断向海洋延伸,海湾的曲折程度大为减少。

基于1960~2012年珠江口湾区的海岸线,本研究进一步提取了该区域的海陆分布及其变化(图4)。结果显示,珠江口湾区的南部是新增陆地最显著的地区,以珠海南部沿海地区和深圳前海地区为代表。2012年,上述两地区陆地面积分别为603.29 km<sup>2</sup>、145.49 km<sup>2</sup>,较1960年分别增长75.02%、62.34%。在此过程中,珠海的三灶岛在20世纪80年代,高栏岛于2008年前后相继与陆地相

连。深圳的蛇口半岛的陆地面积在1979年以后几乎增加了2倍,蛇口半岛在各方向上均明显扩展,从细长型变为近似菱形,土地面积得到了极大的增加。除珠海南部、深圳前海以外,广州南沙港区的陆地面积也在迅速扩张,从172.34 km<sup>2</sup>增至303.22 km<sup>2</sup>。龙穴岛在1960年面积仅有0.66 km<sup>2</sup>,2012年全岛陆地面积达52.91 km<sup>2</sup>。与此同时,万顷沙的新增陆地面积为64.52 km<sup>2</sup>,平均每年增加1.24 km<sup>2</sup>。

## 2.2 珠江口湾区土地利用与岸线变迁关系

### 2.2.1 土地利用变化总体分析

监测并分析了珠江口湾区自1960~2012年的土地利用状况(表3,图5)。可以得到如下结论:① 建设用地总体的增长趋势非常显著,52 a间扩张了33.05倍。其中,1960~1990年期间年增幅相对较低,年均增长率为6.08%。1990~1995年建设用地增长幅度惊人,年均增长率达到了22.61%,在此期间,珠江口湾区的代表城市——广州和深圳的GDP年均增速分别为31.60%、37.39%。1995年后建设用地仍保持较快增长,年变化率为4.24%;② 农用地分布的减少趋势显著。1960~2012年,珠江口湾区农用地的总面积每年下降1.60%。1979~1990年,农用地分布减少速度较快,

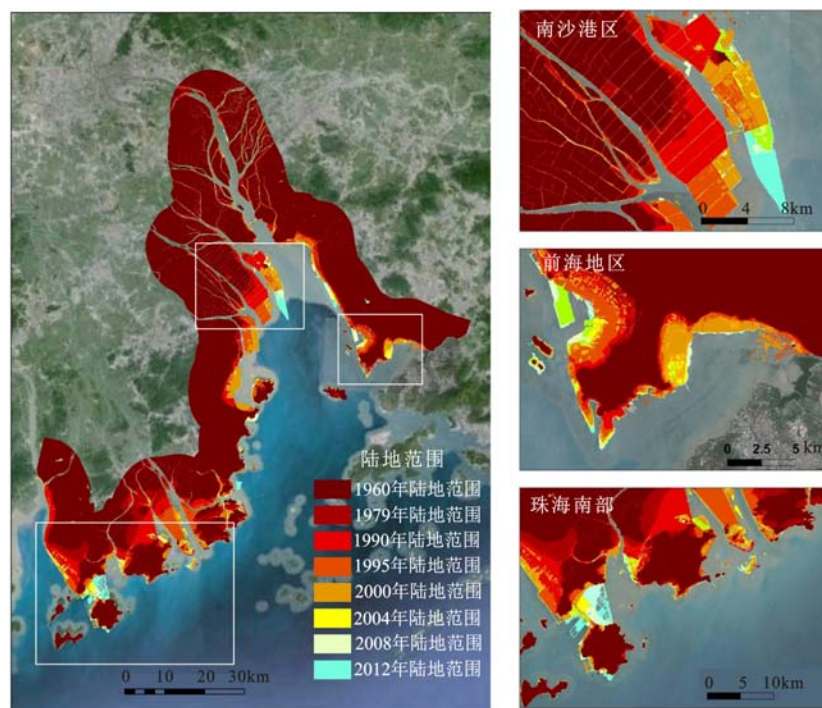


图4 1960~2012年珠江口湾区陆地范围变化

Fig.4 Terrestrial change in the Pearl River Estuary Gulf in 1960-2012

表3 1960~2012年珠江口湾区近岸土地利用  
面积统计表(km<sup>2</sup>)

Table 3 The area of different land use types in 1960-2012(km<sup>2</sup>)

	建设用地	林地	农用地	养殖用地	围垦滩涂
1960年	54.84	1128.48	1710.43	0.00	0.00
1979年	45.49	1116.94	1908.43	0.00	0.00
1990年	322.63	1279.63	1243.27	344.42	10.79
1995年	893.99	654.02	1200.42	627.06	54.15
2000年	1041.82	613.54	1296.30	469.87	108.69
2002年	1096.81	647.67	1142.54	635.99	85.60
2004年	1254.71	706.71	1274.38	307.52	39.95
2006年	1321.38	797.45	1044.28	400.40	62.91
2008年	1456.48	607.72	922.07	481.35	36.82
2010年	1609.29	636.54	815.39	427.93	86.38
2012年	1812.33	592.16	740.58	530.53	37.63

年均下降3.82%。1990~2004年农用地的分布保持稳定,年变化率0.18%。2004年后,农用地分布面

积以-6.56%的年变化率迅速减少,直至2012年。  
③ 林地在1990~1995年经历了总面积的大幅下降,年均变化率高达-12.56%。在1960~1990年、1995~2012年2个时期内林地分布面积保持稳定。  
④ 养殖用地的分布面积在1979~1995年,从几乎为零增长到648.06 km<sup>2</sup>,此后保持在一定范围内波动;围垦滩涂在1990年前几乎没有分布。随着填海活动的加强,围垦滩涂的面积有所增长,2000年达到108.59 km<sup>2</sup>。

### 2.2.2 土地利用与海岸线变迁的动态关系

1960年以来,珠江口湾区的海岸线持续向海洋方向推进。1960~2010年,珠江口湾区陆地面积由2 893.75 km<sup>2</sup>增至3 771.87 km<sup>2</sup>,年均新增陆地17.56 km<sup>2</sup>(图4)。为分析土地利用状况对海岸线变化所产生的影响,本研究提取并统计了1979年、1990年、2000年和2010年珠江口湾区新增陆地的土地利用情况(表4)。

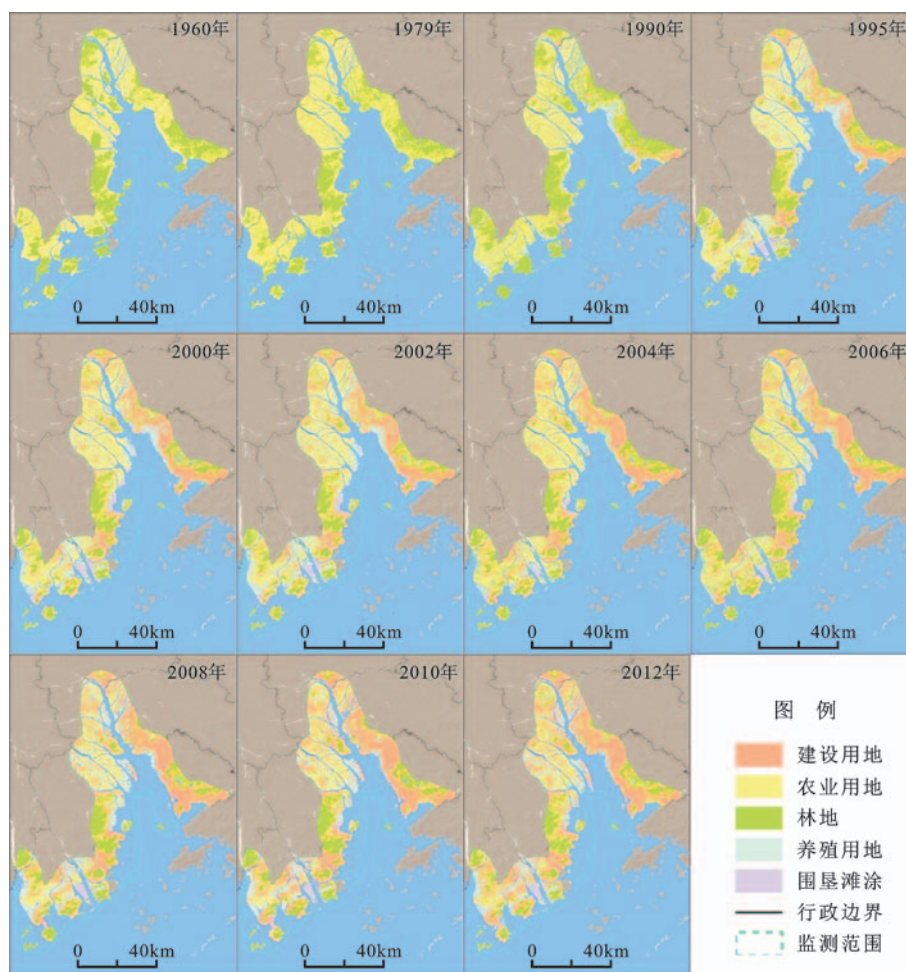


图5 1960~2012年珠江口湾区土地利用变化

Fig.5 Land use change in the Pearl River Estuary Gulf in 1960-2012



表4 新增陆地土地利用状况统计表(km<sup>2</sup>)Table 4 Land use state in newly-added land (km<sup>2</sup>)

	1960~1979年	1979~1990年	1990~2000年	2000~2010年
建设用地	3.35	7.73	55.89	51.47
林地	86.78	27.94	4.51	0.65
农用地	141.40	62.93	67.97	4.73
养殖用地	0.00	115.64	99.15	16.86
围垦滩涂	0.00	10.58	93.90	26.63
新增陆地总面积	231.53	224.82	321.42	100.34

由上表可知,1960~1979年,珠江口湾区新增陆地面积231.53 km<sup>2</sup>,其中农用地占61.07%,显示这一时期农业发展是导致海岸线变化的首要原因。1979~1990年新增陆地面积为224.82 km<sup>2</sup>,年均扩张速度大大高于前一个时期。新增陆地面积中养殖用地的面积为115.64 km<sup>2</sup>,所占比例为51.44%。此外,在围填海的过程中,农用地的面积同样有了明显扩张,达62.93 km<sup>2</sup>,不过扩张速度比1979年以前略有下降。

1990~2000年是近50 a来陆地向海洋扩张最快的一段时期,新增陆地面积达321.42 km<sup>2</sup>。其中占地面积最大的2种土地利用类型是养殖用地和围垦滩涂,分别为99.15 km<sup>2</sup>、93.90 km<sup>2</sup>。值得注意的是,沿海新增陆地中建设用地的分布规模有了明显扩大,达55.89 km<sup>2</sup>。2000年以后,沿海新增陆地规模大大低于前3个时期,仅为100.34,新增陆地中农用地、养殖用地以及围垦滩涂的所占面积也较前期大为减少,只有建设用地仍然维持之前的扩张规模,达51.47 km<sup>2</sup>。

综上所述,自1960~2012年,珠江口湾区累计新增陆地面积为878.11 km<sup>2</sup>。2000年前,珠江口湾区的新增陆地主要服务于农业发展,2000年以后,城镇建设成为了陆地扩张的主要原因。以上基于土地利用的海岸线变迁研究显示,人类活动是海岸线变化的重要因素。

### 3 讨论

改革开放以后,伴随着经济的持续高速发展,湾区的海岸地貌景观也发生了显著变化,包括海岸线的增长、海域的减少和建设用地的快速扩张等等。深圳的前海地区是珠江口湾区中的典型区域。1979年7月,中国第一个对外开放的工业区——蛇口工业区建立于前海地区,该地区

遂成为改革开放的窗口。2015年4月21日,中国(广东)自由贸易试验区正式挂牌,前海为自贸区三大片区之一,被定位为中国金融业对外开放试验示范窗口、世界服务贸易重要基地和国际性枢纽港。与经济前景形成鲜明对比,深圳市土地资源日益紧缺。深圳市域总面积仅有1 993 km<sup>2</sup>,相当于广州的1/4、北京的1/8。2010年深圳市平均人口密度为全省最高,达13 290人/km<sup>2</sup>,是位居第二的东莞市的3倍<sup>[25]</sup>,因此深圳市,尤其是前海这样的热点地区多年来城市用地的需求非常高。过去50 a来大规模的填海活动已经使前海地区的陆地面积从89.68 km<sup>2</sup>(1960年)增长至145.49 km<sup>2</sup>(2012年),蜿蜒曲折的自然岸线也随之变为平坦笔直的人工岸线。值得注意的是,这些新增的陆地,在2004年以后几乎完全转化为建设用地,而其他填海活跃的地区如广州南沙、珠海南部直至2012年仍有养殖用地分布,可以在相当程度上为未来城市建设用地的扩张提供空间。据南方日报2016年3月3日报道,深圳市委书记马兴瑞表示将填海55 km<sup>2</sup>,增加土地供应以应对持续高涨的房价。作为中国红树林分布的集中区域和珍稀鸟类与海洋生物的栖息地,前海地区同样也是研究珠江口湾区海岸环境的“窗口”。在发展经济与保障民生的双重压力下,未来深圳市沿海地区的环境问题值得更深入的研究与思考。

### 4 结论

利用遥感、GIS技术对珠江口湾区1960~2012年海岸线以及海岸带土地利用进行监测,通过定量化、空间化方法监测海岸线和土地利用的时空变化,并分析二者的关系,进而探究珠江口湾区海岸线变迁的原因。主要结论如下:

1) 对于珠江口湾区这种地貌景观变化显著区域,遥感和GIS技术提供了实用、经济的监测方法,并且能达到较高精度。

2) 从时间上来看,珠江口湾区海岸线在2004~2010年变化最显著,从空间上来看,珠海、广州以及深圳三市海岸线变化最显著。

3) 1960~2012年,珠江口湾区新增陆地规模非常大,农业发展和城镇建设等人类活动是珠江口湾区海岸线发生显著变化的重要原因。

## 参考文献(References):

- [1] 李静, 张鹰. 基于遥感测量的海岸线变化与分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40(2): 224-228. [Li Jing, Zhang Ying. Analysis of coastline change based on remote sensing measurement. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2012, 40(2): 224-228.]
- [2] 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. [Xu Jinyong, Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli et al. Spatial-temporal analysis of coastline changes in northern China from 2000 to 2012. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(5): 651-660.]
- [3] 朱小鸽. 珠江口海岸线变化的遥感监测[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 19-22. [Zhu Xiaoge. Remote sensing monitoring of coastline changes in Pearl River Estuary. Marine Environmental Science, 2002, 21(2): 19-22.]
- [4] 姜义, 李建芬, 康慧, 等. 渤海湾西岸近百年来海岸线变迁遥感分析[J]. 国土资源遥感, 2003, (4): 54-58. [Jiang Yi, Li Jianfen, Kang Hui et al. A remote sensing analysis of coastline changes along the bohai bay muddy coast in the past 130 years. Remote Sensing for Land & Resources, 2003(4): 54-58.]
- [5] Rasuly A, Naghdifar R, Rasoli M. Monitoring of Caspian Sea coastline changes using object-oriented techniques[J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2(1): 416-426.
- [6] 张忍顺, 陆丽云, 王艳红. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 469-478. [Zhang Renshun, Lu Liyun, Wang Yanhong. The mechanism and trend of coastal erosion of Jiangsu Province in China. Geographical Research, 2002, 21(4): 469-478.]
- [7] Dellepiane S, De Laurentiis R, Giordano F. Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of the coastline precision[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(13): 1461-1470.
- [8] 常军, 刘高焕, 刘庆生. 黄河三角洲海岸线遥感动态监测[J]. 地球信息科学, 2004, (1): 94-98. [Chang Jun, Liu Gaohuan, Liu Qingsheng. Dynamic monitoring of coastline in the Yellow River Delta by remote sensing. Geo-information Science, 2004, (1): 94-98.]
- [9] 王琳, 徐涵秋, 李胜. 厦门岛及其邻域海岸线变化的遥感动态监测[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(4): 404-410. [Wang Lin, Xu Hanchu, Li Sheng. Dynamic monitoring of the shoreline changes in Xiamen island with its surrounding areas of SE China using remote sensing technology. Remote Sensing Technology and Application, 2005, 20(4): 404-410.]
- [10] Li Xuejie, Damen M C. Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of the Pearl River Estuary, China[J]. Journal of Marine Systems, 2010, 82(S, SI): S54-S61.
- [11] Cui Buli, Li Xiaoyan. Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976-2005) [J]. Geomorphology, 2011, 127(1/2): 32-40.
- [12] Thao N V, Thanh T D, Saito Y et al. Monitoring coastline change in the Red River Delta using remotely sensed data[J]. Vietnam Journal of Marine Science & Technology, 2013, 13(2): 151-160.
- [13] Zhang Wei, Xu Yang, Hoitink A et al. Morphological change in the Pearl River Delta, China[J]. Marine Geology, 2015, 363: 202-219.
- [14] 张云, 张建丽, 李雪铭, 等. 1990年以来中国大陆海岸线稳定性研究[J]. 地理科学, 2015, 35(10): 1288-1293. [Zhang Yun, Zhang Jianli, Li Xueming et al. Stability of continental coastline in China since 1990. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(10): 1288-1293.]
- [15] 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.
- [16] 孙才志, 李明显. 辽宁省海岸线时空变化及驱动因素分析[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(03): 63-67. [Sun Caizhi, Li Mingyu. Spatial-temporal change of coastline in Liaoning Province and its driving factor analysis. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(3): 63-67.]
- [17] Farhan A R, Lim S. Resilience assessment on coastline changes and urban settlements: A case study in Seribu Islands, Indonesia [J]. Ocean & Coastal Management, 2011, 54(5): 391-400.
- [18] 朱高儒, 许学工. 渤海湾西北岸 1974-2010 年逐年填海造陆进程分析[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 1006-1012. [Zhu Gaoru, Xu Xuegong. Annual processes of land reclamation from the sea along the northwest coast of Bohai Bay during 1974 to 2010. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(8): 1006-1012.]
- [19] Murray A B, Gopalakrishnan S, Mcnamara D E. Progress in coupling models of human and coastal landscape change[J]. Computers & Geosciences, 2013, 53: 30-38.
- [20] 孙晓宇, 吕婷婷, 高义, 等. 2000-2010 年渤海湾岸线变迁及驱动力分析[J]. 资源科学, 2014, (2): 413-419. [Sun Xiaoyu, Lv Tingting, Gao Yi et al. Driving force analysis of Bohai Bay coastline change from 2000 to 2010. Resources Science, 2014(2): 413-419.]
- [21] Guneroglu A. Coastal changes and land use alteration on North-eastern part of Turkey[J]. Ocean & Coastal Management, 2015, 118(B): 225-233.
- [22] Johnson J M, Moore L J, Ells K et al. Recent shifts in coastline change and shoreline stabilization linked to storm climate change[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2015, 40(5): 569-585.
- [23] 广东省统计局. 广东统计年鉴 2014[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014. [Statistics Bureau of Guangdong Province, Guangdong statistical yearbook: 2014. Beijing: China Statistics Press, 2014.]
- [24] 陈云浩, 冯通, 史培军, 等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(4): 316-320. [Chen Yunhao, Feng Tong, Shi Peijun et al. Classification of remot sensing image based on object oriented and class



- rules. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(4): 316-320.]
- [25] 匡耀求, 姚志远, 黄宁生, 等. 中国珠三角盆地和日本关东盆地平地人口密度对比研究[J]. *热带地理*, 2014, 34(2):

217-224. [Kuang Yaoqiu, Yao Zhiyuan, Huang Ningsheng et al. Comparative study of population density in flat area between the Pearl River Basin in China and Kanto Basin in Japan. *Tropical Geography*, 2014, 34(2): 217-224.]

## Coastline and Land Use Change Detection and Analysis with Remote Sensing in the Pearl River Estuary Gulf

Wang Jin<sup>1,2</sup>, Wu Zhifeng<sup>3</sup>, Li Shaoying<sup>3</sup>, Wang Shuaishuai<sup>3</sup>, Zhang Xiaoshi<sup>3</sup>, Gao Qun<sup>3</sup>

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;*  
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;* 3. *School of Geographical Sciences,*  
*Guangzhou University, Guangzhou 510006, Guangdong, China)*

**Abstract:** Coastline is the sea-land demarcation line in coastal regions. The position and shape of coastline depends on various natural and anthropogenic factors. The change of coastline exerts obvious influence on environment and economy in coastal regions. Therefore, it is important to detect and analysis the change of coastline and landuse for coastal environment and sustainable development. The Pearl River Estuary Gulf (PREG), the core region of Greater Pearl River Delta urban agglomeration, is one of the most prosperous and fastest growing regions in China. The coastline and land use in PREG have changed remarkably and continuously during the past decades. In this research, the change of coastline and land use in 1960-2012 was detected with RS and GIS. Furthermore, coastline characteristics of temporal and spatial variation were analyzed with quantitative and spatial approach. And the relationship between the changes of coastline and land use was explored. Finally, the impact that urban expansion brought to landscape in coastal zone was quantitatively analyzed. 1) In 1960-2012, the length of coastline in PREG increased from 1 134.95 km to 1 508.02 km with annul increasing speed of 7.17 km/a. Relatively, the coastline changed more obvious in three period (2004-2006, 2006-2008 and 2008-2010). The annual average change rate of coastline in the three period were -3.45%, 2.85% and 2.98%, respectively. After 2010, the speed of coastline change in PREG became lower. 2) In 1960-2012, the coastline had a greater increasing amount in the cities of Zhuhai, Guangzhou and Shenzhen, where the length of coastline increased by 60.81%, 22.00% and 19.71%, respectively. 3) In 1960-2012, Nansha in Guangzhou, south Zhuhai and Qianhai in Shenzhen gained more newly-added land than any other area in PREG. Their land area increased from 172.34 km<sup>2</sup> to 303.22 km<sup>2</sup>, 344.70 km<sup>2</sup> to 603.29 km<sup>2</sup> and 89.62 km<sup>2</sup> to 145.49 km<sup>2</sup>, respectively. 4) In PREG, construction land expanded 33 times in 1960-2012. In the meanwhile, the area of forest and farm land decreased by 47.53% and 56.70%, respectively. 5) In 1960-1979, the total area of newly-added land in PREG was 231.53 km<sup>2</sup>, where farm land accounted for 61.07%. In 1979-1990, the total area of newly-added land was 224.82 km<sup>2</sup>, where aquafarm land accounted for 51.44%. From 1990 to 2000, the total area of newly-added land was 321.42 km<sup>2</sup>, where farm/aquafarm land accounted 61.07%. It can be known that the land demand for agricultural development was the key factor that changed coastline in PREG before 2000. From 2000 to 2012, the total area of newly-added land was 100.34 km<sup>2</sup>, where construction land accounted for 51.30%. Since 2000, land demand for urban construction has been the key factor that changed coastline in PREG. In conclusion, human activities, including agricultural development and urban construction, largely resulted in the significant change of coastline in PREG.

**Key words:** coastline; land use; remote sensing; the Pearl River Estuary Gulf