

1973 年—2013 年经济特区城市空间扩展遥感监测

施利锋^{1,2}, 张增祥¹, 刘芳¹, 赵晓丽¹, 刘斌¹, 徐进勇¹, 胡顺光¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 选取 1973 年—2013 年多源遥感影像为数据源, 以深圳、厦门、海口为例, 开展中国经济特区城市建城区的长时序、高频数空间扩展遥感监测。选取城市扩展速度、城市扩展对土地利用的影响、城市形态紧凑度和城市重心迁移作为指标, 剖析经济特区城市扩展的时空特征, 耦合自然要素与人为要素, 对比分析深圳、厦门和海口在城市扩展过程中表现出来的异同, 并探讨其原因。结果表明: (1) 近 40 年来, 经济特区城市扩展先后经历了一个缓慢平稳扩展阶段、两个加速扩展阶段和两个减速扩展阶段。深圳的扩展速度最快, 其次是厦门, 海口的扩展速度最慢; (2) 耕地对经济特区城市扩展贡献最大, 林地、水域、城乡工矿和居民用地、海域也是经济特区城市扩展的重要土地来源, 草地和未利用土地的贡献最小; (3) 经济特区城市的空间形态总体趋于松散, 1973 年—2004 年城市紧凑度剧烈降低, 2004 年之后趋于平稳; (4) 在政策与填海造地工程的共同影响下, 经济特区城市重心有向海岸线方向迁移的趋势, 深圳的迁移量最大, 海口最小。

关键词: 遥感, 监测, 城市扩展, 经济特区, 对比分析

中图分类号: TP79/F301.24

文献标志码: A

引用格式: 施利锋, 张增祥, 刘芳, 赵晓丽, 刘斌, 徐进勇, 胡顺光. 2015. 1973 年—2013 年经济特区城市空间扩展遥感监测. 遥感学报, 19(6): 1030–1039

Shi L F, Zhang Z X, Liu F, Zhao X L, Liu B, Xu J Y and Hu S G. 2015. Spatial expansion remote sensing monitoring of special economic zones from 1973 to 2013. Journal of Remote Sensing, 19(6): 1030–1039 [DOI: 10.11834/jrs.20154267]

1 引言

城市扩展是城市在空间上的蔓延, 是城市化过程中城市土地利用变化最为直接的表现形式之一, 城镇建设用地规模的不断扩大是城市扩展最显著的特点(张增祥等, 2014)。城市扩展作为社会经济现象的一种重要表现形式, 正以空前的规模和速度在全球范围内展开(Liu等, 2010), 大规模的城市扩展导致的土地利用/土地覆盖变化对全球气候和生态环境都有巨大影响(Liu等, 2014)。20 世纪 70 年代, 尤其是 1978 年以来, 中国经济发展重心向东部沿海城市倾斜, 先后设立了一批经济特区城市与沿海开放城市, 使得东部沿海城市在近 40 年里快速扩展, 对中国经济增

长、人口分布和土地利用变化都产生了深远的影响(Kuang等, 2013)。伴随着不断加快的城市扩展, 人口、环境和资源之间的矛盾日渐凸显。例如, 城市扩展过快直接导致耕地质量的急剧下降与不透水层面积的显著增加, 进而引发粮食安全问题, 加剧热岛效应, 威胁到人类的生存安全(He等, 2007; Liu等, 2010)。

学者在城市扩展研究方面做了大量的工作, 相关的研究最早可追溯到 19 世纪末城市空间形态结构的研究, 数据来源以统计数据为主, 监测方法以实地调研为主(闫梅和黄金川, 2013)。遥感与 GIS 技术的出现彻底改变了这一状况, 尤其是 20 世纪 80 年代以后, 大量的遥感数据被应用于城市扩展监测, GIS 技术被广泛应用于城市扩展数据的分析, 使

收稿日期: 2014-11-14; 修订日期: 2015-06-16; 优先数字出版日期: 2015-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41101148); 中国科学院遥感与数字地球研究所“一三五规划项目”(编号: Y4SG0100CX)

第一作者简介: 施利锋(1990—), 男, 博士研究生, 现从事土地利用、城市扩展的理论和应用研究。E-mail: shilif@radi.ac.cn

通信作者简介: 刘芳(1983—), 女, 副研究员, 主要从事土地利用/覆盖变化、城市遥感方面的研究。E-mail: liufang@radi.ac.cn

得全国尺度、区域尺度的城市扩展监测成为可能,而单个城市的扩展监测更实时、精确。中国的城市扩展研究中,全国尺度的城市扩展监测通常将东、中、西部城市扩展进行对比研究(Ji等,2001;Liu等,2012),区域尺度的城市扩展监测通常选取长三角、珠三角和京津唐等经济发达地区(Tian等,2011;Ye等,2013;Li和Wu,2013;Haas和Ban,2014),单个城市的城市扩展监测通常选取上海、北京、天津、广州和南京等典型城市(牟凤云等,2007;王茜等,2007;Cai等,2007;Yin等,2011;Sun等,2013),城市扩展遥感监测的信息提取多采用自动分类技术(Jacquin等,2008;Doxania等,2012;Eum等,2011)。

经济特区城市设立的初衷是通过采用特殊的经济政策,创造良好的投资环境,以达到促进经济技术发展的目的。除了政策优惠以外,经济特区通常具有优越的地理区位、港阔水深的良港(陈怡煌,1991),其地理区位优势对自身的发展及周边地区的经济辐射都有深远的影响(姚士谋等,1989)。凭借特有的政策优势和地理区位优势,经济特区城市扩展速度远快于国内多数城市,对区域的土地利用/土地覆盖、经济增长、人口迁移、生态环境等,都产生了巨大的影响(Zhu,1996;Litwack和Qian,1998;Tian等,2013)。因此,经济特区城市扩展的研究也引起了许多学者的重视。史培军等人(2000)利用1980年—1994年3期遥感影像,通过最大似然法对深圳土地利用进行了测量;荀斌等人(2014)以6期Landsat影像为数据基础,采用自动分类方法监测了1980年—2010年深圳建成区扩展;陈本清和徐涵秋(2004)对TM图像进行多步骤分类提取厦门土地利用变化信息;吝涛等人(2010)将遥感影像与历史数据相结合,分析了厦门岛1908年—2007年的空间扩展特征及其影响因素。目前,国内对经济特区城市扩展的研究存在一些不足之处:(1)在遥感监测方面存在监测时间跨度短、频率低、时效性差等问题;(2)在经济特区城市扩展分析方面多以单个城市为主,缺乏对比研究;(3)在建成区提取时多采用自动分类技术,缺乏对遥感数据特点以及城市用地扩展过程复杂性的认识,且在光谱、纹理特征上无法将建成区与独立于建成区外的城乡工矿和居民用地区分开来。

本文以多源遥感影像为数据源,采用人机交互的方式,重建1973年—2013年深圳、厦门和海口3

个经济特区城市的扩展过程,通过分析城市扩展速度、城市扩展对土地利用的影响、城市形态紧凑度以及城市重心迁移,耦合地形地貌、社会、经济、政策等要素,挖掘经济特区城市扩展的时空特征异同,为科学认知经济特区城市的扩展历程提供参考,为“新型城镇化”背景下经济特区城市的扩展提供导向。

2 研究区简介

考虑到深圳、汕头和珠海均隶属于广东省,地理位置相近,汕头和珠海的城市扩展在一定程度上受“改革之窗”深圳的影响,因此经济特区城市扩展遥感监测选取深圳、厦门和海口作为研究对象,而未将汕头和珠海考虑在内。其中深圳和厦门均于1979年被设立为经济特区,海南于1988年才被设立为经济特区,相对于深圳和厦门,海南经济特区成立较晚。3个城市地跨($110^{\circ}10'E-118^{\circ}26'E$, $20^{\circ}05'N-24^{\circ}54'N$),沿东南沿海等间距分布,分别位于广东省南部、福建省东南部、海南岛北部,地理位置相隔较远。深圳、厦门和海口城市辖区内地形地貌复杂多变,以山地、丘陵、台地和滨海平原为主,其中滨海平原的比较重较低,在一定程度上限制了城市扩展的空间格局。

3 数据处理

3.1 数据来源

本文使用多源遥感影像监测深圳、厦门和海口1973年—2013年的城市扩展过程,为了确保建成区现状及土地利用动态信息的准确提取,一般选取植被旺盛期且含云量小于10%的遥感影像(Senf等,2015)。本次城市扩展遥感监测共涉及Landsat MSS影像6景,Landsat TM/ETM+影像32景,CBERS CCD影像3景,HJ-1 CCD影像6景,Landsat OLI影像3景,影像主要来自于美国地质调查局USGS网站(<http://glovis.usgs.gov/>),空间分辨率为19.5—80 m。其中70年代采用Landsat MSS影像,80年代到2010年间主要以Landsat TM/ETM+影像为主,对于Landsat TM/ETM+影像质量不好或者缺失的时段以CBERS CCD影像及HJ-1 CCD影像作为补充,2011年—2012年采用HJ-1 CCD影像,2013年采用Landsat OLI影像(表1)。

表1 1973年—2013年研究区遥感数据获取年份

Table 1 Years of remote sensing data in the study area between 1973 and 2013

/年

城市	Landsat MSS	Landsat TM/ETM +	CBERS	HJ-1	Landsat OLI	监测时段
深圳	1973、1977、 1978、1979	1989、1990、1995、1996、1998、2000、2001、2002、2004、 2006、2007、2009	2008	2010、2011、2012	2013	1973—2013
厦门	1973	1988、1993、1996、1998、2000、2002、2004、2006、 2009、2010	2008	2011、2012	2013	1973—2013
海口	1973	1989、1991、1995、1998、2000、2001、2004、2007、 2009、2010	2006	2011	2013	1973—2013

3.2 图像预处理及信息提取

首先对涉及的遥感影像进行假彩色合成,之后在 Intergraph MEG 平台中,以深圳、厦门、海口 1:10 万地形图为准,进行几何精纠正。像元重采样采用最近邻点法,误差一般不超过 1—2 个像元。所有数据均采用双标准纬线等面积割圆锥投影、克拉索夫斯基椭球体和全国统一的中央经线和双标准纬线,中央经线为 105°E,双纬线为 25°N 和 47°N(张增祥,2006)。

对深圳、厦门和海口城市扩展的遥感监测是通过对这 3 个城市的建成区现状及土地利用动态信息的监测来实现的,采用人机交互全数字分析方法,直接从各期遥感影像上提取,之后在 Arc/Info 中进行图像编辑和面积统计(图 1)。具体步骤如下:(1)提取首期遥感影像中城市建成区的边

界,并以此为基础,对比首期(记作时刻 t) 遥感影像与第二期(记作时刻 $t+n$, n 为两期影像的时间间隔) 遥感影像之间的城镇用地变化情况,将其作为动态图斑勾画出来并根据土地利用分类系统赋予属性,与此同时,要确保城市建成区边界线和土地利用动态图斑的闭合。(2)在 Arc/info 平台中编辑 t 、 $t+n$ 时刻的城市建成区边界线和 t 至 $t+n$ 时刻的城市扩展对土地利用的影响图斑,最终获取 3 个 cov 数据,即 t 时刻城市建成区、 $t+n$ 时刻的城市建成区以及 n 年间的城市扩展对土地利用的影响。(3)在 $t+n$ 时刻城市建成区边界的基础上,对比下一期遥感影像,找寻其与 $t+n$ 时刻遥感影像的城市扩展动态,重复 t 至 $t+n$ 时刻城市扩展监测的步骤,直至分别完成 20 世纪 70 年代至 2013 年深圳、厦门和海口的城市扩展遥感监测。

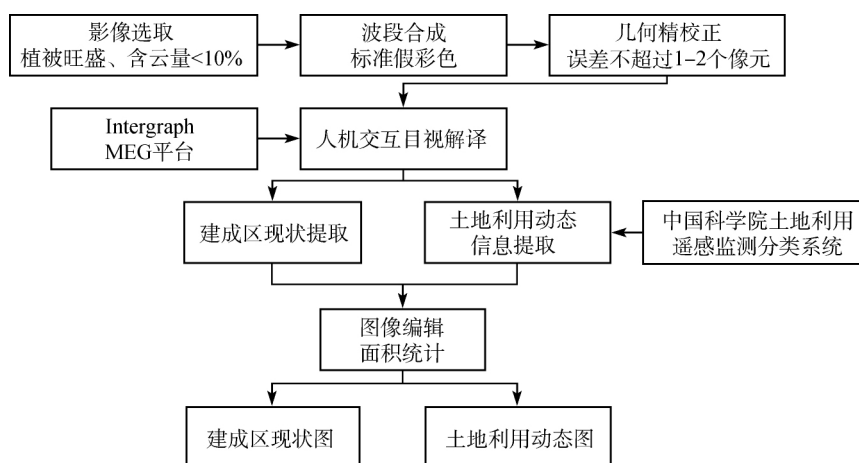


图1 建成区现状及土地利用动态信息提取流程图

Fig. 1 Flow chart for extracting the built-up area and land use dynamic information

土地利用分类系统采用中国科学院制定的中国土地利用/土地覆盖分类系统(NLUD-C)(Zhang等,2014),该分类系统包括6个一级类型和25个二

级类型。考虑到沿海城市在空间扩展过程中普遍具有向海岸线扩展的趋势,在土地利用变化中常出现“填海造地”现象。因此,中国科学院在开展土地

利用/土地覆盖变化监测时,通常会在 NLUD-C 的基础上,添加“海域”这一类型用于标注沿海地区出现的“填海造地”现象。城市扩展遥感监测确定了 1:10 万比例尺地图下的具体技术指标:最小上图面积为 $2 \times 2 \text{ mm}^2$,约相当于 30 m 分辨率遥感影像的 6×6 个像元, $200 \times 200 \text{ m}^2$ 的实地面积;图斑界线勾绘的定位偏差不大于 0.6 mm,相当于 30 m 分辨率遥感影像的两个像元或实地 60 m;以 Google Earth、地形图等为辅助资料结合实地验证,确保图斑属性判读的准确率在 90% 以上(张增祥等, 2012)。

3.3 研究方法

为了方便深圳、厦门、海口城市扩展速度的对比分析,引入建成区年均扩展速度 S :

$$S = (A(t_2) - A(t_1)) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中, t_1 和 t_2 分别为监测首期与末期遥感影像的年份, $A(t_1)$ 和 $A(t_2)$ 分别为 t_1 和 t_2 对应的城市建成区面积。

引入紧凑度(Zhang 等, 2009)研究深圳、厦门、海口在城市扩展过程中城市空间形态紧凑程度的变化。紧凑度越大说明城市空间形态越紧凑,反之说明城市空间形态越松散。圆被认为形状最紧凑的图形,圆的紧凑度为 1,其他形状的紧凑度则小于 1,地物离散程度越大,紧凑度就越小。紧凑度的公式为:

$$c = 2 \sqrt{\pi A} / P \quad (2)$$

式中, c 为城市的紧凑度, A 为城市面积, P 为城市轮廓周长。

采用重心坐标(王思远等, 2002)揭示深圳、厦门、海口在城市扩展过程中的重心迁移规律。其基本原理是研究区域内部每个图斑的几何中心坐标与该图斑面积的乘积之和再除以所有图斑的面积之和。重心坐标计算公式为:

$$X_t = \sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{ii} \quad (3)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{ii} \quad (4)$$

式中, X_t 、 Y_t 为第 t 年建成区重心的横坐标与纵坐标, C_{ii} 为第 i 块图斑面积, n 为图斑总数, X_i 、 Y_i 分别为第 i 块图斑几何中心的横坐标与纵坐标。

为了计算重心迁移幅度,引入重心迁移距离,公式如下:

$$D = \sqrt{(X(t_2) - X(t_1))^2 + (Y(t_2) - Y(t_1))^2} \quad (5)$$

式中, D 为城市重心迁移距离, $X(t_1)$ 、 $Y(t_1)$ 、 $X(t_2)$ 、 $Y(t_2)$ 分别为 t_1 与 t_2 时刻建成区重心的横坐标与纵坐标, t_1 和 t_2 分别为监测首期与末期遥感影像的年份。

4 结果与分析

4.1 城市扩展速度

深圳、厦门和海口既是经济特区,又是沿海城市,其城市发展的政策优势与地理区位优势均较明显,城市扩展速度变化规律存在较大的相似性(图 2),充分体现了国家政策以及社会经济发展对城市扩展的强大指引作用。1978 年中国实施改革开放战略,对内改革、对外开放的政策改变了中国长期以来对外封闭的情况,使中国的经济进入高速发展阶段,极大地促进了中国的城市化进程(Zhang 和 Zou, 2012)。由于宏观经济政策成效的滞后性以及改革开放初期国家经济基础薄弱等原因,改革开放的前 10 年内城市虽有扩展,但速度缓慢。深圳、厦门、海口城市扩展在 1973 年至 80 年代末期间相对缓慢、平稳。80 年代末到 90 年代中期,土地使用权转让制在经济特区的率先实行(Ding, 2003),以及国家在政策上对于深圳、厦门的进一步优惠,使得深圳、厦门的城市扩展速度有了较大的提升,进入城市扩展第一个加速期。与此同时,海口也一直积极制定和改进相应的地方性政策法规,如土地利用优惠政策、税收政策、进出口优惠政策、工业扶持政策等,城市也得以快速扩展。1997 年爆发了亚洲金融危机,经济特区发展外向型经济,受金融危机的影响较大,加上这一时期国家为了加大耕地保护力度,出台了多项耕地保护政策、法规,限制了城市的快速扩展(Ding, 2003),深圳、厦门、海口的城市扩展进入第一个减速期。金融危机过后,深圳、厦门、海口又通过制定和修改一系列招商引资的地方优惠政策,吸引外商投资办厂,引发建设用地面积剧增。尤其是进入 2000 年之后,深圳、厦门、海口的城市扩展速度均达到有史以来的最高值。随着城市的不断扩展,城市空间格局日渐成熟,城市周边可供扩展的土地资源也越来越紧缺,再加上 2008 年全球金融危机的影响,城市扩展末期,扩展速度再次减慢。

虽然深圳、厦门和海口的城市扩展速度变化规律存在较大的相似性,但城市扩展速度存在较大的差异。1973 年—2013 年,深圳、厦门和海口的建成区以年均 26.18 km^2 、 10.29 km^2 和 3.00 km^2 的速度

向外扩展,分别扩展了 152.44 倍、25.56 倍和 28.89 倍(表 2),深圳的扩展速度最快,海口最慢,深圳和厦门的扩展速度远快于海口。1988 年深圳和厦门被国务院批准在国家计划中实行单列,赋予相当于省一级的经济管理权限。1989 年国务院批准厦门经济特区为台商投资区,1992 年国务院批准设立象屿保税区,同年 12 月,国务院批准集美、后溪两镇为台商投资区。全国人大又于 1992 年、1994 年分别赋予深圳、厦门经济特区地方立法权(秦蓁,2009)。从 20 世纪 80 年代末到 90 年代中期,国家在政策上加大对于深圳、厦门的支持,通过赋予更高级别的管理权和地方立法权极大地提高了深圳、厦门的自主权,改善了深圳、厦门的投资环境,吸引了一大批外商投资兴办企业,引发建设用地面积剧增,从而导致城市的快速扩展。与深圳、厦门相比,海

南经济特区于 1988 年才成立,海口作为海南省的省会虽然也享受政策上的优惠,但是力度远没有深圳、厦门大。由此可见,政策差异是导致海口城市扩展速度远远落后于深圳和厦门的重要原因之一。在政策优势方面,深圳与厦门相差不大,但在区位优势方面,深圳则明显大于厦门,城市扩展速度也明显快于厦门。深圳处于珠江口东岸,东临大亚湾和大鹏湾,西濒珠江口和伶仃洋,优越的地理条件使得港口经济快速发展,形成了中国第二大港——深圳港,促进了深圳与国际间的经济联系。除此之外,深圳紧靠香港,又是珠三角城市群核心城市之一,受香港经济辐射影响较大。相比之下,厦门所处的闽金三角地区的经济活跃程度远低于珠三角地区,且台湾对厦门的辐射强度也远没有香港对于深圳的大(颜莉虹,2009)。

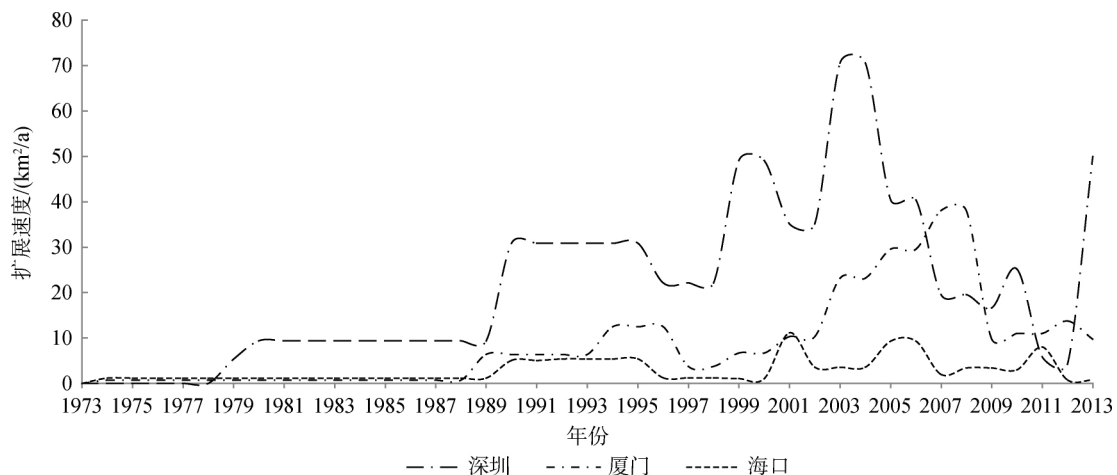


图 2 深圳、厦门和海口建成区年均扩展曲线图

Fig. 2 The Built-up areas annual expansion curves of Shenzhen, Xiamen and Haikou

4.2 城市扩展对土地利用的影响

深圳、厦门和海口的快速扩展对城市周边土地利用产生了深远的影响,城市扩展速度越快,对土地利用的影响也越大(Turner 等,1993)。深圳对土地利用的影响最大,占这 3 个城市土地利用变化总量的 64.35%,海口对土地利用的影响最小,仅占 8.52%(图 3)。耕地是深圳、厦门、海口城市扩展的第一土地来源,对城市扩展的贡献率分别高达 40.17%、42.40% 和 54.75%。除此之外,林地、水域、城乡工矿和居民用地、海域也是城市扩展的重要土地来源,由于城市周边土地利用类型的差异性,不同的土地利用类型对不同城市扩展的贡献率也存在一定的差异性。深圳、厦门和海口城市扩展

对不同类型土地的影响,最大的差异体现在对林地以及城乡工矿和居民用地的占用。城乡工矿和居民用地是厦门和海口城市扩展的第二土地来源,是深圳城市扩展的第三土地来源。深圳城市扩展的第二土地来源则是林地,对深圳城市扩展贡献率高达 23.17%,厦门和海口城市扩展占用林地较少,贡献率均不超过 10%。深圳、厦门和海口在扩展过程中占用海域的面积虽然不多,却是沿海城市扩展的一个特色,对海洋生态、防洪和航运都会产生较大的影响(Wang 等,2014)。草地和未利用土地对城市扩展的贡献甚微,分别占这 3 个城市土地利用变化总量的 0.14% 和 0.03%。厦门城市扩展过程中没有占用草地和未利用土地,深圳城市扩展过程中没有占用未利用土地。

表 2 1973 年—2013 年深圳、厦门、海口
不同时期的建成区面积

Table 2 Built up areas of Shenzhen, Xiamen and Haikou in
different periods between 1973 and 2013 /km²

深圳		厦门		海口	
年度	面积	年度	面积	年度	面积
1973	6.87	1973	16.11	1973	4.30
1977	6.87	1988	26.25	1989	25.44
1978	6.87	1993	58.02	1991	35.54
1979	12.19	1996	95.38	1995	56.97
1989	105.95	1998	115.57	1998	60.57
1995	297.33	2000	128.93	2000	62.62
1998	363.72	2002	149.53	2001	73.76
2000	461.82	2004	204.37	2004	84.48
2002	532.04	2006	263.49	2006	103.02
2004	832.39	2008	339.62	2007	105.00
2006	913.22	2009	368.07	2009	111.75
2008	952.35	2010	379.07	2010	114.72
2009	968.96	2011	404.46	2011	122.72
2010	994.13	2012	418.19	2013	124.21
2011	1000.00	2013	427.87	—	—
2012	1004.23	—	—	—	—
2013	1054.15	—	—	—	—

4.3 城市空间形态紧凑度变化

1973 年,深圳、厦门和海口的建成区面积均不超

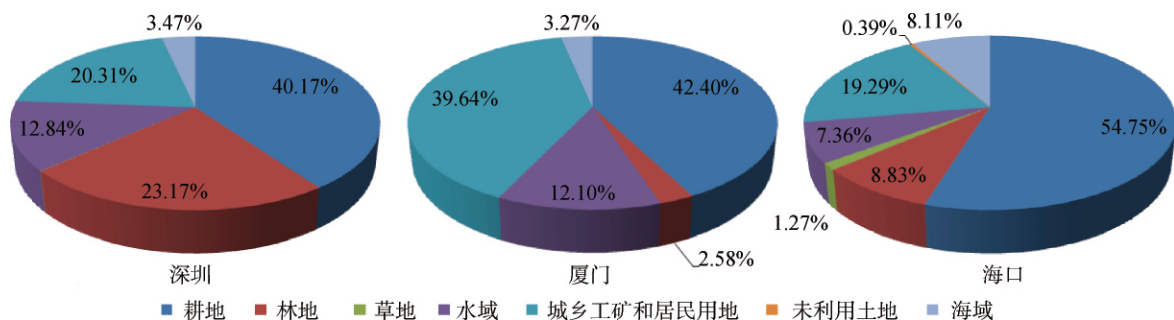


图 3 1973 年—2013 年深圳、厦门和海口城市扩展对土地利用的影响

Fig. 3 Influences of urban expansion on land use in Shenzhen, Xiamen and Haikou between 1973 and 2013

4.4 城市重心迁移

过去 40 年,深圳、厦门和海口建成区均出现了多核心扩展现象,为了更直观地刻画 3 个城市重心迁移趋势,在绘制重心迁移图时,1973 年建成区的多个图斑作为一个整体,只生成一个重心,2013 年建成区的每个图斑均生成一个重心(图 5)。为便于

过 20 km²,城市扩展处于一种自然缓慢的扩展状态,因此这一时期城市空间形态相对紧凑,3 个城市的紧凑度分别为 0.46、0.42 和 0.51。进入 80 年代后,受政策的引导,城市扩展速度加快,这一时期城市扩展以大片占用建成区边缘土地的形式为主,深圳、厦门和海口的紧凑度急剧降低。进入 90 年代后,3 个城市的紧凑度变化表现出了不同的趋势,深圳和厦门的紧凑度持续降低,而海口的紧凑度有所回升。深圳和厦门城市扩展起步早于海口,且城市的地形地貌比海口复杂,进入 90 年代以后受河流、丘陵和山地等地形地貌的影响渐渐变大,紧凑度仍保持降低的趋势。但这一时期城市扩展进入减速期,因此紧凑度下降的趋势也有所减缓。海口城市扩展起步晚于深圳和厦门,这一时期城市扩展受地形地貌影响相对较小,城市扩展又处于减速期,紧凑度呈现出了上升的趋势。2004 年是深圳、厦门和海口紧凑度变化过程中的一个转折点(图 4),2004 年以前,这 3 个城市的紧凑度急剧降低,2004 年后,城市空间格局趋于成熟,扩展空间也受限制,城市扩展渐渐摒弃了之前大片占用建成区边缘土地的形式,而是相对分散的大量的的小面积的占用建成区边缘的土地,虽然城市扩展速度依然很高,但是这种扩展方式能有效的阻止城市空间形态紧凑度进一步降低。因此,2004 年以后,深圳、厦门和海口的紧凑度趋于平稳。截至 2013 年,深圳、厦门和海口的紧凑度分别降为 0.13、0.21 和 0.34。

比较 3 个城市重心迁移距离,在计算重心迁移距离时,2013 年建成区的多个图斑也作为一个整体,只生成一个重心。1973 年—2013 年,深圳、厦门和海口的建成区重心均出现向海岸线方向迁移的趋势。经济特区经济发展快、人口密度大、土地资源匮乏,城市又紧靠海岸线,因此填海造地成为缓解沿海城市建设用地不足的有效途径之一(Li 等,

2010; Yu 和 Zhang, 2011)。遥感监测显示,深圳、厦门和海口城市扩展过程中均出现过填海造地的现象。城市扩展占用海域是城市重心往海岸线方向迁移直接原因之一(Yu 等, 2009)。除此之外,经济特区主要发展外向型经济,建设资金以外资为主,产品以外销为主,加上地理位置优势,经济特区通常会把港口建设作为城市建设的重点。早在改革开放初期,深圳就开始致力于港口建设,如今深圳

港在中国 10 大港口中位居第二,厦门“十一五”规划中也明确提出“以港立市”的战略,2002 年出台的《海口港总体布局规划》中明确表示要将海口港发展成为北部湾地区重要的物流中心之一,承担起海口市“以港兴市”发展战略的重任。经济重心的迁移引导了城市重心的迁移,随着经济特区港口的兴起,城市的经济重心往海岸线方向迁移,进而导致城市重心也往海岸线方向迁移。

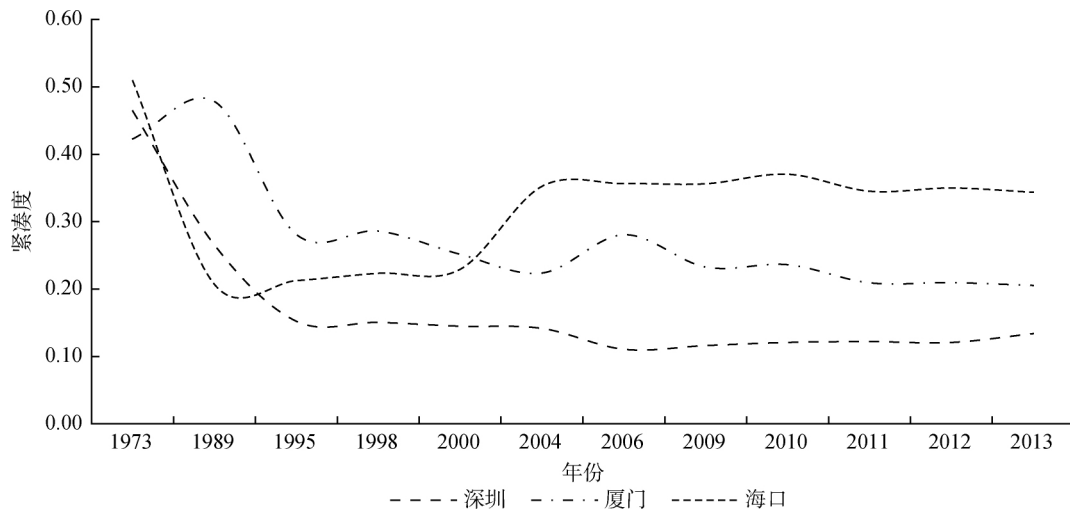


图4 1973年—2013年深圳、厦门和海口城市空间形态紧凑度变化趋势图

Fig. 4 Change trends of compact ratio in Shenzhen, Xiamen and Haikou between 1973 and 2013

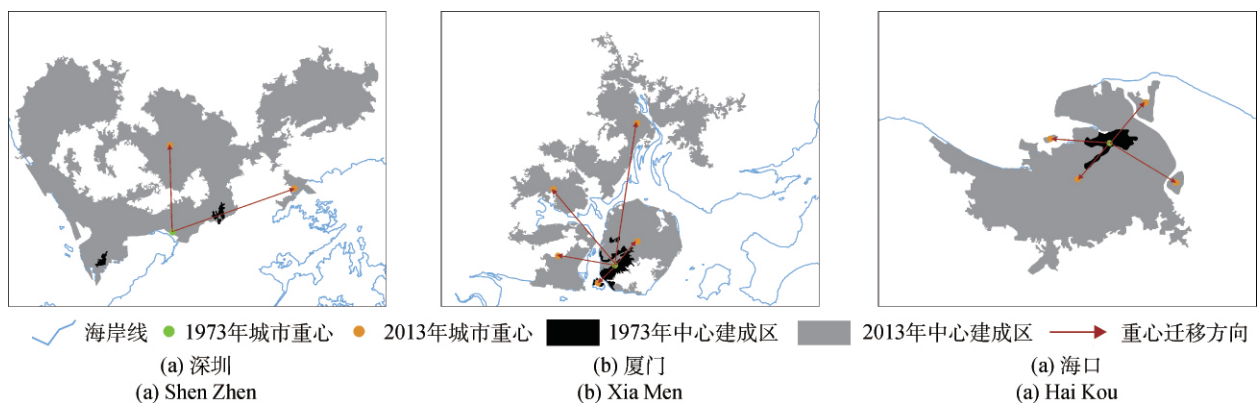


图5 深圳、厦门和海口建成区重心迁移

Fig. 5 Centroids shift of Shenzhen, Xiamen and Haikou

1973年—2013年,深圳、厦门和海口城市重心迁移距离存在较大的差距,3个城市分别迁移了15.81 km、12.92 km和3.29 km,深圳和厦门的迁移量分别是海口的4.81倍和3.93倍,其迁移量远远大于海口。40年内深圳和厦门的建成区分别扩展了1047.28 km²、411.76 km²,而海口建成区仅扩展了119.91 km²,海口建成区扩展面积最小,深圳和厦门建成区面积的巨大变化为重心迁移提供了较

大的空间。除此之外,深圳和厦门的空间形态紧凑度变化也远大于海口,直接导致了深圳和厦门的重心迁移量远大于海口。

5 结论

本文以多源遥感影像为数据基础,采用人机交互目视解译的方法,对深圳、厦门和海口的城市扩

展进行了长达 40 年的监测,重现了 3 个城市建成区的历史扩展过程,并对比分析了城市扩展的特点以及成因,对当前中国经济特区城市的研究有较好的补充和完善。开展经济特区城市扩展遥感监测和对比分析对认识政策和区位优势在城市扩展过程中的导向以及推动作用有很大的帮助,为沿海开放城市、东部发达地区的城市扩展研究提供了参考。

得益于经济特区特殊的经济政策、优越的地理位置及区位优势,1973 年—2013 年,深圳、厦门和海口城市扩展速度惊人,3 个城市的建成区总面积共扩展了 57.88 倍。受政策、地理位置、区位优势等的空间差异性影响,3 个城市的扩展速度存在较大的差异,其中“改革之窗”深圳扩展速度最快,年均扩展了 26.18 km²,创造了“深圳速度”,海口扩展最慢,扩展速度是深圳的 11.50%。厦门和海口城市扩展占用耕地以及城乡工矿和居民用地为主,这两类土地共计对厦门和海口城市扩展贡献率高达 82.04% 和 74.04%。深圳城市扩展占用耕地、林地以及城乡工矿和居民用地为主,3 类土地对深圳城市扩展贡献率高达 83.64%,其中林地是深圳城市扩展的第二大土地来源。随着深圳、厦门和海口的城市空间格局日渐成熟,土地资源日益紧缺,未来的城市扩展模式将摒弃大片占用建成区周边土地的扩展模式,而是继续采取大量的、分散的、小面积的占用建成区周边土地的扩展模式,土地利用效率将得到提高,城市扩展对土地利用的影响将会减小,城市扩展速度也会有所减慢。3 个城市的“填海造地”工程和港口建设引导城市重心往海岸线方向迁移,受建成区扩展面积大小和空间形态变化差异的共同影响,深圳重心迁移量最大,海口最小。随着沿海土地资源日益匮乏,而填海造地成本又相对较高,未来这 3 个城市有可能往内陆扩展,而城市重心也有可能往内陆迁移。40 年来,3 个城市的空间形态总体趋于松散,截至 2013 年,海口的空间形态最紧凑,深圳最松散。由于深圳、厦门和海口之前的城市扩展过快,使得城市空间形态过于松散,短时间内很难回升,但是城市扩展速度的减慢、扩展模式的改变,将会使城市空间形态紧凑度在一段时间内保持平稳。

本研究采用的人机交互目视解译提取建成区的方法虽然精度较高,但存在一定的局限性,其提取精度很大程度上取决于专业人员的目视判读经验。除此之外,其效率相比计算机自动分类较低。随着遥感资源的不断丰富,大范围、多城市、长时序

的城市扩展遥感监测是必然趋势。若能将人机交互目视解译与计算机自动分类有效结合,以自动分类为主,目视解译为辅,则能兼顾分类精度和工作效率。

参考文献(References)

- Cai B F, Zhang Z X, Liu B and Zhou Q B. 2007. Spatial-temporal changes of Tianjin urban spatial morphology from 1978 to 2004. *Journal of Geographical Sciences*, 17(4): 500 – 510 [DOI: 10.1007/s11442-007-0500-4]
- Chen B Q and Xu H Q. 2004. Satellite remote sensing of land use inter-annual dynamic change in Xiamen, China. *Geo-Information Science*, 6(3): 99 – 105 (陈本清, 徐涵秋. 2004. 厦门市土地利用年际变化遥感分析. *地球信息科学*, 6(3): 99 – 105)
- Chen Y H. 1991. Economic development and industrial allocation of specific economy zone in Xiamen City. *Yunnan Geographic Environment Research*, 3(1): 74 – 82 (陈怡煌. 1991. 厦门经济特区城市发展布局研究. *云南地理环境研究*, 3(1): 74 – 82)
- Ding C R. 2003. Land policy reform in China: assessment and prospects. *Land Use Policy*, 20(2): 109 – 120 [DOI: 10.1016/S0264-8377(02)00073-X]
- Doxania G, Karantzalos K and Tsakiri-Strati M. 2012. Monitoring urban changes based on scale-space filtering and object-oriented classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 15: 38 – 48 [DOI: 10.1016/j.jag.2011.07.002]
- Eum J H, Scherer D, Fehrenbach U and Woo J H. 2011. Development of an urban landcover classification scheme suitable for representing climatic conditions in a densely built-up Asian megacity. *Landscape and Urban Planning*, 103(3/4): 362 – 371 [DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.08.010]
- Haas J and Ban Y F. 2014. Urban growth and environmental impacts in Jing-Jin-Ji, the Yangtze, River Delta and the Pearl River Delta. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30: 42 – 55 [DOI: 10.1016/j.jag.2013.12.012]
- He J F, Liu J Y, Zhuang D F, Zhang W and Liu M L. 2007. Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology*, 90(3/4): 217 – 226 [DOI: 10.1007/s00704-006-0273-1]
- Jacquín A, Misakova L and Gay M. 2008. A hybrid object-based classification approach for mapping urban sprawl in periurban environment. *Landscape and Urban Planning*, 84(2): 152 – 165 [DOI: 10.1016/j.landurbplan.2007.07.006]
- Ji C Y, Liu Q H, Sun D F, Wang S, Lin P and Li X W. 2001. Monitoring urban expansion with remote sensing in China. *International Journal of Remote Sensing*, 22(8): 1441 – 1455 [DOI: 10.1080/01431160117207]
- Kang W H, Liu J Y, Zhang Z X, Lu D S and Xiang B. 2013. Spatio-temporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century. *Chinese Science Bulletin*, 58(14): 1691 – 1701 [DOI: 10.1007/s11434-012-5568-2]
- Li K Y, Liu X B, Zhao X G and Guo W H. 2010. Effects of reclamation projects on marine ecological environment in Tianjin Harbor Industrial Zone. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 792 – 799 [DOI: 10.1016/j.proenv.2010.10.090]

- Li Y and Wu F L. 2013. The emergence of centrally initiated regional plan in China: a case study of Yangtze River Delta Regional Plan. *Habitat International*, 39: 137 – 147 [DOI: 10.1016/j.habitatint.2012.11.002]
- Lin T, Li X H, Zhang G Q, Zhao Q J and Cui S H. 2010. Dynamic analysis of island urban spatial expansion and its determinants: a case study of Xiamen Island. *Acta Geographica Sinica*, 65(6): 715 – 726 (吝涛, 李新虎, 张国钦, 赵千钧, 崔胜辉. 2010. 厦门岛城市空间扩张特征及其影响因素分析. *地理学报*, 65(6): 715 – 726) [DOI: 10.11821/xb201006009]
- Litwack J M and Qian Y Y. 1998. Balanced or unbalanced development: special economic zones as catalysts for transition. *Journal of Comparative Economics*, 26(1): 117 – 141 [DOI: 10.1006/jceec.1997.1502]
- Liu J Y, Kang W H, Zhang Z X, Xu X L, Qin Y W, Ning J, Zhou W C, Zhang S W, Li R D, Yan C Z, Wu S X, Shi X Z, Jiang N, Yu D S, Pan X Z and Chi W F. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences*, 24(2): 195 – 210 [DOI: 10.1007/s11442-014-1082-6]
- Liu J Y, Zhang Q and Hu Y F. 2012. Regional differences of China's urban expansion from late 20th to early 21st century based on remote sensing information. *Chinese Geographical Science*, 22(1): 1 – 14 [DOI: 10.1007/s11769-012-0510-8]
- Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, Kuang W H, Zhou W C, Zhang S W, Li R D, Yan C Z, Yu D S, Wu S X and Jiang N. 2010. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4): 483 – 494 [DOI: 10.1007/s11442-010-0483-4]
- Mu F Y, Zhang Z X, Chi Y W, Liu B, Zhou Q B, Wang C Y and Tan W B. 2007. Dynamic monitoring of built-up area in Beijing during 1973–2005 based on multi-original remote sensed images. *Journal of Remote Sensing*, 11(2): 257 – 268 (牟凤云, 张增祥, 迟耀武, 刘斌, 周全斌, 王长有, 谭文彬. 2007. 基于多源遥感数据的北京市 1973—2005 年间城市建成区的动态监测与驱动力分析. *遥感学报*, 11(2): 257 – 268) [DOI: 10.11834/jrs.20070236]
- Qin Z. 2009. Authorized legislation summary of Special Economic Zone [DB/OL]. (秦蓁. 2009. 经济特区授权立法有关情况综述 [DB/OL]. [2015-01-10] http://www.npc.gov.cn/npc/zl/qt/dfrd30year/2009-04/14/content_1497664.htm
- Senf C, Leitão P J, Pflugmacher D, van der Linden S and Hostert P. 2015. Mapping land cover in complex Mediterranean landscapes using Landsat: improved classification accuracies from integrating multi-seasonal and synthetic imagery. *Remote Sensing of Environment*, 156: 527 – 536 [DOI: 10.1016/j.rse.2014.10.018]
- Shi P J, Chen J and Pan Y Z. 2000. Land use change mechanism in Shenzhen City. *Acta Geographica Sinica*, 55(2): 151 – 160 (史培军, 陈晋, 潘耀忠. 2000. 深圳市土地利用变化机制分析. *地理学报*, 55(2): 151 – 160)
- Sun C, Wu Z F, Lv Z Q, Yao N and Wei J B. 2013. Quantifying different types of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi-temporal remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 409 – 417 [DOI: 10.1016/j.jag.2011.12.012]
- Tian G J, Jiang J, Yang Z F and Zhang Y Q. 2011. The urban growth, size distribution and spatio-temporal dynamic pattern of the Yangtze River Delta megalopolitan region, China. *Ecological Modeling*, 222(3): 865 – 878 [DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.036]
- Tian L, Chen J Q and Yu S X. 2013. How has Shenzhen been heated up during the rapid urban build-up process?. *Landscape and Urban Planning*, 115: 18 – 29 [DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.03.009]
- Turner B L II, Clark W C, Kates R W, Richards J F, Mathews J T and Meyer W B. 1993. *The Earth As Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge: Cambridge University Press: 11 – 35
- Wang Q, Zhang Z X, Yi L, Tan W B and Wang C Y. 2007. Research on Urban expansion in Nanjing, China using RS and GIS. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 16(5): 554 – 559 (王茜, 张增祥, 易玲, 谭文彬, 王长友. 2007. 南京城市扩展的遥感研究. *长江流域资源与环境*, 16(5): 554 – 559)
- Wang S Y, Liu J Y, Zhang Z X, Zhou Q B and Wang C Y. 2002. Spatial pattern change of land use in China in recent 10 years. *Acta Geographica Sinica*, 57(5): 523 – 530 (王思远, 刘纪远, 张增祥, 周全斌, 王长有. 2002. 近 10 年中国土地利用格局及其演变. *地理学报*, 57(5): 523 – 530)
- Wang W, Liu H, Li Y Q and Su J L. 2014. Development and management of land reclamation in China. *Ocean and Coastal Management*, 102: 415 – 425 [DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.03.009]
- Xun B, Yu D Y, Wang X, Liu Y P, Hao R F and Sun Y. 2014. Spatio-temporal dynamics of urban growth and its driving forces in Shenzhen City. *Ecological Science*, 33(3): 545 – 552 (荀斌, 于德永, 王雪, 刘宇鹏, 郝蕊芳, 孙云. 2014. 深圳城市扩展模式的时空演变格局及驱动力分析. *生态科学*, 33(3): 545 – 552)
- Yan L H. 2009. Minnan Golden Triangle and the Pearl River Delta, Yangtze River Delta Economic Development Comparative Analysis. Xiamen: Xiamen University (颜莉虹. 2009. 闽南金三角与珠三角、长三角经济发展比较分析研究. 厦门: 厦门大学)
- Yan M and Huang J C. 2013. Review on the research of urban spatial expansion. *Progress in Geography*, 32(7): 1039 – 1050 (闫梅, 黄金川. 2013. 国内外城市空间扩展研究评析. *地理科学进展*, 32(7): 1039 – 1050) [DOI: 10.11820/dlkxjz.2013.07.007]
- Yao S M, Wang D and Ye F. 1989. On the radiation function and developing tendency of Xiamen Special Economic Zones. *Acta Geographica Sinica*, 44(2): 140 – 146 (姚士谋, 王德, 叶枫. 1989. 厦门经济特区经济辐射功能与发展趋势. *地理学报*, 44(2): 140 – 146)
- Ye Y Y, Zhang H G, Liu K and Wu Q T. 2013. Research on the influence of site factors on the expansion of construction land in the Pearl River Delta, China: by using GIS and remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 366 – 373 [DOI: 10.1016/j.jag.2011.10.012]
- Yin J, Yin Z, Zhong H D, Xu S Y, Hu X M, Wang J and Wu J P. 2011. Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979–2009) in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177(1/4): 609 – 621 [DOI: 10.1007/s10661-010-1660-8]
- Yu G and Zhang J Y. 2011. Analysis of the impact on ecosystem and environment of marine reclamation—a case study in Jiaozhou Bay. *Energy Procedia*, 5: 105 – 111 [DOI: 10.1016/j.egypro.2011.03.020]
- Yu H B, Mo D W and Wu J S. 2009. Study on the dynamic changes and

- driving forces based on remote sensing images of land reclamation in Shenzhen. *Progress in Geography*, 28(4): 584–590 [DOI: 10.11820/dlkxjz.2009.04.014]
- Zhang Q H and Zou H F. 2012. Regional Inequality in Contemporary China. *Annals of Economics and Finance*, 13(1): 113–137
- Zhang Y F, Yang D G, Zhang X H, Dong W and Zhang X L. 2009. Regional structure and spatial morphology characteristics of oasis urban agglomeration in arid area—a case of urban agglomeration in Northern Slope of Tianshan Mountains, Northwest China. *Chinese Geographical Science*, 19(4): 341–348 [DOI: 10.1007/s11769-009-0341-4]
- Zhang Z X. 2006. Remote Sensing Monitoring of Urban Expansion in China. Beijing: Star Map Press: 5–9 (张增祥. 2006. 中国城市扩展遥感监测. 北京: 星球地图出版社: 5–9)
- Zhang Z X, Wang X, Zhao X L, Liu B, Yi L, Zuo L J, Wen Q K, Liu F, Xu J Y and Hu S G. 2014. A 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1: 100000 scale using medium spatial resolution satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 149: 142–154 [DOI: 10.1016/j.rse.2014.04.004]
- Zhang Z X, Zhao X L, Wang X. 2012. Remote Sensing Monitoring of China Land Use. Beijing: Star Map Press: 30–32 (张增祥, 赵晓丽, 汪潇. 2012. 中国土地利用遥感监测. 北京: 星球地图出版社: 30–32)
- Zhang Z X, Zhao X L, Liu F. 2014. Atlas of Urban Expansion by Remote Sensing in China. Beijing: Star Map Press: 4–10 (张增祥, 赵晓丽, 刘芳. 2014. 中国城市扩展遥感监测图集. 北京: 星球地图出版社: 4–10)
- Zhu J M. 1996. Denationalization of urban physical development: the experiment in the Shenzhen Special Economic Zone, China. *Cities*, 13(3): 187–194 [DOI: 10.1016/0264-2751(96)00005-4]

Spatial expansion remote sensing monitoring of special economic zones from 1973 to 2013

SHI Lifeng^{1,2}, ZHANG Zengxiang¹, LIU Fang¹, ZHAO Xiaoli¹,
LIU Bin¹, XU Jinyong¹, HU Shunguang¹

1. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

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

Abstract: With the formulation of different policies, special economic zones dramatically expanded in the past 40 years. Basing from remote sensing and geographic information system technology, we performed long-term and high-frequency monitoring of urban expansion in special economic zones by using multi-source remote sensing images between 1973 and 2013. Shenzhen, Xiamen, and Haikou were selected as research subjects. All spatial expansion information was obtained through human-computer interactional digital interpretation. Basing from established-interpretation symbols of urban lands, researchers with experience in visual interpretation referred to Google Earth and topographic maps to ensure the accuracy of monitoring results above 90%. This study selected expansion speed, influences on land use, compact ratio, and centroid shift as indicators, and combined the effects of natural and man-made elements to analyze the similarities and differences of spatiotemporal characteristics among Shenzhen, Xiamen, and Haikou. Four major results were obtained. First, the expansion speed of special economic zones in the past 40 years experienced one low-speed stable stage, two acceleration stages, and two deceleration stages. The expansion speed of Shenzhen was the fastest, followed by Xiamen and then Haikou. This situation fully reflects the significance of national and local policies, as well as social and economic development. Second, 1370.61 km² nonurban lands around Shenzhen, Xiamen, and Haikou were converted to urban land between 1973 and 2013. Arable land was the first land source of special economic zone urban expansion. Other main land sources of urban expansion include forest land, water body, rural settlement, industrial and traffic lands, and sea area. Grassland and unused land had minimal contribution to urban expansion. Rural settlement and industrial-traffic land was the second land source of Xiamen and Haikou urban expansions, and the third land source of Shenzhen urban expansion. Forest land was the second land source of Shenzhen urban expansion but produced a contribution rate of <10% to Xiamen and Haikou. Third, the compact ratio of special economic zones decreased. Before 2004, land resources around special economic zones were relatively adequate, urban expansion was fast, land-use efficiency was low, and compact ratio considerably reduced. After 2004, urban expansion space was limited, expansion speed slowed down, and compact ratio stabilized. Fourth, marine reclamation engineering appeared during urban expansions in Shenzhen, Xiamen, and Haikou. Under the combined effects of the policies and marine reclamation engineering, the centroid of special economic zones tended to migrate toward the coastline. Affected by the comprehensive influence of expansion area and compact ratio, Shenzhen and Haikou had the large stand smallest centroid shift distances, respectively. Remote sensing monitoring of expansions in special economic zones can provide support for the future projection and policy formulation of special economic zones.

Key words: remote sensing, monitoring, urban expansion, special economic zones, contrastive analysis

Supported by Young Scientist Fund of National Natural Science Foundation of China (No. 41101148)