

邓瑞民, 李少英, 吴志峰, 匡耀求, 马世发. 广东省地级市建设用地扩展模式区域差异与驱动机制[J]. 热带地理, 2018, 38(5): 689-698.

DENG Ruimin, LI Shaoying, WU Zhifeng, KUANG Yaoqiu and MA Shifa. 2018. Regional Difference and Driving Mechanism of Construction Land Expansion Types in Prefecture-level Cities of Guangdong Province[J]. *Tropical Geography*, 38(5): 689-698.

## 广东省地级市建设用地扩展模式 区域差异与驱动机制

邓瑞民<sup>1,2</sup>, 李少英<sup>3</sup>, 吴志峰<sup>3</sup>, 匡耀求<sup>1,2</sup>, 马世发<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 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, 广州 510006; 4. 广东省国土资源技术中心, 广州 510075)

**摘要:** 利用景观扩展指数对2009—2014年广东省21个地级市建设用地扩展模式进行定量识别, 对比和分析处于不同发展阶段城市的扩展模式组合与差异, 揭示省级城市扩展的空间分异规律, 并采用逐步回归模型探究不同扩展模式的驱动机理。研究表明: 1) 2009—2014年广东省各地级市城市扩展以边缘式为主, 飞地式和填充式为辅, 飞地式和填充式扩展比例呈反比。2) 填充式扩展数量占比高的城市集聚于珠江口区域, 呈现“小三角”形状, 飞地式扩展数量占比高的城市在珠江三角洲区域外形成“大三角”的形状。3) 人口密度越低, 建设用地越趋向于飞地式扩展。非建设用地比例和人口密度较高的城市边缘式扩展更加剧烈。土地城镇化率高的城市填充式扩展更显著。

**关键词:** 建设用地; 扩展模式; 景观扩展指数; 广东省

**中图分类号:** F301.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-5221(2018)05-0689-10

**DOI:** 10.13284/j.cnki.rddl.003068

当今世界, 城镇化在全球变化的过程中扮演着重要角色 (Grimm et al., 2008), 城市建设用地快速扩展是城镇化的主要特征 (Liu J Y et al., 2005; Gu C L et al., 2012)。中国作为全球最大的发展中国家, 正处在城镇化加速发展阶段, 城市用地扩展将在未来几十年持续发生 (刘盛和, 2002)。在城市用地快速扩展过程中, 区域差异导致了不同的城市扩展模式 (吕晓等, 2013; 董晨炜等, 2017), 而不同的城市扩展模式将直接影响城镇化进程和城市水平 (Bhatta, 2009)。其中, 城市蔓延是一种城市建设用地自发的、低密度的扩展模式 (Camagni et al., 2002), 而理想的城市扩展, 是建设用地高密度、紧凑的扩展模式 (Dieleman et al., 2003)。相关研究表明, 紧凑的城市扩展模式更有利于城市可持续发展 (Kareiva et al., 2007; Ou J P et al., 2013)。因此, 优化城市建设用地扩展模式, 科学引导城市

建设用地发展, 对城市健康发展具有重要意义 (陈利顶等, 2013)。

目前城市扩展模式研究主要集中在建设用地扩展模式定量识别方法的探讨 (Mcgarigal et al., 1995; 刘纪远等, 2003; Wilson et al., 2003; Xu C et al., 2007; 刘小平等, 2009; 俞艳等, 2017) 以及城市空间扩展模式的时空格局分析 (Dibari, 2007; 张金兰等, 2010; 刘针环等, 2011; Sun C et al., 2013; 高金龙等, 2014; 荀斌等, 2014)。但这些研究主要侧重单个城市在不同时段的扩展模式演化过程。Dietzel等 (2005) 提出的城市增长相位理论认为, 城市增长包含离散增长和聚合增长2个明显不同的过程。离散增长主要表现为飞地式扩展模式, 而聚合增长主要表现为边缘式和填充式扩展模式, 处于不同发展阶段的城市其扩展模式存在明显的差异 (Herold et al., 2005; He Q et al., 2017)。一些

**收稿日期:** 2017-12-01; **修回日期:** 2018-02-26

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (41401432)

**作者简介:** 邓瑞民 (1992-), 男, 山西大同人, 研究生, 研究方向为资源环境与区域可持续发展, (E-mail) drmbgm@gmail@163.com。

**通信作者:** 李少英 (1987-), 女, 广东汕头人, 副教授, 研究方向为遥感与地理信息系统应用、地理模拟, (E-mail) lsy\_0130@163.com。

学者开展了区域尺度的城市空间扩展特征对比分析与驱动力分析,如美国的菲尼克斯和拉斯维加斯大都市(Wu J G et al., 2011)、中国的苏锡常都市圈(周翔等, 2014)、北京—天津—石家庄城市群(Wu W J et al., 2015)、珠三角城市群(徐进勇等, 2015)、山东半岛城市群(谢文瑄等, 2017)等。然而,这些研究主要关注经济发达地区或省内重点发展地区内部不同城市的扩展速度、格局与景观过程差异,对不同经济发展区域的扩展模式差异对比研究较为罕见(全泉等, 2009; 焦利民等, 2016; Liu Y et al., 2017)。此外,已有研究对城市扩展驱动力的研究主要针对建设用地扩展速度的影响因素分析(王利伟等, 2015; 徐进勇等, 2015; Alqurashi et al., 2016),忽略了不同地区扩展模式与其经济、人口、土地等社会经济因素的关联关系(Camagni et al., 2002; 汤君友等, 2004; Li H et al., 2014)。从更大尺度(如省域)研究不同发展水平、处于不同发展阶段的区域或城市之间空间扩展模式差异及其驱动机制对于区域新型城镇化发展及可持续发展具有重要的意义。

改革开放以来,广东省经济快速协调发展,成为中国第一经济大省。但是,伴随着经济的快速发展,广东省内部区域差异日益突出,尤其是珠三角核心区与边缘区城市之间呈现较大的空间差异(王少剑等, 2013)。本文选取广东省为研究区,利用Liu等(2010)提出的景观扩展指数LEI(Landscape Expansion Index),对全省2009—2014年城市扩展模式进行斑块尺度上的识别,以地级市为单元统计各类景观扩展模式的比例,并采用逐步回归模型对不同扩展模式的影响因素进行分析,探究省域内部城市扩展模式的区域差异及其驱动机制。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 数据来源

广东省土地利用数据来源于广东省土地利用变更调查,社会经济数据来源于2009—2014年《广东省统计年鉴》。土地利用数据包括广东省2009及2014年土地利用矢量数据,用于提取广东省2009—2014年新增建设用地。提取步骤如下:在ArcGIS10.1平台上对广东省2009和2014年土地利用数据进行投影变换,然后对数据属性进行操作,将其土地利用类型按照国家标准(GB/T21010-2007)进行合并,归类为建设用地(包括商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地、部

分交通运输用地、部分水域及水利设施用地,以及城镇、村、工矿内部的空闲地)与非建设用地两大类。最后对2009和2014年广东省建设用地矢量数据进行叠加分析,得到2009—2014年新增建设用地的矢量数据。

### 1.2 研究方法

1.2.1 景观扩展指数 本文基于景观扩展指数来定量描述建设用地扩展的基本类型并获取景观格局变化的过程信息。景观扩展指数通过缓冲区分析来定义,其以新增建设用地斑块特定距离的缓冲区为统计单元,统计缓冲区与原有建设用地斑块重叠的面积和未重叠的面积,再依据一系列阈值来识别新增建设用地扩展类型。某新增建设用地景观扩展指数计算公式如下:

$$LEI = 100 \times \frac{A_o}{A_o + A_p} \quad (1)$$

式中:LEI为某新增建设用地的景观扩展指数,取值范围为:  $0 \leq LEI \leq 100$ ;  $A_o$ 为缓冲区与原有建设用地斑块重叠的面积;  $A_p$ 为缓冲区未与原有建设用地斑块重叠的面积。

本文将城市建设用地扩展模式分为飞地式、边缘式、填充式3种,其他模式均可看作是这三种基本模式的变种或混合体(Forman et al., 1995; 刘小平等, 2009)(图1)。将新增建设用地景观扩展指数按照特定梯度划分,能够定量识别新增建设用地的扩展模式。当新增建设用地LEI = 0时,该新增建设用地为飞地式扩展;当  $0 \leq LEI \leq 50$ 时,该新增建设用地为边缘式扩展;当  $50 < LEI \leq 100$ 时,该新增建设用地被确定为填充式扩展。

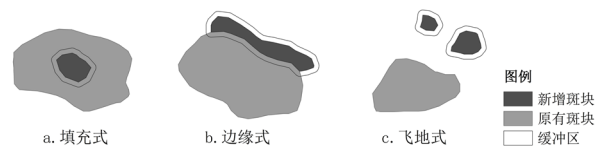


图1 3种景观扩展模式

Fig.1 Three types of landscape expansion

由于景观扩展指数通过缓冲区分析来定义,同一景观格局下不同的缓冲区距离计算得到的景观扩展指数也不相同。本研究以东莞市为例,将缓冲区距离从1 m开始,不等距地向上取14个值,最大值为200 m,分别统计了东莞市2009—2014年新增建设用地不同扩展模式下的斑块数目比例和斑块面积比例。在1~200 m的缓冲区范围下,飞地式斑块数量随距离增加逐步下降,边缘式斑块数量随距离增

加而有所上升, 填充式斑块数量随距离增加而增加 (图2-a), 斑块面积百分比呈相似的规律 (图2-b)。通过与前人研究的对比 (刘小平等, 2009), 本文认为, 在缓冲区距离参数设置为100 m条件下, 通过LEI定量识别得到的2009—2014年东莞市新增建设用地扩展模式与实际较为接近, 因此判断: 针对矢量数据, 100 m是一个比较合适的缓冲区距离, 能够较好地识别建设用地扩展模式。

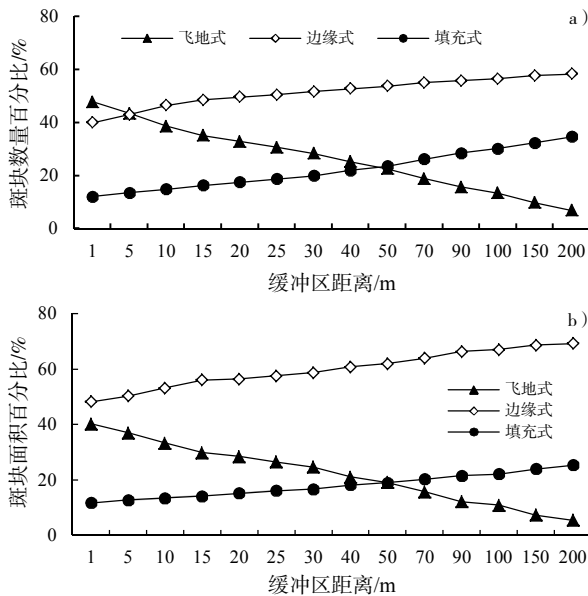


图2 2009—2014年东莞市新增建设用地3种扩展模式面积比例和斑块数目比例

Fig.2 The percentages of growth area and patch number for the three urban growth types in Dongguan during 2009-2014

1.2.2 多元逐步回归模型 本文选取2009—2014年广东省21个地级市的城乡建设与社会经济统计数据平均值, 以地级市为单元, 运用多元逐步回归模型来分析城市发展过程中不同扩展模式的驱动力。城市扩展模式主要受自然因素、社会经济因素、区位因素和政策因素影响 (Li X M et al., 2013)。本研究着重讨论城市不同扩展模式与社会经济因素之间的关系, 社会因素主要包括人口、城市化和工业化, 经济因素主要包括经济发展水平、二三产业产值、收入和固定值产投资 (陈春等, 2010)。结合已有数据, 本文共选取了5大类9个指标作为回归模型的自变量 (表1)。通过多元逐步回归的方法, 分别分析新增建设用地飞地式、边缘式和填充式扩展数量百分比的主要影响因素。

逐步回归是一种有效的多元回归方法, 够有效筛选并剔除引起多重共线性和不显著的自变量, 而

表1 多元逐步回归模型变量选取

指标类型	指标名称	指标代码
人口	人口密度	$X_1$
	城镇人口	$X_2$
经济	GDP	$X_3$
	人均GDP	$X_4$
城镇化程度	人口城镇化率	$X_5$
	土地城镇化率	$X_6$
城市可扩展面积	非建设用地比例	$X_7$
	行政区划面积	$X_8$
现有城区面积	建设用地总面积	$X_9$

保留对因变量有显著影响的自变量 (何晓群等, 2007)。在逐步回归之前要对数据进行标准化处理, 以消除不同量纲的影响。由于本文中选取的统计数据为广东省各地级市的截面数据, 样本个体之间差异较大, 首先对统计数据进行对数变换以消除异方差, 之后对统计数据进行Z-SCORE标准化消除量纲的影响。构建的逐步回归模型基本模式如下:

$$\ln Y_1 = \ln X_1 + \ln X_2 + \dots + \ln X_9 + C \quad (2)$$

$$\ln Y_2 = \ln X_1 + \ln X_2 + \dots + \ln X_9 + C \quad (3)$$

$$\ln Y_3 = \ln X_1 + \ln X_2 + \dots + \ln X_9 + C \quad (4)$$

式中,  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ 分别为飞地式、填充式和边缘式扩展数量百分比;  $X_1$ ,  $X_2$ , ...,  $X_9$ 分别为各影响因素;  $C$ 为常数。

## 2 结果与分析

### 2.1 建设用地扩展模式区域差异

整体来看, 2009—2014年广东省新增建设用地以边缘式扩展为主, 飞地式和填充式扩展为辅 (图3-a)。边缘式扩展斑块数量比例为68%, 而飞地式和填充式占比仅分别为14%和18%。各地级市新增建设用地边缘式扩展斑块面积百分比和斑块数量百分比均远高于飞地式和填充式扩展, 边缘式扩展面积占新增建设用地扩展总面积的60%~82%, 边缘式扩展斑块数量约占到新增建设用地斑块数量的60%~73%。各地级市之间新增建设用地边缘式扩展比例差异很小, 填充式和飞地式扩展比例存在较大的差异, 新增建设用地填充式扩展比例越高的城市飞地式扩展比例越低。在图3-b、c中, 将各地级市按斑块填充式比例大小升序排列, 从河源市到深圳市, 随着填充式比例的增高, 飞地式比例降低, 这一现象在斑块数量比例 (图3-c) 中表现更加显著。

新增建设用地不同扩展模式下的斑块数量比例和斑块面积比例具有相似的变化趋势, 然而新增建

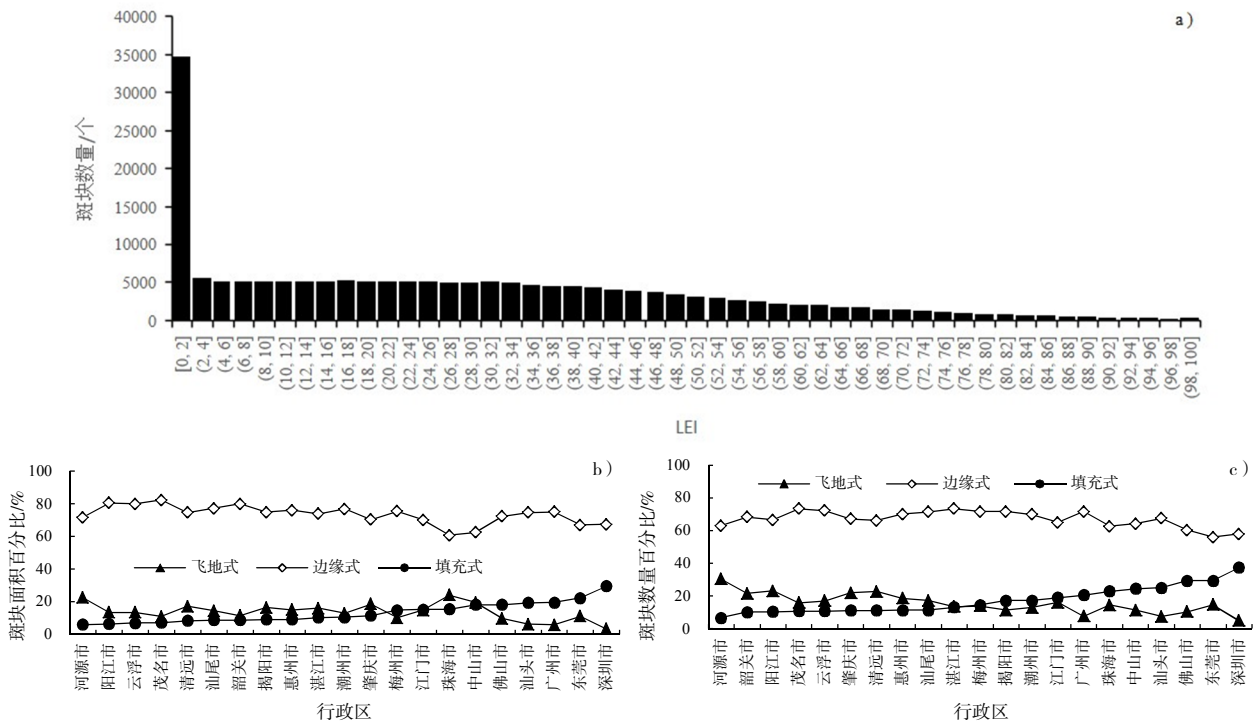


图3 LEI直方图(a)与2009—2014年广东省21个地级市新增建设用地不同扩展模式的面积比例(b)、数量比例(c)

Fig.3 The patch number of LEI based on histogram(a) and the percentages of growth area(b) and patch number(c) for the three urban growth types in 21 cities of Guangdong province during 2009-2014

设用地的面积具有不确定性，其可能为居住小区、工厂、公园等占地面积较大的斑块，也可能为别墅、居民住房等占地面积较小的斑块。由于这种新增建设用地斑块面积的不确定性，不同景观扩展模式下的斑块数量比例相对斑块面积比例的变化趋势更加明显。因此，本文将从新增建设用地斑块数量比例的角度进行探讨与分析。

2009—2014年广东省新增建设用地填充式扩展数量比例较高的城市主要有：广州市、佛山市、东莞市、深圳市、中山市、珠海市、江门市、佛山市，另外包括粤东地区汕头市、揭阳市和潮州市。飞地式扩展数量比例较高的城市有：汕尾市、惠州市、河源市、韶关市、清远市、肇庆市、云浮市、阳江市、茂名市(图4-a、b)。填充式扩展和飞地式扩展数量占比高的城市呈现显著的空间分异特征。填充式扩展数量占比高的城市集中于珠江口区域和汕头市周边，珠江口区域的城市围绕珠江口集聚分布呈现一个“小三角”形状，而飞地式扩展数量占比高的城市则在珠江口区域外围分布，在外围形成一个“大三角”的形状(图4-d)。

由图4-c可知，广东省各地级市新增建设用地边缘式扩展数量百分比均在55%以上，相对而言，比

例较高的城市包括广州，粤西、粤东区域的湛江市、茂名市、云浮市、惠州市、汕尾市、揭阳市、梅州市；较低的城市主要为东莞市、深圳市、佛山市、中山市、珠海市、河源市，多集聚分布于珠江口区域，仅河源市在粤东地区。

广东省各地级市新增建设用地飞地式和填充式扩展数量比例均存在明显的数量差异和空间分布差异。根据统计数据，飞地式扩展数量比例平均值为15.55%，填充式扩展数量比例为17.32%，相差很小。从空间上来看，填充式和飞地式扩展数量百分比高于平均值的城市在空间上不重复，即在广东省21个城市中，新增斑块飞地式扩展数量百分比高的城市，填充式扩展数量百分比低。例如，深圳市填充式扩展数量百分比为37.28%，全省最高；飞地式数量百分比为4.86%，全省最低。河源市飞地式数量百分比为30.31%，全省最高，填充式数量百分比为6.6%，全省最低。飞地式和填充式数量百分比相差较小的城市仅有湛江市和梅州市，其百分比均低于全省平均水平。

早期研究表明，城市在增长过程中呈现波动的特征(Blumenfeld, 1954; Boyce, 1966; Newling, 1969)。在进一步研究中，Dietzel等(2005)根据

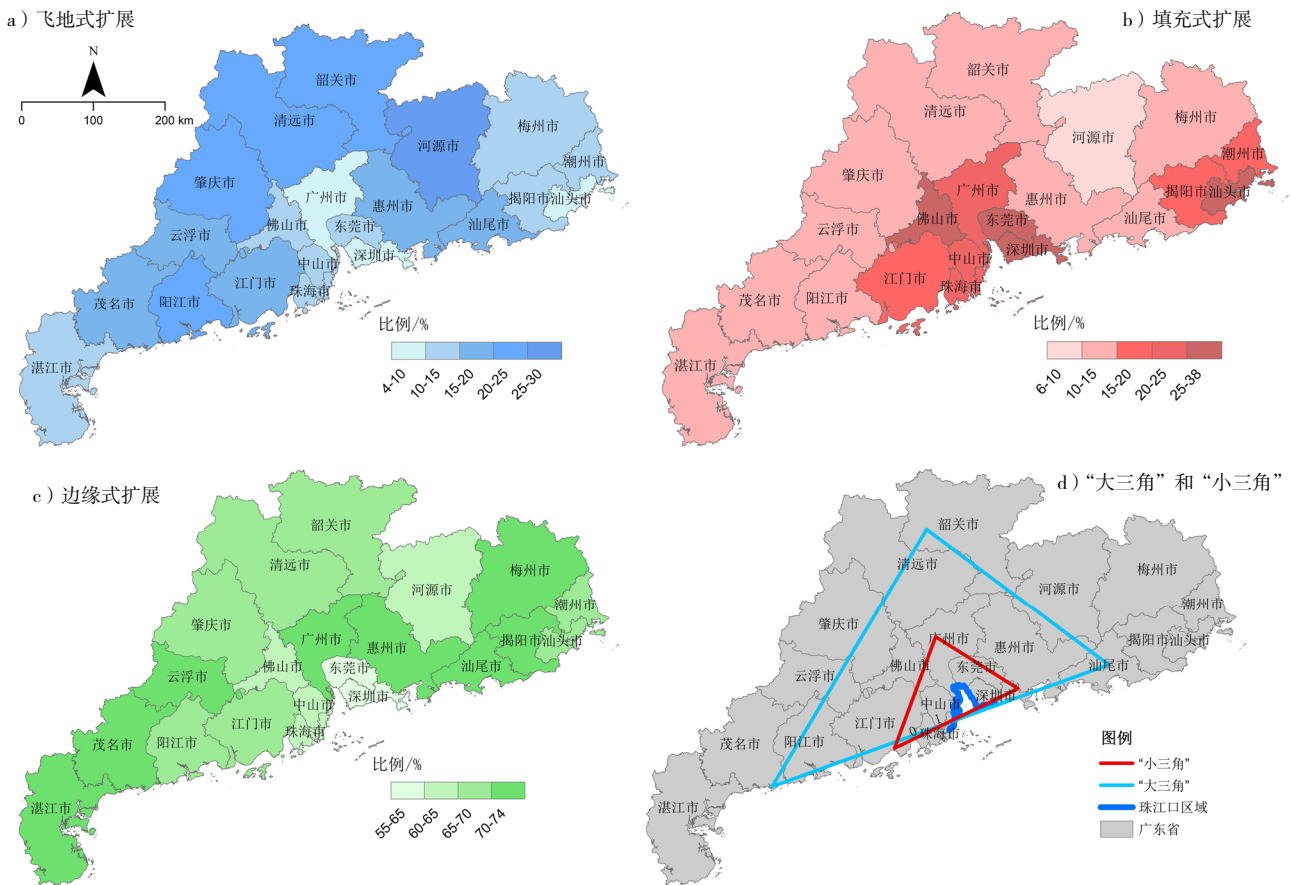


图4 2009—2014年广东省21个地级市的3种扩展模式斑块数量比例空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the percentages of patch number for the three urban growth types in 21 cities of Guangdong Province during 2009-2014

城市增长相位理论，提出城市的空间扩展是一个从扩散到集聚的过程，其中城市空间扩散主要以飞地式扩展的形式发生，填充式和边缘式扩展反映了城市空间的集聚过程（Berling-Wolff et al., 2004；刘桂林等，2014）。在城市发展早期，城市建设用地主要以飞地式扩展的形式出现，随着城市的进一步发展，以这些新增的建设用地作为中心，其他建设用地围绕中心向外扩展，在空间上表现为建设用地边缘式和填充式扩展（Dietzel et al. 2005）。因此，城市发展初期建设用地扩展主要以飞地式为主，而边缘式和填充式是城市化中期和后期的主要扩展方式。2009—2014年广东省各地级市新增建设用地以边缘式扩展为主，飞地式和填充式扩展为辅，飞地式扩展占比较低，说明广东省各地级市均有了一定程度的发展；以边缘式扩展为主但填充式扩展占比不高表明，各地级市仍在生长发展。填充式扩展占比较大的城市主要围绕珠江口分布，例如，最高的深圳以及广州、佛山、东莞、珠海等。这些城市地

处珠三角地带，地势平坦、海岸线绵长，拥有极好的区位条件，另外受改革开放政策的影响，城市发展水平相对较高，因此填充式扩展比例也较高。珠三角区域周边城市发展水平较低，受到珠三角经济中心的辐射带动作用，开始快速发展，飞地式扩展比例较高，例如，阳江市、云浮市、肇庆市、清远市、韶关市、惠州市等。以广州市和深圳市为例（图5），两市的经济中心分别为天河区、福田区和南山区，这些区域原有建设用地占比很高，可扩展面积少，城市建设用地面积扩展方式主要为内部填充式扩展和地下空间开发。而经济中心周边区域存在大量非建设用地，故城市发展以边缘式围绕城市中心向城市周边蔓延，例如，围绕广州天河区的白云区和萝岗区，毗邻深圳南山区和福田区的宝安区，在2009—2014年出现了大量以边缘式扩展的新增建设用地。在距离城市中心较远的区域，例如，广州北部从化市和南部南沙区、深圳东部龙岗区，经济发展水平相对较低且存在大量未开发土地，新增建设

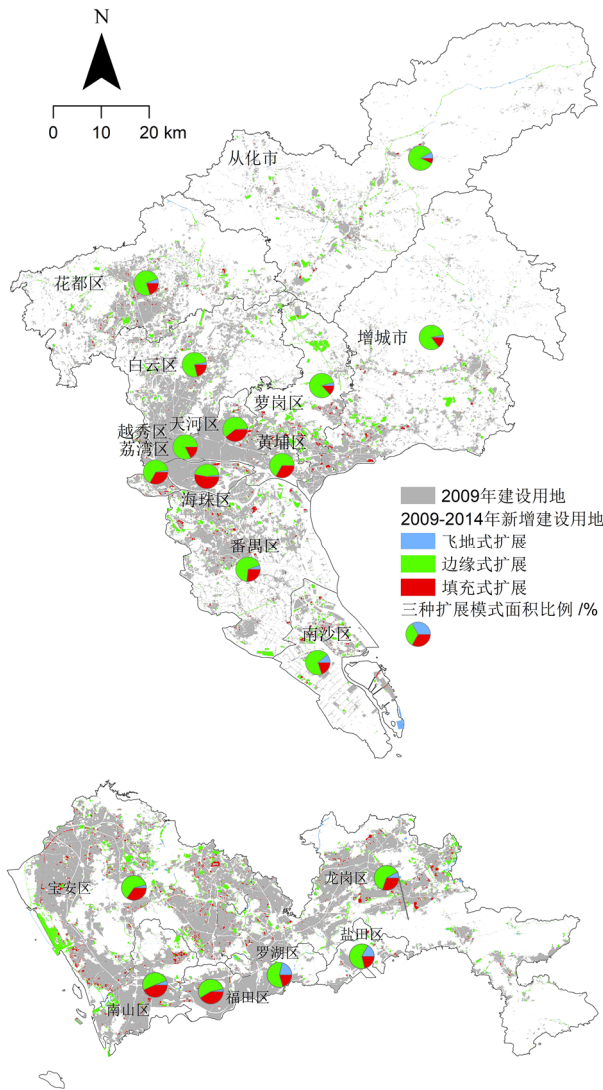


图5 2009—2014年广州市和深圳市城市扩展空间差异

Fig.5 Spatial difference of urban growth between Guangzhou and Shenzhen during 2009-2014

用地飞地式扩展的比例较高。

## 2.2 建设用地扩展模式驱动机制

本研究分别建立了2009—2014广东省各地级市新增建设用地飞地式、边缘式和填充式扩展数量百分比与各相关因素的回归方程,结果如表2。由于采用的数据为截面数据,且样本量较小,而逐步回归分析依托于大样本才能获得较为可靠的统计结果,对于小样本问题,仅能够获得对因变量作用显著的自变量因子,回归模型本身并不可靠。而本研究目的是寻找分析不同扩展模式的主要驱动机制,对模型本身要求较低,因此,模型自变量较少,方程拟合程度不高。从结果可以看出,人口密度( $X_1$ )对2009—2014年广东省新增建设用地扩展模式影响

表2 3种城市扩展模式的多元逐步回归结果

Tab.2 Estimation results of the multiple stepwise regression model for three urban growth types

扩展模式	变量	偏回归系数		P	R <sup>2</sup>
		B	标准误差		
飞地式	人口密度	-0.865	0.112	0.000	0.734
	常数	0	0.112	—	
填充式	土地城镇化率	0.918	0.89	0.000	0.834
	常数	0	0.091	—	
边缘式	人口密度	1.079	0.269	0.001	0.737
	非建设用地比例	1.72	0.269	0.000	
	常数	0	0.112	—	

显著,人口密度越低,建设用地越趋向于飞地式扩展;人口密度越高,建设用地越趋向于边缘式扩展。填充式扩展主要受到土地城镇化率的影响,土地城镇化率高的城市建设用地填充式扩展更为显著。边缘式扩展也受到非建设用地比例的影响,非建设用地比例较高的城市建设用地边缘式扩展越剧烈。

广东省人口密度高的城市集中于珠三角地区,包括中山市、广州市、佛山市、深圳市、东莞市,另外还有粤东地区的汕头市。这些城市行政区划面积相对较小,城市发展水平较高。人多地少、土地资源稀缺导致其他用地转变为建设用地成本高昂,建设用地多集约式增长,飞地式扩展较少。低人口密度的城市分布于珠三角城市周边,如韶关市、清远市、河源市、梅州市、阳江市、云浮市和惠州市,这些城市普遍特征是城市发展水平较低,但行政区划面积较大,地广人稀,如河源市行政区划面积接近深圳市的8倍,而常住人口仅为深圳市的1/3。人少地多,土地资源丰富,因而其他用地转变为建设用地成本低廉,建设用地多粗放式增长,飞地式扩展较多。因而人口密度与建设用地飞地式扩展存在负相关关系。另外,人口密度与城市发展阶段密切相关,Clark(1951)和Newling(1969)等提出城市不同发展阶段人口密度不同,随着城市发展水平的逐步升高,城市对人口具有越来越大的吸引力,人口不断向城市集聚,人口密度随之增加。广东省高人口密度城市集中于珠三角区域,城市发展水平高于周边其他城市,根据城市相位理论,城市发展水平较高建设用地边缘式扩展比例也较高。因此,人口密度与建设用地边缘式扩展存在正相关关系。而城市建设用地边缘式扩展的另一个影响因素是非建设用地比例,本文统计了新增建设用地斑块平均面积,各地级市边缘式扩展的斑块平均面积普遍高

于飞地式和填充式扩展的斑块平均面积, 在广东省 21 个地级市中, 仅有 4 个城市 (中山市、揭阳市、湛江市和珠海市) 边缘式扩展斑块平均面积低于飞地式。边缘式扩展斑块面积较大、总面积最多, 说明边缘式扩展需要城市拥有更多的非建设用地。因此, 非建设用地比例与建设用地边缘式扩展存在正相关关系。

填充式扩展数量百分比与土地城镇化率 ( $X_6$ ) 有高度的相关关系, 土地城镇化率越高, 建设用地以填充式扩展的比例越高。城镇化是人口向城市集中的过程, 并伴随着城市型景观的地域推进 (许学强等, 2009)。但是, 在城镇化过程中城市规模不可能无限扩大, 在建设用地可扩展面积有限的前提下, 高城镇化率的城市可扩展土地面积较少, 其城市扩展只能向城市内部进行填充或开发城市地下空间, 这种扩展方式在空间上表现为建设用地填充式扩展。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

本文基于景观扩展指数对 2009—2014 年广东省各地级市新增建设用地扩展模式进行定量识别, 并对新增建设用地不同扩展模式下的驱动力进行了分析, 探究广东省各地级市的建设用地扩展模式的空间差异和内在的驱动机理, 得到以下主要结论:

1) 2009—2014 年广东省各地级市城市扩展以边缘式扩展为主, 飞地式和填充式扩展为辅。以边缘式扩展出现的新增建设用地斑块面积相对较大。新增建设用地飞地式扩展和填充式扩展呈反比, 飞地式扩展比例高的城市, 填充式扩展比例较低; 反之, 填充式扩展比例较高的城市, 飞地式扩展比例较低。

2) 新增建设用地填充式扩展数量占比高的城市除汕头市外, 都集中于珠江口区域, 呈现一个“小三角”形状, 而新增建设用地飞地式扩展数量占比高的城市则围绕填充式数量占比高的城市分布, 在珠江三角洲区域外形成一个“大三角”的形状。

3) 人口密度是 2009—2014 年广东省新增建设用地飞地式扩展模式的主要影响因素, 人口密度越低, 新增建设用地越趋向于飞地式扩展。边缘式扩展受到非建设用地比例和人口密度的影响, 非建设用地比例较高、人口密度较高的城市新增建设用地边缘式扩展更加剧烈。填充式扩展受到土地城镇化率的影响, 土地城镇化率高的城市新增建设用地填充式扩展更为显著。

#### 3.2 讨论

本文利用景观扩展指数识别了城市建设用地扩展模式, 进一步在省级尺度分析了处于不同经济发展阶段城市扩展模式组合的差异, 结合社会经济数据和土地利用统计数据分析了城市不同扩展模式的驱动机制, 发现不同扩展模式具有不同的驱动机制。研究也存在一些不足, 在城市扩展模式的驱动分析过程中, 由于时间序列短, 无法计算多个时间段的 LEI 值, 只能进行截面数据分析; 而同一省份城市样本数量较少, 小样本回归分析所得结果拟合精度不够高, 最终的拟合结果只能确定不同扩展模式下的影响因素及其对因变量影响能力的相对大小, 无法得到精确的回归方程参数。在进一步的研究中将加入面板数据的分析, 并在更小尺度下 (县域尺度或网格尺度) 基于长时间序列对不同扩展模式驱动机制进行分析。

#### 参考文献 (References):

- ALQURASHI A, KUMAR L and ALGHAMDI K. 2016. Spatiotemporal modeling of urban growth predictions based on driving force factors in five Saudi Arabian cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5 (8): 139.
- BLUMENFELD H. 1954. The tidal wave of metropolitan expansion. *Journal of the American Institute of Planners*, 20 (1): 3-14.
- BOYCE R R. 1966. The edge of the metropolis: the wave theory analog approach. *British Columbia Geography Series*, 7: 31-40.
- BERLING-WOLFF S and WU J. 2004. Modeling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA. *Urban Ecosystems*, 7 (3): 215-240.
- BHATTA B. 2009. Analysis of urban growth pattern using remote sensing and GIS: a case study of Kolkata, India. *International Journal of Remote Sensing*, 30 (18): 4733-4746.
- CLARK C. 1951. Urban Population Densities. *Journal of the Royal Statistical Society*, 114 (4): 490-496.
- CAMAGNI R, GIBELLI M C and RIGAMONTI P. 2002. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 40 (2): 199-216.
- 陈春, 冯长春. 2010. 中国建设用地增长驱动力研究. 中国人口·资源与环境, 20(10): 72-78. [CHEN Chun and FENG Changchun. 2010. Driving forces for construction land expansion in China. *China Population, Resources and Environment*, 20 (10): 72-78. ]
- 陈利顶, 孙然好, 刘海莲. 2013. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展. 生态学报, 33(4): 1042-1050. [CHENG Liding, SUN Ranhao and LIU Hailian. 2013. Eco-environmental effects of urban land landscape pattern changes: progresses, problems and perspectives. *Acta Ecologica Sinica*, 33 (4): 1024-1050. ]

- CREUZIG F, BAIOCCHI G, BIERKANDT R, PICHLER P P and SETO K C. 2015. Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 112 ( 20 ) : 6283-6288.
- DIELEMAN F and WEGENER M. 2003. Compact City and Urban Sprawl. *Built Environment*, 30 ( 4 ) : 308-323.
- DIETZEL C, OGUZ H, HEMPHILL J J, CLARKE K C and GAZULIS N. 2005. Diffusion and coalescence of the Houston Metropolitan Area: evidence supporting a new urban theory. *Environment & Planning B Planning & Design*, 32 ( 2 ) : 231-246.
- DIBARI J N. 2007. Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. *Landscape & Urban Planning*, 79 ( 3 ) : 308-313.
- 董晨炜, 曹宇, 谭永忠. 2017. 基于夜间灯光数据的环杭州湾城市扩张及植被变化. *应用生态学报*, 28 ( 1 ) : 231-238. [DONG Chenwei, CAO Yu and TAN Yongzhong. 2017. Urban expansion and vegetation changes in Hangzhou Bay area using night-light data. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28 ( 1 ) : 231-238. ]
- FORMAN R T. 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. *Proceedings of Sca*, 26 ( 2005 ) : 201-208.
- GRIMM N B, FAETH S H, GOLUBIEWSKI N E, REDMAN C L, WU J, BAI X and BRIQQS J M. 2008. Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319 ( 5864 ) : 756-760.
- GU C L, WU L Y and COOK I. 2012. Progress in research on Chinese urbanization. *Frontiers of Architectural Research*, 1 ( 2 ) : 101-149.
- 高金龙, 陈江龙, 袁丰, 魏也华, 陈雯. 2014. 南京市建设用地区域扩张模式、功能演化与机理. *地理研究*, 33 ( 10 ) : 1892-1907. [GAO Jinlong, CHEN Jianglong, YUAN Feng, WEI Yehua and CHEN Wen. 2014. Patterns, functions and underlying mechanisms of urban land expansion in Nanjing. *Geographical Research*, 33 ( 10 ) : 1892-1907. ]
- HEROLD M. 2005. Spatio-temporal dynamics in California's Central Valley: Empirical links to urban theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 19 ( 2 ) : 175-195.
- 何晓群, 刘文卿. 2007. 应用回归分析. 2版. 北京: 中国人民大学出版社: 138. [HE Xiaohun and Liu Wenqing. 2007. *Applied Regression Analysis*. 2<sup>nd</sup> Edition. Beijing: China Renmin University Press, 138. ]
- 焦利民, 唐欣, 刘小平. 2016. 城市群视角下空间联系与城市扩张的关联分析. *地理科学进展*, 35 ( 10 ) : 1177-1185. [JIAO Limin, TANG Xing and LIU Xiaoping. 2016. Spatial linkage and urban expansion: An urban agglomeration perspective. *Progress in Geography*, 35 ( 10 ) : 1177-1185. ]
- KAREIVA P, WATTS S, MCDONALD R and BOUCHER T. 2007. Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, 316 ( 5833 ) : 1866-1869.
- 刘盛和. 2002. 城市土地利用扩展的空间模式与动力机制. *地理科学进展*, 21 ( 1 ) : 43-50. [LIU Shenghe. 2002. Spatial patterns and dynamic mechanisms of urban land use growth. *Progress in Geography*, 21 ( 1 ) : 43-50. ]
- 刘纪远, 王新生, 庄大方, 张稳, 胡文岩. 2003. 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别. *地理学报*, 58 ( 6 ) : 885-892. [LIU Jiyuan, WANG Xinsheng, ZHUANG Dafang, ZHUANG Wen and HU Wenyan. 2003. Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion. *Acta Geographica Sinica*, 58 ( 6 ) : 885-892. ]
- LIU J Y, ZHAN J Y and DENG X Z. 2005. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era. *Ambio*, 34 ( 6 ) : 450-455.
- 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 秦雁, 李少英, 陈明辉. 2009. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用. *地理学报*, 64 ( 12 ) : 1430-1438. [LIU Xiaoping, LI Xia, CHEN Yimin, QIN Yan, LI Shaoying and CHEN Minghui. 2009. Landscape expansion index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. *Acta Geographica Sinica*, 64 ( 12 ) : 1430-1438. ]
- LIU X P, LI X, CHEN Y M, TAN Z Z, LI S Y, AI B. 2010. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25 ( 5 ) : 671-682.
- 刘针环, 王仰麟, 彭建, 谢苗苗, 李猷. 2011. 基于不透水表面指数的城市地表覆被格局特征: 以深圳市为例. *地理学报*, 33 ( 1 ) : 78-81. [LIU Zhenhuan, WANG Yanglin, PENG Jian, XIE Miaomiao and LI You. 2011. Using ISA to analyze the spatial pattern of urban land cover change: a case study in Shenzhen. *Acta Geographica Sinica*, 33 ( 1 ) : 78-81. ]
- LI X M, ZHOU W Q and OUYANG Z Y. 2013. Forty years of urban expansion in Beijing: What is the relative importance of physical, socioeconomic, and neighborhood factors? *Applied Geography*, 38 ( 1 ) : 1-10.
- 吕晓, 黄贤金. 2013. 建设用地扩张的研究进展及展望. *地理与地理信息科学*, 29 ( 6 ) : 51-58. [LV Xiao and HUANG Xianjin. 2013. Research Progress and Prospect of Construction Land Expansion. *Geography and Geo-information Science*, 29 ( 6 ) : 51-58. ]
- LI H, WEI Y H D and HUANG Z. 2014. Urban land expansion and spatial dynamics in Globalizing Shanghai. *Sustainability*, 6 ( 12 ) : 8856-8875.
- 刘桂林, 张落成, 张倩. 2014. 苏南地区建设用地扩展类型及景观格局分析. *长江流域资源与环境*, 23 ( 10 ) : 1375-1382. [LIU Guilin, ZHANG Luocheng and ZHANG Qian. 2014. Urban expansion and landscape pattern analysis in the south of Jiangsu, China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 23 ( 10 ) : 1375-1382. ]
- LIU F, ZHANG Z G, SHI L F, SHI L F, ZHAO X L, XU J Y, YI L and LIU B. 2016. Urban expansion in China and its spatial-temporal differences over the past four decades. *Journal of Geographical Sciences*, 26 ( 10 ) : 1477-1496.
- LIU Y L, HU Y M, LONG S Q, LIU L, LIU L and LIU X P. 2017. Analysis of the Effectiveness of Urban Land-Use-Change Models Based on the Measurement of Spatio-Temporal, Dynamic Urban Growth: A Cellular



- Automata Case Study. *Sustainability*, 9: 796.
- MCGARIGAL K, MARKS B J. 1995. FRAGSTATS: Spatial analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report-US Department of Agriculture, Forest Service. PNW-GTR-351.
- NEWLING B E. 1969. The Spatial Variation of Urban Population Densities. *Geographical Review*, 59 (2): 242-252.
- OU J P, LIU X P, LI X and CHEN Y M. 2013. Quantifying the relationship between urban forms and carbon emissions using panel data analysis. *Landscape Ecology*, 28 (10): 1889-1907.
- 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 & Geoinformation*, 21 (1): 409-417.
- 汤君友, 杨桂山. 2004. 基于RS与GIS的无锡市城镇建设用地扩展时空特征分析. *长江流域资源与环境*, 13 (5): 423-428. [TANG Junyou and YANG Guishan. 2004. Analysis of spatial-temporal feature in urban land use growth based on RS and GIS in Wuxi city. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 13 (5): 423-428. ]
- WILSON E H, HURD J D, CIVCO D L, PRISLOE M P and ARNOLD C. 2003. Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. *Remote Sensing of Environment*, 86 (3): 275-285.
- WU J G, JENERETTE G D, BUYANTUYEV A, BUYANTUYEV A and REDMAN C L. 2011. Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 8 (1): 1-8.
- 王少剑, 方创琳, 王洋, 马海涛, 李秋颖. 2013. 广东省区域经济差异的方向及影响机制. *地理研究*, 32 (12): 2244-2256. [WANG Shaojian, WANG Yang, MA Haitao and LI Qiuying. 2013. The directions and mechanisms of regional inequality in Guangdong Province. *Geographical Research*, 32 (12): 2244-2256. ]
- WU W J, ZHAO S Q, ZHU C and JIANG J L. 2015. A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang over the past three decades. *Landscape & Urban Planning*, 134: 93-106.
- 王利伟, 冯长春. 2016. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制——基于夜间灯光数据方法. *地理学报*, 71 (12): 2155-2169. [WANG Liwei and FENG Changchun. 2016. Spatial expansion pattern and its driving dynamics of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region: Based on nighttime light data. *Acta Geographica Sinica*, 71 (12): 2155-2169. ]
- XU C, LIU M S, ZHANG C, AN S, YU W and CHEN J M. 2007. The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*, 22 (6): 925-937.
- 许学强, 周一星, 宁越敏. 2009. 城市地理学. 北京: 高等教育出版社: 51. [XU Xueqian, ZHOU Yixing and NING Yuemin. 2009. *Urban Geography*. Beijing: Higher Education Press: 51. ]
- 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. [XUN Bin, YU Deyong, WANG Xue, LIU Yupeng, HAO Ruifang and SUN Yun. 2014. Spatio-temporal dynamics of urban growth and its driving forces in Shenzhen City. *Ecological Science*, 33 (3): 545-552. ]
- 徐进勇, 张增祥, 赵晓丽, 刘斌, 易玲. 2015. 近40年珠江三角洲主要城市时空扩展特征及驱动力分析. *北京大学学报(自然科学版)*, 51 (6): 1119-1131. [XU Jinyong, ZHANG Zengxiang, ZHAO Xiaoli, LIU Bin and YI Ling. 2015. Spatial-Temporal Characteristics and Driving Forces of Urban Sprawl for Major Cities of the Pearl River Delta Region in Recent 40 Years. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 51 (6): 1119-1131. ]
- 谢文瑄, 黄庆旭, 何春阳. 2017. 山东半岛城市扩展模式与生态足迹的关系. *生态学报*, 37 (3): 969-978. [XIE Wenxuan, HUANG Qingxu and HE Chunyang. 2017. Urban expansion modes and regional ecological footprints in the Shandong Peninsula Urban Agglomeration. *Acta Ecologica Sinica*, 37 (3): 969-978. ]
- 俞艳, 胡珊珊, 童艳, 柯圆圆. 2017. 基于公共边测度的城市扩张模式建模研究. *地理与地理信息科学*, 33 (1): 78-81. [YU Yan, HU Shanshan, TONG Yan and KE Yuanyuan. 2017. Research on modeling for urban expansion pattern recognition based on shared boundary analysis. *Geography and Geo-information Science*, 33 (1): 78-81. ]
- 张金兰, 欧阳婷萍, 朱照宇, 柏杨. 2010. 基于景观生态学的广州城镇建设用地扩张模式分析. *生态环境学报*, 19 (2): 410-414. [ZHANG Jinlan, OUYANG Tingping, ZHU Zhaoyu and BAI Yang. 2010. Analysis on the expansion mode of Guangzhou's urban built-up land based on landscape ecology. *Ecology and Environmental Sciences*, 19 (2): 410-414. ]
- 周翔, 陈亮, 象伟宁. 2014. 苏锡常地区建设用地扩张过程的定量分析. *应用生态学报*, 25 (5): 1422-1430. [ZHOU Xiang, CHEN Liang and XIANG Weiming. 2014. Quantitative analysis of the built-up area expansion in Su-Xi-Chang region, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25 (5): 1422-1430. ]

## Regional Difference and Driving Mechanism of Construction Land Expansion Types in Prefecture-level Cities of Guangdong Province

DENG Ruimin<sup>1,2</sup>, LI Shaoying<sup>3</sup>, WU Zhifeng<sup>3</sup>, KUANG Yaoqiu<sup>1,2</sup>, MA Shifa<sup>4</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 4. Land and Resources Information Center of Guangdong Province, Guangzhou 510075, China)

**Abstract:** At present, most research about urban expansion patterns focus on the identification of urban expansion types and the analysis of the urban expansion process and laws in a single city. It is lack of the study about the comparative analysis of urban expansion types at cities with different stages of development. Based on the Landscape Expansion Index (LEI), which obtains the information about the spatio-temporal dynamic changes of land patterns, In this paper, the newly added construction land expansion types are divided into three types: outlying, edge-expansion, and infilling, other extension types can be considered as combinations or variants of the three basic extension types. This study quantitatively identifies the expansion types of 21 prefecture-level cities in Guangdong Province from 2009 to 2014 by LEI, compares and analyzes the expansion types combinations and differences in cities at different stages of development, and reveals the spatial differentiation of cities on provincial scale. In addition, the stepwise regression model is used to explore the driving mechanism of different expansion types. The results are summarized as follows: 1) The newly added construction land expansion types of 21 prefecture-level cities in Guangdong Province from 2009 to 2014 are mainly of edge-expansion type, followed by infilling type and outlying type, the ratio of three expansion types is: 68:18:14. It is clearly that the proportion of outlying type and infilling type was inversely proportional, the cities with a high expansion type ratio of the outlying, the proportion of the infilling type is lower; on the contrary, the city with a higher proportion of the infilling type has a lower expansion type ratio of the outlying. 2) There is an agglomeration effect in cities with a higher outlying and infilling type ratio of newly construction land. In addition to Shantou City, the city with a large proportion of infilling type are concentrated in the Pearl River estuary area, which showed a 'small triangle' shape, while the cities with high proportion of outlying type are distributed around cities with a high proportion of the infilling type, forming a 'big triangle' shape outside the Pearl River Delta region. And cities with a higher proportion of edge-expansion type have no obvious spatial distribution 3) Three land expansion types have different driving mechanisms. The population density is the main influencing factor of the outlying type, the lower the population density is, the more the new construction land will be in the form of outlying type. The edge-expansion type is affected by the proportion of non-construction land and population density, the city with higher proportion of non-construction land and higher population density has more new construction land with edge-expansion type. The infilling type is affected by land urbanization rate, the new construction land with infilling type is more likely to appear in cities with high urbanization rates.

**Key words:** construction land; land expansion type; Land Expansion Index; Guangdong Province