

基于空间句法理论的城市群核心区发展边界识别

武凯华^{1,2}, 李朝奎^{1,2}, 刘俊杰^{1,2}, 郝豪杰^{1,2}

(1. 湖南科技大学地理空间信息技术国家地方联合工程实验室, 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学资源环境与安全工程学院, 湘潭 411201)

摘要: 准确识别当前城市群建设进程中核心区发展边界是研究城市群的一项重要内容。本文提出一种研究思路: 采用空间句法分析城市群道路网, 将得到的4个分析指标融合成新指标——“城市群集群度”, 并提取“城市群集群度”等值线和“城市群集群度”曲线, 通过计算找到最佳阈值从而提取出城市群核心区发展边界。以长株潭城市群为例, 将基于空间句法的研究结果与基于Densi-Graph方法的研究结果进行对比, 在除去数据质量因素后, 城市群核心区发展边界识别差异有望控制在10%以内。研究表明: 基于空间句法理论的城市群核心区发展边界识别方法容易获取计算数据, 适用范围广, 可靠性强。

关键词: 城市群; 边界提取; 空间句法理论; 长株潭城市群

DOI: 10.11821/dljy020190516

1 引言

城市群是以中心城市为核心, 向外辐射形成的城市集合区域。城市及城市群空间是动态变化的, 既会在原来的基础上渐进增长, 也会因为经济、政策等因素而中断发展^[1,2]。在城市及城市群的快速发展阶段, 城市极易受到各种因素的影响而不遵循原来的渐进发展, 改变城市及城市群原有的内部空间结构, 进而产生内部空间关系异质性的问题。这种异质性在城市群中会表现为核心城市与周围城市之间在不同空间方向上发展程度不一致, 不同区县之间联系不同。城市群高速发展阶段新的发展核心不断涌现, 这些新核心的发展又将持久影响城市群未来空间结构发展。所以需要在城市群发展初期阶段, 城市群内部空间结构尚未固化之前及时对其空间结构进行调整, 为以后城市群长久且合理发展奠定框架和基础。

传统地理学研究中关于“边界”的定义莫衷一是, 有城市边界, 城市群发展边界, 规划区域边界等概念^[3]。其中城市发展边界原来是指控制城市发展中约束性城乡的分界线, 当前研究中城市发展边界也作为城市及城市群中发展程度不同的区域的分界线^[4]。为了对处在快速发展中的城市群进行空间结构控制和管理, 研究者针对城市群内部空间结构异质性的特点, 在城市发展边界的研究基础上提出“城市群核心区发展边界”。通过提取城市群核心区发展边界, 将城市群空间关系异质性具体化, 根据城市群内部空间的发

收稿日期: 2019-06-24; 修订日期: 2019-11-26

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFB0503802, 2018YFB0505401); 国家自然科学基金项目 (41271390); 湖南省研究生科研创新项目 (CX20190798)

作者简介: 武凯华 (1996-), 男, 新疆北屯人, 硕士研究生, 主要从事城市空间分析与建模研究。

E-mail: 2481590173@qq.com

通讯作者: 李朝奎 (1967-), 男, 湖南汉寿人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事三维地理建模及其应用研究。

E-mail: chkl_hn@163.com

展程度高低划分成不同区域, 为城市群长远规划及其长时间稳定发展提供支撑。

当前研究关于核心区发展边界提取的内容并不多, 这是城市群未来规划和发展的重大重点。只有划定了不同发展等级的范围才能够制定有所针对的发展规划方案, 更好地进行统筹规划^[5]。核心区发展边界在地理意义上和城市及城市群边界类似, 其提取方法也可参考城市和城市群的边界提取方法。学者们提出了很多种不同的提取方法, 主要分为三大类。

其一, 基于人文地理数据和行政区划的城市群发展边界划分。通过经济、人口、GDP等数据构建指标体系, 最后根据行政区划进行划分范围。例如方创琳等提出了城市群空间的鉴定标准, 指出城市群拓展过程中的不同形态^[6]。从行政区划来看城市或城市群的边界是固定的, 但是实际发展过程中实际边界是不确定的, 脱离实际边界只以行政区划为标准去谈论城市及城市群的建设发展是不恰当的^[3]。其二, 结合数学建模的边界提取。谭兴业等将分形几何引入边界提取的工作中^[7,8], 由于中国的城市建设和国外相比情况更加复杂, 应用在中国城市中很难得到优秀的结果。林晓娟等使用道路交叉点拓张融合形成核心区边界^[9], 许泽宁等提出的Densi-Graph方法研究建成区边界等^[10], 这些研究的特点是结果不依照行政区划分割, 是一个个集聚的图斑。其三, 利用遥感图像提取。例如汪韬阳等利用DMSP/OLS数据提取城市建成区^[11], 周晓驰等利用遥感数据识别西安城区边缘空间^[12]。这种方法多用于人类活动范围的识别, 强调城市的外在形态, 忽略了内部空间结构。以上研究方法在特定情境下取得了不错的效果, 但是都缺少一种对城市群空间位置上连续性的解释, 故希望找到一种新思路识别城市群核心区发展边界。

近年来空间句法理论在中国发展迅速, 很多学者将其用于城市空间分析^[13]。这种分析方法强调空间之间的关系、空间的一致性以及空间内部的逻辑, 这与城市群的建设目的非常相似, 为研究城市群核心区发展边界提取提供了新思路。本研究使用空间句法结合道路数据进行分析。道路是城市发展的基础之一。道路将城市划分为不同的空间单元, 对道路数据进行分析也就是对城市空间进行分析。空间句法理论可以很好的计算出城市空间单元之间的联系, 以及物质信息流动, 进而对城市空间单元进行分级评估。空间句法计算道路的各项指标通过数值展示了道路对周围空间区域的影响力, 以及不同空间的发展潜力, 进而就可以计算出城市群核心区发展边界。

2 研究方法

2.1 研究区概况与数据来源

长株潭城市群地处长江中游, 主要以地理位置靠近, 发展状况位居湖南省前列的长沙、株洲、湘潭三市组成。同时覆盖周围岳阳、益阳、娄底、衡阳、常德5个城市构成“3+5”城市群^[14]。长株潭城市群作为长江中下游城市群的重要组成部分, 自2007年国家批准建设以来, 一体化建设进程迅速。

本研究的矢量数据由湖南省交通厅提供, 包括长株潭城市群2017年道路矢量数据、长株潭行政区划数据、长株潭设计规划图数据, 其中道路数据精确到区县级道路, 在此尺度下道路所划分的单元能满足空间句法计算的要求^[15]。POI数据来自2019年高德地图, 通过公开的接口获取数据, 并进行坐标转换。

2.2 城市群核心区发展边界识别方法

2.2.1 空间句法 空间句法理论最早是由伦敦大学学院(UCL)的Bill Hillier牵头创建

的。空间句法理论的基础是计算机科学和数学。其核心思想是任何一个空间不管是室内还是户外，都是相互联系的。通过拓扑学和数学的计算，计算出不同的指标值来衡量空间之间的关系，将空间内部的抽象关系表现出来，这为整个宏观上的空间规划^[16]和室内的空间设计^[17]提供了依据。

空间句法近十年传入中国，在国内研究中被广泛应用^[18]。空间句法在具体研究中分为两大类：室内空间和室外空间。室内空间使用凸空间分析^[19]，室外宏观面上使用轴线图分析和线段模型分析^[20]。

本文主要采用Axwoman插件提供的Natural Streets分析功能进行分析。对研究区道路网处理得出一系列指标，主要包括控制值、平均深度值、整体集成值、局部集成值。值得注意的是空间句法的指标在每一个分析项目中都是独一无二的。脱离当前研究背景这些数值就毫无意义。

(1) 控制度，表示当前轴线对周围其他轴线产生的影响大小。数值越大，表明当前空间在周围的空间区域中越处于主导地位，控制度的计算方法公式如下：

$$T = \frac{1}{C} \quad (1)$$

式中： T 为控制度； C 表示与此轴线相连的其他所有轴线的数目^[18]。

(2) 平均深度值，表示从轴线网络中某一节点出发到达其他所有节点的深度值总和平均值。其中深度值表示从一条轴线到另一条轴线需要转换的最小空间次数^[16]。平均深度值的计算公式如下：

$$\bar{D} = \frac{D}{n-1} \quad (2)$$

$$D = \sum_{d=1}^s d \times N_d \quad (3)$$

式中： \bar{D} 为平均深度值； $n-1$ 为在总轴线条数为 n 的轴线图中，每一条轴线最多有 $n-1$ 条与其相连； D 为深度值，深度值为逆指标，数值越小联系越紧密； d 为任意一条轴线到其他轴线的最小连接次数（表示从 $1 \sim m$ 之间的整数，其中 m 表示最大连接次数）； N_d 为连接的轴线条数^[16]。

(3) 全局集成度，表示从轴线图中某一条轴线出发，访遍其他所有轴线的总步数。全局集成度的计算公式如下：

$$R = \frac{2(\bar{D}-1)}{n-2} \quad (4)$$

式中： R 为全局集成度； \bar{D} 为平均深度值； n 为总的轴线条数。

(4) 局部集成度，是在全局集成度的基础上计算得到的，局部集成度通常是限定在周围的三步或十步范围内^[17]。局部集成度的计算公式如下：

$$G = \frac{R}{D_n} \quad (5)$$

$$D_n = \frac{2\{n[\log_2((n+2)/3) - 1] + 1\}}{(n-1)(n-2)} \quad (6)$$

式中： G 为局部集成度； R 为全局集成度； n 为总的轴线条数； D_n 为标准化参数。

2.2.2 城市群集群度曲线提取 城市群本质上和城市有很多相似之处，很多城市核心区发展边界的测定方法在城市群中一样使用。本研究利用城市拓张曲线^[9]和Densi-Graph分析法^[10]，结合空间句法计算提出城市群集群度曲线，用来划定核心区发展边界^[21]。

城市群内部的联系在空间句法计算相关部分得出。空间句法不同指标在解释不同

问题的时候侧重不同。但不论在何种情景下,各指标都表达当前空间在整体空间结构中所处的优势地位。单独轴线的计算数值脱离当前分析过程,没有实际参考意义^[22],关键是在同一分析过程中数值的相对大小代表当前空间所处地位的不同。核心区的含义是在整体空间中处于优势地位的区域,地理空间位置优越,与周围空间联系紧密,这与空间句法理论所表达的含义相同。为了更准确地测度城市群核心区发展边界,将计算结果中的控制值、平均深度、局部集成度、全局集成度4个指标融合成一个指标,称为城市群集群度。城市群集群度代表当前空间的地位高低,越大表明地位越高,能够接受到的资源也就越多,对周围的辐射带动能力越大,其空间潜力也越大。再将城市群集群度用ArcGIS软件进行线密度分析生成栅格图像,提取出城市群集群度栅格的等值线。

相关研究中,林晓娟等基于道路的交叉点数据,结合分形几何理论生成城市拓张曲线,计算拓张曲线的曲率变点,将该点对应的值作为搜索阈值进行城市边界的划分依据^[9]。许泽宁等利用POI数据,进行核密度分析,提取核密度等值线,根据密度值与其对应等值线围成区域的面积构建Densi-Graph曲线,同样求出曲线的曲率突变点,将该点对应的阈值作为城市群核心区发展边界的划分依据^[10]。

类似地,本研究利用等值线序列求出不同值的等值线与其对应等值线的长度和之间的关系,绘制城市群集群度曲线,确定曲线变化率变化最大的点所对应的集群度值。将该值作为城市群核心区发展边界的城市群集群度。该值对应的等值线范围就是城市群内部核心区的范围^[23]。城市群集群度反映在城市群中就是这个集群度以外的区域与核心区发生断层空间联系不够紧密,已经不再属于核心区。这种差距并不是经济水平以及设施布置上,而是在以道路为基础的城市群空间结构上出于劣势地位,其对周围空间的影响力、吸引力、空间潜力都有所不足。

在进行控制值、平均深度、局部集成度、整体集成度4个指标集成为一个城市群集群度指标时,分别进行无量纲处理。将归一化后的值各取0.25的权重进行城市群集群度的计算。之所以取0.25作为权重是因为空间句法计算针对不同的研究系统产生不同的结果,不同结果之间的数值没有规律,每条轴线在当前的系统中都是独一无二的,无法通过传统的定权法定权。虽然各个指标解释不同的内容,但都代表着当前轴线空间相对于其他空间所处的优势地位。数值的大小也代表着空间统治力的高低,各个指标在解释空间地位的时候重要性相当故各取0.25。

3 结果分析

3.1 城市群核心区发展边界识别

利用Axwoman插件的Natural Streets功能对长株潭城市群道路数据进行处理,计算得到长株潭城市群的控制值、平均深度、局部集成度、整体集成度,集成为城市群集群度(图1b)。空间句法计算的结果代表的是轴线所围成空间的优势地位,为了将这种优势差别拓展到整个研究区,将城市群集群度作为权重进行线密度分析,生成城市群集群度栅格,并对栅格数据提取等值线(图1c)。栅格中每个值代表所处位置在整个系统中的优先级。

根据提取的等值线,将不同集群度值和对应的等值线的长度进行曲线拟合(图2a)。对曲线进行分析,当一阶导数为0时说明当前城市的对外拓张状态平稳且连续,没有出现明显的分隔断层,城市与非城市区域的边界不明显;一阶导数不为0时说明城市在发展过程中空间结构并不是连续变化的,在某处出现了断层,这个断层就是核心区边界。

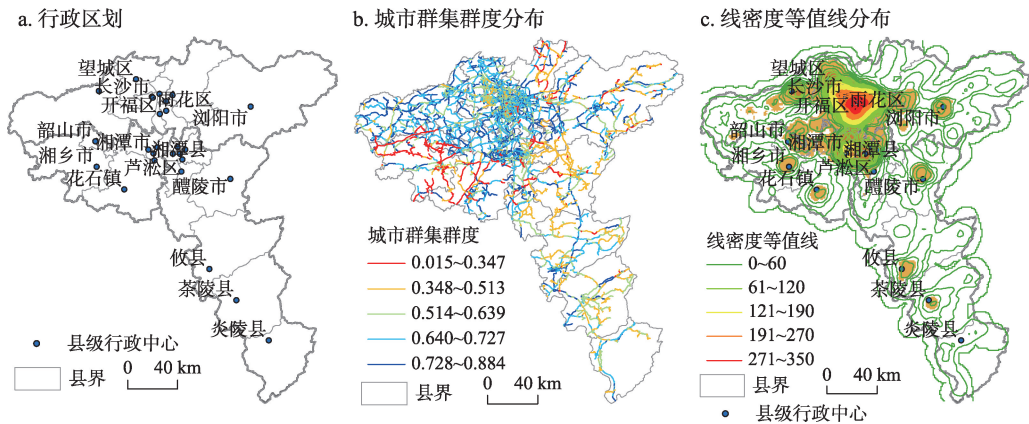


图1 基于空间句法计算长株潭城市群集群度及其线密度栅格等值线

Fig. 1 Calculation of the cluster density and line density raster contours of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration based on spatial syntax

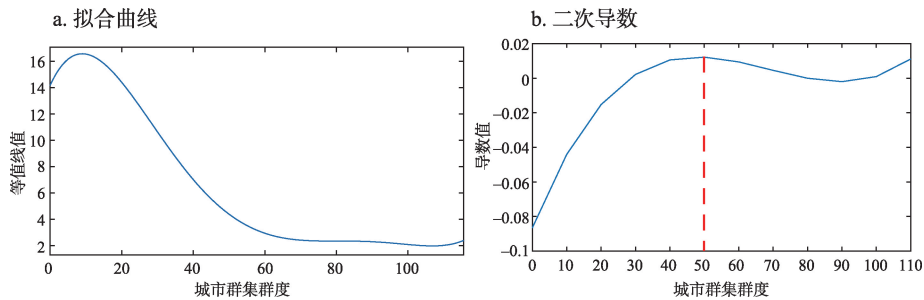


图2 长株潭城市群集群度与等值线长度拟合曲线及其二阶导数图像

Fig. 2 Curves of clusters and contour line length and its second derivative image of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration

为了求集群度变化率的第一次突变点，对曲线进行二次求导，50是等值线的突变点（图2b）。提取出集群度值为50的等值线所包围的区域，即为长株潭城市群的发展核心区，同时这条等值线也可以认定为核心区发展边界（图3）。

3.2 空间句法识别结果特征分析

从识别结果可以看出，空间句法分析得到的结果是不依照行政区划的。长株潭城市群中，长沙、株洲、湘潭三市的大部分辖区构成了最大集群核心。该集群西侧的韶山市、东侧的浏阳市、东南侧的醴陵市又各自构成独立的小核心，但是又同大核心中间出现断层。这说明核心区是指它们在整个城市群中处于主导地位，核心内部之间关联性较强，一体化程度较强，各种配套设施相对配置均衡。尤其是长沙市中心城区，交通网络四通八达，发展时间最为长久，其地位要远远高于城市群中其他区域，成为城市群中的“孤峰”。

在长株潭城市群最大核心以外的地区，韶山、浏阳、醴陵三市相对于其他大部分区域，自身发展领先，基本和城市群大核心外围区域发展程度相同。长沙、株洲、湘潭三市如此紧密的原因也与城际铁路和高铁的开通运行密不可分，尤其是城际铁路的开通将三地的人流物流一体化进程加快。交通带来的不仅是人流物流的加速流动，更重要的是空间一致性的加强。城市群内部的逻辑通过交通体现，各个区域自身发展成小核心，大

的核心以其影响力顺着交通网络构建方向吞噬小的核心, 进而影响到周围更大的区域, 在融合中进行拓张。

此外需要指出的是被划分为同一个边界范围内, 并不意味着内部均质化。城市群的本质是建立在分工基础上的密切经济社会联系, 交通网络是构建这种联系的重要因素之一。空间句法结合道路数据划分的范围更多是空间结构层面的。同一个范围内各点之间联系较强, 相互之间的物质流动基础更好, 人流物流更倾向于在此范围内活动交流。空间句法得到的结果并不是一套现成的操作流程, 它从城市群整体空间结构方面监测城市群发展中的动态变化, 帮助控制合理的城市结构, 为未来城市群健康发展提供支撑。

3.3 空间句法与 Densi-Graph 方法的识别结果对比

为了进一步验证结果的有效性, 将研究结果与 Densi-Graph 分析方法求得的长株潭城市群边界结果进行对比。对比研究采用的数据为 2019 年长沙、株洲、湘潭三市高德地图 POI 数据, 包括餐饮宾馆, 娱乐, 生活服务等共 127022 个点^[10]。对 POI 数据进行核密度分析, 生成核密度等值线, 并通过 Densi-Graph 图找到阈值。由图 4 可见: 二者在形

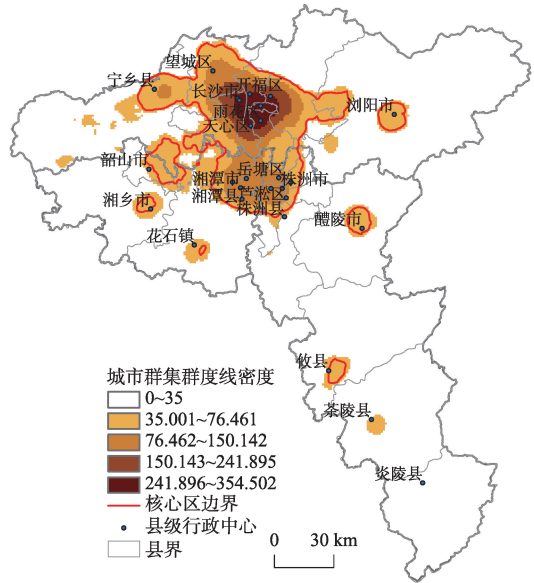


图3 基于空间句法识别长株潭城市群核心区边界
Fig. 3 Identification of the growth boundary of core areas of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration based on spatial syntax

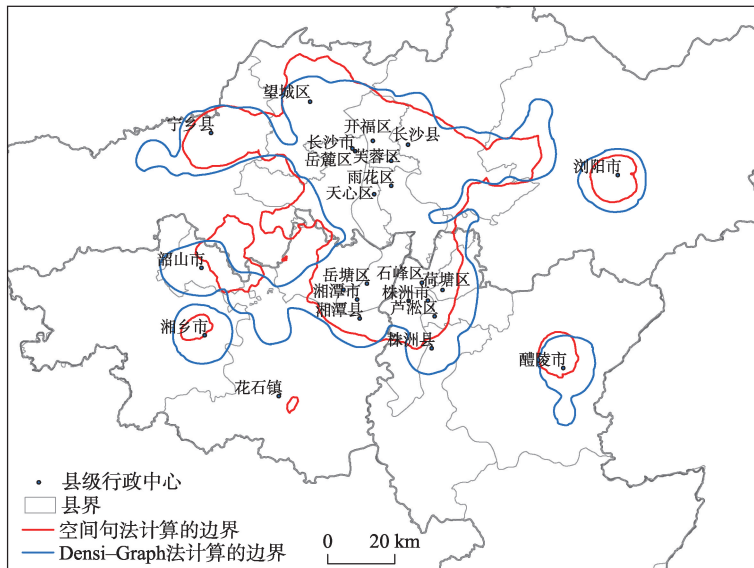


图4 基于 Densi-Graph 方法与空间句法识别长株潭城市群核心区边界对比
Fig. 4 Comparison between Densi-Graph method and spatial syntax method to identify the boundary of core areas of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration

态上基本保持一致,但也存在部分差异。基于空间句法划定的红色区域,面积约为4784.4 km²;基于Densi-Graph方法划定的蓝色区域,面积约为5852.8 km²。蓝色区域已将韶山市划入核心区,而在空间句法的结果中韶山市并未划入城市群的核心区,但指出了韶山市是未来的拓张区域。造成两种方法结果不同的主要原因是数据源不同。POI数据和道路数据有所差别,很多区域有道路覆盖,但POI密度却很低。本研究采用的POI数据为2019年的数据,而道路数据不如POI数据更新及时,采用的是2017年的数据。但从两种方法的对比结果也可以看出,划分边界在形态上基本保持一致,如果数据能够同步,范围差异可控制在10%以内。

4 结论与讨论

判断城市群核心区发展边界,对优化资源配置,促进城市群一体化进程具有重要的实际意义。本文在借鉴现有研究成果的基础上,借助空间句法理论研究城市群核心区发展边界的提取方法,并以长株潭城市群为研究对象进行分析,结果表明:

(1) 将空间句法理论引入到城市群的研究中,成功提取出城市群内部核心区发展边界,且利用空间句法计算的结果具有说服力,避免了传统方法需要人为设定阈值而产生的主观影响。

(2) 交通网络作为城市空间的发展脉络,是空间分布与空间联系的表现。通过道路数据可以更加直观的计算出城市群中各小空间单元之间的联系,从而衡量整个城市群空间的发展程度。计算的结果也能够为城市群城际铁路、地铁、公路交通的一体化建设提供依据。

(3) 在城市群的发展过程中,城市在人口、通勤、空间拓张、产业联系等层面已经突破了行政边界的限制。本次提取的结果不以行政区划边界为划分标准,更能反映出部分区域发展的不均衡,与《长株潭城市群区域规划(2008—2020)》中的空间结构规划相对应,也为城市群未来空间规划从交通方面提供了数据支撑。此外文中所用的研究方法同样适合其他城市或城市群的边界提取,具有可借鉴意义。

致谢: 真诚感谢匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力,评审专家对本文核心区概念解释、理论方法选择、指标权重选取、结果对比分析方面的修改意见,使本文获益匪浅。

参考文献(References)

- [1] Gottmann J. Megalopolis or the urbanization of the northeastern seaboard. *Economic Geography*, 1957, 33(7): 189-200.
- [2] 张振广, 张尚武. 空间结构导向下城市增长边界划定理念与方法探索: 基于杭州市的案例研究. *城市规划学刊*, 2013, (4): 33-41. [Zhang Zhenuang, Zhang Shangwu. The ideas and methods of spatial structure-oriented urban growth boundary delimitation: A case study of Hangzhou city. *Urban Planning Forum*, 2013, (4): 33-41]
- [3] 高晓路, 许泽宁, 牛方曲. 基于“点-轴系统”理论的城市群边界识别. *地理科学进展*, 2015, 34(3): 280-289. [Gao Xiaolu, Xu Zening, Niu Fangqu. Delineating the scope of urban agglomerations based upon the Pole-Axis Theory. *Progress in Geography*, 2015, 34(3): 280-289]
- [4] 谭荣辉, 刘耀林, 刘艳芳, 等. 城市增长边界研究进展: 理论模型、划定方法与实效评价. *地理科学进展*, 2020, 39(2): 327-338. [Tan Ronghui, Liu Yaolin, Liu Yanfang, et al. A literature review of urban growth boundary: Theory, modeling, and effectiveness evaluation. *Progress in Geography*, 2020, 39(2): 327-338.]

- [5] White R, Engelen G. Urban systems dynamics and cellular automata: Fractal structures between order and chaos. *Chaos, Solitons & Fractals*, 1994, 4(4): 563-583.
- [6] 方创琳. 城市群空间范围识别标准的研究进展与基本判断. *城市规划学刊*, 2009, (4): 1-6. [Fang Chuanglin. Research progress and general definition about identification standards of urban agglomeration space. *Urban Planning Forum*, 2009, (4): 1-6.]
- [7] 谭兴业, 陈彦光. 基于邻域扩展量化法的城市边界识别. *地理科学进展*, 2015, 34(10): 1259-1265. [Tan Xingye, Chen Yanguang. Urban boundary identification based on neighborhood dilation. *Progress in Geography*, 2015, 34(10): 1259-1265.]
- [8] Tannier C, Thomas I, Vuidel G, et al. A fractal approach to identifying urban boundaries. *Geographical Analysis*, 2011, 43(2): 211-227.
- [9] 林晓娟, 房世峰, 徐亚莉, 等. 基于道路交叉点邻域扩张曲线的城市边界识别: 以成都、西安、武汉、南京和长沙为例. *地理科学进展*, 2018, 37(6): 781-789. [Lin Xiaojuan, Fang Shifeng, Xu Yali, et al. Identifying urban boundaries by clustering street node based on neighborhood dilation curve: A case study of Chengdu, Xi'an, Wuhan, Nanjing and Changsha. *Progress in Geography*, 2018, 37(6): 781-789.]
- [10] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. *地理学报*, 2016, 71(6): 928-939. [Xu Zening, Gao Xiaolu. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(6): 928-939.]
- [11] 汪韬阳, 张过, 李沛然, 等. 基于DMSP/OLS夜光遥感影像的城市扩张政策驱动因素分析. *测绘学报*, 2018, 47(11): 1466-1473. [Wang Taoyang, Zhang Guo, Li Peiran, et al. Analysis on the driving factors of urban expansion policy based on DMSP/OLS remote sensing image. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2018, 47(11): 1466-1473.]
- [12] 周小驰, 刘咏梅, 杨海娟. 西安市城市边缘区空间识别与边界划分. *地球信息科学学报*, 2017, 19(10): 1327-1335. [Zhou Xiaochi, Liu Yongmei, Yang Haijuan. Spatial recognition and boundary region division of urban fringe area in Xi'an City. *Geo-Information Science*, 2017, 19(10): 1327-1335.]
- [13] Van der Hoeven F, A van Nes. Improving the design of urban underground space in metro stations using the space syntax methodology. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2014, 40(2): 64-74.
- [14] 汤放华, 吴平, 周亮. 长株潭城市群一体化程度测度与评价. *经济地理*, 2018, 38(2): 59-65. [Tang Fanghua, Wu Ping, Zhou Liang. Measurement and evaluation of the integration degree of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration. *Economic Geography*, 2018, 38(2): 59-65.]
- [15] Xia Chang, Zhang Anqi, Wang Haijun, et al. Predicting the expansion of urban boundary using space syntax and multivariate regression model. *Habitat International*, 2019, 86: 126-134.
- [16] 王海军, 夏畅, 张安琪, 等. 基于空间句法的扩张强度指数及其在城镇扩展分析中的应用. *地理学报*, 2016, 71(8): 1302-1314. [Wang Haijun, Xia Chang, Zhang Anqi, et al. Space syntax expand intensity index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1302-1314.]
- [17] 陈华杰, 石忆邵. 基于空间句法的商品交易市场空间结构: 以义乌国际商贸城为例. *地理学报*, 2011, 66(6): 805-812. [Chen Huajie, Shi Yishao. Spatial structure of commodity market based on space syntax: The case of Yiwu International Trade Mart. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 805-812.]
- [18] 张晓瑞, 华茜, 程志刚. 基于空间句法和LBS大数据的合肥市人口分布空间格局研究. *地理科学*, 2018, 38(11): 1809-1816. [Zhang Xiaorui, Hua Qian, Cheng Zhigang. Space pattern of urban population distribution based on space syntax and LBS big data. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1809-1816.]
- [19] 张宸铭, 高建华, 李国梁. 基于空间句法的河南省传统民居分析及其地域文化解读. *经济地理*, 2016, 36(7): 190-195. [Zhang Chenming, Gao Jianhua, Li Guoliang. Traditional settlement and regional culture of Henan province based on space syntax. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 190-195.]
- [20] 邓啸骢, 范霄鹏. 八廓街历史文化街区空间联系与内在活力研究. *规划师*, 2016, 32(z2): 215-218, 242. [Deng Xiaocong, Fan Xiaopeng. Spatial connection and inherent vitality in barkhor street. *Planners*, 2016, 32(z2): 215-218, 242.]
- [21] 陈彦光. 城市形态的分维估算与分形判定. *地理科学进展*, 2017, 36(5): 529-539. [Chen Yanguang. Approaches to estimating fractal dimension and identifying fractals of urban form. *Progress in Geography*, 2017, 36(5): 529-539.]
- [22] 张愚, 王建国. 再论“空间句法”. *建筑师*, 2004, (3): 33-44. [Zhang Yu, Wang Jianguo. Further discussion on "space syntax". *The Architect*, 2004, (3): 33-44.]
- [23] Minkowski H. Volumen und oberfläche. *Mathematische Annalen*, 1903, 57(4): 447-495.

Identification of growth boundary of core areas in an urban agglomeration based on spatial syntax theory

WU Kaihua^{1,2}, LI Chaokui^{1,2}, LIU Junjie^{1,2}, HAO Haojie^{1,2}

(1. National and Local Joint Engineering Laboratory of Geospatial Information Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China; 2. College of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China)

Abstract: Accurately identifying the boundary of the core areas in the process of urban agglomeration construction is an important part of urban agglomeration research. In this paper, a method of extracting urban agglomeration growth boundary is proposed: using spatial syntax to analyze urban agglomeration road network, fusing the four analysis indicators into a new index "urban agglomeration cluster degree", and putting forward the "urban agglomeration cluster degree" contour and "urban agglomeration cluster degree" curve, finding the best threshold through mathematical calculation, thus extracting the urban agglomeration core area growth boundary. This paper takes the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration as an example. The research results of this method are compared with those of the classical method. After the data quality factor is removed, the growth boundary recognition error of the core areas of urban agglomeration is expected to be controlled within 10%. Experiments show that the urban agglomeration core area growth boundary recognition method based on spatial syntax theory is easy to obtain research data, and has a wide application range and high reliability. The research content and methods proposed in this paper can provide a new idea for urban and urban agglomeration research.

Keywords: urban agglomeration; boundary extraction; spatial syntax theory; Chang-Zhu-Tan urban agglomeration