

# 中国城市地区的识别：街区尺度的探索

龙 瀛 沈 尧 金晓斌  
谢菡亭 译

## Mapping Block-Level Urban Areas for All Chinese Cities

LONG Ying<sup>1</sup>, SHEN Yao<sup>2</sup>, JIN Xiaobin<sup>3</sup>  
(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Translated by XIE Hanting  
(School of Design, University of Pennsylvania, USA)

**Abstract** As a vital indicator for measuring urban development, urban areas are expected to be identified explicitly and conveniently with widely available data sets, thereby benefiting planning decisions and relevant urban studies. Existing approaches to identifying urban areas are normally based on midresolution sensing data sets, low-resolution socioeconomic information (e.g., population density) in space (e.g., cells with several square kilometers or even larger towns or wards). Yet, few of these approaches pay attention to defining urban areas with high-resolution microdata for large areas by incorporating morphological and functional characteristics. This article investigates an automated framework to delineate urban areas at the block level, using increasingly available ordnance surveys for generating all blocks (or geounits) and ubiquitous points of interest (POIs)

**摘要** 作为评估城市发展的重要指标，城市地区被认为能够通过广泛可用的数据集来进行明确且便捷的识别并有助于规划决策和相关的城市研究。截至目前，识别城市地区的既有方法通常基于中分辨率的遥感数据集或空间中（如具有数平方千米的区块乃至更大的乡镇或行政区）低分辨率的社会经济信息（如人口密度）。然而，这些方法鲜少关注通过结合形态和功能特征来定义的具有高分辨率微观数据的大面积城市地区。故本文研究了一个自动化框架，用于在街区层面划定城市地区，使用逐渐可及的地形测量来生成各个区块（或地理单位）及广泛的兴趣点（POIs），从而推断出每个区块的密度。同时，本文基于矢量元胞自动机（VCA）模型，从所有生成的街廓中识别城市街廓，并将各街廓的密度、邻里条件与其他空间变异纳入考量。本文将这种方法用于绘制所有 654 个中国城市的城市地区，并将其与中分辨率遥感图像、人口密度和道路交叉口所反映的信息进行比较。与其他现有框架相比，本文提出的框架被证明更为简单、省时且精细。该架构主张定义城市地区的过程应具有有一致性、高效性和可用性，同时应考虑城市中无所不在的空间和功能因素。

**关键词** 中国；兴趣点（POIs）；路网；城市街廓；矢量元胞自动机（VCA）

### 作译者简介

龙瀛，清华大学建筑学院；  
沈尧，同济大学建筑与城市规划学院；  
金晓斌，南京大学地理与海洋科学学院。  
谢菡亭，宾夕法尼亚大学设计学院。

城市研究中的一个普遍困难是如何恰当地定义一个城市（Zipf, 1949; Krugman, 1996; Batty, 2006）。该城市

for inferring density of each block. A vector cellular automata model was adopted for identifying urban blocks from all generated blocks, taking into account density, neighborhood condition, and other spatial variables of each block. We applied this approach for mapping urban areas of all 654 Chinese cities and compared them with those interpreted from midresolution remote sensing images and inferred by population density and road intersections. Our proposed framework is proven to be more straightforward, time-saving, and fine-scaled compared with other existing ones. It asserts the need for consistency, efficiency, and availability in defining urban areas with consideration of omnipresent spatial and functional factors across cities.

**Keywords** China; points of interest (POIs); road network; urban block; vector cellular automata (VCA)

地区将在规划城市空间发展方面发挥重要作用，且将用于规划决策、管理和城市研究。它们不仅刻画了空间模式，例如建筑环境的发展水平和规模，还揭示了建成区内的社会经济不均衡，从而展现出城市是如何以复杂方式演变的 (Batty, 2012)。

目前，自上而下捕获建成区边界的常规方法已应用于世界各大主要城市，该方法主要依赖于中分辨率条件下的遥感数据集（如人口密度）以及低分辨率条件下的社会经济空间分布（例如具有数千平方千米的区块甚至更大的乡镇或行政区）。尽管越来越多的证据表明，城市地区的绘制结果将随着遥感技术的进步和人口普查数据的公开而更加精确，但这些绘制方法的适用性却一直存在争议。首先，由于缺乏必要的数据或精细的数字设备，这些方法无法应用于发展中国家的大多数城市 (Long and Liu, 2013)；其次，这些现有方法仍需要经过基于个体情况的多个步骤，才能够获得预期的精细结果。此外，这些现有方法似乎未能将空间特征与功能特征合理整合，致使其捕捉的城市地区似乎缺乏真正的城市活动。

而在过去的 30 年中，元胞自动机 (CA) 在帮助人们理解城市地区增长方面正在引起越来越多的关注，从而提供了一种自下而上模拟城市变化的新视角。通过使用元胞自动机模型，城市地区的绘制将能够基于空间接近度而成功模拟出城市地区的连续性，并能够模拟出由城市活动所定义的各城市用地之间的互动关系。同时，矢量元胞自动机 (VCA) 还能够在模拟过程中使用已定义的城市街区作为基本单元，因而城市地区的绘制结果将呈现出城市规划和实践中相同的空间单位。换句话说，VCA 模型中采用的单位将最大限度地匹配中国城市规划中所运用的空间单元。此外，通过所建立的 VCA 模型，我们将能够确保覆盖中国所有地理地区道路网络和兴趣点 (POIs) 的精细数据集能够在中国所有城市的街区生成分辨率中保持一致。因此，在广泛数据的支持下，城市地区绘制将能够为我们理解城市空间利用提供虚拟环境之外的现实依据。

本文可作为从街区尺度理解中国城市地区的一个范本。这里的城市地区将被定义为城市街区的合并，且这些被道路包围的城市街区将具有相较于非城市活动更多的城市活动。通过剖析目前用于定义城市地区的较有影响力的方法并查阅案例，我们总结出两个有助于实现目标的主要因素之间的联系：一是由道路划分的城市街区，其可被视为城市地区的基本单元；二是城市密度，其可被视为关键的功能特征并通过 POIs 的密度体现。而我们的研究表明，通过输入高分辨率的广泛数据进而获取街区尺度的城市地区，本文所提出的框架可被用作开放和直接的方法。本文旨在提供一种直观、省时的方式来自下而上地深入了解复杂的城市系统，并提供中国快速城市化过程中持续测量城市蔓延的常见现象及其政策含义。

## 1 背景

### 1.1 绘制城市地区的既有定义与方法

尽管城市地区的概念已被广泛使用、讨论和提及，其含义却仍然是模棱两可的。现有文献包含了多种描述、测量和应用，并涵盖了不同国家的各种问题和空间尺度。例如在一个典型的空间统计行政模型中，美国城市地区被确定为城市化地区（UAs），其中包含了涉及人口普查指定地点的中心城区和控制人口密度的城市边缘地区（Morrill et al., 1999）。日本的一个类似术语是人口密集区（DID），该密集区的人口密度超过每平方千米 4 000 人。在中国，行政地区内的“一书两证”<sup>①</sup>已被广泛接受。而英国的城市化地区则根据建筑建成地区判定，这些地区的房地产密度将通过卫星图像或其他数据集检测（Hu et al., 2008）。此外，许多社会经济因素也将在判定活跃城市地区时被纳入，例如通过劳动力市场和通勤分水岭来界定美国的大都市区（MAs）（Berry et al., 1969）。上述案例表明，各类经验和理论文献似乎都排除了城市地区是真实城市活动发生的地理领域的可能性。然而，目前有关城市地区的定义仍然未能明确地将城市的空间和功能维度联系起来。也就是说，为了能够客观阐释并界定城市地区的复杂性，推动城市发展的真正隐藏机制仍然有待揭示。

尽管目前对于城市地区的界定方式仍不明确，许多用于识别和绘制城市地区的技术已投入应用。而在形态学方面，遥感图像和道路网络正受到学界越来越多的关注。这些遥感和夜间卫星图像将有助于在转变土地覆盖信息的基础上筛选出乡村地区，或用于扫描和索引夜光数据（Henderson et al., 2003；He et al., 2006）。此外，多种有关道路网络的几何特征也被引入，并通过这些客观的几何特征来识别城市的空间组织模式，包括道路交叉口密度（Masucci et al., 2012）、分型指数（Shen, 2002；Tannier et al., 2011；Jiang and Yin, 2013；Tannier and Thomas, 2013）以及城市街区尺度（Jiang and Liu, 2012）。而在功能方面，其对于城市地区的标准界定方法已出现，且主要是基于各类社会经济数据，如人口密度（Rozenfeld et al., 2009）、有效就业密度（COAG Reform Council, 2012）和基础设施可达性（Hu

et al., 2008)。然而, 由于我们期待的是更为精确的测度结果和更高的分辨率, 上述方法仍具有较为显著的缺陷。首先, 这些基于遥感数据的方法会受到耗时解释步骤和图像分辨率的限制; 其次, 为了准确地定义城市地区, 直接利用地理方法得到特定空间单元(如街区或空间分块)的过程也是较为困难的, 尽管这类地理方法在具有不同大小的大规模城市中具有优势。此外, 由于受到精细规模普查的局限, 空间统计方法的准备工作也是非常耗时的, 且如果调查频率较低, 其测度结果可能也会呈现出显著变化。

综上所述, 在从方法论的角度建立绘制城市地区的通用模型之前, 我们仍面临许多挑战。其中, 最重要的挑战是如何设置精细的空间单位以及哪一个空间单位将更适合当前的城市研究和规划实践问题。同时, 由于不同城市的数据质量存在差异, 这将使得探寻通用的分析方法具有一定的难度。此外, 另一项艰巨的任务则是如何在考虑城市功能方面的同时, 找到一种直观的方法来生成刻画城市地区的指标体系。考虑到各个城市方法适用性的统一总是会受到覆盖非常大的地理区域精细数据集的限制, 因而我们应改进传统方法的及时性以便产生时间结果, 从而能够监测即时的城市增长。

## 1.2 城市地区绘制计算

计算机模拟技术已具有大约 50 年的历史, 其目标主要是对城市地区的模型及变化进行科学化的研究。上述提及的大部分相关研究采用了复杂的理论和方法, 包括 CA 模型、人工神经网络(ANN)或基于代理的建模(ABM)。20 世纪 90 年代以来, 这些模型已被用于研究土地利用和土地覆盖变化(LULCC)、城市扩张以及城市形态的领域(White and Engelen, 1993; Cecchini, 1996; Batty et al., 1999)。它们显著地提高了模拟的准确性并改善了以往空间外推方法(例如马尔可夫链模型)的弱点。与 ABM 相比, CA 模型被认为能够更为有效地进行有关城市地区的计算, 且其在处理空间连续性方面也结合了自下而上的更为简化的原则, 尽管个人决策在该模型过程中并未被考量(Couclelis, 1985)。

通过 CA 模型定义城市地区的一个核心命题是格架(lattice)的设置。为了解决可调整地区单元问题(MAUP), VCA 模型被认为能够提供比纯 CA 模型更为接近现实的分析(Stevens and Dragicevic, 2007)。另外, 如果 CA 的状态转换规则能够得到精细数据集的良好支持, 那么城市地区及其动态性将有望通过 CA 模拟来明确反映(Chen and Mynett, 2003; Hu and Li, 2004)。该证据说明 VCA 模型在建立关于城市地区更为准确和现实知识方面的优势。

## 1.3 数据驱动尝试

最近, 这些城市地区划界方面的挑战引发了方法论方面的发展, 并基于详细街道网络地图和自发地理信息(VGI)自下而上地强调了同样的问题。其中部分研究致力于从 OSM(Open Street Map)(Jiang and Liu, 2012; Jiang et al., 2013)的交通图层提取街区尺度的城市地区。然而, 单纯基于道路网络的方法在生成精细粒度街区和通过首尾划分规则(head-tail division rule)(全局应用)反映实时城市活

动并推断城市街区方面却几乎没有效果。考虑到这一背景，一些研究已开始尝试利用 POIs 来推断自动生成区块的功能性能，以便可以在局部范围中选取城市街区。

Yuan 等（2012）曾基于栅格模型将北京拆分为多个区块，而这些区块的功能特征则可通过相应的 POIs 数据和出租车轨迹数据来反映。Long 和 Liu（2013）曾基于中国全国范围 297 个城市的 OSM 和 POIs 数据提出一种名为自动识别与特征地块（AICP）的方法，并比较了该方法相较于其他方法的效率和准确性。除了以上内容，这两项研究还揭示了区块的自动生成以及线上自发数据（如 POIs）的功能认证。然而，各个城市之间 OSM 分辨率的不均衡性（Hagenauer and Helbich, 2012）仍然限制了这些方法对所有城市的适用性和结果的分辨率。

总之，在基于数据可用性和方法学进步定义城市地区的问题上，高分辨率数据集和 CA 模型均显示出强大的前景。尽管传统捕获城市地区方法的总体有效性已在许多研究中得到证实，但其准确性、采纳性、即时性和一致性仍受到方法学便利性及数据可用性的限制。在本文中，我们将基于街区尺度城市功能模式来划分城市地区，从而填补这一领域的知识空白。

## 2 方法

### 2.1 重新定义城市地区

本文中的城市地区将被定义为各行政环境中连续的城市建成区地块（街区），其中密集的城市活动聚集在一起并很有可能在时间上相互作用。从这个意义上讲，城市地区的几个关键维度都非常注重并囊括了如下几个方面：行政身份、空间性、功能性、连续性和时间性。

具体而言，行政身份是指城市地区的本地性，其反映了政府对城市地区的所有权；空间性是指该地区应由空间实体反映，例如由道路包围的地块；功能性是指城市地区应被认为具有一定密度或强度的城市活动；连续性是指城市地区之间由于地理互动而发展出的连续领域或类似补丁的集合体；时间性则是指城市地区应该复制真实活动在时间上发生的领域。上述所有因素都将反映在判定土地是否城市化的过程中。

### 2.2 研究框架

划分城市地区的经验框架主要包含三个基于良好传播数据的步骤：地块生成、城市地块选择（VCA 模型）以及城市地区生成结果（地块合并，图 1）。在第一步中，所有可能的地块都是根据全国地形测量中的精细尺度道路图层定义的；在下一步中，我们将基于几何和地理特性以及 POIs 密度，通过 VCA 方法自动选择地块；最后，所有城市地块都将被整合和绘制，从而生成明确的城市地区。以下各节将详细说明上述各个步骤。

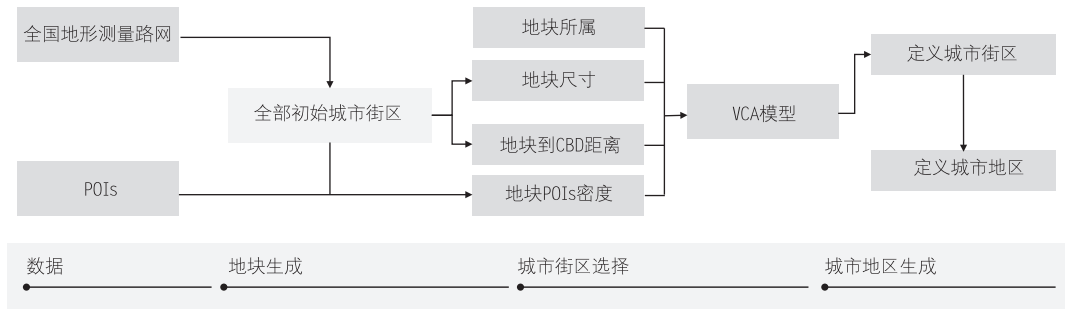


图 1 研究框架

### 2.2.1 第一步：生成街区并测算其密度

街区是当代城市规划设计和城市研究的重要空间单元。在该节中，地块将被定义为由道路包围的连续建筑区域。为了配合该定义，所有可能的地块均将通过全国地形测量中的道路图层来生成。在生成地块之前，道路图层将根据其道路等级进行处理并合并为单个图层。具体而言，所有相隔 20 米以内的路段将被整合连接，而所有短于 200 米的道路将被修剪从而避免出现死胡同。该阈值的选择主要依赖于对所收集的空间数据集的基本判断。此外，我们还根据道路等级来定义所有道路的宽度。最后，所有初始地块将在我们从研究区域内移除道路图层时呈现。

对于所得到的每一个地块，我们将进一步计算其四方面的属性。前两项属性是指每个地块的几何特征，包括由块的形状决定的大小和紧凑度。此外，每个地块的可达性也被作为一个描述地块的位置变量被纳入考量。另一项特征则是地块的功能属性，用于反映相应地块的实际使用。而地块内或地块附近的 POIs 数量将主要反映城市密度特征。由于大城市与小城市之间的城市密度将存在天然的不均衡，我们将对 POIs 密度进行进一步的标准化转换，使其成为 0 至 1 之间的数值，从而缓解城市之间的异质性。此外，由于我们仍然缺乏有关 POIs 重要程度的深入指标，我们在本研究中假定每个 POIs 的受欢迎程度是相同的。当出现任何替代品时，它们将能够明确表达城市活力的近似强度。因此，通过使用道路网和 POIs 识别初始地块，相应空间或功能的特征将被结合起来，并用于呈现各地块的适用性。

### 2.2.2 第二步：通过 VCA 选择城市地块

基于矢量的约束 CA 模型可用于从不同城市的道路网络生成的初始地块中选择城市街区。本文假定此过程类似于城市扩展建模，而后者已被广泛用于 CA 应用程序中。除了传统的栅格 CA 模型 (Batty et al., 1999) 之外，基于矢量的 CA 模型将依赖于不规则多边形而非常规单元 (cells)。在这项研究中，每个区块被视为一个取值分别为 0 (城市) 或 1 (非城市) 的单元。基于现有的研究 (Li and Yeh, 2000; Liu et al., 2008; Liu et al., 2010)，该方法可通过下面的公式来说明：

$$S_{ij}^{t+1} = f(S_{ij}^t, \Omega_{ij}^t, Con, N) \quad (1)$$

其中，一个地块在  $t+1$  时的状态可被认为是该地块在  $t$  时各相关因素通过函数  $f$  所得的结果。在该函数

中， $S_{ij}^t$  和  $S_{ij}^{t+1}$  指的是各个地块分别在时间点  $t$  和  $t+1$  时的状态； $\Omega_{ij}^t$  代表相邻地块的状态； $Con$  代表限制条件（constraints）；而  $N$  代表全部研究地块的数量。该函数可被进一步转化为如下更为详细的概率公式：

$$P_{ij}^t = (P_I)_{ij} \times (P_\Omega)_{ij} \times Con(\cdot) \times P_r \quad (2)$$

在该函数中，一个地块在时间点  $t$  上发生转变的概率可被表示为各相关因素概率的乘积。具体而言， $(P_I)_{ij}$  代表了某一个地块从非城市属性转化为城市属性的地方潜力， $(P_\Omega)_{ij}$  代表了关于相邻空间条件的转化可能性；而  $P_r$  代表了随机项。

我们所提出的空间和功能特征将在测度地方潜力时反映出来。该过程可由下列逻辑回归模型的公式进行解释：

$$(P_I)_{ij} = \frac{1}{1 + \exp\left[-\left(a_0 + \sum_{k=1}^m a_k c_k\right)\right]} \quad (3)$$

其中， $a_0$  是常数， $a_k$  是响应空间变量  $c_k$  的估计系数， $m$  是空间变量的总数。因而在本研究中，空间和功能因素将被结合在一起共同反映地块的状态。地块大小将被计算为相应多边形面积的对数。地块的紧凑度将被计算为地块周长的平方除以其面积的比率。而可达性将被整合为相应地块到市中心的最小欧氏距离。另外，有关功能的因素将通过计算 POIs 标准化密度的方式获得，且该量化结果将通过计算研究区域内最大密度的原始密度的比率来测量。

各地块的邻近潜力将通过其外围的相邻城市地块的数量来表达。该计算公式如下：

$$(P_\Omega)_{ij} = \frac{\sum Con(S_{ij}^t = urban)}{n} \quad (4)$$

对于地块  $ij$ ， $Con(S_{ij}^t = urban)$  代表一定范围内的城市地块，而  $n$  代表所有可达地块数量。我们将相邻关系定义为地块附近的 500 米距离。

在限制条件中，我们还包含了两个图层：一是较为陡峭的区域（坡度大于 25 度）；二是各类水体的区域。这类限制条件将通过  $Con(cell_{ij}^t = suitable)$  的取值为 0 或 1 来表示，其中 1 代表该地块在发展为城市用地的过程中不存在客观限制，而 0 代表该地块的发展存在限制。

模型中的随机扰动  $P_r$  代表一切当地政策方面可能的变化和偶然偏差。该项可由下述公式计算得到：

$$P_r = 1 + (-\ln \gamma)^\beta \quad (5)$$

其中， $\gamma$  代表了取值范围为 0~1 的随机数，而  $\beta$  的取值范围为 0~10，用于控制该随机因数的效果。

此外，通过对比所测的概率  $(P_I)_{ij}$  和计算所得的第  $t$  次迭代后的阈值  $P_{thd}^t$ ，我们将能够得到相应地块在时间点  $t+1$  时的状态。

当初始的  $n$  个具有最大潜力的城市地块在累加后达到了规定城市用地的地块总和时，上述第  $t$  次迭代后的阈值将等同于第  $n$  个地块  $(P_n^t)$  的最终潜力。换句话说，我们将对各个地块根据城市用地潜

力从高到低进行识别和捕捉,直到累加后的城市用地达到了各个城市中的迭代限制。其中,迭代次数 ( $Num_{itr}$ )可由使用者预设,之后每一步迭代中 ( $stepArea^t$ )各地块的总面积 ( $TotalArea$ )将被依次计算。在本研究中,各城市 2012 年的城市用地数据来源于住房和城乡建设部年鉴 (MOHURD, 2013)<sup>②</sup>,而在模拟过程中我们对各个城市的迭代次数为 100。该过程可以较好地平衡运算次数与结果的质量。当测度的数值大于阈值时,地块将被识别为城市用地,反之则被识别为非城市用地。该过程可由下列公式表达:

$$S_{ij}^{t+1} = \{Urban \text{ for } P_{ij}^t > P_{thd}^t \text{ NonUrban for } P_{ij}^t \leq P_{thd}^t\} \quad (6)$$

$$P_{thd}^t = P_n^t \left( \sum_n Area_n^t \leq stepArea^t \right) \quad (7)$$

$$stepArea^t = \frac{TotalArea}{Num_{itr}} \quad (8)$$

该 CA 模型对各城市的完整模拟过程如图 2 所示,其中对参数校准和转变规则的一般形式也给出了说明。相应地,我们也将本研究中投影的 CA 模型典型转变流程展现在了图 3 所示的迭代图中。首先,我们将预先获得的数据集作为基本变量输入模型中。具体而言,在迭代过程开始之前,我们将首先根据地方潜力等级确定一组初始城市街区并根据所报告的城市地区计算每个步骤中各个城市街区的总面积。根据典型城市的历史城市发展情况,计算空间变量的选择和系数。在每次迭代中,计算地方潜力、转换可能性和随机扰动并进一步整合作为最终的转变潜力。在分配的步骤中,最终具有最大转变概率的地块将在分配过程中从非城市转化为城市,直到定义的城市街区累积地区达到相应步骤所建议的城市地区量。该迭代过程将被重复进行预设的次数,以确保达到所报告的城市街区的总面积。当基于街区的城市地区模式生成时,整个模拟过程结束。

### 2.2.3 第三步:基于所选城市街区绘制城市地区

由于街道空间和一些被城市街区包围但并未被选中的小城市街区在城市规划实践中均被纳入,因此这些被选定的城市街区需要被转变为城市地区。为了绘制出中国全部城市的城市地区,这些被选定的城市街区将在 ESRI ArcGIS (Version 10.2, ESRI, Redlands, CA) 中通过聚合面 (Aggregate Polygons) 工具被重新汇入整体的城市用地中。该工具可被用于在选定的城市街区进行适度规模的缩减和聚合,且聚合仅在某两个地块处在所指定的聚合距离之内时才会发生。基于中国城市街区的情况,该聚合发生的地块边界间距离将被设置为 500 米,聚合地块被保留的最小面积则被设置为 1 公顷。此外,为了保持人为城市街区的几何特征,所生成的城市地区将被输出为正交的形态。该测度方法将在 654 个所报告的城市中分别实施,以加快地块聚合的进程。在此基础上,各个城市的城市地区可根据所选的城市街区被绘制出来。



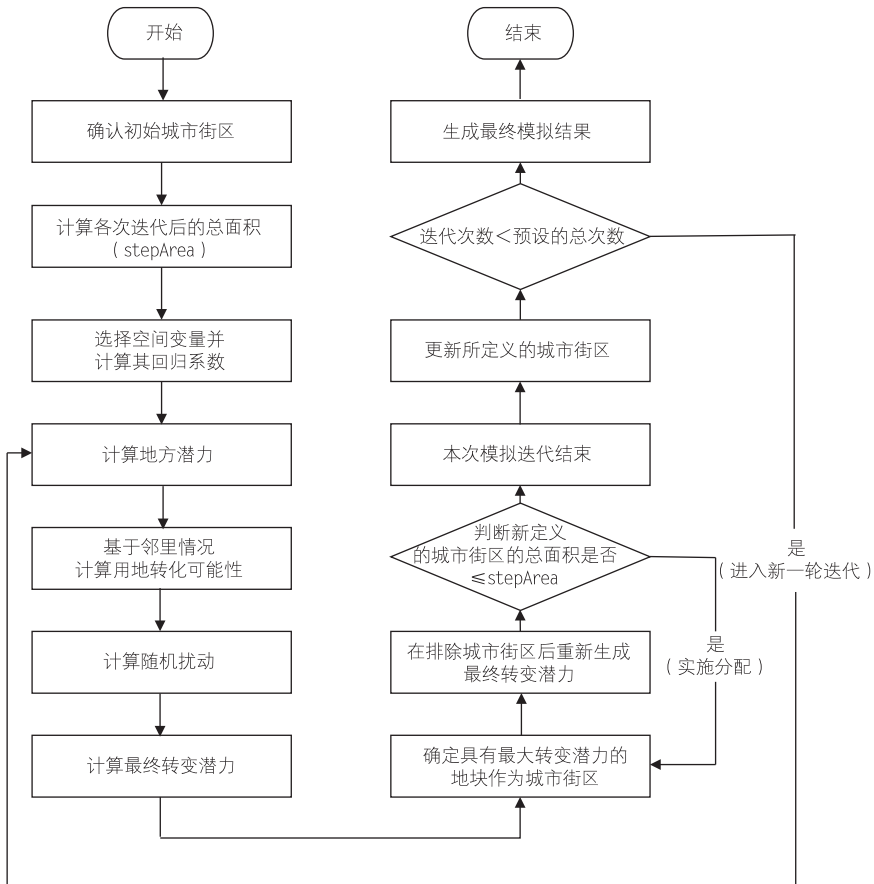


图2 CA模型流程

#### 2.2.4 第四步：模型验证

为了验证我们所提出的模型，自我检验和外部验证将被分别实施，以交叉验证在不同城市之间划定城市地区的适用性。对于自我检验，一方面，所有城市将被排名以横向检测不同尺度城市之间的缩放规律；另一方面，不同行政级别典型城市中的城市街区也被打分，以探究关于地块大小取对数后的线性关系。此外，对于所有中国城市自动生成的城市地区结果，我们还将对其与介绍章节中提及的几种经典方法所产生的结果进行比较，包括基于包含遥感影像的地理覆盖数据集、基于人口普查的人口密度和道路交叉口密度。同时，我们还将对该结果与其他数据一起进行评估，包括网络签到数据集和POIs数据，以证明其在反映即时城市活动强度方面的有效性。

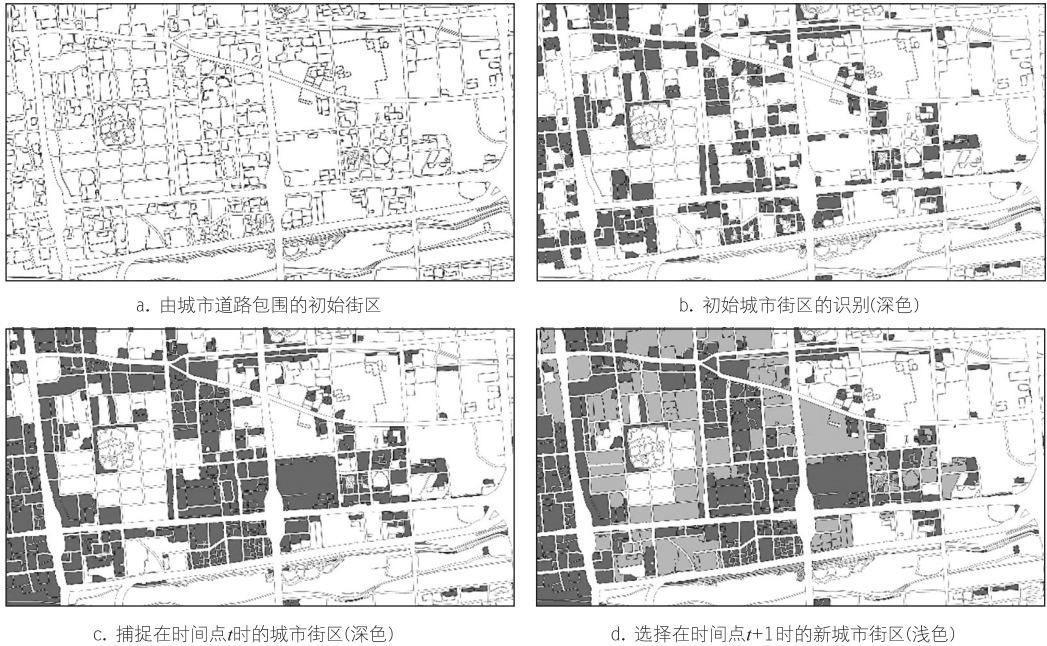


图3 用于在时间点 $t$ 和 $t+1$ 时选择城市街区的互动地图

### 2.3 作为约束性反演的过程

我们可将城市地区自动识别的整个过程描述为城市地区整体的约束性反演(图4),而这是一种基于相对较少的典型观测数据来推测非常大而复杂城市地区的方法。为了避免主观因素设置的干扰,该模型需要在第一阶段通过分析一些典型观测案例来验证出有效的约束条件或参数。这一过程可以被认为是一种部分反演,即一种在定义城市地区过程中生成关键约束条件的方法。在本研究中,由POIs密度测度的城市密度被证明是在各城市中用于识别城市街区的关键指标。而为了更好地定义所谓的整体约束性反演,我们将在研究中进行如下两步操作:其一是关于街区的分割;其二是关于街区的合并。这两个步骤将与POIs密度及其他各因素相互作用来选择城市街区。我们所提出的这项开放性框架在解决城市地区识别的问题上具有以下几方面潜力:第一,该框架提供了一种以大规模方式生成基于街区的城市地区的方法,而该方法的实现主要依赖于从典型样本中发现的普遍规律;第二,该方法还可以被用作验证被调查城市地区的参考;第三,该方法还能够进一步暗示某一广泛数据集在大范围内复制城市地区的潜在作用。因此,本研究不仅推广了基于POIs和道路网络划分城市地区的模型,还提出了一个开放的框架,即通过结合不同层面的整体和部分反演来呈现城市地区的街区分布。也就是说,本文讨论的模型是一个结合了基于局部方程分析和全局模拟的开放系统,因而能够确保在基于位置的数据越来越多的情况下进行未来发展。

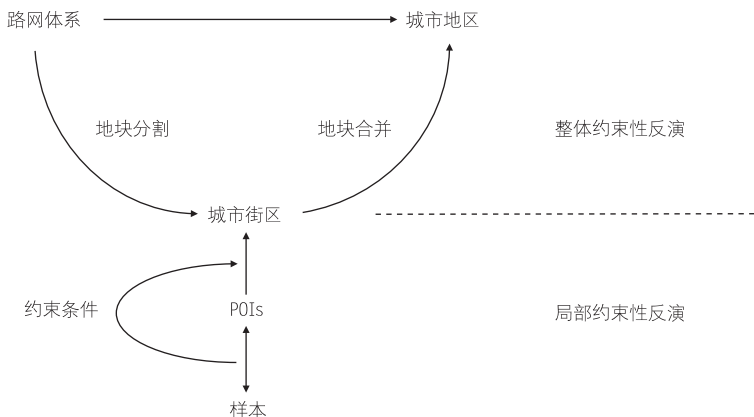


图 4 约束性反演用于识别城市地区的过程

### 3 数据

#### 3.1 中国城市的行政边界

654 个中国城市的行政边界，即各地方地理的范围，在本研究中被用于将研究范围划分为城市边界，以便全国地形测量地图和 POIs 数据能够被相应地换算。根据中国的行政系统（住房和城乡建设部年鉴，MOHURD，2013），中国城市共可被分为五个级别：直辖市（MD，共 4 个）、副省级城市（SPC，共 15 个）、其他省级城市（OPCC，共 17 个）、地级市（PLC，共 250 个）、县级市（CLC，共 368 个）。该行政系统也同时反映出这些城市在城市规模和人口规模方面的等级。基于此，我们的研究范围也将结合国家尺度的城市用地行政范围进行相应考量。然而，确定每个城市行政边界的原则对于各个地方政府而言是不尽相同的，该差异是由各城市关于城市用地保护（行政土地与所有土地覆盖的比率）的政策差异造成的。为了实现每个城市报告的城市地区的客观空间统计结果，我们将根据统计年鉴（National Bureau of Statistics，2013）中精确计算的城市地区对行政边界进行地理编码。

#### 3.2 中国城市总面积

根据所确定的各城市行政边界，我们将从住房和城乡建设部年鉴（MOHURD，2013）中提取各城市面积的统计数据并将面积总和分配到各城市的城市街区中。截至 2012 年，中国 654 个城市的城市总面积达到 46 744 平方千米。一个单独的城市可由其统计面积相应推断而来（图 5）。因此，我们研究范围内的所有城市均可表示为其行政从属地和城市总面积。



图 5 2012 年城市层级的总城市用地示意

注：2007~2012 年的城市扩张率由图中不同灰度表示，其展现了中国城市扩张的历史沿革。

### 3.3 全国地形测量中的路网信息和 2012 年 POIs 数据

全国地形测量地图可被认为是反映主要城市信息的权威地图 (Haklay, 2010)。城市街道、区域道路和许多其他详细街道都包含在该中国地形测量地图中，而这也是能够从国家机构获得的最可靠的数据集。本研究中应用的道路网络数据集即来源于中国地理机构发布的全国地形测量数据集 (2013)，同时我们还将其与在线数据集 (如谷歌地图和百度地图) 进行了比较，以确保其准确性。事实上，Long 和 Liu (2013) 的研究已将中国地形测量地图与开放地图 (OSM) 进行过比对，且发现全国地形测量地图相较于 OSM 地图在道路总段数和总长度方面都明显要详细得多。在本研究中，我们所采用的数

数据集由 6 026 326 条路段组成，总长度为 2 623 867 千米（图 6）。

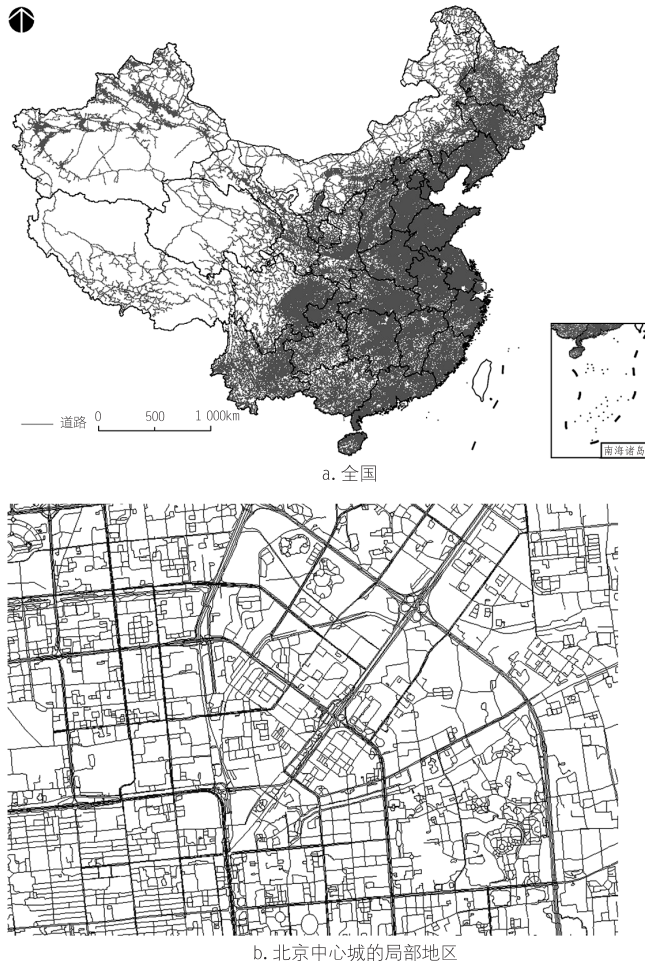


图 6 2012 年全国土地测量中的道路信息

本研究中的 POIs 数据采集自商业编目网站新浪微博，且共包含了 5 281 382 个数据点。其中，初始数据集共包含八种主要类型的 POIs，每种类型的 POIs 分别指代一种特定类型的城市活动。有关这些 POIs 数据的详细内容已呈现在表 1 中。所有的这些 POIs 数据均被运用在该实证研究中并通过计算所生成各街区中相应活动的总量来测度土地利用密度。为确保整体的数据质量，我们已对随机选择的样本数据进行了人工检查。值得注意的是，我们所提出的实证研究框架是可扩充的，因其 POIs 数据集可被其他有关城市活动分布的信息替代。

表 1 POIs 类型

种类	简称	数量
商业场地	COM	2 573 862
办公空间	OBS	677 056
交通设施	TRA	561 236
政府	GOV	468 794
教育	EDU	285 438
住宅社区	RES	167 598
绿地空间	GRE	13 041
其他	OTH	534 357

## 4 结果

### 4.1 VCA 模型的校准

为校准我们所建立的 VCA 模型中各约束条件的权重，我们引入了逻辑回归。考虑到数据的可获取性，我们几乎不可能精确计算每个城市控制因子的权重从而反映城市之间的空间异质性。因此，我们暂且将 2010 年北京市城市规划设计研究院（BICP）的城市规划人员手动编制的 2010 年街区数据用作所有其他城市的典型范本（BICP，2010）。该街区数据覆盖了共计 12 813 平方千米的区域并能够细化到十分精细的城市街区尺度（北京城市圈中的延庆区和密云区并未包含在统计范围中）。基于上述研究范围，我们共报告了 52 330 个街区，其中 36 914 个街区被确定为城市街区。

表 2 北京城市街区逻辑回归结果

名称	回归系数	标准误差	显著性
常数	5.359	0.058	0.000
地块尺寸的自然对数	-0.306	0.006	0.000
到市中心距离	-0.009	0.001	0.000
POIs 密度	3.431	0.085	0.000

根据二元逻辑回归结果（表 2），所生成的函数将能够解释 78.9% 的街区属性。除了紧凑性的变量外，其他因素均通过了 p 检验，表明它们与某一街区作为城市或非城市的差异性显著相关。我们将上述逻辑回归的结果运用于所有中国城市的 VCA 模型。为测试该模型的准确性，我们将 CA 模型生成

的北京城市绘制结果与 BICP 的数据集进行再次比对，发现其对于实际城市地区的整体解释能力达到 81.5%，说明我们的模型在通过城市街区描绘城市地区方面具有较好的适用性。

## 4.2 选定的城市街区

我们将上述的约束 VCA 模型运用于全部的 654 个中国城市，从初始的 851 054 个街区检测得到总面积 51 286 平方千米的共计 707 330 个城市街区（图 7）。不同行政级别城市的城市街区平均数量显著不同。其中，直辖市（MD）平均包括 1 411 个城市街区，副省级城市（SPC）平均 407 个，其他省级城市（OPCC）平均 199 个，地级市（PLC）平均 79 个，县级市（CLC）平均 26 个。可以看出，城市人口越多或行政级别越高，城市街区的数量就越多。换句话说，我们也可以根据每个城市的城市街区数量来观察人口规模或城市规模。

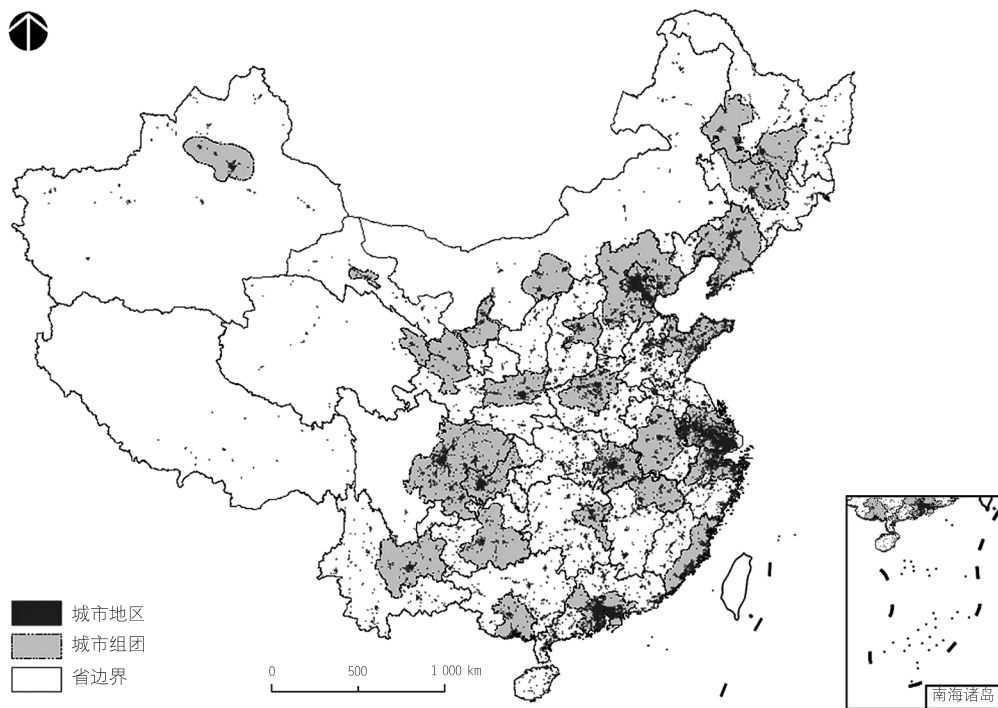
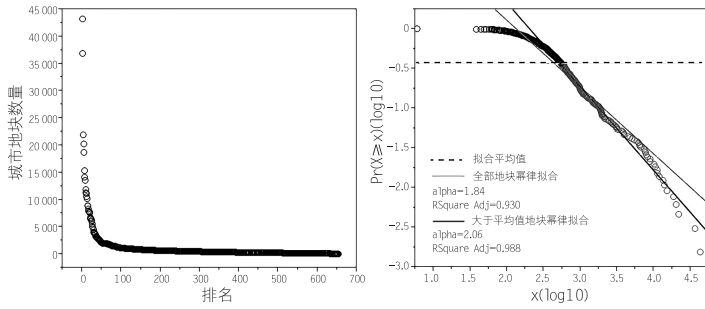
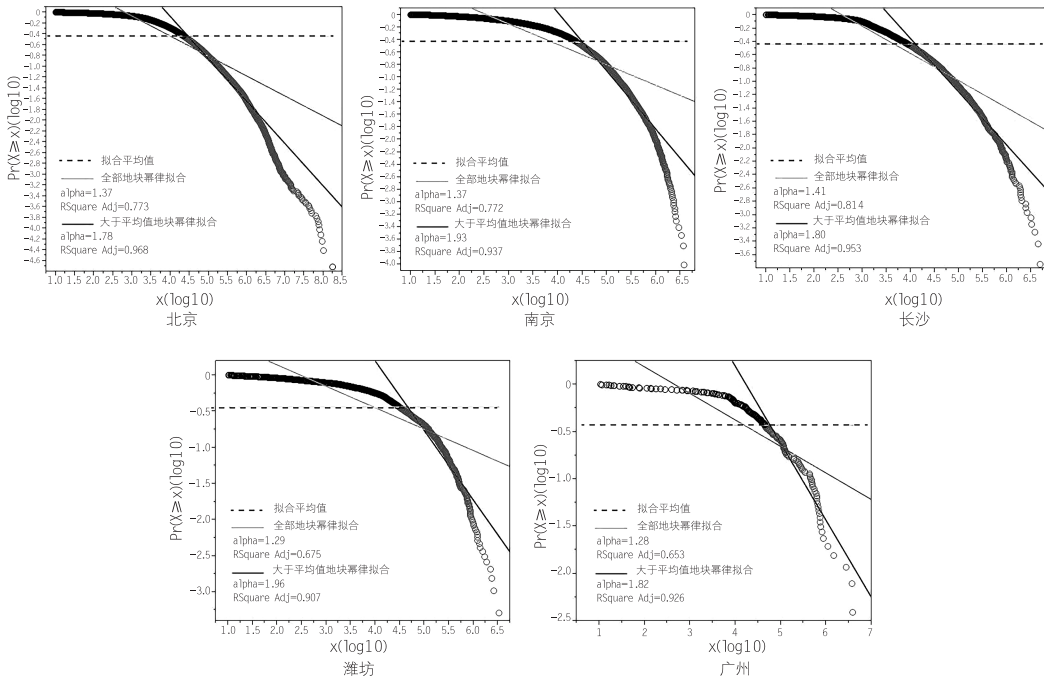


图 7 在中国城市中选出的城市街区示意



a. 关于654个城市的街区数量



b. 关于典型城市的街区尺度

图8 幂律分布

考虑到比例率不仅适用于自然现象，也同样适用于城市地区 (Arcaute et al., 2013)，因而在对数尺度上，城市地区的大小与其频率分布之间的这种关系应该是线性的。事实上，这也自我验证了本文中针对每个城市提出的 VCA 模型 (Vliet et al., 2009)。为了验证该模型对不同城市的性能，我们将所有城市的规模（由城市街区数量反映）与其城市等级相对应，其对应关系呈现在图表中（图 8a）。其长尾分布的形状表明，城市街区数量较小的城市远多于包含大量城市街区的城市 (Jiang, 2013)。而当考察其双对数 (log-log) 分布时，我们将能够在街区数量多于平均水平的城市中观察到完美的幂



律拟合 (power law fit) (其中  $R^2$  为 0.988,  $\alpha$  为 2.06)。这一城市规模和城市等级之间的显著关系及其高  $R^2$  值表明我们的模型可以很好地适用于所有城市。

另外, 我们也将采用幂律拟合来分析各行政等级典型城市中的街区尺度排名, 从而更好地理解我们所提出的方法对各类城市的内在适用性。总体而言, 我们发现适用于所有街区的幂律可以解释大约 70% 的城市地区。而属于较高行政级别的城市相较于较低行政级别的城市具有更好的回归结果。具体而言, 北京、南京、长沙的  $\alpha$  值均大于 1.37, 且调整后的  $R^2$  值均大于 0.77, 而潍坊、公主岭的  $\alpha$  值则为 1.28,  $R^2$  值也为相对较小的 0.65 左右。倘若去除尺度小于平均值的街区, 我们将得到更好的幂律拟合结果 (所有  $R^2$  值均达到 0.9 及以上)。该共同趋势表明, 我们的模型可以应用于对不同城市中的城市街区进行建模。

### 4.3 中国全部城市的城市地区

通过自动合并所有选定的城市街区, 我们将得到中国全部城市的城市地区结果。为了更深入地了解这些结果, 我们列出了不同行政级别的典型城市, 例如北京 (MD)、南京 (SPC)、长沙 (OPCC)、潍坊 (PLC) 和公主岭 (CLC), 并将其与其他数据集所得的结果进行比较, 这些数据集包括夜光遥感法 (DMSP/OLS)、人口密度法和道路交叉口密度法 (图 9)。

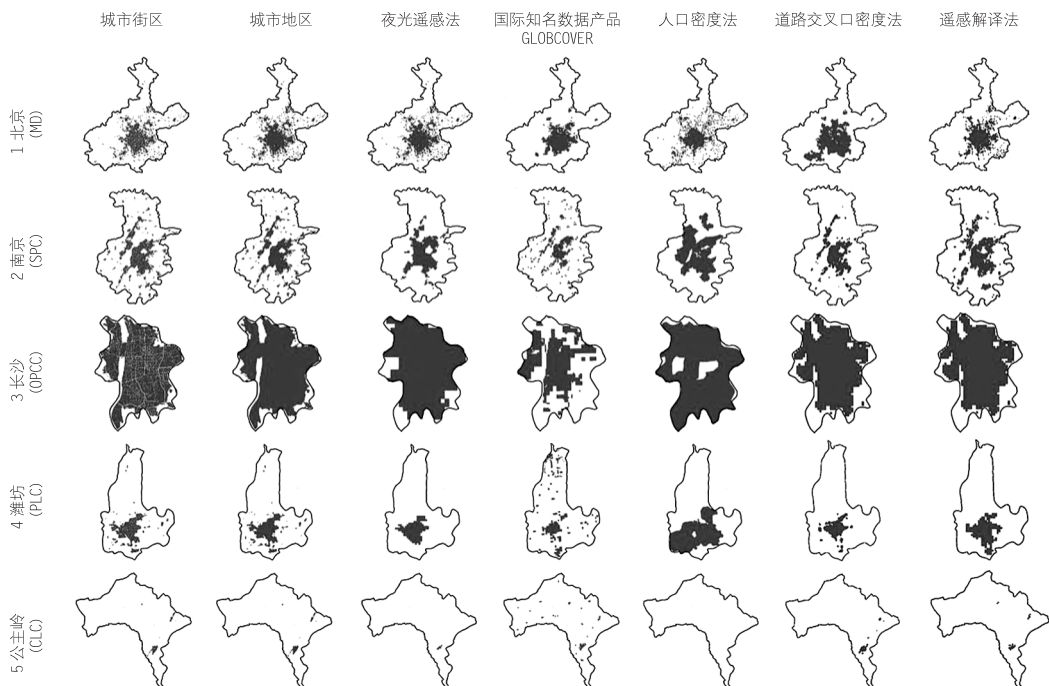


图 9 典型城市城市地区实例

与其他数据集获得的结果相比,通过我们的方法生成的城市地区通常具有更高的分辨率。而在初始判断方面,使用其他三个数据集所捕获的结果在相对发达的城市中与我们的预测框架所得的结果高度相关。这一现象可能基于如下事实:较大城市普遍具有更好的数字设施和较小的人口普查单元。该假设也可通过比较发展中城市的结果来予以验证。综上,我们的方法相较于其他两种方法将能够产生更好的结果。而若将所生成的城市地区进一步与其他结果进行叠加,将能够通过检测重叠率而得到更高的精确度。我们将在模型验证部分介绍更为详细的信息。

## 5 讨论

### 5.1 模型验证

我们的模型验证是通过将所有 654 个中国城市的城市地区与五个数据集进行比较来进行的:①国际知名数据产品(GLOBCOVER)中 300 米分辨率定义的城市地区空间(Bontemps et al., 2011);②2008 年从夜光遥感法获得的 1 千米分辨率的城市地区(Yang et al., 2013);③基于 Jiang (2013) 使用的首尾划分规则(head-tail division rule)和 2010 年的中国人口普查(Wu et al., 2015),在共计 39 007 个分区(subdistricts)中人口密度大于平均人口密度(977 人/平方千米)的城市地区;④基于本研究中应用的全国地形测量,可由道路交叉口密度反映城市地区,且这些城市地区的选定将通过对所有道路交叉口的估计核密度进行排序,同时考虑观察到的城市总面积;⑤来自近年中国 LULCC 研究(Liu et al., 2014)的遥感解译法(LANDSAT TM)数据集,这也是另一种权威的土地利用地图。

上述各类数据集的对比结果如表 3 所示。就城市街区的捕获面积而言,本研究中的城市街区(平均面积约 300 米×400 米)是远小于其他四类数据集所报告的面积的,而这也反映出通过我们的方法将能够实现更为精细尺度的识别与绘制结果。从重叠率的角度来看,研究发现我们的输出结果中有 65.5%的公共城市地区(总共 30 606 平方千米)与夜光遥感法相交。考虑到这两个数据集之间的时间不匹配,我们的方法可以根据前面的评估结果为所有中国城市产生准确的结果。然而该研究的结果和国际知名数据产品(GLOBCOVER)的数据其实并不如预期的情况好。我们的结果中只有 20 801 平方千米的城市地区(44.5%)能够与国际知名数据产品(GLOBCOVER)相交。这可能是由这两个数据集在时间和分辨率方面的不一致所造成的。此外,共有 81.9%的城市地区属于人口密度所代表的城市类别,这表明我们的大部分结果都与高人口密度相关。重叠率超过 80%的情况可能部分是由于我们对城市地区密度的过度估计,该估计结果几乎是住房和城乡建设部(MOHURD, 2013)所规划的三倍。而我们的结果与使用道路交叉口产生的结果之间的比较是高度可接受的(76.8%),这可能是由于两种方法使用了相同的数据源。在我们的结果中,74.2%的城市地区与遥感解译法的城市土地覆盖重叠。由于基于网格的地图和基于矢量的模式之间存在不一致,实际的相关率将更高。

表 3 不同数据集中 654 个中国城市的城市地区对比

数据	年份	空间分辨率 ( m )	城市面积 ( km <sup>2</sup> )	地块数量 ( 个 )	平均地块尺寸 ( hm <sup>2</sup> )	与全国土地测量的 交集 ( km <sup>2</sup> )
全国土地测量	2012	269	46 713	18 404	312.5	N/A
夜光遥感法	2008	300	45 834	1 345	3 407.7	30 606 (65.5%)
国际知名数据产品	2009	1 000	39 789	12 701	313.3	20 801 (44.5%)
人口密度法	2010	6 700	126 860	728	17 425.9	38 245 (81.9%)
道路交叉口密度法	2012	500	46 703	4 221	1 106.5	35 868 (76.8%)
遥感解译法	2010	1 000	45 201	2 892	1 562.9	34 644 (74.2%)

诚然，我们很难确定哪种结果是准确的，因为每种方法都可以反映出对同一问题的一类可能答案。然而，由我们的方法所生成的结果和关于城市地区的其他现存数据集之间的总体对应关系，实际上表明了本文所采用方法的有效性。

为了确认我们的方法在多次用于绘制真实城市活动强度时的精确度，我们采用了中国最大的签到网站数据和 POIs 数据作为参考。在我们确定的所有 654 个中国城市的城市地区内，85.9%通过签到网站数据测量的城市强度都将被反映在我们的城市地区结果中，而 76.1%的调查调查 POIs 数据将被用于所有中国城市。这进一步说明了本研究中提出的方法可以成功地用于生成反映实际城市活动的数字城市地区。

## 5.2 关于描绘城市地区方法的横向评价

除了定量地将我们的结果与方法进行比较之外，我们还采用了一套具有六个维度的评价方式，用于定性评估现有方法的优势，包括实用性、地理尺度、结果分辨率、数据可用性、方法便捷性和动态性（图 10）。对此，我们对中国不同规划机构的 10 名专业人员进行了访谈并要求根据他们的工作经验评估每种方法的表现。这里的实践性指的是相应方法在真实规划设计项目中的价值。由于类似的基本空间单位设置，我们基于城市街区的结果通常被认为是反映城市街区真实发展模式的最直接方法。与此同时，其他一些传统方法（如夜光遥感法、人口密度法等）也同样被评价为有助于理解城市范围的实用工具。此外，本研究中提出的方法还被认为有望更好地平衡传统模型中覆盖范围和结果分辨率难以兼顾的困境。同时，依靠 VGI 数据集开放背景下的开放数据集，本研究中的方法也将能够成为一个可公开访问并实时更新的城市规划和研究数据集。考虑到方法上的便捷性，尽管空间调查和基于统计的方法也是可取的，但是我们提出的方法可以被理解为以自动方式处理复杂模拟的直接方式。本节中的评估基本都是基于发展中国家城市规划的实际情况，特别是在中国。这意味着当我们在那些已经具有多年城市研究经验的发达国家展开同样的城市调查或数据统计时，针对同一问题的评估可能会有

所不同。尽管如此，我们开发的方法在 Web 2.0 中也仍然是值得推广的。作为一个基于全方位开放数据的大模型（Long et al., 2014），我们的方法具有直接、精细和动态的优势，因而将有助于我们在管理和规划实践中对于城市地区的理解。

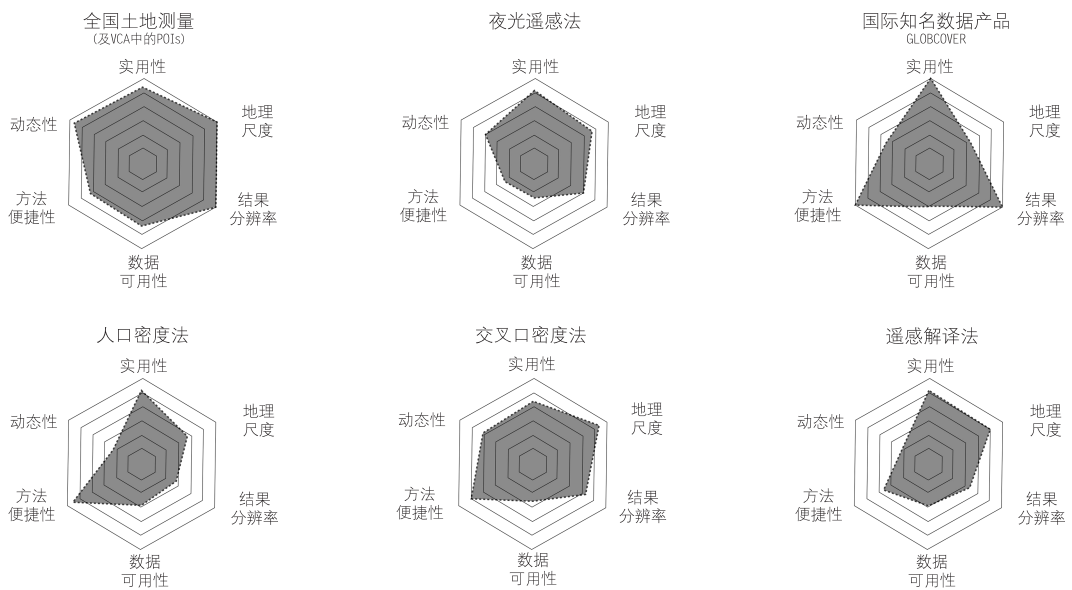


图 10 绘制城市地区的现有方法对比

### 5.3 潜在偏差与后续研究

本研究提出了一种用于生成城市地区的自动框架，并提供了将其运用于所用中国城市的实例。事实上，该框架中逐渐增多的 VGI 也促进了这种方法的优点。尽管如此，本研究仍存在一些局限性，而这些局限性将在我们未来的研究中得到强调。首先，我们当前的研究方法将随着开放数据可用性的增加而进一步改善。通过一些基于位置的在线数据（如签到数据），我们将能够推断出 POIs 的权重，从而更为准确地反映出城市的真实使用情况。其次，尽管我们的方法已被证实在局部约束方面具有良好的适用性和灵活性，而不仅是对于所有城市的全局约束，我们仍将在未来使用更多的城市样本来对现有模型进行校准，以进一步提高本方法的精确度。最后，我们目前使用的城市尺度的城市地区统计数据将有望被更精细尺度的数据替代（如城市行政区乃至子区域），从而实现以更详细的方式控制城市街区的总体范围。

## 6 总结

在本文中，我们提出了一种基于全国地形测量的道路网络和 POIs 数据的 VCA 模型，用于精确识别和绘制基于街区的城市地区。通过本方法，我们生成了中国共计 654 个城市的城市地区。整个过程包括如下几部分：地块生成、城市街区选择和城市地区生成。首先，我们通过全国地形测量的道路网络来移除道路缓冲区并生成地块；随后，整合出所有地块相应的尺寸、紧凑度、可达性和 POIs 密度等信息。VCA 模型此时会被用于从所生成的所有地块中识别城市街区，该过程将主要考虑每个街区的空间变量及相应城市的总面积；最后，通过聚合所得的城市街区从而绘制出各个城市整体的城市地区。在自我检验的过程中，我们通过幂律拟合检测了所生成的城市街区与相应城市等级之间的关系，以及在五个选定的典型城市中街区尺寸及其频率分布之间的相关性。该自我检验过程表明，我们的方法具有较好的适用性。对于本研究的最终结果，我们将其与其他方法所生成的城市地区进行了对比，包括夜光遥感法、国际知名数据产品（GLOBCOVER）、人口密度法、道路交叉口密度法和遥感解译法。同时，我们采访了相关的城市规划从业者，本方法的诸多方面也得到了他们很高的评价。总之，与其他现有模型相比，我们的模型不仅通过结合城市街区的空间和功能特征有效地对城市地区进行建模，而且具有更加直观、省时、精细的特点。

此外，我们提出的方法也将有助于相关的城市研究和政策分配。首先通过这项研究，城市发展的现状可以在标准水平上反映出来，从而为有关城市内部和市中心的学术研究提供支持。同时，我们的模型对数字基础设施较差且难以获得精细水平统计的相对较小的城市更有帮助。另外，该模型还将能够显著降低实时收集数据的成本，而不需要大量的资金投入。其次，城市地区模拟过程可以促进我们对以街区为基础的城市生活的更深入理解，而这在城市发展过程中大型场地的分割与出售中也将有所体现。再次，我们认为该模型将可以进一步发展为模拟城市扩张的高级版本，而这将有望直接有利于预测性城市规划以及我们对于战略和政策有效性的评估。最后，我们的模型还将有助于在方法上统一多元数据在不同城市之间定义城市地区的口径，并在通过广泛的城市空间、功能数据定义城市地区的研究中，重申一致性、高效性和实时性的重要意义。

### 注释

- ① “一书两证”：指政府根据《城市规划法》提交的建设批准文件，包含项目地点、土地规划许可和建设规划许可的提案。
- ② 由于空间数据的可用性，尽管海南三沙和新疆北屯均出现在了 MOHURD (2013) 中，但本研究并未包括这两个城市。此外，台湾也未包括在本文的所有分析和结果中。

### 参考文献

- [1] ARCAUTE E, EREZ H, FERGUSON P, et al. City boundaries and the universality of scaling laws [J]. 2013, arXiv:1301.1674.

- [2] BATTY M, XIE Y, SUN Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1999, 23: 205-233.
- [3] BATTY M. Building a science of cities [J]. *Cities*, 2012, 29: 9-16.
- [4] BATTY M. Rank clocks. *Nature*, 2006, 444 (7119): 592-596.
- [5] Beijing Institute of City Planning (BICP). Existing land use map of Beijing: Internal working report[R]. Beijing Institute of City Planning . Beijing, China, 2010.
- [6] BERRY B J L, GOHEEN P G, GOLDSTEIN H. Metropolitan area definition: A re-evaluation of concept and statistical practice [C]. Washington, DC: U.S. Bureau of the Census, 1969.
- [7] BONTEMPS S, DEFOURNY P, BOGAERT E V, et al. GLOBCOVER 2009 products description and validation report [R]. Paris: ESA, 2011.
- [8] CECCHINI A. Approaching generalized automata with help online (AUGH). In *Artificial worlds and urban studies*[C], ed. E. Besussi and A. Cecchini, 231-248. Venice: DAEST, 1996.
- [9] CHEN Q, MYNETT A E. Effects of cell size and configuration in cellular automata-based prey-predator modeling [J]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2003, 11: 609-625.
- [10] COAG Reform Council. Productivity and agglomeration benefits in Australian capital cities [R]. Canberra: SGS Economics and Planning, 2012.
- [11] COUCLELIS H. Cellular worlds: A framework for modeling micro-macro dynamics [J]. *Environment and Planning A*, 1985, 17 (5): 585-596.
- [12] HAGENAUER J, HELBICH M. Mining urban land-use patterns from volunteered geographic information by means of genetic algorithms and artificial neural net-works [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26 (6): 963-982.
- [13] HAKLAY M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets [J]. *Environment and Planning B: Planning & Design*, 2010, 37 (4): 682-703.
- [14] HE C, SHI J, LI J, et al. Restoring urbanization process in China in the 1990s by using non-radiance calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51 (13): 1614-1620.
- [15] HENDERSON M, YE H E T, GONG C, et al. Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24 (3): 595-609.
- [16] HU S, LI D. Vector cellular automata based geographical entity[R]. Paper presented at the 12th International Conference on Geoinformatics, Gavle, Sweden, 2004.
- [17] HU Y, WU Z, XIONG, et al. Study of identifying urban built-up area: Taking Wuhan as an example [J]. *City Planning Review*, 2008, 32 (4): 88-92.
- [18] JIANG B, LIU X, TAO J. Scaling of geographic space as a universal rule for map generalization [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2013, 103 (4): 844-855.
- [19] JIANG B, LIU X. Scaling of geographic space from the perspective of city and field blocks and using volunteered geographic information [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26 (2): 215-229.
- [20] JIANG B, YIN J. Ht-Index to quantify the fractal or scaling structure of geographic features [J]. 2013,

arXiv:1305.0883.

- [21] JIANG B. Head/tail breaks: A new classification scheme for data with a heavy-tailed distribution [J]. *The Professional Geographer*, 2013, 65 (3): 482-494.
- [22] KRUGMAN P. Urban concentration: The role of increasing returns and transport costs [J]. *International Regional Science Review*, 1996, 19 (1-2): 5-30.
- [23] LI X, YE H A G O. Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2000, 14 (2): 131-152.
- [24] LIU J, KUANG W, ZHANG Z, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s [J]. *Journal of Geographical Science*, 2014, 69 (1): 3-14.
- [25] LIU J, ZHANG Z, XU X, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century [J]. *Journal of Geographical Science*, 2010, 20 (4): 483-494.
- [26] LIU X, LI X, HE, et al. A bottom-up approach to discover transition rules of cellular automata using ant intelligence [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, 22 (11-12): 1247-1269.
- [27] LONG Y, LIU X. Automated identification and characterization of parcels (AICP) with OpenStreetMap and points of interest [J]. 2013, arXiv:1311.6165.
- [28] LONG Y, WU K, WANG J, et al. Big models: From Beijing to the whole China. 2014, arXiv:1406.6417.
- [29] MASUCCI A P, STANILOV K, BATTY M. Limited urban growth: London's street network dynamics since the 18th century [J]. 2012, arXiv:1206.5298.
- [30] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China ( MOHURD ). Chinese city construction statistics yearbook 2012[S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [31] MORRILL R, CROMARTIE, HART G. Metropolitan, urban, and rural commuting areas: Toward a better depiction of the United States settlement system [J]. *Urban Geography*, 1999, 20 (8): 727-748.
- [32] National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2013[R]. Beijing: China Statistics Press, 2013.
- [33] ROZENFELD H D, RYBSKI D, GAVAIX X, et al. The area and population of cities: New insights from a different perspective on cities [C]. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2009.
- [34] SHEN G. Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2002, 16 (5): 419-437.
- [35] STEVENS D, DRAGICEVIC S. A GIS-based irregular cellular automata model of land-use change [J]. *Environment and Planning B: Planning & Design*, 2007, 34 (4): 708-724.
- [36] TANNIER C, THOMAS I, VUIDEL G, et al. A fractal approach to identifying urban boundaries [J]. *Geographical Analysis*, 2011, 43 (2): 211-227.
- [37] TANNIER C, THOMAS I. Defining and characterizing urban boundaries: A fractal analysis of theoretical cities and Belgian cities [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 41: 234-248.
- [38] VLIET J V, WHITE, DRAGICEVIC S. Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton [J]. *Computers Environment and Urban Systems*, 2009, 33 (1): 35-43.
- [39] WHITE R, ENGELEN G. Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns [J]. *Environment and Planning A*, 1993, 25.

- [40] WU K, LONG Y, MAO Q, et al. Mushrooming Jiedaos, growing cities: An alternative perspective on urbanizing China [J]. *Environment and Planning A*, 2015, 47 (1): 1-2.
- [41] YANG Y, HE C, ZHANG L, et al. Timely and accurate national-scale mapping of urban land in China using Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System nighttime stable light data [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2013, 7 (1): 073535.
- [42] YUAN J, ZHENG Y, XIE E. Discovering regions of different functions in a city using human mobility and POIs. In *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining[C]*, ed. Q Yang, D Aqarwal, Pei J, 186-194. New York: Association for Computing Machinery, 2012.
- [43] ZIPF G K. *Human behavior and the principle of least effort [M]*. Cambridge: Addison-Wesley Press, 1949.

#### [欢迎引用]

- 龙瀛, 沈尧, 金晓斌. 中国城市地区的识别: 街区尺度的探索[J]. 谢菡亭, 译. *城市与区域规划研究*, 2019, 11(1): 13-36.
- LONG Y, SHEN Y, JIN X B. Mapping block-level urban areas for all Chinese cities[J]. XIE H T (trans.). *Journal of Urban and Regional Planning*, 2019, 11(1): 13-36.