

基于创新活动分布视角的城市创新空间 结构测度与演变特征

李迎成¹

【摘要】 基于创新活动分布的视角，并借鉴国内外有关城市空间结构的划分方法，从首位度和集中度这两个维度提出城市创新空间结构的4种类型。以发明专利申请数据表征城市创新活动分布，构建基于DBSCAN空间聚类分析与发明专利电子地图集的城市创新活动集聚区识别方法与创新空间结构测度方法，并基于此分析全国94个城市的创新空间结构及其演变特征。研究发现，我国城市的创新空间结构整体呈现出向低首位度和高集中度演变的趋势，但创新能力处于不同阶段的城市又表现出不同的创新空间结构演变特征，这主要与城市创新活动集聚与扩散过程的阶段性特点有关。

【关键词】 创新空间 首位度 集中度 专利 DBSCAN 空间聚类

【中图分类号】 TU984 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-3363 (2022) 01-0074-07

城市创新空间是落实国家创新驱动发展战略的关键单元，也是近年来学界和业界关注的热点之一。从创新活动分布的视角来看，城市创新空间是创新活动产生和集聚的主要场所，其空间结构的合理与否对城市在新时代背景下能否实现高质量发展具有重要意义，而理解城市创新空间结构的历史演变特征则是优化城市创新空间结构的基础和前提。学术界针对创新与空间关系的探讨可追溯至雅格布斯^[1]提出的城市多样性促进城市创新观点¹。此后，国外相关学者从创新的空间扩散^[2]、创意阶层的空间需求^[3]、创新地理^[4,5,6]等不同视角探讨了创新的空间属性。近年来，国内有关城市创新空间的研究方兴未艾，关注点主要包括创新产业集群^[7]、创新型经济空间特征与规划应对^[8,9]、创新空间发展模式^[10,11,12,13,14]、创新空间形态结构与生成机制^[15,16,17]等。部分研究探讨了上海^[18]、杭州^[19,20]、深圳^[21]等城市的创新空间规划实践。部分研究则基于对北京^[22]、上海^[23]、杭州^[24]等地的实证分析探讨了典型城市的创新空间演变特征。在已有研究基础上，本文从创新活动分布的视角出发，提出城市创新空间结构的“二维四类”划分模型，构建城市创新空间结构的测度方法，系统分析和比较我国城市创新空间结构的演变特征，以期进一步丰富城市创新空间的理论研究并为相关规划实践提供支撑。

1 创新活动分布视角下的城市创新空间结构类型划分

基于创新活动分布的视角，本文将城市创新空间结构定义为分布于市域内部的、具有不同规模的创新活动集聚区之间以及创新活动集聚区与离散分布的创新活动之间形成的一种创新活动在空间上的分布状态。此处，创新活动集聚区是指在一定的连续空间范围内形成的具有较高创新产出密度的区域，根据所集聚创新活动的不同规模，可进一步将其分为创新活动主集聚区（规模最大的集聚区）和创新活动次集聚区（其他规模较小的集聚区）。

基于上述定义并借鉴国内外近年来有关城市空间结构的研究^[25,26,27,28]，本文从“首位度”和“集中度”这两个维度对城市创新空间结构进行刻画。其中：“首位度”由创新活动主集聚区所集聚的创新活动规模占创新活动集聚区（包括主集聚区和次集聚

¹作者简介：李迎成，博士，东南大学建筑学院，教授，博导，lychls@seu.edu.cn

基金项目：国家自然科学基金项目“分布式创新导向下城市边缘区创新空间的演变与整合机制研究——以南京市为例”（项目编号：52008087）；江苏省自然科学基金项目“创新型经济背景下城市创新空间的演化重组与规划策略研究——以南京市为例”（项目编号：BK20200382）

区)所集聚的创新活动总规模的比例进行表征,比例越高表示城市创新空间结构的首位度越高,反之亦然;“集中度”由创新活动集聚区所集聚的创新活动规模占城市创新活动总规模的比例进行表征,比例越高表示城市创新空间结构的集中度越高,反之亦然。理论上讲,上述两个维度可以形成四种不同的城市创新空间结构,即高首位度—高集中度、高首位度—低集中度、低首位度—高集中度、低首位度—低集中度(图1)。

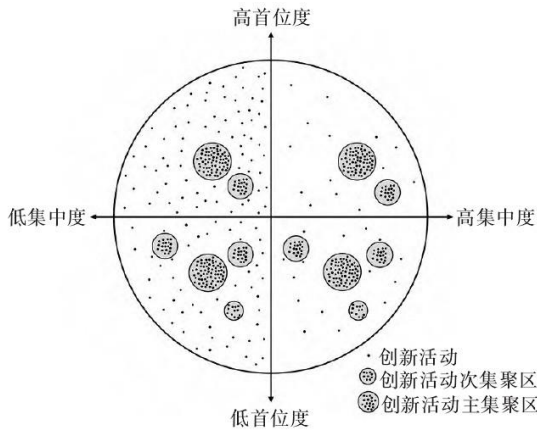


图1 城市创新空间结构的“二维四类”

上述理论模型在具体应用中需要注意以下3方面的问题。首先,“二维四类”的划分具有一定的先验性,创新能力较低的城市可能尚未形成具有一定规模的创新活动集聚区(创新活动完全离散分布),因而无法从首位度这一维度刻画其创新空间结构;其次,首位度与集中度均为相对概念,需要以具体的阈值作为分析和比较城市创新空间结构的基础;第三,首位度与集中度之间无必然联系,例如,具有较高首位度的城市并不一定具有较高的集中度,具有较低首位度的城市也不一定具有较低的集中度。

2 研究数据和方法

2.1 研究数据

专利数据是衡量创新活动水平的重要指标之一,相关研究也证实了专利产出与创新活动之间具有较强的相关性^[24, 29, 30]。由于涵盖地址、年份等信息,近年来专利数据也开始被用于研究创新活动在城市内部的分布与演变规律^[22, 23, 24]。本文以发明专利申请量表征城市创新活动,数据来源于《中国专利全文数据库(知网版)》。由于大部分城市在2010年之前申请的发明专利数量较少,本文选取该数据库收集的2010年至2016年期间国内单位或个人申请的发明专利共约416万件。运用地址解析技术获取每一件专利文本地址的经纬度,汇总后形成本文所用的专利电子地图集³。

2.2 城市创新活动集聚区的识别

识别创新活动集聚区是测度城市创新空间结构的基础。已有研究主要以邮编区划或栅格作为统计专利数量的基本单元,通过分析基本单元之间的空间关系来讨论城市创新空间结构^[22, 23, 24]。上述方法较好地利用了专利的地址信息,但分析结果可能受基本单元选择或划分方式的影响。

鉴于此,本文运用基于密度的聚类算法(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, DBSCAN),构建了不通过划分基本单元,而直接针对专利点进行空间聚类分析的城市创新活动集聚区识别方法。与传统的层次聚类、k-means聚类相比,DBSCAN本质上是一种基于机器学习的聚类方法,能够有效处理噪声点、识别具有任意形状的空间聚类,且无须事先

确定聚类数量,是近年来被广泛应用的聚类方法之一^[31,32]。DBSCAN 识别出的空间聚类也被称为簇群,是具有较高点密度的区域,对应于本文所定义的创新活动集聚区。基于 DBSCAN 识别出的任一簇群必须满足:簇群内存在一个或多个核心点,使得簇群内的其他点至少处于以某一个核心点为中心、一定距离为半径的邻域范围内,且核心点的邻域范围内所包含的点的数量不小于某一给定阈值。不属于任一簇群的点被称为噪声点,对应于本文所定义的离散分布的创新活动。在聚类过程中,DBSCAN 将具有相同地址的不同专利视为不同点,因此识别出来的部分簇群可能看似规模和范围较小,但不会影响城市创新空间结构的测度结果。

利用 DBSCAN 识别创新活动集聚区的具体过程可通过 ArcGIS 平台结合 Python 语言编程实现,其关键在于确定合理的邻域半径和其所包含专利数量的阈值。已有针对某一具体城市的研究往往借助 k-dist 图对不同组合的半径与阈值进行迭代试验以确定最优组合^[31,32,33]。本文借鉴 k-dist 图的思路,并主要通过以下两个步骤确定半径和阈值的最优组合。首先,根据创新活动集聚的一般规律和基本特征,确定具有一定规划意义的邻域半径。过大的邻域半径意味着核心点与其邻域内的部分点距离较远,从而与这部分创新群体的面对面交流机会较少,不利于形成有效集聚;过小的邻域半径则可能忽略了一些位于核心点邻域以外但能够与核心点创新群体进行面对面交流的点。因此,在借鉴生活圈、工作圈等概念基础上,本文将邻域半径确定为 3km,相当于 15min 的骑行距离或 30min 的步行距离。其次,统计 2010 年每个城市内每个专利点 3km 范围内所包含的专利数量,并将所有城市的统计结果汇总后绘制成直方图。如图 2 所示,专利数量在 0—200 个以及 200—400 个这两个区间之间存在明显的断裂。事实上,3km 范围内所包含专利数量小于 200 个的专利点占专利总量的 62.3%。因此,为保证研究期内有尽可能多的城市能够被识别出创新活动集聚区,也为确保创新活动集聚区具有一定规模,本文将 3km 范围内的专利数量阈值设置为 200 个。

需要强调的是,采用统一的参数组合识别创新活动集聚区是对不同城市进行横向比较以及对同一城市进行纵向比较的前提,但一些创新能力较低的城市可能因此而无法被识别出创新活动集聚区。当然,本文确定的参数组合也只能是在保证识别出的创新活动集聚区满足其基本特征的前提下,能够让尽可能多的城市被识别出创新活动集聚区。事实上,通过对全国所有地级及地级以上城市的分析,最终也只有 94 个城市被识别出在研究期内至少存在一个创新活动集聚区。图 3 以上海市为例,分别展示了其在 2010 年的专利点分布情况(左)和基于 DBSCAN 聚类算法识别出的创新活动集聚区分布情况(右)。

2.3 城市创新空间结构的测度

结合前文关于创新活动集聚区的定义,城市创新空间结构的首位度(primacy ratio)与集中度(concentration ratio)计算公式可表示为:

$$PR = \frac{x_{\max}}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (1)$$

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\text{total}} \quad (2)$$

式中:PR 和 CR 分别表示城市创新空间结构的首位度与集中度, x_i 表示创新活动集聚区 i 所包含的专利数, x_{\max} 表示创新活动主集聚区所包含的专利数, n 表示创新活动集聚区的数量,total 表示城市总专利数。显然,PR 和 CR 的值均介于 0 和 1 之间,其值越高,说明城市创新空间结构的首位度和集中度越高,反之亦然。

3 城市创新空间结构的演变特征

3.1 总体呈现出首位度下降但集中度上升的趋势

从首位度与集中度两个指标的概括性统计特征看,我国城市创新空间结构的首位度整体趋于下降但集中度趋于上升。例如:

首位度的平均值从 2010 年的 0.806 下降到了 2016 年的 0.673，中位数则从 1 下降到了 0.610；集中度的平均值从 2010 年的 0.597 上升到了 2016 年的 0.697，中位数则从 0.624 上升到了 0.730。这一演变趋势表明：一方面，我国城市创新活动正在从中心向外围不断扩散，并在原来的创新活动主集聚区以外形成许多新的且具有一定规模的创新活动次集聚区；另一方面，我国城市创新活动正在不断向集聚区内集中，离散分布的创新活动规模占城市创新活动总规模的比重在不断下降。

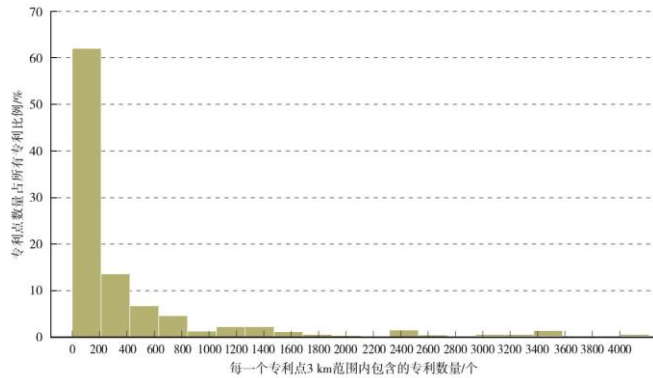


图 2 全国各城市每一个专利点 3km 范围所包含的专利数量分布直方图

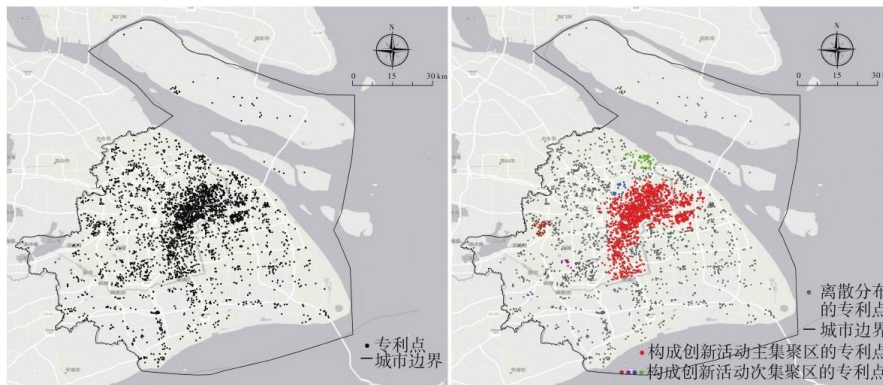


图 3 上海市 2010 年的专利分布（左）和识别出的创新活动集聚区分布（右）

注：(1) 部分具有相同地址的专利在创新活动次集聚区内只显示为一个点，导致右图中部分创新活动次集聚区的规模看似较小；(2) 右图中用不同颜色的点以区分不同的创新活动次集聚区。

3.2 三大类十七小类的演变模式

基于前文提出的理论模型，以研究期内所有城市的首位度均值（0.722）与集中度均值（0.660）为阈值，划分出 4 类城市创新空间结构（图 4）。显然，低首位度—高集中度结构（第四象限）的城市数量增长最多，进一步说明了我国城市创新空间结构演变的总体趋势。通过分析每个城市的演变特征，可进一步概括出我国城市创新空间结构三大类十七小类的演变模式，具体分述如下。

第一大类包括 17 个创新空间结构保持不变的城市，以低首位度—高集中度和高首位度—高集中度这两种结构为主，前者包含上海、苏州、南京等 6 个城市，后者包含西安、长沙、济南等 6 个城市。

第二大类包括 37 个创新空间结构变化的城市，主要以由高首位度—低集中度向低首位度—高集中度演变为主，包括宁波、佛山、兰州等 13 个城市。此外，武汉、合肥等 6 个城市则经历了由高首位度—高集中度向低首位度—高集中度的演变过程，也分别有 4 个城市经历了由高首位度—低集中度向高首位度—高集中度（南宁、太原等）、低首位度—低集中度向低首位度—高集中度（东莞、徐州等）、低首位度—高集中度向高首位度—高集中度的演变过程（深圳、北京等）。

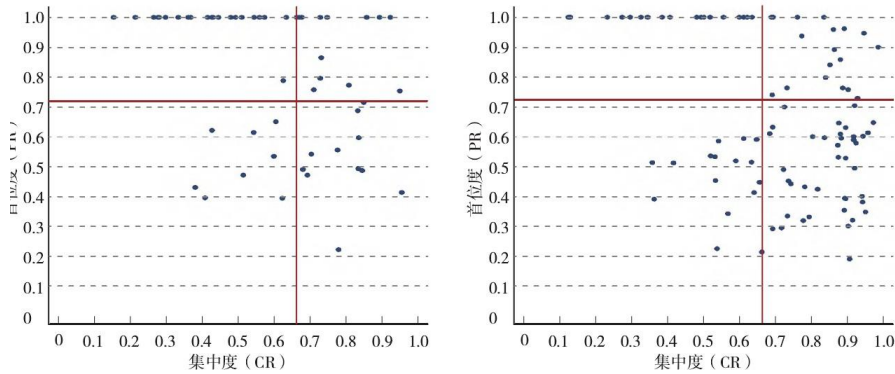


图 4 4 类城市创新空间结构在 2010 年（左）和 2016 年（右）的分布

第三大类包括 40 个创新空间结构“新增”的城市。这些城市在 2010 年没有被识别出创新活动集聚区，故无法测度其首位度。但至 2016 年，东营等 15 个城市呈现出高首位度—低集中度结构，嘉兴等 13 个城市呈现出低首位度—低集中度结构，中山等 10 个城市呈现出低首位度—高集中度结构，泰州等 2 个城市呈现出高首位度—高集中度结构。

3.3 城市创新能力对不同演变模式的影响

整体而言，我国城市创新空间结构所表现出的不同演变模式与城市创新能力所处的不同阶段有关。例如，就平均申请的发明专利数量而言，创新空间结构保持不变的 17 个城市接近 5000 件，37 个创新空间结构发生变化的城市达到了近 3500 件，而 40 个创新空间结构“新增”的城市仅略多于 500 件。显然，大部分创新能力较强的城市保持了低首位度—高集中度的创新空间结构（如上海、苏州、南京等）或经历了向低首位度—高集中度结构演变的过程（如武汉、宁波等），表明低首位度—高集中度可能是城市在创新能力发展一定阶段后所形成的一种主要的创新空间结构。

进一步分析可以发现，在城市创新能力形成初期，创新活动往往最先集聚在中心区，通过产生知识溢出、服务共享和高技能劳动力匹配等规模经济逐渐形成创新活动集聚区，但这些集聚区的规模一般较小，从而呈现出高首位度—低集中度的创新空间结构。例如，在创新空间结构“新增”的城市中，有 15 个城市在 2016 年形成了高首位度—低集中度的创新空间结构，而这些城市 2010 年的平均发明专利申请量仅为 396 件。从空间区位看，这些城市的创新活动集聚区大都位于中心区，如图 5 所示的 2016 年唐山和东营的创新活动集聚区位置。

随着城市创新能力的不断提升，创新活动集聚区的规模不断扩大，若集聚所产生的规模不经济大于规模经济，创新活动则可能会从城市中心区向边缘区扩散，出现创新活动的“去中心化”过程。这一过程的背后既有市场机制的作用也有政府规划的引导。一方面，城市边缘区往往具有环境优美、地价低廉等中心区无法比拟的特点，对一些需要较大空间规模的创新型企业（如汽车制造类企业）具有较强的吸引力。另一方面，各地政府近年来在城市边缘区规划建设大学城、科技园区等各类创新空间，为创新活动从城市中心区向边缘区的扩散提供了新空间，这在部分研究中也得到了证实^[34]。

然而，创新活动的“去中心化”过程并不必然导致在边缘区形成新的创新活动集聚区，这也使得城市创新空间结构的演变

模式更加复杂。例如，若创新活动仅零散分布于边缘区，则城市创新空间结构可能经历由高首位度—高集中度向高首位度—低集中度的演变（如泰安和海口等创新能力较低的城市）。从所观察到的城市创新空间结构的演变模式看，大部分创新活动在边缘区形成了新的创新活动集聚区，出现了由高首位度—高集中度向低首位度—高集中度、高首位度—低集中度向低首位度—高集中度这两种主要的演变模式。前者如武汉，创新活动集聚区的数量从2010年的2个增加到了2016年的6个，首位度则从0.773下降到了0.614，且其一直保持着较高的集中度。后者如宁波，创新活动集聚区的数量从2010年的1个增加到了2016年的7个，首位度从1下降到了0.434，集中度则从0.213显著上升到了0.779。



图5 唐山市（左）和东营市（右）2016年创新活动集聚区的空间区位



图6 武汉市2010年（左）和2016年（右）的创新活动集聚区分布

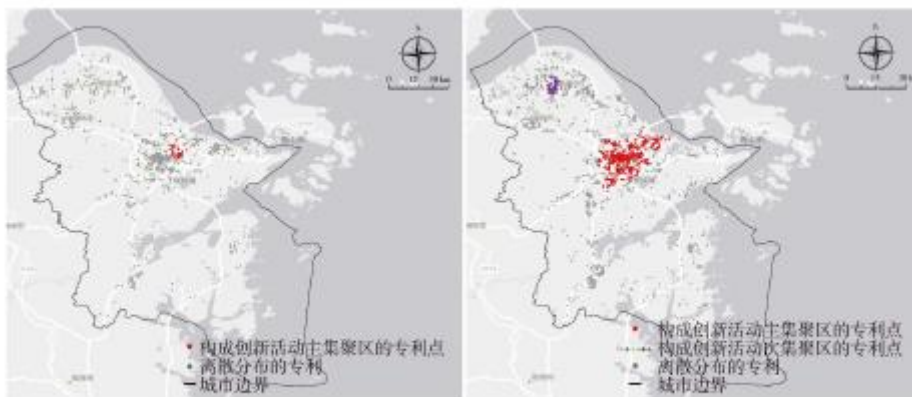


图7 宁波市2010年（左）和2016年（右）的创新活动集聚区分布

同样，创新活动的“去中心化”过程也并不必然导致早期在中心区形成的创新活动集聚区的衰落。事实上，中心区具有浓厚的创新氛围和完善的创新配套服务设施，特别能够吸引一些对空间规模需求较小的创新型企业（如互联网企业）。在此背景下，创新活动主集聚区的范围和规模将不断扩大，从而再次提升城市创新空间结构的首位度。尽管这一趋势目前并不普遍，但一些创新能力位于全国前列的城市已经呈现出这一演变模式（如深圳、北京、广州、杭州）。深圳是这一演变模式的典型代表，其在2010年有6个创新活动集聚区，而在随后的发展过程中，创新活动主集聚区吸纳了周边的3个创新活动次集聚区，形成了一个更大范围的创新活动主集聚区，导致其2016年的创新活动集聚区数量下降至3个，首位度则从0.415上升到了0.899（图8）。

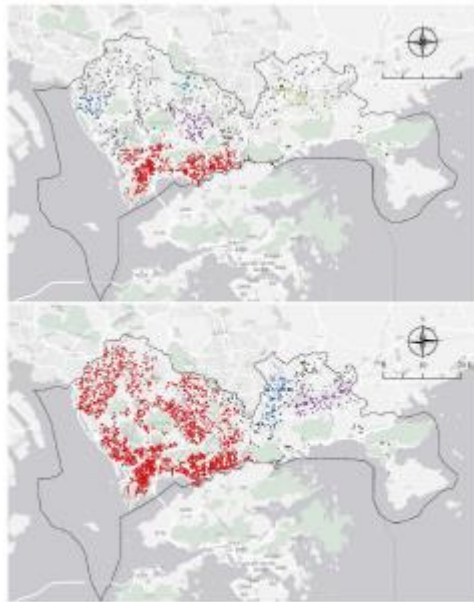


图8 深圳市2010年（上）和2016年（下）的创新活动集聚区分布

4 结语

城市创新空间的理论研究与实践探索是城乡规划学科积极响应和落实国家创新驱动发展战略的重要途径之一，而对城市创新空间结构的测度方法与演变特征进行分析是理解城市创新空间发展规律、指导城市创新空间规划实践的基础与前提。本文从创新活动分布的视角出发，提出了城市创新空间结构的理论划分模型与测度方法，在此基础上对全国94个城市的创新空间结构及其演变特征进行了测度与分析。随着创新能力的不断提升，我国城市的创新空间结构整体呈现出向低首位度和高集中度演变的趋势，但对于创新能力处于不同阶段的城市而言，其创新活动的集聚与扩散过程呈现出明显的差异化特点，导致其创新空间结构的演变模式又存在显著差异。

当然，由于很多创新活动并不会产生专利，利用专利申请数据表征创新活动分布的方法具有一定的局限性。因此，本文也只是对我国城市的创新空间结构及其演变特征进行了初步分析，提出的城市创新空间结构测度方法也需要随着数据类型的丰富而不断完善。此外，对城市创新空间结构相关基础理论的完善、形成与演变机制的量化分析等都将是后续研究努力的方向。

东南大学建筑学院博士研究生李金刚协助处理本文图片。

注：文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

参考文献：

-
- [1] JACOBS J. The economy of cities[M]. New York: Random House, 1969.
- [2] ROGERS E M. Diffusion of innovations[M]. New York: Free Press, 1983.
- [3] FLORIDA R. The rise of the creative class[M]. New York: Basic Books, 2002.
- [4] AUDRETSCH D B, FELDMAN M P. R&D spillovers and the geography of innovation and production[J]. The American Economic Review, 1996, 86(3): 630-640.
- [5] FELDMAN M P. The geography of innovation[M]. Dordrecht: Springer Science&Business Media, 1994.
- [6] POLENSKE K R. The economic geography of innovation[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [7] 王缉慈. 创新的空间: 企业集群与区域发展[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [8] 张京祥, 何鹤鸣. 超越增长: 应对创新型经济的空间规划创新[J]. 城市规划, 2019, 43(8): 18-25.
- [9] 周子航, 张京祥. “试错”与“先验”: 应对创新的土地供给困境与规划响应[J]. 城市规划学刊, 2021(5): 110-117.
- [10] 邓智团, 陈玉娇. 创新街区的场所营造研究[J]. 城市规划, 2020, 44(4): 22-30.
- [11] 房静坤, 曹春. “创新城区”背景下的传统产业园区转型模式探索[J]. 城市规划学刊, 2019(S1): 47-56.
- [12] 许凯, 孙彤宇, 叶磊. 创新街区的产生、特征与相关研究进展[J]. 城市规划学刊, 2020(6): 110-117.
- [13] 郑德高, 袁海琴. 校区、园区、社区: 三区融合的城市创新空间研究[J]. 国际城市规划, 2017, 32(4): 67-75.
- [14] 朱凯. 政府参与的创新空间“组”模式与“织”导向初探: 以南京市为例[J]. 城市规划, 2015, 39(3): 49-53.
- [15] 曾鹏, 曾坚, 蔡良娃. 城市创新空间理论与空间形态结构研究[J]. 建筑学报, 2008(8): 34-38.
- [16] 曾鹏, 李晋轩. 城市创新空间的新发展及其生成机制的再讨论[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2018, 20(3): 253-260.
- [17] 郑德高, 马璇, 李鹏飞, 等. 长三角创新走廊比较研究: 基于4C评估框架的认知[J]. 城市规划学刊, 2020(3): 88-95.
- [18] 张尚武, 陈烨, 宋伟, 等. 以培育知识创新区为导向的城市更新策略: 对杨浦建设“知识创新区”的规划思考[J]. 城市规划学刊, 2016(4): 62-66.
- [19] 解永庆. 区域创新系统的空间组织模式研究: 以杭州城西科创大走廊为例[J]. 城市发展研究, 2018, 25(11): 73-78+102.
- [20] 闫岩, 陆容立, 康弥, 等. 创新地区公共空间设计探索: 基于杭州城西科创大走廊的规划实践[J]. 城市规划学刊, 2020(4): 90-96.

-
- [21]张惠璇,刘青,李贵才.“刚性·弹性·韧性”:深圳市创新型产业的空间规划演进与思考[J].国际城市规划,2017,32(3):130-136.
- [22]段德忠,杜德斌,刘承良.上海和北京城市创新空间结构的时空演化模式[J].地理学报,2015,70(12):1911-1925.
- [23]李凌月,张啸虎,罗瀛.基于创新产出的城市科技创新空间演化特征分析:以上海市为例[J].城市发展研究,2019,26(6):87-92+33.
- [24]王纪武,孙滢,林倪冰.城市创新活动分布格局的时空演化特征及对策:以杭州市为例[J].城市发展研究,2020,27(1):12-18+29.
- [25]MEIJERS E J,BURGER M J.Spatial structure and productivity in US metropolitan areas[J].Environment and Planning A,2010,42(6):1383-1402.
- [26]孙斌栋,王旭辉,蔡寅寅.特大城市多中心空间结构的经济绩效:中国实证研究[J].城市规划,2015,39(8):39-45.
- [27]LI Y,WANG X.Innovation in suburban development zones:evidence from Nanjing,China[J].Growth and Change,2018,50:114-129.
- [28]LI Y,XIONG W,WANG X.Does polycentric and compact development alleviate urban traffic congestion?a case study of 98Chinese cities[J].Cities,2019,88:100-111.
- [29]JAFJE A B,TRAJTENBERG M,HEM-DEPERSON R.Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations[J].The Quarterly Journal of Economics,1993,108(3):577-598.
- [30]ACS Z J,ANSELIN L,VARGA A.Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge[J].Research Policy,2002,31(7):1069-1085.
- [31]杨帆,徐建刚,周亮.基于 DBSCAN 空间聚类的广州市区餐饮集群识别及空间特征分析[J].经济地理,2016,36(10):110-116.
- [32]张亚,刘纪平,周亮,等.基于 DBSCAN 算法的北京市顺丰快递服务设施集群识别与空间特征分析[J].地球信息科学学报,2020,22(8):1630-1641.
- [33]周红芳,王鹏.DBSCAN 算法中参数自适应确定方法的研究[J].西安理工大学学报,2012,28(3):289-292.
- [34]LI Y,LIU X.How did urban polycentricity and dispersion affect economic productivity?a case study of 306 Chinese cities[J].Landscape and Urban Planning,2018,173:51-59.

注释:

1 尽管熊彼特(Schumpeter)最早提出了“创新理论”,但“创新理论”起初只是作为一个抽象概念,主要用于解释经济增长与经济周期的变化规律,并未涉及创新的空间属性。

2 以专利数据表征创新活动的方法也存在一定不足。例如，并不是所有的创新活动都会以专利形式呈现。此外，专利申请人的地址可能和创新活动实际发生的地址不一致。尽管存在上述不足，但已有大量研究表明，专利数据的空间分布与城市创新活动的空间分布之间仍然具有很强的相关性。

3 由于专利文本仅显示第一申请人地址，同时考虑到合作申请的专利在所有专利中的比例很低，故本文对于合作申请的专利也按照第一申请人地址进行电子化。