

北京城市功能空间演进的结构模式与聚合规律

徐 珊¹, 员鑫淼¹, 邓 羽²

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 北京经历了增量时代转向存量优化并正处于空间更新提质的新阶段, 而城市功能空间演进是发展转型进程的重要标志与空间载体。依据长时间序列的北京城市功能变化数据集, 对空间演进的结构模式与聚合规律进行研判。研究发现: ① 北京城市功能演化主中心位于核心区并向东迁移; 功能延展形成演化次中心与远郊中心, 演化态势呈先聚集极化后趋于平稳。② 功能空间格局的类型分异特征显著。③ 功能空间演进呈服务功能中心极化、产业功能梯序外溢和居住功能圈层分异的结构模式。④ 功能演进聚合规律包括职住分离是首都服务型单中心结构的响应、公共服务均等是城市居住空间品质升级的重要支撑和产业集聚与跃迁是城市产业空间迭代的关键路径。本文研究结果以期在城市功能空间的科学重构与精细化治理提供决策支撑与判据。

关键词: 城市空间; 城市功能; 城市更新; 可持续发展; 空间组织; 北京

DOI: 10.11821/dlxb202308015

1 引言

城市功能空间是城市地理学关注的重点研究领域。近年来, 随着中国经济高速增长和城市空间快速扩展, “大城市病”凸显越发要求并策动城市功能空间合理布局与科学重构, 加速呈现出多样性、动态性、复杂性的空间景观^[1]。城市功能空间主要运用土地利用与遥感影像等进行判定。随着位置服务技术的发展, 城市多源地理信息以及社会文化数据的获取和收集能力提升, 地理空间大数据的挖掘已成为重要创新方向, Liu等^[2]与Wang等^[3]分别利用兴趣点(POI)数据与出租车轨迹以及OSM(Open Street Map)数据耦合以实现精细化的城市功能识别, 也可根据人类活动密集程度细化功能区^[4]以及更新类型^[5]。基于GloVe的POI类型嵌套模型^[6]、Word2vec算法^[7]、Space2vec算法^[8]被应用于甄别城市空间功能分类以及交互关系。城市功能复合有利于住宅与就业均衡分布, 从而减少钟摆式交通和能耗污染^[9]。阚长城等^[10]通过TF-IDF算法和信息熵算法提出了基于多源时空大数据的城市功能空间混合评估新方法, Xia等^[11]基于信息熵衡量城市功能空间的混合程度。信息熵指数已得到学者的广泛应用^[12], 通过建立空间信息熵模型, 定量评价城市功能空间的混合程度^[13]。

城市功能空间演替特征反映了城市空间演化进程及结构的变化规律^[14-16]。既有研究主要基于土地利用、人口普查、遥感图像等研究数据^[17], 运用最近邻距离层次法^[1]、核密度法^[18-19]、空间自相关法、标准差椭圆法^[20]空间分析方法, 聚焦于格局演变以及功能区划。

收稿日期: 2022-06-06; 修订日期: 2023-05-15

基金项目: 北京社会科学基金项目(22GLC073) [Foundation: Beijing Social Science Foundation, No.22GLC073]

作者简介: 徐珊(1986-), 女, 江苏常州人, 副教授, 主要从事土地利用与城市更新研究。E-mail: xushan86@cau.edu.cn

通讯作者: 邓羽(1985-), 男, 湖北恩施人, 副研究员, 主要从事城市空间与调控研究。E-mail: dengy@igsrr.ac.cn

城市功能空间格局会因社会制度、文化、经济环境不同形成迥异的演化差异与形成机理^[4, 21]。此外, 主要聚焦于休闲商务区^[6]、产业空间^[22-24]、商业办公空间^[25-26]、民宿产业^[27]等单一城市功能进行格局分析。城市功能之间伴有复杂关联性, 存在着相异的吸引力与相斥力^[28-29]。

既往研究多聚焦于功能空间格局静态剖析以及单一功能的短时间尺度演进分析, 也鲜有多维功能空间演进结构模式与聚合规律的定量把握^[30-33]。北京是最具有典型意义的特大城市, 长期以来形成的城市功能空间具有历史沿袭性、类型完整性和规律代表性。因此, 本文以北京为研究区, 基于2006—2020年城市功能变化数据集, 从长时间序列对城市功能空间演进结构模式和发展规律进行挖掘与研读, 为城市功能空间的科学重构与精细化治理提供决策支撑与判据。

2 研究区域与方案

2.1 研究区域与数据来源

以北京市域为研究区, 建立基于住建委发布的工程施工许可证信息的属性空间一体化数据库, 共包括2006—2020年间功能项目点, 并结合《城市用地分类与规划建设标准》的划分原则, 将其规整为7类功能类型, 即高技术制造业, 公共服务功能, 居住功能, 生产性服务业, 生活服务功能, 文创产业, 制造业。北京各类城市功能分布如图1所示。高技术制造业包括电子及通信设备制造、计算机及办公设备制造等; 公共服务功能包括科教文卫、体育、基础配套设施、公共空间及绿地; 居住功能包括商品房、保障房、混住房、社区更新等; 生产性服务业包括信息与通讯服务业、科技服务业与金融及其服务业等; 生活服务业包括商服娱乐, 餐饮服务, 物流服务; 文创产业即文化与创意产业; 制造业包括涵盖农副食品加工业、食品制造业和原材料加工等一般制造业。

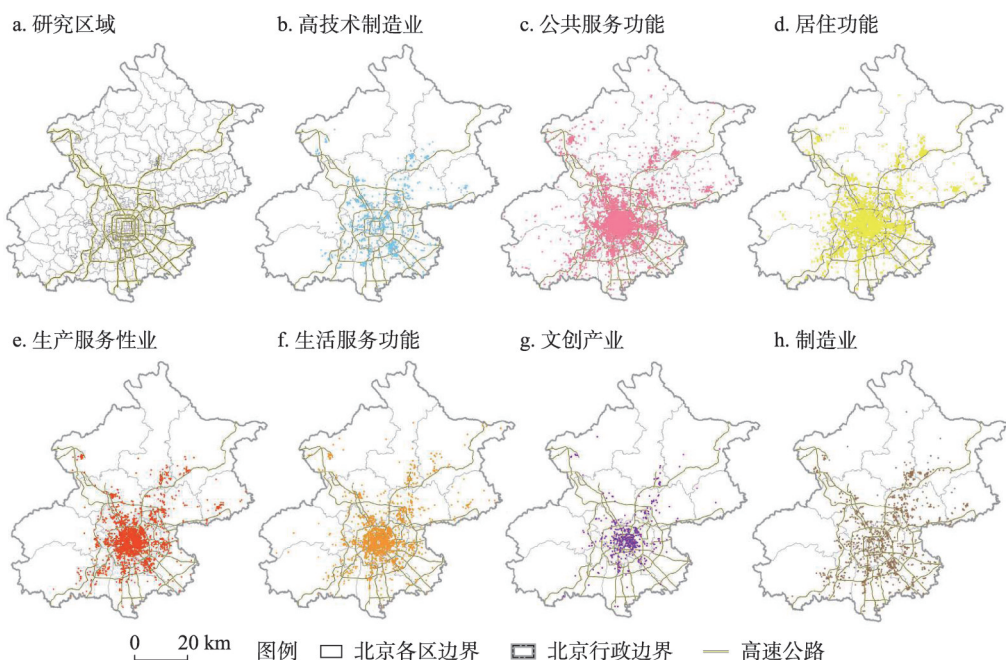


图1 北京城市功能分布

Fig. 1 Urban functional distribution of Beijing

2.2 研究方案

首先,对城市功能进行空间计量分析,识别城市功能演化的空间格局及其分异特征;其次,根据频数密度和自然断点法结合识别城市功能演进的结构模式,同时以近邻分析城市各功能之间的邻近关系,判定功能间的聚合规律。

(1)城市功能空间演化格局。针对城市功能演化集进行空间分析,判定城市功能总体以及分类型演化特征,根据自然间断点分级法将核密度分为低、较低、中、较高、高5级,识别北京城市功能演化的空间格局及其变化规律,公式如下:

$$P_n = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: h 为密度计算的搜索半径; n 为总项目个数; $K(x)$ 为建设规模的核密度函数。

(2)城市功能演进的结构模式。根据自然断点法分别确定各年份不同类型功能的中高等级街道数量,按照四环内、四环至六环和六环外分圈层统计中高等级街道数量占比,并综合考虑其长时间序列平均值、极值和分位值以体现城市功能演进的结构模式。

$$F_{i,j,s} = \frac{n_{i,j,s}}{N_{i,j}} \quad (2)$$

式中: $F_{i,j,s}$ 为 s 圈层第 j 年 i 类型的中高等级街道数量占比; $n_{i,j,s}$ 为 s 圈层第 j 年 i 类型的中高等级街道数量; $N_{i,j}$ 为第 j 年 i 类型的中高等级街道总数。

(3)城市功能演进的聚合规律。通过近邻分析,计算某一类型中高等级街道与其他类型中高等级街道中的最近距离以及邻近信息。

$$D_{A-B} = \frac{d_1 + d_2 + \cdots + d_n}{n} \quad (3)$$

式中: D_{A-B} 是指A类型的中高等级街道与B类型的中高等级街道之间的平均距离; d_1, d_2, \cdots, d_n 为通过近邻分析获取的A类型的中高等级街道与其最邻近的B类型的中高等级街道的距离。

3 功能空间演化格局

3.1 总体特征

北京城市功能演化主中心位于核心区,并由东西双区组团逐步向东城转移;次中心与城郊区的功能聚集态势先极化后平稳。对2006年、2010年、2015年以及2020年北京的功能点分别进行集聚识别(图2),功能演化的高密度核心始终为东城区和西城区;并且功能演化强度环绕主中心呈向外扩散、依序衰减的圈层结构,延展至朝阳区、海淀区、石景山区、丰台区,并在大兴、顺义、通州、昌平等区中心街道形成功能演化次中心,以及位于生态涵养区的延庆、怀柔、密云和平谷远郊中心。这与《北京城市总体规划(2004年—2020年)》确定的“两轴、两带、多中心”的城市空间结构以及“中心城、新城、镇”的市域城镇体系相契合。与2015年对比发现,2020年北京市各级中心的高密度空间范围逐渐缩小,但功能演替强度仍在不断增加。例如,东西城区的演化强度增加约6倍,朝阳区与海淀区增加约2倍。

3.2 功能类型分异

(1)高技术制造业向外围产业园区集群,制造业主要集聚在顺义区以及亦庄新城。高技术制造业逐步向中关村科技园区、未来科学城等产业园区形成集群^[34]。同时,顺义区依托首都机场的区位优势成为高精尖产业重点发展区域,各类科技园区不断加强产业

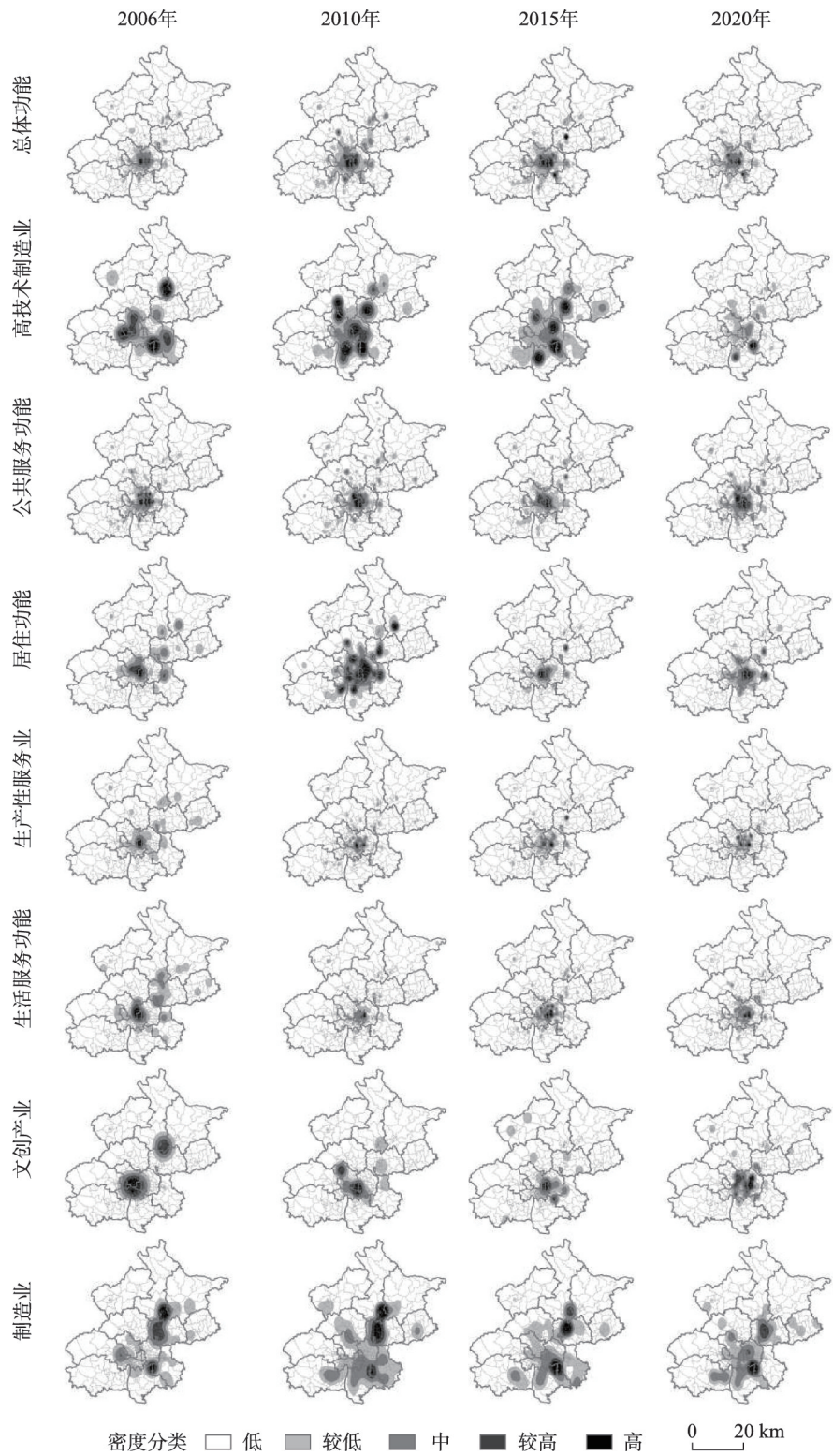


图2 北京功能空间演化格局
Fig. 2 Functional spatial evolution pattern of Beijing

基地建设、汇集和培育发展高精尖制造业。此外,制造业主要集中在空港工业区与天竺出口加工区等组成的临空经济带以及北京经济技术开发区^[35-36]。

(2) 公共服务与生活服务功能呈现单中心结构,两类功能主要配置于居住人口密度高或区位优势显著的区域。两类功能在核心区及西城—海淀和东城—朝阳交接处形成高密度聚集区。海淀区的中关村街道等公共服务资源丰富齐全;朝阳区的望京、国贸—朝外—三里屯组团的大型居住区和商贸区形成公共服务功能演化聚集区。生活服务功能聚集在核心区以及朝阳区,约78.5%分布在距离城市中心15 km以内的区域,彰显出强中心的服务功能结构。早期生活服务中心位于西单、王府井、新街口等,尔后中央商务区拓展区与国贸商圈成为生活服务功能的高聚集区^[6]。随着城市发展逐渐在望京、亚运村、天通苑等大型居住区,海淀区中关村、经济技术开发区等产业区以及国家奥林匹克体育中心、五棵松文化体育中心等文体中心加速建成了生活服务集聚区。

(3) 居住功能表现为建成区聚集,并向外部多中心延展,演化内涵由新建向功能改造提升转变。居住功能演化的高密度区域主要位于建成区,随着规划引导以及交通通达性的提高,居住功能空间快速扩张,在近郊和远郊区县形成居住演化的次中心。近几年,城市居住功能演化主要归因于提升中心城区人居环境以及公共服务能力、改善居民生活品质所高强度开展的老旧小区整治、棚户区改造等社区更新。由2006—2010年间占比24%转化为2016—2020年占比46%,由此核心区的演化内涵由新建向功能改造提升转变。

(4) 生产性服务业与文创功能演化中心主要位于核心区,前者呈双核结构,后者亦向朝阳富集。生产性服务业双核心分别位于西城区金融街街道与朝阳区中央商务区,是北京商务办公高度聚集区域,形成了信息技术服务、科技服务集聚中心^[37]。文创产业主要向核心区以及文创园区集群演化。早期文创产业主要以古都历史文脉以及老旧工业区为载体创新集聚发展。随着文化创意空间带来的高附加值以及城市文化保护功能的强化,逐渐向朝阳区延伸并形成特色鲜明的文创产业园^[38]。

4 空间结构模式

(1) 服务功能中心极化。由图3可以发现,北京公共服务功能、生活服务功能、生产性服务业在四环内占比始终处于高位,其各年份占比中位数均超过50%,同时3类服务型功能类数量由四环内至六环外逐圈层递减,总体表现出中心高度极化特征。公共服务功能的快速演化源于核心区始终相对完善的公共服务设施配备,同时得益于夏冬两季奥运会举办的筹备机遇全域开展环境美化及公共设施修缮工程,重大事件加速了城市公共功能补强与提质。此外,生产性服务在中心城区集聚经济的强吸引下不断汇集,生活服务功能也由于人口高密度与区位优势度持续向心汇聚。

(2) 产业功能梯度外溢。制造业在北京四环内,四六环之间,六环外3个圈层中高低值范围分别是0~21.88%、6.25%~59.46%、24.32%~87.5%,呈现出明显的制造业梯度外溢特征,由内圈层至外圈层演化数量依次递增。《北京城市总体规划(2004年—2020年)》强调积极引导制造业向新城地区集聚,同时交通通达度、市场竞租、集聚经济等因素均对制造业外溢具有加速影响^[39]。高技术制造业各圈层中位数分别为16.98%、57.69%、28.00%,外溢集聚呈现倒“V”型。主要因为高技术制造业由中心城区向外圈层转移^[40],也需顾及对中心城区生产性服务业具有较高的依赖性^[41],故而引导其在北京经济技术开发区、中关村产业分园等第二圈层形成聚集。文创产业各圈层占比中位数

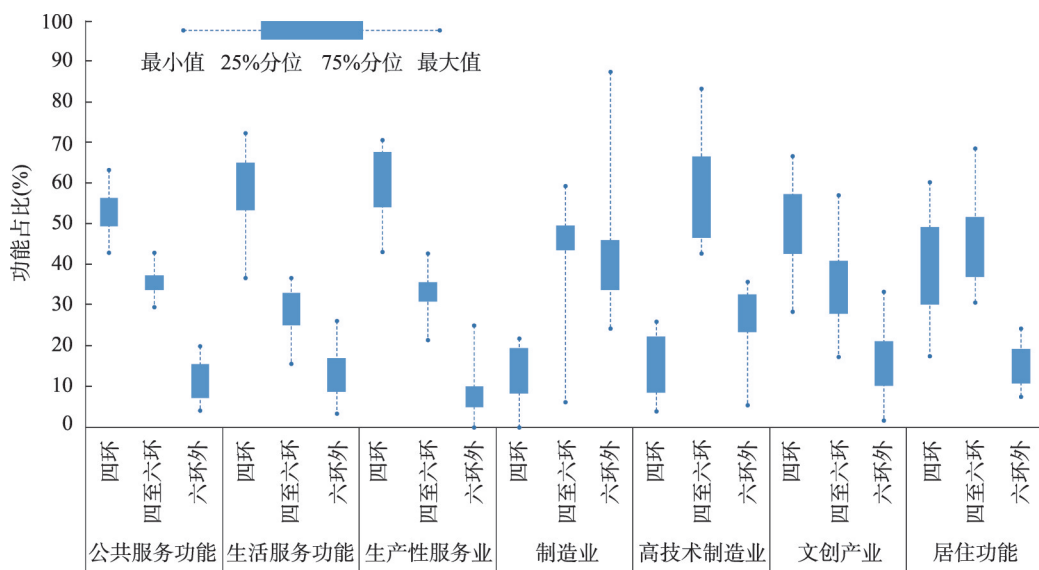


图3 北京分圈层功能结构图

Fig. 3 Zonal functional structure of Beijing

分别为54.17%、33.3%、12.5%。文创产业的中心集聚态势源于制造业腾退的产业空间转型^[42]。近年来,随着以国家文化产业创新实验区为主轴的多类文化创意产业园区兴起^[38],其存在显著的圈层外溢趋势。

(3) 居住功能圈层分异。北京居住功能演化在四环、四六环、六环的占比中位数分别为33.3%、49.0%、15.8%。在住房体制改革促动与内城空间资源紧缺现实推动以及规划与交通路网引导下居住功能迅速外溢,四六环区域成为吸纳核心区人口疏解的住房建设聚集区。六环外以住房新建为主,但是相较于四环与四六环区域,其演化强度较弱,演化集中在轨道交通站点沿线以及远郊区的中心街道^[43]。在居住功能外迁的同时,四环内部居住功能演化内涵也在逐渐改变,社区更新改造成为主要活动,包括建筑老化所引致的加固节能改造和功能退化所引致的综合整治和功能提升。因此,居住功能在各圈层呈现明显的分异特征。

5 聚合规律

(1) 职住分离是首都服务型单中心结构的空间响应。如图4a所示,分析居住功能与生产性服务业以及生活服务功能的空间距离发现,随着时间的推移两组距离均逐渐远离,呈现出职住分离的态势。北京中心城具有极高交通便利度、人文资源丰富度与发展要素集聚度,虹吸效应明显^[44];同时,市场竞租以及非首都功能疏解的驱使下中心城高端产业持续集聚,产业加速转型升级,以金融服务、技术服务、商务办公等高附加值的生产性服务业在中心城迅速演化。而居住功能随着规划引导以及交通通达度的提高快速扩张,逐渐远离生活服务与生产性服务高度聚集的核心区域^[45]。首都生活服务与生产服务功能的单中心结构加速了居住空间郊区化,并塑造了职住分离的空间响应。

(2) 公共服务均等是城市居住空间品质升级的重要支撑。通过关注居住空间与公共服务功能之间的空间距离,由图4b可以看出,两类功能随着时间的演变越发接近。根据

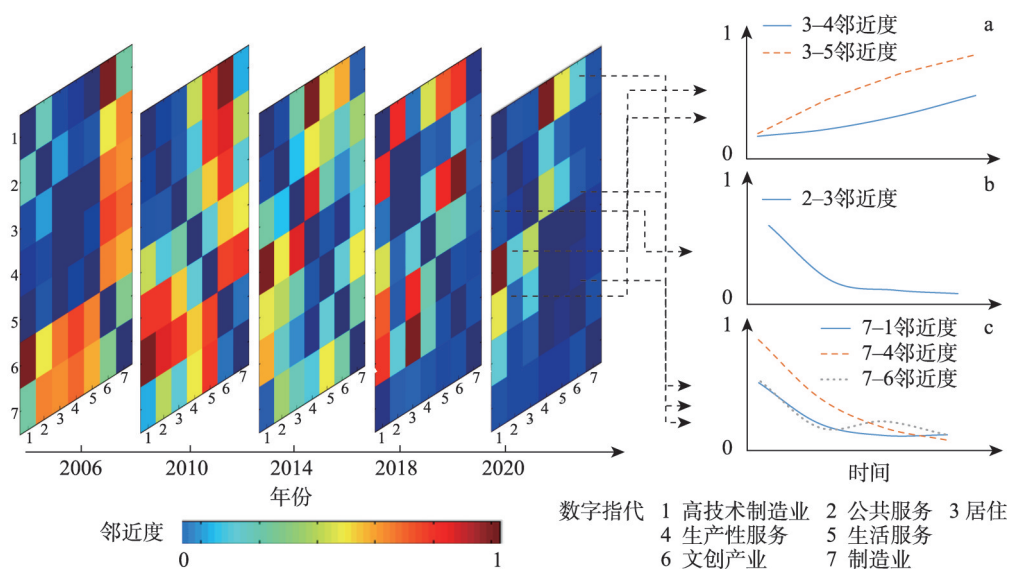


图4 北京功能聚合规律趋势图
Fig. 4 Functional aggregation trend of Beijing

北京市新建改建居住区公共服务设施配置的要求, 配套公建应与新建住房同步规划、建设、投入使用, 保障居住区合理半径内公共服务供给^[46-47]。同时, 公共服务功能越完善的区域对于居住功能的吸引效应越强, 居住功能更倾向于建设在公服配套完善区域^[48]。近年来, 居住功能演化热点区域回缩至内部圈层, 中心城区富集的公共服务加速城市高强度更新。因此, 公共服务功能与居住功能在内外圈层均相互促进, 新建与更新都伴随着公共服务功能的强化与提质, 公共服务均等是城市居住空间品质升级的重要支撑。

(3) 产业集聚与跃迁是城市产业空间迭代的关键路径。由图4c中可以看到, 制造业与高技术制造业、生产性服务业、文创产业的空间距离在不断缩小, 呈现明显的产业集聚融合趋势。北京实施增量控制与“腾笼换鸟”, 中心城劳动密集型制造业基本退出, 又大力疏解非首都核心功能^[49], 产业体系向高精尖方向极化, 呈现出产业的跃迁趋势。同时, 传统制造业在向外迁移且与高技术制造业共同向工业园区集聚。随着制造业、高技术制造业的不断发展, 其对于生产性服务业需求不断增加^[35], 一同向北京经济技术开发区、中关村科技园区以及临空经济区等重要产业基地集聚^[50]。制造业的“腾龙换鸟”以及与文创功能互动为城市产业发展带来新机, 使得两者趋于空间邻近。

6 结论与讨论

本文依据长时间序列的北京城市功能变化数据集, 探究不同功能类型演变规律及其时空差异, 进而分环线圈层认识空间演进的结构模式。在此基础上, 以邻近距离为依据探讨功能类间的聚合规律。为城市功能空间的科学重构与精细化治理提供决策支撑与判据。同时, 北京是最具有典型意义的特大城市, 长期以来形成的城市功能空间具有历史沿袭性、类型完整性和规律代表性。科学认识北京城市功能空间的时空分异格局、结构模式以及聚合规律, 可以为特大城市、大城市及其不同功能更新需求城市的优化调控提供指导和借鉴。

北京城市单中心空间发展模式是职住分离的主要成因,进而带来了巨量的中心外围通勤负担^[51]。城市副中心、区域次中心建设将为有效促进圈层或区域的职住平衡提供反磁力。城市产业发展要遵循产业演化规律,并引导向产业园区集群,形成创新链齐备的产业链与生态空间^[52],提升创新能级与价值链。后疫情时代进一步要求公共服务功能的保障深度与广度,不断满足居民在社区生活圈层面公共服务的类型多样性和全面性,持续提升城市公共卫生与灾害风险等安全领域的应急处突能力^[53]。

后续研究可通过把握功能面积或容积率等空间信息将功能规模纳入考虑。同时,运用多类型空间计量与数据挖掘方法丰富模式与规律的定量阐释方案,并采用综合模拟模型强化演进过程和机理的定量解构、情景仿真与优化调控策略研究。

参考文献(References)

- [1] Crooks A, Pfoser D, Jenkins A, et al. Crowdsourcing urban form and function. *International Journal of Geographical Information Science*, 2015, 29(5): 720-741.
- [2] Liu H M, Xu Y Y, Tang J B, et al. Recognizing urban functional zones by a hierarchical fusion method considering landscape features and human activities. *Transactions in GIS*, 2020, 24(5): 1359-1381.
- [3] Wang Z Y, Ma D B, Sun D Q, et al. Identification and analysis of urban functional area in Hangzhou based on OSM and POI data. *Plos One*, 2021, 16(5): e0251988. DOI: 10.1371/journal.pone.0251988.
- [4] Han Haoying, Yu Xiang, Long Ying. Identifying urban functional zones using bus smart card data and points of interest in Beijing. *City Planning Review*, 2016, 40(6): 52-60. [韩昊英, 于翔, 龙瀛. 基于北京公交刷卡数据和兴趣点的功能区识别. *城市规划*, 2016, 40(6): 52-60.]
- [5] Zhou D J, Xu S, Sun C Z, et al. Dynamic and drivers of spatial change in rapid urban renewal within Beijing inner city. *Habitat International*, 2021, 111(12): 102349. DOI: 10.1016/j.habitatint.2021.102349.
- [6] Zhang C K, Xu L C, Yan Z, et al. A glove-based POI type embedding model for extracting and identifying urban functional regions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2021, 10(6): 372. DOI: 10.3390/ijgi10060372.
- [7] Mikolov T, Sutskever I, Chen K, et al. Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems: Volume 2*. Lake Tahoe, Nevada. New York: ACM, 2013: 3111-3119.
- [8] Yan B, Janowicz K, Mai G C, et al. From ITDL to Place2Vec: Reasoning about place type similarity and relatedness by learning embeddings from augmented spatial contexts. *Proceedings of the 25th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. Redondo Beach, CA, USA. New York: ACM, 2017: 1-10.
- [9] Huang Li. Mixed land use for urban development: Models and strategies. *Tropical Geography*, 2012, 32(4): 402-408. [黄莉. 城市功能复合·模式与策略. *热带地理*, 2012, 32(4): 402-408.]
- [10] Kan Changcheng, Ma Qiwei, Dang Anrong. The evaluation method and planning strategies of urban function mix of Beijing based on spatiotemporal big data. *Science & Technology Review*, 2020, 38(3): 123-131. [阚长城, 马琦伟, 党安荣. 基于时空大数据的北京城市功能混合评估方法及规划策略. *科技导报*, 2020, 38(3): 123-131.]
- [11] Xia X X, Lin K X, Ding Y, et al. Research on the coupling coordination relationships between urban function mixing degree and urbanization development level based on information entropy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 18(1): 242. DOI: 10.3390/IJERPH18010242.
- [12] Li Jianchun, Qi Xiaoxing, Yuan Wenhua. Spatial differentiation of multi-functional mixed use of construction land based on points of interest. *Progress in Geography*, 2022, 41(2): 239-250. [李建春, 起晓星, 袁文华. 基于POI数据的建设用地多功能混合利用空间分异研究. *地理科学进展*, 2022, 41(2): 239-250.]
- [13] Yuan C W, Duan Y X, Mao X H, et al. Impact of the mixed degree of urban functions on the taxi travel demand. *Plos One*, 2021, 16(3): e0247431. DOI: 10.1371/journal.pone.0247431.
- [14] Zhou Guolei, Li Chenggu, Zhang Jing, et al. Transition of urban functional land in Changchun from 2003 to 2012. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 539-550. [周国磊, 李诚固, 张婧, 等. 2003年以来长春市城市功能用地演替. *地理学报*, 2015, 70(4): 539-550.]
- [15] Wang Xiulan, Li Xuerui, Feng Zhongke. Research on Beijing urban expansion based on information entropy principle. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(S1): 89-92. [王秀兰, 李雪瑞, 冯仲科. 基于信息熵原理的北京城市扩展研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(S1): 89-92.]

- [16] Liang Feng, Li Qianguo, Shi Peiji, et al. Evolution characteristics and motivation analysis of main functional land in Zhangye city. *Arid Land Geography*, 2019, 42(2): 414-422. [梁峰, 李騫国, 石培基, 等. 张掖城市主要功能用地演变特征及其动因分析. *干旱区地理*, 2019, 42(2): 414-422.]
- [17] Luo S H, Liu Y, Du M Y, et al. The influence of spatial grid division on the layout analysis of urban functional areas. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2021, 10(3): 189. DOI: 10.3390/ijgi10030189.
- [18] Zhu He, Liu Jiaming, Tao Hui, et al. Temporal-spatial pattern and contributing factors of urban RBDs in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1215-1228. [朱鹤, 刘家明, 陶慧, 等. 北京城市休闲商务区的时空分布特征与成因. *地理学报*, 2015, 70(8): 1215-1228.]
- [19] Tian G J, Wu J G, Yang Z F. Spatial pattern of urban functions in the Beijing metropolitan region. *Habitat International*, 2010, 34(2): 249-255.
- [20] Zhao Lu, Zhao Zuoquan. Optimization of industrial spatial circle structure and layout in Beijing. *Research on Development*, 2017(2): 46-48, 174. [赵璐, 赵作权. 北京市产业空间圈层结构与布局优化. *开发研究*, 2017(2): 46-48, 174.]
- [21] Hao Feilong. Study on the urban functional spatial structure of Changchun city from the polycentric perspective [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2017. [浩飞龙. 多中心视角下的长春市城市功能空间结构研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2017.]
- [22] Han Huiran, Yang Chengfeng, Song Jinping. Impact factors of location choice and spatial pattern evolution of wholesale enterprises in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(2): 219-231. [韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京批发企业空间格局演化与区位选择因素. *地理学报*, 2018, 73(2): 219-231.]
- [23] Li Guoping, Sun Tieshan, Lu Minghua. A study on the process, characteristics and influencing factors of Beijing's hi-tech industrial agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 927-936. [李国平, 孙铁山, 卢明华. 北京高科技产业集聚过程及其影响因素. *地理学报*, 2003, 58(6): 927-936.]
- [24] Li Guoqi, Jin Fengjun, Chen Yu, et al. Location characteristics and differentiation mechanism of logistics industry based on points of interest: A case study of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1091-1103. [李国旗, 金凤君, 陈娱, 等. 基于POI的北京物流业区位特征与分异机制. *地理学报*, 2017, 72(6): 1091-1103.]
- [25] Zhang Jingqiu, Chen Yelong. Industrial distribution and clusters of urban office space in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(10): 1299-1308. [张景秋, 陈叶龙. 北京城市办公空间的行业分布及集聚特征. *地理学报*, 2011, 66(10): 1299-1308.]
- [26] Cao Fangjie, Xing Hanfa, Hou Dongyang, et al. Research on identification and spatial patterns of commercial centers in Beijing based on POI data. *Geomatics World*, 2019, 26(1): 66-71. [曹芳洁, 邢汉发, 侯东阳, 等. 基于POI数据的北京市商业中心识别与空间格局探究. *地理信息世界*, 2019, 26(1): 66-71.]
- [27] Qiu Y S, Zhu Z M, Huang H P, et al. Study on the evolution of B&Bs spatial distribution based on exploratory spatial data analysis (ESDA) and its influencing factors: With Yangtze River Delta as an example. *European Journal of Remote Sensing*, 2021, 54(Suppl.2): 296-308.
- [28] Chen Y M, Chen X Y, Liu Z H, et al. Understanding the spatial organization of urban functions based on co-location patterns mining: A comparative analysis for 25 Chinese cities. *Cities*, 2020, 97: 102563. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102563.
- [29] Meng Bin. The spatial organization of the separation between jobs and residential locations in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1457-1466. [孟斌. 北京城市居民职住分离的空间组织特征. *地理学报*, 2009, 64(12): 1457-1466.]
- [30] Liu Xiaoquan, Sun Tieshan, Li Guoping. Spatial restructuring of manufacturing industries in Beijing. *Geographical Research*, 2018, 37(8): 1575-1586. [刘霄泉, 孙铁山, 李国平. 北京市域制造业的空间演化特征. *地理研究*, 2018, 37(8): 1575-1586.]
- [31] Wang Chonglie, Chen Sijia. Review of Beijing's urban renewal practice. *Beijing Planning Review*, 2021(6): 26-32. [王崇烈, 陈思伽. 北京城市更新实践历程回顾. *北京规划建设*, 2021(6): 26-32.]
- [32] Sun Tieshan, Qi Yunlei, Liu Xiaoquan. Changing intra-metropolitan spatial distribution of employment with economic restructuring in Beijing metropolitan area. *Economic Geography*, 2014, 34(4): 97-104. [孙铁山, 齐云蕾, 刘霄泉. 北京都市区就业结构升级与空间格局演化. *经济地理*, 2014, 34(4): 97-104.]
- [33] Wang Dandan, Zhang Jingqiu. A study on suburbanization of office and its stages of development in Beijing urban area. *Journal of Beijing Union University (Natural Sciences)*, 2015, 29(3): 49-57, 73. [王丹丹, 张景秋. 北京城市办公郊区化及其发展阶段研究. *北京联合大学学报(自然科学版)*, 2015, 29(3): 49-57, 73.]

- [34] Duan Dezhong, Du Debin, Liu Chengliang. Spatial-temporal evolution mode of urban innovation spatial structure: A case study of Shanghai and Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1911-1925. [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. *地理学报*, 2015, 70(12): 1911-1925.]
- [35] Liu Kun, Shen Yuming, Liu Hui. Spatial distribution of producer services and manufacturing enterprises around the airport area: The case of Beijing Capital International Airport. *Areal Research and Development*, 2015, 34(4): 36-41. [柳坤, 申玉铭, 刘辉. 机场周边地区生产性服务业与制造业空间布局特征: 以首都机场为例. *地域研究与开发*, 2015, 34(4): 36-41.]
- [36] Cao Fangjie, Xing Hanfa, Hou Dongyang, et al. Research on identification and spatial patterns of commercial centers in Beijing based on POI data. *Geomatics World*, 2019, 26(1): 66-71. [曹芳洁, 邢汉发, 侯东阳, 等. 基于POI数据的北京市商业中心识别与空间格局探究. *地理信息世界*, 2019, 26(1): 66-71.]
- [37] Qiu Ling, Shen Yuming, Ren Wangbing. Industrial relevancy and spatial distribution between producer services and manufacturing in Beijing city. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(12): 1299-1310. [邱灵, 申玉铭, 任旺兵. 北京生产性服务业与制造业的关联及空间分布. *地理学报*, 2008, 63(12): 1299-1310.]
- [38] Mao Lijuan, Xia Jiechang. Spatial agglomeration and evolution of cultural and creative industries. *Social Scientist*, 2020 (6): 148-154. [毛丽娟, 夏杰长. 文化创意产业空间集聚及演化. *社会科学家*, 2020(6): 148-154.]
- [39] Zhang Xiaoping, Sun Lei. Manufacture restructuring and main determinants in Beijing metropolitan area. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1308-1316. [张晓平, 孙磊. 北京市制造业空间格局演化及影响因子分析. *地理学报*, 2012, 67(10): 1308-1316.]
- [40] Wu Xiaoxia, Gao Bo. Research on spatial layout optimization of high-end manufacturing industry in Beijing. *City*, 2021 (2): 3-11. [郭晓霞, 高博. 北京高端制造业的空间布局优化研究. *城市*, 2021(2): 3-11.]
- [41] Feng Pengfei, Shen Yuming. Co-agglomeration of producer services and manufacturing industry in Beijing. *Journal of Capital University of Economics and Business*, 2017, 19(2): 49-59. [冯鹏飞, 申玉铭. 北京生产性服务业和制造业共同集聚研究. *首都经济贸易大学学报*, 2017, 19(2): 49-59.]
- [42] Sun Yuhua, Chen Jinhua. Characteristics of spatial distribution of the cultural and creative industry agglomeration areas in Beijing. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Philosophy and Social Sciences)*, 2014, 17(2): 77-82. [孙玉华, 陈金华. 北京市文化创意产业集聚区空间特征探析. *福建农林大学学报(哲学社会科学版)*, 2014, 17(2): 77-82.]
- [43] Cui Nana, Feng Changchun, Song Yu. Spatial pattern of residential land parcels and determinants of residential land price in Beijing since 2004. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1049-1062. [崔娜娜, 冯长春, 宋煜. 北京市居住用地出让价格的空间格局及影响因素. *地理学报*, 2017, 72(6): 1049-1062.]
- [44] Li Xiuwei, Lu Lin. Evolution characteristics of industrial layout of Beijing. *Urban Studies*, 2011, 18(10): 50-56. [李秀伟, 路林. 北京市产业空间布局演变特征. *城市发展研究*, 2011, 18(10): 50-56.]
- [45] Song Jinping, Wang Enru, Zhang Wenxin, et al. Housing suburbanization and employment spatial mismatch in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 387-396. [宋金平, 王恩儒, 张文新, 等. 北京住宅郊区化与就业空间错位. *地理学报*, 2007, 62(4): 387-396.]
- [46] Zhang Chen. Retrospection and research on the development process of Beijing residential public service supporting facilities configuration standards//Urban Planning Society of China. *Spatial Governance for High Quality Development-Proceedings of the 2020 China Urban Planning Annual Conference (19 Housing and Community Planning)*. Chengdu, Sichuan China, 2021. [张晨. 北京居住公共服务配套设施配置标准发展历程回溯与研究//中国城市规划学会. 面向高质量发展的空间治理: 2020中国城市规划年会论文集(19住房与社区规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.]
- [47] Jiang Haibing, Zhang Wenzhong, Wei Sheng. Public service facility accessibility as influenced by public transportation in Beijing. *Progress in Geography*, 2017, 36(10): 1239-1249. [蒋海兵, 张文忠, 韦胜. 公共交通影响下的北京公共服务设施可达性. *地理科学进展*, 2017, 36(10): 1239-1249.]
- [48] Zhang Wenzhong, Liu Wang, Meng Bin. On location advantage value of residential environment (LAVRE) in the urban and suburban areas of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 115-121. [张文忠, 刘旺, 孟斌. 北京市区居住环境的区位优势度分析. *地理学报*, 2005, 60(1): 115-121.]
- [49] Chen Yuanyuan, Zhao Hongwei. Analysis on the development and evolution of high-tech industries in Beijing and its countermeasures. *Think Tank of Science & Technology*, 2021(5): 33-40. [陈媛媛, 赵宏伟. 北京高精尖产业发展演变分析与对策研究. *科技智囊*, 2021(5): 33-40.]
- [50] Gao Chen, Shen Yuming. Spatial pattern and evolution of manufacturing industry in Beijing city. *Areal Research and*

- Development, 2018, 37(5): 30-36. [高辰, 申玉铭. 北京市制造业空间格局及演变分析. 地域研究与开发, 2018, 37(5): 30-36.]
- [51] Wang Bei, Wang Liang, Liu Yanhua, et al. Characteristics of jobs-housing spatial distribution in Beijing based on mobile phone signaling data. *Progress in Geography*, 2020, 39(12): 2028-2042. [王蓓, 王良, 刘艳华, 等. 基于手机信令数据的北京市职住空间分布格局及匹配特征. 地理科学进展, 2020, 39(12): 2028-2042.]
- [52] Zheng Chunmei, Zhang Ying. Research on spatial development difference and influencing factors of cultural and creative industry in Beijing. *Journal of North China University of Technology*, 2019, 31(5): 8-15. [郑春梅, 张颖. 北京文化创意产业空间发展差异及影响因素研究. 北方工业大学学报, 2019, 31(5): 8-15.]
- [53] Liu Yanping. Study on the operation and management of community emergency facilities from the perspective of public health emergencies. *Policy Research & Exploration*, 2020(11): 20-22. [刘严萍. 突发公共卫生事件视角下社区应急设施运营管理研究. 决策探索(中), 2020(11): 20-22.]

Evolution of urban functional space in Beijing: Modes and aggregation laws

XU Shan¹, YUAN Xinmiao¹, DENG Yu²

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: Beijing has transitioned from the growth stage to the spatial renewal and improvement stage. Specifically, the evolution of urban functional space is an important symbol and spatial carrier in the process of development and transformation. This paper analyses structural modes and aggregation laws of spatial evolution based on long-term functional datasets, aiming to provide decision-making support and criteria for scientific reconstruction and refined governance of urban functional spaces. It is found in this study that: (1) the main centre of urban functional evolution of Beijing is located in the core area and migrates eastwards; the sub-centres and outer suburban centres are further formed, showing an evolutionary trend that polarisation goes before stabilisation; (2) the differentiation characteristics of the functional spatial pattern are significant; (3) the evolution of functional space presents a structural mode of polarisation of service function centres, sequential spillover of industrial function, and differentiation of residential function circles; (4) the aggregation laws of functional evolution include the separation of work and residence as a spatial response to the capital's service-oriented single-centre structure, the equalisation of public services as an important support for upgrading the quality of urban residential space, and the industrial agglomeration and transition as a key path for iteration.

Keywords: Urban space; urban function; urban renewal; sustainable development; spatial organisation; Beijing