

时空行为视角下多层级城市生活圈空间结构测度与类型划分研究*——以北京市为例

Spatial Structure Measurement and Classification of Multi-level Urban Life Circle from the Perspective of Space Time Behavior Analysis: A Case Study of Beijing

梁弘 鞠秋雯 柴彦威 金尚琪 孙道胜 张晓东 顾重泰

LIANG Hong, JU Qiuwen, CHAI Yanwei, JIN Shangqi, SUN Daosheng, ZHANG Xiaodong, GU Zhongtai

摘要 依据城市生活圈理论,基于时空大数据对北京市的多层级城市生活圈进行研究。利用社团识别、核密度估计和多算法聚类等技术手段,量化测度北京社区生活圈、通勤生活圈和扩展生活圈的空间结构,刻画居民活动产生的“社区—停留点—路径”网络,揭示了不同生活圈居民日常活动的时空规律。根据通勤及生活性出行的距离—概率曲线,利用基于Hausdorff距离的K-Medoids聚类算法对北京全市社区生活圈进行类型划分和特征归纳,同时选取代表性案例进行深入分析。研究发现北京全市生活圈依照不同出行特征可划分为均衡型、通勤依赖型、生活依赖型、廊道型及其他类型5大模式,其差异主要体现在就业活动和其他生活性活动圈层与居住地和城市中心的空间相对关系上,空间上呈现显著的圈层分布特征。研究为理解城市生活圈的空间结构提供了实证基础,并为城市规划和管理实践提供数据支持和决策参考。

Abstract Utilizing spatiotemporal big data, this study conducts empirical research on multi-level urban life circles in Beijing from the perspective of the urban life circle theory. Combining quantitative methods such as community detection, kernel density estimation, and multi-algorithm clustering, boundaries of community life circles, commuting life circles, and extended life circles in Beijing are analyzed respectively. A "community - stay point - path" network generated from residents' activities is mapped, which reveals spatiotemporal patterns of various daily travels of community life circles. Applying the K-Medoids clustering algorithm on Hausdorff distance between travel distance - probability curves of commuting and non-work trips separately, community life circles are classified into several distinct categories, upon which in-depth case studies are carried out. Results demonstrate that Beijing's life circles have five patterns: balanced, commute-dependent, life-dependent, corridor-oriented, and special pattern. Differences primarily exist in the spatial relativity of employment and activity life circles to places of residence and urban centers, showing significant concentric and polycentric spatial distribution. The study not only provides empirical insights into the spatial logic of urban life circles but also offers data-driven references for urban planning and governance practices.

关键词 生活圈;时空行为学;时空大数据;手机信令数据;K-Medoids聚类

Key words life circle; space-time behavior; spatiotemporal big data; cellular signaling data; K-Medoids clustering

文章编号 1673-8985 (2025) 03-0049-10 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20250307

作者简介

梁弘

北京市城市规划设计研究院数字技术规划中心
工程师,硕士

鞠秋雯

北京城恒数字科技有限责任公司 工程师,硕士

柴彦威

北京大学城市与环境学院 教授,博士生导师

金尚琪

北京城恒数字科技有限责任公司 工程师,硕士

孙道胜

北京市城市规划设计研究院数字技术规划中心
主任工程师,高级工程师,博士

张晓东

北京市城市规划设计研究院科技委副总师、数字
技术规划中心主任,正高级工程师,博士研究生

顾重泰 (通信作者)

北京市城市规划设计研究院数字技术规划中心
工程师,硕士, guzhongtai@bjghy.com

0 引言

党的二十大以来,以人为本的新型城镇化战略的深入实施成为政府工作的关键,重视社会建设、城市治理、人民福祉已经成为城市工作者的共识。城市规划工作的重点也应从对客观物质空间环境的安排逐渐转变为居民

*基金项目:国家自然科学基金面上项目“城市虚实活动系统的理论构建与北京实证研究”(编号42271199)资助。

个性化需求的深入捕捉、分析、解读和响应^[1]。在上述趋势下,2021年自然资源部发布《社区生活圈规划技术指南》,明确了社区生活圈的规划原则与要求,多个地方实践中也提出因地制宜的生活圈规划建设导则和实践方案^[2]。根据当前规划实践的各类指导文件,生活圈一般是指满足居民工作与生活的各类需求的基本空间单元,在操作层面普遍由一定时间的步行可达范围划定,在此基础上大多基于步行时间、用地面积、服务人口等指标开展服务设施的配置^[3-4]。然而,现有的工作方案尚未提出具有普适性或针对性的生活圈确切空间范围划定方法,固有的空间尺度和人口规模在以人为本的规划语境下的生活圈功能组织方面的适用性有待加强^{[5]68}。为在生活圈规划中贯彻集约共享的空间布局原则,现阶段城市规划实践工作迫切要求对城市生活圈进行边界划定与量化研究。

近年来,围绕生活圈的研究在空间上呈现出由区域到社区的微观化趋势。2010年代初的生活圈研究大多由交通领域的学者从区域交通联系和都市圈建设的角度开展^[6-7],2016年后生活圈的研究对象逐渐聚焦到社区的空间层面,学者们普遍以社区为研究的基本空间,围绕人居环境品质提升的理念,侧重于探讨公共服务设施布局的公平性与效率性^[8-9]。生活圈作为研究对象,不同学科的研究也给出了不同解答。部分学者认为,生活圈既具有丰富的时空尺度属性,又涵盖了人的日常活动、社交开展和价值实现的社会学内涵^[10]。袁家冬等^{[11]16}从城市地域系统的角度提出,日常生活圈是一种功能性的城市地域系统,可以我国行政区的最小区划单位为基础进行统计和研究。柴彦威等^[12]基于时空行为视角提出自下而上的多层级城市生活圈结构,并在此基础上提出“生活圈是以微观或汇总的‘生活’行为为基础的生活范围”^{[13]33},强调了时空行为在划定生活圈中的关键作用。基于时空行为理论与方法开展城市生活圈识别研究,能够切实从人本视角出发进行生活圈的划定、测度与评价,回答城市人与人

空间互动关系的问题,从而促进正面研究人、基于人、为人服务的城市研究与规划体系的建构。

实证研究方面,当前已有多种数据与方法被应用于生活圈的测度与评价研究。部分学者直接采用既有的行政边界或规划单元对生活圈的服务效用进行评价^[14-16],或提取关键的建成环境要素利用步行仿真模拟法划定15分钟生活圈^[17]。也有学者从居民的主观认知出发,利用访谈调查法进行社区或邻里空间的边界识别^[18-19],在一定程度上强调了人与建成环境的互动。为更真实反映居民的实际出行和对空间的真实需求,部分学者从居民的出行规律出发,基于居民GPS出行路径利用点集轮廓提取法^[20]或标准置信椭圆法^[21-22]划定生活圈。然而后两种方法在计算效率和研究空间范围等方面存在局限性。

新时空分析方法与城市大数据的融合演进为生活圈的研究提供了新机遇。基于位置服务(LBS)和手机信令等用户时空行为数据已成为研究者描绘居民日常出行范围、测度生活圈效能的重要数据来源。复杂网络等方法在区域空间尺度下的空间结构的探索呈上升趋势,如城市功能区、都市圈和城市群的联系紧密度认知与评价等领域^[23-25]。基于密度的方法主要划定服务范围和出行圈层,例如利用客流来源密度随距离衰减的突变点划定各等级城市公园的服务范围^{[26]1}。部分学者聚焦就业中心和商业中心的通勤与消费行为,划定中心的“势力范围”,探索城市空间功能结构^[27-28]。基于复杂网络的社区发现算法的优势在于能够高效地把作为节点的空间单元划分为内部联系紧密的组团,而密度方法适用于针对居住地出发的多层级出行范围划定,利用时空大数据、融合网络与密度两种方法,能够实现多层级城市生活圈的测度。

在出行范围识别的基础上,王德团队^[29-30]根据居民通勤出行和生活性出行空间圈层形态,综合距离—概率直方图、出行空间特征统计指标等因子对选定住宅区样本的出行模式类别进行了归纳。然而,上述研究中作为生活

圈测度和模式总结的基本空间单元是既有固定边界“住宅区”,限制了日常出行时空规律特征的挖掘和发现。本文认为基于居民的近家出行行为规律划定基本空间单元,进而针对空间单元的城市尺度通勤与非通勤出行特征进行聚类 and 类型归纳,能够支持更高效、更客观的城市生活圈时空规律探索。

本文基于柴彦威等^{[13]36-40}提出的多层级生活圈体系,利用手机信令数据,融合多种基于密度与网络的空间范围划定方法,划定北京市社区—通勤—扩展生活圈体系,测度归纳生活圈居民日常活动的时空规律,并在此基础上根据通勤及生活性出行的距离—概率曲线,利用K-Medoids聚类算法对全市社区生活圈进行类型划分和特征归纳,以发掘居住空间分异形成的典型出行模式,从而有效支持特大城市的功能布局、各层级服务设施配置、交通规划的现状服务效能评估和优化提升策略制定。

1 数据与方法

1.1 研究对象与技术路线

根据多层级生活圈理论,社区生活圈是满足居民日常基本活动需求的圈层,居民发生多次、短时、规律性行为的次数最多;通勤生活圈包含居民通勤及工作的圈层,通常以一日为尺度,空间上包括工作地及附近区域;扩展生活圈满足居民的偶发行为,空间尺度扩大到整个都市区范围内^{[11]16}。

研究基于手机信令数据,以用户居住地作为起点,提取停驻点—出行时空网络,根据出行目的与日期属性区分通勤、近家与远家扩展出行,分别划定社区、通勤和扩展生活圈,以社区生活圈为基本单元,根据通勤与扩展出行的距离—频率曲线为社区进行类别划分和特征提取,最终融合分类结果,归纳居民出行的时空共性与特异性(见图1)。

1.2 数据来源与研究范围

本文的基础数据集为2024年9月的手机信令数据,数据以geohash格网为空间单元,涵盖当月在北京市15天以上基站交互记录的

用户。数据内容包括用户ID（为保护用户隐私不可查看）、空间位置信息、日期、起止时间、基站所在格网边长等信息。

为提高研究样本的代表性,利用北京市建成区范围内的居住用地对应geohash格网筛选用户居住地,对本地常住居民进行样本选取。

1.3 数据处理

针对原始手机信令数据,首先进行乒乓误差和数据漂移矫正,去除冗余的记录;其次,针对每个用户的整月到访点记录进行DBSCAN聚类,将时间和空间上接近的数个到访点概括为一个停驻点,并计算停驻时长;再次,对全体样本居民分别统计一个月内的停驻点累计昼夜停留频次与时长,以每个居民夜间停留时长最长的停驻点作为本月的居住地,并根据累计月到访天数和每日白天停留时长确定部分用户的当月就业地,将其余未被识别为居住地和就业地的停驻点定义为其其他停驻地。依照上述数据清洗与样本筛选流程,得到全市研究样本用户775万,当月内平均每个用户产生家外停驻点66.5个。

以每一位用户的居住地为出发点,就业地和其他停驻点为目的,从个体层面分别构建全市通勤出行网络和非通勤出行网络。在非通勤网络中,选择直线距离小于2 km的近家

生活性出行用于社区生活圈的识别与划定。以社区生活圈为基本单元,利用通勤出行划定每个社区的通勤生活圈,将大于2 km的非通勤生活性出行依照工作日和非工作日划分,分别用于划定周中和周末扩展生活圈(见图2)。

1.4 社区生活圈划定

已有学者提出,15分钟生活圈对应的空间尺度包含半径从步行750 m到借助交通工具的3—5 km的范围^{[5]68}。本文基于全市常住用户的手机信令数据提取的家外驻留绘制出行距离—频数曲线,发现在距离居住地2 km处出现了频数突变,且2 km内出行占比为总量的11%。综合既有研究与研究数据,本文认为小于2 km的出行能够反映居民日常出行的时空共性特征,因此选取居住地2 km以内的非通勤出行进行社区生活圈的划定。

基于共享度矩阵的复杂网络的社区发现算法识别全市社区生活圈。根据以geohash格网为单元的居住地—近家生活性出行目的地构建居住栅格之间的距离加权的共享度矩阵,共享度 S_{ij} 能够表征两个居住格网*i*和*j*近家出行模式的相似程度,其计算公式如下:

$$S_{i,j} = \frac{1}{d_{ij}} \sum_{m=1}^m (\frac{P_{im} + P_{jm}}{2}) \quad (1)$$

式中:*m*为两个居住格网之间共同访问的周边格网; P_{im} 和 P_{jm} 分别为格网*i*和*j*访问第*m*个共享格网的次数; d_{ij} 为*i*和*j*两个格网质心之间的欧式距离。

研究采用莱顿算法(Leiden algorithm)进行聚类分析,该方法能够更精准地识别城市空间中的高互动区域,避免出现碎片化或割裂的生活圈单元^[31]。基于居住格网的共享度矩阵,聚类后识别划定活动分布共享的社区生活圈组团。

1.5 通勤与扩展生活圈划定

以社区生活圈的划定结果为基本空间单元,选择从各社区内部出发的通勤出行与大于2 km的周中、周末非通勤出行。密度衰减或密度梯度是城市经济学中使用的一种传统方法^[32],空间密度插值法可用于特定范围的划定^{[26]4, [33]}。本文引入城市经济学中基于空间概率的核密度估计与插值法,分别划定通勤生活圈、周中和周末的扩展生活圈。

在提取居民通勤和生活性出行的基础上,以社区生活圈和250 m×250 m格网聚合出行网络的起点和终点。为消除社区出行人口规模差异,以到达格网频数除以来源社区的总出行频次,计算每个社区到每个格网的通勤、周中扩展和周末扩展出行的频率。针对每个社区将各类出行的频次值由大到小进行排序,按顺序进行累加,当累加之和达到或恰好超过50%时,停止累加并计算最后相加的格网的频率密度,利用此频率密度作为频率核密度预测等值线图的临界值,划定该社区此类出行圈层范围(见图3)。本文将以此法划定的通勤、周中扩展和周末扩展出行范围

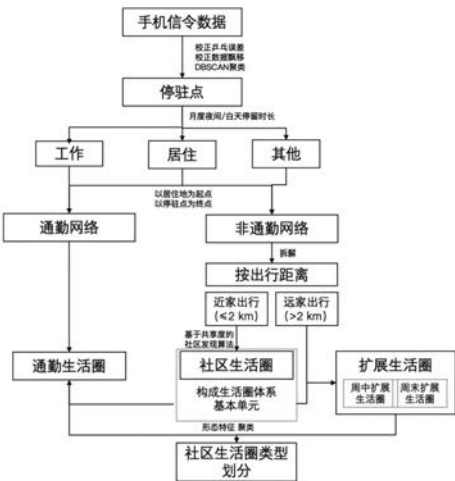


图1 研究技术路线图
Fig.1 Diagram of research framework

资料来源:笔者自绘。

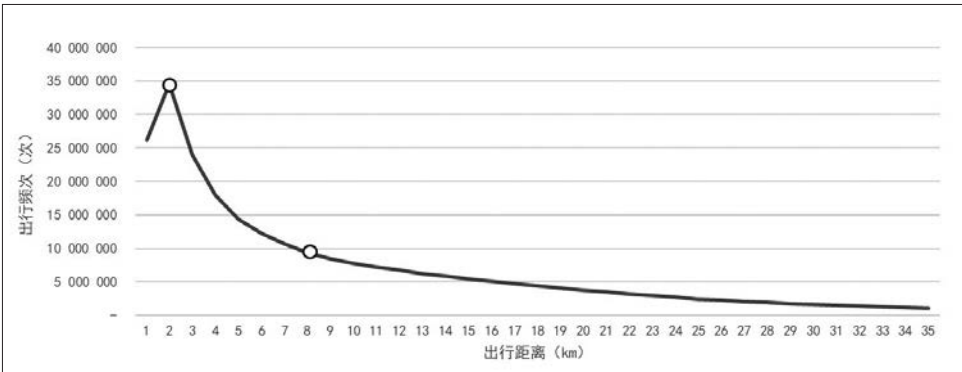


图2 北京市居住格网居民出行欧式距离分布曲线
Fig.2 Euclidean distance-frequency curve of trips of residents in residential grids of Beijing

资料来源:笔者自绘。

分别定义为以社区为基础的通勤和周中、周末扩展生活圈。

1.6 生活圈类别划分

利用密度插值法划定的通勤与扩展生活圈边界能够具象地描绘居民日常出行时空特征,但单一取值划定的空间圈层并不能全面反映出行频率随距离增加的衰减特征和社区间衰减规律的细微差异。本文利用出行距离—频率分布曲线反映社区居民的通勤与生

活出行人口比例等单一维度指标提供更为具象的信息。为消除社区出行人口规模差异,以2 km作为统计区间,统计社区出行距离落在各区间的频数占社区总出行的比例,最终得到出行距离—频率曲线。笔者借助基于分割的聚类分析方法,将出行距离分布作为居住区样本的特征进行聚类,总结并归纳不同社区的通勤生活圈与扩展生活圈的空间形态特征,进而发掘时空间行为与城市功能之间的耦合关系。

分割聚类通常采用K均值 (K-means) 聚

类方法和K中心点 (K-mediods) 聚类方法。与K-means法相比, K-mediods法以最具代表性的观测值表示簇的中心,能够更有效地解决“噪声”敏感的问题,更为稳健^[34]。本文应用K-mediods算法聚类多个社区的通勤与非通勤出行的距离—频率分布曲线,算法关键步骤如下:

首先,随机选取K个居住区的出行距离分布曲线作为中心点集合。计算每个样本点到每个中心点的Hausdorff距离,将样本点放入离中心点距离最近的聚类中。

其次,在每个聚类中,选择与聚类中每个样本点的距离绝对误差最小的点作为新的中心点。聚类误差平方和 (sum of squared error, SSE) 可由下式计算:

$$SSE = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M (H(X_{km}, C_k))^2 \quad (2)$$

式中:K表示最终期望的分类数;X_{km}表示第k个聚类中的第m个样本点;M为第k个聚类的样本点数;C_k是第k个聚类的中心点。

最后,如果新的中心点集与原中心点集相同,则算法终止;如果新的中心点集与原中心点集不一致,则返回上一步。

K-mediods算法需要预先确定聚类数量。本文选取轮廓系数作为聚类数量评价指标,为了保证每个聚类簇的分类效果,每类的平均轮廓系数的最低值将作为第二个评价指标。每个样本点的轮廓系数计算公式如下:

$$S_i = \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)} \quad (3)$$

式中:a_i表示样本i到类内其他样本的平均

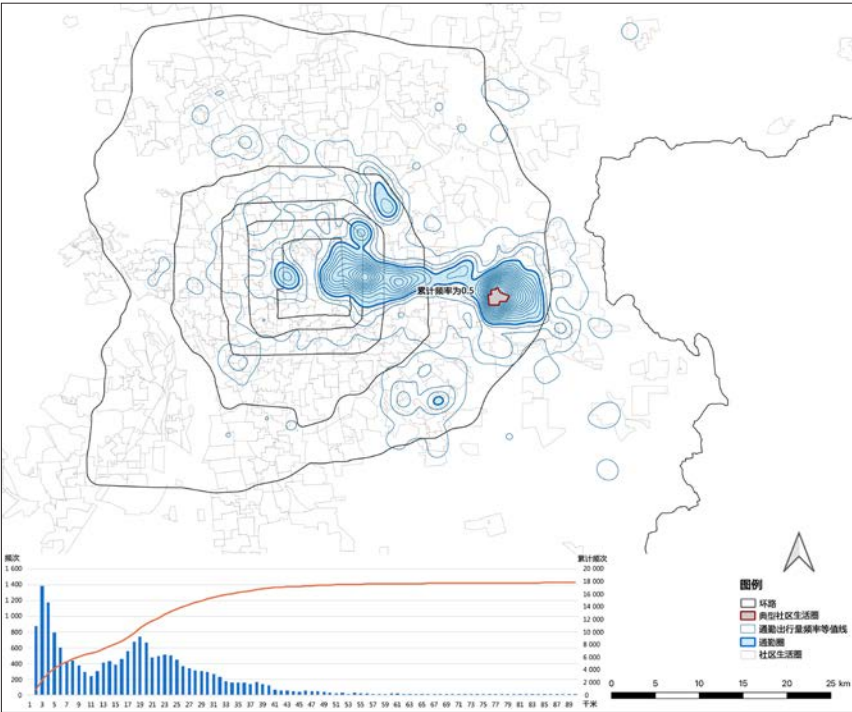
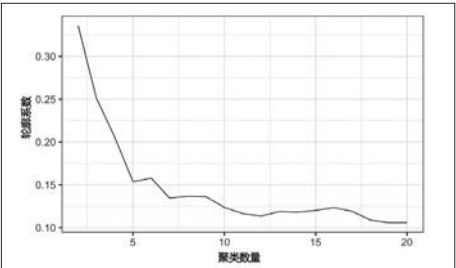
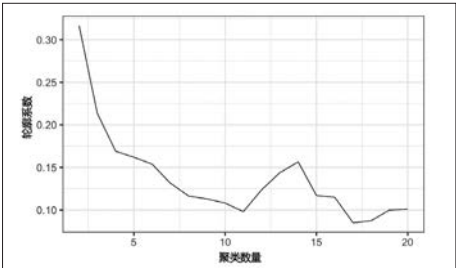


图3 通勤与扩展生活圈的划定方法示意图
Fig.3 An example of recognizing commuting and expanded life circles

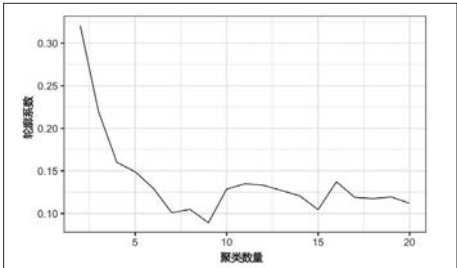
资料来源:笔者自绘。



a 通勤生活圈



b 周中扩展生活圈



c 周末扩展生活圈

图4 3类生活圈聚类数量与轮廓系数关系图
Fig.4 Cluster number - silhouette coefficient curves of three types of life circles

资料来源:笔者自绘。

距离; b_i 表示样本*i*与最近类中所有样本点的平均距离。最终的轮廓系数为*n*个样本点的轮廓系数的平均值,如下式所示:

$$S = \frac{1}{n} \sum_i^n S_i \tag{4}$$

轮廓系数的取值在 (-1, 1) 之间,平均轮廓系数值越大,代表簇内紧密度越高、簇间分离度越大,聚类效果越好。依据聚类簇数—轮廓系数曲线分别为通勤、周中扩展和周末扩展选择16、14和16作为聚类数量 (见图4)。最终根据聚类结果、出行距离—概率曲线形态及生活圈形态等可视化结果,将社区分类进一步聚合,分别形成8、6、8类。

在3类生活圈各自的K-mediods聚类结果基础上,构建多层次生活圈综合分类体系。结合社区生活圈的通勤、周中与周末扩展出行空间特征,根据上述划分结果为全市社区划分综合类别,并归纳其空间结构特征。

2 北京城市生活圈特征

2.1 社区生活圈划分及特征

采用基于共享度矩阵的Leiden社区发现算法,在北京市共识别社区生活圈532个,其中三环内38个 (7.1%)、三至四环39个 (7.3%)、四至五环75个 (14.1%)、五至六环225个 (42.3%)、六环外155个 (29.1%)。北京社区生活圈面积呈现出“中心紧凑、外围

扩散”的空间分异规律,具体表现为三环内至六环外社区生活圈面积中位数逐渐递增,分别为三环内3.32 km²、三四环间3.58 km²、四五环间3.56 km²、五六环间3.80 km²、六环外4.73 km²。同时,四环内社区生活圈面积大小相对均质,越向外围,社区生活圈面积变化差异越为显著。从居住人口来看,从内城向外社区生活圈的人口密度逐渐减低,三环内社区生活圈居民密度中位数 (1.98万人/km²) 下降至六环外居民密度中位数 (0.23万人/km²)。

社区生活圈的空间规模直观映射居民日常活动范围紧凑程度。中心城区较小的面积源于高功能混合度与设施密集布局,支持步行主导的集约化生活模式;外围区域则因设施离散化分布而需更大的活动空间 (见图5-图6)。同时,社区生活圈居民密度与空间规模呈负相关关系,且当人口密度达到1万人/km²阈值以上时,面积稳定于3 km²左右 (见图7)。这表明较高的人口集聚水平可有效提升服务设施的规模效应,驱动公共服务设施与商业设施协同优化配置,从而使居民日常需求能在紧凑空间内实现集约化满足。但当人口密度突破该临界值后,设施供给密度趋于饱和状态,成为社区生活圈空间规模稳定的内在约束机制。

2.2 通勤生活圈分类及特征

基于居民通勤行为划定从单个社区生

活圈出发的通勤圈,采用Hausdorff距离矩阵的K-Medoids聚类算法将通勤生活圈划分为8种类型,并参考通勤圈形态最终整合形成单中心型 (20.9%)、多中心型 (40.0%) 与廊道型 (39.1%) 3大类别 (见表1)。类型空间分布呈现显著结构化特征:单中心型通勤生活圈主要集中于城市高等级就业中心周边 (CBD、金融街、中关村、上地、丰台科技园、亦庄) 及外围远郊城区 (昌平、密云、怀柔、延庆);多中心型通勤生活圈集中分布于四环内区域,依托良好的交通可达性与主要就业中心形成多向联系;廊道型通勤生活圈则沿轨道交通线路末端延展,典型分布区包括西南部燕房线、南部大兴线、东部1/6号线、东北部机场线、北部5/8号线及西北部昌平线沿线区域 (见图8)。

2.3 扩展生活圈分类及特征

基于相同方法论框架,工作日与周末扩展生活圈分别被划分为6类与9种亚型,最终整合为单中心型 (工作日30.1%/周末41.9%)、多中心型 (工作日11.2%/周末23.4%) 及廊道型 (工作日58.7%/周末34.8%) 3大类别 (见表2-表3)。工作日扩展生活圈形态结构相对单一,与通勤生活圈具有形态相似性,但廊道型主导特征显著 (占比58.7%),空间分布呈现典型圈层结构:三环内以单中心型集聚为

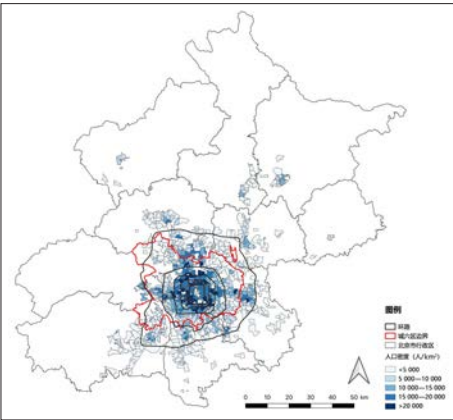


图5 社区生活圈居住人口密度空间分布图
Fig.5 Distribution of resident density of community life circles

资料来源:笔者自绘。

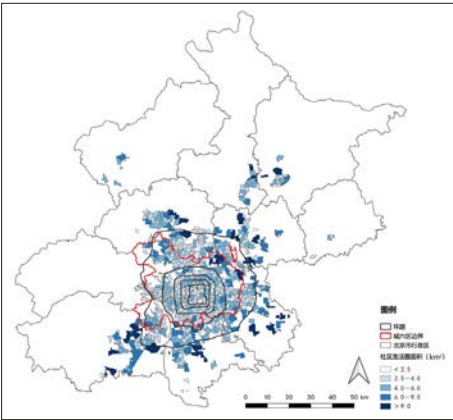


图6 社区生活圈面积规模空间分布图
Fig.6 Spatial distribution of area of community life circles

资料来源:笔者自绘。

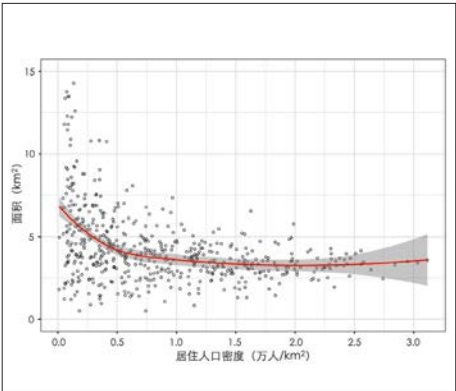


图7 北京全市社区生活圈居住人口密度与面积关系图
Fig.7 Relationship between resident density and area of community life circles in Beijing

资料来源:笔者自绘。

主,三至五环间过渡带形成多中心型密集区,五环外则表现为廊道型主导,同时远郊城区(延庆、平谷、怀柔)存在离散分布的单中心型(见图9)。

周末扩展生活圈则表现出更强的空间异质性,单中心型主导地位强化(占比41.9%)

表1 通勤生活圈类型模式与特征
Tab.1 Patterns and features of commuting life circle categories

类别	名称	个数/个	模式	距离分布	描述
单中心	A1强单中心	68			工作地高度集中在居住地周边,集聚性强且集聚范围小,50%的居民通勤距离小于3.3 km
	A2偏心单中心	41			工作地在距居住地约4 km处形成集聚
多中心	B1强主中心+多次中心	77			工作地集中在居住地周边,集聚程度小于A1模式
	B2主中心+多次中心	54			工作地在居住地周边形成集聚,同时在5—10 km周边形成多个集聚中心
	B3泛中心	83			工作地没有明显的高度集聚性,50%的居民通勤距离小于6.49 km
廊道	C1主中心+廊道	71			工作地在居住地周边集聚,同时在5—15 km范围内呈现廊道状分布的形态
	C2主中心+远距离次中心	62			工作地在居住地周边少量集聚,沿廊道扩展,并在远距离(20—30 km)处集聚
	C3廊道	75			工作地在居住地周边没有明显的集聚性,呈廊道状蔓延,通勤距离中位数为9.75 km

资料来源:笔者自制。

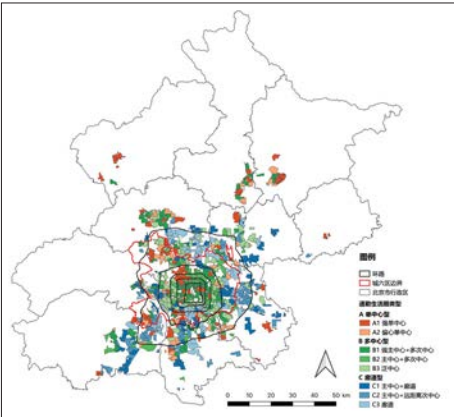


图8 通勤生活圈类别划分结果
Fig.8 Classification results of commuting life circles
资料来源:笔者自绘。

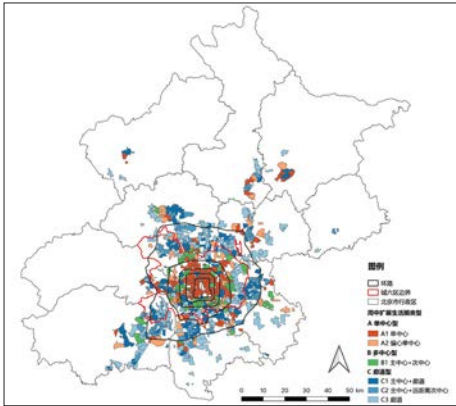


图9 周中扩展生活圈类别划分结果
Fig.9 Classification results of weekday expanded life circles
资料来源:笔者自绘。

的同时,涌现出双主中心结构等空间组织模式(见图10)。此类结构多分布于某类功能中心10 km辐射范围内,与社区生活圈形成紧密的联系,反映出社区生活圈与区域性服务设施的空间协同性。空间分布整体维持圈层特征,但存在区域分异:六环内多保持“中心单核—外围廊道”的经典模式,而西北部昌平城区及远郊城区(怀柔、密云)则形成逆向圈层结构——城区外围出现单中心型密集区,城区核心区反而呈现与中心城区连接的廊道化延伸特征。

3 多层级城市生活圈综合类别划分

3.1 多层级生活圈类型划分与特点

通过集成通勤生活圈与周中/周末扩展生活圈的空间特征,构建多层级生活圈综合分类体系,识别出均衡型(33.1%)、通勤依赖型(18.6%)、生活依赖型(14.1%)、廊道型(20.3%)及其他类型(13.9%) 5大模式。在全市的空间分布如图11所示。

生活圈的5大模式的差异主要体现在就业活动和其他生活性活动圈层与居住地和城市中心的空间相对关系上,5个模式的具体特征如下:

(1) 均衡型:这类社区的通勤与扩展生活圈均呈现单中心或多中心结构,居民在围绕居住地3—5 km半径范围内实现就业与生活性活动的自足,日常出行时空成本较为合

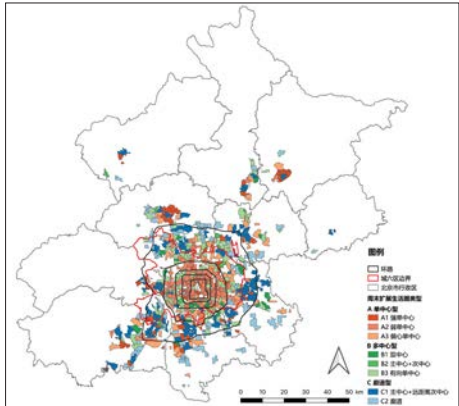


图10 周末扩展生活圈类别划分结果
Fig.10 Classification results of weekend expanded life circles
资料来源:笔者自绘。

理。此类模式的典型多层级生活圈空间范围见图12a。

(2) 通勤依赖型:这类社区是廊道型通勤圈与单中心周末扩展生活圈的空间耦合,居民就业活动依赖城市中心,日常生活性活动的需求如购物、游憩、就医等能在居住地周围3—7 km范围内被满足。这反映出城市边缘区域就业—服务设施的空间失衡,区域性功能中心得到充分培育,但高等级就业中心仍未形成。此类模式的典型多层级生活圈空间范围见图12b。

(3) 生活依赖型:此类社区是单中心或多中心通勤圈与廊道型周末生活圈的空间叠合,与通勤依赖型相反,居民就业活动在居住地周边开展,但日常生活性活动高度依赖城市中心的服务,这折射出城市近郊就业中心配套服务设施供给结构性短缺的问题。外围居民需通过6—12 km跨区出行满足较高级别的生活性需求,如娱乐、购物、就医等。此类社区的多层级生活圈空间范围见图12c。

(4) 廊道型:此类社区是通勤与扩展生活圈双重廊道化的结果,居民的就业活动与生活性活动均依赖城市主中心,映射出城市边缘区就业岗位与各类服务设施的匮乏。此类型的多层级生活圈空间范围见图12d。

(5) 其他类型:呈现“工作日廊道—周末多中心”非常规组合,多分布于高校分校区与企业分支机构聚集带。此类型大多具有廊道型

表2 周中扩展生活圈类型模式与特征
Tab.2 Patterns and features of weekday expanded life circle categories

类别	名称	个数/个	模式	距离分布	描述
单中心	A1单中心	105			活动地高度集中在居住地周边,集聚性强且集聚范围小,小于5 km的出行约占所有出行的45%
	A2偏心单中心	56			周中活动地在距居住地约4 km处形成集聚
多中心	B1主中心+次中心	60			周中活动地在居住地周边集聚,同时距居住地约6 km处形成次级集聚地
	C1主中心+廊道	100			周中活动地在居住地周边高度集中,同时在5—18 km处呈廊道向外扩展
廊道	C2主中心+远距离次中心	66			周中活动地在居住地周边集聚,在6—14 km范围内较为稀疏,并在18—20 km处形成远距离集聚中心
	C3廊道	144			周中活动地沿廊道向外延伸,没有明显的点状集聚特征

资料来源:笔者自制。

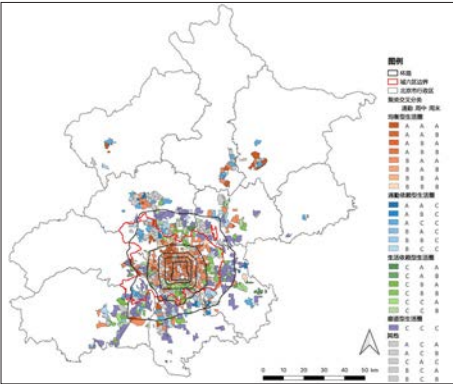


图11 多层级生活圈综合分类结果
Fig.11 Comprehensive classification results of multi-level life circles

资料来源:笔者自绘。

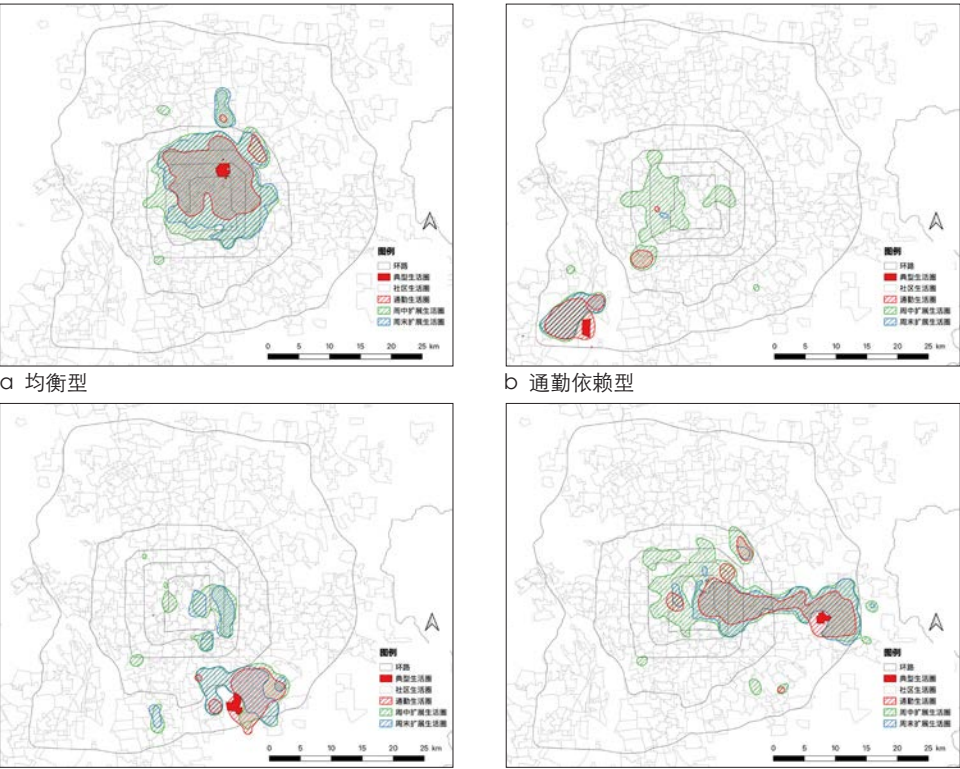


图12 4类典型社区通勤与扩展生活圈测度结果
Fig.12 Commuting and expanded life circles delineating results of four typical communities

资料来源:笔者自绘。

表3 周末扩展生活圈类型模式与特征
Tab.3 Patterns and features of weekend expanded life circle categories

类别	名称	个数/个	模式	距离分布	描述
单中心	A1强单中心	47			周末活动地高度集中在居住地周边,集聚性强且集聚范围小
	A2弱单中心	114			周末活动地在居住地周边集聚,集聚性较A1弱,且范围大
	A3偏心单中心	63			周末活动地在距居住地约4 km处形成集聚
多中心	B1双中心	18			周末活动地在居住地周边集聚,且在6 km处形成与居住地周边集聚度接近的中心
	B2主中心+次中心	10			周末活动地在居住地周边集聚,且在10 km处形成较弱的集聚中心
	B3有向单中心	95			周末活动地在居住地周边集聚,且向一个方向延伸,延伸范围约10 km
廊道	C1主中心+远距离次中心	103			周末在居住地周边高度集聚,沿廊道扩展,并在远距离(15—25 km)处集聚
	C2廊道	81			周末活动地没有明显的集聚性,呈廊道状蔓延,出行距离中位数为14.93 km

资料来源:笔者自制。

的工作日扩展生活圈和非廊道型的通勤与周末扩展生活圈,反映专业化功能组团对居民时空行为的异化影响。

3.2 空间结构特征

从空间结构上看,各类别的生活圈具有显著的空间圈层分布特征。均衡型生活圈集中分布于北四环至南三环的核心城区,并沿东北向望京外延伸至五环外。该地区高等级就业中心及完善的生活商业设施在一定范围内满足居民的各级各类需求,形成了较为理想的多层级生活圈结构。例如,和平里的居民的多层级生活圈均位于中心城区偏北,就业与生活活动大多在居住地周边开展(见图12a)。

通勤依赖型生活圈则主要集聚于东南三环至五环过渡带及天通苑等成熟居住区,其

“生活设施完善—就业中心缺失”的职住空间失衡特征,导致居民需通过8—15 km长距离通勤满足就业需求。例如,房山良乡居民通勤和周中扩展生活圈沿房山线、轨交9号线及其他线路延申至中心城区西侧,周末扩展生活圈仅围绕居住地周边形成(见图12b)。

与通勤依赖型生活圈形成对比的是生活依赖型生活圈的空间分布模式,其围绕上地、亦庄等新兴产业集聚区形成环状分布带,展现出“就业中心极化—服务设施滞后”的特征,居民在保持3—5 km通勤优势的同时,需通过6—12 km跨区出行满足高阶生活消费需求。例如,博兴居民通勤生活圈紧密围绕亦庄新城展开,但周中、周末扩展生活圈均涉及朝阳区更高级的城市功能中心(见图12c)。廊道型生活圈沿六环轨道交通末端呈带状延展,其双

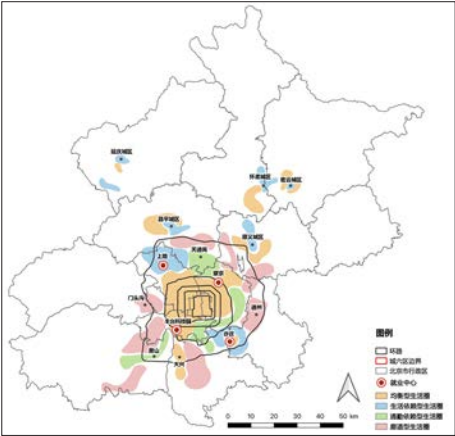


图13 生活圈综合分类主要空间分布示意图
Fig.13 Schematic map of distribution of comprehensive life circle classification results
资料来源:笔者自绘。

重廊道化特征映射出城市边缘区对中心城功能的多维度依赖,并通过轨道交通实现以空间换时间来满足该区域居民的多层级需求。例如,通州果园的居民多层级生活圈沿轨交1号线、6号线向中心城区蔓延,就业与生活均依赖轨道交通与中心城区的功能中心产生紧密联系(见图12d)。

值得注意的是,外围新城呈现出差异化复合结构(见图13):西南部亦庄新城呈现“生活依赖型外围包裹均衡型核心”的结构,印证了区域级商业中心对核心区服务效能提升的辐射作用;而北部外围城区则形成“均衡型外围环绕生活依赖型核心”的逆向空间组织,揭示了中心地区高需求群体与郊区基础服务供给的结构性错配,仍需远距离出行满足其高等级需求。

4 结论

本文基于手机信令数据,从时空行为视角构建了北京市社区—通勤—扩展(周中/周末)多层级生活圈测度体系,结合K-Medoids聚类算法对多层级生活圈进行了综合类型划分,揭示了居民日常活动的空间组织规律。研究划定社区生活圈532个,并呈现显著的“中心紧凑—外围扩散”的空间分异特点,居民实际的近家活动范围反映了居民区生活类服务设施的供给密度,其面积与人口密度

呈非线性负相关的特点也揭示了人口集聚规模对服务设施规模效应的提升作用及其上限水平。

通勤与扩展生活圈的聚类分析结果表明,各类生活圈呈现显著的空间圈层结构:中心城区及远郊城区以单中心型为主,过渡带以多中心型为主导,城市外围轨道沿线末端则以廊道型为典型特征,共计识别出22个子类型。进一步整合形成“均衡型”“通勤依赖型”“生活依赖型”“廊道型”4类主导模式,突破了单一维度城市功能结构分析的局限,系统揭示了城市不同区域的发展阶段特征与居民供需匹配关系。其中“通勤依赖型”和“生活依赖型”分别反映了产业功能与生活功能的单极发展态势,揭示了部分区域功能失衡导致的通勤或生活圈外延现象;“廊道型”则集中分布于城市边缘轨道沿线,依托轨道交通与中心城区的时空压缩效应弥补本地功能短板。值得注意的是,远郊城区出现的“均衡型”环绕“生活依赖型”的逆向空间结构,揭示了供需关系不仅包含数量规模层面的匹配,也可能因为高需求群体与基础服务供给的结构性错配而导致生活圈外延。

本文所归纳的多层级生活圈空间结构同时揭示了北京城市空间结构转型的阶段性特征:尽管单中心发展模式仍主导着城市功能格局(表现为外围廊道型主导),但在外围多点地区的新城培育已初现成效(如上地、亦庄等单中心型通勤圈的形成)。当前空间矛盾集中体现为“中心化—边缘依赖”的双重困境——中心城区面临设施饱和压力,而新兴就业中心尚未实现职住和扩展生活功能协同,导致轨道交通末端形成大量补偿性廊道型生活圈。要突破这一发展瓶颈,需在强化昌平、大兴、房山、通州等外围新城产业集聚的同时,重点推进高等级公共服务设施定向疏解与15分钟社区生活圈建设,通过就业—居住—服务三重协同推动城市结构向多中心网络化转型,例如,加强上地地区(生活依赖型)与回龙观—天通苑地区(通勤依赖

型)的联系,如建立更便捷的交通廊道促进资源互补的协同发展。这不仅是对新型城镇化战略的实践响应,更是实现人本导向空间治理、破解城市病的关键路径。

参考文献 References

- [1] 柴彦威,李春江.城市生活圈规划:从研究到实践[J].城市规划,2019,43(5):9-16.
CHAI Yanwei, LI Chunjiang. Urban living circle planning: from research to practice[J]. City Planning Review, 2019, 43(5): 9-16.
- [2] 中华人民共和国自然资源部.社区生活圈规划技术指南(TD/T 1062-2021)[S].2021.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Spatial planning guidance: community life unit (TD/T 1062-2021)[S]. 2021.
- [3] 上海市规划和国土资源管理局.上海市15分钟社区生活圈规划导则[Z].2016.
Shanghai Planning and Land Resource Administration Bureau. Shanghai planning guidance of 15-minute community-life circle[Z]. 2016.
- [4] 杜伊,金云峰.社区生活圈的公共开放空间绩效研究——以上海市中心城区为例[J].现代城市研究,2018(5):101-108.
DU Yi, JIN Yunfeng. Performance evaluation of public open space in community life cycle level: a case study of downtown of Shanghai[J]. Modern Urban Research, 2018(5): 101-108.
- [5] 钱征寒,刘泉,黄丁芳.15分钟生活圈的三个尺度和规划趋势[J].国际城市规划,2022,37(5):63-70.
QIAN Zhenghan, LIU Quan, HUANG Dingfang. Three scales and planning trends of 15-minute life circle[J]. Urban Planning International, 2022, 37(5): 63-70.
- [6] 邵源,李贵才,宋家骅,等.大珠三角构建优质生活圈的“优质交通系统”发展策略[J].城市规划学刊,2010(4):22-27.
SHAO Yuan, LI Guicai, SONG Jiahua, et al. Strategy for quality transport system in the Greater Pearl River Delta Region towards a quality living

- area[J]. Urban Planning Forum, 2010(4): 22-27.
- [7] 张亦汉,李利红.广州一小时生活圈的划分及其变化分析[J].中山大学学报(自然科学版),2014,53(3):140-145.
ZHANG Yihan, LI Lihong. The division and analysis of one hour living circle in Guangzhou[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2014, 53(3): 140-145.
- [8] 常飞,王录仓,马玥,等.城市公共服务设施与人口是否匹配?——基于社区生活圈的评估[J].地理科学进展,2021,40(4):607-619.
CHANG Fei, WANG Lucang, MA Yue, et al. Do urban public service facilities match population demand? Assessment based on community life circle[J]. Progress in Geography, 2021, 40(4): 607-619.
- [9] 马文军,李亮,顾娟,等.上海市15分钟生活圈基础保障类公共服务设施空间布局及可达性研究[J].规划师,2020,36(20):11-19.
MA Wenjun, LI Liang, GU Juan, et al. Research on spatial layout and accessibility of infrastructural public service facilities in the 15-minute life circle, Shanghai[J]. Planners, 2020, 36(20): 11-19.
- [10] 金云峰,袁轶男,梁引馨,等.人民城市理念下休闲生活圈规划路径——基于城市社会学视角[J].园林,2021,38(5):7-12.
JIN Yunfeng, YUAN Yi'nan, LIANG Yinxin, et al. Planning path of leisure life circle under the concept of People's City—based on the perspective of urban sociology[J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2021, 38(5): 7-12.
- [11] 袁家冬,孙振杰.关于我国城市统计区重建的地理学研究[J].地理科学进展,2005(4):11-18.
YUAN Jiadong, SUN Zhenjie. A geography study on reconstruction of urban statistical area in China[J]. Progress in Geography, 2005(4): 11-18.
- [12] 柴彦威,张雪,孙道胜.基于时空行为的城市生活圈规划——以北京市为例[J].城市规划学刊,2015(3):61-69.
CHAI Yanwei, ZHANG Xue, SUN Daosheng. A study on life circle planning based on space time behavioral analysis: a case study of Beijing[J]. Urban Planning Forum, 2015(3): 61-69.
- [13] 孙道胜,柴彦威.城市社区生活圈规划研究[M].南京:东南大学出版社,2020.
SUN Daosheng, CHAI Yanwei. Research on urban community life sphere planning[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2020.
- [14] 张琬昕,杨超.基于过剩生活出行的15分钟社区生活圈评价指标[J].同济大学学报(自然科学版),2025,53(2):272-279.
ZHANG Wanxin, YANG Chao. Evaluation indicators of 15-minute community-life circle based on excess living-trip[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2025, 53(2): 272-279.
- [15] 曾祥侠,吕浪,唐洪刚.社区生活圈视角下的公共服务设施空间分异研究[J].水利规划与设计,

- 2025 (3): 31-38.
ZENG Xiangxia, LYU Lang, TANG Honggang. Research on the spatial differentiation of public service facilities from the perspective of community life circle: taking the central urban area of Guiyang City as an example[J]. Water Resources Planning and Design, 2025(3): 31-38.
- [16] 韩增林, 李源, 刘天宝, 等. 社区生活圈公共服务设施配置的空间分异分析——以大连市沙河口区为例[J]. 地理科学进展, 2019, 38 (11): 1701-1711.
HAN Zenglin, LI Yuan, LIU Tianbao, et al. Spatial differentiation of public service facilities' configuration in community life circle: a case study of Shahekou District in Dalian City[J]. Progress in Geography, 2019, 38(11): 1701-1711.
- [17] 车冠球, 兰旭, 王倚天. 居民步行仿真模拟下的生活圈居住区空间优化[J]. 南方建筑, 2025 (2): 21-29.
CHE Guanqiong, LAN Xu, WANG Yitian. Spatial optimization of residential areas in the living circle based on residents' walking simulations[J]. South Architecture, 2025(2): 21-29.
- [18] CAMPBELL E, HENLY J R, ELLIOTT D S, et al. Subjective construction of neighborhood boundaries: lessons from a qualitative study of four neighborhoods[J]. Journal of Urban Affairs, 2010, 31(4): 461-490.
- [19] CHO C M, CHOI Y S. The effect of resident-perceived neighborhood boundary on the equity of public parks distribution: using GIS[C]/International Workshop on Web and Wireless Geographical Information Systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005: 296-307.
- [20] 孙道胜, 柴彦威, 张艳. 社区生活圈的界定与测度: 以北京清河地区为例[J]. 城市发展研究, 2016, 23 (9): 1-9.
SUN Daosheng, CHAI Yanwei, ZHANG Yan. The definition and measurement of community life circle: a case study of Qinghe Area in Beijing[J]. Urban Development Studies, 2016, 23(9): 1-9.
- [21] 邹思聪, 张姗琪, 甄峰. 基于居民时空行为的社区日常活动空间测度及活力影响因素研究: 以南京市沙洲、南苑街道为例[J]. 地理科学进展, 2021, 40 (4): 580-596.
ZOU Sicong, ZHANG Shanqi, ZHEN Feng. Measurement of community daily activity space and influencing factors of vitality based on residents' spatiotemporal behavior: taking Shazhou and Nanyuan Streets in Nanjing as examples[J]. Progress in Geography, 2021, 40(4): 580-596.
- [22] 申悦, 柴彦威. 基于GPS数据的北京市郊区巨型社区居民日常活动空间[J]. 地理学报, 2013, 68 (4): 506-516.
SHEN Yue, CHAI Yanwei. Daily activity space of suburban mega-community residents in Beijing based on GPS data[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(4): 506-516.
- [23] MA S, LONG Y. Functional urban area delineations of cities on the Chinese Mainland using massive Didi ride-hailing records[J]. Cities, 2020, 97(2): 102532.
- [24] ZHANG X, WANG H, NING X, et al. Identification of metropolitan area boundaries based on comprehensive spatial linkages of cities: a case study of the Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2022, 11(7): 396.
- [25] CHEN T, GU Y, ZOU B. Delineating China's metropolitan areas using commuting flow data[J]. SSRN, 2022: 4052749.
- [26] GUAN C H, SONG J, KEITH M, et al. Delineating urban park catchment areas using mobile phone data: a case study of Tokyo[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2020, 81: 101474.
- [27] 王德, 王灿, 谢栋灿, 等. 基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较——以南京东路、五角场、鞍山路为例[J]. 城市规划学刊, 2015 (3): 50-60.
WANG De, WANG Can, XIE Dongcan, et al. Comparison of retail trade areas of retail centers with different hierarchical levels: a case study of East Nanjing Road, Wujiaochang, Anshan Road in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2015(3): 50-60.
- [28] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 上海中心城就业中心体系测度——基于手机信令数据的研究[J]. 地理学报, 2016, 71 (3): 484-499.
DING Liang, NIU Xinyi, SONG Xiaodong. Measuring the employment center system in Shanghai central city: a study using mobile phone signaling data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(3): 484-499.
- [29] 王德, 李丹, 傅英姿. 基于手机信令数据的上海市不同住宅区居民就业空间研究[J]. 地理学报, 2020, 75 (8): 1585-1602.
WANG De, LI Dan, FU Yingzi. Employment space of residential quarters in Shanghai: an exploration based on mobile signaling data[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(8): 1585-1602.
- [30] 傅英姿, 王德. 上海市典型住宅区生活空间结构模式研究[J]. 地理科学进展, 2021, 40 (4): 565-579.
FU Yingzi, WANG De. Living space structural pattern of typical residential areas in Shanghai[J]. Progress in Geography, 2021, 40(4): 565-579.
- [31] TRAAG V A, WALTMAN L, VAN ECK N J. From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 1-12.
- [32] LOUAIL T, LENORMAND M, ROS O G C, et al. From mobile phone data to the spatial structure of cities[J]. Scientific Reports, 2014, 4: 5276.
- [33] 吴康敏, 王洋, 叶玉瑶, 等. 广州市零售业态空间分异影响因素识别与驱动力研究[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22 (6): 1228-1239.
WU Kangmin, WANG Yang, YE Yuyao, et al. A study on the influencing factors and driving forces of spatial differentiation of retail formats in Guangzhou[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(6): 1228-1239.
- [34] ZHOU J, WU Y, LIU F, et al. Prospects and obstacles analysis of applying block chain technology to power trading using a deeply improved model based on the DEMATEL approach[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 70: 102910.