

基于梯度理论的北京通勤圈城市活力特征与影响机制研究*

姜宇逍 陆 毅 运迎霞 任利剑

Urban Vitality Characteristics and Impact Mechanisms in Beijing's Commuting Circle: A Gradient Theory Perspective

JIANG Yuxiao, LU Yi, YUN Yingxia, REN Lijian

Abstract: Urban vibrancy research has received significant attention in the field of urban planning; however, existing studies mainly focus on the city scale, with only a few adopting a cross-jurisdiction perspective. Using Beijing commuting circle (BCC) as an case, this study utilizes Tencent LBS data to construct urban vitality metrics, aiming to gain a deeper understanding of the spatial pattern of urban vitality. Through an examination of the tidal footprint of vitality, BCC is divided into three gradients of high-, medium-, and low-vitality zones based on the tidal footprint, and the spatial characteristics of each zone are explored. Additionally, spatial regression models (SEM and SLM) are used to further investigate the impact mechanisms of urban vitality in different gradient zones. The key findings can be summarized into four points: Beijing, Tianjin, and a few other urban centers form a multi-centric pattern of urban vibrancy within BCC. Using Tiananmen Square as the center, we divide BCC into three gradient zones with radius thresholds of 8-22 km, 32-68 km, and 94-134 km, respectively. Except for the Olympic area, the energy level of vibrancy centers is positively correlated with the gradient level and negatively correlated with the extent of their hinterland. Except for road density and land use mix, which exhibit significant positive correlations with the vitality level in all gradient zones, urban vitality is influenced by different factors in different gradient zones. The paper concludes by suggesting that targeted planning strategies should be adopted based on the vitality level and influencing factors.

Keywords: urban vibrancy; gradient theory; Beijing commuting circle; built environment; impact mechanism

提 要 城市活力研究受到城市科学多个领域的广泛关注,然而现有研究主要集中于城区尺度,鲜有跨行政区尺度的活力研究。利用腾讯位置服务(LBS)数据,以北京通勤圈为例,通过构建城市活力度量指标,分析城市活力的多维度空间格局;依据活力潮汐足迹,划分北京通勤圈的活力梯度,并探索不同梯度地区的城市活力空间特征;利用空间回归模型进一步研究不同梯度地区城市活力水平的影响机制。研究发现:北京通勤圈形成了“一主一副多点”的活力空间格局;以北京中心城区为中心,划分高中低三个梯度区,其半径阈值分别为8—22 km、32—68 km和94—134 km;除奥森片区外,梯度水平与活力中心能级成正比,与其腹地范围成反比;除道路密度和土地利用混合度在各梯度地区都与活力水平显著正相关外,不同梯度地区城市活力的影响机制不同。通过揭示不同梯度地区的活力水平及其影响机制,可以从区域结构、城乡融合、交通组织、设施配套等方面提出更精确的规划策略,从而促进城乡高质量发展。

关键词 城市活力;梯度理论;北京通勤圈;建成环境;影响机制

中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.16361/j.upf.202306008

文章编号 1000-3363(2023)06-0050-09

作者简介

姜宇逍,天津大学建筑学院、香港城市大学建筑与土木工程系联合培养博士生, yuxijiang8-c@my.cityu.edu.hk

陆 毅,香港城市大学建筑与土木工程系副教授,博士生导师

运迎霞,天津大学建筑学院教授,博士生导师
任利剑,天津大学建筑学院副研究员,通信作者, renlijian@126.com

城市活力以其在城市韧性、社会可持续性和创新能力等方面的积极影响而受到城市研究学者^[1-4]的广泛关注。随着全球化进程的加快,交通拥堵、职住不平衡等大城市病逐渐凸显,导致部分地区城市功能与活力水平不匹配,城市活力在城市内部及城市之间分布失衡^[5]。为解决上述问题,学者们建议通过规划手段增强城市活力,例如,增强街道美感^[6]、增加公共空间^[7]、建立步行友好街区^[8]等。

尽管学者对于城市活力的研究正在不断深入,但这些研究主要聚焦在街道或城市层面^[1,3],对于跨行政区尺度的研究较少。随着我国城市化水平的提升,城市间的联系打破了城市的行政边界^[9],突出表现为以通勤行为为主的空间联系^[10,11]。这也诱发了新的研

* 国家自然科学基金“面向就业型规划分区的产业-交通-空间互动演化机制与协同路径研究:以天津为例(项目编号:52278070)”;根据第六届“金经昌中国城乡规划研究生论文竞赛”获奖论文改写

究需求,即从都市圈或通勤圈视角探索区域内的活力分布特征与影响机制。

近年来,国家发改委《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》等政策明确指出,都市圈是城市群内部以超大特大城市或辐射带动功能强的大城市为中心、以1 h通勤圈为基本范围的城镇化空间形态^[12]。这表明城市通勤圈不仅是城市居民从居住地到工作地往返的地理范围,而且包括这个范围内的居民、经济活动、社会关系以及交通网络等多种元素^[13]。以北京通勤圈为例,随着京津冀综合交通系统的不断完善,部分在北京工作的居民选择居住在住房成本较低的环京地区。因此,仅研究北京市中心城区的城市活力无法准确反映北京市域内的居民活动状态。通过以北京通勤圈为研究范围进行城市活力研究,可以更深入地了解和把握北京市及其周边地区的关系,全面理解居民的生活方式和节奏。此外,通过中微观尺度研究北京通勤圈的城市活力时空模式与影响机制,可以揭示区域内空间发展存在的问题,从而进行有针对性的功能空间组织优化^[9]。

“梯度”是指事物存在空间分布不平衡或发展阶段不统一的现象,其空间分布一般沿着一个方向递增或者递减^[14]。就都市圈或城市群而言,由于政策、产业、人口向中心城市集中形成极化效应,都市圈内部形成活力高梯度地区。伴随着中心城市规模的扩大,人口的过度集聚引发城市问题^[15],导致部分居民转移与活力外溢,这一过程中区域内形成不同的活力梯度。然而,不同的活力梯度如何识别?活力梯度具有怎样的空间布局形态?不同活力梯度区的影响机制是否相同?这些问题尚不清楚。

因此,科学划分区域活力梯度,探究不同梯度水平下城市活力的影响机制,对于感知跨行政区域的城市居民活动水平、激发区域活力有积极作用。本研究以北京通勤圈为例,基于腾讯LBS数据,采用分析活力潮汐足迹的方法在跨行政区尺度上对城市活力进行梯度划分。同时,探讨研究区域内城市活力的时空分布结构,识别区域内活力中心及其所属梯度范围,并探讨不同梯度水平下建成环境要素对于城市活力的影响机制。

1 研究数据与方法

1.1 研究区概况

通勤圈是一个复杂的空间形态,它是由高速铁路走廊、高速公路网络以及交通枢纽和产业布局共同构成的。参照这一概念,本文所界定的北京通勤圈,是指与北京市域空间范围存在1 h通勤联系的周边地区。考虑到相关政策制定的有效性主要适用于县级以上人民政府,因此,本文选取完整的区县行政单元,最终将北京通勤圈范围确定为北京市、天津市全域,以及河北省保定市、承德市、廊坊市、张家口市部分区县(图1),研究范围面积为63 111.82 km²,常住人口为4833.45万人(2020年)。

本研究中的北京通勤圈范围,远远超出北京市中心城区范围。为了更准确地研究北京通勤圈内的人口跨行政区流动,并适应数据获取的空间粒度限制,本研究选择使用覆盖北京通勤圈的2 km×2 km方格网作为基本分析单元,以取代

原来的区县行政单元^[16]。

在研究基本单元构建中,通过使用2 km×2 km的方格网为单位对数据进行汇总,将研究区域内数据量为0的网格(主要是森林、农田或大型自然保护区)剔除后得到10 551个网格。每个网格都汇总了腾讯用户活动的数量,以表征该表格的城市活力。

1.2 研究方法

1.2.1 活力空间格局探索:构建活力测度指标

使用腾讯LBS数据衡量北京通勤圈城市活力。以1 h为采样周期,运用腾讯API接口,对研究区内的采样点进行连续5个工作日(2019-04-22—2019-04-26)的数据收集。考虑到午夜后手机数据的准确性问题,保留了早上6:00到24:00之间的数据。数据集包括采样点ID、采样点坐标、18个时间戳的人类活动数量(表1)。取5个工作日的均值作为该采样点18个时间戳的平均人类活动数量。

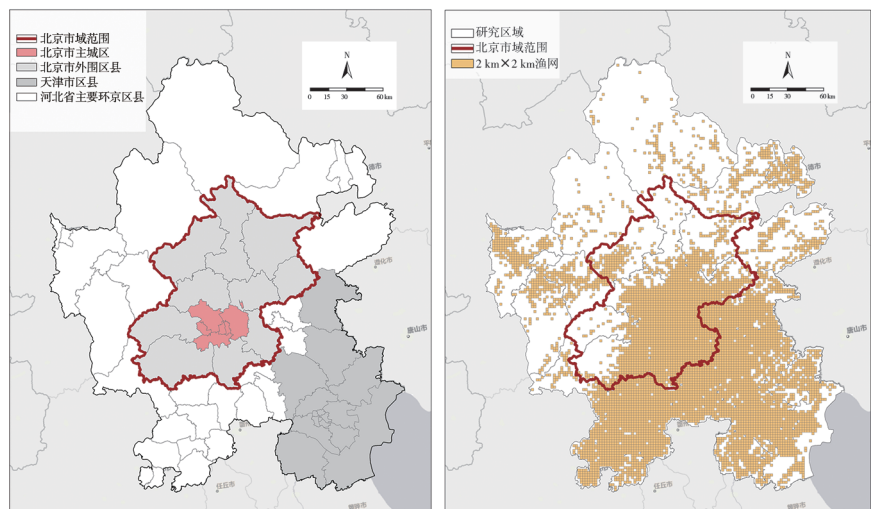


图1 北京通勤圈区位概况

Fig.1 Study area of Beijing commuting circle

表1 北京通勤圈一天腾讯LBS原始数据

Tab.1 Raw Tencent LBS data of study area for one day

采样点ID	采样点坐标		每个网格中18个时间戳的人类活动数量(6:00至24:00)						
	经度	纬度	06:00	07:00	08:00	...	22:00	23:00	24:00
1	116.2111	40.0615	0	4	0	...	3	0	0
2	117.8626	39.1866	2	0	1	...	1	3	5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10550	116.6532	40.0681	11	3	12	...	0	5	15
10551	117.3816	39.3224	0	3	1	...	5	7	2

资料来源:腾讯位置服务(2019年4月)

为了全面地探索城市活力的空间分布模式,基于收集到的人类活动数量构建五个城市活力指标,即平均活力水平、城市活力稳定性、日间活力水平、夜间活力水平和昼夜活力潮汐,见表2。

1.2.2 活力梯度识别:活力潮汐足迹

参照城市热岛足迹概念,提出活力潮汐足迹分析^[17]。活力潮汐足迹表征区域内城市活力发生的空间范围,完整而连续地反映了城市昼夜活力潮汐的空间分布特征。城市中心城区昼夜活力潮汐值为正,且潮汐效应由中心城区向四周逐渐减弱,因此本文选取北京市中心城区的中心天安门作为活力潮汐足迹中心,以2 km为间隔,建立多个同心圆覆盖整个研究区,统计每个同心圆内所有网格昼夜活力潮汐值(VT)之和,并建立同心圆半径与昼夜活力潮汐和之间的关系,将昼夜活力之和归零的范围定义为活力潮汐足迹。同时,根据昼夜活力潮汐和与半径之间关系的变化,确定北京通勤圈城市活力梯度。活力潮汐足迹计算公式如下:

$$\begin{cases} r_1 = 2 \\ A_1 = \pi r_1^2 \\ r_2 = 2 \times 2 \\ A_2 = \pi r_2^2 \\ \vdots \\ r_i = 2 \times i \\ A_i = \pi r_i^2 \end{cases} \quad (1)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m V_T \quad (2)$$

式(1)中, A_i 表示第*i*个同心圆的面积, r_i 表示第*i*个同心圆的半径, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。式(2)中 S_i 表示第*i*个同心圆内昼夜活力潮汐和, m 表示第*i*个同心圆内网格的数量, V_T 表示网格中昼夜活力潮汐值。

1.2.3 不同梯度地区的活力特征:活力中心识别与活力中心腹地测度

通过ArcGIS的邻域分析,对各网格的平均活力水平进行山顶点提取,将识别的山顶点网格定义为北京通勤圈的活力中心,并使用自然断点法将识别出的活力中心划分成五个不同能级。各活力中心作为周边区域人类活动的核心地带,可以通过集聚和扩散效应影响周边地区。活力中心腹地可以理解为活力中心影响力的“力场”,不同活力中心腹地的力场强度不同,场强计算公式^[18]如下:

$$F_{ij} = \frac{Z_i}{d_{ij}^a} \quad (3)$$

式(3)中: F_{ij} 为活力中心*i*在区域内网格*j*上的场强; Z_i 为活力中心*i*的平均活力水平; d_{ij}^a 为活力中心*i*到网格*j*的距离; a 为距离摩擦因数,一般取值2.0^[18]。

由于研究区内任一网格*j*都受到研究区内各活力中心的影响,通过计算出各个活力中心的场强并相互比较,可以找到对网格*j*场强影响最大的活力中心,即可认为网格*j*是该活力中心的腹地。

1.2.4 活力梯度影响机制:空间回归分析

活力梯度影响机制的评估使用了建成环境研究中经典的5D框架^[19-20],即密度、目的地可达性、多样性、设计和交

通换乘距离。在5D框架基础上增加三个可能影响活力的要素,包括基础设施建设水平、经济活动强度和绿化水平,构成本研究的指标体系(表3)。POI数据来自高德地图2019年POI数据集。道路密度、公交站点、地铁站点、城际铁路站点和高速出入口等数据来自OpenStreetMap地图。由于数据获取限制,本文参照了国内外的相关研究,使用不同类型的POI数据取代《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类》中的各类用地数据,通过各类型POI的熵值,得到土地利用多样性^[20-21]。其中,餐饮服务POI代表商业服务类用地,公共服务设施POI代表公共管理与公共服务类用地,居住区POI代表居住类用地。使用企业POI代表区域内第二产业就业分

表2 城市活力指标描述

Tab.2 Description of urban vitality indicators

城市活力指标	指标描述
平均活力水平(VL)	人类活动数量在18个时间戳(6:00—24:00)的均值,数值越高代表网格中的人类活动越多
城市活力稳定性(CV)	人类活动数量在18个时间戳内的变异系数(标准差与均值比值),数值越高代表网格中活力稳定性越差
日间活力水平(DV)	日间(6:00—16:00)人类活动数量的均值
夜间活力水平(NV)	夜间(16:00—24:00)人类活动数量的均值
昼夜活力潮汐(VT)	DV与NV的差值,正值表示网格中日间活力较强,负值代表夜间活力较强,绝对值越大代表差异越大

表3 空间回归指标描述

Tab.3 Description of the spatial regression indicators

维度	变量	指标描述
密度	人口密度	每个网格中人口数量
	建筑密度	每个网格中所有建筑的总建筑面积
目的地可达性	餐饮服务POI	每个网格中餐饮服务类设施POI数量
	企业POI	每个网格中企业POI数量
	公共服务设施POI	每个网格中公共服务设施POI数量
	居住区POI	每个网格中居住区POI数量
多样性	土地利用混合度	每个网格中上述4种POI的熵值
设计	路网密度	每个网格中道路长度之和
交通换乘距离	至北京市主要就业中心距离	网格中心距北京主要的就业中心(CBD,中关村,金融街)的最短距离 ^[24]
	是否有地铁站	每个网格中是否有地铁站,是为1,否为0
	公交站点密度	每个网格中公交站点的数量
	至最近的城际铁路车站	网格中心距离最近的城际车站的直线距离
	至最近的高速出入口距离	网格中心距最近的高速公路出入口直线距离
经济活动强度	国民生产总值密度	每个网格中GDP值
基础设施水平	夜间灯光强度	每个网格中夜间灯光值
绿化水平	归一化植被指数	每个网格中归一化植被指数值

布情况，以代表工矿用地。

经济活动强度和人口密度数据均来自资源环境科学数据注册与出版系统^[22-23]。绿化水平和基础设施水平数据分别来自于2019年4月获取的Sentinel-2遥感图像和NPP-VIIRS夜间灯光图像。此外，由于北京通勤圈城市中心区、城市边缘区及乡村区域的建成环境指标存在部分差异，在分析过程中根据后续不同梯度区域进行指标选取。

参照王雪瑞等^[25]的研究，首先进行全局莫兰指数分析，结果显示，平均活力水平（Moran's $I=0.394$ ； $p<0.001$ ）存在明显的空间自相关。因此，本文采用两个常用的空间回归模型即空间滞后模

型（SLM）和空间误差模型（SEM）进行回归分析，并通过拉格朗日检验进行模型选择，空间滞后模型计算公式如下：

$$y = \rho W_y + X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

式（4）中， y 是因变量， X 是解释变量的矩阵， β 是系数的向量， ε 是随机误差项的向量。 ρ 是空间滞后参数， W_y 是空间权重矩阵的一个向量。

空间误差模型是处理误差项存在空间自相关的方法，可以理解为标准回归模型和误差项的空间自回归模型的组合。其计算公式为：

$$y = X\beta + \varepsilon, \varepsilon = \lambda W\varepsilon + \mu, \mu \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (5)$$

式（5）中： λ 是自回归参数，衡量误差项的空间依赖作用； μ_i 为随机误差项； σ 为标准差。

2 北京通勤圈活力空间分布特征

2.1 城市活力空间格局

如图2（a）、图2（b）所示，北京通勤圈活力空间分布呈现“一主一副多点”的等级结构特征，区域内活力水平展现出较大的城市间、城乡差异。其中，平均活力水平（VL）最高的地区主要集中在北京市中心城区核心区（四环线以内）和天津市中心城区核心区（中环线以

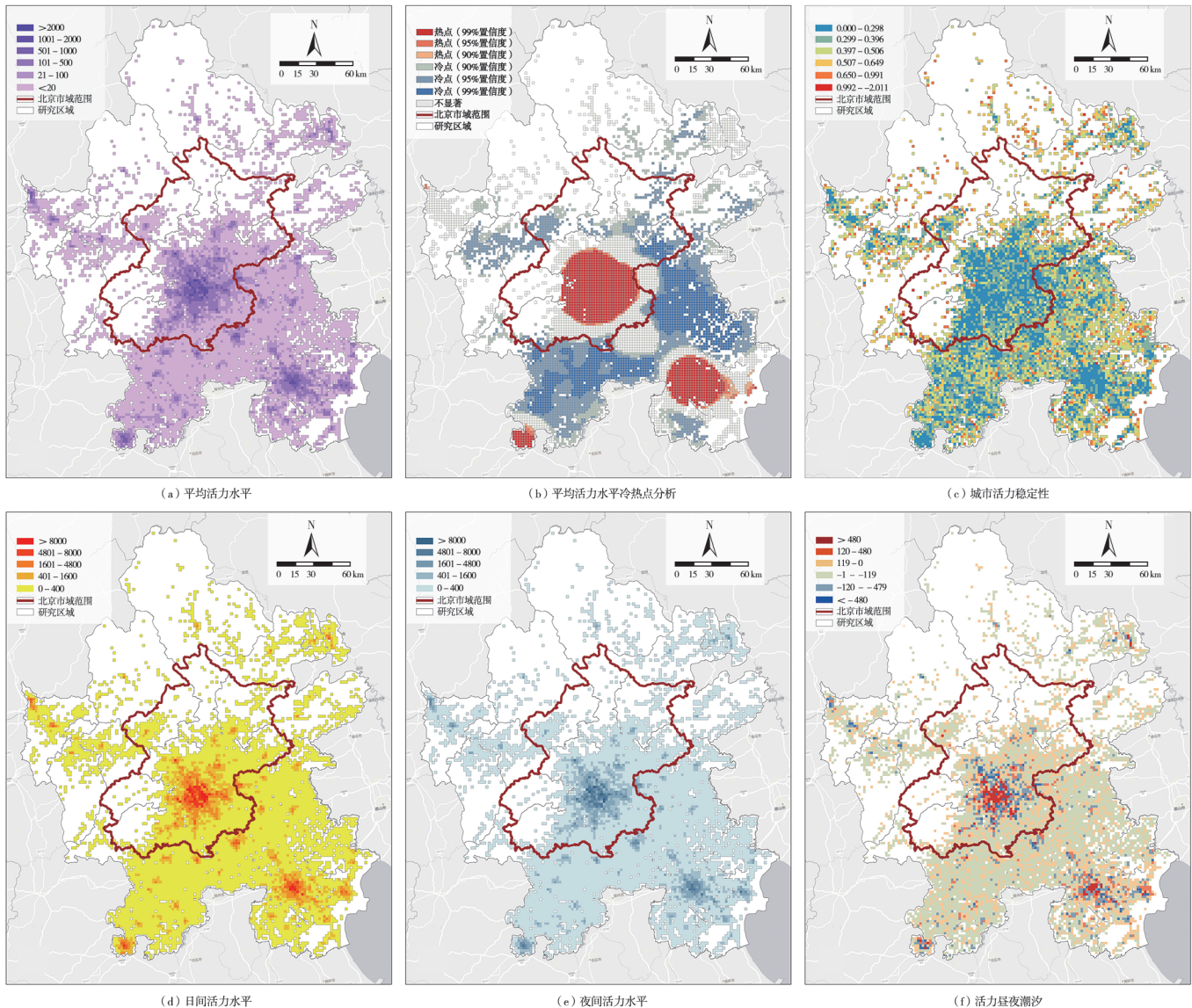


图2 北京通勤圈城市活力指标空间分布

Fig.2 Spatial distribution of urban vibrancy indicators in Beijing Commuting Circle

内)。北京市四环至六环之间的区域和各区县的核心区也具有较高的活力水平,外围乡村地区活力水平普遍较低。毗邻北京市域边界东南部有多个明显的高活力集聚区,如廊坊市、香河县、大厂回族自治县、三河市的中心区。研究区70%以上的区域为低活力地区,发展状况相对较差。北部区域地形条件一定程度上影响了人口的聚集,也进一步影响了当地的活力水平。

活力稳定性(CV)的空间分布与区域发展模式密切相关。从图2(c)活力稳定性分布图可以看出,北京中心城区具有高度城市化、高经济活力、完善的生活配套等特点,极大增加了北京的人口吸引力。北京市中心城区及区域内其他市县的核心区活力稳定性较高($CV < 0.506$),而广大乡村地区稳定性较低,表明乡村地区全天活力的变化较大。同时,北京市及北京市外东南方向部分地区形成连绵的高活力稳定性片区,突破了行政边界的范围。

图2(d)、图2(e)分别展示了研究区日间活力水平(DV)和夜间活力水平(NV)的空间分布特征。总体来说,日夜活力水平分布与全天的平均活力水平空间分布特征相似,但北京中心城区核心区(四环内)的日间活力水平整体高于夜间活力水平。图2(f)展示了昼夜活力潮汐空间分布。活力潮汐高值地区主要集中分布在北京市中心城区三环线内、中关村、望京、亦庄及天津市南开区、和平区、滨海新区的部分区域。低值区域主要穿插在高值区域周边。此外,环京区县的中心主要以低值区为主。

2.2 活力梯度分布

都市圈“梯度”往往呈现出圈层特征,本文以天安门为中心,使用不同半径的同心圆统计活力潮汐,建立昼夜活力潮汐之和与半径的对应关系(图3)。昼夜活力潮汐之和随着同心圆半径的增加,先升高再逐渐降低,在110 km处活力昼夜潮汐正值与负值总和相当,活力潮汐和为0,达到北京通勤圈的最大范围。在此基础上,基于图3中活力潮汐足迹折线斜率的变化和北京通勤圈的城乡过渡特征,可以将研究区划分为4类区域,即由中心城区向外依次形成理想

的高中低活力梯度区,距离中心超过110 km的区域定义为其他地区。具体而言,昼夜活力潮汐和首先随着半径增加而增加,对应的同心圆区域内多数地区白天活力水平高于夜晚活力水平,在半径16 km时昼夜活力潮汐和达到峰值。此后昼夜活力潮汐和逐渐下降,半径16 km至60 km的区域,对应的活力潮汐和经历了先快速下降再放缓的过程,而在半径超过60 km时下降速率趋于稳定,直至半径110 km处昼夜潮汐和降为0。结合北京市中心城区、城市边缘区和外围乡村地区的空间分布,将16 km、60 km和110 km确定为划分高中低活力梯度区临界值。

图4(a)展示了理想状态下同心圆

模式的城市活力梯度示意图,以天安门为中心,半径16 km的圆作为活力高梯度区,16—60 km的同心圆环作为活力中梯度区,60—110 km圆环作为活力低梯度区。考虑到北京市的主要发展方向和自然地形条件,以同心圆划分梯度可能无法准确表达北京通勤圈的实际活力分布。因此,本研究以8个等分的方向重复活力潮汐足迹实验,确定各方向的活力梯度足迹,得到北京通勤圈区分方向的活力梯度图[图4(b)],并根据各梯度内不同方向的半径大小确定各活力梯度区的半径阈值。具体而言:高梯度地区半径阈值范围为8—22 km,区域包括北京市三环的全部地区及西南四环至五环的部分地区;中梯度地区边界半径阈值

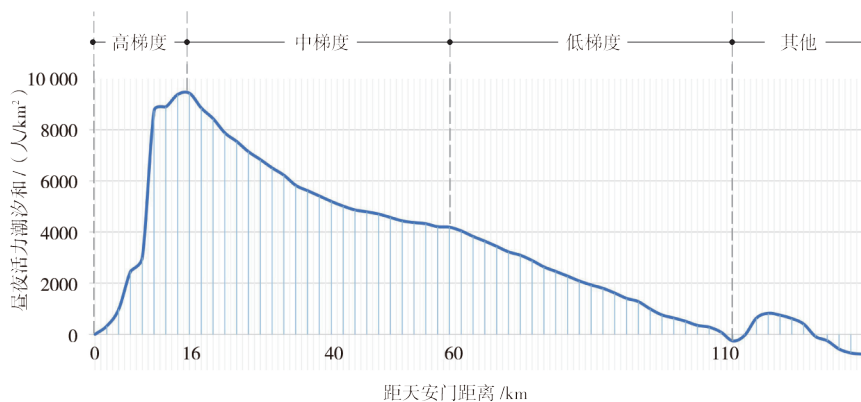
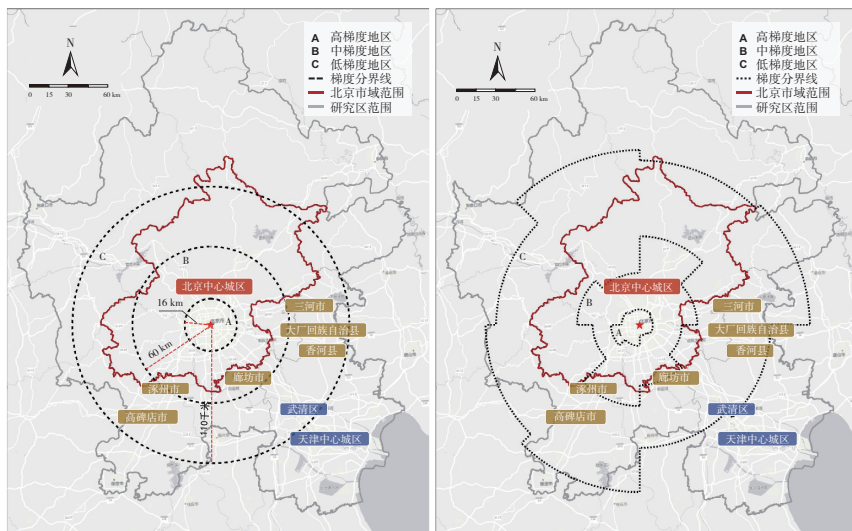


图3 基于活力潮汐足迹的至天安门距离与昼夜活力潮汐和之间的对应关系

Fig.3 The correspondence between distance to Tiananmen and sum of day-night vibrancy tide based on vibrancy tidal footprint



(a) 理想状态下同心圆模式的梯度划分

(b) 区分方向的梯度划分

图4 北京通勤圈活力梯度示意图

Fig.4 Vibrancy gradient of Beijing commuting circle

范围为32—68 km,区域半径西南—东北方向长,其他方向短,除北京市域外,还包括了涿州、廊坊、北三县的部分地区;低梯度地区边界半径阈值为94—134 km,东南京津走廊半径为最短的94 km,主要包括了天津市武清区部分区域。其他方向除北京市域内房山、延庆、平谷外,还包括了蓟州区以及张家口、保定和承德市域的部分区域。整体而言,区域活力水平沿高梯度区—中梯度区—低梯度区依次递减,高梯度区以高密度城市建成区为主,中梯度区主要由北京中心城区外围城市边缘区组成,低梯度区主要由乡村地区和北京周边区县中心组成。

2.3 各梯度活力中心及其腹地范围

通过 ArcGIS 山顶点分析识别出了研究区内 50 个活力中心图 5 (a), 以平均活力水平为标准, 通过自然断点法将各活力中心的能级分为 5 级 (图 6)。奥森片区活力水平显著高于其他活力中心, 成为唯一的一级活力中心。此区域配套设施完善, 是研究区内居住密度最高的地区, 职住功能集中且相对平衡。二级活力中心包括了 CBD 核心区、中关村等北京中心城区内的不同区域, 区域就业职能略强于居住职能, 区域活力水平较高。三级活力中心由北京中心城区外围的传媒大学、亦庄、四惠等地区以及天津市、保定市、张家口市、廊坊市的中心城区等区域组成, 分布较为均衡。四级和五级区域则以北京市域内外围的区县中心区和环京部分区县中心区为主, 这类区域主要处于研究区内经济发展水平较弱的外围地区。值得注意的是, 与北京市人员联系紧密的北三县的活力中心分别属于四级和五级活力中心, 活力水平较低。

通过分析不同梯度地区内活力中心的能级分布和影响腹地范围, 进一步了解北京通勤圈内不同梯度地区的活力特征。在活力中心能级分布方面, 研究按照高中低梯度的划分统计识别的活力中心, 结果如图 5 (b)、表 4 所示。总体来说, 各个梯度区域活力中心数量相对均衡, 高梯度区域的活力中心能级较高, 以前三级为主, 中梯度区域主要包含了三级和四级活力中心, 低梯度区域的活

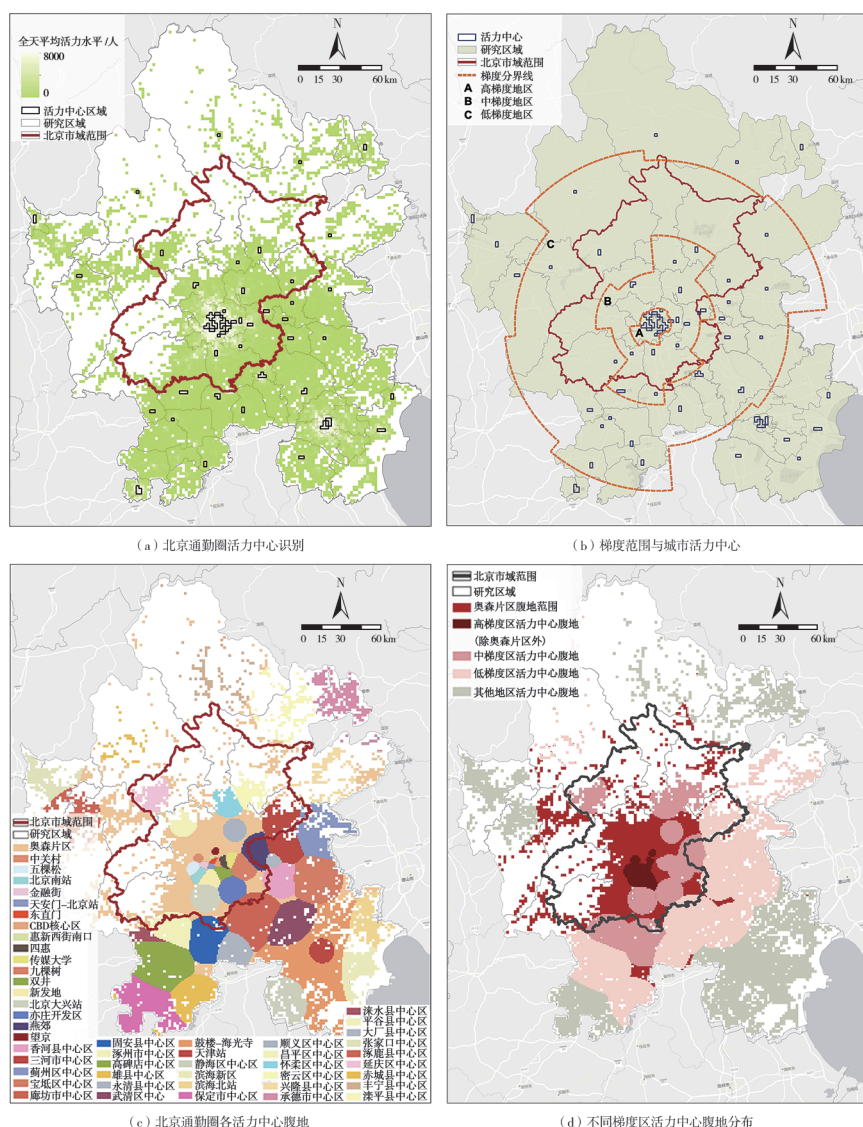


图5 北京通勤圈活力中心及其腹地的识别与空间分布

Fig.5 Identification and spatial distribution of vibrancy centers and their hinterlands in Beijing Commuting Circle

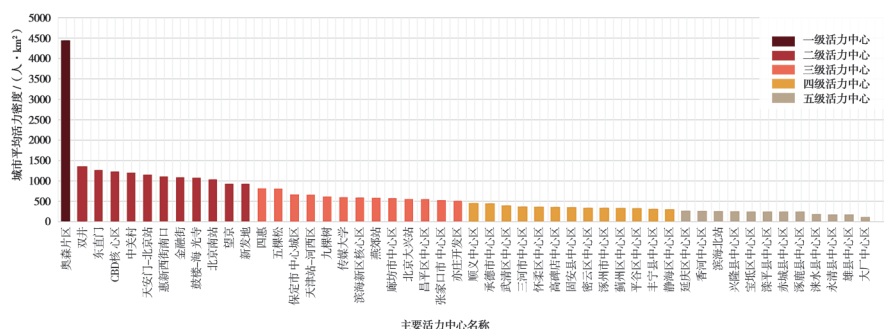


图6 北京通勤圈活力中心能级水平

Fig.6 Five energy levels of all vibrancy centers

力中心能力较低, 以五级活力中心为主。

从活力中心腹地范围上看, 通过对各个活力中心场强的计算, 得出各活

力中心的腹地。如图 5 (c) 所示, 各活力中心边界清晰, 基本未出现争夺腹地的现象。活力能级最高的奥森片区活力

中心腹地范围最大，有向北向西扩散的特征。这种分布特征可能与北京市中心城区西北缺乏活力中心分布有关。其余活力中心围绕自身有明确连片的腹地，活力分布的地区性较为明显。位于东南部的京津走廊活力腹地分布较为均衡，而西北部活力中心分布较少。将活力中心腹地范围按照高中低梯度统计如图5(d)所示，除奥森片区腹地较大外，其余活力中心腹地的大小与其梯度水平成反比，即高梯度区域活力中心腹地较小，低梯度地区活力中心腹地普遍较大，中低梯度区活力中心腹地主要集中于研究区的东南方向。

3 北京通勤圈活力梯度影响机制

为了探究不同梯度水平下的建成环境要素与城市活力水平之间的关系，分别以高梯度、中梯度和低梯度地区图4(b)为研究范围，平均活力水平为因变

量建立空间回归模型。通过拉格朗日因子检验结果，高梯度地区采用SEM模型，中梯度和低梯度地区选择SLM模型。分析结果表明，不同梯度地区城市活力影响机制不同，土地利用混合度和道路密度对各梯度的城市活力水平均有显著影

表4 不同梯度地区活力中心能级
Tab.4 Energy levels of vibrancy center in different gradient zones

活力中心	高梯度(13个)	中梯度(11个)	低梯度(15个)	其他(11个)
一级活力中心	1	0	0	0
二级活力中心	10	0	0	1
三级活力中心	2	6	1	4
四级活力中心	0	5	5	3
五级活力中心	0	0	9	3

表5 高中低梯度地区空间回归结果统计
Tab.5 Spatial regression results of different gradient zones

变量	高梯度地区(SEM)		中梯度地区(SLM)		低梯度地区(SLM)	
	系数(标准误差)	P值	系数(标准误差)	P值	系数(标准误差)	P值
人口密度	0.010(0.006)	0.104	0.011(0.005)	0.045*	0.013(0.000)	<0.001***
建筑密度	0.001(0.000)	0.043*	—	—	—	—
餐饮购物POI	-0.052(0.322)	0.292	0.078(0.047)	<0.001***	0.024(0.011)	0.017*
企业POI	0.319(0.332)	0.034*	0.361(0.051)	—	0.339(0.021)	0.137
公共服务设施POI	0.357(0.701)	0.122	0.491(0.115)	0.290	0.693(0.101)	<0.001***
居住区POI	0.469(0.534)	0.218	0.122(0.057)	0.032*	0.069(0.019)	0.026*
土地利用混合度	24.203(17.774)	0.009**	13.534(11.004)	0.021*	3.424(1.694)	0.037*
至北京市主要就业中心距离	-40.612(30.952)	0.007**	-143.233(44.959)	0.001**	28.376(2.203)	0.631
道路密度	578.699(23.557)	<0.001***	378.078(15.362)	<0.001***	181.476(11.764)	<0.001***
是否有地铁站	226.152(251.768)	0.002**	—	—	—	—
公交站点密度	0.839(1.842)	0.433	—	—	—	—
国民生产总值密度	0.001(0.000)	0.447	0.000(0.000)	0.187	0.000(0.000)	<0.001***
至最近的城际铁路车站	—	—	-23.067(76.377)	0.528	11.198(5.304)	0.321
至最近的高速公路出入口距离	—	—	0.001(0.001)	0.324	0.001(0.000)	0.146
基础设施建设水平	—	—	5.794(7.529)	<0.001***	2.735***	<0.001***
绿化水平	24.659(5.927)	0.043*	53.046(15.736)	0.068	12.244(7.521)	0.074
空间面板模型LM检测						
R ²	0.646		0.717		0.747	
LL	-1732.681		-1464.923		-2137.983	
AIC	3495.361		2933.234		2635.105	
SC	3546.453		2942.786		2636.207	
LM-lag 检验	2.796		34.123***		113.781***	
LM-error 检验	0.248***		72.873***		105.567	
Robust LM-lag 检验	43.796*		5.911***		11.321***	
Robust LM-error 检验	41.246***		44.681		31.072**	
模型选择	SEM 模型		SLM 模型		SLM 模型	

注：*、**、***分别表示10%、5%、0.1%水平显著

响。结合表5,可以进一步归纳影响不同梯度地区平均活力水平的建成环境要素及其影响机制:

对于高梯度地区而言,建筑密度(0.001)、企业POI(0.319)、土地利用混合度(24.203)、道路密度(578.699)、是否有地铁站(226.152)以及归一化植被指数(24.659)与活力水平空间分布呈显著正相关关系,至北京主要就业中心的距离(-40.612)则与活力水平空间分布呈显著的负相关关系,该结果与以往针对中心城区城市活力的研究^[20-21]一致。便捷的交通系统和高密度的生活方式极大促进了区域内人员的流动和不同功能之间的空间联系,有利于更好地激发城市活力^[5]。高密度地区较高的绿化水平可以为区域内居民提供更好休憩功能,提高居民的生活质量。企业的集聚和至北京主要就业中心更近的距离有利于提升劳动力吸引力,激发城市经济活力^[21]。

对于中梯度地区而言,人口密度(0.011)、餐饮购物POI(0.078)、居住区POI(0.122)、土地利用混合度(13.534)、道路密度(378.078)以及基础设施水平(5.794)与活力水平空间分布呈显著正相关,至北京主要就业中心距离(-143.233)呈显著负相关。对于该区域而言,企业POI和归一化植被指数不再对城市活力具有显著相关性,而居住和餐饮购物类POI却展现出显著的相关性。这可能是由于中梯度地区建设用地主要以居住及与居住相关的生活服务配套为主,产业集聚能力与高梯度地区有明显差异,因此,人口集聚能力和服务于居民日常生活的要素对于城市活力有正向的影响。除道路密度、土地利用混合度外,至北京主要就业中心的距离仍被认为是影响该区域活力的最重要因素,表明北京主要就业中心(金融街,CBD,中关村)的就业人口活动范围可覆盖到中梯度地区。

对于低梯度地区,人口密度(0.013)、公共服务设施POI(0.693)、居住区POI(0.069)、土地利用混合度(3.424)、道路密度(181.476)、国民生产总值(0.000)以及基础设施水平(2.735)与平均活力水平显著正相关,至就业中心的距离不再具有显著的相关性。整体而言,低梯度地区展现出与中

梯度地区相似的活力影响机制,然而随着至中心城区的距离进一步增加,低梯度区域的居民与北京中心城区的联系进一步减弱,该区域活力水平主要受本地各类生活服务设施水平及经济社会发展水平的影响。值得注意的是,并未发现至城际车站和高速出入口的距离与中低梯度的活力水平有显著的相关关系。

4 结论与讨论

面向探索跨行政区城市活力空间分布及影响机制的目标,本文以2 km×2 km方格网作为研究单元,采用LBS数据和其他多源城市大数据,精确评估了北京通勤圈活力的空间分布特征,明确了研究区内梯度结构,并探索了不同梯度地区城市活力的影响机制。

第一,空间活力水平在跨行政区尺度上显示出明显的城市间、城乡差异特征,揭示了北京通勤圈内人口集聚能力和发展水平不均衡的格局。随着城镇化水平的提高,各地户籍、就业等相关政策不断放松限制,我国人口政策表现出对于流动人口居住从限制到促进的逐步转变^[26]。然而大城市高昂的住房和生活成本仍促使部分居民选择了中心—边缘的通勤模式。因此跨行政区的活力研究能够更有效和准确地评估区域活力的空间分布特征。

第二,基于梯度理论运用活力潮汐足迹识别出北京通勤圈活力梯度圈层及其划分的阈值范围,从人本角度,基于时空行为特征识别大尺度地区的活力空间分布特征,可为都市圈和城市群尺度的活力研究提供参考^[27]。在规划制定过程中,应规范研究区内产业分布,推动北京市部分产业的外移,建设更多的就业中心,提高居民通勤需求与城市综合交通体系的匹配度,逐步提高中低梯度地区整体活力水平。

第三,通过各梯度城市活力机制分析,研究发现北京通勤圈内高中低梯度地区的活力影响因素存在差异,提升道路密度和土地利用混合度对于各梯度区域的活力水平均有显著的正向影响。明确影响不同梯度地区活力水平的主要建成环境要素,有助于在保障性住房、“城中村”改造、“平急两用”公共基础设施

建设等新时代建设领域的“三大工程”建设中找到提升本地区城市活力的抓手。

本文通过识别北京通勤圈内城市活力的不同梯度地区,为都市圈城市活力研究提供了新的视角,为区域活力空间结构优化和功能合理布局提供了精细化的参考。后续研究可在不同梯度区内考虑工作日/休息日的活力水平和活力稳定性与建成环境的关系,进一步明确不同梯度地区内城市活力的时空特征。

参考文献

- [1] 单瑞琦,张松.历史建成环境更新活力评价及再生策略探讨:以上海田子坊、新天地和豫园旅游商城为例[J].城市规划学刊,2021(2):79-86.
- [2] 雷依凡,陆春燕,苏颖,等.基于多源夜间灯光数据的城市活力与城市扩张耦合关系研究:以海峡西岸城市群为例[J].人文地理,2022,37(2):119-131.
- [3] 刘云舒,赵鹏军,梁进社.基于位置服务数据的城市活力研究:以北京市六环内区域为例[J].地域研究与开发,2018,37(6):64-69.
- [4] 王伟强,马晓娇.基于多源数据的滨水公共空间活力评价研究:以黄浦江滨水区为例[J].城市规划学刊,2020(1):48-56.
- [5] 王波,雷雅钦,汪成刚,等.建成环境对城市活力影响的时空异质性研究:基于大数据分析[J].地理科学,2022,42(2):274-283.
- [6] ZHANG M Z, ZHAO P J. Literature review on urban transport equity in transitional China: from empirical studies to universal knowledge[J]. Journal of Transport Geography 2021, 96: 103177.
- [7] 罗桑扎西,甄峰.基于手机数据的城市公共空间活力评价方法研究:以南京市公园为例[J].地理研究,2019,38(7):1594-1608.
- [8] ASHIHARA Y. The aesthetic townscape [M]. MIT Press, 1983.
- [9] 汪光焘,李芬,刘翔,等.新发展阶段的城镇化新格局研究:现代化都市圈概念与识别界定标准[J].城市规划学刊,2021(2):15-24.
- [10] 王雅娟,屈信,张尚武.规划研究视角的特大城市通勤空间紧凑性评价方法:以济南市为例[J].城市规划学刊,2018(6):61-68.
- [11] 谢智敏,甄峰,席广亮.基于日常通勤流动的南京都市圈空间结构特征[J].城市规划

- 学刊, 2022(5): 90-98.
- [12] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于培育发展现代化都市圈的指导意见[R/OL]. 中国政府网, 2019.
- [13] 赵鹏军, 胡昊宇, 海晓东, 等. 基于手机信令数据的城市群地区都市圈空间范围多维识别: 以京津冀为例[J]. 城市发展研究, 2019, 26(9): 69-79.
- [14] 卓越, 陈诚. 梯度理论在政府创新扩散中的应用研究: 以行政服务中心及其标准化为例[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2015(2): 29-39.
- [15] 李国平, 许扬. 梯度理论的发展及其意义[J]. 经济学家, 2002(4): 69-75.
- [16] ZHANG W J, FANG C Y, ZHOU L, et al. Measuring megaregional structure in the Pearl River Delta by mobile phone signaling data: a complex network approach[J]. Cities, 2020, 104: 102809.
- [17] 韩冬锐, 徐新良, 李静, 等. 长江三角洲城市群热环境安全格局及土地利用变化影响研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(1): 39-49.
- [18] 潘竞虎, 石培基, 董晓峰. 中国地级以上城市腹地的测度分析[J]. 地理学报, 2008(6): 635-645.
- [19] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment[J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.
- [20] JIANG Y X, CHEN L, GREKOUSIS G, et al. Spatial disparity of individual and collective walking behaviors: a new theoretical framework[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment 2021, 101, 103096.
- [21] CHEN L, ZHAO L Y, XIAO Y, et al. Investigating the spatiotemporal pattern between the built environment and urban vibrancy using big data in Shenzhen, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems 2022, 95, 101827.
- [22] 徐新良. 中国GDP空间分布公里网格数据集[M]. 资源环境科学数据注册与出版系统, 2017.
- [23] 徐新良. 中国人口空间分布公里网格数据集[M]. 资源环境科学数据注册与出版系统, 2017.
- [24] 孟斌, 高丽萍, 黄松, 等. 北京市典型就业中心职住关系考察[J]. 城市问题, 2017(12): 86-94.
- [25] 王雪瑞, 葛斌华. 我国生产性服务业空间效应研究: 基于SLM、SEM模型的实证[J]. 中央财经大学学报, 2012(4): 68-71.
- [26] LIU T, WANG J J. Bringing city size in understanding the permanent settlement intention of rural - urban migrants in China[J]. Population, Space and Place, 2020, 26(4): e2295.
- [27] CHEN Y, YU B J, SHU B, et al. Exploring the spatiotemporal patterns and correlates of urban vitality: temporal and spatial heterogeneity[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 91, 104440.

修回: 2023-09