公园绿地与城市活力的时空关联及网络特征*

——以南京为例

徐志洋 邵大伟 吴殿鸣

苏州科技大学建筑与城市规划学院 江苏苏州 215011

摘要：【目的】探明公园绿地与城市活力的时空关联关系，促进城市空间格局深度优化与城市活力可持续增长。【方法】整合夜间灯光、POI 及土地利用等多源数据，利用空间自相关与空间关联网络方法，系统探析南京主城区 2012、2016、2020 年整体及各类型公园绿地与城市活力的时空演化格局及关联特征。【结果】1）公园绿地呈均衡填充的优化特征，城市活力呈圈层扩张的增强趋势；2）公园绿地与城市活力空间差异趋强，微型、小型公园绿地与高活力空间聚集，大型公园绿地与其呈分离趋势；3）公园绿地与城市活力的空间关联网络呈错位互补特征，其中大中型公园绿地与高活力中心等级垄断严重，网络稳健性低。【结论】公园绿地与城市活力的协同发展需兼顾规模差异与网络结构优化，通过差异化配置公园绿地，可提升空间网络的均衡性与韧性，为宜居生活环境营造提供科学依据。

关键词：公园绿地；城市活力；空间关联；时空特征；南京

DOI：10.12169/zgcsly.2024.08.30.0002

Spatial-Temporal Relationship and Network Characteristics Between Park Green Space and Urban Vitality: A Case Study of Nanjing

Xu Zhiyang Shao Dawei Wu Dianming

(School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215011, Jiangsu, China)

Abstract: 【Objective】 Exploring the spatiotemporal correlation between park green spaces and urban vitality can help promote the deep optimization of urban spatial patterns and the sustainable growth of urban vitality. 【Method】 By integrating various data sources such as nighttime lights, points of interest (POI), and land use, and employing spatial autocorrelation and spatial association network methods, this study systematically analyzes the overall and different types of park green spaces and their spatiotemporal evolution patterns and correlation features with urban vitality in Nanjing's main urban area for the years 2012, 2016, and 2020. 【Result】 1) Park green spaces exhibit an optimized characteristic of balanced filling, while urban vitality shows an increasing trend of concentric expansion; 2) The spatial differences between park green spaces and urban vitality are becoming more pronounced, with micro and small parks clustering in high-vitality areas, whereas large parks exhibit a trend of separation; 3) The spatial association network between park green spaces and urban vitality shows a complementary displacement feature, with the hierarchy of medium and large parks and high-vitality centers being excessively high,

收稿日期：2024-08-30

* 基金项目：国家自然科学基金资助项目（51878429）

第一作者：徐志洋（2000-），女，硕士生，研究方向为园林与景观设计。E-mail：xhdxzy@126.com

通信作者：邵大伟（1984-），男，博士，副教授，研究方向为城市绿地与城市空间耦合关系。E-mail：shdw-123@163.com

leading to low network robustness.【Conclusion】 The coordinated development of park green spaces and urban vitality requires consideration of both scale differences and network structure optimization. By differentially allocating park green spaces, the balance and resilience of the spatial network can be enhanced, providing a scientific basis for creating a livable living environment.

Keywords: park green space; urban vitality; spatial correlation; spatial and temporal characteristics; Nanjing

城市活力是一种受城市空间组织、居民活动与复杂环境影响的综合表现形态[1]，是指导城市规划建设的重要命题之一。该概念自 1961 年 Jacobs 首次提出至今，国内外形成了丰富的研究成果。2010 年前主要集中于其概念界定和理论内涵等定性研究[2-3]。由于概念的复杂性与综合性，城市活力的量化测度逐渐由单一指标转向多源综合测度[4]。近年来随着空间计量方法与多源地理大数据的快速发展与应用，定量化研究大量增多，主要聚焦城市发展路径与提升策略，重点探究城市活力的时空格局与活力空间营造等[5-6]，部分研究还通过地理加权回归、机器学习算法等对城市活力影响机理进行探究[1,7]。此外，城市活力的测度与评价在相关研究中各有侧重。部分研究将人群活动作为活力的表征，采用人口分布、活动规模等评价指标，涉及人口分布密度、夜间灯光、人口热力图等数据[8-9]；而部分研究则将城市空间结构作为活力的构成条件，通过城市空间品质、功能密度与混合度等进行活力综合评价，涉及 POI、土地利用等数据[10]。

公园绿地承担着日常休闲游憩、生态安全屏障、减灾避难等多种功能。早期研究多集中于公园绿地的规划建设、植物配置、景观评价等美学设计层面[11-12]，后逐渐转向对公园绿地的经济效应、可达性与景观格局等量化研究层面[13-14]。近年来，研究热点主要集中于公园绿地的空间格局优化、公平正义与健康效益等社会化方面[15-16]。作为支持社会活动与社交体验的公共空间，公园绿地是城市活力的重要来源之一。二者的时空关联研究多聚焦城市内部空间活力，重点关注公园绿地的空间活力分异、影响因素与提升策略等方面[17-18]。在城市空间层面对二者的关联特征研究相对较少，仅少部分将公园绿地布局纳入指标体系进行讨论[19]。

城市活力的表征与构成受到社会活动及城市建成形态的影响与制约，而各类公园绿地作为承载社会活动、聚集城市要素的重要载体，两者存在较紧密的时空关联。一方面，基于多数据源的城市活力解析有利于更准确地把握公园绿地需求端空间分异，促进公园绿地精准配给及供需协同；另一方面，公园绿地空间格局的深度优化可进一步引导城市综合活力的持续发展[20]。

总的来看，城市活力的评价与测度存在指标交错等情况，已有研究从活力视角对公园绿地配置特征进行研判，但仍未能清晰刻画二者在城市空间层面的关联关系。基于此，本研究从人群活动与城市空间结构两个维度综合测度城市活力。同时引入空间关联网络方法，对公园绿地与城市活力在城市空间层面的时空关联与网络结构进行解析，以期丰富存量更新背景下的城市公园绿地与城市空间耦合理论，促进城市空间格局深度优化与城市活力可持续增长。

1 研究区概况

南京（31°14′~32°37′N，118°22′~119°14′E）作为我国东部地区重要的中心城市与国家生态园林城市，位于 2020 年中国城市高质量发展排名前列。截至 2020 年，南京市建成区总面积达 868.28 km^2，城市人口密度 1 614 人/km^2，人均公园绿地面积 16.09 m^2，空间、产业与人口结构均处于高质量统筹发展的重要阶段。本研究选取长江岸线南侧与绕城路围合的主城区域作为研究区（图 1）。该区域经历早期快速扩张的增量发展，已进入稳定发展的存量更新阶段，公园绿地等公共服务资源尤为丰富，具备典型性与代表性。

《南京市“十四五”规划纲要和二〇三五年远景目标》《南京市 15 分钟社区生活圈规划导则》均针对 15 min 便民生活圈提出规划要求，强调对各类型生活圈进行多样化引导。为此，选取 1 km 尺度（15 min 步行距离）方格网作为研究的

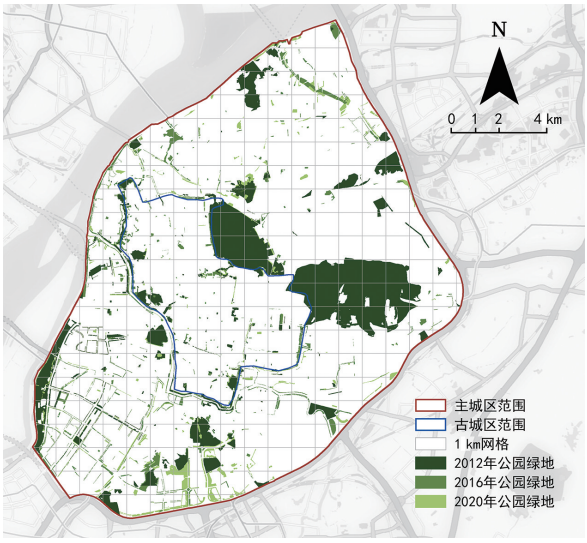


图 1　研究区域范围及研究单元

基本单元，以期为城市结构优化与高质量发展提供科学依据。

2　研究方法

2.1　数据来源

2.1.1　公园绿地

2012 年南京城镇化率首次突破 80%，由快速发展转向深度优化，至 2020 年完成了对上一轮城市规划成果的全面评估。基于可获取、可对比原则，以 2012、2016、2020 年城市总体规划的土地利用现状数据作为数据源，并进行数据配准矢量化与类型校准，提取对应年份公园绿地用地数据。参照《城市用地分类与规划建设用地标准（GB 50137-2011）》及《城市绿地规划标准（GB/T51346-2019）》，将服务半径>1 000 m、面积>10 hm^2的综合公园定义为大中型公园绿地，服务半径>500 m、1 hm^2≤面积<10 hm^2的社区公园定义为小型公园绿地，服务半径>300 m，0.4 hm^2≤面积<1 hm^2的游园定义为微型公园绿地。

2.1.2　城市活力

从人群活动及城市空间结构维度选取 5 项指标表征城市活力[8-10]（表 1），数据预处理流程如图 2 所示。人口分布数据获取自 Worldpop 官网，空间分辨率为 100 m，具备较高的人口拟合精度；夜间灯光数据获取自 NPP/VIIRS 逐月影像，空间分辨率为 500 m，较之同类型数据兼具长时序与高精度特征；POI 点位数据爬取自百度地图，对原数据进行清洗、排异、去重，并根据《城市用地分类与规划建设用地标准（GB 50137-2011）》与《生活性服务业统计分类（2019）》进行重分类；土地利用数据与公园绿地数据同数据源，其类型参照《城市用地分类与规划建设用地标准（GB 50137-2011）》《土地利用现状分类（GB/T21010-2017）》进行校准统一。

表 1　城市活力测度指标体系

城市活力	测度指标	指标描述
人群活动维度	人口活力	单元内人口栅格像元值均值
	夜间活力	单元内夜间灯光亮度均值
城市空间结构维度	POI 混合度	基于香浓多样性指数表征 POI 混合度
	POI 密度	单元内 POI 数量总和/单元面积
	土地利用混合度	基于熵指数表征单元内各土地类别的混合度

2.2　空间自相关分析

双变量空间自相关包含全局空间自相关与局部空间自相关两部分。采用全局莫兰指数反映公园绿地与城市活力两者在南京主城区全域范围内的空间相关性水平。

为进一步探究公园绿地与城市活力在局域范围内的聚集与离散特征，采用局部空间自相关进行分析，并将空间关系划分为高高、低低、高低、低高及不显著 5 种聚集类型。

2.3　空间关联网络分析

1）空间关联网络构建。引入修正的引力模型构建区域间的空间关联关系[21]，公式如下：

$$Q_{ij}=K_{ij}\frac{M_iM_j}{D_{ij}^b},\ K_{ij}=\frac{M_i}{M_i+M_j} \tag{1}$$

式（1）中：Q_{ij}表示研究单元间的空间关联强度；M_i、M_j分别表示单元 i 与单元 j 的城市活力（公园绿地覆盖率）；D_{ij}表示单元 i 与单元 j 节点间的空间距离；b 为距离衰减系数。

基于关联强度构建有向二值空间关联矩阵：关联强度均值为阈值，高于阈值则记为 1，表明单元间存在联系；低于阈值则记为 0，表明单元间不存在联系。

2）网络结构特征。网络结构特征可分为网络整体特征与网络个体特征两类（表 2）。

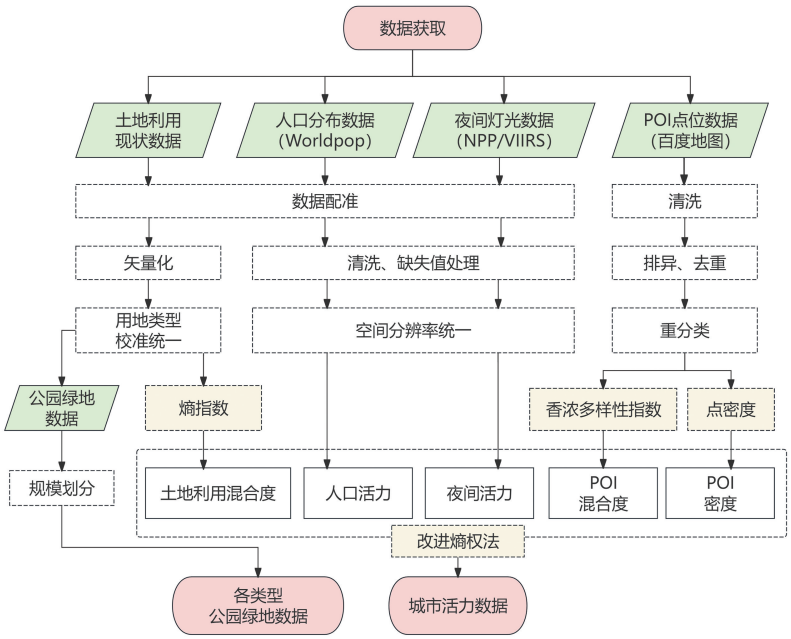


图 2 数据预处理流程

表 2 网络结构指标特征

指标		公式	公式说明
整体特征	网络密度	$D=M/N(N-1)$	M 表示网络中实际关系总数；N 表示网络中节点总数（其余指标同理）
	网络关联度	$C=1-V/[N(N-1)/2]$	V 表示网络中不可达节点数目
	网络效率	$G=1-K/max(K)$	K 表示网络中多余连接线总数
	网络等级度	$H=1-T/max(T)$	T 表示网络中对称可达的节点总数
个体特征	点度中心度	$C_{RD=}n/(N-1)$	n 表示网络中存在连接关系的总数
	中介中心度	$C_{RB}\frac{2}{N2-3N+2}\sum_{j\in Nk\in N}\sum\frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$	$g_{jk}(i)$ 为节点 j、k 间经过节点的最短路径数量；为节点 j、k 间最短路径数
	接近中心度	$C_{AP}=(N-1)/\sum_{j=1}^{n}d_{ij}$	d_{ij} 为两节点间最短路径距离

3 结果与分析

3.1 公园绿地与城市活力时空演化格局

3.1.1 公园绿地时空分布特征

南京主城区范围内公园绿地总体呈增长趋势，基于自然断点法将分布状态分为高、较高、中、较低、低覆盖率 5 类（图 3）。公园绿地整体极化趋势减弱：高覆盖率网格集中于紫金山、玄武湖区域，聚集特征显著；2012—2016 年公园绿地迅速增补，至 2020 年极化趋势下降，整体呈“连面成网”趋势。

微型、小型公园绿地由散点聚集向均衡填充转变。研究期内微型、小型公园绿地迅速增多，由高覆盖率、较高覆盖率网格向外辐射，并填充西北滨江及东北、东南外环线低覆盖率空间。

大中型公园绿地格局相对稳定。紫金山、玄武湖区域及雨花台等自然风景区局部聚集特征明显，新增大中型公园绿地集中于主城西北侧滨江绿带区域及东南外环线周边。

3.1.2 城市活力时空分布特征

综合各测度指标求得南京主城区城市活力，基于自然断点法分为 5 个梯度，即高活力、较高活力、中度活力、较低活力和低活力（图 4）。活力呈“单极聚集，多点组团”的空间嵌套格局。新街口—夫子庙商业片区单极特征突出，南湖路商住混合区及玄武湖北等区域环绕较高活力网格形成多点组团，低活力网格则主要集中于自然资源及生态用地。

活力整体普遍提升，高活力区域持续外扩。研究期内高活力网格自新街口—夫子庙极化中心持续扩张，2020 年北向外延至下官及西北滨江绿带；中度、较低活力网格围绕高活力中心不断外扩，嵌套格局进一步加深。

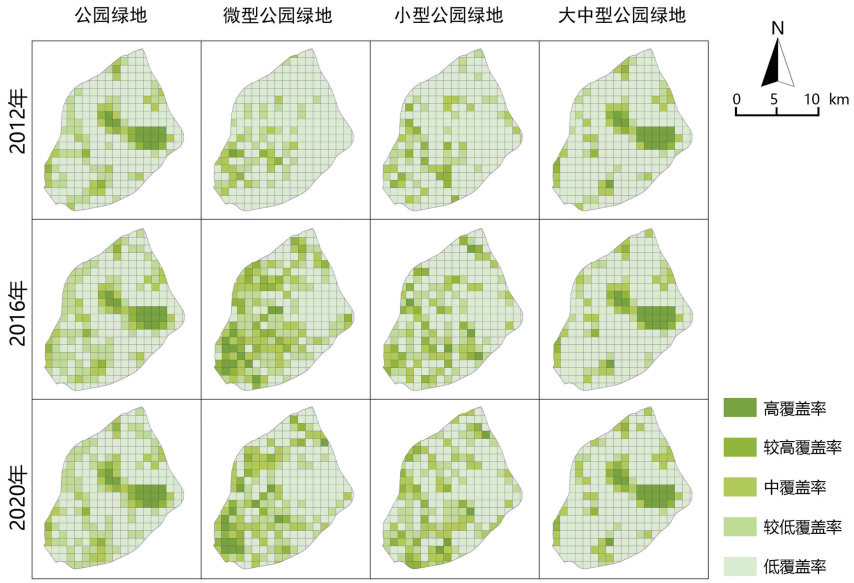


图 3　公园绿地时空分布特征

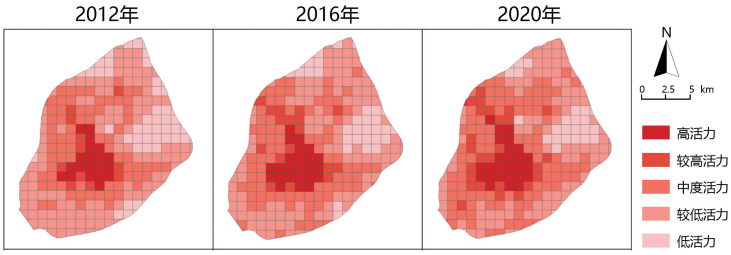


图 4　城市活力时空演化格局

3.1.3　公园绿地与城市活力时空关联格局

1）公园绿地与城市活力整体空间关联。各类型公园绿地与城市活力存在显著（$P<0.05$）的空间相关性（表 3）。公园绿地与城市活力空间差异整体趋强：二者空间布局总体呈分离趋势，研究期内公园绿地规模显著提高，城市活力水平普遍提升，但空间差异仍逐步趋强。其中，微型、小型公园绿地与城市活力存在相似的聚集特征与演变趋势：与城市活力均呈正向空间关联，且关联性表现为先下降后提升的“V”型总体增强趋势；大中型公园绿地与城市活力的分离特征趋强，即大中型公园绿地一般依托自然山水形成，一定程度上对其他城市功能空间产生负向约束，与城市活力始终存在较显著的分离特征，并随城市活力提升趋强。

表 3　公园绿地与城市活力全局自相关结果

年份	指标	公园绿地	微型公园绿地	小型公园绿地	大中型公园绿地
2012	Moran’s I	−0. 103 4	0. 220 8	0. 119 3	−0. 120 0
	Z-value	−4. 275 1	9. 330 2	5. 103 9	−4. 921 9
2016	Moran’s I	−0. 114 5	0. 216 4	0. 118 3	−0. 138 6
	Z-value	−4. 744 1	9. 028 1	5. 188 9	−5. 697 3
2020	Moran’s I	−0. 125 5	0. 259 2	0. 135 3	−0. 155 7
	Z-value	−5. 210 5	10. 694 4	5. 725 1	−6. 386 3

2）公园绿地与城市活力局域空间关联。由图 5 可知：微型公园绿地与城市活力聚集性波动增强，微型公园绿地在新城及秦淮河—夫子庙等高活力区域集聚分布，2016 年该聚集范围缩小而后反弹扩大，呈北向扩展趋势；小型公园绿地与城市活力环古城聚集特征持续减弱，河西新城及古

城周边聚集特征较显著，研究期内聚集范围持续缩小，古城内关联特征趋弱，二者整体离散特征趋强；大中型公园绿地与城市活力稳定弱聚集，玄武湖、紫金山等大中型公园绿地聚集区内部城市活力始终较低，其周边环绕分布商住、学校及行政办公等用地，存在少量高活力空间聚集。

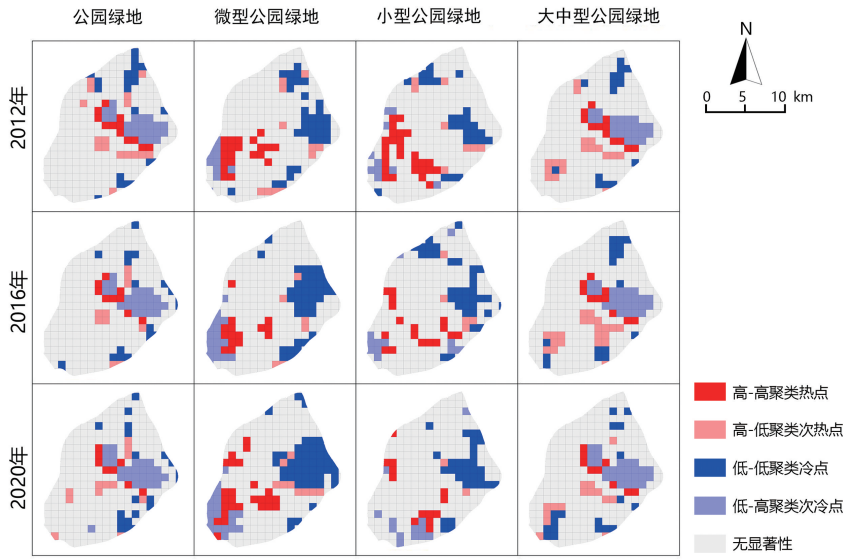


图 5 公园绿地与城市活力局域空间关联

3.2 公园绿地与城市活力网络结构特征

3.2.1 网络整体特征

观测期内空间关联网络仅局部网络密度提高，整体结构未发生较大变化，因此选取 2020 年进行分析，基于自然断点法将其关联强度分为 3 个等级，即强关联、中度关联和弱关联（图 6）。

1）网络整体结构。公园绿地及城市活力均呈“一核多点”网络结构。公园绿地空间关联网络以紫金山—玄武湖片区为网络关联核心，其次以大中型公园绿地形成网络次重心。城市活力以新街口—夫子庙为主要关联核心并北向延伸，与公园绿地网络次重心部分重叠。关联方式分别为“长距离直接关联”与“短距离递进关联”。公园绿地空间关联网络主要在近域及远距离均产生大量直接强关联路径，跨区域特性显著。城市活力总体偏均衡，关联距离短但覆盖区域更广。

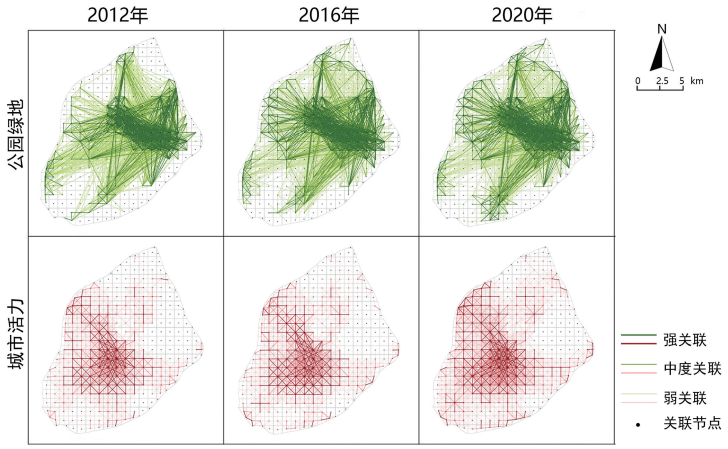


图 6 南京主城区公园绿地及城市活力空间关联网络

2）网络密度及关联性。由表 4 可知：公园绿地与城市活力网络密度均较低，表明空间相互依赖程度低，仍具较大的关联提升空间。其余各指标特征的差别主要在于网络等级度，公园绿地的网络等级度为 0.422 6，存在少数主导性较强的节点，整体稳定性较低；城市活力网络等级度则较

低，节点间影响力差异较小（表 4）。

表 4　网络密度及关联性特征

指标	公园绿地	城市活力
网络密度	0.066 5	0.154 1
网络关联度	0.636 0	0.964 8
网络效率	0.854 1	0.811 9
网络等级度	0.422 6	0.014 4

3.2.2　网络个体特征

1）点度中心度。图 7 显示，公园绿地点度中心度整体偏均衡，局部溢出显著。玄武湖—紫金山、莫愁湖等区域点度中心度均显著高于均值，具备较强的扩散影响能力和溢出效益；城市活力点度中心度呈圈层式结构，极化特征突出，活力的聚集能力强；周边片区点度中心度则逐层降低。点出度总体高于点入度，表明高值区等对邻域的扩散影响能力较强，少量低值区主要分布于主城区北侧及紫金山。公园绿地与城市活力两者的点度中心度呈空间错位特征，主城区内仅下关、莫愁湖等小范围内存在高值重叠，其主要原因在于以新街口片区为主的城市活力点度中心对人口聚集、土地开发及社会经济等要求较高，排斥了大规模公益性公园绿地建设。

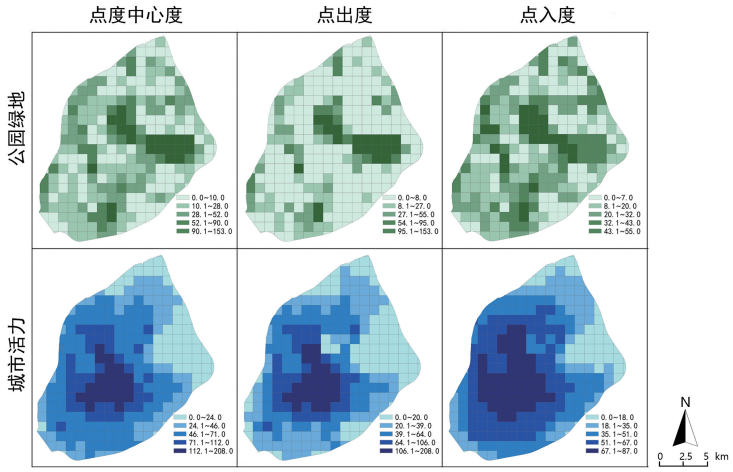


图 7　点度中心度、点出度及点入度特征

2）中介中心度与接近中心度。公园绿地网络中介中心度极化特征显著，网络中起桥梁与中介作用的节点分布较为有限，接近中心度较均衡，仅存在少量低值节点，与其他节点的交流协同较弱；城市活力中介中心度呈多中心特征，均集中于紫金山周边，从接近中心度看，以新街口—夫子庙为中心呈极强的单中心圈层结构。公园绿地与城市活力两者的中介中心度与接近中心度空间互补特征显著。中高值区呈空间邻接或分离特征，仅在紫金山、玄武湖等著名自然景区周边存在重叠（图 8）。

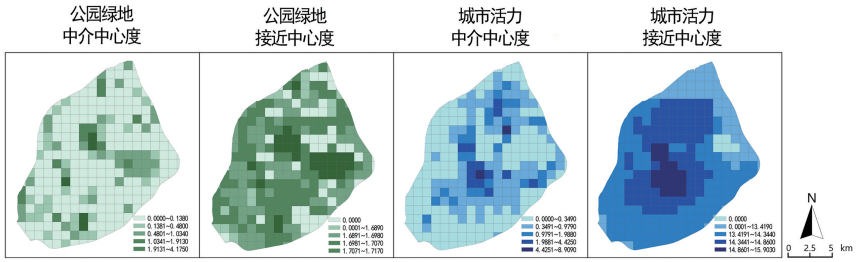


图 8　中介中心度及接近中心度特征

4　讨论

4.1　公园绿地与城市活力的时空关联特征呈类型化差异

已有研究证明城市活力存在明显的空间聚集和逐层衰减特征[22]。本研究发现南京主城区内存在类似的圈层式分异结构，且与公园绿地在发展中后期呈现相似的外围扩展趋势。在公园绿地与城市活力关联性层面，既有研究主要关注公园绿地的局域空间活力，但城市活力受各类建成环境

要素及人群活动的综合影响，存在复杂的非线性关系。故本研究将视角转向宏观城市空间层面，深入探究公园绿地与城市活力的时空关联特征。罗桑扎西等[23]发现，南京公园绿地的空间活力类型间存在显著差异，本研究发现微型、小型公园绿地往往与城市的高活力空间聚集，而大型公园绿地虽在空间关联网络中的影响力较高，但与高活力空间呈分离趋势。这一类型差异可能涉及空间尺度、城市功能区布局与规划政策导向等多方面原因。

4.2 公园绿地与城市活力的空间关联网络呈错位互补特征

南京主城区内公园绿地的局域供需错配现象较显著，针对大中型公园绿地，已有研究发现市中心附近自然山水对周边人口存在虹吸作用[24]，本研究发现以紫金山区域为主的大中型公园绿地与城市活力中心的空间错位特征突出，其内部功能较为单一，难以对城市活力形成有效聚集，但同时较大的空间规模往往更有利于功能多样性提升与空间复合利用，促进活力聚集，这主要依赖于城市规划政策导向与资源分配。

空间关联网络源于复杂网络理论，并广泛应用于经济学、社会学等领域。本研究基于该方法发现，公园绿地与城市活力虽呈现较好的功能互补特征，但均存在一定的核心垄断特征。虽然现阶段二者的总体协调性较好，但网络各节点间均衡性较差，致使网络稳健性偏低。后续规划需顺应总体规划，逐步深化多中心格局，强化结构稳定且协作紧密的空间关联网络。

4.3 优化对策

1）整体调控策略。一是主导功能差异化运维。对主城生态区域落实分区、分级监管；针对活力极化区域以用地功能置换等手段培育多层级中心，引导公园绿地需求端的多向分流。二是供需协调联动式调控。古城内连通小、微型公园绿地，“多点联动”分摊游憩需求，填补大中型公园绿地的功能缺位；以绿道为纽带促进古城外大中型绿地生境与内部游憩空间的“内外联动”，促进区域间公园绿地的长距离共享。

2）公园绿地类型化调控策略。优化节点间公共交通及慢行路径，强化“绿色核心—活力核心”空间关联骨架，促进功能互补；利用活力空间的既有配套服务及游憩设施，促进“微型公园绿地+既有设施”整合效应；在古城、新城内释放机关团体、文化等用地的附属绿地开放共享，代偿小型公园绿地功能缺位。

5 结论

本研究探明了城市活力与公园绿地的时空关联特征，拓展了当前城市空间资源紧缩背景下公园绿地时空格局的研究视角。主要结论如下：

1）公园绿地与城市活力分别呈趋强的填充优化与圈层扩张趋势。以微型与小型公园绿地为主体的增量空间集中于古城及河西新城，整体呈放缓的极化减弱趋势。城市活力以新街口片区为极化中心，呈圈层嵌套格局不断外扩。

2）公园绿地与城市活力关联类型差异显著，整体空间差异趋强。微型、小型公园绿地与城市活力呈微弱正关联，且微型>小型，聚集演化特征波动向好；大中型公园绿地与城市活力呈显著负关联的分离趋势。

3）公园绿地与城市活力空间关联网络呈错位互补、等级垄断的空间格局。整体均呈“一核多点”的关联格局，分别以个别大中型公园绿地与活力中心形成等级垄断，影响网络关联稳健性。

4）公园绿地与城市活力的协同发展需兼顾规模差异与网络结构优化。未来可进一步探究公园绿地与城市活力的多尺度关联及作用机理，为公园绿地空间格局深度优化、宜居生活环境营造提供科学依据。

参考文献

[1]王梓蒙,刘艳芳,罗璇,等.基于多源数据的城市活力与建成环境非线性关系研究:以双休日武汉市主城区为例[J].地理科学进展,2023,42(4):716-729.

[2]MONTGOMERY J. Making a city: Urbanity, vitality and urban design[J].Journal of Urban Design,1998,3(1):93-116.

[3]蒋涤非.城市形态活力论[M].南京:东南大学出版社,2007.

[4]刘黎,徐逸伦,江善虎,等.基于模糊物元模型的城市活力评价[J].地理与地理信息科学,2010,26(1):73-77.

[5]孙启翔,李百岁,田桐羽,等.内蒙古的城市活力时空格局及影响因素研究[J].世界地理研究,2023,32(3):101-111.

[6]王敏,陈梦璇,宋昊洋.生境质量与游憩服务的耦合协调对滨水空间活力的影响[J].中国城市林业,2022,20(3):7-13.

[7]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):64-69,87.

[8]XIA C,YEH A G,ZHANG A Q.Analyzing spatial relationships between urban land use intensity and urban vitality at street block level:a case study of five Chinese megacities[J].Landscape and Urban Planning,2020,193:103669.

[9]刘颂,董宇翔,邹清华.夜景照明对城市滨水环境生态—活力目标权衡的影响:以上海黄浦江徐汇滨江段为例[J].中国城市林业,2022,20(1):73-79.

[10]朱婷婷,涂伟,乐阳,等.利用地理标签数据感知城市活力[J].测绘学报,2020,49(3):365-374.

[11]LAPAIX R,FREEDMAN B.Vegetation structure and composition within urban parks of Halifax regional municipality,nova Scotia,Canada[J].Landscape and Urban Planning,2010,98(2):124-135.

[12]刘滨谊,郭佳希.基于风景旷奥理论的视觉感受模型研究:以城市湿地公园为例[J].南方建筑,2014(3):4-9.

[13]吴殿鸣,邵大伟,刘志强,等.不同尺度公园绿地与住房价格的空间分布关系研究:以苏州中心城区为例[J].中国园林,2018,34(11):113-118.

[14]仝德,孙裔煜,谢苗苗.基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J].地理科学进展,2021,40(7):1113-1126.

[15]王春晓,黄舒语,邓孟婷,等.供需耦合协调视角下高密度城市公园绿地公平性研究:以深圳龙华区为例[J].中国园林,2023,39(1):79-84.

[16]郭庭鸿,董靓,刘畅.健康视角下影响城市游园使用的环境特征识别研究[J].中国园林,2020,36(4):78-82.

[17]王姗,成林莉,邱文,等.基于多源数据的福州市晋安区公园绿地可达性研究[J].西北林学院学报,2023,38(1):257-265.

[18]张赫,贺晶,杨天宇,等.人群动态分布感知下的天津市公园活力特征及影响因素研究[J].风景园林,2023,30(7):36-42.

[19]宣蔚,姚宇超,赵力伟,等.多源数据视角下城市建成环境对城市活力空间分布的影响机制[J].科学技术与工程,2023,23(26):11349-11363.

[20]DONG Q D,CAI J,CHEN S,et al.Spatiotemporal analysis of urban green spatial vitality and the corresponding influencing factors:a case study of Chengdu,China[J].Land,2022,11(10):1820.

[21]孙中瑞,樊杰,孙勇,等.中国绿色科技创新效率空间关联网络结构特征及影响因素[J].经济地理,2022,42(3):33-43.

[22]HUANG B,ZHOU Y,LI Z,et al.Evaluating and characterizing urban vibrancy using spatial big data:Shanghai as a case study[J].Environment and Planning B,2020,47(9):1543-1559.

[23]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.

[24]徐宁,王璞,张潇.公园城市规划的综合性景观途径探索:城市建成区生态网络与公共空间耦合发展的数字化规划方法[J].城市规划,2024,48(12):27-37.