

DOI: 10.20103/j.stxb.202405211164

张林林, 王玉华, 雍亚利, 李鉴明, 徐岩. 基于空间句法的城市公园空间公平性研究——以深圳市龙岗区为例. 生态学报, 2025, 45(10): 4656-4666.
Zhang L L, Wang Y H, Yong Y L, Li J M, Xu Y. Research on spatial fairness of urban parks based on spatial syntax: taking Longgang District, Shenzhen as an example. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(10): 4656-4666.

基于空间句法的城市公园空间公平性研究 ——以深圳市龙岗区为例

张林林¹, 王玉华^{2,*}, 雍亚利¹, 李鉴明², 徐 岩²

¹ 中国农业大学园艺学院, 北京 100193

² 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083

摘要: 城市化的快速发展致使大城市城区人口规模不断扩张, 以城市公园为代表的城市公共服务设施资源的需求急剧上升, 但公园绿地资源与人口匹配协同性较差、配置效率低下、服务质量难以满足多样化需求等空间不公平问题日益突出。以深圳市龙岗区 27 个城市公园为例, 利用空间句法 (sDNA) 与 Moran's *I* 分析从接近度、穿行度和空间集聚差异三个方面对龙岗区城市公园空间公平性特征进行精准测度, 提升城市公园空间公平性优化的空间效率。结果表明: 龙岗区城市公园与人口分布存在“空间错位”现象, 城市公园与城市居民需求匹配性差; 龙岗区接近度呈现“南强北弱、西强东弱”的态势, 区域发展不协调; 龙岗区城市公园本底的路网结构整体的穿行度较差, 中部区域明显高于周围其他区域; 城市公园空间集聚差异表现出全局和局部接近度空间集聚显著、中心区域优势明显、穿行度空间集聚态势不清晰的特点。未来龙岗区城市公园发展中应优化本底的路网结构, 提高路网密度, 丰富不同等级路网间的连接方式, 提升公园质量等方式改善其空间公平性水平, 提高城市公园空间服务效率、协调性与人口分布的匹配程度, 为深圳市公园城市建设和龙岗区公园体系规划提供新的思路。

关键词: 空间公平; 城市公园; 空间句法; 深圳龙岗区

Research on spatial fairness of urban parks based on spatial syntax: taking Longgang District, Shenzhen as an example

ZHANG Linlin¹, WANG Yuhua^{2,*}, YONG Yali¹, LI Jianming², XU Yan²

¹ College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China

² College of Water Resource and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract: The rapid development of urbanization has led to the continuous expansion of population in urban areas of big cities, and the demand for urban public service facilities represented by urban parks has sharply increased. However, spatial inequality issues such as poor coordination between park green space resources and population, low allocation efficiency, and difficulty in meeting diverse needs in service quality have become increasingly prominent. In order to improve the spatial efficiency of optimizing the spatial fairness of urban parks, this article took 27 urban parks in Longgang District, Shenzhen as an example, and used spatial syntax (sDNA) and Moran's index analysis to accurately measure the spatial fairness characteristics of urban parks in Longgang District from three aspects: proximity, traversal, and spatial agglomeration differences. The results have indicated that there was a spatial mismatch between urban parks and population distribution in Longgang District, and the matching between urban parks and the needs of urban residents was poor; The proximity of Longgang District showed a trend of "strong in the south and weak in the north, strong in the west and weak in

基金项目: 中国农业大学 2115 人才工程资助

收稿日期: 2024-05-21; **采用日期:** 2025-03-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyuhua@cau.edu.cn

the east", and the regional development was not coordinated; The overall passability of the road network structure in Longgang District's urban parks was poor, with the central area significantly higher than other surrounding areas; the spatial agglomeration differences of urban parks showed significant differences in global and local proximity spatial agglomeration, obvious advantages in the central area, and unclear spatial agglomeration trends in terms of traversal. In the future development of urban parks in Longgang District, the basic road network structure should be optimized, the road network density should be increased, the connection methods between different levels of road networks should be enriched, and the quality of parks should be improved to increase their spatial fairness level, enhance the efficiency and coordination of urban park space services, and match the degree of population distribution. This study will provide new ideas for the construction of Shenzhen's park city and the planning of Longgang District's park system.

Key Words: space equity; urban parks; spatial syntax; Longgang District, Shenzhen

城市公园作为城市重要的基础设施,在改善空气质量、缓解城市热岛效应、提供应急避险场所^[1-3]等方面发挥重要作用,同时能够促进社会交往、社会交流与融合^[4]等,兼具生态、经济、社会等多方面效益^[5-7]。当前,城市高质量发展和公园城市建设对城市公园和人口分布之间匹配的空间效率、协调性与服务质量提出了更高的要求。然而,目前我国的城市公园绿地存在参与性差、空间分布失衡、服务品质不佳、生态管理理念缺失等问题^[8]。在城市建设方式转变为“存量更新”,超大城市人口密度迅速上升的背景下,传统的从单一地域均等角度出发的公园绿地评价体系已无法适应精准调控的需求^[9]。因此,开展基于与人口分布协同的公园绿地空间公平性研究,有助于满足不同人口的多样化需求、优化城市公园绿地空间布局,促进公园绿地的配置公平^[10],更有效提高城市公园服务的社会公平性,为政府部门提升居民福祉、解决公园绿地供需矛盾等提供科学的决策与依据。

学界关于公园绿地公平性研究主要经历了地域均等、空间公平与社会公平三个阶段^[11-12]。地域均等^[13]以公园绿地面积和数量均等分配为目标,通过绿地率等指标展开研究。空间公平^[14]阶段强调绿地的可接近程度和使用效率,将人均绿地面积、可达性等纳入评价体系。社会公平更注重不同群体差异,注重偏向弱势群体^[15]。城市公园绿地的空间公平性是指一定空间范围内城市公园绿地在空间分布上的公平性^[16],其仍是近年的研究热点。现有关于城市公园绿地空间公平性的研究思路主要分为两个方面,一是构建指标体系综合评价公园绿地的空间公平性程度^[17-19];二是运用空间分析法测度公园绿地的可达性来表征其空间公平性^[20-22]。其中,测度可达性的方法是目前衡量公园绿地空间公平性最常用的方法,主要包括缓冲区分析法^[23]、费用距离加权法^[24]、引力模型法^[25]、网络分析法^[26]、两步移动搜索法^[27-28]、空间句法^[29]等多种方法。这些方法目前以交通路网、时间的绝对平均或同质化处理来计算可达性高低,进而反映空间公平性程度,但往往忽略了居民前往、使用公园过程中,时间或距离成本会因城市车流量、过街通行方式等实际条件产生变化,引发空间公平性结果出现偏差。

空间句法由 Hansen 在 1984 年提出,是一种定量分析城市空间的结构与组织的方法,通过一系列的数学算法和分析方法来描述和量化空间组构的特征。在城市规划领域,此方法综合考虑城市交通路网与建筑、水体等其他城市要素之间的空间耦合关系,通过衡量城市空间两类元素之间的聚集、离散程度,考虑距离阈值及其权重影响,从而客观判定城市空间与人类行为和社会现象之间的关系。该方法针对历史街区、教堂等建筑空间与开放空间的分析应用较多,近期研究多将空间句法分析得到的空间特征与犯罪行为^[30]、居民日常活动等相结合,分析社会活动发生的内在机制,以此来指导空间设计^[31-34];有学者将空间句法应用于城市公共服务设施空间可达性评价,但都通过 Depthmap 建立轴线分析模型,从全局可达性、局部可达性、感知可达性三个方面分析大尺度旅游景点的空间特征^[35],结合人口数据进行对公园绿地的心理可达性进行分析^[36];也有学者利用空间句法定量分析路网形态特征,结合社会数据分析其对城市住宅的价格影响^[37]。2015 年 Cooper 团队发布了基于 GIS 系统的 sDNA 插件^[38],sDNA 改进了空间句法对于中大尺度城市和区域的建模分析能力,

为中大尺度城市空间关系分析提供了强大的支撑。空间句法在可达性评价中也被进一步拓展,在中大尺度层面的分析还有待深入,并且结合大数据已成为大势所趋^[39]。

综上所述,在已有研究中 Depthmap 轴线模型数据处理往往存在主观性,导致精度不高,缺少对三维空间形态的考虑,指标上主要关注空间句法中的可达性(接近度)单一指标,对其他空间形态指标缺少解读;其次,空间句法主要用于大尺度,在 Cooper 结合大数据改进之后,此方法也应用于城市空间中微观尺度的研究中,但案例相对较少,更鲜少用于城市公园空间公平性研究中。因此,本文运用精度更高的空间句法 sDNA 模型,从深圳市龙岗区中观尺度上,采用路网接近度、穿行度等指标对城市公园进行研究,拓展城市公园空间公平性研究方法,以更精确地识别城市公园空间的不公平区域,为高效提升城市公园绿地的优化质量与建设美丽宜居公园城市提供科学依据。

1 研究区域、数据与方法

1.1 研究区域概况

龙岗区位于深圳城市东部中心,总面积 388.21km²,下辖 11 个街道(如图 1)。作为深圳高度建成区之一,截至 2022 年末,龙岗区常住人口 407.36 万人,增长 1.5%;公园总面积为 3249hm²,森林覆盖率为 31.2%。早期的工业化发展,加剧了龙岗区城市与自然环境之间的割裂程度,目前在城区人口持续增长的情况下,城市公园绿地资源较为匮乏、空间差异显著。2023 年 12 月,深圳市发布《深圳市公园建设发展专项规划(2021—2035 年)》,提出推进龙岗区北部公园廊道建设,全面提升公园质量与特色,凸显生态低碳主题。本研究选择龙岗区作为典型城区研究样本,以街道为基本研究单元,基于空间句法理论分析城市公园空间公平性的现状

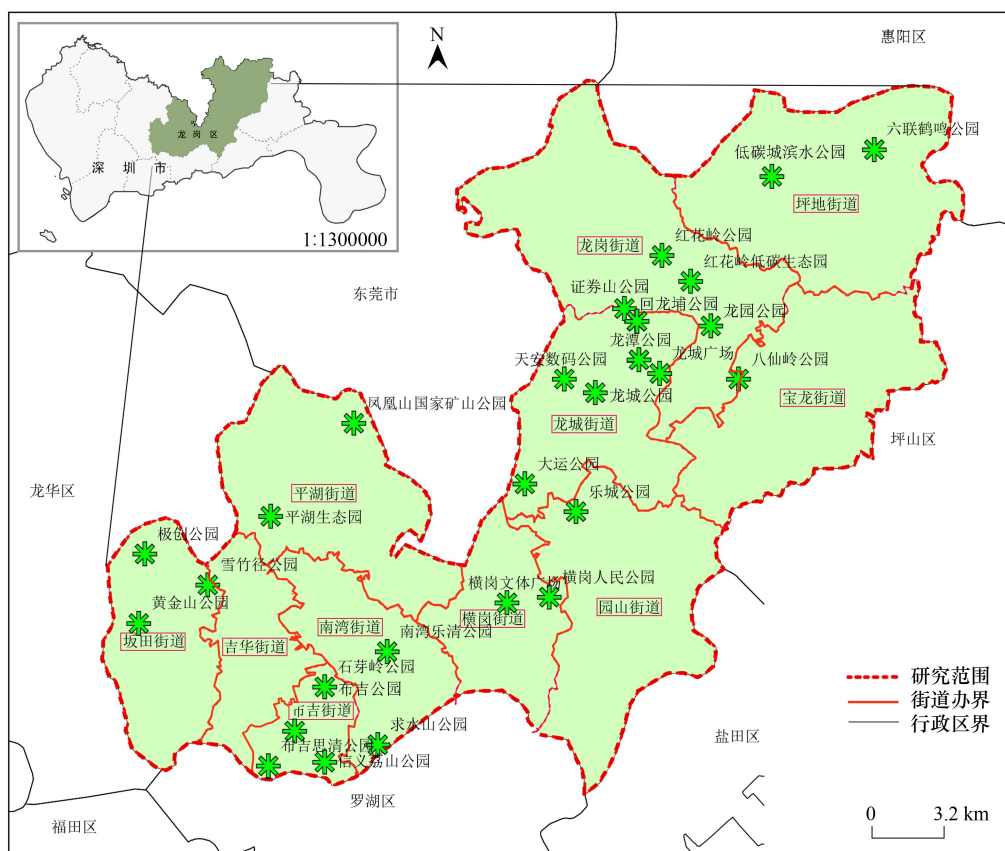


图 1 研究区域

Fig.1 Research Area

问题,对其他区域城市公园建设具有一定的借鉴意义。

1.2 数据来源与处理

本文采用深圳市公园管理中心的分类方法,将公园绿地分为自然公园、城市公园和社区公园三类,其中城市公园在《深圳市公园城市建设总体规划暨三年行动计划(2022—2024年)》中的定义为以游憩为主要功能且具有一定生态功能,为整个城市服务,向公众开放的公园,包括设施完善、规模较大的综合公园和动植物园、儿童公园、人文遗迹公园、纪念公园、游乐公园、体育公园、海滨公园等专类公园,与传统的城市公园定义不同,包含的类别更丰富。龙岗区的城市公园数据根据深圳市城市管理和综合执法局发布的《2022年深圳市公园名录》得到城市公园基础数据共27个(图1)。交通路网数据借助Open Street Map平台下载并处理,在ArcGIS中建立线段模型。POI(point of interest)数据是一种新型空间数据源,其分布模式和密度在基础设施规划、城市空间分析中有重要意义^[39],本文从高德地图开发者平台爬取龙岗区2022年3月的高德平台13类POI数据,共计396989个节点。最后,运用ArcGIS将以上数据矢量化后建立空间数据库。

1.3 研究方法

1.3.1 城市公园与人口活力空间分布现状

本文旨在对深圳市龙岗区城市公园与人口活力在空间上的分布现状展开分析,为后续空间句法研究城市公园公平性与建立模型提供数据支撑。本文选择与人口活力密切相关的POI数据进行计算,核密度分析是一种利用概率密度曲线展现变量的分布形态和演进规律的非参数估计方法^[38],采用该方法刻画城市公园与人口活力空间分布现状,以全域为搜索半径,从而映射出城市公园与人口活力在空间分布上的特征差异,核密度分析计算由ArcGIS 10.6软件实现,相关公式及含义请参见相关文献^[39],计算得到城市公园与人口活力空间分布现状(图2)。

1.3.2 龙岗区城市公园空间格局分析

量化城市公园空间格局的方法多种多样,其中空间句法可以有效量化空间结构,从中观尺度上建立符合城市实际的测量模型,包括角度模型、轴线模型、线段模型等,有视域分析、轴线分析、凸空间分析三种^[40]方法,测量指标包括整合度、中心性、平均测地线长度^[41]等。本文选取接近度与穿行度两个指标衡量城市公园空间格局,选择的原因是这两个指标更适用于测量中观尺度上城市交通路网的服务水平,同时可以作为测度城市公园可达性与服务能力的重要指标^[29,35],从而更有效地测度龙岗区城市公园空间公平性。

本研究基于区域实际,利用sDNA插件建立线段模型,利用波段集统计对城市公园核密度分析结果与接近度和穿行度水平进行相关性分析,其相关性系数为0.449($P < 0.001$),具有中度相关关系。由此可见,建立空间句法线段模型展开后续接近度和穿行度分析可行。

(1) 接近度水平

在空间句法(sDNA)中,接近度是网络中心性的体现,它衡量的是在给定半径内,到达所有可能前往的公园绿地的平均难易程度^[42]。接近度越高,则意味着可达性及绿地空间服务便利程度越好,并利用自然断点法,将结果划分为高、较高、中、较低、低5个等级(图3、图4)。NQPDA是衡量接近度的主要指标,计算公式^[42]为

$$NQPDA(x) = \sum_{y \in R_x} \frac{P(y)}{d(x, y)}$$

式中,NQPDA(x)代表 x 点的接近度水平; $d(x, y)$ 为公园点 x 节点与居民点 y 节点所在位置的最短拓扑距离,其中 x 和 y 代表起点多段线和终点多段线空间位置; R_x 是连接 x 的网络半径; $P(y)$ 为搜索半径 R 内节点 y 的权重,其中在离散空间分析中, $P(y)$ 等于0或1,在连续空间中, $P(y) \in [0, 1]$ 。

(2) 穿行度水平

穿行度衡量交通流路径受半径最大行程距离影响的概率^[40],能够验证自身的穿越潜力。在实际出行中,穿行度高代表选择通过街道的概率和停留在绿地休憩的可能性也越大。两相中介性(TPBt)常作为衡量穿行

度的指标,表示目的地竞争引起起源地注意的程度,并通过这种竞争来衡量到达目的地的总流量^[43]。街道连接点 x 的 TPBT 都是通过半径内的总测地线标准化获得的,将分析结果利用自然断点法,划分为高、较高、中、较低、低 5 个等级(图 5),计算如下^[41]:

$$OD(y, z, x) = \begin{cases} 1, x \text{ 位于 } y \text{ 到 } z \text{ 最短路径上} \\ 1/2, x = y \neq z \\ 1/2, x = z \neq y \\ 1/3, x = y = z \\ 0, \text{其他情况} \end{cases}$$

$$TPBt(x) = \sum_{y \in N} \sum_{z \in R_y} OD(y, z, x) \frac{W(z)P(z)}{\text{total weight}(y)}$$

其中,TPBT(x)为节点 y 的穿行度结果, $OD(y, z, x)$ 是在搜索半径 R 之内通过多段线 x 的多段线 y 与 z 之间最短拓扑距离;TPBT(x)代表连接 x 的穿行度结果; y 和 z 代表测地线端点; N 是全局空间系统中的多段线集合; $W(z)$ 是多段线 z 的权重,一般情况下 $W(z) = 1$; $P(z)$ 是任意多段线 z 在半径内的比重,在连续空间中 $P(z) \in [0, 1]$; $\text{total weight}(y)$ 是每个多段线 y 搜索半径内的多段线总量; R_y 是从多段线 y 开始的定义半径内的一组链接。

1.3.3 龙岗区城市公园空间公平性分析

城市公园的接近度与穿行度水平在不同空间位置的聚集差异性,进一步深入测度城市公园的空间公平性水平。Moran's I ^[42] 是用来衡量空间相关性的一个重要指标,其分为全局 Moran's I 指数和局部 Moran's I 指数,全局 Moran's I 指数可判断指标是否存在空间相关性,取值范围为-1 到 1 之间,大于 0 代表存在正相关关系,且数值越大其相关性越强,结果如表 1 所示,接近度与穿行度均存在显著的空间正相关性。局部 Moran's I 指数取值不限于-1 到 1 之间,进一步给出其空间聚集的具体位置。本文在通过空间句法分析得到的穿行度和接近度水平基础上,利用 Moran's I 指数分析研究区内城市公园空间公平性差异,明确公园绿地空间公平性差异所在,进而为城市公园空间优化提供支撑,聚集结果分为不显著(Not Significant)、高-高聚集(High-High Cluster)、低-低聚集(Low-Low Cluster)、高-低聚集(High-Low Outlier)和低-高聚集(Low-High Outlier)五种类型(图 6、图 7)。计算由 ArcGIS 10.6 软件实现,公式^[44]如下:

全局 Moran's I 指数计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}}$$

局部 Moran's I 指数计算公式为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s^2} \sum_{j \neq i}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})$$

式中, x_i 代表第 i 个节点的穿行度或接近度, $\bar{x}$ 为样本均值, s^2 为样本方差, W_{ij} 为该区域空间权重矩阵的(i, j),表示节点 i 和 j 之间的邻近关系。

2 结果与分析

2.1 龙岗区城市公园与人口活力空间分布现状

城市公园的空间分布现状(图 2)整体表现为“北密南疏”的结构。空间上分南北两个分布中心,北部以龙岗和龙城街道的交界区为中心,南部以布吉街道为中心,核密度值最高。从街道尺度来看,城市公园主要集中分布在龙岗街道、龙城街道和布吉街道,呈现明显的中心集聚趋势;园山街道和宝龙街道的分布数量最少,城市公园空间分布不均衡。

POI 核密度越高,代表人群聚集程度和对城市公园的需求越高。人群活力(图 2)空间分布现状从整体上

来看,呈现分散聚集、多中心分布模式。

两者对比分析发现,人群活动的核心集聚区与城市公园的分布中心在数量和空间分布上存在“空间错位”,主要表现在以下两方面:一是两者的分布中心数量差异大;二是两者在空间分布上“错位”明显。

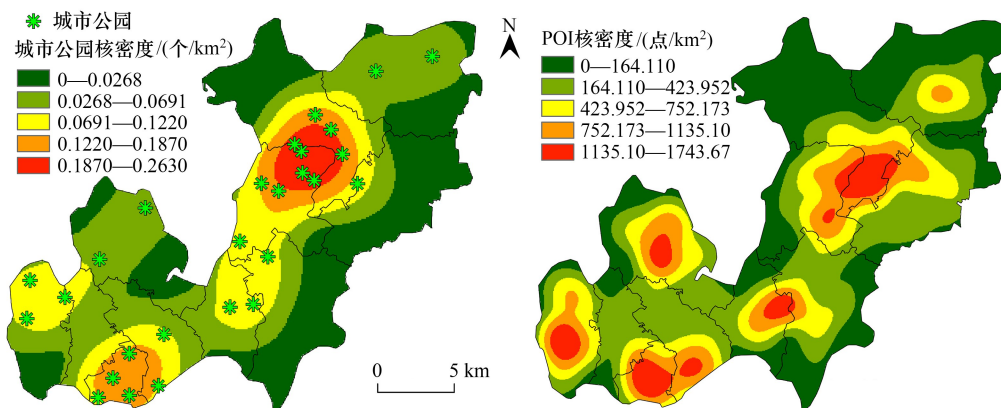


图2 城市公园与 POI 核密度分析结果

Fig.2 Analysis of urban parks and POI kernel density

POI: 兴趣点 Ppoint of interest

2.2 空间句法下的龙岗区城市公园空间格局分析

2.2.1 城市公园接近度分析

(1) 全局接近度

如图3所示,龙岗区全局接近度范围在0.39—1.75之间,整体呈现“南强北弱、西强东弱”的态势;接近度最高的区域位于西部的平湖街道南部、南湾街道中西部、横岗街道中部;全局接近度最低区域位于龙岗北部的龙岗街道、坪地街道、宝龙街道外围区域、东南部的园山街道的南侧区域。通过与城市公园位置对比分析发现,横岗文体广场、横岗人民公园在所有城市公园中全局接近度最高,黄金山公园、龙潭公园、龙城广场三个城市公园的全局接近度偏高,其余公园的全局接近度处于居中或偏低水平,位于南湾街道南侧的求水山公园是全局接近度最低的城市公园,城市公园存在接近度水平差异大、绿地分布不均衡等现象。

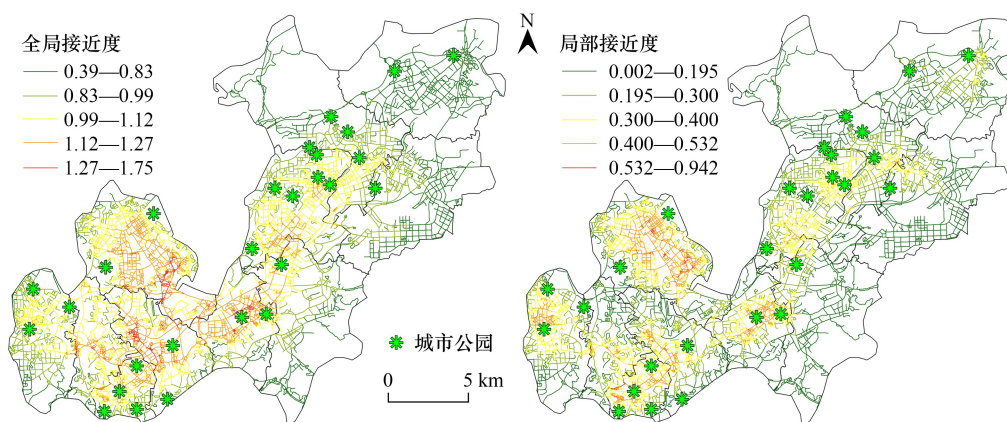


图3 全局和局部接近度分析结果

Fig.3 Global closeness and local closeness results

(2) 局部接近度

根据住建部颁布的《城市绿地规划标准》(GB/T51346—2019)中规定的城市公园服务半径分别为1.2km、

2km、3km, 本文将城市公园核密度分析结果分别与不同半径下的接近度核密度分析结果进行相关性分析。结果显示, 不同搜索半径下的相关性指数分别为 0.378、0.405、0.434, 均大于 0.3, 其中半径在 3km 时的相关性最高, 因此选择 3km 作为局部接近度的相对最优半径来进行后续研究。

由图 3 可知, 龙岗区全局接近度范围在 0.002—0.942 之间, 整体呈现“分散成团”的分布特征, 局部接近度最高的区域位于坂田街道、平湖街道、布吉街道、横岗街道、南湾街道这五个街道的中心区域, 分布在各街道的外围区域局部接近度最低, 例如龙岗街道的北部、宝龙街道东部。通过局部接近度与城市公园位置对比分析发现, 黄金山公园、横岗人民公园、石芽岭公园等位于研究区中部核心区域公园局部接近度水平整体较高; 局部接近度较低的城市公园主要位于龙岗区的西南部和东北部, 如极创公园、平湖生态园、低碳城滨水公园等。

2.2.2 龙岗区城市公园穿行度分析

由图 4 可知, 龙岗区全局穿行度整体呈现“中高周低”的特征。全局穿行度较高的道路包括中部主要道路如水官高速 S28、龙翔大道等(穿行度分别为 4091.78、1843.88); 南坪东大道、平安大道等道路全局穿行度居中; 园山街道、坂田街道等周边区域的爱南路、沙荷路、红棉路等道路的全局穿行度偏低, 其余道路的全局穿行度均低于 142.656, 处于最低状态。

由图 4 可知, 龙岗区局部穿行度整体呈现“北低南高”的特征。局部区域穿行度水平较高的道路包括东深路、布澜路等(穿行度分别为 85.82、97.92); 局部穿行度处于中等水平的道路数量明显多于全局穿行度, 主要包括良白路、红棉路、龙岗大道北段等; 局部穿行度偏低的道路与全局穿行度相似, 均位于各街道的外围区域。

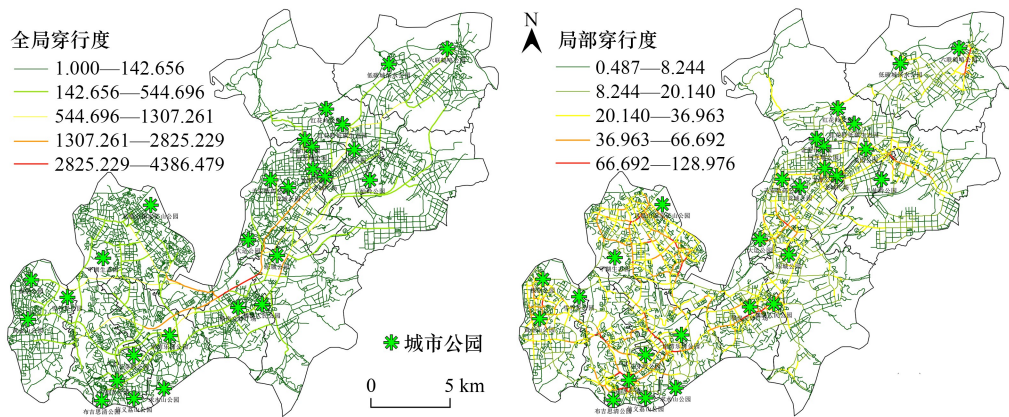


图 4 全局穿行度与局部穿行度分析结果

Fig.4 Global betweenness and local betweenness results

2.3 龙岗区城市公园接近度与穿行度的空间公平性分析

2.3.1 空间自相关分析

由于空间句法仅反映路网中某一位置的接近度与穿行度水平, 为反映邻近区域的路网发育程度以及路段承担的功能与作用的强弱, 识别不同区域在接近度与穿行度水平的空间差异性, 本文采用全局 Moran's *I* 指数对接近度与穿行度空间自相关性进行测度, 分析结果如下:

表 1 接近度与穿行度空间自相关分析结果

Table 1 Results of Global Moran's *I* on closeness and betweenness

	全局接近度 Global closeness	局部接近度 Local closeness	全局穿行度 Global betweenness	局部穿行度 Local betweenness
Moran's <i>I</i>	0.76	0.64	0.11	0.12
Z 值得分 Z-Score	447.5	357.2	62.66	68.55
P 值 P-Value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

结果显示:(1)研究区域的城市公园全局和局部接近度指数具有显著的空间正相关性。全局接近度的 Moran's I 为 0.76, Z 值得分为 447.5, P 值小于 0.001;局部接近度的 Moran's I 指数为 0.64, Z 值得分为 357.2, P 值小于 0.001;(2)研究区域的城市公园全局和局部穿行度指数均具有空间正相关性,但空间集聚态势不明显。全局穿行度的 Moran's I 指数为 0.11, Z 值得分 62.66, P 小于 0.001;局部穿行度的 Moran's I 指数为 0.12, Z 值得分 68.55, P 小于 0.001。

2.3.2 全局和局部接近度空间公平性特征分析

如图 5 所示,全局接近度集聚趋势十分明显,呈现集中连片分布特征,说明空间不公平性程度严重。高-高集聚位于龙岗区中部核心区域,主要分布在平湖、布吉、吉华、南湾、横岗、龙城街道;低-高集聚位于高-高集聚外围区域呈环状分布;低-低集聚主要位于坂田、龙岗、坪地、宝龙街道,高-低集聚不明显。

局部接近度空间集聚态势稍弱,呈现“多点成团,散状分布”的空间特征。局部接近度的高-高集聚区主要有 6 个,分别位于坂田街道西部、平湖街道中部、横岗街道中部、龙城街道的北部和南部、布吉街道和吉华街道以及南湾街道的交界区域;低-高集聚区围绕高-高集聚区域成明显的环状分布;低-低集聚区域主要位于研究区外围区域;高-低集聚不明显。

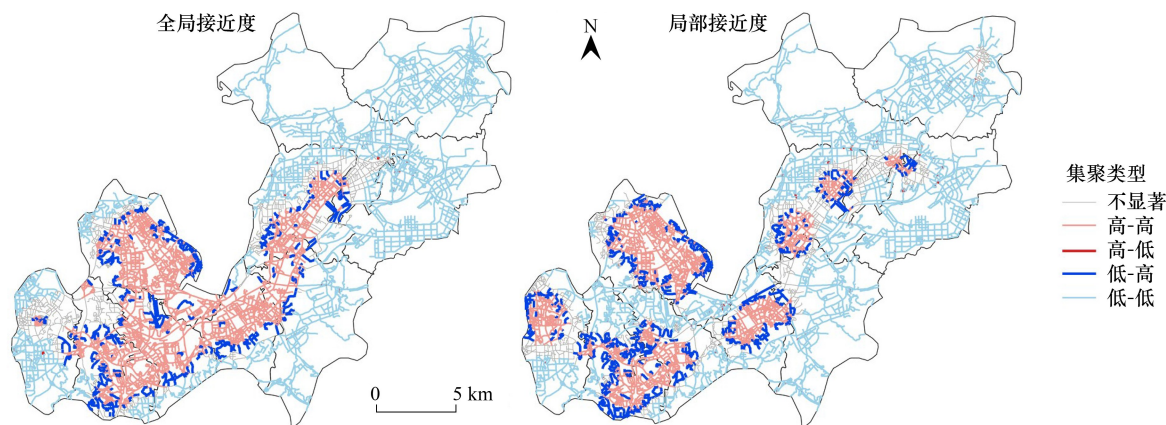


图 5 全局接近度和局部接近度空间集聚分析结果

Fig.5 Results of global and local closeness-based spatial clustering analysis

整体来看,龙岗区局部接近度集聚水平低于全局接近度,中部核心区域及各街道中心区域受到路网密度和地理位置影响,接近度集聚程度显著,而外围区域尤其北部城市公园密度较高,但接近度呈低-低集聚,表明外围区域和北部城市公园服务效率低下,空间不公平程度加剧。

2.3.3 全局和局部穿行度空间集聚特征分析

由图 6 可知,城市公园全局穿行度的集聚趋势较为明显:高-高集聚主要位于龙城、横岗、园山街道中部的的主要道路,如水官高速、沈海高速等;低-高集聚围绕高-高集聚,呈团状分布;高-低集聚区域和低-低集聚区域位于龙岗区外围。

城市公园局部穿行度的高-高集聚不明显,主要集中在局部区域主干道,如龙岗大道、布澜路等;低-高集聚区域主要位于平湖街道中部、坂田街道中部、南湾与布吉及吉华街道的交界区、吉华和坂田的交界区、龙城街道南部等;高-低集聚不明显,分布散乱;低-低集聚与全局穿行度相似,主要位于龙岗区外围。

整体来看,龙岗区全局穿行度集聚态势比局部穿行度明显,主要集中在中部核心区域,对城市公园的使用形成了不利条件;局部穿行度多中心集聚,外围区域劣势明显。北部和西部的城市公园周围路网穿行度较低,例如黄金山公园、极创公园、六联鹤鸣公园等周围道路的穿行度亟需改善。

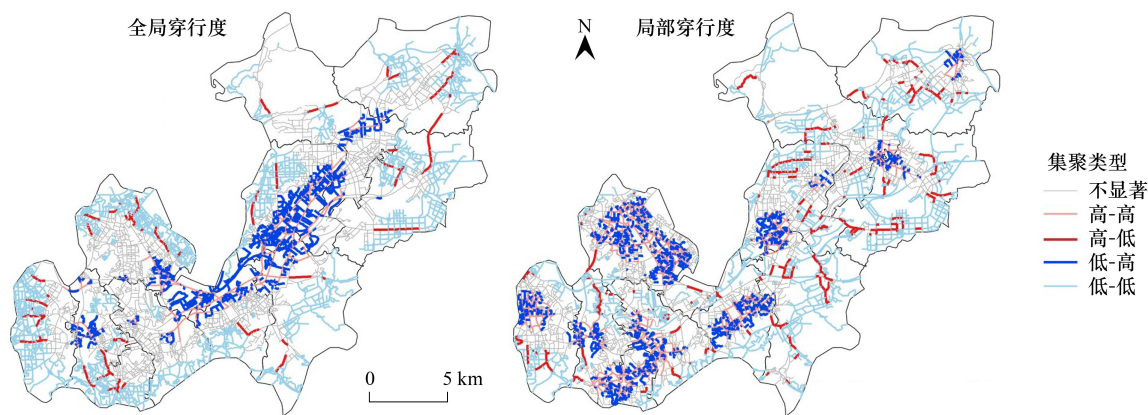


图6 全局穿行度和局部穿行度空间集聚分析结果

Fig.6 Results of global and local betweenness-based spatial clustering analysis

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 相较于其他研究方法,空间句法应用于中观尺度上的城市公园研究,能更准确地模拟城市空间的实际状况,并更精确反映城市公园空间公平性水平。公园绿地空间公平性中相关指标如可达性^[20-22]主要通过绿地资源为居民提供服务的能力^[10-11]来反映,目前测度的方法包括引力模型法^[25]、两步移动搜索法^[27-28]等,这些方法的实质是以均质化处理的城市路网平面为基础,衡量居民前往绿地在时间和距离上的差异,表征可达性、时间等指标差异及变化,忽略了城市实际形态空间如街道偏转角度、人行天桥、地下通道等近地面交通对于居民行进过程中的影响,使得结果偏于理想化。本研究利用空间句法建立路网模型,将各类近地面交通纳入路网系统,考虑城市形态在连续空间与集散空间的差异,结合角度变化度量实际距离,更符合城市建设实际情况,增加穿行度指标解读,能更精确反映中观尺度下公园绿地的空间不公平性水平,进一步丰富和拓展空间句法的应用领域,这与全德^[45]利用两步移动搜索法进行的深圳市不同区域公园绿地可达性研究中龙岗区的结果类似,但此研究结果明显精准度更高。

(2) 根据空间句法的多指标分析过程与结果,本文对龙岗区城市公园空间公平性提升,提出以下优化策略与建议:①提升城市公园服务能力。一方面在人口密度较高但城市公园较少的中心城区等空间不公平性矛盾突出的区域,重点突破,以科学测度为抓手,采取“能绿则绿、见缝插绿”的举措;结合实际调研,将居民多元化需求纳入公园质量优化提升范围,提升城市公园整体服务水平和效率。另一方面可积极探索公园上楼、开发城市屋顶第三空间等政策机制,运用多种开绿拓绿方式,提高居民使用满意度和促进城市可持续发展。②在接近度方面,可通过丰富各区域间交通路网形式,优化本底路网结构,提高接近度水平低(如坪地街道)区域内部路网密度,增设人行天桥、地下通道等交通形式等方式,减小区域间接接近度水平差异。③在穿行度方面,可以优化全局穿行度较高的道路(如龙岗大道)与其他道路间连接方式,减少居民前往公园路径间不必要的迂回;对于局部或全局穿行度较高的关键路网节点,通过增加公共交通节点来强化与公园间连接;在城市外围穿行度较低区域,可通过拓宽或增加路径,提升路网穿行度水平,进一步满足周围居民的需求。

(3) 本文在龙岗区城市公园空间公平性研究中对人口流动与城市公园使用主体的个性化、多样化需求方面考虑仍有不足。第一,研究忽略了龙岗区这一研究区域对周围空间的开放性与吸引力,未将研究区与相邻区域实际存在的人口流动考虑在内。未来进一步研究中,可根据公园服务范围,将空间句法边界效应对研究区域边界接近度的影响纳入研究框架内。第二,本研究未考虑公园服务主体的多元化和个性化需求,进一步研究可以将空间句法与大数据、AI模型等手段相结合,并增加使用主体行为需求调研,为城市公园选址建设

提供参考,同时可以精确地分析居民对于城市公园空间的多元化需求,精准提升城市公园服务的公平性。

3.2 结论

本研究利用空间句法与 Moran's *I* 分析,采用接近度、穿行度等指标进行综合分析,对中观尺度下的龙岗区城市公园空间公平性进行精准测度,为提升城市公园空间的优化质量与优化效率提出建议。研究主要结论如下:(1)人群活力核心集聚区与城市公园的分布中心呈现“空间错位”,城市公园空间分布格局和服务需求格局不匹配,存在着显著的公园绿地空间不公平现象。(2)全局接近度呈现“南强北弱、西强东弱”的态势,城市外围区域接近度明显低于中心城区;局部接近度水平低于全局接近度,且区域间局部接近度水平差异较大。(3)研究区全局穿行度水平空间差异显著,呈现“中高周低”的特征;局部穿行度远低于全局穿行度水平,呈“北低南高”的特征,城市公园空间服务效率参差不齐。(4)龙岗区全局接近度和局部接近度的空间集聚态势明显,呈现出集中连片分布和团状聚集特征,区域间集聚差异较大,城市公园空间不公平性显著;全局穿行度和局部穿行度的空间集聚不明显,呈零散分布状态,说明城市公园接近度空间不公平程度略高于穿行度,改善两者对于提升空间公平性意义重大。

参考文献 (References):

- [1] 赵芮,申鑫杰,田国行,郭煜琛,何瑞珍. 郑州市公园绿地景观特征对公园冷岛效应的影响. 生态学报, 2020, 40(9): 2886-2894.
- [2] 焦敏,周伟奇,钱雨果,王佳,郑重,胡潇方,王伟民. 斑块面积对城市绿地降温效应的影响研究进展. 生态学报, 2021, 41(23): 9154-9163.
- [3] 朱佩娟,张洁,肖洪,田怀玉. 城市公共绿地的应急避难功能——基于 GIS 的格局优化研究. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 34-42.
- [4] Maas J, van Dillen S M E, Verheij R A, Groenewegen P P. Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. Health & Place, 2009, 15(2): 586-595.
- [5] Lachowycz K, Jones A P. Towards a better understanding of the relationship between greenspace and health: Development of a theoretical framework. Landscape and Urban Planning, 2013, 118(9): 62-69.
- [6] 朱春阳,陈奕汝,郭慧娟,陈羽阳. 城市森林公园植物群落与空气负离子空间分布的关系——以武汉马鞍山森林公园为例. 中国园林, 2021, 37(5): 109-114.
- [7] 葛韵宇,刘子晴,端木坤,李方正. 社区公园小气候调节与游憩服务协同性评价. 风景园林, 2022, 29(12): 92-99.
- [8] 马晓晖. 由当今疫情出发思考未来风景园林. 中国园林, 2020, 36(7): 20-25.
- [9] 牛爽,汤晓敏. 高密度城区公园绿地配置公平性测度研究——以上海黄浦区为例. 中国园林, 2021, 37(10): 100-105.
- [10] 幸丽君,杜赛南,仝照民,张蕾. 环境正义视阈下城市公园绿地时空可达性及其影响因素. 生态学报, 2023, 43(13): 5370-5382.
- [11] Rigolon A. A complex landscape of inequity in access to urban parks: a literature review. Landscape and Urban Planning, 2016, 153(1): 160-169.
- [12] 唐子来,顾姝. 再议上海市中心城区公共绿地分布的社会绩效评价: 从社会公平到社会正义. 城市规划学刊, 2016, (1): 15-21.
- [13] Li X, Ma X D, Hu Z N, Li S Y. Investigation of urban green space equity at the city level and relevant strategies for improving the provisioning in China. Land Use Policy, 2021, 101: 105144.
- [14] Liu B X, Tian Y, Guo M, Tran D T, Alwah A A Q, Xu D W. Evaluating the disparity between supply and demand of park green space using a multi-dimensional spatial equity evaluation framework. Cities, 2022, 121: 103484.
- [15] Wu L F, Kim S K, Lin C S. Socioeconomic groups and their green spaces availability in urban areas of China: a distributional justice perspective. Environmental Science & Policy, 2022, 131:26-35.
- [16] 刘畅,王一婷,郭晓华,王梁飞. 基于绿视率的武汉市绿地公平性评价. 应用生态学报, 2023, 34(4): 1083-1090.
- [17] 徐欣,胡静,贾焱焱,田小波. 武汉市多维度城市公园绿地空间公平性分析. 地理科学, 2021, 41(12): 2138-2148.
- [18] 王春晓,黄舒语,邓孟婷,魏伟. 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. 中国园林, 2023, 39(1): 79-84.
- [19] 颜金珊,祝薇,王保盛,唐立娜. 转型中工业城市的公园绿地社会公平性研究——以东莞市东城街道为例. 生态学报, 2021, 41(22): 8921-8930.
- [20] 杨文越,李昕,陈慧灵,曹小曙. 基于多出行模式两步移动搜索法的广州多尺度绿地可达性与公平性研究. 生态学报, 2021, 41(15): 6064-6074.
- [21] 黄玖菊,林伊婷,陶卓霖,杨家文. 社会公平视角下深圳公园绿地可达性研究. 地理科学, 2022, 42(5): 896-906.

- [22] 薛小同, 雍新琴, 李鑫, 胡宗楠. 基于网络大数据的徐州中心城区绿地空间公平性评价. 生态科学, 2019, 38(6): 140-148.
- [23] Gupta K, Roy A, Luthra K, Maithani S, Mahavir. GIS based analysis for assessing the accessibility at hierarchical levels of urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 18: 198-211.
- [24] 刘韬, 杨德刚, 张豫芳, 蔡天毅. 城市公园绿地可达性时空变化及影响因素——以乌鲁木齐市为例. 中国科学院大学学报, 2021, 38(3): 350-359.
- [25] 赵洋, 徐枫, 万义良. 基于改进引力模型的公园绿地空间可达性及供需平衡分析方法. 地球信息科学学报, 2022, 24(10): 1993-2003.
- [26] 骆雯, 尹梦媛, 祝明建, 栾博. 基于 GIS 网络分析法的广州市保障性住房人群绿地可达性研究. 地理科学, 2024, 44(03): 483-491.
- [27] Zhang D L, Ma S F, Fan J H, Xie D X, Jiang H Y, Wang G W. Assessing spatial equity in urban park accessibility: an improve two-step catchment area method from the perspective of 15-minute city concept. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 98: 104824.
- [28] 任家桢, 王云. 基于改进两步移动搜索法的上海市黄浦区公园绿地空间可达性分析. 地理科学进展, 2021, 40(5): 774-783.
- [29] 赵胤程, 覃盟琳, 史倩倩. 基于空间句法的城市公园绿地可达性分析——以广州市中心城区为例. 地理信息世界, 2022, 29(2): 40-45.
- [30] 吴浩源, 刘杰, 张青萍. 城市居住区的空间句法分析及景观设计——基于预防犯罪视角. 中国园林, 2015, 31(9): 65-69.
- [31] 盛强, 武静芬, 荣毅龙. 社区商业活力的空间韧性——北京胡同区空间治理对比研究. 城市问题, 2021(8): 83-92.
- [32] 何韶瑶, 鲁娜, 龚卓, 唐成君. 基于空间句法的住区公共空间开放策略研究——以长沙三个住区为例. 城市发展研究, 2018, 25(1): 63-69, 96.
- [33] 丁传标, 古恒宇, 陶伟. 空间句法在中国人文地理学研究中的应用进展评述. 热带地理, 2015, 35(4): 515-521, 540.
- [34] 陶伟, 丁传标, 古恒宇. 空间句法理论在城市游憩系统空间规划中的运用. 规划师, 2015, 31(8): 26-31.
- [35] 张琪, 谢双玉, 王晓芳, 姜莉莉, 古恒宇, 刘大均. 基于空间句法的武汉市旅游景点可达性评价. 经济地理, 2015, 35(8): 200-208.
- [36] 李倩, 刘兴诏, 连欣欣, 林赛男, 李佳芯. 基于空间句法的福州南台岛公园绿地可达性研究. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2021, 39(4): 181-195.
- [37] 古恒宇, 孟鑫, 沈体雁, 陈慧琳, 肖凡. 基于 sDNA 模型的路网形态对广州市住宅价格的影响研究. 现代城市研究, 2018, 33(6): 1-8.
- [38] 宋小冬, 陶颖, 潘洁雯, 肖扬. 城市街道网络分析方法比较研究: 以 Space Syntax、sDNA 和 UNA 为例. 城市规划学刊, 2020, (2): 19-24.
- [39] 刘金花, 张家玮, 贾琨. 基于 POI 数据的中心城区边界识别与空间格局优化——以高唐县为例. 城市发展研究, 2021, 28(6): 74-83.
- [40] 郑鑫娟, 肖童, 刘晔, 覃茹婧, 柴力行, 姚江春. 基于多出行模式两步移动搜索法的东莞市小学空间可达性研究. 地理科学进展, 2023, 42(7): 1341-1354.
- [41] Cooper C H V, Chiaradia A J F. sDNA: 3-d spatial network analysis for GIS, CAD, Command Line & Python. *Software X*, 2020, 12: 100525.
- [42] Cooper, C H V. Spatial localization of closeness and betweenness measures: a self-contradictory but useful form of network analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 2015, 29(8): 1293-1309.
- [43] Tannous H O, Major M D, Furlan R. Accessibility of green spaces in a metropolitan network using space syntax to objectively evaluate the spatial locations of parks and promenades in Doha, State of Qatar. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 58: 126892.
- [44] Cao Y L, Guo Y H, Fang Y H, He X W. Refuge green space equity: a case study of third ring road on Chengdu. *Land*, 2023, 12(7): 1-22.
- [45] 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. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1113-1126.