

匡纬,李莎,周慧荻.城市公园绿地布局公平性精准化评价方法研究——以北京市海淀区为例[J].华中农业大学学报,2022,41(1):160-169.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlnxb.2022.01.015

城市公园绿地布局公平性精准化评价方法研究

——以北京市海淀区为例

匡纬¹,李莎²,周慧荻¹

1.北京林业大学园林学院,北京 100083; 2.中国矿业大学建筑与设计学院,徐州 221116

摘要 为提升城市公园绿地使用效率,查找公园绿地分布布局短板,基于公平理念,借助地理信息系统(GIS),从城市公园绿地服务能力与社区人群需求出发,利用分级公园绿地服务覆盖率、地均绿地服务水平、人均绿地服务水平区位熵及可达性指标,通过优化可达性评价模型,提出城市公园绿地空间公平性精准化评价方法;并以北京市海淀区为例,对北京市海淀区城市公园绿地空间分布公平性进行实证研究。研究结果显示:海淀区大尺度城市公园绿地供给充足;海淀区社区型游憩绿地供给有待提高;海淀区“三山五园”建设极大地提高了社区绿地可达性。基于研究结果,建议增加社区级城市公园绿地面积及增加社区到达绿地空间的便捷性。实证研究表明,提出的城市公园绿地空间公平性精准化评价模式能为城市公园绿地的更新及规划决策提供依据。

关键词 绿地空间公平; 绿地服务; 绿地需求; 可达性; 评价方法; 北京市海淀区; 精准规划

中图分类号 S 731.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)01-0160-10

城市公园绿地是提升居民生活环境、改善人们生活质量的重要载体,对居民人类福祉和城市可持续性具有重要意义^[1]。但是,随着城市化进程逐渐加快,城市人口不断增加,建设用地密集开发,城市公园绿地可利用的土地资源逐渐减少,供给居民休憩娱乐的空间分布难以均衡,带来公平性缺失。公平和效率是公共绿地布局的重要原则,是保证居民享有平等权力的根本。提升城市公园绿地分布的公平性,尽可能平等地满足居民的休憩需求,是新时期绿地空间规划的重要目标之一。“十四五”时期,中国城镇化发展进入存量提质的转型阶段,存量优化背景下,“体检”与评估是公园绿地公平性提升的关键环节。空间公平可以理解为“服务”在不同区域提供的均等程度,以及与“需求”的空间分布相匹配的程度^[2]。空间公平性评估有利于识别供需不匹配区域,对于评估现有的城市服务供给的有效性以及如何分配稀缺的公共设施具有重要意义^[3-4]。

城市公园绿地指向公众开放,以游憩为主要功能,兼具生态、景观、文教和应急避险等功能,有一定游憩和服务设施的绿地。城市公园绿地空间公平涉

及绿地服务供给能力与需求满足两个方面,反映两者的匹配程度及分布的均衡程度^[5]。为表征绿地供需能力差异及均衡性,“可达性”是近年来学者们提出的较为常用、成熟且证实有效的绿地空间公平性定量评估指标。“可达性”指人们从空间中任意一点到达目的地的难易程度,反映人们到达目的地过程所克服的空间阻力大小^[6],其反映了服务能力与人口分布的空间匹配程度,能较为全面地反映供需关系。国内外学者关于绿地可达性评价论述丰富^[7-9],主要着重于可达性测度模型探讨^[10-16],及在具体城市的绿地规划中的应用与分析^[17-22]。可达性测度模型的研究,依据对可达性的不同理解,表述了不同的计算方法,如比例法、覆盖法(如缓冲区分析法、网络分析法等)、最近距离法、空间相互作用方法、空间机会累积法(如等值线法、两步移动搜索法等)等。研究着重于不同计算方法的适用范围、优缺点及各类模型的优化。在此基础上,一些学者将可达性模型应用于城市绿地规划布局评价及优化,着重研究了人口统计方法、城市物理空间等数据获取的精准化途径。如陈秋晓等^[23]研究了利用居住建筑的空间分布来测算可达性评价区域内常住人口空间分布方

收稿日期: 2021-08-30

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(51508393);中央高校基本科研业务费专项(BLX201713)

匡纬, E-mail:bjfukw82@163.com

法;尹海伟等^[24]、董仁才等^[25]在可达性评价基础上加入需求指数,采用定序变量相关分析和因子空间叠置分析2种方法来定量表征研究区不同尺度水平上城市绿地布局的空间公平性程度。

目前,可达性已成为绿地公平性差异评价的重要指标,但实际应用中发现,可达性评价研究与公园绿地布局提升优化决策衔接依然存在困境。主要原因为:一是可达性评价模型的选取成为有效的公园绿地布局公平性评价的难点。可达性评价模型众多,且各有优势及局限性。如比例法,运用绿地率、绿化覆盖率、人均指标及规划服务半径等指标,这些指标操作便捷、易于理解,便于多区域比较,也是目前政府政策制定及规划指引中最常使用的指标,但这些指标只能了解“平均的”人群享有绿地的数量,不能体现绿地空间分布的差异性,无法表达不同居民实际使用公园的水平及绿地真正的服务能力,从而无法反映绿地作为公共物品的分布公平性。覆盖法通常以绿地的服务半径作为阈值,通过计算服务范围面积占比^[4]或服务范围内人口占比^[5]了解绿地分布的空间分异情况。虽然覆盖法中相关指标能便捷清晰的从整体上反映绿地的服务供给能力,但无法反映人群的需求水平。最近距离法、空间相互作用方法、空间机会累积法均能反映供给与需求的双重水平。其中,最近距离法仅假设使用者选择距离自己最近的绿地,而忽略了使用者对绿地规模等其他因素的考虑^[7]。空间相互作用方法将可达性理解为绿地所能提供的服务潜力与居民需求之间相互作用大小。该方法吸引力值分级较主观,且表达绿地与需求点间的衰减关系的摩擦系数较难确定,使用难度较大。空间机会累积法,通过设定服务能力阈值,对阈值内居民可以到达的绿地量进行比较,数值越高,可达性越好。该类方法相较于空间相互作用法,易于理解,操作简便;相较于覆盖法,加入了需求方人口等因素,能清晰地表达供求关系,因此应用较为广泛。空间机会累积法中又以两步移动搜索法(2SFCA)应用最为广泛。但空间机会累积法的难点在于,阈值选择无统一标准,使得各研究间难以比较,同时忽略了居民到达绿地过程中空间阻力的衰减作用。从上述研究可见,各个评价模型在数据获取、分析过程中,各有利弊,数据获取的偏差或模型的过分理想化均可能高估或低估可达性。由于各个可达性计算方法对绿地空间供需布局结果的解释各有侧重,依据一种计算方法难以体系化地分析绿地

空间的供需关系。

二是可达性评价过程中,尺度选取对城市公园绿地空间优化决策产生重要影响。首先,应用同一模型,选取越精细的空间单元尺度,研究范围内公平性差异越大;而选取越宏观的空间单元尺度,则更趋向公平。因此,难以运用同一模型同时对不同尺度进行评价与比较。其次,在居民实际绿地使用过程中,公园绿地的需求满足以出行习惯为基准,因此针对不同交通方式的出行阈值尺度的评估,更能有效地反映公园绿地的服务能力及需求满足情况。最后,各级实施主体如市级政府、区政府、街道等,常关注不同尺度的问题,在相应尺度上决策与实施,因此,可达性研究与实施主体的诉求契合度越高,越有利于与实际应用的衔接。

总体而言,实现城市公园绿地空间公平性,应最大化人均可达面积即可达性以及最小化不同单元空间之间的数量及效率差异。在此过程中应解决两大问题,即识别各空间单元间公园绿地分布差异性和确定优化区域。进入“十四五”时期,北京是城市建成区存量空间资源提质增效的示范城市,同时《中共中央国务院关于对〈北京城市总体规划(2016—2035年)〉的批复》要求北京“建立城市体检评估机制”,“对症下药”成为未来城市更新重要的发展方向。本研究以北京市海淀区为实证研究对象,基于公平性为发展理念和城市公园绿地空间公平性精准化评价方法,分析公园绿地分布短板,以便有效地引导城市公园绿地决策,为北京地区“精准规划”提供重要的理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究范围

按照2017年城市绿地分类标准(CJJT/85—2017)中的绿地分类要求,本文研究对象为公园绿地(G1)分类中的综合公园(G11)和社区公园(G12)。海淀区位于北京市区西北部,区域面积430.77 km²,约占北京市总面积的2.6%,下辖22个街道、7个镇;截至2019年底,全区常住人口323.7万人,全区城市绿化覆盖率为53.0%,人均公园绿地面积为13.95 m²。研究从Google遥感影像中提取了29个街镇及555个社区斑块。

1.2 数据来源与处理

1)海淀区城市公园绿地空间分布数据。根据北

京市园林绿化局所记录的公园信息名录,比对海淀区分区规划(国土空间规划)(2017—2035 年)绿地系统规划图,结合 Google 高清遥感影像图、现场调查进行校核和调整,形成 ArcGIS 可识别的面状矢量数据。研究需要考虑绿地具有一定的休闲娱乐设施质量,对于面积小于 0.1 hm^2 的绿地,经常出现服务设施配置不足,因此,本研究不予考虑。由于海淀区外的绿地也可以服务到海淀区内的社区居民,故研究区周边半径 10 km 范围内城市公园绿地也在采

集范围内。据此,总共统计出海淀区内城市公园绿地 65 个,总面积 3786.68 hm^2 ,服务于海淀区的海淀区外城市公园绿地 9 个,总面积为 943.5133 hm^2 。其中,海淀区内 50 hm^2 以上公园 15 个, $20 \sim 50 \text{ hm}^2$ 公园 9 个, $10 \sim 20 \text{ hm}^2$ 公园 7 个, $5 \sim 10 \text{ hm}^2$ 公园 11 个, $1 \sim 5 \text{ hm}^2$ 公园 23 个(表 1)。服务半径参照 2019 年新版《城市绿地规划标准》中“公园绿地分级设置要求”,大于 50 hm^2 绿地,结合北京居民公园出行最大可耐受距离 10 km 计算^[29](图 1)。

表 1 海淀区各级绿地数量、规模及服务半径

Table 1 Quantity, scale and service radius of green spaces in Haidian District

规模/ hm^2 Size	数量(比例/%) Number (Proportion/%)	面积/ hm^2 (比例/%) Area/ hm^2 (Proportion/%)	服务半径/km Service radius
≥ 50.0	15(23.1)	3 228.76(85.3)	10
$20.0 \sim 50.0$	9(13.8)	296.3(7.8)	3
$10.0 \sim 20.0$	7(10.8)	109.41(2.9)	2
$5.0 \sim 10.0$	11(16.9)	83.553(2.2)	1
$1.0 \sim 5.0$	23(35.4)	68.66(1.8)	0.5

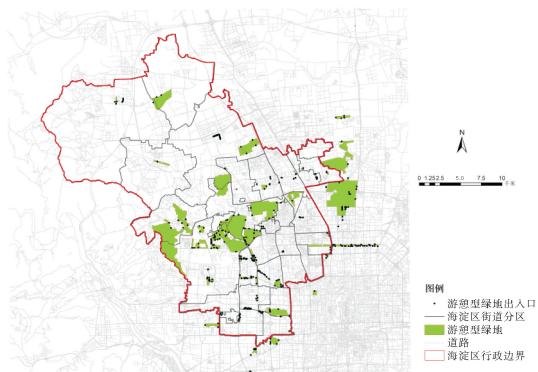


图 1 研究范围内的游憩绿地及绿地出入口

Fig.1 Urban park green space and green space entrance within the study area

2)海淀区社区人口数据。考虑到人口的聚集误差与计算结果精确度相关^[26],采用较小尺度的社区作为人口聚合单元,计算社区总数为 1 032 个。社区人口包括常住人口与流动人口的总和。数据来源于海淀区人民政府网站及各街道网站。对于无法直接获取人口数据但可知户数的社区,人口按照户数 \times 户均人数进行计算,城市户均人数按照平均每户 3 人计算,农村户均人数按照每户 4 人计算。由于研究区内的城市公园绿地在服务半径内也会辐射到研究区外的社区,故在辐射范围内的社区也均需获取。从 OpenStreetMap 中获取社区面状矢量数据,在 ArcMap10.2 中提取每个社区中心点作为人口分布中心,将社区人口数据匹配到中心点以表达该社区的人口数量。

3)海淀区道路路网数据。海淀区道路网络矢量

数据来自 OpenStreetMap,通过高清 Google 影像图和现场调研进行数据核查和补充,并根据实际定义城市道路属性数据。采用 OD 成本矩阵计算居民到达公园入口的最短时间。

1.3 评价方法

1)城市公园绿地服务能力评价。①分级城市公园绿地服务面积覆盖率。根据 2019 年新版《城市绿地规划标准》服务半径划定标准,结合居民出行阈值,将服务范围分级划分为 500、1 000、3 000、10 000 m,采用网络分析法,计算各服务半径范围内服务覆盖面积占比,从整体上分析城市公园绿地服务水平的空间分布。对于研究范围外的公园,如果部分有效服务范围位于研究区内,也应将此部分纳入计算范围中。

②有效绿地服务水平。借鉴唐子来等^[27]研究方法,计算城市公园绿地服务水平,即一个空间单元内城市公园绿地有效服务面积之和与所在空间单元面积的比值^[27],公式为: $LD_j = M_j / A_j$ 。其中, LD_j 为 j 空间单元中城市公园绿地的服务水平, M_j 为 j 空间单元中绿地的有效服务面积之和,即城市公园绿地资源总量, A_j 为 j 空间单元面积。

2)可达性测度——优化的两步移动搜索法。①两步移动搜索法。两步移动搜索法是指根据居民在空间中的运动状态(步行、公交车或驾车),设定极限阈值,研究搜索范围内绿地服务能力与人口的关系,从而衡量居民获得绿地服务的机会。两步移动搜索模型输出结果易于解释,可以使用 GIS 直接计算并可视化,因此,在可达性评价中广泛应用。两步移动搜索法分为 2 个步骤。步骤 1,设定距离阈

值(d),为每个公园创建空间作用域,计算服务能力。在服务范围内,将落在距离阈值($d_{ij} \leq d$)内的位置*i*的人口需求(P)相加,计算供需比(R_j)。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in [d_{ij} \leq d]} P_i} \quad (1)$$

式(1)中, S_j 指公园*j*的服务能力,用公园面积表示; P_i 指落在距离阈值内的某居民点*i*的人口数; d_{ij} 指从公园供给点*j*到居民需求点*i*之间的距离。

步骤2,在与步骤1相同的距离阈值内,为每个人口需求点(*i*)创建服务区。对每个人口需求点,对在服务能力范围内的公园供需比(R_j)进行求和,得到可达性评分(A_j)。

$$A_j = \sum_{i \in [d_{ij} \leq d]} R_j \quad (2)$$

②两步移动搜索法的优化。两步移动搜索法在空间可达性研究方面是一大突破,但也具有一定的局限性。一是位于同一服务区内的居民具有相同的可达能力,而在服务区外则不可达;二是对于研究范围内的所有绿地采用同一阈值,评价服务能力,忽略了绿地本身服务能力的差别;三是难以反映多种出行方式并存下的可达水平。针对以上不足,研究者们提出了众多优化模型^[28]。基于现有研究,本研究从以下4个方面进行了优化。

一是城市公园绿地空间位置数据设定优化。在利用两步移动搜索法进行可达性分析时,常用的方法是以绿地几何中心来代表空间供给点,忽略了绿地的面积和形状的影响,容易低估公园的可达性。采用绿地出入口作为空间点,计算结果更为精确,因为根据实际情况,判定人们到达公园,指人们到达该公园的入口。因此,本研究将以公园出入口作为目的地点。

二是考虑OD成本矩阵的优化。OD成本矩阵基于道路网络的从起始点群到目的地点群的最小可达距离矩阵。传统2SFCA方法对公园交通成本的测定主要基于两点之间的欧式直线距离,为提高测算的准确性,本研究采用路网距离取代欧式距离,借助ArcGIS中的网络分析功能,利用OD成本矩阵计算出各个公园供给点到居住小区需求点之间的距离。

三是考虑距离衰减的优化。在原两步移动搜索法的搜索半径内加入额外的距离衰减权重,本研究采用高斯函数衰减。第一步:在原距离阈值内加入高斯函数,得到优化后的供需比:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{i \in [d_{ij} \leq d_0]} G(d_{ij}, d_0) P_i} \quad (3)$$

其中高斯函数

$$G(d_{ij}, d_0) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right)^2} & d_{ij} \leq d_0 \\ 0 & d_{ij} > d_0 \end{cases} \quad (4)$$

第二步:在供需比求和过程中,也加入权重系数:

$$A_i = \sum_{j \in [d_{ij} \leq d]} G(d_{ij}, d_0) R_j \quad (5)$$

四是考虑服务半径差异化的优化。由于公园类型、面积、服务能力差异,如果采用相同的搜索阈值半径,单一且片面,会影响可达性评价结果的准确性。在两步移动搜索法第一步计算中,本研究参考2019新版《城市绿地规划标准》中依据公园类型、服务人口规模、面积提出的不同服务半径的规定,对不同规模的公园服务阈值进行设定(表1)。

在第二步计算中,根据居民可耐受的距离进行分级设定与评价。本研究根据步行时速1m/s,最大耐受时间为30min计算,步行阈值为2km;根据Tu等^[29]及雷芸等^[30]研究成果,设定公交车出行阈值为5km;驾车出行阈值为10km。

3)城市公园绿地供给差异评价。①以街道为空间单元的人均城市公园绿地资源区位熵分析。各个街道的区位熵为该街道内人口人均享有的城市公园绿地有效服务面积与整个海淀区内人口人均享有的公共绿地资源的比值,公式为 $LQ_j = (T_j / P_j) / (T / P)$ ^[27]。其中, LQ_j 为 j 街道区位熵, T_j 为 j 街道城市公园绿地资源数量, P_j 为 j 街道人口数量(包括常住人口及流动人口), T 为海淀区城市公园绿地资源总量, P 为海淀区人口总量。如果街道区位熵大于1,表明街道城市公园绿地资源人均享有水平高于海淀区总体水平,如果街道区位熵小于1,表明街道城市公园绿地资源人均享有水平低于海淀区总体水平。

②以社区为空间单元的可达性分布差异。对社区尺度通过两步移动搜索法得到的可达性值进行统计分析,通过计算可达性平均值、最大值、最小值、中位数、平均值、平均差,分析可达性值在各社区间的集中或离散程度及分布特征。

2 结果与分析

2.1 海淀区城市公园绿地服务水平的空间分布状况

海淀区50hm²以上城市公园绿地占研究绿地

总数的 25.7%，而面积则占总量的 85.6%，主要集中于海淀区中部地区的青龙桥街道、万柳地区办事处、香山街道、四季青地区。10~50 hm² 综合公园占绿地总数的 24.6%，面积占总量的 10.7%，四季青地区数量占比最高。1~10 hm² 社区公园占绿地总数的 52.3%，面积偏少，仅占总量的 4%，主要分散地分布于上地街道、清河街道、东升地区、学院路街道等。

比较城市公园绿地 500、1 000、3 000、10 000 m 服务半径覆盖面积占各街道面积比值，了解各街道绿地服务覆盖差异(图 2)。500 m 服务范围覆盖面积占海淀区总面积 5.5%，其中曙光街道、万柳地区占比最高，占街道面积的 30% 以上，北太平庄街道及北下关街道占比较低，占街道面积不到 1%。城市公园绿地大于 5 hm² 可满足 1 000 m 服务半径，1 000 m 服务范围覆盖面积占海淀区总面积 11.2%；其中曙光街道占比最高，1 000 m 服务范围覆盖面积占街道面积达到 63.1%；其次为万柳地区、燕园街道及紫竹院街道，占街道面积 30% 以上；但西三旗街道、学院路街道、中关村街道及清河街道占比不足 1%。城市公园绿地大于 20 hm² 可满足 3 000 m 服务半径，3 000 m 服务范围覆盖面积占海淀区总面积 41.3%，总体上街道覆盖占比均较高，其中曙光街道、万柳地区、燕园街道 100% 覆盖，3 000 m 服务范围覆盖面积达到 50% 以上的街道 13 个，占所有街道的 52%，中关村地区覆盖低于 10%。50 hm² 以上的城市公园绿地服务半径为 10 km，有效服务范围覆盖海淀区总面积 87.2%，山前区域街道基本达到 100% 覦盖。

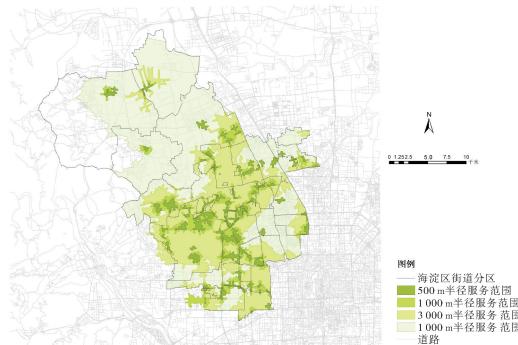


图 2 城市公园绿地分级服务覆盖范围

Fig.2 Urban park green space service coverage based on different service radius

将所有城市公园绿地有效服务范围加以叠加，得到地均有效服务水平的空间分布(图 3)。根据自然间断点分级法，曙光街道、万柳地区地均绿地有效

服务面积最高，马连洼街道、上地街道、燕园街道、清华园街道、青龙桥街道、中关村街道、海淀街道、四季青地区及紫竹院街道地均绿地有效服务面积较高，羊坊路街道最低。分析结果显示，街道面积和地均有效服务面积皮尔森相关性为 -0.563，呈现中等强度负相关，表明街道面积较大的空间单元，拥有较低的城市公园绿地服务水平。街道人口和人均绿地服务水平皮尔森相关性为 -0.49，呈中等强度负相关，表明街道人口较多的空间单元，绿地服务水平较低。可见，海淀区总体城市公园绿地服务水平不足。

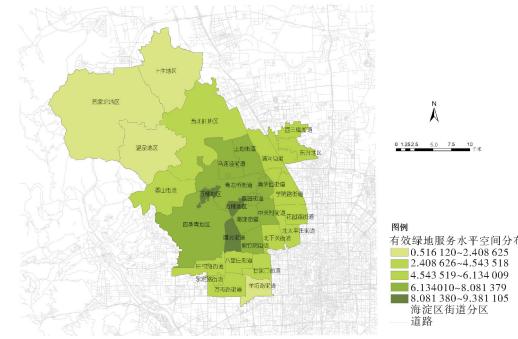


图 3 有效绿地服务水平空间分布

Fig.3 Spatial distribution of effective green space service level

2.2 海淀区人均城市公园绿地资源区位熵分析

为了评价城市公园绿地资源分布和人口分布之间的“空间匹配”关系，借鉴区位熵方法，如果街道空间单元区位熵大于 1，表明该街道城市公园绿地资源人均享有水平高于海淀区总体水平；反之，表明低于海淀区总体水平。依据区位熵值，将街道分为 5 个等级分析基于区位熵分级的人均城市公园绿地资源的空间分布格局(图 4)。区位熵小于 1 的街道 15 个，即 51.7% 的街道人均绿地面积低于海淀区平均水平。其中，北太平庄街道、羊坊路街道、万寿路街道、永定路、燕园街道区位熵较低，香山街道、四季青地区区位熵极高(表 2)。

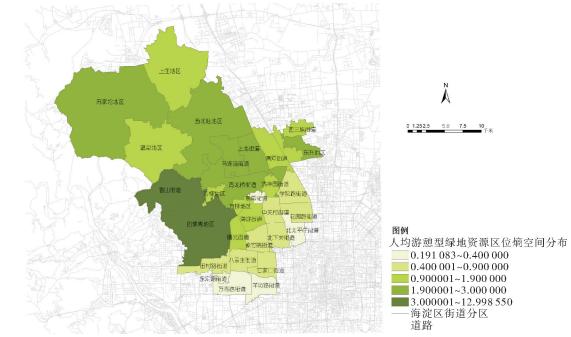


图 4 人均城市公园绿地资源区位熵空间分布

Fig.4 Spatial distribution of urban park green space resource's location entropy of per capita

表2 区位熵值分级的街道空间单元数量和比例

Table 2 Number and proportion of street units classified by location entropy

等级 Class	区位熵值 Location entropy	街道数量 Number of sub-districts	所占比重/% Proportion	街道名 Name of sub-districts
极低 Very low	<0.4	5	17.2	北太平庄街道、羊坊路街道、万寿路街道、永定路、燕园街道 Beitaiping-zhuang sub-district, Yangfang road sub-district, Wanshou road sub-district, Yongding road sub-district, Yanyuan sub-district
较低 Lower	0.4~0.9	8	27.6	田村路街道、八里庄街道、甘家口街道、紫竹院街道、北下关街道、中关村街道、花园路街道、学院路街道 Tiancun road sub-district, Balizhuang sub-district, Ganjiakou sub-district, Zizhuyuan sub-district, Beixianguan sub-district, Zhongguancun sub-district, Huayuan road sub-district, Xueyuan road sub-district
中等 Medium	0.9~1.9	8	27.6	曙光街道、海淀街道、清华园街道、万柳地区、清河街道、西三旗街道、温泉地区、上庄地区 Shuguang sub-district, Haidian sub-district, Qinghua-yuan sub-district, Wanliu sub-district, Qinghe sub-district, Xisanqi sub-district, Wenquan sub-district, Shangzhuang sub-district
较高 Higher	1.9~3.0	6	21.7	马连洼街道、上地街道、青龙桥街道、东升地区 Malianwa sub-district, Shangdi sub-district, Qinglongqiao sub-district, Dongsheng sub-district
极高 Very high	>3.0	2	6.8	香山街道、四季青地区 Xiangshan sub-district, Sijiqing sub-district

2.3 海淀区社区可达性计算结果分析

根据自然间断点分级法,由表3和图5A可知,2 km出行范围内,可达性高的社区主要集中在“三山五园”建设区域内。四季青镇中坞新村及北坞嘉园社区可达性最高,临近颐和园、圆明园、香山公园等公园群。其次为四季青镇香山脚下京香花园、香山清琴、双新园等社区片区,临近香山公园、西山森林公园及北京植物园,以及颐东苑社区,临近海淀公园、六郎庄公园、颐和园及圆明园;马连洼街道柳浪家园附近,临近树村郊野公园,可达性也较高。但所有社区中,60.9%

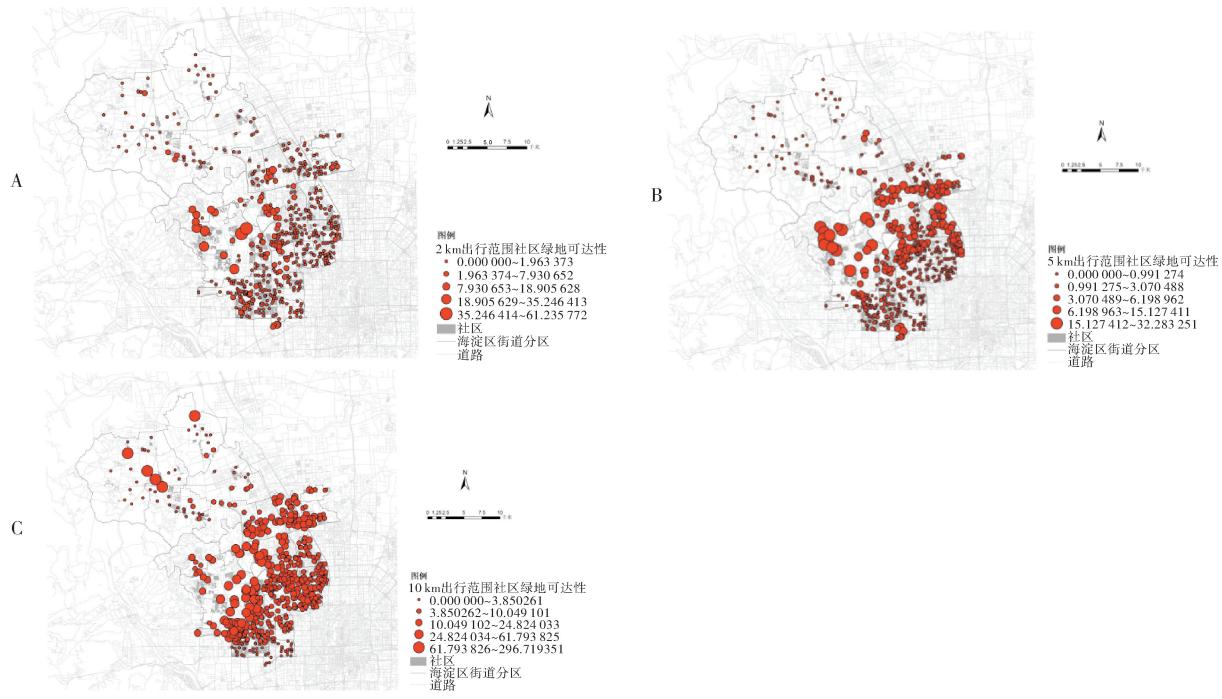
社区无2 km可达公园,主要集中在海淀南部中关村街道、北太平庄街道、北下关街道、羊坊店街道、万寿路街道、田村路街道等。

由表3和图5B可知,5 km出行范围,可达性高的社区同样集中于海淀区中部“三山五园”建设区域。可达性最高的社区集中于香山街道、四季青街道、香山公园、北京植物园及西山森林公园附近。相较于2 km出行范围,海淀街道、中关村街道、花园路街道东部、学院路街道、西二旗街道内社区5 km可达性均有提升。但海淀区南部北下关街道、北太平庄街道、羊坊店街道、万寿路街道、田村路街道等社区无2 km可达公园。

表3 海淀区各社区城市公园绿地可达性分级

Table 3 Accessibility grading of urban park green space in communities of Haidian District

可达距离/km Distance	空间可达性分级 Accessibility grading	社区数量 Number of communities	所占比重/% Proportion
2	35.24~61.23 (高 Very high)	3	0.50
	18.90~35.24 (较高 Higher)	4	0.70
	7.93~18.90 (一般 Medium)	14	2.50
	1.96~7.93 (较差 Lower)	62	11.10
	0.00~1.96 (差 Very low)	472	85.0
5	15.13~32.28 (高 Very high)	12	2.20
	6.20~15.13 (较高 Higher)	34	6.10
	3.07~6.20 (一般 Medium)	120	21.60
	1.00~3.07 (较差 Lower)	81	14.60
	0.00~1.00 (差 Very low)	308	55.50
10	>74.77 (高 Very high)	6	1.08
	30.04~74.76 (较高 Higher)	68	12.25
	12.16~30.04 (一般 Medium)	136	24.50
	4.65~12.16 (较差 Lower)	237	42.70
	0.00~4.65 (差 Very low)	108	19.50



A: 2 km; B: 5 km; C: 10 km.

图 5 社区出行范围绿地可达性

Fig.5 Green space accessibility for community within 2-10 km travel distance

平庄街道、甘家口街道等可达性仍较低。10 km 出行范围,研究范围内除羊坊路街道、万寿路街道外,其他街道社区可达性均较高。

两步移动搜索法计算结果相当于加权的人均绿地面积,以 2019 年末北京市海淀区人均绿地面积 13.95 m^2 为标准,2 km 出行范围海淀区各社区可达性值标准差为 7.3,中位数 $1.13 \text{ m}^2/\text{人}$,大于 $13.95 \text{ m}^2/\text{人}$ 的社区占所有社区的 1.8%;5 km 出行范围各社区可达性值标准差 4.3,中位数 $1.17 \text{ m}^2/\text{人}$,大于 $13.95 \text{ m}^2/\text{人}$ 的社区占所有社区的 2.3%;10 km 出行范围各社区可达性值标准差 27.4,中位数 $8.43 \text{ m}^2/\text{人}$,大于 $13.95 \text{ m}^2/\text{人}$ 的社区占所有社区的 19.3%。比较各出行范围可达性值标准差,可见,10 km 出行范围各社区间可达性值差异较大,5 km 出行范围各社区间可达性值较为均衡。2 km 和 5 km 出行范围中位数低于 10 km 出行范围,总体来看,城市公园绿地可达性较低,绿地供给不足,达到 $13.95 \text{ m}^2/\text{人}$ 的社区占比较小(表 3,图 5C)。

3 讨 论

本研究借助地理信息系统(GIS),选取偏重整体分析的网络分析法,以实施主体之一的街道为中观尺度,采用以人群出行距离为依据的城市公园绿

地分级服务覆盖率、街道地均绿地服务水平及人均绿地服务水平区位熵为指标,识别各街道间公园绿地分布差异性,寻找海淀区街道间公园绿地空间公平性短板;以社区为微观尺度,选取较为精准的优化后的两步移动搜索法作为可达性评价模型,按照出行距离进行社区分级可达性评价,探讨社区间可达性差异;以社区为起始点,寻找公园绿地提升优化区域。对北京市海淀区城市公园绿地空间分布公平性研究结果表明:(1)海淀区大尺度城市公园绿地供给充足。海淀区 50 hm^2 以上城市公园绿地主要为“一道绿隔郊野公园”,如东升八家郊野公园、玉东郊野公园等;历史名园如圆明园、颐和园、香山公园等,以及建设于 1950 和 1960 年代的紫竹院公园及玉渊潭公园等,面积均超过 50 hm^2 。大型城市公园绿地服务半径在 3 km 以上,在海淀区山前区域有效覆盖范围达到 100%,在很大程度上提高了建成区的绿地服务供给水平;从可达性角度,10 km 出行范围内,海淀区各社区总体可达性较高,说明大型城市公园绿地可满足居民的使用需求。(2)海淀区社区型城市公园绿地供给有待提高。2020 年末,北京市海淀区城市绿化覆盖率达到 53%,但小型城市公园绿色空间总体资源不足,500 m 服务半径如北下关街道、北太平庄街道、西三旗街道存在盲区。海淀区山

前区域整体人口密度大,以老旧小区为主,且高校、军区大院集中,用地块状分割严重,建设用地资源不足,绿地资源缺乏,居住区到达绿地的便捷度不高,研究范围内各社区到各公园入口点距离小于2 km的社区占比仅2%,总体上各社区步行可达性均较不理想。(3)海淀区“三山五园”建设极大地提高了社区绿地可达性。为保护、传承和利用历史文脉,海淀区从2016年开始进行“三山五园”历史文化景区建设,构建“三山五园”重点地区大尺度绿色空间。其中,园外园规划片区面积14.02 km²,以“三山五园”绿道串联园外园区域新建(改建)的13个公园,分别是畅春新园、海淀公园、六郎庄公园、船营公园、中坞公园、北坞公园、两山公园、功德寺公园、石渠公园、妙云寺公园、影湖楼公园、茶棚公园、南旱河公园,连接香山、西山等绿色空间,同时整合沿线西山森林公园、北坞公园等城市公园。截至2019年,13个公园中10个已完成片区建设。研究发现,“三山五园”公园群的建设有效地提升了海淀区中部地区各社区可达性。2 km及5 km可达性最佳的社区均分布于“三山五园”公园群周围。

综上所述,北京市海淀区各社区可达性具有一定的空间差异。青龙桥街道、香山街道和四季青地区各社区可达性最佳,北太平庄街道、羊坊路街道、万寿路街道及永定路街道各社区总体可达性不理想,为需要重点提升区域。总体上,海淀区各社区10 km城市公园绿地可达性均较高,5 km可达性良好,但2 km可达性明显不足。因此,增加2 km步行范围内城市公园绿地供给是海淀区城市空间优化重要方向。

鉴于研究结论,本研究提出以下优化策略:

1)增加社区级城市公园绿地面积。从街道层面出发,立足居民实际需求,疏解腾退空间,建设口袋公园、小微绿地。结合城镇老旧小区改造工作,利用居住区现有用地,对居住区开放空间进行微更新,增加居民户外活动空间。利用现有的滨水空间、道路空间,增加带状绿地空间等。

2)完善社区级城市公园绿地活动设施。小微绿地空间虽然能增加绿地面积,但是由于面积过小,通常提供居民游憩活动的设施有限,且空间较为单一,绿地率不足,由此使用者满意度和使用效率不高。因此,仅仅依赖小微空间面积的增加,仍难以满足居民的使用需求。提升小微绿地设施的可用性及丰富度是空间更新的关键,如可利用现有居住区的道路,增加健身步道;更新居住区内儿童活动空间的丰富

度;增加老年人活动空间的互动性等。

3)增加社区到达绿地空间的便捷性。研究发现诸多小区毗邻公园,由于公园出入口的设置或道路便捷性欠佳,步行距离仍在2 km之外。或者公园本身过于封闭,居民对于附近公园的获得感不强。因此,注重公园的开放性以及入口的设置与引导,增加社区至公园的步行性,能有效增强公园的使用效率。

本研究探讨了北京市海淀区城市公园绿地空间分布的精准化公平性评价方法,采用的分级绿地服务覆盖水平、有效绿地服务水平、人均绿地服务水平区位熵、可达性指标能全面有效地从海淀区、街道及社区各个尺度分析城市公园绿地分布的空间公平性差异。研究表明,该评价方法能从供需两个方面出发,为城市公园绿地的更新及规划决策提供依据,且简单易懂、易于推广。但在研究过程仍存在部分局限性:(1)研究中人口数据基于街道网站的官方发布数据,对于部分缺少人口数据的社区,采用根据户数估测的方法,与实际人口间存在一定的误差。(2)研究中仅提取了1 hm²以上城市公园绿地,对于1 hm²以下以及没有活动设施的带状绿地以及居住区绿地均未在研究范围之内,对于用地资源缺乏的老旧小区,这些小微空间对于居民尤其重要,因此,未将这些空间计算在内,有可能低估了部分社区的可达性。未来将对海淀区绿地数据进行进一步的精准化提取。

参考文献 References

- [1] 屠星月,黄甘霖,邬建国.城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述[J].生态学报,2019,39(2):421-431.TU X Y, HUANG G L, WU J G. Review of the relationship between urban greenspace accessibility and human well-being[J]. *Acta ecologica sinica*, 2019, 39(2): 421-431(in Chinese with English abstract).
- [2] OMER I. Evaluating accessibility using house-level data: a spatial equity perspective[J]. *Computers, environment and urban systems*, 2006, 30(3): 254-274.
- [3] TALEAI M, SLIUZAS R, FLACKE J. An integrated framework to evaluate the equity of urban public facilities using spatial multi-criteria analysis[J]. *Cities*, 2014, 40: 56-69.
- [4] MCALLISTER D M. Equity and efficiency in public facility location[J]. *Geographical analysis*, 2010, 8(1): 47-63.
- [5] BOULTON C, DEDEKORKUT-HOWES A, BYRNE J. Factors shaping urban greenspace provision: a systematic review of the literature[J]. *Landscape and urban planning*, 2018, 178: 82-101.

- [6] 朱玮,简单,张乔扬.融合出行质量的骑行可达性——指标构建及在上海市公园中的应用[J].规划师,2018,34(2):108-113. ZHU W, JIAN D, ZHANG Q Y. Cycling accessibility and travel quality: index construction and application in Shanghai parks [J]. Planners, 2018, 34 (2): 108-113 (in Chinese with English abstract).
- [7] 蔡彦庭,文雅,程炯,等.广州中心城区公园绿地空间格局及可达性分析[J].生态环境学报,2011,20(11):1647-1652.CAI Y T, WEN Y, CHENG J, et al. Spatial pattern and accessibility of urban park greenland in center of Guangzhou City [J]. Ecology and environmental sciences, 2011, 20 (11): 1647-1652 (in Chinese with English abstract).
- [8] 宋正娜,陈雯,张桂香,等.公共服务设施空间可达性及其度量方法[J].地理科学进展,2010,29(10):1217-1224.SONG Z N, CHEN W, ZHANG G X, et al. Spatial accessibility to public service facilities and its measurement approaches [J]. Progress in geography, 2010, 29 (10): 1217-1224 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈雯,王远飞.城市公园区位分配公平性评价研究——以上海市外环线以内区域为例[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2009,32(4):373-377.CHEN W, WANG Y F. An equity evaluation of urban park location-allocation: a case study within the outer ring of Shanghai City [J]. Journal of Anhui Normal University (natural science edition), 2009, 32 (4): 373-377 (in Chinese with English abstract).
- [10] 顾鸣东,尹海伟.公共设施空间可达性与公平性研究概述[J].城市问题,2010(5):25-29.GU M D, YIN H W. Review on spatial accessibility and equity of public facilities [J]. Urban problems, 2010(5):25-29 (in Chinese with English abstract).
- [11] 刘常富,李小马,韩东.城市公园可达性研究——方法与关键问题[J].生态学报,2010,30(19):5381-5390.LIU C F, LI X M, HAN D. Accessibility analysis of urban parks: methods and key issues [J]. Acta ecologica sinica, 2010, 30 (19): 5381-5390 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李孟桐,杨令宾,魏冶.高斯两步移动搜索法的模型研究——以上海市绿地可达性为例[J].地理科学进展,2016,35(8):990-996.LI M T, YANG L B, WEI Y. Improved Gaussian based 2-step floating catchment area method: a case study of green space accessibility in Shanghai [J]. Progress in geography, 2016, 35 (8): 990-996 (in Chinese with English abstract).
- [13] 吴健生,司梦林,李卫锋.供需平衡视角下的城市公园绿地空间公平性分析——以深圳市福田区为例[J].应用生态学报,2016,27(9):2831-2838.WU J S, SI M L, LI W F. Spatial equity analysis of urban green space from the perspective of balance between supply and demand: a case study of Futian District, Shenzhen, China [J]. Chinese journal of applied ecology, 2016, 27 (9): 2831-2838 (in Chinese with English abstract).
- [14] BRYANT J, DELAMATER P L. Examination of spatial accessibility at micro- and macro-levels using the enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method [J]. Annals of GIS, 2019, 25(3):219-229.
- [15] 尹红岩,李俊英,施拓,等.公园绿地可达性的客观影响因素[J].应用生态学报,2016,27(10):3387-3393.YIN H Y, LI J Y, SHI T, et al. Objective influencing factors of urban park accessibility [J]. Chinese journal of applied ecology, 2016, 27 (10): 3387-3393 (in Chinese with English abstract).
- [16] GUO S H, YANG G G, PEI T, et al. Analysis of factors affecting urban park service area in Beijing: perspectives from multi-source geographic data [J]. Landscape and urban planning, 2019, 181:103-117.
- [17] 刘语凡,陈雪,李贵才,等.深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系[J].生态学报,2011,31(2):547-555.LIU Y F, CHEN X, LI G C, et al. Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen [J]. Acta ecologica sinica, 2011, 31 (2): 547-555 (in Chinese with English abstract).
- [18] 朱耀军,王成,贾宝全,等.基于景观可达性的广州市林地边界动态分析[J].生态学报,2011,31(7):1962-1969.ZHU Y J, WANG C, JIA B Q, et al. Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China [J]. Acta ecologica sinica, 2011, 31 (7): 1962-1969 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱耀军,王成,贾宝全,等.基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析[J].生态学报,2011,31(8):2290-2300.ZHU Y J, WANG C, JIA B Q, et al. GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China [J]. Acta ecologica sinica, 2011, 31 (8): 2290-2300 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李小马,刘常富.基于网络分析的沈阳城市公园可达性和服务[J].生态学报,2009,29(3):1554-1562.LI X M, LIU C F. Accessibility and service of Shenyang's urban parks by network analysis [J]. Acta ecologica sinica, 2009, 29 (3): 1554-1562 (in Chinese with English abstract).
- [21] 秦佩恒,武剑峰,刘雅琴,等.快速城市化地区景观可达性及其对林地的影响——以深圳市宝安区为例[J].生态学报,2006,26(11):3796-3803.QIN P H, WU J F, LIU Y Q, et al. Landscape accessibility and its effect on forest-cover change in quickly urbanizing area: a case study of Baoan, Shenzhen [J]. Acta ecologica sinica, 2006, 26 (11): 3796-3803 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李文,张林,李莹.哈尔滨城市公园可达性和服务效率分析[J].中国园林,2010,26(8):59-62.LI W, ZHANG L, LI Y. Accessibility and service efficiency of Harbin's urban parks [J]. Chinese landscape architecture, 2010, 26 (8): 59-62 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈秋晓,侯焱,吴霜.机会公平视角下绍兴城市公园绿地可达性评价[J].地理科学,2016,36(3):375-383.CHEN Q X, HOU Y, WU S. Assessment of accessibility to urban parks in Shaoxing City from the perspective of opportunity equity [J]. Scientia geographica sinica, 2016, 36 (3): 375-383 (in Chinese with English abstract).
- [24] 尹海伟,孔繁花,宗跃光.城市绿地可达性与公平性评价[J].生态学报,2008,28(7):3375-3383.YIN H W, KONG F H, ZONG Y G. Accessibility and equity assessment on urban green space [J]. Acta ecologica sinica, 2008, 28 (7): 3375-3383 (in Chinese with English abstract).

- nese with English abstract).
- [25] 董仁才,张娜娜,李思远,等.四个可持续发展实验区绿地系统可达性比较研究[J].生态学报,2017,37(10):3256-3263.
- DONG R C,ZHANG N N,LI S Y,et al.A comparative study of green system accessibility in four sustainable development experimental zones[J].Acta ecologica sinica,2017,37(10):3256-3263(in Chinese with English abstract).
- [26] LUO W,QI Y.An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians[J].Health & place,2009,15(4):1100-1107.
- [27] 唐子来,顾姝.上海市中心城区公共绿地分布的社会绩效评价——从地域公平到社会公平[J].城市规划学刊,2015(2):48-56.
- TANG Z L,GU S.An evaluation of social performance in the distribution of urban parks in the central city of Shanghai: from spatial equity to social equity[J].Urban planning forum,2015(2):48-56(in Chinese with English abstract).
- [28] 叶仲,郑德华,陈兵,等.基于服务半径的城市公园绿地空间可达性研究[J].地理空间信息,2020,18(4):65-69,7.
- YE S,ZHENG D H,CHEN B,et al.Spatial accessibility of urban park green space based on service radius[J].Geospatial information,2020,18(4):65-69,7(in Chinese with English abstract).
- [29] TU X Y,HUANG G L,WU J G,et al.How do travel distance and park size influence urban park visits? [J/OL].Urban forestry & urban greening,2020,52:126689 [2021-08-30].<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126689>.
- [30] 雷芸,吴岩,李孟颖.城市交通对北京大型城市公园假日游憩出行利用的影响作用研究[J].中国园林,2016,32(3):47-51.
- LEI Y,WU Y,LI M Y.Study on the influence of urban transportation to holiday recreation use of large urban parks in Beijing [J].Chinese landscape architecture,2016,32(3):47-51(in Chinese with English abstract).

Method of accurately evaluating spatial equity of urban park green space: a case study of Haidian District, Beijing

KUANG Wei¹, LI Sha², ZHOU Huidi¹

1. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. School of Architecture and Design, China University of Mining and Technology,
Xuzhou 221116, China

Abstract A method of accurately evaluating the spatial equity of urban park green space oriented by the theory of green space equity and helped with geographic information system (GIS) was proposed by optimizing the accessibility evaluation model starting from service capability of urban park green space and human demands and using indicators including effective green space service capacity, multi-threshold green space service coverage, accessibility, and location entropy of green space service per capita to improve the use efficiency of the urban park green spaces and find shortcomings in the distribution/layout of park green spaces. A case study of Haidian District in Beijing was conducted as an empirical study for spatial equity of urban park green space in Haidian District. The results showed that the supply of large-scale urban parks in Haidian District was sufficient. The supply of community-based recreational green space in Haidian District needs to be improved. Royal Mountains and Gardens of Beijing Western Suburbs construction greatly improved the accessibility of community green space. Based on the results, it is recommended to increase the green area of community-level urban parks and increase the convenience of community access to green space. It is indicated that the method of accurately evaluating the spatial equity of urban park green space proposed can provide a basis for the renewal and planning decisions of urban park green space.

Keywords green spaces equity; green spaces service; green spaces demand; accessibility; evaluation method; Haidian District, Beijing; precise planning

(责任编辑:陆文昌)