

包瑞清, 亚历克西斯·阿里亚斯·贝当古. 综合性公园公共交通可达性及规划配置均衡性 [J]. 风景园林, 2022, 29 (6) : 103-108.

综合性公园公共交通可达性及规划配置均衡性

Public Transportation Accessibility and Equity in Planning and Allocation of Comprehensive Park

包瑞清 (厄瓜多尔) 亚历克西斯·阿里亚斯·贝当古
BAO Ruiqing, (ECU) Alexis Arias Betancourt

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



中图分类号: TU981
文献标识码: A
文章编号: 1673-1530(2022)06-0103-06
DOI: 10.14085/j.fjyl.2022.06.0103.06
收稿日期: 2021-09-03
修回日期: 2022-04-10

包瑞清 / 男 / 博士 / 西安建筑科技大学建筑学院讲师 / 研究方向为数字化设计
BAO Ruiqing, Ph.D., is a lecturer in the School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. His research focuses on digital design.

(厄瓜多尔) 亚历克西斯·阿里亚斯·贝当古 / 男 / 伊利诺理工大学建筑学院在读博士研究生 / 研究方向为未来移动技术的可持续性
(ECU) Alexis Arias Betancourt is a Ph.D. candidate in the College of Architecture, Illinois Institute of Technology. His research focuses on sustainability of future mobile technologies.

摘要: 公共交通出行方式下, 综合性公园的可达性及配置的均衡性是评价城市公园绿地配置和本地居民享有公共服务设施权利的重要指标。以南京市为例, 建立公共交通复合网络, 以时间成本距离分析综合性公园服务的区域水平和基于站点位置的可达性; 以基尼系数判断全局和 15 分钟生活圈下综合性公园分布的均衡性及贡献度; 建立新公园选址采样点, 分析增加新公园选址后的基尼系数变化的空间分布。结果表明: 以可达性为前提, 以基尼系数为衡量指标, 可以量化分析公园分布均衡性, 通过基尼系数更新变化的空间分布, 可以明确新规划公园对综合性公园分布均衡性的影响, 能够确定优化选址区域。为城市新综合性公园规划提供量化的区域范围参考, 优化城市公园布局并提高城市公园可达性和分布均衡性。

关键词: 风景园林; 综合性公园; 可达性; 公共交通复合网络; 均衡性; 复杂网络; 基尼系数

Abstract: Under the mode of public transportation, the accessibility and allocation equity of comprehensive parks are important indicators for evaluating urban park green space allocation and residents' rights to enjoy public service facilities. Taking Nanjing as an example, this research builds a composite network of public transportation and, based on time-cost distance, analyzes the regional service level of comprehensive parks and their accessibility relative to the position of transportation stations. Additionally, the research adopts the Gini coefficient to judge the distribution equity and contribution of comprehensive parks respectively from the global perspective and the perspective of 15-minute living circle. The research also establishes new park site sampling points to analyze the spatial distribution of Gini coefficient changes upon addition of new park sites. The results show that the equity of park distribution can be quantitatively analyzed with accessibility as the premise and Gini coefficient as a measurement indicator; the impact of newly planned parks on the distribution equity of comprehensive parks can be clarified and the optimal site selection area can be determined through the spatial distribution of Gini coefficient updates and changes. The research can provide a quantitative area coverage reference for urban new comprehensive park planning, to improve the layout, accessibility and distribution equity of urban parks.

Keywords: landscape architecture; comprehensive park; accessibility; public transportation network; equity; complex network; Gini coefficient

1 研究背景

大量已有证据表明: 城市绿地具有缓解压力、松弛心神、促进运动、降低污染和噪声、改善热环境的作用, 促进城市居民体验自然而产生积极情绪, 丰富居民的生活, 对城市的可持续性有重要意义^[1-4]。城市绿地的可达性影响绿地的服务质量, 因此大多数研究认为公园的

可达性、可用性与居民对公园的使用频率、参与活动时长有关, 由此表明可达性水平对居民的身心健康有不同程度的影响^[5-7]。而人口分布的地理空间差异、收入相对不平等造成的贫富差距^[8]、种族隔离^[9]、老人儿童等特殊群体的存在, 造成了城市绿地可达性的差异及绿地分布的不均衡性^[10-13]。

1.1 可达性指数与均衡性

城市公园绿地的可达性研究，主要包括可达性指数的研究及比较。其中基本的可达性指数有容器指数 (container index)、引力模型 (gravity potential expression 或 gravity model) 和旅行费用 (travel cost, 即时间成本距离)^[14]。基于基本可达性指数拓展出累积机会测度 (accumulative opportunities measure)^[15]、绿地可达性指数 (green space accessibility, GSA)^[16] 等指标。除利用基本可达性指数外, 有研究将公园面积核密度作为公园可达性指数^[17], 并兼顾供给和需求提出浮动承载区 (floating catchment area, FCA) 的改进方法——两步浮动承载区 (two-step floating catchment area, 2SFCA) 模型^[18]。

由可达性研究延伸出不同方面的均衡性分析, 主要包括人口分布^[19-20]、本地居民的需求、种族/民族、文化水平^[17] 和社会经济^[21]、老人儿童^[15] 等。均衡性分析方法主要包括建立回归模型和地理空间加权回归模型^[17], 绘制洛伦兹曲线, 计算基尼系数^[18] 和区位熵^[17] 等。

1.2 研究目的和内容

公园可达性及相关拓展研究比较丰富, 但是在均衡性 (公平性) 研究上相对单一: 1) 在可达性的均衡度研究上, 一般以可达性指数作为计算条件, 而在 15 分钟生活圈下分析可达性的均衡性尚属空缺; 2) 未见各个公园对均衡度的贡献度的相关表述; 3) 通常以基尼系数计算结果为衡量指标, 但是并未提出新规划公园平衡均衡性的具体量化措施。因此, 本研究为填补上述空白, 以可达性的已有研究为基础, 提出以综合性公园为研究对象, 用 NetworkX (Python 复杂网络创建库) 自行编写研究程序, 建立公共交通复合网络, 重点分析均衡度, 包括分析可达性及全局和 15 分钟生活圈下公园分布均衡性、贡献度和平衡均衡性新规划公园选址的区域分布。

2 研究数据和方法

2.1 研究区域和数据

南京 (32° 4' N, 118° 47' E) 是江苏省省会, 也是中国东部地区重要的中心城市、南京

都市圈核心城市, 常住人口 850 万人。南京公共交通网络 (图 1) 包括地铁系统和公交系统, 其地铁线路长度居中国第 6 位、世界第 7 位, 10 条线路覆盖全市 13 个市辖区, 包含站点 348 个; 其公交线路 1 304 条 (往返), 包含站点 32 660 个, 日均客流量约 200 万人次。南京市公共交通线路和站点数据 (2020 年数据), 以及人口分布数据 (425 m × 425 m 间隔的采样点, 2020 年数据) 均来源于中国专业 IT 社区 CSDN (Chinese Software Developer Network) 的开放数据。

其中公共交通 (地铁和公交) 的站点数据包括站点名称和标识值 (identity document, ID)、所属线路名称和 ID、经纬度坐标等; 线路数据包括线路名称和 ID、几何对象等。人口分布数据包括采样点经纬度坐标、人口数量等。

根据南京市绿化园林局发布的《南京市绿地系统规划》(2013—2020) 中心城区规划综合性公园一览表中确定保留和扩建的 53 个综合性公园作为研究对象, 在谷歌地球 (Google Earth) 中绘制各个公园范围边界。

2.2 研究方法

所有计算均用 Python 语言完成 (使用 Anaconda 平台下的 Spyder 解释器), 代码托管于 GitHub 平台代码仓库。地图则由 QGIS 软件建立。

2.2.1 公共交通复合网络的建立

由 NetworkX 复杂网络创建库建立公共交通复合网络, 包括公交系统和地铁系统。通过 GeoLife 数据集计算公交速度、地铁速度及公交和地铁各自内部换乘和之间换乘的步行速度。因为该数据集中南京区域的数据极少, 主要以北京为主, 因此以北京区域的计算结果为参考。提取北京区域 30 万条数据, 每条数据包括 GPS 轨迹的经纬度、时间等信息, 精度为每 2~5 s 记录一次。通过记录有通行模式、起始和结束时间戳的数据, 确定每一条数据的通行方式。最终获取 880 条连续路径, 其中公交 103 条, 地铁 (含城铁) 52 条, 步行 368 条, 剔除异常值后生成 3 种交通方式的箱型图 (图 2)。以各自速度中位数 (公交均速 13.54 km/h、地铁均速 18.77 km/h、步行均速 4.39 km/h) 配置公共交通复合网络的 3 个子网

络, 包括公交系统子网络、地铁系统子网络和换乘子网络。

2.2.2 公园服务的区域水平

公共交通以站点为上下车位置, 因此需要确定各个公园的邻近站点。计算每个公园 5 min 步行距离 (约 400 m) 缓冲区, 提取缓冲区内邻近公园的站点。对于任一公园, 以通行时间成本距离计算该公园邻近站点到所有站点位置的最短路径, 并选择各邻近站点到同一站点位置的最短路径作为该站点到达该公园的最短路径, 从而获得该公园到各站点位置的最短路径。

居民对公园绿地的需求会随距离的增加而降低, 以高斯函数为阻抗函数反映随距离衰减的影响, 沿公共交通复合网络计算各个公园到所有站点的最短路径, 将每一个人口采样点的人口数沿最近的站点传输到各个公园邻近站点, 计算该公园潜在人口服务压力 (式 1)。

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \omega_i, \quad (1)$$

式中, P 为公园潜在人口服务压力; p_i 为人口采样点的人口数; ω_i 为第 i 个站点到公园时间成本距离高斯权重。

2.2.3 站点的可达性

依据旅行费用计算方法, 基于时间成本距离统计每一站点位置到所有公园最短路径, 通过均值比较各站点到所有公园的时间成本距离, 较低的均值具有较高的可达性, 较高的均值具有较低的可达性 (式 2)^[14]。

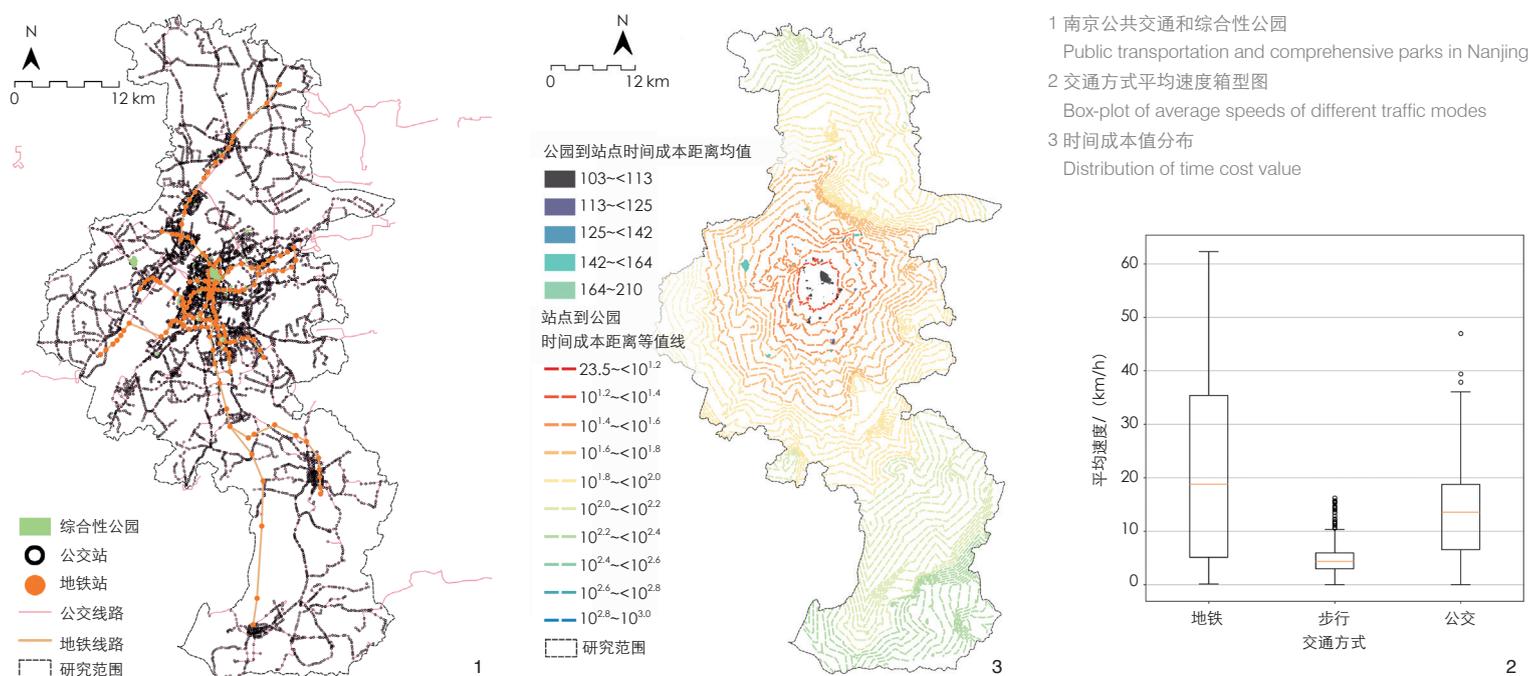
$$ts_{station} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad (2)$$

式中, $ts_{station}$ 为站点位置到所有公园最短路径的均值; d_i 为站点位置到第 i 个公园的最短路径; n 为公园数。

如考虑到公园的供需比, 依据 2SFCA 模型, 将每一站点位置到所有公园时间成本距离最短路径的高斯函数作为权重, 计算供需比之和, 用于衡量站点到公园的可达性 (式 3)。

$$sdr_{station} = \sum_{i=1}^n \omega_i \frac{S_i}{P_i}, \quad (3)$$

式中, $sdr_{station}$ 为站点位置到所有公园供需比之和; ω_i 为站点到第 i 个公园时间成本距离高斯权重; S_i 为第 i 个公园的面积; P_i 为第 i 个公



园的人口服务压力。

2.2.4 公园分布均衡性、贡献度和新规划公园选址的区域分布

基尼系数是根据洛伦兹曲线所定义判断年收入分布公平程度的指标，可以用于公园分布均衡性的计算(式4)^{[22]30-31}。

$$Gini = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - x_j)}{2n^2 \bar{x}}, \quad (4)$$

式中，Gini为公园基尼系数，x根据不同分析内容具体确定； $x_i - x_j$ 为任何一对样本值的差；n为分析内容的样本数。

在公园分布均衡性计算中，分为全局和15分钟生活圈下公园分布均衡性。全局均衡度，以分析区域全部站点可达性指数(即x值)为依据；15分钟生活圈均衡度，则以站点15 min时间内可到达综合性公园数量(即x值)为依据。

公园的贡献度计算，是通过分别移除每个公园，计算全局基尼系数与未移除前基尼系数之差。为便于观察数值变化，同时将值扩大1000倍。

公园的分布会影响各个站点到公园的可达性，最终影响当前公园分布下的基尼系数，因此通过增加新建公园可调整公园分布的均衡性。每2000 m × 2000 m建立一个采样点(总共3354个)，将其假设为新规划公园的选

址，覆盖到整个市域。将新选址增加到公共交通复合网络中后，计算各个站点到所有公园时间成本距离均值的基尼系数，获得增加新建公园后基尼系数的分布，为平衡公园分布、新建公园的选址提供参照。

3 研究结果

3.1 公园的最短路径时间成本距离均值分布和服务等级区域

通过所有站点到各个公园最短路径时间成本距离的箱型图统计，根据上下四分位数可以确定各个公园公共交通复合网络下最短路径主要花费的时间成本区间。分别计算所有公园对应上下四分位数的上下四分位数，得知主要分布的区间为[41.86, 72.10]到[154.76, 175.91]，中位数对应的区间为[53.01, 161.65]。以中位数为参照值，如果该公园可达性区间低于[53.01, 161.65]，则相对其他公园而言具有较高的可达性，包括八字山公园、北固山公园、古林公园、鼓楼公园、幕府山公园、清凉山公园、狮子山公园、石头城公园、乌龙潭公园、绣球公园、河西中央公园、莫愁湖公园、南湖公园、白鹭洲公园、午朝门公园、郑和公园、白马公园、北极阁公园、九华山公园、情侣园、玄武湖公园、花神湖公园、菊花台公园23个公园。超出上下四分

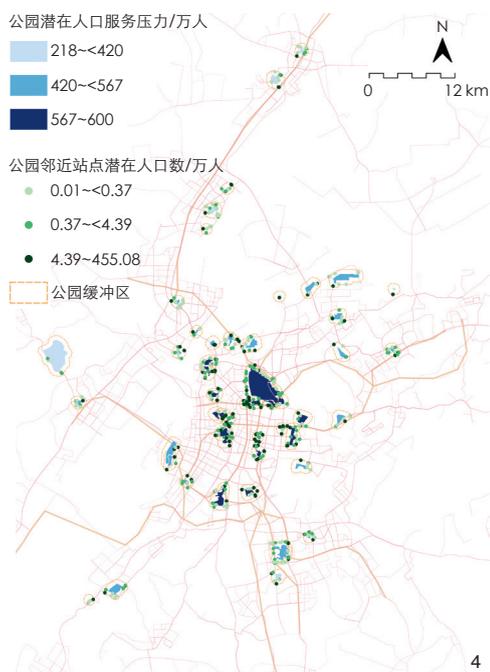
位数最大值构成的区间为[72.10, 175.91]，表明该类公园可达性很低，包括老虎山公园、九龙湖公园、六合凤凰山公园、龙池公园、平顶山公园、太子山公园、凤凰山公园、二桥公园、南炼公园、三叶湖公园、乌龙山公园、燕子矶公园、莲花湖公园、梅山公园14个公园。其余16个公园可达性一般。

依据各个公园的最短路径时间成本距离均值绘制等值线(图3)，可以观察数值分布情况。具有较高可达性的公园位于公共交通复合网络的中心区域，可达性很低的则位于网络边缘。

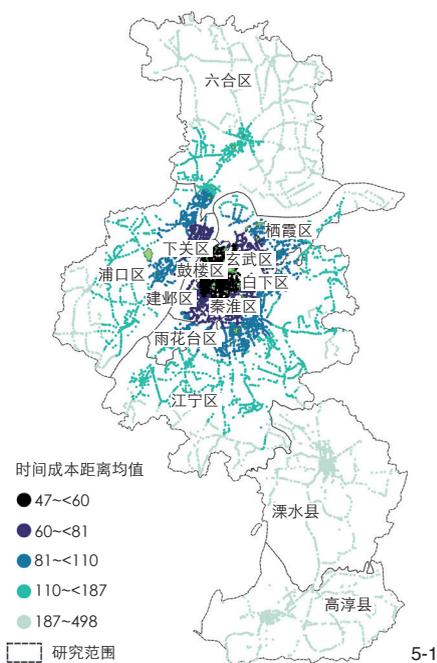
公园潜在人口服务压力是公园可达性的一种表现，较大的值表明具有较高的可达性，反之可达性较低。将人口服务压力分成3个层级(图4)：第一层级，具有较高的人口压力，位于公共交通复合网络的核心区域，即城市的核心区域；人口服务压力向四周扩散，形成第二层级；第三层级，具有较小的人口压力，位于网络的边缘，也是城市的边缘区域。

3.2 站点的可达性

站点可达性可以考虑站点到所有公园的最短路径时间成本距离平均值，或者进一步考虑车站到所有公园的供需比之和。公共交通复合网络覆盖区域，可达性的标准差与均

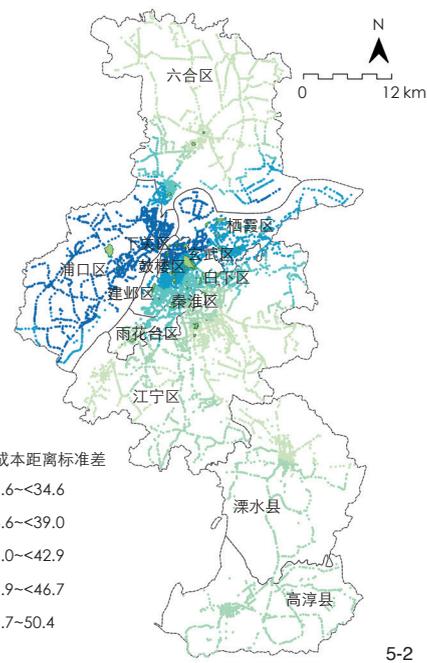


4 公园潜在人口服务压力
Potential population service pressure of parks



5 站点位置到所有公园最短路径时间成本距离均值 (5-1) 和标准差 (5-2)

The mean (5-1) and standard deviation (5-2) of time-cost distance of the shortest path from transportation stations to all the parks



5-2
5

值相关度为 0.96, 溧水、高淳两区相对其他 11 区具有较低的公园可达性(图 5-1), 其次为网络边缘的六合区和浦口区。在进一步的综合性公园规划中, 需要优先考虑这些区域。通过时间成本距离标准差计算(图 5-2), 比较各个站点到所有公园的最短路径时间成本距离的分散程度, 具有较高分散程度的站点, 会优先考虑较近的公园; 而较低分散程度的站点, 因为到各个公园的出行通行成本较为接近, 则更容易根据出行目的选择。

3.3 公园分布均衡性、贡献度和新规划公园选址的区域分布

3.3.1 公园分布的全局均衡性

站点位置到所有公园最短路径时间成本距离均值的基尼系数为 0.34; 增加行政区划权重后基尼系数为 0.32 (p -value=0.01); 如果考虑供需比之和, 基尼系数为 0.25, 增加行政区划权重后为 0.24 (p -value=0.01)。参考联合国开发计划署(The United Nations Development Programme, UNDP)对收入分配基尼系数等级的划分, 0.40 是收入分配差距的“警戒线”, 上述基尼系数均小于该值, 表明公园分布的不均衡性(不公平性)不明显, 相对合理, 但是已接近“警戒线”。

3.3.2 15 分钟生活圈下公园分布的均衡性

15 分钟生活圈下, 站点可达综合性公园的数量, 最小值为 0, 最大值为 14(图 6)。由站点可达公园的数量计算基尼系数为 0.68, 增加行政区划权重后为 0.64 (p -value=0.01), 均明显超出“警戒线”(0.40)。

3.3.3 公园的贡献度

公园的贡献度(图 7)反映的是在公共交通复合网络下各个公园对公园分布均衡性的影响程度。当贡献度为正值, 且值越大, 对均衡性的负面影响越强, 例如城市周边区域的公园; 当为负值, 且值越小, 对均衡性的正面影响越强, 例如趋近于城市中心区域的公园。结果表明城市周边区域的公园对综合性公园分布的均衡性具有更重要的积极作用; 而城市中心区域的公园, 因为分布相对集中, 弱化了分布的均衡性。

3.3.4 平衡均衡性新规划公园选址的区域分布

为进一步平衡城市综合性公园的分布, 可以增加新的公园来降低基尼系数。假设新增加一个公园选址后, 基尼系数发生更新变化(图 8), 从计算结果来看, 如果基尼系数小于已有公园的基尼系数(0.34), 则说明新增加的公园有益于平衡公园分布的均衡性;

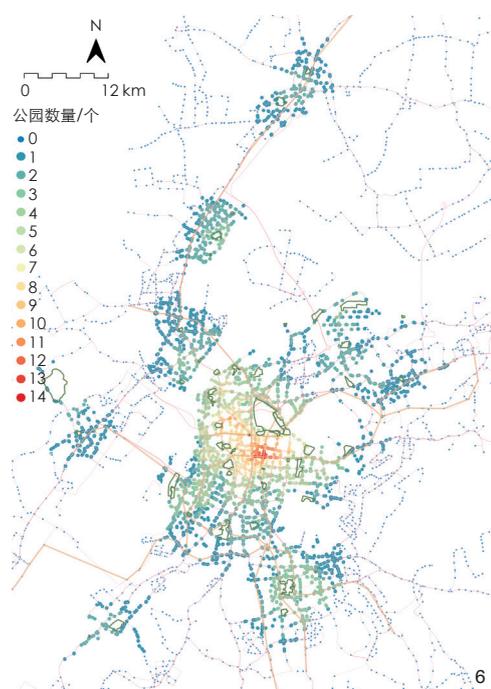
反之, 基尼系数大于 0.34 的区域, 则会降低均衡性。同时需要注意, 在南北边缘区域增加综合性公园虽然能够大幅度减小不均衡性, 但是也增加了核心区域到边缘区域综合性公园的距离, 因此新规划的综合性公园的选址位置, 最好选择基尼系数在 0.32~0.33 之间的区域。

4 讨论

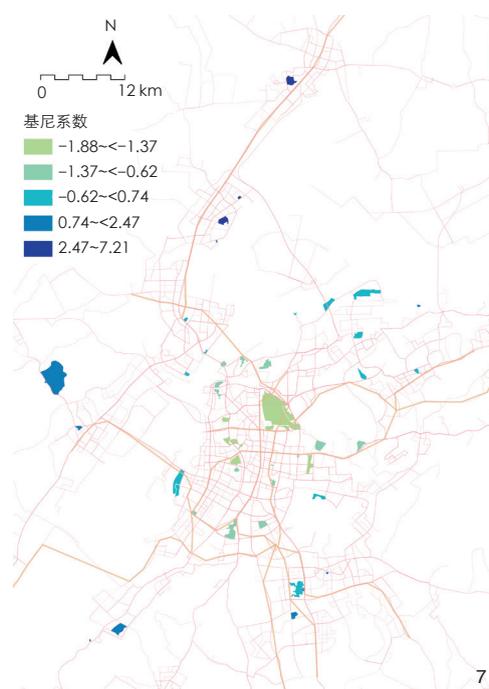
根据南京市统计局 2019 年南京市基本公共服务体系建设监测统计分析报告, 城市居民公共交通出行分担率在 2018 年为 43.30%、2019 年为 45.30%, 由此可以判断公共交通是南京市居民重要的出行方式。随着地铁线路的进一步增加和公交线路配合地铁线路的调整, 选择公共交通出行方式的人口比例会相对稳定, 并可能有所增加, 因此基于城市公共交通分析城市公园可达性的研究非常必要。

4.1 应用 Networkx 库建立公共交通复合网络

城市公园公共交通可达性的研究在可达性测量中, 包括应用 ArcGIS 提供的网络分析工具计算 OD 成本矩阵(origin destination cost matrices)搜索最小成本路径^[23-24], 使用百度地图或谷歌地图路线规划应用计算最小成本路径^[25-26], 以及应用栅格数据和服务范围测量

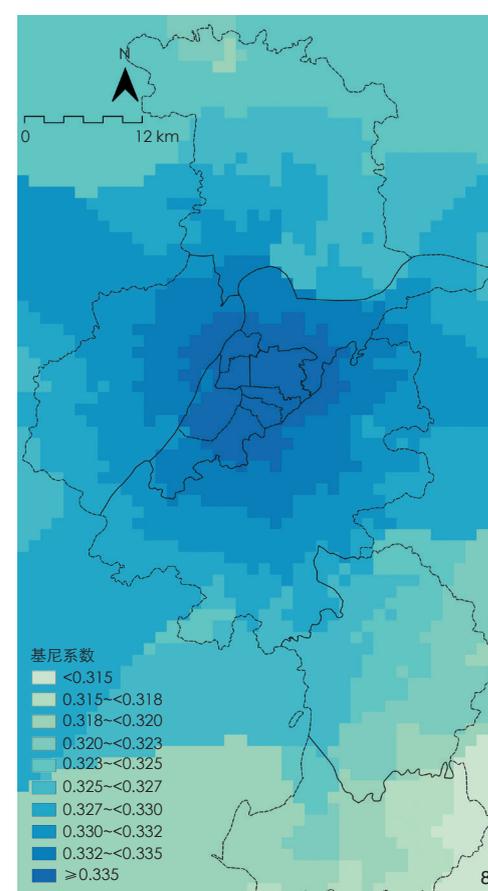


6 公共交通复合网络 15 分钟生活圈下的站点可达综合性公园数
Number of transportation stations accessible to comprehensive parks within the 15-minute living circle



7 综合性公园基尼系数贡献度
Comprehensive parks Gini coefficient contribution degree

8 基尼系数更新变化的空间分布
Spatial distribution of Gini coefficient updates and changes



可达性^[19]等方法。因受到栅格精度的影响和对实际道路交通情况的忽略,应用栅格数据的方法,可达性量化结果准确度较低;使用 ArcGIS 等传统工具来建立公共交通系统,条件设定相对复杂,可拓展分析的自由度往往受到限制。因此本研究应用 Python 语言复杂网络创建库 Networkx 建立包含公交系统、地铁系统以及换乘系统的复合公共交通网络,通过可达性测量来进一步完善网络分析方法。其包括最小成本路径下各个站点到公园邻近站点的选择,公交路线之间、地铁路线之间与公交与地铁路线之间换乘网络的定义,最小成本路径等级区域划分,及基于时间成本距离权重人口数量在网络中的传输等。

将南京市所有公共交通站点和路线纳入复合网络,不设定公园固定的服务范围,以时间成本距离最短路径的高斯函数作为权重平衡距离的远近和信息在网络中传播的衰减趋势,可以较好地比较所有站点到达各个公园的可达性,以及到达各个公园每个站点的

可达性。

4.2 全局和 15 分钟生活圈下综合性公园分布均衡性

风景园林领域对于生活圈的研究通常聚焦到公共开放空间的布局和规划导控、绿地公共性、供需等方面,并将其结合到均衡性研究上,如杜伊等通过问卷调查结合 OD 线,统计非离家最近到访,提出面向社区生活圈公园绿地微区位公平性优化策略^[27]。Feng 等则应用栅格计算绿地可达性指数,应用基尼系数分析区域城市公园可达性的社会公平性^[19]。上述研究在结合生活圈和可达性分析公园分布的均衡性上并不明确,因此提出基于生活圈可达性的均衡性分析。

依据不同方式计算基尼系数评估公园分布的均衡性会有明显的差异。基于可达性的全局基尼系数小于 0.40,但是 15 分钟生活圈下的基尼系数则明显大于 0.40。以上结果表明,虽然综合性公园在整体布局下均衡性较好,但是以居民日常活动为主的生活圈下的

均衡性较差,这影响到城市生活空间构建和居民生活质量的提升。

4.3 平衡均衡性新规划公园选址的区域分布

由城市绿地可达性的差异评估绿地分布的不平等性,以及结合种族、收入、老人儿童特殊群体因素的空间分布评估绿地可达性,通常应用回归模型分析两者或者多者之间的关联,判断栅格单元即各个地理空间位置下的可达性与各个因素空间分布之间是否相关;或者应用基尼系数和区位熵等指数判断均衡性,这些方法给出了评估的结果,但是并没有进一步探索平衡不均衡性规划配置的量化途径。

对于规划配置的量化方法,最近的一项研究是应用 2SFCA 模型计算基尼系数结合遗传算法,分析模拟封闭社区绿地开放的优化方案对绿地可达性和均衡性变化的研究^[28]。为进一步平衡量化绿地的空间合理配置,提出新公园规划选址参考平衡不均衡性的方法,以基尼系数作为最终均衡性评价的指标,建立新公园选址的采样点,依据当前公共交通

复合网络，逐一计算每增加一选址后基尼系数的变化，从而获取基尼系数变化分布，这为新增加的综合公园选址提供了参照。

4.4 研究的局限性

公园的公共交通可达性时间成本距离路径通常包括出发地到邻近出发地的站点、交通等候时间、站点到公园邻近站点、公园邻近站点到公园入口等几个部分^[23]，本研究在建立公共交通复合网络时去除了交通等候时间等不确定因素，仅包括公共交通通行部分和增加的换乘网络；同时，在最小成本路径计算时，以公交、地铁和步行的平均速度计算最短路径，但是在实际的生活，人们可能综合考虑多种因素选择到达公园的路线，这些都会降低公园公共交通可达性的准确性。

在平衡均衡性新公园选址问题上，仅计算了一次增加一个新公园选址对基尼系数的影响，如果一次同时增加2个及以上新公园选址，不同的组合方式将大幅度增加计算的繁复度，需要探索新的算法降低计算量。

本研究以综合性公园为研究对象探索基于基尼系数均衡度的分析，而实际上其他公园类型和各类休闲绿地的分布将会平衡综合性公园可达性的不足和分布的不均衡问题，例如15分钟生活圈下公园分布的均衡性较差，可以通过其他类型绿地弥补。

5 结语

公共交通是中国城市居民出行的主要方式之一，基于公共交通的城市公园可达性及空间分布均衡性的研究对公园空间分布的配置具有重要意义。以公园为目标，从所有站点到达各个公园的公共交通可达性分布，可以衡量公园潜在的服务规模及其分布模式；同时，获取指定时间成本区域下路线分布与对应的公园邻近站点，这为公园服务和邻近公园周边区域的城市功能协调提供了参照。以站点为目标，到达各个公园每个站点的可达性，则体现了该站点区域居民所享有综合性公园这一公共服务设施可用性的多少，反映了综合性公园空间配置的合理性。以基尼系数为衡量指标，分析全局和15分钟生活圈下公园分布均衡性、公园贡献度，计算平衡均

衡性新规划公园选址的区域分布，可以改善城市公园公共交通服务、优化城市公园布局，提高城市公园的可达性，为城市新综合性公园规划提供量化的区域范围参考。

参考文献 (References):

[1] World Health Organization. Urban Green Spaces and Health. A Review of Evidence[R]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016.

[2] CHIESURA A. The Role of Urban Parks for the Sustainable City[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 68(1): 129-138.

[3] BROWN G, RHODES J, DADE M. An Evaluation of Participatory Mapping Methods to Assess Urban Park Benefits[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 178: 18-31.

[4] KAHN E B, RAMSEY L T, BROWNSON R C, et al. The Effectiveness of Interventions to Increase Physical Activity: A Systematic Review[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2002, 22(4, Supplement 1): 73-107.

[5] LEE A C K, MAHESWARAN R. The Health Benefits of Urban Green Spaces: A Review of the Evidence[J]. Journal of Public Health, 2010, 33(2): 212-222.

[6] TAKANO T, NAKAMURA K, WATANABE M. Urban Residential Environments and Senior Citizens' Longevity in Megacity Areas: The Importance of Walkable Green Spaces[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2002, 56(12): 913-918.

[7] MOWEN A J, GRAEFE A R, BARRETT A G, et al. Americans' Broad-Based Support for Local Recreation and Park Services: Results from a Nationwide Study[R]. Ashburn: National Recreation and Park Association, 2016.

[8] RAVALLION M. Inequality and Globalization: A Review Essay[J]. Journal of Economic Literature, 2018, 56(2): 620-642.

[9] LAN T, KANDT J, LONGLEY P, et al. Geographic Scales of Residential Segregation in English Cities[J]. Urban Geography, 2019, 41(8): 103-123.

[10] BOONE C G, BUCKLEY G L, GROVE J M, et al. Parks and People: An Environmental Justice Inquiry in Baltimore, Maryland[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2009, 99(4): 767-787.

[11] LIU D, KWAN M-P, KAN Z H. Analysis of Urban Green Space Accessibility and Distribution Inequity in the City of Chicago[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2021, 59: 127029.

[12] IRAEGUI E, AUGUSTO G, CABRAL P. Assessing Equity in the Accessibility to Urban Green Spaces According to Different Functional Levels[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2020, 9(5): 308.

[13] XING L J, LIU Y F, WANG B S, et al. An Environmental Justice Study on Spatial Access to Parks for Youth by Using an Improved 2SFCA Method in Wuhan, China[J]. Cities, 2020, 96: 102405.

[14] TALEN E, ANSELIN L. Assessing Spatial Equity: An Evaluation of Measures of Accessibility to Public Playgrounds[J]. Environment and Planning A, 1998, 30(4): 595-613.

[15] REYES M, PÁEZ A, MORENCY C. Walking Accessibility to Urban Parks by Children: A Case Study of Montreal[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 125: 38-47.

[16] FAN P L, XU L H, YUE W Z, et al. Accessibility of Public Urban Green Space in an Urban Periphery: The Case of Shanghai[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 165: 177-192.

[17] MAROKO A R, MAANTAY J A, SOHLER N L, et al. The Complexities of Measuring Access to Parks and Physical Activity Sites in New York City: A Quantitative and Qualitative Approach[J]. International Journal of Health Geographics, 2009, 8(1): 1-23.

[18] LUO W, WANG F. Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2003, 30(6): 865-884.

[19] FENG S, CHEN L D, SUN R H, et al. The Distribution and Accessibility of Urban Parks in Beijing, China: Implications of Social Equity[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(24): 4894.

[20] SHI L, HALIK Ü, ABLIZ A, et al. Urban Green Space Accessibility and Distribution Equity in an Arid Oasis City: Urumqi, China[J]. Forests, 2020, 11(6): 690.

[21] DAI D J. Racial/Ethnic and Socioeconomic Disparities in Urban Green Space Accessibility: Where to Intervene?[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 102(4): 234-244.

[22] SEN A, FOSTER J E. On Economic Inequality[M]. Oxford: Oxford University Press, 1997.

[23] LIANG H L, ZHANG Q P. Assessing the Public Transport Service to Urban Parks on the Basis of Spatial Accessibility for Citizens in the Compact Megacity of Shanghai, China[J]. Urban Studies, 2018, 55(9): 1983-1999.

[24] SALONEN M, TOIVONEN T. Modelling Travel Time in Urban Networks: Comparable Measures for Private Car and Public Transport[J]. Journal of Transport Geography, 2013, 31: 143-153.

[25] XU M Y, XIN J, SU S L, et al. Social Inequalities of Park Accessibility in Shenzhen, China: The Role of Park Quality, Transport Modes, and Hierarchical Socioeconomic Characteristics[J]. Journal of Transport Geography, 2017, 62: 38-50.

[26] CHANG Z, CHEN J Y, LI W F, et al. Public Transportation and the Spatial Inequality of Urban Park Accessibility: New Evidence from Hong Kong[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2019, 76(9): 111-122.

[27] 杜伊, 刘文婷, 常子晗, 等. 面向社区生活圈共享的公园绿地微区位分配公平性研究[J]. 风景园林, 2021, 28(4): 40-45.

[28] WU J, CHEN H, WANG H, et al. Will the Opening Community Policy Improve the Equity of Green Accessibility and in What Ways?: Response Based on a 2-Step Floating Catchment Area Method and Genetic Algorithm[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 263: 121454.

图片来源 (Sources of Figures):

文中图片均由作者绘制，图1、3、5、8地图源自标准地图服务网站，审图号为宁S(2016)001号。

(编辑 / 刘玉霞)