

基于三维供需测度视角的绿色开放空间供需匹配精准识别与治理响应——广州珠江新城高密度街区的实证研究

Green Open Space Supply-Demand Mismatches: Precise Identification and Governance Responses Based on a Three-Dimensional Measurement Approach: A Case Study on the High-Density District of Zhujiang New Town, Guangzhou

邹楠 巫俊龙 侯永明 卢家希

ZOU Nan, WU Junlong, HOU Yongming, LU Jiayi

基金项目: 国家自然科学基金 “三维视角下建成区附属开放空间供需匹配测度与共享机制研究” (编号: 52278053)

摘要

在城市发展转向存量提质增效为主的背景下, 高密度中心城区的扩绿治理工作面临空间不足的严峻挑战, 而精准识别绿色空间供需匹配度是扩绿治理的关键基础。以广州珠江新城核心区为例, 采用 3D-GIS 可达性分析与网络文本分析方法, 结合网络平台和手机信令等多源大数据, 分析绿色开放空间的供需匹配情况及其使用特征。研究表明: 公共开放空间的供需匹配度显著低于附属开放空间, 供需匹配度受空间可达性和地块实时人流量的共同影响, 其中实时人流量的影响力显著高于可达性因素; 建筑高度对附属开放空间供需匹配度的影响更显著。基于此, 提出推动附属开放空间公共化与立体联通、完善休憩设施、推动基于大数据的分时功能共享管理等优化策略。

Abstract

In the context of urban development shifting toward a stock-oriented model that prioritizes quality and efficiency, greening in high-density central districts faces acute spatial constraints; precise identification of green-space supply-demand matching is therefore crucial. Using the core area of Guangzhou's Zhujiang New Town as a case, this study integrates 3D GIS-based accessibility analysis with web-based text analytics and multi-source big data (online platforms and mobile signaling data) to examine matching patterns and use characteristics of green open spaces. Results indicate that public open spaces exhibit significantly lower matching than ancillary (building-affiliated) spaces; matching is jointly driven by spatial accessibility and parcel-level real-time pedestrian flow, with the latter having the stronger effect; and building height significantly shapes matching for ancillary spaces. Accordingly, optimization strategies are proposed, including promoting the public accessibility and three-dimensional connectivity of ancillary open spaces, enhancing recreational amenities, and implementing big data-informed time-sharing management.

文章亮点

1) 构建“三维供给测度-动态需求感知-科学匹配评估”框架, 融合 3D-GIS 可达性、手机信令和网络文本, 实现地块尺度的绿色开放空间供需精准识别, 为存量高密度中心城区绿色开放空间的精细化治理提供可操作的技术支撑。2) 公共开放空间供需匹配度显著低于附属开放空间, 实时人流量对匹配度的影响强于可达性, 且随建筑高度上升失衡加剧, 揭示高密度街区典型的垂直分层特征。

关键词

3D-GIS 可达性分析; 网络文本分析; 绿色开放空间; 供需匹配; 城市高密度街区

Keywords

3D-GIS accessibility analysis; Network text analysis; Green open space; Matching supply and demand; Urban high-density area

收稿日期: 2025-06-24

修回日期: 2025-08-04

高密度城市建成区公共空间供给与人口需求的动态均衡问题, 已成为可持续城市化进程中的核心挑战之一。作为衡量城市公共空间公平性的重要指标, 供需匹配度指在特定空间范围内公共服务供给与人口需求之间的匹配程度, 其通常与公共设施的供给规模和空间布局、交通网络的可达性和连接度、人群密度等因素密切相关^[1-2]。绿色开放空间具有生态服务效能与社会文化功能的双重特性, 其供需匹配机制更为复杂: 既需要应对不同时间段人口潮汐波动带来的需求异质性^[3], 又需要适应立体城市发展中供给形式的时空弹性(如空中连廊、私有空间共享)。传统“供给-需求”评估受限于二维分析框架与静态人口假设^[4-5], 难以支撑城市在存量提质增效阶段对高密度街区的精细化治理的需求, 亟待方法层面的突破。

现有供需匹配研究主要围绕开放空间可达性评价, 形成基于地理信息系统的方法论体系, 主要采用重力模型、两步移动搜索法(2SFCA)等方法, 通过计算设施服务半径内人口覆盖率, 构建如最小出行距离、最小出行时间、引力模型等评估指标^[6-7]。该类研究综合考虑设施区位、服务半径、交通网络和人口分布等因素, 通过计算街道或居民委员会尺度的服务设施规模与人口的比率来衡量供需匹配性^[8]。以美国曼哈顿、中国广州和上海为例, 相关研究在空间分析尺度上已从街道、居民委员会等行政单元尺度向 100 m×100 m 网格单元精细化发展^[2,9], 并且评估对象也从较大尺度的城市公园扩展至口袋公园等小微空间^[9-10]。然而, 这些方法存在以下局限性: 1) 空间平面性, 即忽略垂直交通对时空阻隔的修正效应^[11-12]; 2) 需求均质化, 研究通常依赖固定时段的普查数据来推定人口分布情况^[13]。这些研究在低密度城市尚具解释力, 却难以适配高密度城区的三大新特征: 立体化供给(垂直复合型公共空间)^[14]、动态化需求(时间动态人口密度波动)^[15]、共享化机制(私有空间公共开放使空间服务能力呈现时空弹性)^[16]。

高密度城市绿色开放空间的实践进一步突显了方法创新的迫切需求。例如, 伦敦中央活力区(Central Activities Zone, CAZ)要求新建项目提供立体开放空间, 但依然沿用传统的平面服务半径评估标准^[17]; 新加坡《2030 绿色发展蓝图》(Singapore Green Plan 2030)推进空中绿廊建设, 但缺乏动态的三维开放空间供需体系作为支撑^[18]; 中国上海、深圳、广州等地已出台相关政策(如《上海市 15 分钟社区生活圈规划导则(公众版)》《深圳市立体绿化实施办法》), 但目前仍缺乏精确量化立体绿色开放空间服务效能的技术体系。数字技术的突破为破解上述困境提供新路径, 立体城市设计^[19]、3D-GIS 技术(三维地理信息系统技术)^[14,20-21]、绿地率联合管控^[22-23]、地面空中开放空间一体化设计^[14,16]等创新的研究方法和规划设计技术也成为新兴的研究方向。供给侧方面, 3D-GIS 与建筑信息模型 BIM, 融合技术可通过量化层间移动成本(电梯等待时间、楼梯连接度), 建立垂直修正的三维可达性模型^[14]; 需求侧方面, 手机信令数据能够支持以半小时为粒

度的人口分布反演^[24], 而社交媒体文本挖掘(如抖音、大众点评)可提取空间偏好细粒度特征^[25]。

基于此, 本文以广州珠江新城核心区为实证对象, 提出“三维供给测度-动态需求感知-科学匹配评估”的研究框架, 为高密度中心城区的精准扩绿与治理响应提供可操作的决策依据。研究以地块为单元, 将开放空间分为公共开放空间和附属开放空间。综合建筑学、城乡规划学和风景园林学等学科界定, 本文涉及的公共开放空间指具有一定休闲游憩功能、并向所有人开放的室外及半室外空间, 在我国主要指各类公园绿地和城市广场(G类用地)^[16,26], 在国外则包括公有公共空间和私有公共空间^[27]。附属开放空间指位于建筑用地红线内的室外、半室外空间, 包括附属绿地、架空层空间、空中花园、空中廊道等类型^[16,28-29]。本文采用 3D-GIS 可达性技术测度开放空间的供给指数, 采用手机信令数据测度其需求指数; 通过界定供需匹配的阈值, 识别 2 类开放空间的供需匹配区、供给充足区和供给不足区; 同时通过网络文本分析补充需求端对典型开放空间的感知评价, 进一步从场地使用时间、位置选择、设施配套、维护管理等方面深入了解供需矛盾。通过综合城市 3D 信息、网络文本、手机信令等多源大数据, 本研究旨在为高密度城区公共服务资源的实时分配与管理提供准确、动态的决策支持, 并为高密度城区绿色开放空间的优化提供理论框架, 即从“静态配置”到“动态调适”的理论转换路径。

1 数据与方法

1.1 研究对象

本研究选取广州市典型的高层高密度街区——天河中央商务区核心组团珠江新城为实证对象(图 1)。研究区域的地理边界北至黄埔大道西, 南抵珠江海心沙岛, 东起冼村路, 西至广州大道中, 总面积为 2 km²(含中央绿地花城广场 0.4 km²)。作为中国三大国家级中央商务区之一, 该区域平均容积率达 6.8, 超高层建筑占比为 42%, 具有典型的高密度空间特征。基于市政道路划分的 90 个产权地块(平均面积为 1.5 hm²)中, 编号 27、37、90 地块均为公共开放空间。对研究区域绿地率采用统一标准核算: 以地块红线为边界, 仅计入草坪、灌木、林地等植被的垂直投影面积, 不包括建筑、构筑物、硬质铺装及水体。结果显示, 各地块绿地率呈显著差异, 其中塔楼密集、硬质铺装占比高的商务核心区(如地块 71、89)绿地率低; 而南部文化广场区因承载大量集散功能, 硬质铺装占主导(如地块 55、72 与 73), 绿地率同样处于中低水平。据“百度地图慧眼”平台 2025 年 3 月数据, 研究区域的常住人口与就业人口密度达 14.58 万人/km², 昼夜人口比为 3.2 : 1, 呈现显著的“职住分离”特征, 为供需时空异质性研究提供了理想样本。研究范围共有 61 个开放空间, 包括 3 个广场、8 条骑廊、8 个庭院、18 条加宽人行道、9 个街角公园、4 条空中走廊、3 个空中花园、7 个屋顶花园以及 1 个空中平台。附属开放空间的平均面积为 1 556 m², 最大面积为 8 000 m², 最小

面积为 120 m²。

1.2 研究方法

本研究遵循“三维供给测度-动态需求感知-科学匹配评估”的技术路线(图2)。首先,在供给端基于3D-GIS构建街区三维可达性网络,综合电梯与步行时间计算地块三维供给指数,识别不同高度层级中开放空间的供给差异。其次,在需求端利用手机信令数据,提取2021年5月14日10:00研究范围内50 m×50 m网格的实时人流量,经折算后形成地块动态需求指数,以表征典型工作日上午开放空间的需求强度。随后,将供给与需求指数进行空间叠加分析,依据预设的供需匹配阈值,识别供给充足区、供需匹配区与供给不足区。最后,结合新媒体评论文本的词频与情感分析结果,从配套设施、管理方式与使用偏好等维度,进一步阐释不同类型开放空间的供需匹配特征,为后续空间设计优化与运营管理提供依据。



图1 研究对象与地块绿地率分布

Fig.1 Study area and parcel green space ratio distribution map

1.2.1 三维供给指数计算

采用CAD、BIGEMAP、Python分别获取绿色开放空间、建筑图层以及路网数据,导入ArcGIS软件中构建街区的三维模型。研究将建筑划分为低层(低于10 m)、多层(10~24 m)、高层(25~100 m)和超高层(高于100 m)4类。在ArcGIS的三维网络中,综合水平步行与竖向通行成本,以地块为统一分析单元,计算地块内建筑在不同高度楼层到最近开放空间入口的三维可达时间 T ,取最小值作为地块的供给指数 I_p ^[21],计算公式如下:

$$T_{ij} = E_i + W_j = \frac{H_i}{v_e} + \frac{\min d_{ij}}{v_w} \quad (1)$$

式中, T_{ij} 为地块 i 内某一高度楼层到最近开放空间 j 入口的三维可达时间。 E_i 表示在地块 i 内该高度楼层乘坐电梯到达地面层(建筑出入口)的竖向通行时间; H_i 表示该楼层相对于地面的竖向高度(m); v_e 是电梯平均速度,取值为1.5 m/s。 W_j 为从地块 i

的建筑入口出发到最近开放空间 j 入口的水平步行时间; $\min d_{ij}$ 为在路网约束下从地块 i 的建筑入口步行至开放空间 j 的最短距离; v_w 为步行平均速度,取值为1 m/s。地块 i 内所有楼层到最近开放空间入口 j 的三维可达时间 T_{ij} 中的最小值,即为地块 i 的供给指数 $I_{pi}(\min)$ 。

由于 I_p 本质上度量的是地块到开放空间的最短可达时间,为逆向指标,供给指数越大,说明到达所需时间越长,开放空间供给度越低;供给指数越小,则供给度越高。本研究仅计算地块内各楼层至最近开放空间入口的可达时间,未在建筑尺度另行定义供给指数,故同一地块内各建筑及其不同高度楼层均共享同一个供给指数值,以表征其所在地块的开放空间可达性水平。

1.2.2 动态需求指数计算

将研究范围细分为50 m×50 m的网格单元,并利用手机信令数据,获取2021年5月14日上午10点研究范围内每个网格的实时人流数据^①。随后,将人流数据与地块分布图导入ArcGIS平台,运用GIS计算研究范围内90个地块的实时人流量(图3),从而精确得出每个地块的需求指数。具体方法如下:

在GIS平台中将50 m×50 m的

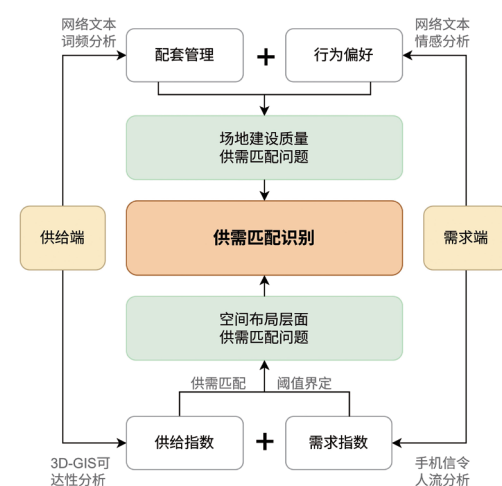


图2 研究技术路线图

Fig.2 Technical route of the study

① 本研究使用的手机信令数据来源于中国联通广东省分公司,已经过匿名化处理。通过对比研究时段内联通的去重用户数与基准人口数,得到折算系数为5。在信令数据换算为需求指数时,此系数被统一应用于所有空间单元。该过程仅对数值进行同比例放大,不改变其相对高低与空间格局。

人流栅格数据（每个栅格的人流量为 P_e ）与地块分布图层叠加，栅格受到地块边界裁剪后生成若干个新的要素块（子多边形）。研究假定栅格内人口均匀分布，汇总地块内所有要素块的人流量可得地块的总人流量，即需求指数 I_d ，公式如下：

$$I_{di} = \sum_{k=1}^{N_i} \frac{S_{ik}}{2\,500} P_{e(k)} \quad (2)$$

其中， I_{di} 为地块 i 的需求指数，反映研究时段内地块 i 的总人流量规模（人数）； N_i 为地块 i 的要素块数量， S_{ik} 为地块 i 内第 k 个要素块的面积（ m^2 ），2 500 为单个 50 m×50m 栅格单元的面积（ m^2 ）， $P_{e(k)}$ 为要素块 k 所在栅格单元的人流量（人数）。由于 I_d 度量的是地块内的人流量规模，属于正向指标，需求指数越大，说明该地块人流越密集、需求度越高；需求指数越小，则需求度越低。与供给指数类似，需求指数 I_d 也限定在地块尺度上，表示研究时段内该地块整体的人群需求强度。在后续供需匹配识别及建筑高度分析中，同一地块内所有建筑和各高度楼层被赋予相同的 I_d ，以表征其共同承受的需求压力。

1.2.3 供需匹配识别指标定义

供需匹配度依据开放空间供给度与需求强度的组合关系进行判定（表

1）。供给指数 I_p (min) 代表在三维可达性网络中地块抵达最近开放空间入口的最短时间。参考社区级及以下开放空间的服务半径标准，将 I_p 划分为 4 个供给度等级。需求指数 I_d 反映研究时段内地块的总人流量，用于表征人口需求强度。采用公园绿地公平性研究中常用的分位数划分法，以 I_d 的下四分位数与上四分位数为界，将需求度划分为 4 个等级。

为更直观体现不同匹配类型对应的建成空间规模及其随建筑高度的变化，本文将地块级匹配类型统一赋予该地块内所有建筑及楼层，并基于建筑基底面积，加权统计各匹配类型在不同高度区间的建筑面积占比。

1.2.4 社交网络文本挖掘与需求感知分析

为深入分析不同类型开放空间的需求特征，分别选取典型的公共开放空间和附属开放空间为研究对象。其中，公共开放空间以花城广场为代表；附属开放空间以 5 种类型的 8 个空间为代表，分别为：类型 1 庭院（侨鑫国际商场水滴广场、广州大剧院户外空间），类型 2 空中连廊（侨鑫国际商场二层连廊、高德置地秋冬广场连廊），类型 3 街角公园（广州市第二少年宫附属绿地、广东省博物馆入口大草坪），类型 4 广场（西塔广场），类型 5 空中花园（东塔高极酒吧户外露台）。研究首先使用 Python 爬虫工具，在“大众点评”网站抓取 2020 年 1 月至 2021 年 7 月以及 2024 年 4 月至 2025 年 3 月 2 个时间段内开放空间相关评论。其中，花城广场共爬取有效评论 620 条；8 处附属开放空间分别筛选有效评论数 15~40 条，共爬取有效评论 226 条。选取这两个时间段是为了全面了解新型冠状病毒感染疫

情前后公共空间在非常态化管理和近期常态化管理 2 种情况下的特征。接着通过关键词筛选，提取关于开放空间的评价信息，并利用文本挖掘工具 ROSTCM6 对评价文本进行词频分析与情感分析，以提取用户的需求特征。该分析有助于深入了解居民在使用这些空间时对场地设计、配套设施以及管理服务等方面的具体需求。

2 结果

2.1 开放空间供需匹配度

在地块尺度完成供需匹配识别并将结果赋值至地块内建筑后，本文采用建筑基底面积作为权重，对不同供需匹配类型的建筑面积占比进行统计，即计算位于某一供需匹配类型地块上的建筑基底面积占研究区总建筑基底面积的比例。

结果表明，研究区域的公共开放空间整体供需匹配度偏低。其中，位于“供 > 求”地块上的建筑面积占 10.56%，说明这些建筑所在地块的开放空间供给相对充足、人流密度较低，可视为供给充足区；位于“供 = 求”地块上的建筑面积占 52.22%，表明这些建筑所在地块为供需匹配区；位于“供 < 求”地块上的建筑面积占 37.22%，表明这些建筑所在地块开放空间供给不足、人流密度较高，为供给不足区（图 4）。

附属开放空间整体的供需匹配度高于公共开放空间。具体来看，位于“供 > 求”地块上的建筑面积占 55.28%，而位于“供 = 求”地块上的占 34.44%，两者总和为 89.72%。仅有少数地块被识别为“供 < 求”状态，主要分布于研究区域东部边缘和中部，

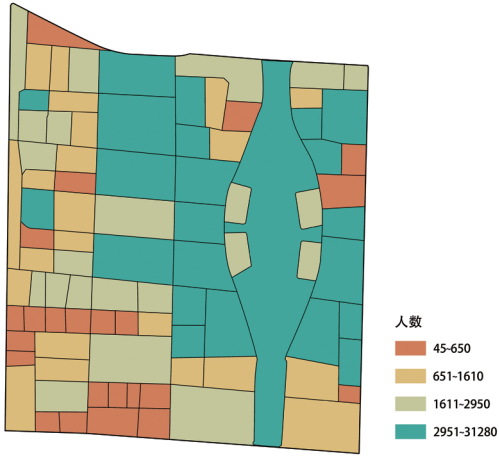


图 3 珠江新城核心区 90 个地块人流量分布图
Fig.3 Pedestrian flow distribution across 90 parcels in Zhujiang New Town core area

表 1 开放空间供需匹配识别指标界定

Tab.1 Definition of open space supply-demand matching indicators

I_p (min)	供给度	I_d / 人	需求度	供需匹配指标	供需匹配度
0~3	极高充足	0~650	极低需求	$I_p < 3$ 且 $I_d < 1\,610$ 或 $3 < I_p < 5$ 且 $I_d < 650$	供 > 求
3~5	较高充足	650~1\,610	较低需求	其余情况	供 = 求
5~10	较低充足	1\,610~2\,950	较高需求	$3 < I_p < 5$ 且 $I_d > 2\,950$ 或 $5 < I_p < 10$ 且 $I_d > 1\,610$ 或 $I_p > 10$ 且 $I_d > 650$	供 < 求
10~20	极低充足	2\,950~31\,500	极高需求		

如环球都会广场、越秀金融大厦、凯蓝大厦等地块(图5)。随着建筑高度的增加,需求指数 I_d 大于2 950人的地块上的建筑(如星汇园、富力盈凯广场、东塔和西塔等),其供需匹配度由“供=求”逐渐转变为“供<求”。

2.2 开放空间供需匹配度的影响因素

开放空间的供需匹配度受开放空间可达性和地块实时人流量的共同影响。研究区域的东部和中部上半区的人流量较大,均大于2 950人,需求度极高。然而,公共开放空间主要分布在西北边缘和东部。因此,东部公共开放空间附近的低层建筑主要表现为供需平衡状态;随着建筑高度的增加,部分建筑表现为“供<求”状态。西北部靠近公共开放空间且人流量中等的建筑主要呈现供需平衡状态,而位于中部且远离公共开放空间的建筑则表现为“供<求”状态。具体来看,随着建筑高度的增加,位于供给充足地块上的建筑面积占比逐渐下降,而位于供给不足地块上的建筑面积占比逐渐上升(表2)。这一变化同时受到实时人流量的显著影响,尤其是在需求度极高的区域,建筑的供需匹配度下降更为显著。例如,高德置地春广场、侨鑫国际商场、东塔、保利威座大厦等建筑均紧邻公共开放空间地块,但大部分建筑位于需求度极高的区域,随建筑高度增加,供需匹配度下降显著,这表明实时人流量对供需匹配度的影响显著。

与公共开放空间相比,附属开放空间的供需匹配度随高度下降更为显著。随着建筑高度的增加,供需匹配度“供>求”的建筑面积占比逐渐下降,下降幅度为11.11%,高于公共开放空间的下降幅度(5.55%)。同时,供需匹配度“供<求”的建筑面积占比从6.67%上升至16.67%,上升幅度为10.00%,大于公共开放空间的变化幅度(表2)。

2.3 场地使用时空分异特征

为分析典型开放空间在不同时间尺度上的使用特征,本节基于网络评论的时间信息,探讨场地使用时间分异规律(图6)。评论量在疫情全市控制期(2020年1—7月)较低,在局部控制期(2020年8—2021年7月)

有所上升,在后疫情常态期(2024年4月—2025年3月)则显著回升,整体呈恢复态势。公共开放空间的评论高峰集中于11月至次年2月,附属

开放空间的评论高峰多出现在8—10月,并于2025年1—2月出现次高峰。此外,周末评论量明显高于工作日;评论量自早晨逐步增加,在18:00—

表2 不同建筑高度的开放空间供需匹配情况

Tab.2 Statistics of open space supply-demand matching by building height

建筑高度 /m	公共开放空间供需匹配度占比			附属开放空间供需匹配度占比		
	供>求	供=求	供<求	供>求	供=求	供<求
低层 <10	13.33%	51.11%	35.56%	40.00%	53.33%	6.67%
多层 10~24	12.22%	52.22%	35.56%	37.78%	55.56%	6.67%
高层 25~100	8.89%	54.44%	36.67%	31.11%	57.78%	11.11%
超高层 >100	7.78%	51.11%	41.11%	28.89%	54.44%	16.67%

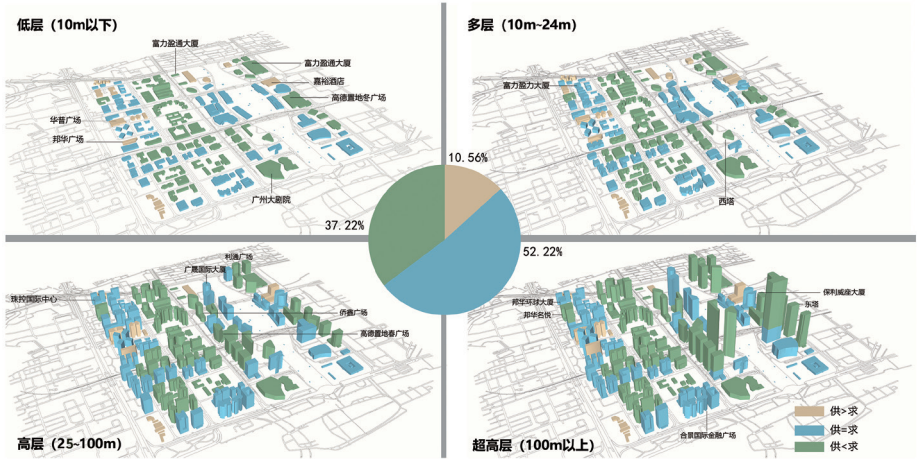


图4 珠江新城核心区公共开放空间供需匹配度可视化地图

Fig.4 Visualization map of public open space supply-demand matching in the core area of Zhujiang New Town

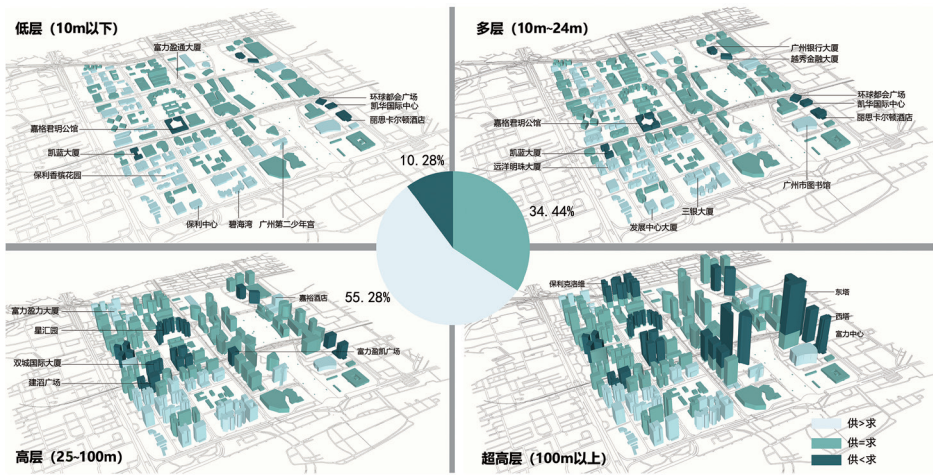


图5 珠江新城核心区附属开放空间供需匹配度可视化地图

Fig.5 Visualization map of ancillary open space supply-demand matching in the core area of Zhujiang New Town

22:00 达到高峰, 在凌晨 2:00 后迅速回落。

综上, 珠江新城开放空间使用呈现后疫情常态期回暖、季节互补、周末集中、夜间活跃的特征, 周末与下班后的夜间时段是主要使用窗口, 应在开放时间安排、夜间设施完善及高峰期服务配备等方面予以重点关注。

2.4 人群使用的影响因素

综合评论的高频词汇类目(图7)及文本内容可知, 珠江新城的公共和附属开放空间吸引人们关注的主要元素是其中心区位和丰富的设施配套, 如灯光、喷泉、雕塑等。珠江新城地标性和“城市客厅”的形象深入人心, 其特定节日或景观活动(如灯光节、向日葵花海)尤其吸引市民打卡拍照。对于设有标志性小品的开放空间, 如侨鑫国际商场水滴广场的水滴雕塑、西塔广场的“未来之门”金色雕塑等, 市民的关注和评价主要集中在这些标志物上; 而具有设计感和地标意义的开放空间(如广州大剧院户外空间)通常吸引大批市民前来拍照“打卡”。空中连廊的评价更多聚焦于其通行功能的便利性; 街角公园的评价则集中在休憩功能和设施的完备程度; 而空中花园的评价主要围绕夜景展开。此外, 绿化景观的设置也受到较高关注, 珠江新城被认为是适合休闲散步的好地方。

本文对爬取的评论文本进行情感分析(图8), 共提取了737个词汇, 其中141个为积极情绪词、580个为中性情绪词、16个为消极情绪词。总体来看, 评论文本的情感偏向积极。积极情绪词汇主要描述了开放空间绿地和夜景的视觉和感受性特征, 常见词汇如“明亮”“漂亮”“美丽”等; 感受性词汇如“休闲”“舒服”“惬意”等反映了人们在这些空间中的体验。消极情绪词汇则主要集中在对开放空间建筑的评价, 如“冷清”“混乱”等, 表明一些区域的使用情况和管理存在问题。

基于网络评论文本的高频词与情感分析结果, 居民对典型开放空间的使用需求主要集中在三方面: 一是在空间设计上, 偏好具有标志性意象、良好绿化景观与舒适夜间照明氛围的

场所; 二是在配套设施上, 期望配备与使用强度相匹配的休憩设施, 以及通行与活动支持设施; 三是在运营管理上, 关注开放时间的合理性、空间秩序的维护程度以及与使用人群特征相契合的活动组织。上述发现从需求感知层面补充了开放空间的评价维度, 为后续空间优化设计与精细化运营提供了实证依据与改进方向。

3 讨论

3.1 优化布点提升供需匹配度

基于研究结果, 在高密度建成区提升开放空间的供需匹配度可从2个方面着手: 一是通过调整优化公共和附属开放空间的活动举办地点, 调节各地块实时人流量, 从调节需求层面优化供需匹配; 二是在更新治理中优化附属开放空间的布局和开放性, 从增加供给层面调节供需匹配。附属开放空间主要分布于东部、中部和西南片区, 西南片区的附属开放空间弥补了公共开放空间的不足。中部和东南片区在低层建筑的供需匹配度较高, 然而随着建筑高度的增加, 在人流密度较大的区域(如星汇园、富力盈凯广场、东塔、西塔等地块)

的供需匹配度迅速下降。因此, 建议通过增加附属开放空间来改善这些区域的匹配度。

3.2 增加场地休憩设施容量

以第二少年宫街角公园为代表的附属绿地(图9)为例, 此处休憩座椅严重不足, 家长在等待孩子放学时只能转向附近的图书馆或博物馆寻找座位休息。由于此类附属开放空间多依托少年宫、写字楼等单一功能建筑设置, 日常使用者主要为家长与青少年、周边办公白领及游客等, 因此其空间设施的配置与设计规划应更具针对性。例如, 服务于家长和青少年群体的绿地空间, 应在增加绿地面积的基础上增设休憩亭、座椅以及适量的小型游乐设施和特色城市家具等, 以便在工作日为周边的上班族及带孩子的居民提供服务。对于封闭式连廊空间, 应充分利用其优越的景观视野, 设置可移动的休憩设施, 在户外空间不足或天气恶劣时, 为附近的工作和居住人群提供便利。

3.3 提高场地功能复合度

以侨鑫国际商场水滴广场和大剧院户外空间(图10)为例, 这些附属



图6 开放空间的评论时间分布

Fig.6 Temporal distribution of open space evaluations

开放空间缺乏绿色景观，且功能单一，难以满足周边白领与居民的需求。为提高场地功能复合度，可将部分室内功能移至室外，例如设置吸烟区、儿童游乐区和餐饮区等，以满足上班族和居民的多样化需求。大型公共建筑或地标性建筑的灰色空间易引发人群聚集，可增设融合当地文化特色的景观元素，这既有助于城市文化的传播，又能增强空间对周边居民和上班族的吸引力。同时增设休憩设施和户外餐饮区，以及无障碍通道、母婴室等友好型服务设施，以进一步增强该区域的吸引力。

3.4 提升场地公共性水平

广东省博物馆的全封闭式入口草坪（图 11）和东塔高极酒吧户外露台等场所，均因为消费准入机制而产生空间排斥效应，导致高价值空间资源的低效配置。为提升公共性，建议适度开放公共建筑附属的大面积户外绿地，如开放部分草坡供参观者休憩、玩耍，或结合展览活动设置户外展厅等。对于城市重要高空赏景阳台，可借鉴日本东京都厅的免费展望台，在营业性场中提供更多免费的开放空间，或在非营业时段向公众开放。

4 结语

本研究以珠江新城为实证对象，通过三维可达性供给测度与动态需求感知的耦合分析，初步揭示了高密度城区绿色开放空间供需匹配的基本特征与影响机制。研究表明，三维视角下高密度建成区的公共与附属开放空间的供需匹配存在显著差异，公共开放空间整体匹配度偏低，而部分附属开放空间在高需求度片区呈现相对较高的匹配水平，对弥补公共开放空间供给不足、改善局部供需关系具有一定补充作用；供需格局由三维可达性与人群动态强度共同驱动；建筑高度带来明显的垂直分层效应，高层与超高层建筑更易出现“供<求”的状态；网络文本分析进一步揭示了居民总体上偏好绿化良好、夜景氛围佳且休憩设施相对完备的开放空间，同时对部分场地休憩设施不足、功能单一以及运营管理不到位等问题表达了不满。

与基于行政区、街道为单元的粗放式传统评估方法相比，本研究创新地从三维视角构建的“三维供给测度-动态需求感知-科学匹配评估”技术体系，在空间治理尺度上深入至地块和建筑层级，并扩展至垂直立体维度。研究发现，附属开放空间对供需匹配性的贡献显著高于公共开放空间，其中

屋顶花园、平台花园、空中廊道等垂直空间的影响尤为突出。这说明附属开放空间的公共化改造与立体连通系统的构建成为提升高密度城区空间效能的核心路径。规划决策者应突破传统的“平面增量”思维，借助权属协商机制激励私有空间的公共化，并通过立体绿化及相关技术规范和政策工具，推动制定将垂直连接系统纳入城市设计导则的强制性条款。通过平面网络与立体系统的耦合增效，可以实现公共服务资源在三维空间中的高效配置，为存量型高密度城区的空间治理提供参考。

本文在供给端 3D-GIS 建模精度、需求端三维空间人群使用数据的获取和度量方法方面上仍存在局限，同时缺乏对

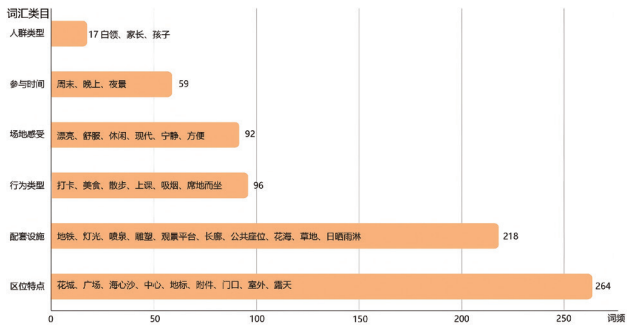


图 7 开放空间评价文本高频词分析
Fig.7 High-frequency word analysis of evaluation texts on open spaces

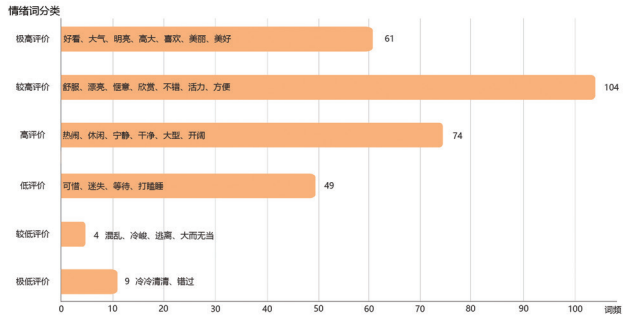


图 8 开放空间评价文本情绪词分析
Fig.8 Sentiment word analysis of evaluation texts on open spaces



图 9 第二少年宫街角公园
Fig.9 Corner park of Guangzhou No. 2 Children's Palace



图 10 广州大剧院户外空间
Fig.10 Outdoor open space of Guangzhou Opera House



图 11 广东省博物馆入口草坪
Fig.11 Entrance lawn of Guangdong Museum

更大研究范围和更多城市案例的对比研究。未来研究将从以下方面推进：一在供给端纳入绿色开放空间面积、开放程度与可使用性等多维指标，结合 BIM 与激光点云数据，明确建筑内部交通节点和流线组织，以提升复杂立体空间模拟的精度。二在需求端采用更精确的数据，如附属开放空间的视频录像、定位问卷与 GPS 追踪数据等，获取垂直方向小尺度空间的需求特征。三是扩展研究对象至更多类型的街区或城市，系统揭示更全面的三维视角下城市开放空间的供需特征及其交互影响机制，为存量发展背景下突破平面增量思维、提升立体空间品质提供城市治理的新思路。

致谢：感谢中国城市规划学会城市感知学术专班对本工作的支持！

注：图片均为作者自摄自绘。

参考文献：

- [1]RADKE J, MU L. Spatial decomposition, modeling and mapping service regions to predict access to social programs[J]. Geographic Information Sciences, 2000, 6 (2) : 105-112.
- [2] 任家骅, 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[J]. 地理科学进展, 2021, 40 (5) : 774-783.
- [3]WOLCH J R, BYRNE J, NEWELL J P. Urban green space, public contact, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough' [J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 125: 234-244.
- [4]HANSEN W G. How accessibility shapes land use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25 (2) : 73-76.
- [5]LIU B, TIAN Y, GUO M, et al. Evaluating the disparity between supply and demand of park green space using a multi-dimensional spatial equity evaluation framework[J]. Cities, 2022, 121: 103484.
- [6] 刘颂, 杨莹. 生态系统服务供需平衡视角下的城市绿地系统规划策略探讨[J]. 中国城市林业, 2018, 16 (2) : 1-4.
- [7] 江海燕, 朱雪梅, 吴玲玲, 等. 城市公共设施公平评价: 物理可达性与时空可达性测度方法的比较[J]. 国际城市规划, 2014, 29 (5) : 70-75.
- [8]GUPTA K, ROY A, LUTHRA K, et al. GIS-based analysis for assessing accessibility at hierarchical levels of urban green spaces[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 18: 198-211.
- [9] 翟宇佳, 周聪惠. 基于实例的城市公园可达性评价模型比较[J]. 中国园林, 2019, 35 (1) : 78-83.
- [10]YOON H, SRINIVASAN S. Are they well situated? Spatial analysis of privately owned public space, Manhattan, New York City[J]. Urban Affairs Review, 2015, 51 (3) : 358-380.
- [11]DAO T H D, THILL J C. Metric, Topological, and Syntactic Accessibility in Three-Dimensional Urban Networked Spaces: Modeling Options and Visualization[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2022, 11 (9) : 467.
- [12]BILJECKI F, STOTER J, LEDOUX H, et al. Applications of 3D City Models: State of the Art Review[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2015, 4 (4) : 2842-2889.
- [13] 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[J]. 城市规划学刊, 2016 (1) : 15-21.
- [14] 张灵珠, 晴安蓝, 西德斯·卡卡尔, 等. 立体化城市设计中公共空间的三维可达性评价——以香港太古坊为例[J]. 新建筑, 2021 (4) : 48-54.
- [15]LIANG H, ZHANG Q. Temporal and spatial assessment of urban park visits from multiple social media data sets: A case study of Shanghai, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 297: 126682.
- [16] 江海燕, 胡峰, 刘为, 等. 私有公共空间的研究进展及其对附属绿地公共化的启示[J]. 城市发展研究, 2020, 27 (11) : 7-11.
- [17]GREATER LONDON AUTHORITY. Central Activities Zone Supplementary Planning Guidance[R]. London: GLA, 2016.
- [18]XU H, LIN J, ZHU J, et al. The overall improvement of urban governance in public realm driven by micro regeneration actions: Master planning of the overall improvement initiative for Tianhe Central Business District, Guangzhou[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2020, 8 (5) : 130-147.
- [19] 杨俊宴, 章飙. 安全·生态·健康: 绿色城市设计的数字化转型[J]. 中国园林, 2018, 34 (12) : 5-12.
- [20] 蔡文文, 冯振华, 周芹, 等. 面向数字化城市设计的三维 GIS 关键技术[J]. 地理信息世界, 2019, 26 (3) : 122-127.
- [21] 江海燕, 梁挚呈, 肖希, 等. 三维视角下高密度街区开放空间供需匹配研究——以广州珠江新城为例[J]. 城市规划, 2022, 46 (11) : 42-51.
- [22] 李如如, 袁奇峰, 韩高峰. “小街区、密路网”背景下的密度控制研究——以商业用地建筑密度和绿地率为例[J]. 规划师, 2019, 35 (18) : 40-47.
- [23] 林毅, 施启灿, 费彦. 城市商务街区的绿地率精细化管控思路[J]. 南方建筑, 2019 (5) : 68-72.
- [24] 方家, 刘颂, 王德, 等. 基于手机信令数据的上海城市公园供需服务分析[J]. 风景园林, 2017, 24 (11) : 35-40.
- [25]LIANG H, ZHANG Q. Temporal and spatial assessment of urban park visits from multiple social media data sets: A case study of Shanghai, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 297: 126682.
- [26] 金云峰, 高一凡, 沈洁. 绿地系统规划精细化调控——居民日常游憩型绿地布局研究[J]. 中国园林, 2018, 34 (2) : 112-115.
- [27]SCHMIDT S, NEMETH J, BOTSFORD E. The evolution of privately owned public spaces in New York City[J]. Urban Design International, 2011, 16 (4) : 270-284.
- [28] 叶鹏. 走向契约空间——转型期中国城市公共空间的思考[J]. 建筑学报, 2015 (10) : 87-91.
- [29] 杨晓春, 司马晓, 洪涛. 城市公共开放空间系统规划方法初探——以深圳为例[J]. 规划师, 2008, 24 (6) : 24-27.

作者简介：

邹楠/1980 年生 / 男 / 广东广州人 / 硕士 / 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广州市资源规划和海洋科技协同创新中心, 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室 (广州 510060) / 风景园林高级工程师 / 专业方向为城市更新

巫俊龙/1998 年生 / 男 / 广东梅州人 / 硕士 / 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司 (广州 510060) / 助理工程师 / 专业方向为城市开放空间规划设计

侯永明/2000 年生 / 男 / 广东韶关人 / 广东工业大学建筑与城市规划学院 (广州 510050) / 在读硕士研究生 / 专业方向为城市开放空间理论

卢家希/2001 年生 / 男 / 广东广州人 / 广东工业大学建筑与城市规划学院 (广州 510050) / 在读硕士研究生 / 专业方向为城市开放空间理论