

基于多源数据空间分析的城市体检方法与更新策略

——以北京市海淀区街道为例

Urban Checkup and Renewal Strategy Based on Multi-Source Data Spatial Analysis: A Case Study in Haidian Sub-district in Beijing

盛强 | SHENG Qiang 李萌 | LI Meng 张宇 | ZHANG Yu 于典 | YU Dian
杨婧怡 | YANG Jingyi 王之轩 | WANG Zhixuan 许泽阳 | XU Zeyang

中图分类号: TU-984.11+4 文献标志码: A 文章编号: 1001-6740(2024)02-0013-09 DOI: 10.12285/jzs.20240403001

摘要: 在城市更新中基于多源数据与空间分析模型有助于精准发现问题并解析其形成的机理, 对保证更新措施的有效性和长效性均有重要意义。本研究以北京市海淀区街道的城市体检工作为例, 以绿色出行、完整社区和健康城市为目标, 综合多源大数据与实地调研小数据对慢行交通、社区商业和公共空间三方面的问题进行诊断, 并应用空间句法模型对问题背后的路权分配、社区商业需求、居民户外活动的自组织空间规律进行了分析, 探索了一种以数据空间分析为基础的城市问题诊断 - 分析 - 优化的工作流程。

关键词: 城市体检、城市更新、完整社区、户外活动、空间句法

Abstract: Based on multi-source data and spatial analysis models in urban renewal, it is helpful to accurately identify problems and analyze their formation mechanisms, which is of great significance for ensuring the long-term effectiveness of renewal strategies. This study takes the urban Checkup in Haidian sub-district in Beijing as an example, with the goals of promoting low carbon transportation, complete communities, and healthy cities. It integrates big data from multi-sources and small data from field research to diagnose problems in slow traffic, community commerce, and public space usages. The space syntax model is applied to analyze the distribution of road rights, community commercial needs, and self-organizing spatial patterns of outdoor activities of residents. This research established a workflow of 'diagnosis-analysis-optimization' based on data spatial analysis.

Keywords: Urban checkup, Urban renewal, Complete community, Outdoor activity, Space syntax

作者:

盛强 (通讯作者), 北京交通大学建筑与艺术学院建筑系主任, 教授;
李萌, 北京交通大学建筑与艺术学院硕士研究生;
张宇, 北京交通大学建筑与艺术学院硕士研究生;
于典, 北京交通大学建筑与艺术学院硕士研究生;
杨婧怡, 北京交通大学建筑与艺术学院硕士研究生;
王之轩, 北京交通大学建筑与艺术学院硕士研究生;
许泽阳, 北京交通大学建筑与艺术学院硕士研究生。

北京市社会科学基金项目 (22GLB027); 北京旧城商业聚散机制研究。

录用日期: 2024-03

一、研究背景

随着城市建设由增量发展进入存量甚至减量发展阶段, 城市更新逐渐成为规划设计的重要内容。在此背景下, “无体检不项目, 无体检不更新”的工作理念逐渐被广泛接受。然而, 城市是一个复杂系统构成的整体, 如何在体检发现病征的基础上, 深入挖掘这些问题形成的机理, 避免“头疼医头、脚疼医脚”的表面化更新, 是确保更新措施有效且长效的重要前提。随着近年来多源数据和空间分析模型的发展和实证研究的积累,

探索建立覆盖“问题诊断 - 分析 - 优化”的数据化体检和更新方法兼具理论与实践意义, 而现有研究在数据和分析方法层面均对本研究提供了较好的基础^{[1][2]}。

从数据层面来看, 除了实地调研之外, 信息时代为支持循证设计的方法提供了诸多新的数据源, 如手机信令被用于职住通勤和生活圈识别^[3], 兴趣点 (POI)、点评数据被用于城市商业活力的评价中^[4]。然而在城市更新和社区营造的小尺度上, 上述数据的空间落位精度和代表性尚有局限, 但作为一种辅助的数据源仍有很大的实证研究和

应用价值。

从方法层面来看，空间句法理论和模型的发展为街区和街道的微观尺度进行数据空间分析提供了有效的工具。该理论认为空间彼此连接形成的拓扑结构能够影响其内部的交通和行为。而在城市街区和街道尺度，这种大量个体形成的自组织空间规律会对不同类型的交通流量、商业分布和公共空间中的聚集发生影响。在对交通的实证研究方面，早期 Hillier 认为路网的拓扑连接情况是街道空间中运动模式不同的根本原因^[5]。Patterson 构建了基于空间句法的机动车流量预测模型^[6]。近期 Laura 团队的研究更是基于大数据在城市尺度上验证了该方法的稳定性^[7]。在商业分布方面，美国学者 Peponis 团队通过研究零售业空间分布得出城市中各级别零售业的空间聚集受拓扑空间的影响程度优于传统的距离衰减规律^[8]。近年来本团队提出了静态类数据的加总均匀化方法^[9]，在北京、天津、吉林等多个城市的街景和实地调研的商业分布和大众点评餐饮评论数数据分析中，将对功能分布的精度提升到与流量分析匹配的精度^[10-12]。在公共空间方面，Tannous 运用空间句法分析了卡塔尔多哈不同规模绿地的空间可达性^[13]。翟宇佳研究发现公园中步道的整合度和控制值与步行人数有关^[14]。刘星对北京胡同和大院多个案例地区的研究，发现了空间句法参数对居民社会聚集量有明确的影响^[15]。

总之，现有的数据处理和空间分析方法已经能为城市更新常涉及的多类现象提供解释模型，但研究中较少将其转化为综合化的城市体检和设计策略。基于此，本研究受北京市海淀区街道委托，在城市体检和完整社区的政策背景下，对该街道的交通流量、社区商业和公共空间使用情况展开调研，基于数据分析发现问题、总结规律，进而提出更新设计策略，实现“象-理-用”的贯通，其技术路线如图 1 所示。

研究具体内容包括：在慢行交通方面，对海淀街道各类交通流量、机动车和共享单车停放情况进行实地调研，发现三类交通的规律和冲突，提出道路设计优化建议。

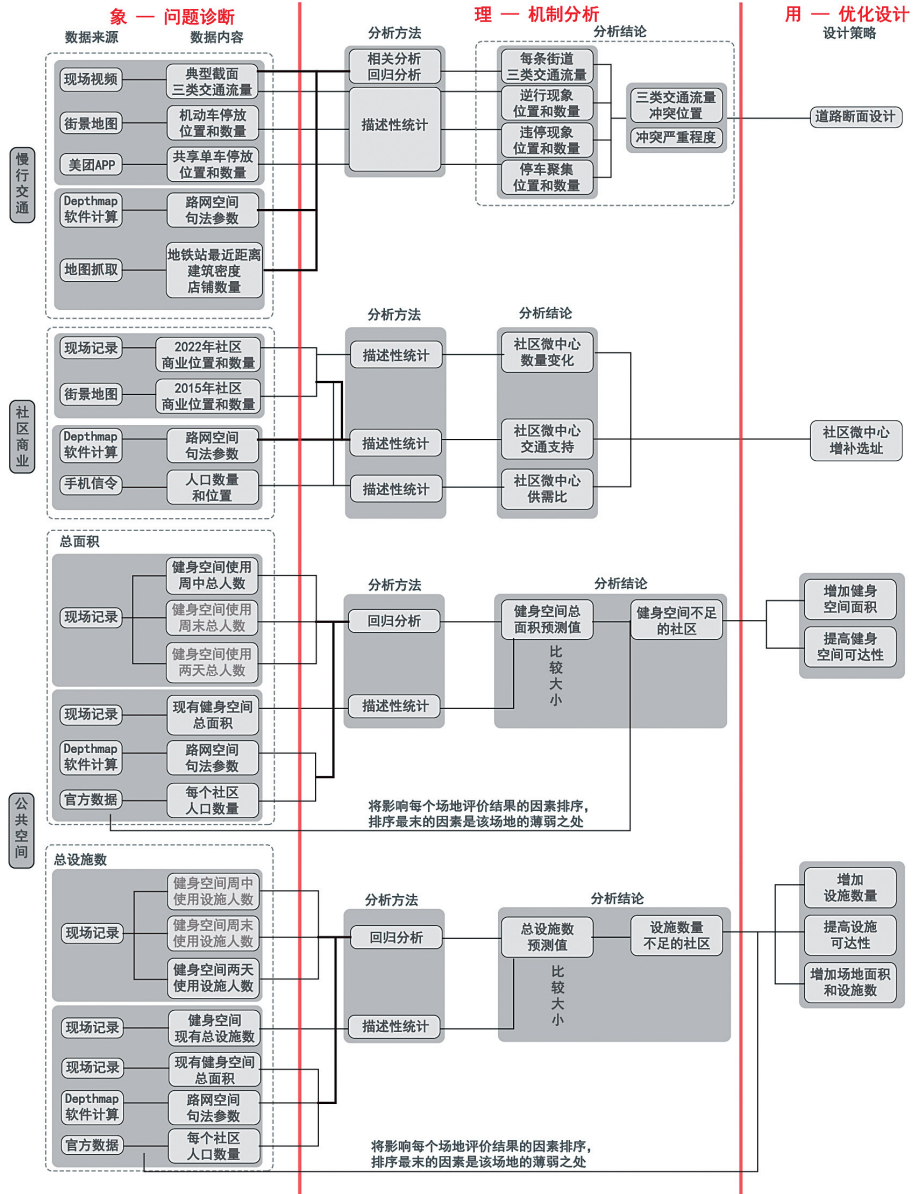


图 1：技术路线

在社区商业方面，调研社区商业变化情况，根据人口和空间可达性分析其覆盖情况和发展潜力；公共空间方面，调研活动场地和健身设施的使用情况，在行为规律的基础上，分析问题并提出优化建议。

二、研究内容

1. 项目概况

海淀街道位于北京北四环西北角，总面积约 6.9km²，主要由办公区中关村西区和周边居住区组成。海淀街道经济发展领跑全区，近年来在空间治理和人本街道设

计方面取得了一定成效，但更新是否带来了实质上的品质提升，治理对社区商业活力是否造成负面影响，公共空间中的活动设施是否被有效使用等，反映了多次更新或成熟居住区面临的更高标准要求，即项目的效果评价。下文将针对慢行交通、社区商业和公共空间三个方面，分别从数据的收集、分析和优化建议等层面详细论述。

2. 慢行交通：以流定需，按需确权

近年来，随着人本城市绿色出行的理念深入人心，城市更新中对慢行交通的重视也成为新的价值导向^{[16][17]}。但部分项目

实施后，也引发了使用效率低下的问题。因此，推进“以流定需、按需确权”，是理性设计道路的基础。本研究中交通流量数据采用截面流量观测法获取，在分析中应用空间句法模型分析确定各类流量适合的参数，以评价各路段流量需求，进而确定路权分配，提出设计建议。

1) 数据收集

本团队随机抽样选取了海淀街道内 73 个拍摄位置（可提取 138 条街道截面），然后在周中、周末每天 4 个时段，即 8:00—9:00, 11:00—12:00, 14:00—15:00, 17:00—18:00, 每个位置拍摄 5min 视频，记录各街道截面通过的双向步行、非机动车及机动车流量。

此外，机动车与非机动车的无序停放也会对交通发生影响，为有效识别上述问题，在实地调研前，本研究采用街景地图和美团 APP 预调研了机动车和共享单车的停放情况。

在影响因素方面，现有实证研究表明，单独的空间句法参数本身已经可以很好地分析机动车和非机动车等交通数据，而对于步行流量，则需要综合考虑密度和公共交通的影响^{[6][18]}，采用多元回归分析建模。因此，本部分研究引入了

空间句法、地铁站点邻近性、建筑密度和店铺数量几类参数。其中，空间句法参数包括 1km、3km、5km、7.5km、10km、20km 半径的整合度 (Integration)、选择度对数 (lg-choice)、标准化整合度 (NAIN) 和标准化选择度 (NACH)。地铁站点邻近性用最近地铁站点的距离衡量 (地铁 MSD)。建筑密度用流量测点前后 200m 范围内的建筑总体积衡量。店铺数量用流量测点前后 200m 加总的数量来衡量。

2) 数据分析

分析结果发现，NACH-10km 对机动车流量的分析效果最好，R² 值大于 0.6 (图 2a、2b)。NAIN-3km 对非机动车流量的分析效果最好，R² 值大于 0.6 (图 2c、2d)，二者均能建立有效的流量预测模型。

对于步行流量，由于各片区之间在密度和用地功能上的异质性，难以用统一的模型进行预测，因此，本研究将办公区中关村西区和其他居住区的数据分开进行分析，并引入地铁站点邻近性和店铺数量等其他参数进行多元回归分析，对居住区和办公区步行流量分别建立了稳定的预测模型 (R² 值 >0.6) (图 2e、2f)。

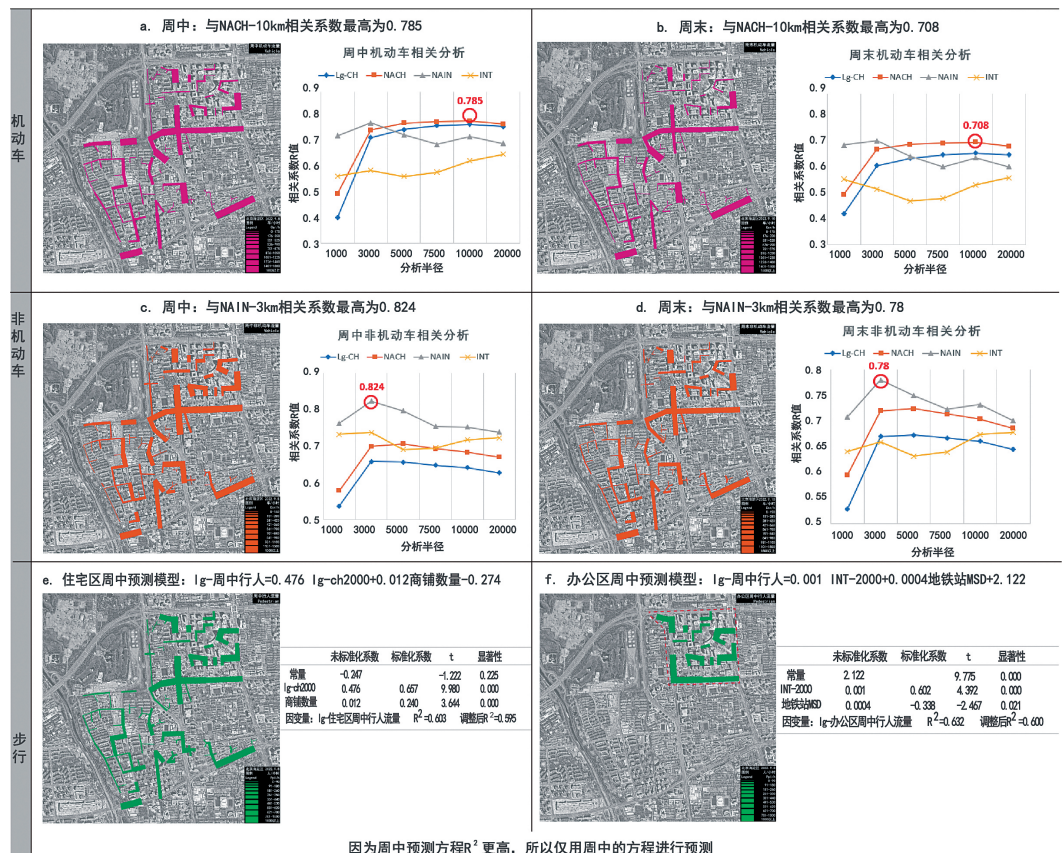


图 2：机动车、非机动车、步行流量预测模型



图 3：基于交通流量和路权需求的项目位置建议



图 4：对道路改造的设计建议

不直接使用调研数据来进行路权评价而选择建立预测模型的原因有二：一是受限于人力成本测点分布难以全覆盖，未来监控摄像头如果能全覆盖且自动识别，而数据获取的门槛如能降低，则可不使用模型；二是实测数据（包括摄像头）只能反映分布需求的现状，难以预估路网或功能

发生变化后的流量需求。模型则解决了数据代表性和预测力的问题。

基于模型能够确定各街道截面的交通需求强度，结合街景与现场调研中发现的机动车停放和美团等 APP 中的共享单车停放对潜在空间使用冲突进行评价。图 3 列出了 11 个存在冲突的街道段，其中各类

交通总需求量以圆圈半径显示，反映问题的严重性。三类流量占比以扇区角度显示，反映解决问题的导向性，即应以满足哪类交通需求为主。据此可看出各位置具体涉及的问题：各类交通争夺空间 (A)、非机动车停放占用机动车空间 (B)、非机动车停放占用步行空间 (D、I)、机动车停放占用非机动车空间 (E、I、J)、机非争夺停放空间 (K)、非机动车逆行乱行 (F、H、I)。经比较，D、J 由于总交通量很小，可忽略，而其他需进行设计优化。

3) 优化建议

针对实地调研和流量预测模型诊断出的问题区域，本研究基于路权分配的需求提出了如下的具体设计策略 (图 4)。对于低流量且以非机动车为主的街道 (如 B 和 C)，由于路窄、机非干扰严重，根据三类交通流量占比，路权应优先考虑解决非机动车的空间诉求，因此 B 处建议将部分草坪改为非机动车停放，C 处可综合机动车与非机动车的流量与车速计算，间隔一定距离取消一个停车位，以供非机动车临时避让。对于中等流量争夺空间现象严重的街道 (如 I)，从流量占比来看，三者占比较为平衡，设计考虑利用道路东西两侧空间不对称的现状，将机动车停车位集中布置在西侧，而将东侧空出连续的自行车道，利用等红灯时排队的车辆保护自行车道的独立不受干扰，可创造连续性更好的自行车道。对于高流量的街道 (如 A)，大量行人、机动车和停放在人行道上的共享单车导致交通混乱。从流量占比看，此处是典型的步行主导的街道，建议在日间阻断穿过性的机动车交通，将此处改造为仅供步行和非机动车穿行的慢行友好街道。

需要强调的是，对路权分配的评价和后文中对社区商业的研究也可以是联动的，如 I 处社区商业的性质本身也会强化对步行的需求，明确了这一点就可以综合性地评估该位置的街道设计。由此可见，建筑或城市设计被认为是一种综合决策过程，但综合决策依靠的也可以是技术，而不仅仅是经验。

3. 社区商业：在考虑盈利性的基础上实现供需匹配

社区商业分布是完整社区评价的重要指标。超市、菜市场、理发等社区小商业是城市风貌治理的对象之一，但长期来看它们仍是日常生活的刚需。现有对这类设施分布的研究多以出行距离为基础，考虑供需密度的匹配（如两步移动法）^[19, 20]。而空间句法则可进一步考虑其交通支持条件，在便捷的基础上兼顾商业的盈利需求，保证更新的长效性^[21]。

1) 数据收集

本部分研究基于前期成果^[22]，选取小卖、蔬果、理发等 12 种典型的社区商业开展调研，应用街景时光机调研了 2015 年分布以反映空间治理前的情况，并实地调研了 2022 年的分布（图 5）。

2) 数据分析

社区商业规模小、经营灵活，具体业态位置难以直接进行规划设计，但可通过用地性质和建筑形态将其控制成一定规模的聚集。基于前期研究，本项目以社区微中心的等级来反映社区商业数量^[22]，图 6 中以黑色圆圈大小表示：A 级微中心有 11 家以上店铺；B 级微中心则有 6~10 家店铺；C 级微中心一般具有 3~5 家店铺。对比 2015 年，治理后，本区域内减少了 1 个 B 级和 9 个 C 级微中心。

这些变化对社区商业的便利性造成的影响可用供需比来评价。供需比综合度量了微中心数量和居民数量在特定距离内的匹配关系。具体方法可计算各街道周边一定可达范围内微中心和居民人口的数量的高值，其中 ABC 级微中心分别采用 1200m、800m、400m 作为统计半径。商值偏小意味着社区商业数量小于周边居民数量，即供不应求，反之则是供大于求。

影响社区商业分布的另一个重要因素是其盈利性，即所在街道是否有足够的交通流量穿过，具体可通过统计各级社区微中心的拓扑可达性来评价。图 7 列出了 2015 年和 2022 年各级微中心的步行（NACH-2km）和机动车可达性（NACH-

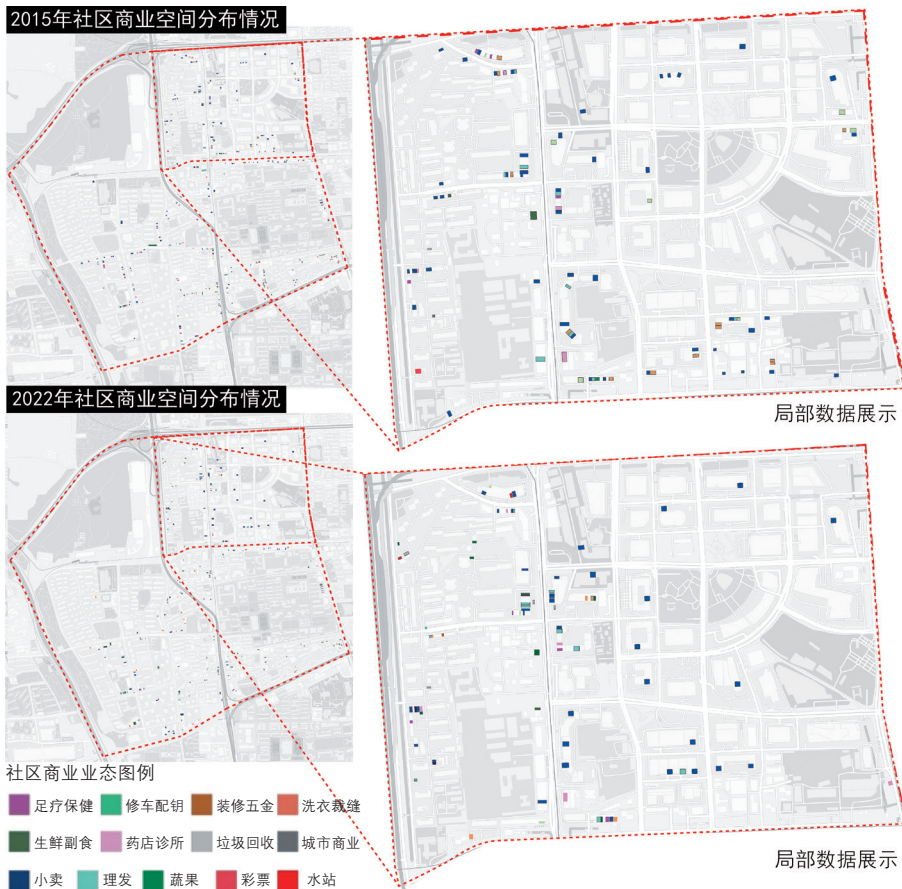


图 5: 2022 年和 2015 年的商业分布数据

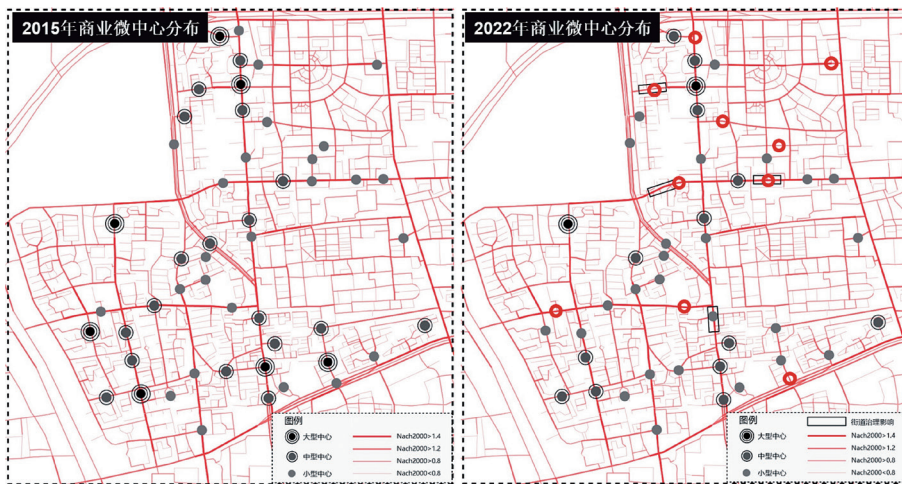


图 6: 2015 年和 2022 年三个级别社区微中心分布情况

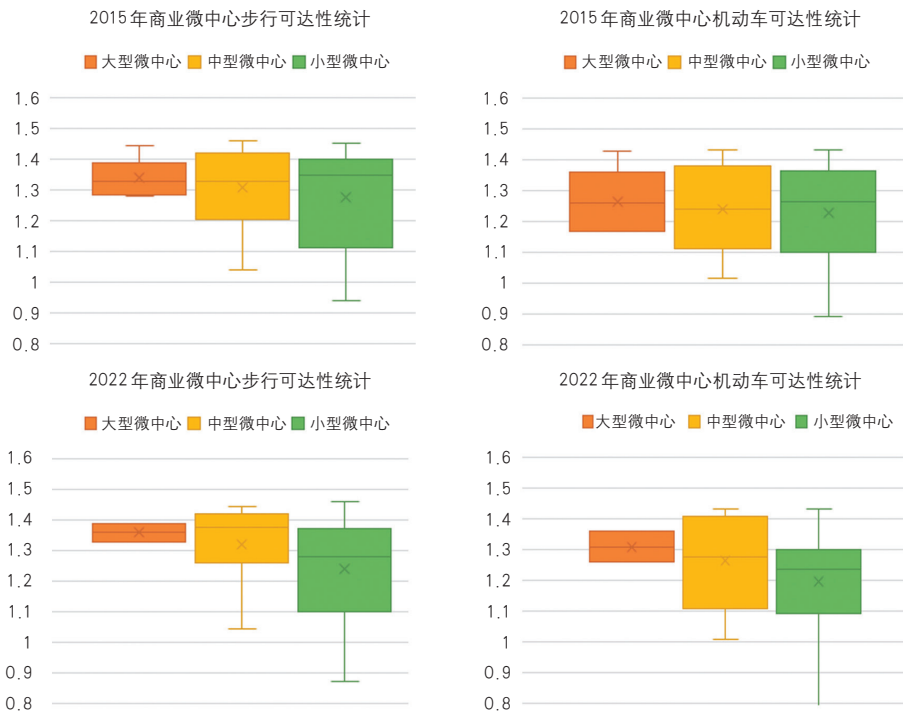
10km) 的箱型统计图，明确了各级微中心存续对步行和机动车交通量的要求。基于本地多年代的数据，把握社区微中心周边的需求密度和交通条件，是精准提出设计建议的前提。

3) 优化建议

本部分研究的思路是通过供需比来发

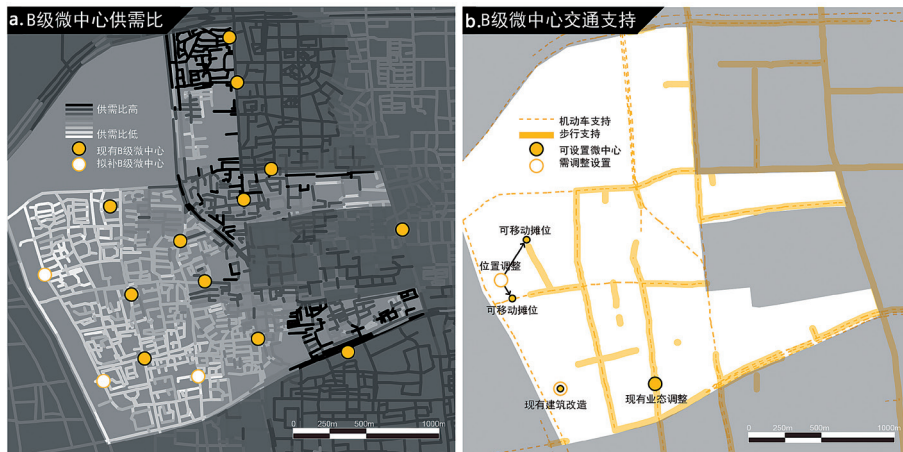
现未实现的需求，再根据拓扑可达性来评价需求是否能够被满足。考虑到 A 级微中心需要的建筑面积较高，可实施性受限，故这里仅针对 B 级和 C 级微中心提出建议。

图 8a 为 B 级微中心供需比，橙色实心点表示现有 B 级微中心的位置，颜色深



浅表示供需比高低，可以看出，海淀街道西部普遍缺乏社区商业。图8b为B级微中心位置的交通支持条件，其中淡橙色粗实线代表步行交通适合的区间，橙色细虚线代表机动车交通适合的区间。二者结合以橙边空心点标出了3个拟补充的B级微中心位置，其中只有一个位于步行和车行可达性都适合的道路，其他两个交通条件较差，建议移到其他位置。

类似的，图9a为C级微中心的供需比统计结果，浅色区域代表更加缺乏社区商业。绿色实心点和空心点分别表示现有和建议增补的C级微中心。图9b为C级微中心位置的交通支持条件，绿色实现和虚线分别表示步行和机动车的支持条件，具体方法与前例一致，不再赘述。总体来看，对比前例，由于对周边居民数量采用了400m而非800m可达范围的统计半径，针对C级微中心的诊断和设计建议更为精细。



4. 公共空间：精准评价使用效率助力微更新

全民健身运动与健康城市建设为小区内外带来了大量活动场地和健身设施，然而对其实际使用情况则缺乏精准的评价和分析。与社区商业相比，这些场地和健身设施不逐利，其问题也无法通过市场之手解决。相反地，它们是与居民生活品质直接相关的公共服务产品，做好这些空间的微更新更能体现基层政府和设计师的服务意识与能力。其中，场地面积和设施数量是否充足，是保证其满足居民需求的基本条件，也是评价与诊断的主要内容。

1) 数据收集

本研究运用现场观察法获取海淀街道内71处社区户外健身空间的使用数据。该方法简单易行，被广泛用于城市公共空间使用的实证研究中^[23-25]。调研选取了夏季和秋季天气晴朗的周中和周末各一天，团队成员同时在各自负责的片区选取一天中5个时间段进行现场调研（7:30—9:00，9:00—10:30，12:30—14:00，

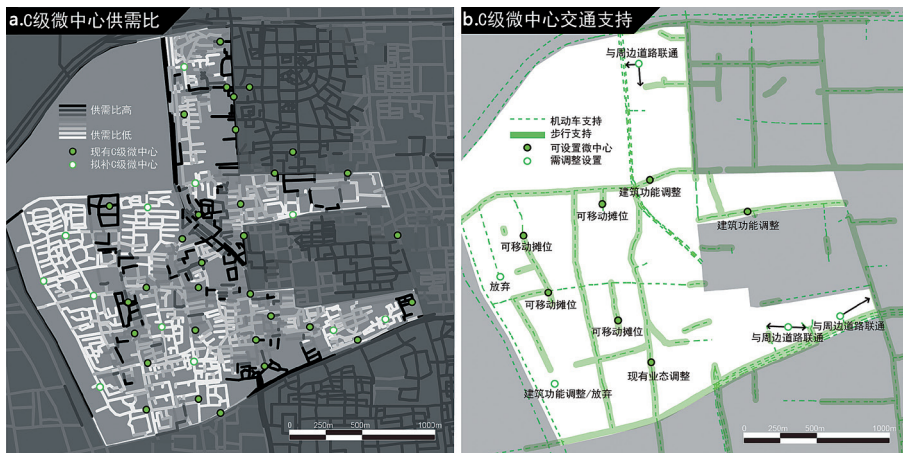


图9: C级微中心分布诊断及设计建议

16:30—18:00, 18:00—19:30), 记录社区健身空间中全部的使用人数, 细分使用健身设施锻炼和在场地停留两类行为, 图 10 展示了秋季调研的成果。

2) 数据分析

本部分研究的基本思路是基于多元回归分析, 发现各社区中活动场地实际使用的总人数受其所在社区居民人口和社区内道路拓扑可达性的综合影响程度。选取各社区内部街道的空间句法参数均值 (NACH1000、NACH3000、NAIN1000、NAIN3000) 和社区人口两类自变量进行相

关分析, 结果如图 11 所示。活动场地使用总人数与 NACH1000、NACH3000 社区人口数显著相关。值得注意的是, NAIN 值与使用总人数呈负相关, 即越靠近社区路网交会的中心位置, 停留的人越少, 越偏僻的位置聚集的人越多, 该结论与常理及其他研究结论相悖^{[14][26][27]}, 因此 NAIN 值并不进入回归模型。

然后将显著相关且合理的变量 NACH1000、NACH3000 和社区人口数进行逐步回归分析, 周中总人数的回归模型 R² 最高为 0.516, 回归方程如下:

$$lg_{周中总人数} = 2.503NACH3000 + 0.974lg_{社区人口数} - 3.845$$

该结果说明, 社区人口越多, 社区内街道的可达性越好 (NACH3000 值高), 户外活动人数越多。对比标准化回归系数发现, 人口比街道可达性的影响权重要高 32%。这与疫情期间且至今大多数小区均封闭管理有关。

在社区健身空间的设计中, 场地中活动的总人数是确定其所需面积的重要设计依据。基于周中总人数与场地面积的关系 (公式如下), 可推算场地面积的预测值:

$$lg_{场地面积} = (lg_{周中总人数} - 0.09) / 0.54$$

除了活动场地面积估算, 本研究也记录了各健身设施的使用情况, 因此可以基于各设施使用人数、经回归分析, 获得设施数量的预测模型。具体做法为将空间句法变量、社区人口数以及场地面积三类自变量与使用设施人数进行相关分析, 结果如图 12 所示。使用设施人数与 NACH1000、NACH3000、社区人口数、场地面积显著相关。

然后将它们与使用设施人数进行逐步回归分析, 两天使用设施总人数的回归模型 R² 最高为 0.597, 回归方程如下:

$$lg_{两天使用设施总人数} = 2.173NACH1000 + 0.529lg_{场地面积} - 2.053$$

该结果说明场地面积越大, 社区内街道的可达性越好 (NACH1000 值高), 使用健身设施的人数越多。与在场地中活动的

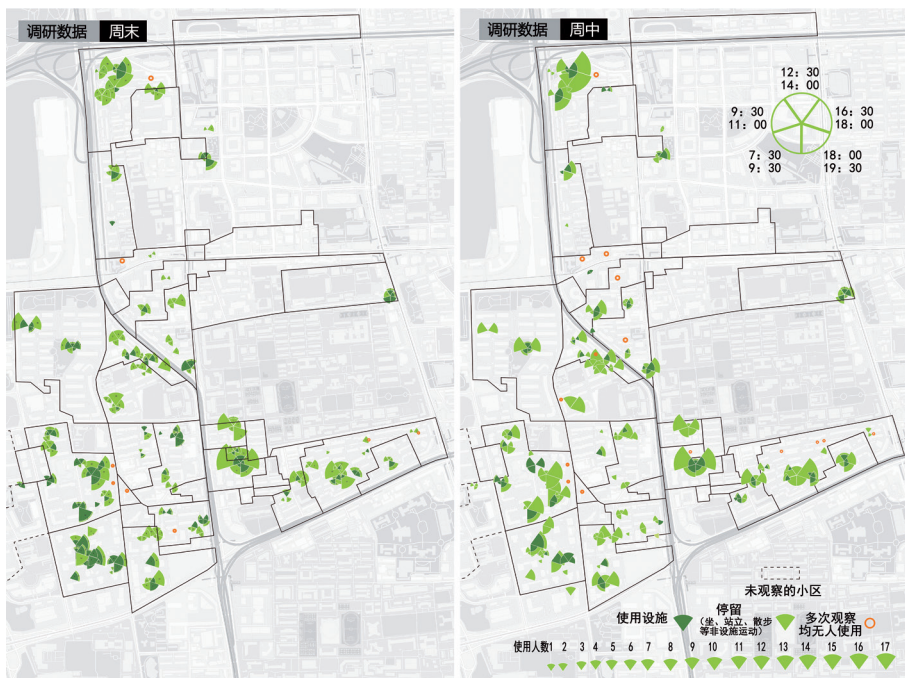


图 10: 社区户外健身空间使用情况调研结果

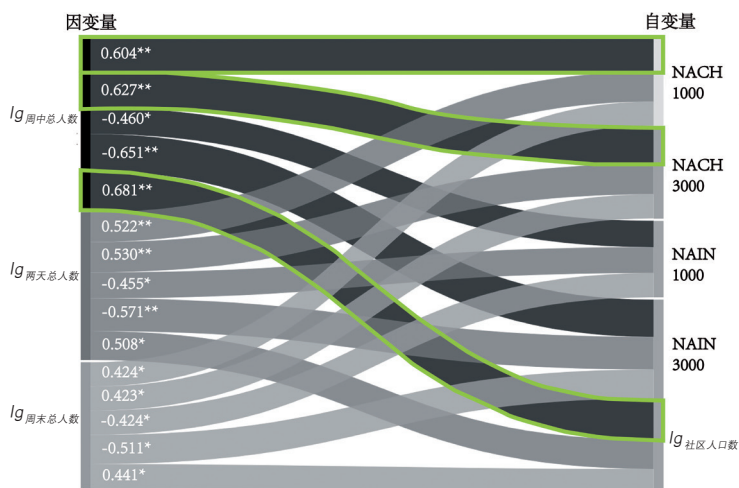


图 11: 社区户外健身空间总人数相关分析结果

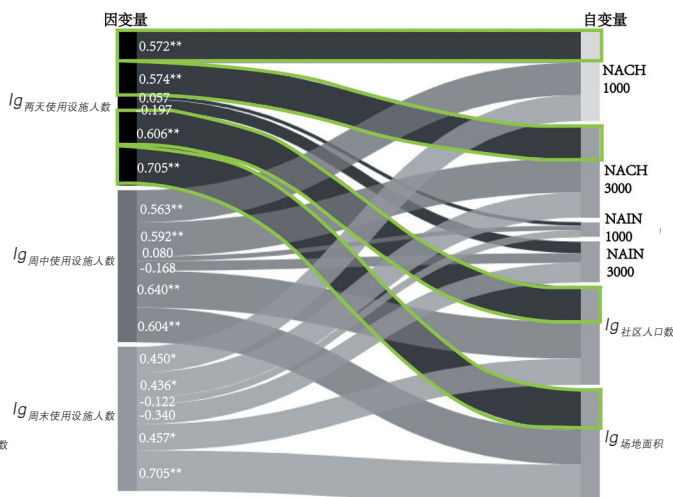


图 12: 社区户外健身空间使用设施人数相关分析结果

人数相比，真正使用健身设施的人数受更小范围内的街道可达性影响。

使用设施总人数是设施总数的设计依据，使用设施人数与设施总数的关系如下，据此得到设施总数的预测值：

$$lg_{\text{设施总数}} = (lg_{\text{两天使用设施总人数}} - 0.93) / 0.02$$

3) 优化建议

上述研究获得的一系列回归方程可用于诊断区域内各社区公共空间使用的问题，进而提出优化设计建议。具体做法为对比场地面积预测值与实测值，若预测值

高，则现有场地未满足该社区中的运动需求，差值越大，问题越严重。图 13 中展示了存在运动场地规模不足的 12 个社区，其中 2 个社区问题更严重。

场地面积预测值的影响因素有社区人口、街道拓扑可达性、现有场地面积。将全部社区的这三方面的参数从好到差排序可以直观呈现每个社区相对薄弱的方面，使策略更有针对性。图 13 中，半径较短的扇形对应场地的薄弱部分；蓝色的代表社区设施数量不足，红色的代表社区需提高场地的可达性，蓝绿色的代表社区需要同时增加场地面积和设施数量。

面积解决；红色的代表社区需提高场地的可达性，可通过增加出入口解决。

类似地，在健身设施数量方面也可以采用相应的方法对其进行精细化的诊断与评价。其结果如图 14 所示，共 12 个社区存在设施不足的问题，其中 5 个社区问题严重。同样将全部社区的三方面的参数从好到差进行排序，图 14 中半径较短的扇形对应场地的薄弱部分，紫色的代表社区设施数量不足，红色的代表社区需提高场地的可达性，蓝绿色的代表社区需要同时增加场地面积和设施数量。

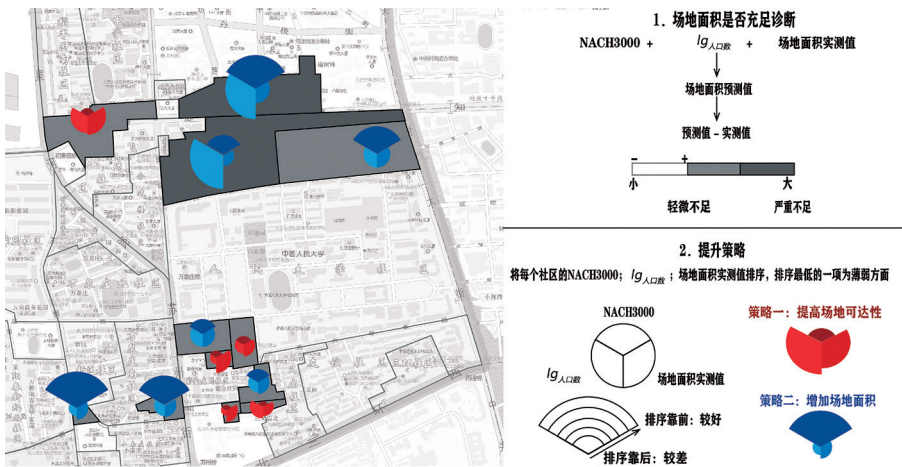


图 13：社区运动空间总面积评价结果

三、结论与讨论

本文展示了多源数据和空间分析模型在北京海淀街道更新中发挥的作用，其主要创新点包括以下三点：首先在数据层面，本研究根据不同工作目标综合应用了大数据与实地调研，有效地平衡了精度与工作量的矛盾；其次在方法层面，本研究结合了空间句法与两步移动法对社区商业分析的优势来评估社区微中心的落位，兼顾了便利性和盈利性；最后在内容层面，在对社区公共空间的研究中，本研究探索了对健身设施使用这一具体行为的实证研究方法。

此外，项目进行仍存在一些问题：城市更新的复杂程度和空间精度的要求决定了近期难以完全依赖大数据，比如美团APP 仅能展示美团共享单车，未能包括电动车停放，手机信令识别的居住人口空间落位精度也受限；城市更新过程中街道能够统筹协调的范围受限，即便通过体检能够发现问题，但当涉及不同的物权人时这些问题往往难以解决。尽管如此，当代数据空间分析技术的发展已经能初步构建一个有效的工作流，覆盖从问题诊断、分析到优化的路径。而这也让城市更新这个复杂的过程变得目标清晰，手段综合和效果可预测，为科学决策和精准设计提供了有力的支撑。

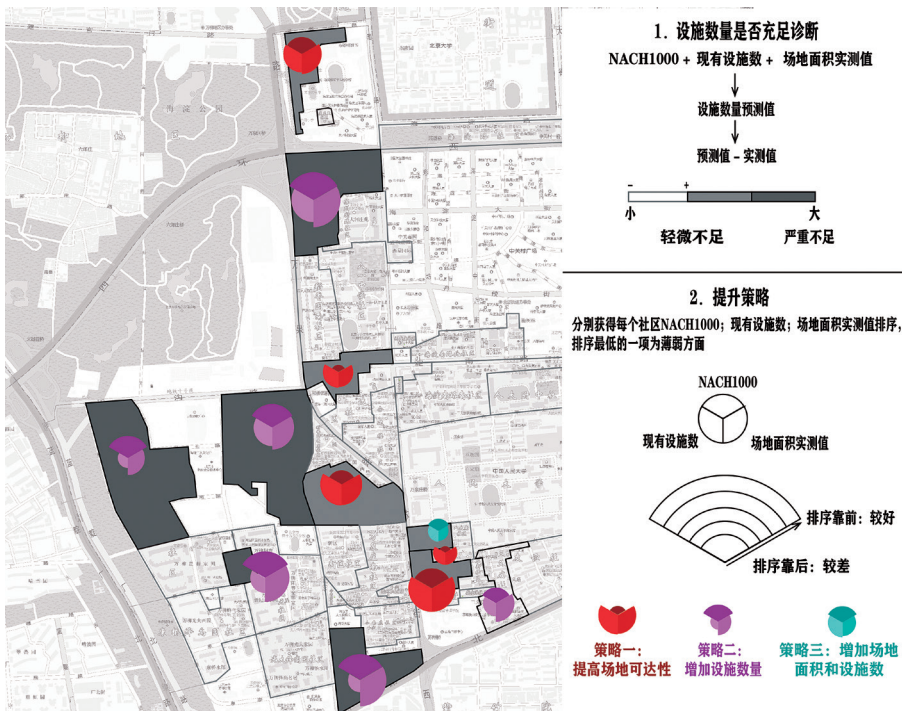


图 14：社区健身设施总数情况评价结果

参考文献

- [1] 刘宛. 城市设计综合影响评价的评估方法[J]. 建筑师, 2005 (2) : 9-19.
- [2] 汪芳. 自然同行、人文相伴与数字赋能:《城市设计(第4版)》的新时代城市设计范型整合[J]. 建筑师, 2023 (5) : 126-129.
- [3] 王德, 傅英姿. 手机信令数据助力上海市社区生活圈规划[J]. 上海城市规划, 2019 (6) : 23-29.
- [4] 王晨灏, 李运远. 基于空间句法和POI分析的城市历史街区空间利用优化研究——以北京什刹海区域为例[J]. 城市建筑, 2023, 20 (19) : 68-75. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2023.19.16.
- [5] Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., Xu, J. Natural movement: or, con-figuration and attraction in urban pedestrian movement. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1993, 20 (1) .
- [6] Patterson L J. Traffic modelling in cities – Validation of space syntax at an urban scale[J]. *Indoor and Built Environment*, 2016, 25 (7) : 1163-1178.
- [7] Dhanani A , Tarkhanyan L , Vaughan L. Estimating pedestrian demand for active transport evaluation and planning[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2017, 103 (9) : 54-69. DOI: 10.1016/j.tra.2017.05.020.
- [8] D M S, John P. Distributed Attraction: The Effects of Street Network Connectivity upon the Distribution of Retail Frontage in the City of Buenos Aires[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2015, 42 (2) : 354-378.
- [9] 盛强, 杨振盛, 路安华, 常乐. 网络开放数据在城市商业活力空间句法分析中的应用[J]. 新建筑, 2018 (6) : 9-14.
- [10] 盛强, 周晨. 功能追随空间: 多尺度层级网络塑造的城市中心[J]. 建筑师, 2018 (6) : 60-67.
- [11] 盛强, 杨滔, 刘宁. 空间句法与多源新数据结合的基础研究与项目应用案例[J]. 时代建筑, 2017 (5) : 38-43. DOI: 10.13717/j.cnki.ta.2017.05.008.
- [12] 盛强, 方可. 基于多源数据空间句法分析的数字化城市设计——以武汉三阳路城市更新项目为例[J]. 国际城市规划, 2018, 33 (1) : 52-59.
- [13] O. H T, David M M, Raffaello F. 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[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 58 (3) : 126892.
- [14] Zhai Y, Baran K P, Wu C. Can trail spatial attributes predict trail use level in urban forest park? An examination integrating GPS data and space syntax theory[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29 (2) : 171-182.
- [15] 刘星. 北京街区居民社会聚集的空间句法分析[D]. 北京交通大学, 2018.
- [16] 彭雷, 李保峰. 基于步行友好视角的城市居住区研究——以武汉市为例[J]. 建筑师, 2018 (6) : 74-80.
- [17] 李相逸, 崔冬瑾, 袁磊, 等. 行人层建成环境发展态势文献分析研究——疫情后对高密度健康城区的再思考[J]. 建筑师, 2020 (3) : 28-34.
- [18] 盛强, 杨滔, 侯静轩. 连续运动与超链接机制——基于重庆地面及地铁交通流量数据的大尺度范围空间句法实证分析[J]. 西部人居环境学刊, 2015, 30 (5) : 16-21. DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20150503.
- [19] 华晨, 周学文, 李咏华等. 社区商业设施空间步行可达性评价及布局优化——以绍兴市三区为例[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56 (2) : 368-378.
- [20] Li L, Rundong F, Jianchao X, et al. Spatial drivers and effects of urban food accessibility: Comparison of conventional and online-to-offline services[J]. *Applied Geography*, 2023, 152.
- [21] 盛强, 周晨. 功能追随空间: 多尺度层级网络塑造的城市中心[J]. 建筑师, 2018 (6) : 60-67.
- [22] 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[J]. 城市问题, 2021 (8) : 83-92.
- [23] McKenzie, T. L., Cohen, D. A., Sehgal, A., Williamson, S., Golinelli, D. System for observing Play and Recreation in Communities (SOPARC): reliability and feasibility measures[J]. *J. Phys. Act Health*, 2006, 3 (s1) : S208-S222.
- [24] Anderson J, Ruggeri K, Steemers K, et al. Lively Social Space, Well-Being Activity, and Urban Design: Findings From a Low-Cost Community-Led Public Space Intervention[J]. *Environment and Behavior*, 2017, 49 (6) .
- [25] Ru Z, Qing C Z, Chin P L, et al. Park and neighbourhood environmental characteristics associated with park-based physical activity among children in a high-density city[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022.
- [26] 盛强, 庞天宇, 尹雪静. 社区绿地空间使用效率综合影响因素研究[J]. 风景园林, 2021, 28 (6) : 82-87. DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.06.0082.06.
- [27] 张玲玲, 王嘉莉, 吴子豪等. 基于空间句法的中国典型社区路网与休闲行为关联性研究[J]. 新建筑, 2021 (5) : 148-153.