

基于多维度综合分析的城市社区宜居性及恢复力评价策略研究

李林芮

西南交通大学希望学院达州市建筑环境工程技术研究中心, 四川省成都市, 610400;

摘要: 在城市化的背景下, 社区作为城市的基本分区以其为单位进行城市宜居性及城市恢复力在“物质环境-社会环境-灾害应对-城市更新”的 4 个体系下进行评价。旨在优化现有的评价体系多偏于宏观角度搭建具有动态多维评价结构的社区制作可执行且“可移动”的评价体系。通过整合 GIS 空间分析、物联网传感器社会网络分析、场景模拟等技术, 形成基础设施覆盖率、社会网络密度、多灾种风险概率、更新优先级等多源数据形成三级动态指标体系与此同时引入熵权与系统动力学模拟相结合实现综合评价。

关键词: 宜居性; 恢复力; 评价体系

DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.061

引言

社区作为城市治理的基本单元对其进行宜居性及恢复力水平分析是直接影响着居民生活中的获得感以及城市可持续发展的能力的重要因素。

现有研究方向较为丰富, 但研究视角要么较为单一只侧某一维度, 缺乏多维整合。或是评价体系过于静态化, 忽视社区动态演变并且缺乏长期跟踪, 对居民主观感知融入不足, 研究过度依赖客观指标、社区独特性被弱化而标准化指标难以适配本土文化或空间特征。

1 评价背景

城市化背景下社区宜居性研究是具有必要性的。吴良镛先生在《人居环境科学导论》中提出, 在快速城市化进程中, 我国城市发展正经历从“增量扩张”向“存量更新”的战略转型^[1]。随着人口流动加速与居住需求升级, 城市社区呈现显著的异质性特征, 新兴商品住宅区与传统单位制社区、历史街区形成空间叠合, 导致公共服务供给“马赛克化”、社会资本断裂等治理难题^[2]。IPCC 第六次气候变化评估报告 (AR6) 指出, 社区作为城市碳排放的基础单元, 其碳排比占总排放量 40% 以上。在碳中和目标约束下, 其空间重构过程则需科学的评估体系进行引导^[3]。尤其是老旧社区, 不仅是一项民生工程, 也是一项城市文明延续的重要载体据住建部 2021 年普查显示, 全国老旧社区普遍运行的痛点堵点在于一些“看不到”“难看到”的地方, 如给排水系统超期服役率高、适老化不足如电梯缺失率高、公共空间侵占如人均绿地面积不足新建社区等困境^[4]。

2 评价体系

本研究以社区为单位, 构建“物质环境—社会环境—灾害应对—城市更新”四位一体的多维评价框架。

2.1 研究边界的确定

宜居性是一个多维和层次的概念, 它由各种标准和子标准组成会以不同的方式进行评估^[5]。研究范围太大会影响到数据的准确性而研究范围太小则会使数据准确性存疑所以确定研究的边界是十分重要的。

2.1.1 空间边界

空间边界需明确研究的地理范围与功能单元。常见的地理范围划分即为行政边界, 而以城市分区来进行划分则研究范围过大, 因此本研究基于社区的行政边界即某居委会辖区来划定研究区域, 避免空间模糊性。功能单元分层则是以需要研究的社区居民使用场景来进行划分如居住组团、公共空间、商业节点等。

2.1.2 时间边界

在此需要确定动态研究的周期。研究周期可以根据社区发展阶段设定时间跨度以短期 3-5 年更新计划, 长期 20 年韧性为目标结合历史人口变迁及历史灾害记录等数据与未来气候等风险变化进行情景预测。

研究还需保证数据的时效性, 收集数据的时间窗口需要保持一致需要是该地区同一季度的数据, 避免时序错位导致分析偏差。

2.1.3 内容边界

物质环境方面需限定于基础设施, 公共空间, 建筑质量这三方面。社会环境方面需聚焦于居民社会网络、社区组织、文化认同三方面。灾害应对方面研究中需覆盖多灾种并明确现有应急资源。城市更新方面需要明确更新类型确定该社区是需要进行微改造还是重建, 明确包含产权纠纷、文化保护等方面的冲突点。

2.1.4 人群边界

需分层抽样与参与主体界定首先进行居民分类, 按年龄、职业、居住时长等进行分层抽样, 确保需求差异

被捕捉。其次划定利益相关者范围界定参与主体,以居民、政府、非政府组织通过“权力-利益”矩阵确定其在参与式设计中的角色。

2.2 数据采集方法

2.2.1 物质环境数据

数据主要可以通过三方面进行收集。其中第一方面可以利用 GIS 空间测绘,使用 ArcGIS 或 QGIS 进行高精度地图绘制,标注公共设施点位、建筑轮廓、道路网络。第二方面可以在使用物联网传感器 IoT 对该地区的空气质量、噪音等环境数据进行实时采集的同时使用开源大数据确定 POI 兴趣点分布,调用高德或百度 API 获取实时交通流。第三方面可以采用实地踏勘的方式去拍摄街景照片,记录如路灯故障、路面坑洼等破损设施。

2.2.2 社会环境数据

通过社会网络分析(SNA)设计问卷通过“提名法”去构建居民关系矩阵并利用 Ucinet 或 Gephi 等工具去分析整合计算节点中心度、网络模块化程度识别出关键意见。通过对不同群体展开深度访谈记录非正式社交空间的使用模式,拍摄社区公共活动从而分析出该社区文化符号的空间载体。运用 Python 等工具爬取微博、微信社区群聊文本识别出居民日常关注的焦点。

2.2.3 灾害应对数据

收集该数据的指标包含了多灾种耦合风险概率、应急资源分布以及居民防灾意识三部分。

数据来源于记录收集和情景模拟两个部分。

记录收集又分为历史灾害数据库整理和防灾演练记录。需要分别获取应急管理局的近 10 年灾害事件的类型、损失、响应时间的记录以及参与社区消防演习,疏散效率与瓶颈点的记录。

而情景模拟主要使用 GIS,使用 HEC-RAS 或 CityCA T 进行洪水淹没建模,输入地形高程、排水管网数据。然后基于 Agent-Based Modeling (ABM) 模拟灾害下人流疏散路径。

2.2.4 城市更新数据

数据来源方法主要通过参与式工作坊进行需求地图绘制即提供社区底图,邀请居民用贴纸标注“最需改造区域”,像老旧水管、缺少电梯的住宅等。开展角色扮演游戏,模拟开发商、政府、居民三方谈判并记录利益冲突点。进行产权档案分析调取不动产登记数据统计共有产权房比例,违建分布情况。通过更新项目追踪收集历年改造方案文本对比规划目标与实际落地差异。

2.2.5 动态数据

在动态数据方面注重时间维度的嵌入。借助联通智慧足迹提供的手机信令数据开展人口流动监测以此分析昼夜人口差异从而精准识别“候鸟式”通勤群体。

在长期跟踪设计上,建立面板数据库并按季度对核心指标进行更新。设置“社区韧性指数”基线值对比各年度数据来评估干预措施所产生的效果。

2.3 数据的整合及评价指标

2.3.1 数据整合策略

(1) 多元数据融合框架

多源数据融合框架需要通过三个维度实现数据整合与分析。首先在空间数据整合层面,构建社区数字孪生基底,借助 ArcGIS Online 等 GIS 平台,集成含基础设施分布及应急资源点位的矢量地图、洪水淹没模拟结果的栅格数据、POI 兴趣点、反映土地利用混合度及物联网传感器数据,为空间分析提供可视化与量化的基础。在社会数据关联方面,可以将社会网络分析和手机信令数据相结合去挖掘居民关系和人口流动轨迹之间的关联性,同时结合社交媒体情感分析结果从而精准定位居民诉求集中的热点区域。最后在动态时序对齐方面,我们需要建立统一的时间体系,确保不同数据源的时间窗口一致,以支持不同时段数据的纵向对比分析。

(2) 跨维度耦合分析

在空间与社会的耦合分析领域,运用空间句法模型量化公共空间可达性与社会网络密度的匹配度,以此精准定位存在“空间隔离”或“社交荒漠”问题的区域,为公共空间的优化设计提供靶向依据;在灾害风险防控与城市更新的联动机制构建方面,将洪水淹没模拟结果与城市更新优先级地图进行空间叠加分析,通过空间冲突分析模型识别需要优先改造的高风险老旧建筑集聚区,推动灾害风险防控与城市更新的协同决策;在利益相关者关系映射维度,基于“权力-利益”矩阵数据,结合产权纠纷密度、文化保护强度等多维指标构建多主体博弈模型,科学预判城市更新过程中可能出现的利益冲突焦点,为协调多元主体利益关系提供定量化决策支撑。

(3) 技术工具链集成

数据中台架构覆盖数据采集、处理、分析到可视化的全流程一体化平台。数据采集层通过 IoT 传感器实时抓取环境数据、利用 API 接口对接外部系统实现多源数据接入。清洗层基于 Python/Pandas 等工具链对原始数据进行去重、校准和标准化处理,确保数据质量。分析层集成 GIS 空间分析工具与 ABM (Agent-Based Modeling) 模型,前者支撑空间维度的冲突识别与需求分层,后者实现微观主体行为模拟。可视化层借助 Power BI、Tableau 等工具将分析结果转化为交互式图表,赋能决策直观化。在模型嵌套设计中,通过系统动力学模型构建政策、空间、社会、环境四维度反馈机制,同步耦合 Agent-Based Modeling 对居民行为决策的模拟,形成宏观政策导向与微观行为响应的双向交互验证体系,为城

市更新的动态推演和策略优化提供跨尺度分析框架。

2.3.2 评价指标体系设计

(1) 指标体系构建原则

该体系遵循层次性、动态性与可操作性三大设计原则，在层次性上构建三级结构框架，目标层涵盖四大核心维度形成逻辑递进的评估架构。动态性方面通过设定基线值和年际波动阈值，建立数据监测的时间坐标体系，

有效区分短期干预产生的即时效果与长期演进形成的趋势性变化。可操作性方面注重量化指标与质性指标的科学转化，通过李克特量表进行定量化处理，确保指标体系既具备数据支撑的严谨性，又能适配复杂社会现象的评估需求。

(2) 核心评价指标矩阵

维度	准则层	典型指标示例
物质环境	基础设施	道路网密度 (km/km ²)、15 分钟生活圈覆盖率、排水管网老化率
	公共空间	人均绿地面积 (m ² /人)、500 米半径公园可达率、无障碍设施完备度
社会环境	建筑质量	D 级危房占比、电梯加装需求密度、节能建筑比例
	社会网络	节点中心度 (SNA)、跨年龄层互动频率、社区微信群日活率
	治理模式	居民议事会年召开次数、物业费收缴率、非政府组织驻点数
	文化认同	方言使用率、传统节日参与度、地方依恋指数 (量表评分)
灾害应对	风险概率	百年一遇洪水淹没面积比、地震烈度修正值、流行病传播 RO 预测值
	应急能力	避难场所人均面积 (m ² /人)、急救响应时间 (分钟)、防灾知识测试通过率
城市更新	更新优先级	居民投票权重指数、产权纠纷案件密度 (件/km ²)、改造资金缺口率
	韧性目标	微改造占比、海绵设施渗透率提升值、20 年气候适应型建筑比例

(3) 动态评价方法

采用熵权组合模型，通过指标标准化→权重计算 (熵值法)→贴适度排序，输出四大维度分项指数与综合宜居指数。设定 3 种发展情景 (现状延续/局部优化/系统更新)，输入系统动力学模型预测未来某一年份韧性指数变化轨迹。运用 Getis-Ord Gi*热力图识别基础设施洼地、社会网络断裂带等空间分异特征。

2.3.3 实施要点

数据治理体系通过三重机制保障科学性、参与性与安全性。在数据质量管控方面建立统一元数据标准。在数据的收集阶段需针对传感器数据设定精度准入阈值，问卷数据要求信度系数 Cronbach's α 需大于 0.7，模拟数据需确保多源数据的可靠性。在参与式反馈机制构建阶段可以开发具备 3D 可视化功能的社区数字孪生系统，为居民提供实时查看评估结果、交互式标注数据偏差及提交优化建议的数字界面形成“监测—评估—反馈—优化”的闭环治理模式，强化数据应用的公众参与性。在研究过程中要注意伦理风险防控。对手机信令等涉及个人轨迹的敏感数据实施差分隐私保护技术，对社交媒体文本进行去标识化处理，严格遵循《个人信息保护法》要求。在数据采集、存储与分析全流程嵌入隐私计算框架，平衡数据利用价值与个人信息安全。

3 结论

本研究采用多维动态的研究方法，构建了“物质环境-社会环境-灾害应对-城市更新”四位一体的社区评价体系。通过界定居委会辖区的空间边界、分层抽样的群体边界和时序对齐的动态数据窗口综合运用 GIS 空间分析、IoT 传感监测、社会网络分析 (SNA) 和 Agent-B

ased Modeling (ABM) 等多源数据采集技术结合参与式工作坊和数字孪生系统实现多元数据融合。研究采用熵权组合模型与系统动力学模型进行动态评价，通过三级指标矩阵 (40+量化指标) 和情景模拟预测社区韧性演变，同时建立数据质量管控与差分隐私保护机制形成兼顾空间异质性、时序动态性和主体参与性的社区宜居性及韧性的评价工具。

参考文献

- [1] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 中国建筑工业出版社, 2001.
- [2] 蔡禾. 城市社区特征与社区治理研究——基于整体主义视角的分析框架[J]. 广东技术师范大学学报, 2023, 44(04): 34-39. DOI: 10.13408/j.cnki.gjsxb.2023.04.003.
- [3] 中国气象局. IPCC 第六次评估报告第三工作组报告发布. https://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxxw/2011xqxyw/202204/t20220408_4743745.html.
- [4] 中国人民政府. 燃气、电力、排水、供热等配套基础设施成为改造重点——补上老旧小区配套设施短板. https://www.gov.cn/xinwen/2021-10/13/content_5642201.htm.
- [5] Khorrami Z, Ye T, Sadatmoosavi A, et al. The indicators and methods used for measuring urban liveability: a scoping review[J]. Reviews on environmental health, 2021, 36(3): 397-441.

课题中心：达州市建筑环境工程技术研究中心 635000
项目编号：SDJ2024ZC-06