

基于数字技术的社区居家养老设施布局优化研究——以鞍山铁东区为例

刘桐与 王诗彤 王忠 邢墨涵 战兴阳 李美妍

辽宁科技大学, 辽宁省鞍山市, 114051;

摘要: 人口老龄化加速背景下, 东北老工业基地城市社区居家养老设施布局的科学性直接影响养老服务供给效率。本文以鞍山铁东区为研究对象, 通过实地调研剖析设施布局现存问题, 结合老年人需求特征, 构建融合 GIS 空间分析与空间句法的数字技术布局优化模型, 建立多维度影响因子体系, 量化开展需求识别、盲区分析与空间耦合优化, 最终提出分级配置、数字赋能的优化策略。研究结果可为东北同类城市社区居家养老设施规划提供技术支持, 推动养老服务从“经验规划”向“数据驱动”转型。

关键词: 数字技术; 社区居家养老设施; 布局优化; GIS; 空间句法

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.031

1 绪论

1.1 研究背景

我国已进入深度老龄化社会, 2024 年全国 60 周岁及以上老年人口占比超 19%。东北老工业基地因人口外流、低出生率等, 老龄化程度高于全国平均水平。鞍山铁东区作为中心城区, 老年人口密度达 3120 人/平方公里, 传统家庭养老功能弱化, 社区居家养老成为主要养老模式, 但设施布局不均衡、不精准制约了养老服务质量提升^[1]。

当前社区居家养老设施布局多依赖经验规划, 存在主观性强、数据支撑不足等问题, 易出现“核心区域扎堆、边缘区域空白”的空间失衡。地理信息系统、空间句法等数字技术可实现人口、空间、环境多维度数据的量化分析与可视化表达, 突破传统规划的局限性, 成为实现养老设施精准布局、提升资源配置效率的关键技术路径^[2]。

1.2 国内外研究现状

国外老龄化研究起步早, 数字技术在养老设施布局中应用成熟。欧美国家依托 GIS 技术开展养老设施可达性分析与需求预测, 建立了基于服务半径的标准化布局体系; 日本将空间句法融入养老设施规划, 形成了“地域密着型”养老服务模式, 其精准化、人性化的布局经验具有重要借鉴价值^[3]。

国内学者多利用 GIS 开展养老设施空间分布与可达性分析, 部分研究结合空间句法分析城市空间结构对设施布局的影响。现有研究存在不足: 一方面, 研究区域多集中于东部沿海城市, 针对东北老工业基地的研究

较少; 另一方面, 数字技术应用多单一化, GIS 与空间句法的耦合分析不足, 对设施布局与老年人行为的匹配性考虑不够^[4]。

2 鞍山铁东区社区居家养老设施现状分析

2.1 调研区域概况

鞍山铁东区位于鞍山市中心城区, 面积 38.8 平方公里, 下辖 15 个街道, 常住人口约 45 万, 其中 60 周岁及以上老年人口超 14 万, 占比 31.1%, 是鞍山老龄化程度最高的区域。区域医疗、交通资源相对集中, 但建成区空间结构复杂, 老旧小区占比达 68%, 养老设施布局面临多重挑战。

2.2 设施布局现存问题

2.2.1 数量与覆盖率不足

铁东区现有社区居家养老设施 42 处, 每千名老年人拥有设施 0.85 处, 低于辽宁省 1.2 处的配置标准。设施核心服务半径覆盖率仅 62.3%, 东部、北部老旧小区集中区域存在明显服务盲区, 部分老年人需步行 1 公里以上才能到达最近设施^[5]。

2.2.2 空间匹配失衡

设施布局呈现“核心密集、边缘稀疏”特征, 核心商圈周边 3 个街道集中了 28.6% 的设施, 存在重复建设; 而老年人口密度达 3500 人/平方公里的东部 5 个街道, 设施数量仅占全区 21.4%, 服务能力严重不足。

2.2.3 服务能力与需求不匹配

核心区域设施面积多超 500 平方米, 可提供多元养老服务; 而边缘区域设施多为小型驿站, 面积不足 100 平方米, 仅能提供基础助餐服务, 专业护理、康复设备

缺失,无法满足高龄、失能老年人需求。

3 数字技术驱动的社区居家养老设施布局优化模型构建

3.1 影响因子的筛选逻辑

通过对铁东区 15 个街道 120 位老年人进行半结构化访谈,提炼出老年人对养老设施“就近可达”“服务适配”“环境宜居”的核心诉求,再结合相关研究成果,确定 3 个一级因子、8 个二级指标,形成完整影响因子体系^[6]。

3.2 影响因子的数据获取与量化计算方法

3.2.1 人口因子的量化计算

(1) 老年人口密度计算公式

$$X_{11} = \frac{P_i}{S_i} \quad (3-1)$$

其中: X_{11} 为第 i 个街道的老年人口密度(人/ km^2); P_i 为第 i 个街道 60 岁及以上老年人口总数(人); S_i 为第 i 个街道的土地面积(km^2)。

(2) 人口结构比例计算公式

$$X_{1k} = \frac{N_{ik}}{N_i} \times 100\% \quad (k=2,3) \quad (3-2)$$

其中: X_{1k} 为第 i 个街道失能老人占比或空巢老人占比(%); N_{ik} 为第 i 个街道对应类型的老年人口数量(人); N_i 为第 i 个街道老年人口总数(人)。

3.2.2 空间句法因子的调查与计算

(1) 轴线模型构建步骤

数据预处理:提取铁东区主干道、次干道、支路的路网数据,剔除非通行道路;轴线化处理:以“最少轴线覆盖最大路网”为原则,绘制道路轴线,形成空间句法轴线模型;拓扑计算:基于轴线模型,计算各轴线的拓扑深度、连接度,最终得到整合度指标。

(2) 整合度核心计算公式

全局整合度(RA_n)反映区域与城市整体路网的通达性,计算公式为:

$$RA_n = \frac{\sum_{j=1}^n (d_{ij})^{-1}}{n-1} \quad (3-3)$$

其中: RA_n 为第 i 条轴线的全局整合度; d_{ij} 为第 i 条轴线到第 j 条轴线的最短拓扑距离; n 为轴线模型中的总轴线数。

本研究将全局整合度进行标准化处理,得到空间句法整合度指标 X_{21} , 公式为:

$$X_{21} = \frac{RA_n - RA_{\min}}{RA_{\max} - RA_{\min}} \quad (3-4)$$

其中: RA_{\max} 、 RA_{\min} 分别为铁东区路网轴线的最大、最小全局整合度。

3.2.3 环境因子的量化计算

环境因子聚焦养老设施周边的宜居性与服务支撑能力,采用缓冲区分析与密度计算法,核心公式如下:

(1) 医疗资源密度计算公式

$$X_{31} = \frac{M_i}{S_i} \quad (3-5)$$

其中: X_{31} 为第 i 个街道的医疗资源密度(个/ km^2); M_i 为第 i 个街道内社区医院、卫生服务站的总数(个); S_i 为第 i 个街道的土地面积(km^2)。

(2) 公交站点覆盖率计算公式

$$X_{33} = \frac{S_{10i}}{S_i} \times 100\% \quad (3-6)$$

其中: X_{33} 为第 i 个街道的公交站点覆盖率(%); S_{10i} 为第 i 个街道内步行 10 分钟(约 800m)可到达公交站点的区域面积(km^2); S_i 为第 i 个街道的土地面积(km^2)。

3.3 养老设施布局优化综合评价模型构建

3.3.1 指标权重的确定

(1) 判断矩阵的一致性检验公式

一致性指标(CI):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (3-7)$$

其中: λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值; n 为判断矩阵的阶数(本研究一级因子判断矩阵阶数 $n=3$)。

随机一致性比率(CR):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3-8)$$

其中: RI 为随机一致性指标,当 $n=3$ 时, $RI=0.58$; 当 $CR<0.1$ 时,判断矩阵满足一致性要求,权重分配合理。

(2) 权重归一化公式

通过特征值法计算得到各因子的初始权重后,进行归一化处理,得到最终权重 w_i , 公式为:

$$w_i = \frac{w'_i}{\sum_{i=1}^n w'_i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3-9)$$

其中: w_i 为第 i 个因子的归一化权重; w'_i 为第 i 个因子的初始权重; n 为因子总数。

3.3.2 指标标准化处理

由于各影响因子的量纲、数量级存在差异,采用极差标准化法对所有二级指标进行无量纲化处理,将指标值转换为[0,1]区间,其中正向指标与负向指标(本研究无负向指标)的计算公式统一为正向指标公式:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3-10)$$

其中: Y_{ij} 为第 i 个街道第 j 个二级指标的标准化值; X_{ij} 为第 i 个街道第 j 个二级指标的原始值; X_{\max} 、 X_{\min} 分别为铁东区所有街道该指标的最大值、最小值。

3.3.3 综合评价得分计算与布局优化

通过加权求和法计算各街道的养老设施布局适宜性综合得分,结合得分结果进行等级划分,确定优先布局、优化调整、维持现状三类区域,核心公式与等级划分标准如下。

(1) 综合适宜性得分计算公式

$$S_i = \sum_{k=1}^3 w_k \cdot \left(\sum_{j=1}^{m_k} w_{kj} \cdot Y_{ikj} \right) \quad (3-11)$$

表 3-1 铁东区养老设施布局适宜性等级划分与优化策略

需求等级	核密度值范围 (人/m ²)	覆盖面积 (k m ²)	占比 (%)	区域特征	布局策略
高热点区域	≥0.08	10.2	26.3	老年人口密集、需求强度高	加密布点
中热点区域	0.04-0.08	20.5	52.8	老年人口分布均衡	优化现有设施
低热点区域	<0.04	8.1	20.9	老年人口密度低	适度布局小型设施

3.3.4 空间句法与综合评价的耦合计算

为进一步优化设施布局的空间可达性,将空间句法整合度(X_{21})作为修正系数,对综合适宜性得分进行调整,得到最终的耦合优化得分 S'_i ,公式为:

$$S'_i = S_i \times (1 + \alpha \cdot X_{21}) \quad (3-12)$$

其中: S'_i 为耦合优化后的综合得分; α 为修正系数,结合专家咨询设定为0.2,用于平衡需求强度与空间可达性的权重。

通过公式(3-12)计算得到的最终得分,将作为铁东区社区居家养老设施布局优化的核心依据,实现“需求匹配”与“空间高效”的双重目标。

4 鞍山铁东区社区居家养老设施布局优化策略与实施路径

4.1 空间分级配置方案

按照“核心集聚、边缘补充、全域覆盖”原则,结合耦合优化分级结果,构建“综合性养老服务中心-社区日间照料中心-养老驿站”三级养老设施体系,实现设施布局的均衡化与精准化^[7]。

4.2 数字技术赋能长效管理

基于GIS搭建铁东区社区居家养老设施空间信息管理平台,整合老年人口、设施布局、服务运营、需求反馈等数据,实现数据实时更新与可视化展示。通过平台对设施服务覆盖、使用率、服务质量进行动态监测,结合老年人口结构变化与需求升级,对设施布局进行弹性调整:对使用率高的设施扩容升级,对布局不合理的设施迁址或整合^[8]。

其中: S_i 为第*i*个街道的综合适宜性得分($0 \leq S_i \leq 1$); w_k 为第*k*个一级因子的权重; w_{kj} 为第*k*个一级因子下第*j*个二级指标的权重; m_k 为第*k*个一级因子下的二级指标数量; Y_{ikj} 为第*i*个街道第*k*个一级因子下第*j*个二级指标的标准化值。

(2) 养老设施布局优化等级划分表

4.3 东北城市应用推广价值

鞍山铁东区作为东北老工业基地中心城区的典型代表,其数字技术驱动的养老设施布局优化路径对东北其他城市具有重要推广价值,但需结合区域特征适配调整:一是根据各城市老年人口特征、城市空间结构,调整影响因子权重与评价指标;二是结合经济发展水平,因地制宜构建三级设施体系,避免盲目建设。

参考文献

- [1] 黄嘉成. 亚洲国家养老设施发展研究——以日本、韩国、东南亚为例[J]. 住宅产业, 2021(09): 21-26.
- [2] 康彩红. 基于需求导向的长春市朝阳区养老服务设施规划研究[J]. 大众标准化, 2020(18): 58-59.
- [3] 白思超. 社区、居家养老服务设施规划研究[D]. 北方工业大学, 2022.
- [4] 游姣. 积极老龄化视角下养老服务设施规划配置策略研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2022.
- [5] 谭睿. 中国老年人口失能状况及变化分析——基于第六次、第七次全国人口普查数据[J]. 卫生经济研究, 2023, 40(03): 6-11.
- [6] 廖敏超. 衢州市居家养老服务设施规划研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2019.
- [7] 胡晓晨. 生产性养老视角下廊坊市万庄新区养老设施规划设计研究[D]. 沈阳市: 沈阳建筑大学, 2020.
- [8] 李雨桐. 矿区城市养老设施规划研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.