

# 考虑交通态势数据的养老服务站可达性研究

冯 虎<sup>1</sup>, 李忠锐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东胜达工程建设有限公司, 山东 东营

<sup>2</sup>山东众行城乡交通研究咨询有限责任公司, 山东 济南

收稿日期: 2025年8月4日; 录用日期: 2025年9月10日; 发布日期: 2025年9月19日

## 摘 要

随着社会经济发展和人口老龄化进程加快, 养老服务需求日益增长, 各地政府愈发重视养老服务资源的均衡布局。养老服务设施的可达性对城市老龄友好型社会建设具有重要作用, 通过评估其空间分布, 能够识别资源短缺区域和分布不均衡问题, 是衡量养老服务分配地域公平性的有效方法。因此, 对养老服务设施的空间可达性展开研究具有重要意义。本文以济南市养老服务设施布局为研究对象, 利用GIS空间分析技术, 基于养老服务设施POI点、交通路网、交通态势等数据构建了地理空间数据库, 通过建立成本距离法等模型, 对济南市养老服务设施的可达性进行量化分析, 并评价其空间分布特征。结果表明: (1) 在养老设施和路网密度较高的中心城区, 步行、骑行和机动车三种出行方式的可达性差异不大, 均保持较高水平; 而在设施分布较少的南部山区等外围区域, 机动车和骑行方式的可达性明显优于步行。(2) 从空间格局来看, 市中区北部、天桥区南部等核心区域15分钟可达性表现突出, 而南部山区、历城区东南部等受地形限制的区域可达性相对较弱。(3) 交通拥堵分析显示, 虽然高峰时段拥堵区域与养老设施密集区存在重叠, 但整体影响有限, 72.96%的区域保持15分钟内可达, 22.17%的区域需15~30分钟, 所有区域均在90分钟内可达, 表明济南市养老服务设施的可达性整体处于较好水平。研究结果可为济南市养老服务资源的优化配置提供科学依据, 也为国内同类城市的养老设施规划提供参考借鉴。

## 关键词

城市交通, 道路交通, 可达性分析, 栅格成本距离分析法, 济南市主城区

# Research on the Accessibility of Elderly Care Service Stations Considering Traffic Condition Data

Hu Feng<sup>1</sup>, Zhongrui Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shandong Shengda Engineering Construction Co., Ltd., Dongying Shandong

<sup>2</sup>Shandong Zhongxing Urban and Rural Transportation Research Consulting Co., Ltd., Jinan Shandong

Received: Aug. 4<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 10<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 19<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

With the socio-economic development and the accelerated aging of the population, the demand for elderly care services has been growing rapidly. Governments at all levels are placing increasing emphasis on the balanced distribution of elderly care service resources. The accessibility of elderly care facilities plays a crucial role in building an age-friendly urban society. By evaluating their spatial distribution, it is possible to identify areas with resource shortages and uneven distribution, serving as an effective method to measure the geographical fairness of elderly care service allocation. Therefore, researching the spatial accessibility of elderly care facilities is of significant importance. This paper focuses on the layout of elderly care facilities in Jinan, utilizing GIS spatial analysis techniques to construct a geospatial database based on POI data of elderly care facilities, transportation networks, and traffic conditions. By employing models such as the two-step floating catchment area method (2SFCA), the study quantitatively analyzes the accessibility of elderly care facilities in Jinan and evaluates their spatial distribution characteristics. The results indicate that: (1) In central urban areas with high densities of elderly care facilities and road networks, there is little difference in accessibility among walking, cycling, and motorized transportation, all maintaining relatively high levels. In contrast, in peripheral regions such as the southern mountainous areas with fewer facilities, motorized and cycling accessibility are significantly better than walking. (2) In terms of spatial patterns, core areas such as the northern part of Shizhong District and the southern part of Tianqiao District exhibit outstanding 15-minute accessibility, while regions constrained by terrain, such as the southern mountainous areas and the southeastern part of Licheng District, show relatively weaker accessibility. (3) Traffic congestion analysis reveals that although peak-hour congestion overlaps with areas densely populated by elderly care facilities, the overall impact is limited. Specifically, 72.96% of the areas remain accessible within 15 minutes, 22.17% require 15~30 minutes, and all areas can be reached within 90 minutes, indicating that the accessibility of elderly care facilities in Jinan is generally at a favorable level. The findings of this study can provide a scientific basis for optimizing the allocation of elderly care resources in Jinan and serve as a reference for the planning of elderly care facilities in similar cities across China.

## Keywords

Urban Traffic, Road Traffic, Accessibility Analysis, Raster Cost Distance Analysis Method, Main Urban Area of Jinan

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着人口老龄化进程加快, 养老服务需求持续增长, 养老服务设施作为重要的公共社会资源, 其合理布局直接影响老年人的生活质量。养老服务设施包括养老院、社区养老服务中心、老年活动中心等, 其可达性受交通网络合理性、设施分布均衡性等因素影响。尽管我国城市公共服务设施建设已取得显著进展, 但是当前我国的养老服务设施在空间分布上还是存在着分布不均衡的问题, 导致一些区域的养老服务设施的可达性不足。本文则基于这一背景, 借助地理信息系统工具, 融合路网与交通态势数据, 将城市主城区养老服务设施的可达性进行分析, 为城市养老服务设施空间分布提供数据支持, 为其他城市分析养老服务设施均衡性方法提供参考。

养老服务设施作为城市公共服务体系的重要组成部分,近年来其空间可达性研究已成为国内外学术界关注的热点领域。随着人口老龄化进程加快,学界越来越重视对养老服务设施空间布局合理性的探讨,特别是从可达性角度评估设施分布的均衡程度。当前研究主要聚焦于养老服务资源空间配置的公平性、服务覆盖的有效性以及不同区域老年人口需求与设施供给的匹配度等问题。这些研究不仅涉及地理空间分析,还融合了交通规划、社会福利等多学科视角,为完善适老化公共服务体系提供了重要的理论支撑和实践指导。

国内研究学者也对我国的养老服务设施可达性进行了一些研究。王娟[1]等对上海的公共服务设施空间可达性进行了分析;宋正娜[2]等基于改进潜能模型对江苏省如东县就医空间可达性度量和缺医地区判断分析;汤鹏飞[3]等基于改进潜能模型对湖北省仙桃市县域小学空间可达性进行了研究;李忠锐[4]等利用城市实时交通态势数据对城市主城区小学设施可达性进行了研究。牛金莹[5]利用两步移动搜索法计算城市可达性评估城市养老设施的空间格局,梁鹏涛[6]则利用改进两步移动搜索法对南京市养老机构空间可达性研究进行研究,靳铭久[7]对济南市城市社会养老设施空间布局公平性及优化策略研究进行了研究。

本文以济南市养老服务设施布局为研究对象,利用GIS空间分析技术,基于养老服务设施POI点、交通路网、交通态势等数据构建了地理空间数据库,通过建立成本距离法等模型,对济南市养老服务设施的可达性进行量化分析,并评价其空间分布特征。本研究可为济南市及类似城市的养老服务设施规划提供参考,同时促进养老服务资源的公平分配,提高老年人的生活质量。

## 2. 研究区及基础数据

### 2.1. 研究区域概括

济南市作为山东省省会,是一座具有典型盆地地貌的特大城市,呈现“三面环山、北临黄河”的地理特征。本研究聚焦济南主城区,其范围北至黄河与工业北路,南抵南部山区,东达凤凰路,西至西客站,总面积约占全市建成区的83%,集中了全市76%的常住人口,是城市发展的核心区域。

济南主城区的地形南高北低,中部为平原,交通网络发达,公路总里程超1.8万公里。该区域不仅承载着城市主要的人口和功能,也是公共服务设施集中分布区,具有典型的大城市空间发展特征,为研究公共服务设施可达性提供了计算示例。本研究主要的研究区域就是对济南市主城区的历城、历下、天桥、市中及槐荫区进行分析,研究区域及路线图见图1。

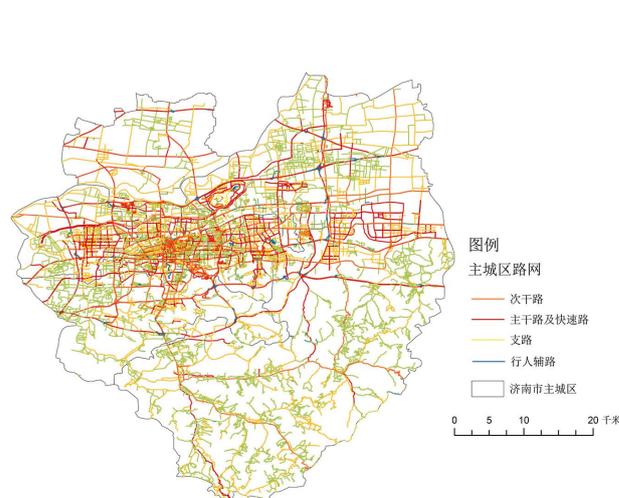


Figure 1. Traffic distribution map of the main urban area of Jinan  
图1. 济南市主城区交通分布图

## 2.2. 数据获取及清洗

### ① 济南市养老服务设施 POI 数据获取

济南市养老服务设施主要包括养老院、日间照料间、幸福院等社会公共服务养老设施, 在可达性的计算当中主要是对其位置信息进行分析, 故本研究采用 Python 工具在百度地图开放平台进行数据的获取, 并结合济南市政府网站对相关数据进行下载, 对两部分数据融合、去重等操作进行初步分析, 得到 POI 数据点, 采用坐标转换法对 WGS-84 坐标系、火星坐标系等进行转换, 最后统一转换为 WGS-84 地理坐标系, 从而完成养老服务设施的 POI 数据预处理。

### ② 济南市路网数据

本研究获取济南市路网的方式主要是在 OSM 以及百度地图上进行获取。首先登录 OSM 官网, 选定指定的研究区域, 获得其研究区域的路网, 并通过相关文件转换软件将路网数据转换为 shp 文件中, 进而直接导入到 GIS 软件中, 通过投影、坐标转换等操作对路网的坐标系进行转化。

### ③ 济南市路网交通态势数据

交通态势数据主要是路网上不同距离路段代表其相应路段速度属性的数据, 用点来表示, 里边包含速度、运行态势等级等属性, 主要通过百度地图开放平台系统获取, 有两种获取方法, 矩形区域查询与圆柱形区域查询。本研究主要利用的是矩形区域查询。

本研究通过 Python 工具对交通态势数据进行获取, 同样地也是通过坐标转换数据对 WGS-84 坐标系、火星坐标系等进行转换, 最后统一转换为 WGS-84 地理坐标系, 并将数据在地理信息系统中进行操作。交通态势数据的获取主要是通过高德系统, 其有两种方法: 矩形区域查询与圆柱形区域查询。本文主要利用的是矩形区域查询。最终获得研究区范围内的道路网、POI 与交通态势数据。为模型的构建提供了数据支撑。

## 3. 研究方法

可达性作为评估公共服务设施空间配置合理性的重要指标, 本研究基于 ArcGIS 平台, 采用栅格成本距离算法进行量化分析。本文在数据处理方法上进行了创新: 采用实时交通态势数据替代传统的道路设计速度参数, 通过与基础路网数据的空间叠加, 生成动态交通态势网络。在此基础上, 分别构建了三类差异化成本栅格: 机动车时间成本栅格(考虑实时交通流态)、非机动车时间成本栅格以及行人时间成本栅格, 实现了多交通模式下的精细化可达性测度。

### 3.1. 时间成本栅格模型建立

基于 GIS 的道路网可达性分析方法主要包含栅格计算、成本距离测算和重分类三个关键技术环节。本研究采用  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的栅格单元作为基本分析单元, 通过空间离散化处理构建具有独立属性特征的栅格路网模型。在时间成本量化方面, 建立以下计算模型:

$$T = (L/V) \times 60$$

其中:

$T$ : 时间成本(分钟);

$L$ : 栅格单元对角线长度(km);

$V$ : 特征速度值(km/h)。

速度参数的确定采用多源数据融合方法: (1) 对于具有实时交通态势的路段, 采用动态交通流速度数据。(2) 无交通态势路段采用道路设计标准时速。(3) 非道路区域统一设定为步行基准速度(5 km/h)。

该方法创新性地将静态路网属性与动态交通数据相结合, 通过栅格化处理实现了多尺度、多模式的

可达性精确测算, 为路网效能评估提供了新的技术路径。

## 3.2. 基于时间成本栅格的可达性计算模型

### 3.2.1. 成本距离的原理

本研究运用 GIS 成本距离分析法评估公共服务设施的空间可达性。该方法基于改进的 Dijkstra 算法, 通过构建综合成本栅格层, 整合地形、土地利用和道路属性等多维阻力因子, 采用加权距离模型计算最小累积成本路径。相比传统欧式距离, 该方法突破空间阻抗局限, 能更真实反映实际通行状况。研究将区域离散化为规则格网单元, 为每个单元赋予特定通行成本值, 最终输出到达最近设施的最小累积成本表面, 为设施布局优化提供科学依据。该方法支持多源点并行计算、各向异性分析和最大成本阈值设置, 具有计算精确、应用灵活的技术优势。

### 3.2.2. 成本距离计算模型

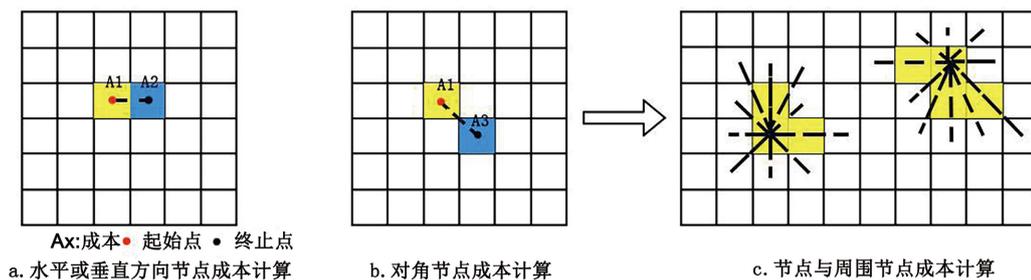


Figure 2. Schematic diagram of the principle of cost distance analysis

图 2. 成本距离分析原理示意图

网络成本栅格分析原则, 网络成本栅格就是将一个研究面转化为一个一个带有不同属性的栅格, 对于有路网的小栅格附属路网速度属性。将每一个网格都使其具有独立的属性单元, 其属性表示的就是时间成本。

如图 2 中 a 所示, 假设有一个点从起始点移动到与他相邻接的四个栅格, 则连接线是两个水平或垂直的网格, 他的长度为两个网格属性的平均值:

$$a1 = \frac{\text{cost}1 + \text{cost}2}{2} \text{ 或 } a1 = \frac{\text{cost}1 + \text{cost}3}{2}$$

cost1 表示起始点所在的栅格网络成本(cost);

cost2/cost3 表示终止点所在的栅格网络成本(cost);

a1 表示起始点到终止点连接线之间的总成本(cost)。

如图 2 中 a 所示, 如果一个目标源移动到与其垂直相隔的栅格网络时, 那么其长度为起始点所在网格和终点所在栅格网络的平均值加中间间隔栅格网络成本值:

$$a2 = \frac{\text{cost}1 + \text{cost}3}{2} + \text{cost}2$$

cost1 表示起始点所在的栅格网络成本(cost);

cost3 表示终止点所在的栅格网络成本(cost);

cost2 表示间隔栅格网络成本(cost);

a2 表示起始点到终止点的总成本(cost)。

如图 2 中 b, 如一个目标源移动到与其斜相邻网格时, 那么其长度为两个网格的平均值的 $\sqrt{2}$ 倍

$$a3 = \sqrt{2} \frac{\text{cost1} + \text{cost2}}{2}$$

cost1 表示起始点所在的栅格网络成本;

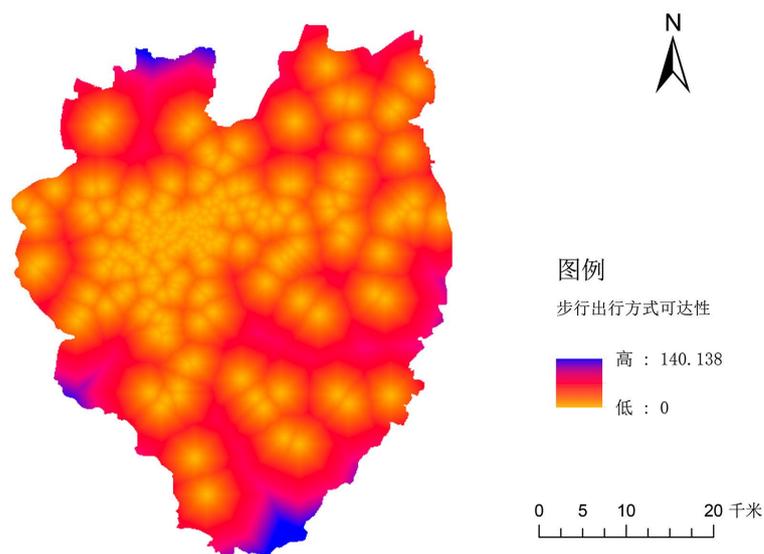
cost3 表示终止点所在的栅格网络成本;

cost2 表示间隔栅格网络成本;

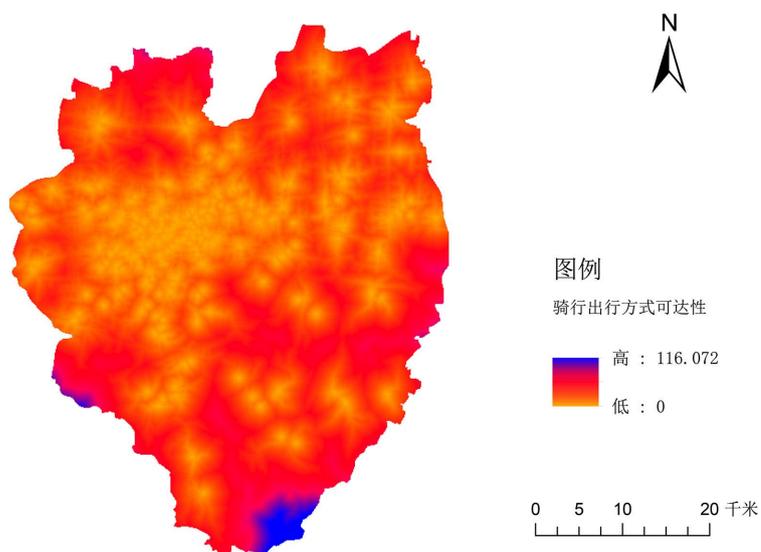
a3 表示起始点到终止点的成本。

## 4. 研究结果

### 4.1. 收费站点分类结果



**Figure 3.** Accessibility of elderly care service facilities in the main urban area of Jinan City (walking)  
**图 3.** 济南市主城区养老服务设施可达性(步行)



**Figure 4.** Accessibility of elderly care service facilities in the main urban area of Jinan City (cycling)  
**图 4.** 济南市主城区养老服务服务设施可达性(骑行)

基于实时交通态势数据栅格成本距离的可达性模型, 对济南市主城区的交通可达性进行分析, 通过对不同出行方式(步行、骑行、机动车出行及综合出行方式)进行对比结合分析对济南市主城区养老设施可达性进行分析并分别用不同色带表示(见图 3、图 4), 通过综合可达性分析发现, 济南市主城区养老服务设施可达性在空间呈现“中间快、北快南慢”的空间分布规律。

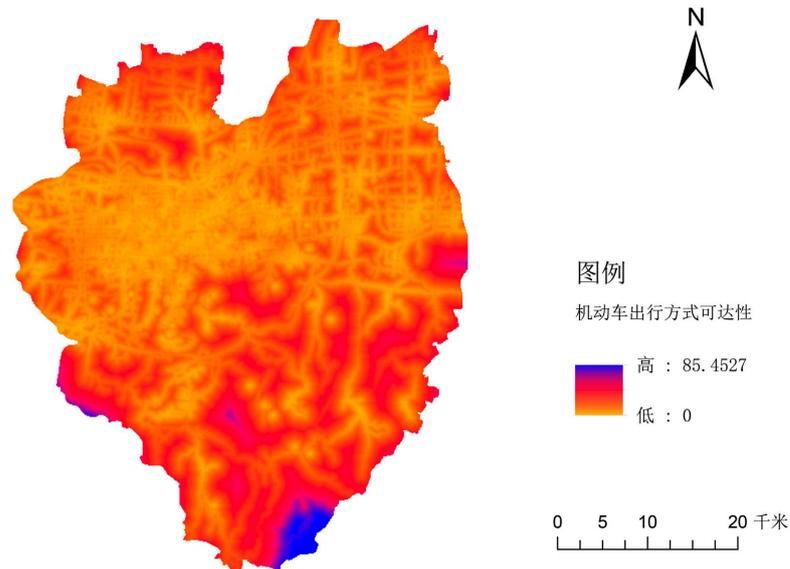


Figure 5. Accessibility of elderly care service facilities in the main urban area of Jinan City (motor vehicles)  
图 5. 济南市主城区养老服务服务设施可达性(机动车)

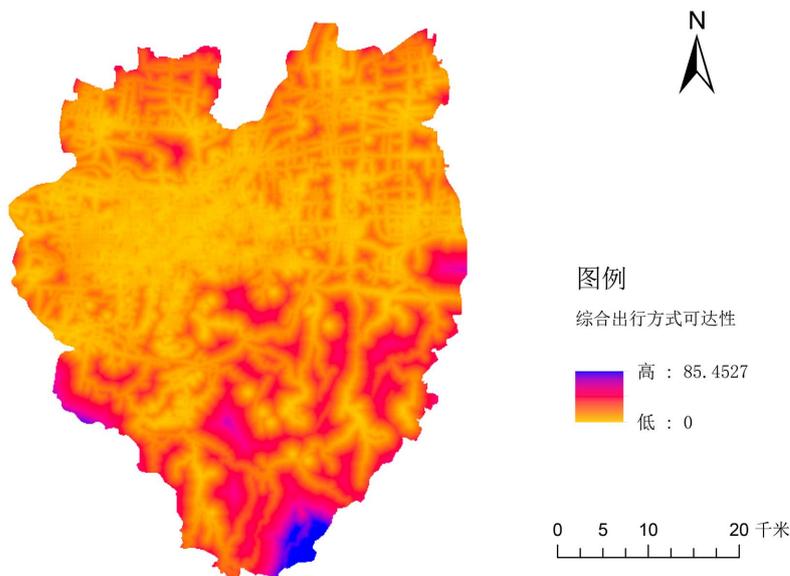


Figure 6. Accessibility of elderly care service facilities in the main urban area of Jinan City (comprehensive method)  
图 6. 济南市主城区养老服务服务设施可达性(综合方式)

#### 4.1.1. 步行方式下济南市主城区养老服务设施可达性分析

根据图 3 和表 1 的统计分析结果可以看出, 济南市养老设施在步行出行方式下的整体可达性表现相对较好。具体而言, 全市范围内约有 24.56% 的区域能够在 15 分钟内到达养老服务设施, 这表明中心城

区及周边部分区域的养老资源覆盖较为完善。同时存在约 24.63%的街区其养老设施可达时间超过 45 分钟, 这些可达性较差的区域主要分布在中心城区外围地带, 反映出城市边缘区域居民在步行条件下获取养老服务面临较大困难, 形成了明显的空间差异格局。

**Table 1.** Spatial proportion statistics table of accessibility value grading under three methods and a comprehensive method based on cost distance

**表 1.** 基于成本距离法 3 种方式及综合方式下可达性值分档的空间比例统计表

步行方式		骑行方式		机动车出行方式		综合方式	
可达性值/h	比例/%	可达性值/h	比例/%	可达性值/h	比例/%	可达性值/h	比例/%
0.00~0.25	24.56	0.00~0.25	37.49	0.00~0.25	72.93	0.00~0.25	72.96
0.25~0.50	29.08	0.25~0.50	35.77	0.25~0.50	22.20	0.25~0.50	22.17
0.50~0.75	21.73	0.50~0.75	17.45	0.50~0.75	3.40	0.50~0.75	3.40
0.75~1.00	12.68	0.75~1.00	6.32	0.75~1.00	1.61	0.75~1.00	1.06
1.00~1.50	9.34	1.00~1.50	2.48	1.00~1.50	1.06	1.00~1.50	0.41
1.50~2.00	2.29	1.50~2.00	0.49	1.50~2.00	0.41	1.50~2.00	0.00
2.00~2.50	0.32	2.00~2.50	0.00	2.00~2.50	0.00	2.00~2.50	0.00

#### 4.1.2. 骑行方式下济南市主城区养老服务设施可达性分析

图 4 和表 1 的对比分析表明, 当采用骑行的出行方式时, 济南市养老服务设施的可达性较步行方式有显著改善。具体数据显示, 约 37.49%的街区能够在 15 分钟内到达养老设施, 这一比例相比步行方式提高了 12.93 个百分点。同时, 可达性较差(超过 45 分钟)的街区比例下降至 9.29%, 较步行方式减少了 15.34 个百分点。这些数据充分证明, 非机动车出行方式能够有效提升居民获取养老服务的便利性, 使城市大部分区域的养老服务设施可达性保持在较好水平。值得注意的是, 骑行方式下仍存在少量可达性较差的区域, 这些区域可能需要通过优化设施布局或改善交通条件来进一步提升服务水平。

#### 4.1.3. 机动车出行方式下济南市主城区养老服务设施可达性分析

图 5 和表 1 的对比分析表明, 在机动车出行条件下, 济南市主城区养老服务设施可达性显著提升。约 72.93%的街区可在 15 分钟内到达养老设施, 而仅有 3.08%的街区需要超过 45 分钟。这一结果表明, 机动车出行大幅改善了养老服务设施的可达性水平, 使绝大多数居民能够便捷地获取养老服务资源。

#### 4.1.4. 三种交通方式养老服务设施可达性对比分析

从出行时间比较来看, 三种交通方式呈现明显的梯度差异: 步行平均耗时 32.58 分钟, 是骑行方式(22.59 分钟)的 1.44 倍, 更是机动车(11.70 分钟)的 2.78 倍。数据分析显示, 机动车与骑行方式的可达性差异相对较小, 但在空间分布上存在显著特征——在中心城区养老服务设施密集区域, 三种交通方式的可达性差距相对有限; 而在空间可达性较差的南部山区、黄河沿岸及千佛山周边等外围区域, 机动车的可达性优势更为突出。值得注意的是, 虽然机动车与骑行方式的整体表现相近, 但在偏远区域机动车仍展现出明显的可达性优势, 而这两种方式均显著优于步行出行。

#### 4.1.5. 综合出行方式下济南市主城区养老服务可达性分析

从图 6 以及表 1 研究结果显示, 研究表明, 济南市主城区养老服务设施在多模式交通条件下的可达性表现良好。数据显示, 72.96%的街区可在 15 分钟内到达养老设施, 22.17%的街区需要 15~30 分钟, 所

有区域均能在 90 分钟内到达。这一结果表明, 通过整合多种交通方式, 主城区养老服务设施的可达性整体较优, 基本满足居民的日常需求, 但在部分区域仍存在提升空间。

#### 4.1.6. 综合出行方式下济南市主城区养老服务可达性及住宅点位分布综合分析

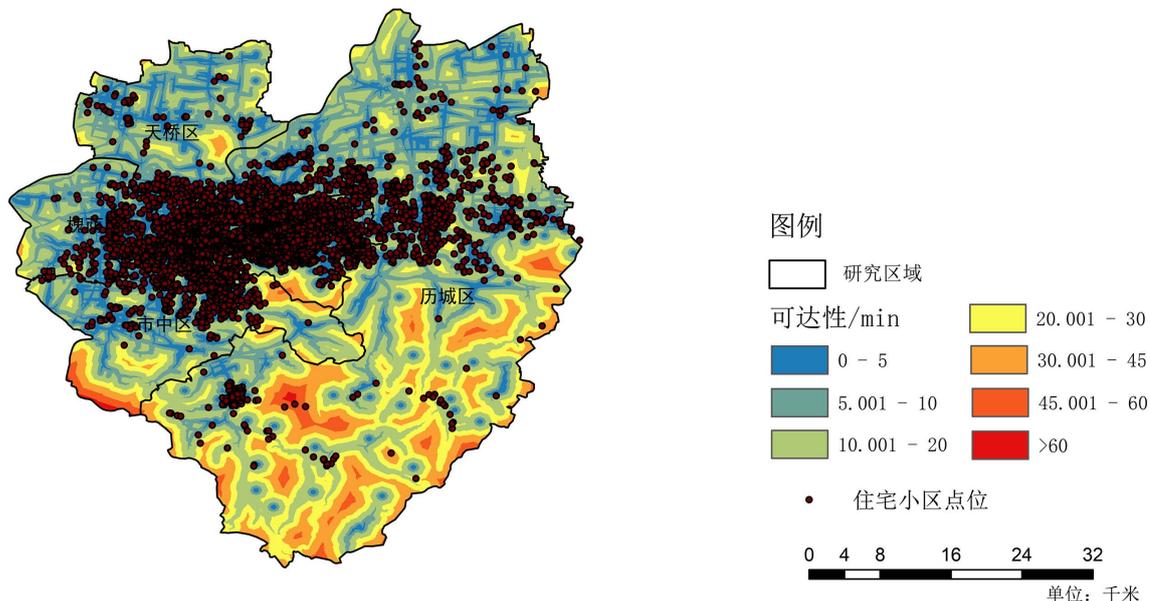


Figure 7. Accessibility of elderly care service facilities in the main urban area of Jinan and spatial distribution analysis map of community locations

图 7. 济南市主城区养老服务设施可达性及小区点位空间分布分析图

由图 7 可得, 济南市天桥、槐荫、历城、市中四区的老年设施可达性高值区域与居住小区的密集分布区在空间上高度吻合, 呈现出“高人口密度 - 高服务可达性”的协同分布模式。这表明老年设施的规划布局总体上遵循了人口分布导向, 空间资源配置较为合理, 有效地覆盖了主要居住区域, 为大多数老年人便捷地获取养老服务提供了良好的空间基础, 整体协调性较好。

综上所述, 济南市天桥、槐荫、历城三区的老年设施可达性空间布局与居住人口分布呈现出规划合理、匹配度较高的总体特征。空间资源配置整体均衡, 形成了多个服务于不同区域人口的核心片区, 有效降低了老年设施服务的空间壁垒, 为老年人安享晚年提供了良好的空间基础。

## 5. 结论与建议

本研究通过整合行政区域划分、实时交通数据、路网信息和养老设施点位数据, 从多交通方式维度对济南市主城区养老服务设施可达性进行了系统评估。

研究结果表明: (1) 在养老设施和路网密度较高的中心城区, 步行、骑行和机动车三种出行方式的可达性差异不大, 均保持较高水平; 而在设施分布较少的南部山区等外围区域, 机动车和骑行方式的可达性明显优于步行。(2) 从空间格局来看, 市中区北部、天桥区南部等核心区域 15 分钟可达性表现突出, 而南部山区、历城区东南部等受地形限制的区域可达性相对较弱。(3) 交通拥堵分析显示, 虽然高峰时段拥堵区域与养老设施密集区存在重叠, 但整体影响有限, 72.96% 的区域保持 15 分钟内可达, 22.17% 的区域需 15~30 分钟, 所有区域均在 90 分钟内可达, 表明济南市养老服务设施的可达性整体处于较好水平。

本研究聚焦济南市养老服务设施的交通可达性评估, 所构建的可达性模型主要基于交通态势数据、

路网数据及 POI 点位数据等基础要素展开分析。需要指出的是, 当前模型尚未纳入人口特征、地形条件等关键参数。后续研究建议从以下维度进行深化: 首先, 应整合人口密度、老年人口空间分布等人口统计学数据; 其次, 需考虑地形高程、坡度等自然地理要素; 最后, 建议引入设施服务质量、服务容量等运营参数。通过多维度数据的融合分析, 将有助于更精准地评估养老服务设施的可达性水平及其空间分布的公平性, 为城市适老化设施规划提供更科学的决策依据。

## 参考文献

- [1] Wang, J. and Zhou, J. (2022) Spatial Evaluation of the Accessibility of Public Service Facilities in Shanghai: A Community Differentiation Perspective. *PLOS ONE*, 17, e0268862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268862>
- [2] 宋正娜, 陈雯, 车前进, 等. 基于改进潜能模型的就医空间可达性度量和缺医地区判断——以江苏省如东县为例[J]. *地理科学*, 2010, 30(2): 213-219.
- [3] 汤鹏飞, 向京京, 罗静. 基于改进潜能模型的县域小学空间可达性研究——以湖北省仙桃市为例[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(6): 697-708.
- [4] 李忠锐, 刘光辉, 范宏贤, 等. 考虑拥堵状况的城市主城区小学设施可达性研究[J]. *山东交通科技*, 2024(2): 25-28.
- [5] 牛金莹, 吕飞. 基于可达性测度的城市养老设施空间格局研究——以苏州市为例[J]. *苏州科技大学学报(工程技术版)*, 2025, 38(1): 51-58.
- [6] 梁鹏涛, 夏佳毅, 纪冬华. 基于改进两步移动搜索法的南京市养老机构空间可达性研究[J]. *山西建筑*, 2025, 51(2): 24-27.
- [7] 靳铭久. 城市社会养老设施空间布局公平性及优化策略研究——以济南中心城区为例[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2024.