

# 老年人群体智慧出行监测平台构建与应用 ——以广州市为例

王泽夏<sup>1</sup>, 唐劼<sup>2</sup>, 胡志赛<sup>3</sup>, 杨宗和<sup>3</sup>, 郑煜铭<sup>3</sup>, 吴洁敏<sup>3</sup>

(1. 广电计量检测集团股份有限公司, 广东 广州 511400; 2. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092; 3. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广东 广州 510121)

**摘要:** 为应对超大城市人口老龄化发展趋势, 破解老年人群体出行难题, 亟须提升适老化交通服务水平与空间治理能力。从设施环境提升与政策法规完善两个方面, 系统梳理了国内外适老化交通研究的最新进展。立足老年人群体智慧出行的现状问题, 依托人工智能技术与多源数据, 构建了面向超大城市的老年人群体智慧出行监测平台。该平台涵盖5个系统模块, 集成了基于多源数据的老年人群体出行活动感知、高精度出行链还原、综合生活圈识别与划定、适老化设施服务水平监测与建设指引等关键技术。以广州市为实证案例, 开展了典型场景应用研究。结果表明, 该平台在高精度老年人群体空间分布推演、适老化设施改造分区建设指引、适老化社区更新改造“工具箱”、适老化智慧出行服务解决方案等多维度治理场景中应用成效显著, 能够实现对老年人群体出行需求的动态感知与设施资源的精准配置。

**关键词:** 适老化交通; 智慧出行; 监测平台; 人工智能; 应用场景; 广州市

**Construction and Application of an Intelligent Mobility Monitoring Platform for the Elderly: A Case Study of Guangzhou**

Wang Zexia<sup>1</sup>, Tang Jie<sup>2</sup>, Hu Zhisai<sup>3</sup>, Yang Zonghe<sup>3</sup>, Zheng Yuming<sup>3</sup>, Wu Jiemin<sup>3</sup>

(1. GRG Metrology & Test Group Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 511400, China; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Guangzhou Urban Planning Survey and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510121, China)

**Abstract:** In response to the trend of population aging in megacities and the need to address mobility barriers faced by the elderly, it is imperative to enhance age-friendly transportation services and spatial governance capacity. From the perspectives of facility environment optimization and policy and regulatory improvement, this paper systematically reviews the latest domestic and international research progress in age-friendly transportation. Grounded in the current challenges in intelligent mobility for the elderly, and leveraging artificial intelligence technologies and multi-source data, the paper develops an intelligent mobility monitoring platform tailored to the elderly in megacities. The platform comprises five system modules and integrates key technologies, including travel activities perception of the elderly based on multi-source data, high-precision reconstruction of mobility chains, identification and delineation of comprehensive daily living circles, and service level monitoring and development guidance for age-friendly facilities. Taking Guangzhou as an empirical case, the paper conducts typical scenario applications. The results demonstrate that the platform achieves remarkable application effects in multi-dimensional governance scenarios, including high-precision spatial distribution deduction of the elderly, construction guidance for age-friendly facility retrofitting zones, a "toolbox" for age-friendly community renewal and upgrading, and solutions for age-friendly intelligent mobility services. The platform enables dynamic perception of the mobility demand of the elderly and precise allocation of facility resources.

**Keywords:** age-friendly transportation; intelligent mobility; monitoring platform; artificial intelligence; application scenarios; Guangzhou

收稿日期: 2024-12-18

基金项目: 城市感知与监测预警企业重点实验室基金项目“老年人群体智慧出行监测的人工智能技术应用与平台建设”(2020B121202019)

作者简介: 王泽夏(1994—), 女, 辽宁鞍山人, 硕士, 工程师, 研究方向为大数据分析、人工智能, 电子邮箱18840852351@163.com。

通信作者: 唐劼(1995—), 女, 江苏常州人, 博士研究生, 研究方向为城市规划与设计、城市交通规划, 电子邮箱2310330@tongji.edu.cn。

引用格式: 王泽夏, 唐劫, 胡志赛, 等. 老年人群体慧出行监测平台构建与应用: 以广州市为例[J]. 城市交通, 2026, 24(2): 18-29.

Wang Zexia, Tang Jie, Hu Zhisai, et al. Construction and application of an intelligent mobility monitoring platform for the elderly: a case study of Guangzhou[J]. Urban Transport of China, 2026, 24(2): 18-29.

## 0 引言

人口老龄化进程的加快, 对中国超大城市的高质量发展及空间治理提出了更高要求。交通出行是衡量超大城市人居环境品质的关键指标, 亟须进一步重视适老化出行环境。近年来, 中央层面高度重视适老化交通服务的提升与优化。根据《交通运输部办公厅关于印发2023年持续提升适老化无障碍交通出行服务等5件更贴近民生实事工作方案的通知》(交办函〔2023〕480号), 需持续推进公共汽电车、城市轨道交通、出租汽车等领域的适老化服务提升、车辆更新与设施改造, 进一步巩固适老化无障碍出行服务成效。2024年1月, 《交通运输部 国家铁路局 中国民用航空局 国家邮政局 中国残疾人联合会 全国老龄工作委员会办公室关于进一步加强适老化无障碍出行服务工作的通知》(交运函〔2024〕20号)进一步强调, 应加强适老化无障碍交通设施规划建设, 加大交通运输设备的适老化无障碍配置和改造力度, 持续优化综合运输适老化无障碍服务, 并改进相关出行信息服务。

与此同时, 新一代前沿技术正推动交通领域深刻变革, 传统出行方式与新兴技术渗透融合, 加速了智慧出行模式转型。为应对超大城市老龄化发展趋势、破解当前适老化出行面临的困境, 相关部门亟须推进“门到门”一体化智慧出行服务。因此, 本文以广州市为例进行实证研究, 通过老年人群体精准身份识别与出行特征分析, 构建老年人群体智慧出行监测平台, 并对其框架体系、模块功能、关键技术、应用场景及具体实践进行论述, 以期为超大城市适老化出行设施建设提供经验借鉴。

## 1 研究概述

### 1.1 适老化出行

适老化出行是构建老年友好型社会的重要抓手。当前, 国内外相关研究主要集中在设施环境提升与政策法规完善两个方面。

在设施环境提升方面, 既有研究主要聚焦于增设无障碍设施、优化车站布局、提升

公共交通可达性等, 旨在满足老年人群体的差异化出行需求, 进而改善其出行环境。例如, 在借鉴中国台湾、日本、新加坡等地经验的基础上, 刘萌等<sup>[1]</sup>提出, 在规划老年人群体步行和非机动车交通环境时, 需兼顾非机动车运营规范与步行环境无障碍设施。基于TOD规划的5D原则(密度[Density]、多样化[Diversity]、城市设计[Design]、距离[Distance to transit]和目的地可达性[Destination accessibility]), 陈春等<sup>[2]</sup>分析了建成环境变量与老年人步行出行安全之间的非线性关系, 并从设施布局、人行天桥、人行地道3个层面提出建成环境优化策略, 为构建老年友好型出行环境提供依据。

在政策法规完善方面, 中国学者通过研究美国、英国、法国、澳大利亚、日本等发达国家和地区的经验, 建议在交通规划、公共交通服务及交通安全管理等层面加强立法与制度设计, 从而健全老年友好型社会结构<sup>[3]</sup>。此外, 还有学者进一步强调, 应加强对老年人群体出行权益的保护, 保障其能够享有高质量的交通服务<sup>[4]</sup>。

### 1.2 老年人群体智慧出行

随着数字技术赋能交通领域, 学界对智慧出行的关注日益提升。相关研究主要包含3个方面。

1) 出行活动感知。既有研究多利用GPS定位数据和手机信令数据, 动态追踪老年人群体的出行活动, 从而获取其出行时间、出行范围及活动强度等特征。近年来, 基于泛在位置数据的城市人群活动研究逐渐增多。例如, 基于街景影像与计算机视觉技术, Liu Dongwei等<sup>[5]</sup>提出了面向老年人的自动识别方法。该方法采用迁移学习实现了87.1%的识别准确率, 并进一步分析了老年人空间分布与其居住分布之间的显著差异, 进而提出能反映老年人真实步行需求的评价指标。钟炜菁等<sup>[6]</sup>利用手机信令数据构建了“人口-时间-行为”关系的人口空间动态分析框架, 对上海市人口分布和活动动态特征展开分析; 龙瀛等<sup>[7]</sup>则通过测算成都市各道路的人口密度, 量化评估了道路活力水平。

2) 智慧出行服务。随着大数据、云计

算等信息技术的发展,出行即服务(Mobility as a Service, MaaS)与管理即服务(Traffic Management as a Service, TMaaS)成为近年来的研究热点<sup>[8]</sup>。无论是MaaS还是TMaaS,其核心均着眼于对出行端、资源端和管理端进行有效整合,并向管理者和出行者提供相应服务。这一模式通过构建全要素联动、一站式集成、管理服务和出行服务相融合的创新体系,有效提升了老年人群体出行的便利性和体验。

3) 智慧平台建设。国内外多个地区均在积极探索智慧出行平台的构建与应用。例如,深圳市与腾讯合作打造了一体化智能交通体系与面向交通治理的数字空间底座,整合全方式出行信息资源,并将其应用于智慧机场的建设与运营;新加坡的“My Transport”App不仅提供公共交通信息查询服务,还能主动识别人群出行特征,在提供定制化出行服务的同时提高设施利用率<sup>[9]</sup>;芬兰的“whim”App是全球首个实现MaaS的平台,通过整合用户多样化出行需求,有效提高了交通工具的利用效率<sup>[10]</sup>。尽管上述实践已取得一定成效,但现有探索多聚焦于普通人群的出行需求,针对老年人群体的专门研究仍较为有限。

### 1.3 老年人群体出行活动感知与适老化设施服务水平监测

目前,国内外针对老年人群体出行活动感知仍以问卷调查为主,采集内容包括出行意向和出行特征(如出行次数、目的、方式、时间等)<sup>[11-14]</sup>。同时,既有研究也常借助GPS定位数据和手机信令数据动态追踪其活动空间,以获取出行时间、出行范围及活动强度等特征<sup>[15-19]</sup>。

在相关服务设施监测方面,公共服务水平的评价通常基于可负担性、可用性、可达性和可接受性4个维度。其中,空间可达性被视为关键指标<sup>[20]</sup>,既有研究多通过估算设施可达性来评估公共服务的配置效率<sup>[21-23]</sup>。

## 2 老年人群体智慧出行现状问题

根据第七次全国人口普查数据(以下简称“七普”),中国60岁及以上人口为2.64亿人,占总人口的18.7%;截至2023年末,该比例已增至21.1%。预计到2035年左右,老年人口比例将超过30%,届时中国将进入重度老龄化阶段。作为经济发达、发展迅速

的典型超大城市,广州市60岁及以上常住人口占11.41%,与第六次全国人口普查相比上升了4.66%,老龄化趋势明显。在此背景下,各地积极探索适老化出行设施建设。然而,实践过程中普遍存在以下问题,且这些问题在超大城市中表现得尤为突出。

1) 老年人群体居住及出行特征掌握不足,适老化设施难以精准投放。既有研究与实践常因缺乏大样本调查数据,难以准确掌握老年人群体的实际居住分布、具体出行需求及主要出行特征。这种情况可能导致老年人的正常出行需求无法得到充分保障,出行活动受到制约;同时,部分适老化设施建设存在资源错配问题,缺乏对重点区域与优先次序的明确指引。

2) 适老化设施建设缺乏协同机制,常态化设施体检面临技术制约。适老化设施类型多样,涉及住建、交通、民政、卫健委等多个部门,建设主体分散。各部门之间缺乏有效协同机制,难以系统整合设施建设信息。此外,针对设施的动态实时监测仍存在技术制约,目前难以实现常态化、规模化的设施体检,从而有针对性地推进设施短板建设与改进。

3) 老年人群体出行需求与服务信息不对称,缺乏实时信息感知平台支撑。与国外高度机动化的出行模式不同,中国老年人群体使用私人汽车的比例较低。相关数据显示,北京市60岁及以上老年人群体出行以步行为主,其次为自行车和公共汽车。这表明,中国老年人群体对步行和非机动车交通的依赖程度较高。然而,现有移动终端设备在步行路径引导方面功能仍不完善,难以提供全过程、精细化的出行服务,老年人在出行过程中也常面临出行不便、设施不完善、安全性不足等问题。因此,有必要建设面向老年人群体的实时信息感知与服务一体化平台,以提升其出行体验与安全性。

综上,提供一体化的智慧出行服务,将成为未来超大城市适老化交通发展的关键突破方向。既有研究对“互联网+”技术在适老化交通中的应用关注相对不足,智慧出行平台研究多集中于交通方式整合与出行方案制定,较少涉及主动识别出行特征和提升设施利用效率等方面。

本文整合了中国移动手机信令数据、无人机视频监测数据、车载三维激光扫描数据、城市公共交通刷卡数据、车流轨迹数据、城市兴趣点(Point of Interest, POI)数

据、公积金数据及公安部门常住人口数据等多源大数据，在此基础上构建了老年人群体智慧出行监测平台，并提出多种适老化设施的具体应用场景。本研究旨在推动适老化交通与智慧出行的深度融合，实现出行设施与服务的信息化、智慧化升级。

### 3 老年人群体智慧出行监测平台构建

中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》(2019年第28号)提出：“大力发展共享交通，打造基于移动智能终端技术的服务系统”。适老化出行不仅需关注交通系统自身的既有问题，更应从老年人群体实际需求出发，探索安全、便捷、高效、友好的出行新模式。为此，本文构建了老年人群体智慧出行监测平台，以期实现对出行环境的动态实时监测，为老年友好型城市的建设、运营、管理和评估提供架构支撑与数据基础。

#### 3.1 框架设计

基于老年人群体对现代化无障碍出行服务的迫切需求，本文构建了以老年人群体智慧出行服务为目标场景的监测平台(见图1)。该平台整合了基础设施数据、人口信息数

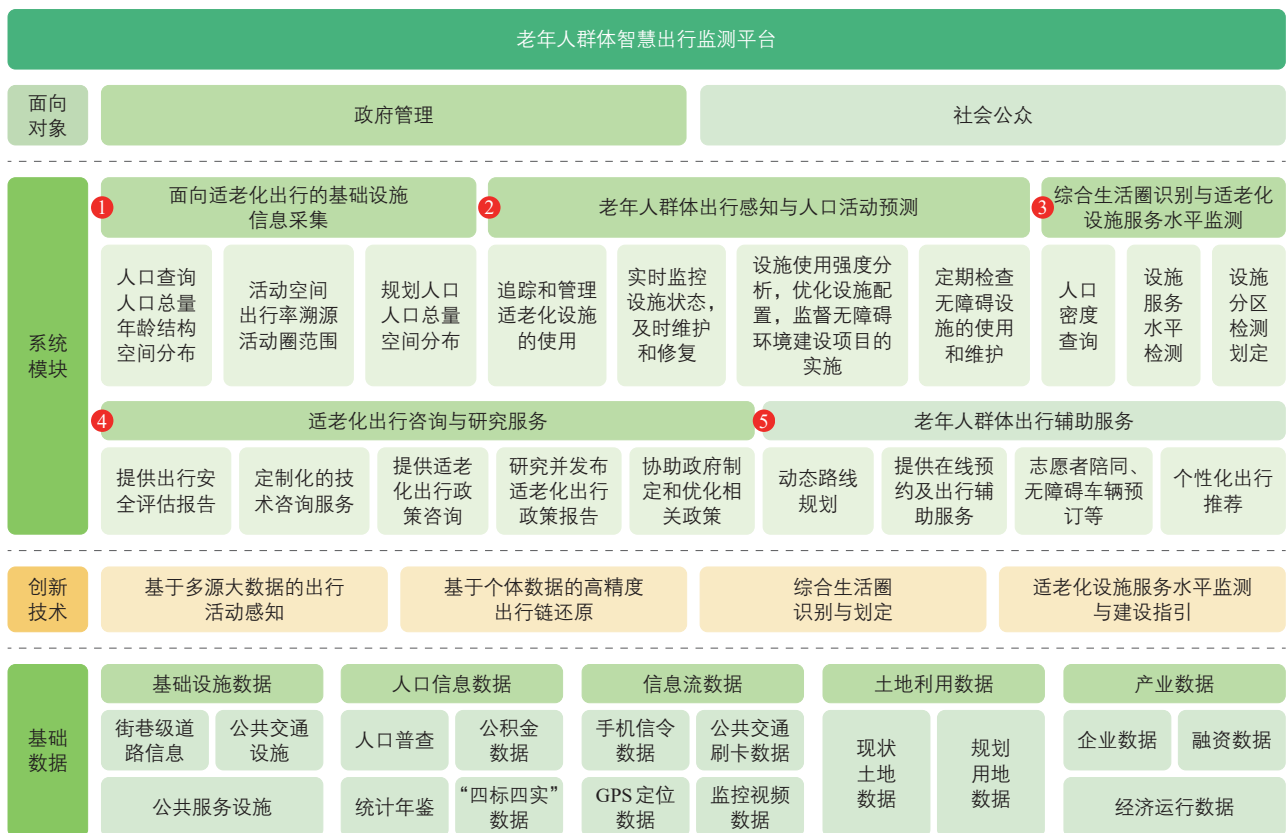
据、信息流数据、土地利用数据、产业数据等多源数据，形成5个系统模块：面向适老化出行的基础设施信息采集；老年人群体出行感知与人口活动预测；综合生活圈识别与适老化设施服务水平监测；适老化出行咨询与研究服务；老年人群体出行辅助服务。平台还包含多项关键技术，如基于多源大数据的老年人群体活动感知技术，基于个体数据的高精度出行链还原技术，老年人群体综合生活圈识别与划定技术，适老化设施服务水平监测与建设指引技术等。该平台可向政府部门提供智慧出行决策支持，助力开展针对老年人群体交通设施与公共服务设施的长期动态监测，并能够根据老年人群体出行需求合理规划与布局相关设施，从而推动超大城市公共设施服务水平的提升。

#### 3.2 模块功能

老年人群体智慧出行监测平台的5个系统模块紧密衔接、相互支撑，从数据采集到智能应用，为政府提供有效的决策支撑，为居民带来更好的出行体验(见图2)。

##### 3.2.1 面向适老化出行的基础设施信息采集

- 1) 采用道路系统、公共交通、公共服



注：“四标”指标准作业图、标准地址库、标准建筑物编码、标准基础网格；“四实”指实有人口、实有房屋、实有单位、实有设施。

图1 老年人群体智慧出行监测平台框架

Fig.1 Framework of the intelligent mobility monitoring platform for the elderly

务设施等信息要素的快速采集技术，构建一体化基础数据采集模式。通过专业化信息采集设备开展现场采集，获取公共服务类、公共交通类、住宅建筑类POI及其无障碍设施建设情况等环境信息；同时，辅以全站仪测绘技术获取街巷道路信息。

2) 借助互联网应用程序编程接口(Application Programming Interface, API)获取公共汽车线路及车站位置信息，并结合公共交通刷卡数据，构建从设施到运营的公共交通数据闭环系统，便于分析公共汽车线路及主要车站周边老年人群体的出行需求(见图3)。

3) 结合相关单位提供的基础测绘房屋

面数据与政府部门公布的公共服务设施建设数据，匹配并关联互联网POI数据，获取公共服务设施的空间位置数据，同时整合公共服务设施的规模指标，便于分析不同位置公共服务设施的服务能力及其覆盖的老年人口数量。

### 3.2.2 老年人群体出行感知与人口活动预测

1) 老年人群体识别和居住地测算。基于移动定位大数据、人口信息数据等，识别老年人群体的空间分布与出行特征，并采用空间聚类技术划定老年人群体聚居范围。

2) 老年人群体高精度出行链还原。利

系统模块	基础数据		技术内容	功能应用	
1 面向适老化出行的基础设施信息采集	无人机航拍高清数据	车载三维扫描实景数据	构建全市道路至街巷级别的交通数字化平台数据库	广州市道路交通设施查询	
	互联网API数据	数字政务数据	构建全市公共交通数字化平台数据库	广州市公共交通设施基础查询	
			构建全市老年人活动主要公共设施信息数据库	广州市公共服务设施基础查询	
2 老年人群体出行感知与人口活动预测	手机信令数据	广州市“七普”数据	基于多源数据的老年人群体识别与人群画像	广州市老年人群体空间分布	广州市人口年龄结构
	广州市POI数据	社保数据	高精度出行链感知老年人群体活动规律	老年人群体出行特征	老年人群体高活力街道
	公共交通刷卡数据	监控视频数据	基于视频识别的街道老年人群体活力感知技术	适老化交通改造分区划定	老年人综合生活圈
			基于老年人群体出行的综合生活圈识别		
3 综合生活圈识别与适老化设施服务水平监测	广州市“七普”数据	手机信令数据	基于人口密度的综合生活圈识别与划定	人口总量预测模型	老年人群体空间分布
	房价数据	现状土地数据	基于设施与人群活动耦合的适老化设施服务水平监测	人口结构预测模型	流动人口空间分布
	“四标四实”数据	公共服务设施数据	基于人群特征感知的适老化设施监测分区划定	养老设施规划布局	医疗设施规划布局
4 适老化出行咨询与研究服务	广州市“七普”数据	手机信令数据	利用大语言模型的交通政策咨询	适老化出行政策咨询	协助政府制定优化相关政策
	交通设施	交通政策	基于人工智能的适老化出行安全评价	出行安全隐患排查与整改	智能交通规划
	“四标四实”数据	公共服务设施数据	适老化环境监督管理	提供出行安全评估报告	定制化的技术咨询
5 老年人群体出行辅助服务	广州市“七普”数据	手机信令数据	基于老年人群体出行的路网交通状态识别	智慧出行助手	个性化路径推荐
	公共汽车GPS定位数据	出租汽车GPS定位数据	适老化出行辅助设施智能优化布局	道路网交通状态识别	设施智能优化布局
	交通事故报告	交通政策	基于强化学习的个性化出行路径推荐	出行辅助设施	智慧城市建设

图2 老年人群体智慧出行监测平台的系统模块功能

Fig.2 System module functions of the intelligent mobility monitoring platform for the elderly

用多源异构时空大数据分析老年人群体活动规律，基于模糊隶属度方法识别出行方式，精细化标定其日常活动出行轨迹、出行范围及设施使用强度等特征，为平台提供高精度的老年人群体活动需求分析模型。

3) 高精度人口预测及空间分布模型构建。利用微观人口普查数据，分地区构建考虑迁移人口影响的人口平衡方程，采用优化算法对生育率、存活率等关键参数进行校准，建立涵盖人口总量、年龄结构、受教育程度等多维度特征的人口预测模型。

### 3.2.3 综合生活圈识别与适老化设施服务水平监测

1) 适老化设施服务水平评价。采用基于深度学习的海量视频识别技术，追踪老年人群体日常活动，识别设施使用情况，测算设施的使用强度和服务水平。进而通过分析老年人群体出行范围和活动强度，建立基于设施与人群活动特征的适老化设施服务水平评价模型。

2) 可达性视角下的公共服务设施配置优化。综合利用移动定位大数据、公共服务设施数据和道路交通系统数据等多源数据，测算老年人群体日常出行范围。在此基础上，结合规划老年人分布和规划居住用地分布，分析老年人群体覆盖率和居住用地覆盖率。

3) 适老化设施改造分区划定。针对当前超大城市适老化环境亟待改造的现实需求，构建基于老年人群体分布、老年人群体集聚程度和基础设施分布等因素的适老化设施改造分区划定方法，并在平台上为各分区设定差异化的改造时序和建设重点。

### 3.2.4 适老化出行咨询与研究服务

1) 适老化出行智能咨询。整合适老化交通政策、出行路线、便民服务等多源信息，运用智能交互技术，为老年人群体、养老机构及相关管理部门提供精准的咨询响应，包括定制化出行建议、政策解读和服务指引。通过汇总分析咨询数据，梳理老年人群体出行的核心需求与痛点，建立适老化出行服务优化模型。

2) 适老化出行特征研究与分析。利用移动定位、出行轨迹、咨询记录等多源数据，实现对老年人群体出行时间、出行路线、出行方式及出行需求的精准测算与动态分析。结合道路和公共交通网络规划交通路网布局和适老化出行设施分布，分析现有交

通体系对老年人群体出行的适配性和支撑能力。

3) 适老化出行环境优化研究与支撑。针对目前超大城市老年人群体出行不便、适老化交通设施不完善的现实问题，构建基于老年人群体出行特征、出行痛点及交通设施分布等因素的出行环境优化分析方法。该方法可为道路网改造和适老化出行设施完善提供针对性结论，并设定差异化的推进时序和建设重点，从而支撑相关部门决策落地。

### 3.2.5 老年人群体出行辅助服务

1) 适老化智慧出行导航。整合无障碍道路网、适老化公共汽车站、便民服务站点多源数据，运用智能导航与路径优化技术，为老年人群体精准规划出行路线并提供实时导航。导航服务优先推荐无障碍、少爬坡、耗时合理的路线，同步提供语音播报、路线提醒等便捷功能。同时，通过对老年人群体导航使用数据及出行反馈的收集分析，平台可建立基于其出行习惯的导航服务优化模型。

2) 老年人群体出行安全保障。利用移动定位、智能预警等技术，实时追踪老年人群体出行轨迹，识别异常行为。当出现偏离常规路线、长时间停留等异常情况时，及时向家属及相关管理部门发送预警信息，同时联动周边便民服务站提供应急帮扶。

3) 适老化出行便民服务集成。针对老年人群体出行中购票、咨询、求助不便的现实问题，整合公共交通购票、预约用车、出行咨询、应急求助等各类便民服务资源，构建一站式适老化出行便民服务体系。通过简化操作流程、优化交互界面，为老年人群体提供便捷、高效、贴心的出行配套服务，全面提升其出行体验。

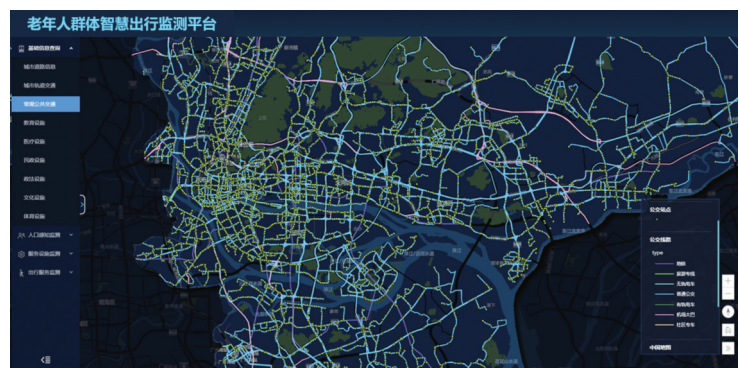


图3 老年人群体智慧出行监测平台的现状道路基础信息查询

Fig.3 Basic road information query of the intelligent mobility monitoring platform for the elderly

## 4 关键技术

### 4.1 基于多源大数据的出行活动感知

本文基于移动定位大数据，充分利用其大样本、高频次的特征，实现了老年人群体活跃度测算(见图4)和居住空间分布的精准识别(见图5)。

#### 1) 老年人群体活跃度测算。

首先，使用“七普”数据识别常住地空间分布，得到老年人群体的居住地空间分布及其在各区域的比例。其次，获取手机信令数据并进行数据质量检验，包括按小时、日变化规律对用户数、信令条数、活跃用户数等指标进行检验，并筛选保留60岁及以上老年人群体的信令数据。然后，通过用户居住地识别、有效停留点识别等技术方法，识别老年人群体的夜间居住地，并以居委会为单位统计老年人数量，与普查数据进行比对，计算各居委会的识别率。最后，以居委

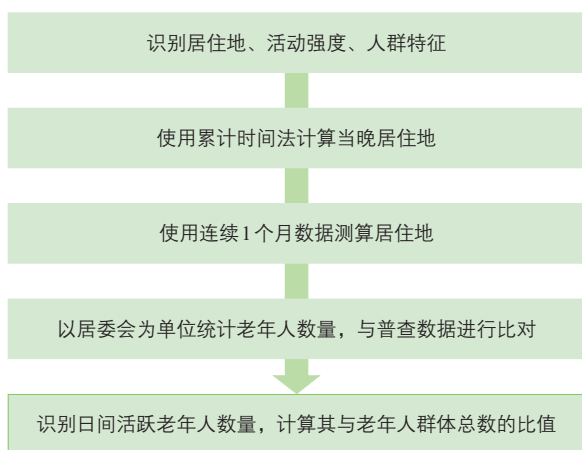


图4 老年人群体活跃度测算流程

Fig.4 Workflow for measuring activity levels of the elderly

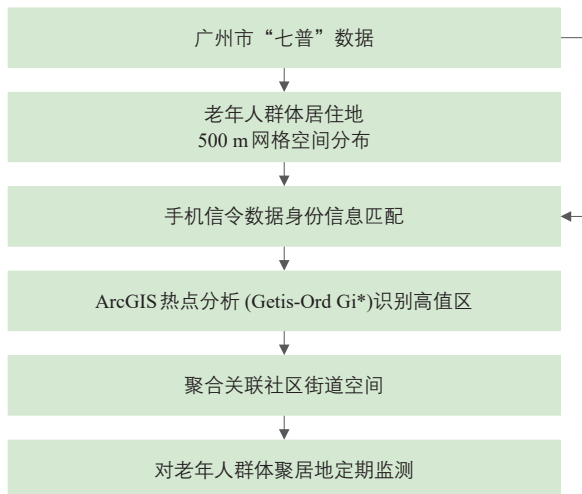


图5 老年人群体聚居地识别流程

Fig.5 Workflow for identifying settlements of the elderly

会为单位统计活跃老年人群体数量，计算其与老年人群体总数的比值，得到各区域的老年人群体活跃度指标。

#### 2) 老年人群体聚居地识别。

以“七普”数据为基础，结合老年人群体居住地500m网格空间分布，通过手机信令数据完成身份信息匹配，精准锁定目标人群的空间位置。随后，运用ArcGIS热点分析(Getis-Ord Gi\*)算法，识别老年人群体空间分布的高值聚类区域，划定老年人群体集聚区。在此基础上，将识别结果聚合关联至社区、街道等行政空间单元，通过对活跃人数和活跃时间的持续测度，可实现对老年人群体聚居地及日常活跃度的定期监测，为目标人群活跃度测度提供重要方法支撑，并为后续相关设施的配置及实施效果评估提供数据基础。

### 4.2 基于个体数据的高精度出行链还原

本文基于移动定位大数据，构建了老年人群体活动特征提取算法。首先，利用移动定位大数据，以每隔1h记录一次用户位置点的方式采集轨迹数据，并依据用户年龄信息识别老年人群体。其次，将每日1:00—4:00所在位置标记为居住地，采用人群出行特征识别算法，分别计算老年人群体的日均出行频次和出行时间。同时，结合已识别的每日有效停留点及其停留时间，基于时间序列进行出行轨迹还原<sup>[24]</sup>。随后，基于Transformer模型，按照路网相似性对缺失轨迹进行路径模拟与补充(见图6)。该算法可提取老年人群体的出行链特征，进而实现对老年人出行时间、范围及频次的精准测算。在此基础上，结合城市公共服务设施及其服务能力等数据，可进一步分析老年人群体在不同场景和空间条件下的设施使用特征变化。

### 4.3 综合生活圈识别与划定

首先，以老年人群体居住密集社区的中心点为基准，计算步行等时圈。本文调用百度地图开放平台API工具，在步行模式下测算从中心点出发至各个网格中心点间的出行用时，筛选步行10min所能覆盖的范围，并将其标记为社区活动密集区。

其次，基于老年人群体活动强度值数据表，采用Contour (Spatial Analyst)工具，以100人·km<sup>2</sup>为等值距生成密度等值线(100人·km<sup>2</sup>, 200人·km<sup>2</sup>, 300人·km<sup>2</sup>, 以此类推)，将密度变化显著的等值线标记为

老年人群体居住地的核心范围。使用Merge (Data Management)工具, 叠加社区活动密集区范围、兴趣面(Area of Interest, AOI)和居住地核心范围, 生成老年人群体综合生活圈, 其识别流程见图7。

最后, 通过对比连续多年的数据, 可检验生活圈范围的变化情况。若生活圈范围扩大, 则表明适老化设施服务范围得到扩展, 同时适老化出行环境有所改善。

#### 4.4 适老化设施服务水平监测与建设指引

首先, 本文采用基于深度学习的海量视频识别技术, 捕捉城市老年人群体的日常活动行为。通过神经网络算法识别目标活动轨迹, 实现对老年人群体行为的持续跟踪和出行记录(见图8)。

其次, 利用人脸识别相关算法, 提取人脸及街道行人的多类别特征信息, 实现对老年人群体的精准追踪, 从而进一步完善出行链识别结果。

最后, 结合设施空间位置、规划用地等基础数据, 以及由低/中/高位摄像头采集的城市道路、地铁出入口、商场等场景动态数据, 通过YOLO目标检测、Deep-Sort跟踪、MTCNN人脸识别等图像识别算法, 对设施类型进行判别。这一过程旨在揭示老年人群体活动与适老化设施、无障碍设施之间的关联关系, 识别城市公共空间与老年人群体活动的交互机制, 进而实现对适老化设施使用强度、服务腹地范围等服务水平指标的测算(见图9)。由此, 可量化老年人群体对设施的实际使用情况, 为城市及社区公共空间适老化服务设施的优化提升提供依据。

### 5 广州市应用实践

为提升超大城市中持续增长的老年人群体出行的便捷性、畅通性与安全性, 有效破解适老化出行障碍, 广州市积极探索老年人群体智慧出行监测平台建设, 并在部分典型场景开展试点应用。

#### 5.1 应用场景1: 高精度老年人群体空间分布推演

本文以多智能体<sup>①</sup>理论为基础, 结合土地利用、道路交通和服务设施等多源时空数据, 构建具备自我迭代功能的智能模拟系统, 对城市居住人口空间分布进行动态模拟与预测。系统能够区分常住人口和流动人

口, 并开展长时序、高空间分辨率的人口空间分布推演。

系统以人口预测总量作为约束条件, 综合微观人口普查数据和长时序手机信令数

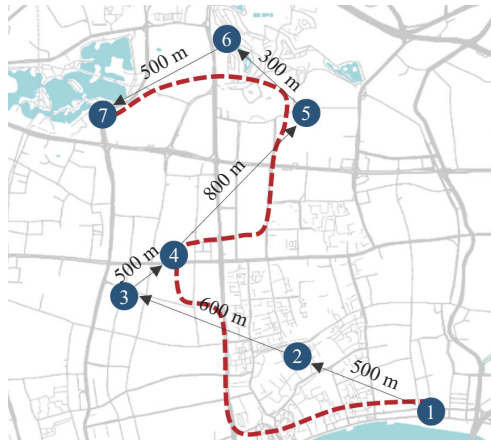


图6 调用Transformer模型实现个体出行轨迹路径还原

Fig.6 Reconstruction of individual mobility trajectories using a Transformer Model

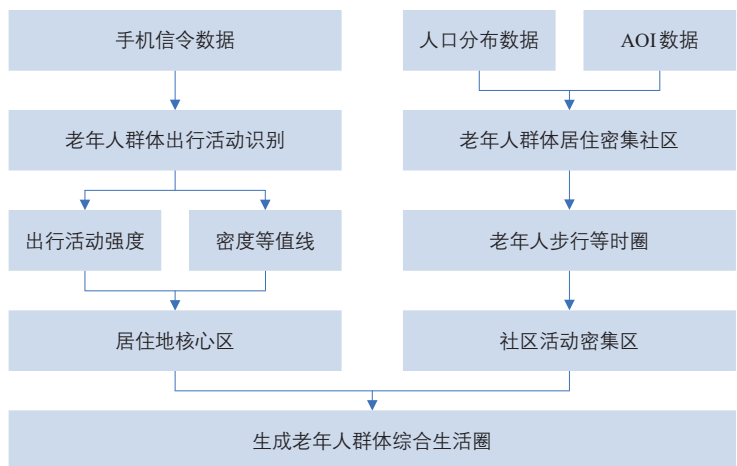


图7 老年人群体综合生活圈识别流程

Fig.7 Workflow for identifying comprehensive daily living circles of the elderly



图8 适老化设施服务水平监测示例

Fig.8 Example of monitoring service levels of age-friendly facilities

据，将广州市历史年份的人口空间分布作为多智能体城市人口分布模型的初始状态。基于给定的城市服务设施状况、交通通达度、政策规划、自然环境和区位压力5个多智能体属性，对常住人口智能体、流动人口智能体和政府智能体分别赋予不同的迭代规则和属性权重。通过居住地选择、智能体生长和消亡3个步骤，智能体完成自我迭代，并输出规划年的人口空间分布特征。

预测结果显示，2035年广州市常住人口分布仍以单中心结构为主，呈现以天河区、越秀区为核心、向东西两侧延伸的分布格局。其中，老龄化程度较高的区域主要集中在越秀区、荔湾区和海珠区，60岁及以上人口占比普遍超过40%；而天河区等城市发展新区外来人口定居转化的规模较大，在一定程度上延缓了该区域的人口老龄化进程。

### 5.2 应用场景2：适老化设施改造分区建设指引

针对广州市适老化环境亟待改造的现实，该应用场景以老年人群体行为活动的时空信息(包括其出行时间、出行范围和需求反馈等)为依据，将待改造区域划分为以下4类(见表1)：先行示范区、重点改造区、友好发展区和城乡融合区(见图10)。

其中，先行示范区位于中心城区人口密集区域，老年人群体占比超过20%，同时也是适老化设施问题反馈最为集中的区域；重点改造区为老年人群体占比超过15%、人口密度高于平均水平且适老化设施缺失较为严重的区域；友好发展区主要位于中心城区外围，服务设施覆盖率较高但达标率偏低，后

续将重点提升其适老化设施水平；城乡融合区位于城郊地区，未来将承接部分城市功能与人口扩散，远期适老化改造需求潜力较大。

### 5.3 应用场景3：适老化社区更新改造“工具箱”

在综合考量设施使用强度、人群活动特征及设施空间位置等多重因素的基础上，该平台为建设主体、使用主体构建了涵盖“场地规划—设施配置—信息交流—社区出行”的全流程要素设计指引。尤其针对老年人群体出行率与设施使用率“双低”的社区，提供了一系列针对性、可操作性强的更新改造“工具箱”(见表2)。这些指引通过整合关键技术要素的技术标准，并以图示化方式对要素细节进行精准管控与设计引导，从而保障适老化改造分区的有效推进，体现因地制宜、以人为本的理念，更好地满足老年人群体差异化、精细化的出行需求。

### 5.4 应用场景4：适老化智慧出行服务解决方案

平台通过监测面向公众的出行服务App，获取设施使用情况及用户满意度反馈，将人口数据与设施数据进行融合分析。基于此，平台可对各类设施的服务水平进行评价，为后续建设提供规划依据，同时为设施实施效果评估提供应用基础。基于评价结果，平台可提供一体化出行解决方案，精准应对各类出行问题。平台利用设施采集车<sup>®</sup>获取的道路、建筑及相关设施数据，依托虚拟现实技术和三维仿真模型构建城市级数字孪生系统。结合路径规划、人脸识别等算法模型，在统筹考虑老年人群体、残障人士及其他群体多样化出行需求的基础上，提供春芽地图轮椅版、公共汽车导乘、轮椅地图、一键叫车等多种智慧出行服务。

## 6 结束语

为顺应中国人口老龄化发展趋势，推动适老化出行环境与智能交通体系建设，本文构建了面向超大城市的老年人群体智慧出行监测平台。该平台契合了智能交通3.0时代的转型需求。平台以人工智能技术为核心驱动，深度融合多源数据，构建了包含出行活动感知、高精度出行链还原、综合生活圈识

系统模块	低位摄像头		中位摄像头		高位摄像头	
	广州市道路	地铁出入口	道路交叉口	平行车道	垂直车道	无人机
	人行道	商场内部	垂直车道	商场出入口		
	个体属性捕捉		差异化个体识别		全局流量统计	
核心算法	目标识别	目标跟踪	人脸识别	行人识别		
	实时目标检测算法(YOLO)	深度简单在线实时跟踪算法(Deep-Sort)	多任务卷积神经网络(MTCNN)	属性识别(STN)		
应用场景	行人流量分析	行人属性分析	个体路径追踪	区域流量统计		

图9 视频图像识别监测人群活动流程

Fig.9 Workflow for monitoring crowd activities through video image recognition

表1 广州市适老化设施改造分区划定

Tab.1 Zoning of age-friendly facility renovations in Guangzhou

分区	范围	划定标准	规划策略		
			改造重点	社区生活圈建设	设施布局原则
先行示范区	中心城区	街道老龄化率高于20%	存量空间无障碍改造	全面完善适老化社区服务设施(如康园站、日间照料中心、长者饭堂等),实现无障碍设施改造覆盖率100%	逐步外迁大型公共服务设施,置换原用地用于完善适老化综合生活圈体系
重点改造区	中心城区	街道老龄化率高于15%、人口密度高于平均值	存量空间无障碍改造	有针对性完善适老化社区服务设施,无障碍设施改造覆盖率80%	兼容布置各类无障碍、适老化设施,集约用地,满足多元需求
友好发展区	城郊外围	街道人口密度高于平均值、设施待提升	新增空间老年友好化设计,存量空间无障碍改造	逐步推进适老化社区服务设施建设,引入社会力量参与,开展老年人群体互助服务	根据老年人群体出行能力和范围,合理布置各类公共服务设施,确保设施使用的便捷性和舒适性
城乡融合区	城郊地区	农村户口老年人群体、残障人士集聚	加强新区公共设施的老龄化、无障碍建设	根据区域特点,推进城乡社区资源的共享和优化配置	针对城郊地区老年人群体的特殊需求,布置相应公共服务设施,提升生活品质

别与划定、适老化设施服务水平监测与建设指引等在内的关键技术。通过引入深度学习、强化学习等智能算法,平台能够实现老年人群体出行需求的动态感知、精准预测与设施资源的优化配置,有效破解传统适老化交通规划中“数据零散、需求模糊、设施错配”等现实痛点。

目前,该平台已在广州市开展了部分典型场景的试点应用,但仍受制于数据共享壁垒和部门间管理机制差异,尚未形成大规模实际应用,存在用户使用反馈难以及时收集、用户行为数据长期积累不足等问题。未来,面向超大城市日益多元的老年人群体出行需求,适老化出行设施建设和出行服务水平有望进一步提升。本文尝试探索一种模块化、可复制的智慧出行监测平台建设方法,以期在物质空间和社会空间层面为中国其他超大城市的适老化出行设施建设提供参考,并通过整合社会资源、完善供给机制、优化治理结构,推动相关实践的广泛开展与深化落地。

注释:

Notes:

- ① 多智能体是一种强化学习方法。每个智能体自身被赋予特定的效用函数,通过智能体之间的交互与协同进行预测和推演,以寻找最优策略。
- ② 设施采集车是配备高精度定位系统和全景相机的道路设施采集车辆,可用于辅助设施摸底调查与地图制图,高效输出高精度底图数据。

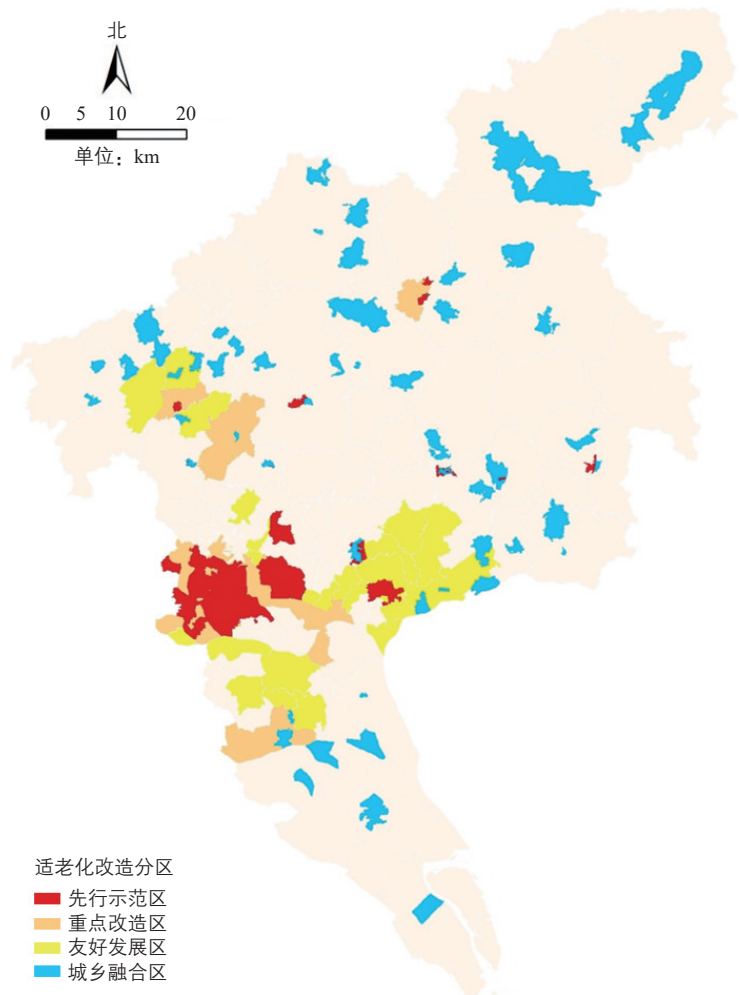


图10 广州市适老化设施改造分区范围

Fig.10 Scope of zoning for age-friendly facility renovations in Guangzhou

参考文献:

References:

- [1] 刘萌, 刘雪丽, 李泽新. 适合老年人出行的城市交通经验及启示: 以中国台湾地区、

表2 广州市适老化社区更新改造“工具箱”

Tab.2 "Toolbox" for age-friendly community renewal and upgrading in Guangzhou

主题	要素	类型	
场地平整	道路	无障碍接驳、高差坡化、轮椅坡道、台阶无障碍处理、人车分流、色彩区分	
	社区道路	小品 提示夜灯、休息座椅、设有轮椅停靠位的休息座椅、防滑铺装、医疗呼叫装置 <sup>1)</sup>	
	盲道	行进盲道、提示盲道、电子盲道 <sup>1)</sup>	
住宅内部	居室	圆角空间、扶手、紧急呼救装置、低位设备、防滑地面、人体工学家具、可变速设计 <sup>1)</sup> 、智能设备 <sup>1)</sup>	
	盥洗	无障碍卫生间、栏杆安全高度	
	公共空间	垂直电梯、低位前台、低位邮箱(快递箱)、低位电梯按钮、低位门铃按钮、出入口坡化、自动门、防滑地面、走廊扶手、有扶手及靠背的座椅、色彩强烈标志 <sup>1)</sup>	
设施可达	停车场所	无障碍停车位、标志、地下室人防门槛可移动式坡道	
	活动	无障碍活动空间、有轮椅停靠位的休息座椅、无障碍接驳、轮椅坡道、台阶无障碍处理、无障碍电梯	
	活动空间	盲道 行进盲道、提示盲道、电子盲道 <sup>1)</sup>	
	环境	无害植物、提示夜灯、防滑垫、低位饮水台、低位标牌、语音指南服务、紧急呼救装置	
	配套服务设施	设施	无障碍应急报警系统 <sup>1)</sup>
		服务	轮椅租赁服务 <sup>1)</sup>
信息交流通畅	无障碍数字地图	设施点位索引、路径导航、无障碍信息服务	
	电子导航导盲	道路	数字化盲道、智慧斑马线 <sup>1)</sup> 、智慧灯杆 <sup>1)</sup>
		信息	App定位、语音提示、信息播报 <sup>1)</sup>
	听障辅助设施	多媒体字幕系统、手语互译 <sup>1)</sup> 、听觉线圈系统 <sup>1)</sup>	
出行活动智能	停车接驳	无障碍停车位、无障碍路径、浅港湾式无障碍车辆停靠区、优先等候标志 <sup>1)</sup>	
	乘车空间	车辆	乘车无障碍踏板、轮椅(辅具)放置位、语音播报、LED字幕播报
		辅助	轮椅固定装置

1) 为提升型设施,可根据实际条件进行布置。

新加坡和日本为例[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(6): 57-65.

Liu Meng, Liu Xueli, Li Zexin. Experience and enlightenment of transport planning suitable for the elderly: case studies of Taiwan in China, Singapore and Japan[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2021, 36(6): 57-65.

[2] 陈春, 唐弋. 建成环境对老年行人出行安全的非线性影响研究: 以重庆市渝中区为例[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(16): 7112-7119.

Chen Chun, Tang Yi. Nonlinear effects of built environment on travel safety of the elderly pedestrians: a case in Yuzhong District, Chongqing[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(16): 7112-7119.

[3] 张宇阳, 邹哲. 日本应对老龄化社会的交通安全策略[J]. 城市交通, 2022, 20(4): 28-34.

Zhang Yuyang, Zou Zhe. Traffic safety strate-

gies on population aging in Japan[J]. Urban Transport of China, 2022, 20(4): 28-34.

[4] 姚恩建, 闫峥, 郇宁. 考虑老年人出行行为的公交票价补贴政策研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(6): 13-19.

Yao Enjian, Yan Zheng, Huan Ning. Evaluation on subsidy policy of public transport ticket considering elderly travel behavior[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(6): 13-19.

[5] Liu Dongwei, Wang Ruoyu, Grekousis G, et al. Detecting older pedestrians and aging-friendly walkability using computer vision technology and street view imagery[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2023, 105: 102027.

[6] 钟炜菁, 王德, 谢栋灿, 等. 上海市人口分布与空间活动的动态特征研究: 基于手机信令数据的探索[J]. 地理研究, 2017, 36(5): 972-984.

Zhong Weijing, Wang De, Xie Dongcan, et al.

- Dynamic characteristics of Shanghai's population distribution using cell phone signaling data[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(5): 972-984.
- [7] 龙瀛, 周垠. 街道活力的量化评价及影响因素分析: 以成都为例[J]. *新建筑*, 2016(1): 52-57.
- Long Ying, Zhou Yin. Quantitative evaluation on street vibrancy and its impact factors: a case study of Chengdu[J]. *New Architecture*, 2016(1): 52-57.
- [8] 殷韞, 廖璟瑒, 吴克寒. 智慧出行服务新模式构建和出行需求优化系统设计[J]. *城市交通*, 2023, 21(3): 98-105.
- Yin Yun, Liao Jingyang, Wu Kehan. Smart travel service new mode construction and travel demand optimization system design[J]. *Urban Transport of China*, 2023, 21(3): 98-105.
- [9] 尹露, 宋晓鹏, 郑纲. 新加坡城市智能交通管理系统[J]. *交通与运输*, 2018, 34(1): 12-14.
- Yin Lu, Song Xiaopeng, Zheng Gang. Singapore urban intelligent traffic management system[J]. *Traffic & Transportation*, 2018, 34(1): 12-14.
- [10] 杨涛, 何小洲, 傅鹏明. 解析出行即服务(MaaS)及其在我国的发展对策研究[J]. *现代交通与冶金材料*, 2024, 4(2): 49-54.
- Yang Tao, He Xiaozhou, Fu Pengming. Analysis of Mobility as a Service (MaaS) and its development countermeasures in China[J]. *Modern Transportation and Metallurgical Materials*, 2024, 4(2): 49-54.
- [11] 王艺澄. 医养结合视角下的哈尔滨社区生活圈养老设施规划研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
- Wang Yicheng. A study on the planning of the old-age service facilities in community living area from the perspective of combining medical care with nursing care[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2021.
- [12] 郑凌予, 王华嵩, 伍夏, 等. 基于邻里空间感知的老年人群绿地活动水平比较研究: 以重庆典型社区为例[J]. *园林*, 2022, 39(8): 45-52.
- Zheng Lingyu, Wang Huasong, Wu Xia, et al. A comparative study on green space activity level of elderly people in open and closed communities based on neighborhood space perception: a case study of downtown
- Chongqing[J]. *Landscape Architecture Academic Journal*, 2022, 39(8): 45-52.
- [13] 索健, 仲文, 滕敏伶, 等. 既有住区宅间环境对老年人活动的影响研究: 以大连为例[J]. *南方建筑*, 2022(2): 32-39.
- Suo Jian, Zhong Wen, Teng Minling, et al. Research on influences of residential environment on the activities of the elderly in China's existing residential areas: a case study based on Dalian[J]. *South Architecture*, 2022(2): 32-39.
- [14] 李正阳. 基于老年人行为的城市综合公园休闲活动空间包容性设计研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2018.
- Li Zhengyang. Research on inclusive design of leisure activity space in urban comprehensive park based on elderly activities[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2018.
- [15] 孔宇, 甄峰, 张姗姗. 基于手机数据的老年人流动网络特征研究: 以南京市为例[J]. *现代城市研究*, 2023(2): 45-52.
- Kong Yu, Zhen Feng, Zhang Shanqi. Research on the characteristics of the elderly flow network based on mobile phone data: a case study of Nanjing[J]. *Modern Urban Research*, 2023(2): 45-52.
- [16] 邹思聪, 张姗姗, 甄峰. 基于居民时空行为的社区日常活动空间测度及活力影响因素研究: 以南京市沙洲、南苑街道为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(4): 580-596.
- Zou Sicong, Zhang Shanqi, Zhen Feng. Measurement of community daily activity space and influencing factors of vitality based on residents' spatiotemporal behavior: taking Shazhou and Nanyuan Streets in Nanjing as examples[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(4): 580-596.
- [17] 李智轩, 甄峰, 张姗姗, 等. 老年人公交移动性的季节时空分异特征研究: 以安徽省芜湖市为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(2): 293-303.
- Li Zhixuan, Zhen Feng, Zhang Shanqi, et al. Seasonal and spatiotemporal differences in the public transport-based mobility of elderly population: a case study of Wuhu City in Anhui Province[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(2): 293-303.

(下转第36页)