

都市圈跨城通勤视角下择居偏好及融城空间格局研究*——以长株潭都市圈为例

The Impact of Residential Choice and the Optimization of Integrated City Patterns from the Perspective of Intercity Commuting: A Case Study of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Metropolitan Area

曾明哲 段香园 杨武亮 刘光霞 朱才华 ZENG Mingzhe, DUAN Xiangyuan, YANG Wuliang, LIU Guangxia, ZHU Caihua

摘 要 为准确理解都市圈跨城通勤者择居行为、优化都市圈融城空间结构,以长株潭都市圈为案例,建立融合多源数据的择居偏好分析及融城空间格局识别模型。利用多源数据提取跨城通勤基础特征及驱动因子,探究跨城通勤现象的空间分布特征;建立最优参数地理探测器模型,量化分析各因子对跨城通勤者居住地选择的影响机制;建立基于谱聚类算法的都市圈城市融城功能区识别方法,评估并优化都市圈空间格局发展。结果表明:(1)长株潭都市圈跨城通勤者居住地分布密度呈现南集聚北分散的多核心特征。(2)不同维度建成环境、经济等因素对跨城通勤者居住地选择的影响程度不一,其中区县GDP、距市界距离、小区均价、商业消费指标为核心驱动因子。(3)长株潭都市圈融城格局划分为6类功能区为最佳。

Abstract To accurately understand the residential choice activities of intercity commuters and optimize the integrated urban spatial structure, this study takes the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan metropolitan area as a case study. A model is developed to analyze residential preferences and delineate integrated urban spatial patterns by integrating multi-source data. It employs multi-source spatial data to extract the basic features and driving factors of intercity commuting. The study delves into the spatial distribution patterns of intercity commuting phenomena. Furthermore, an Optimal Parameter-based Geographical Detector (OPGD) model is established to quantify the impact mechanisms of various factors on the residential choices of inter-city commuters. A method for dividing the functionality of urban integration in metropolitan areas based on spectral clustering is also established to evaluate and optimize the spatial pattern development of the metropolitan area. The results show that: ①The distribution density of intercity commuters' residences exhibits a multi-core characteristic, with agglomeration in the south and dispersion in the north. ②Factors such as spatial environment and economy, across different dimensions, exert varying degrees of influence on the residential choices of intercity commuters. Among them, district GDP, distance from the municipal boundary, average housing prices in residential areas, and commercial consumption indicators are identified as the core driving factors. ③The optimal division of the urban integration pattern identifies six categories.

关 键 词 跨城通勤;居住地选择;空间格局;谱聚类;最优参数地理探测器;长株潭都市圈

Key words inter-city commuting; residential choice; spatial pattern; spectral clustering; optimal parameter-based geographical detector; Changsha-Zhuzhou-Xiangtan metropolitan area

文章编号 1673-8985 (2025) 05-0121-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20250516

作者简介

曾明哲

湖南省国土资源规划院 工程师,硕士

段香园

湖南省国土资源规划院

详细规划所技术总监,高级工程师,硕士

杨武亮

湖南省国土资源规划院

详细规划所副所长,高级工程师,硕士

刘光霞

湖南省国土资源规划院

详细规划所副所长,高级工程师,硕士

朱才华 (通信作者)

河南农业大学机电工程学院

讲师,博士, zhucaihua@chd.edu.cn

0 引言

现代多中心布局的城市空间结构及日渐完善的综合交通系统,促使职住空间关系跨越城市边界,在都市圈范围拓展^[1]。都市圈具备多城融合发展的资源调配等优势,《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》(2019)、《交通

*基金项目:湖南省自然科学基金项目“长株潭都市圈跨城通勤与土地利用时空耦合下的低碳协同发展研究”(编号2024JJ8349);湖南省自然资源厅科技计划项目“空间价值在国土空间详细规划层面的转化与测度路径研究”(编号20240118GH)资助。

强国建设纲要》(2019)等国家政策性文件均指出都市圈内1小时通勤圈建设目标,跨城通勤成为都市圈城市协同发展的重要组成部分,是城市间功能联系关联网络发展水平的直接体现^[2-3],是衡量都市圈一体化发展程度的评价标准^[4]。开展都市圈跨城通勤特征和机理分析,有利于综合交通规划与国土空间规划的协调,有利于应对跨城通勤引起的职住分离、远距离出行等问题,有利于进一步优化城市空间结构提高通勤效率,促进一体化发展^{[5]106, [6]}。

都市圈跨城通勤特征研究与单一城市内通勤有着巨大的不同,而跨城通勤者作为其中的主角,该群体的空间分布、流动特征、职住选择等值得深入研究。针对跨城通勤现象,目前研究前沿主要聚焦于两个议题,一是基于流动空间理论^[7-8],以跨城通勤时空特征反推或重构城市群空间结构,二是基于跨城通勤行为理论^[9-10],分析各类城市空间建成环境因子与跨城通勤行为之间的交互作用机制。跨城通勤出行主要反映工作地和居住地的空间分布模式^[11],该职住选择行为与都市圈国土空间布局相关因素联系密切、相互促进,就业地选择更多为市场驱动下的劳动力集聚现象,而居住地选择行为中个人决策主观意愿更强烈^[12],受区域特征条件影响更显著。当前职住影响分析多针对全体通勤者,而跨城通勤等长距离通勤者因职住分离特点显著,其对于职住空间的选择会存在不同的考量,且影响因素与作用机制具有明显的地域特征^{[13]245-246}。由于国内各城市群、都市圈发展水平、功能定位的差异,其跨城通勤者亦会存在明显的偏好差异^{[14]842},因此分析跨城通勤者居住地选择行为十分必要。

既有相关研究方法呈现多样化的特点,常基于交通智能刷卡数据、手机信令数据、问卷调查数据、轨迹数据、POI数据等开展通勤职住空间研究,运用偏最小二乘法结构方程模型、地理加权模型、逻辑回归模型、地理探测器模型等技术手段^{[5]107, [13]243, [15-16]}挖掘通勤行为与空间、人因等属性的深度关系,其中地理探测器模型能有效避免影响因素之间的共线性问题,但其易忽略空间变量的空间相关性和

可塑性面积单元问题,因此本文建立最优参数地理探测器模型 (Optimal Parameter-based Geographical Detector, OPGD),对传统的地理探测器模型进行参数优化,以此有效解决空间数据的尺度效应和分区效应^[17]。都市圈国土空间规划中大多依据综合人口分布特征及规模,配置公共服务设施等,忽略了跨城活动性人口的差异化需求,产生了服务供需不平衡现象^[18],因此亟需针对跨城通勤者需求特征对都市圈国土空间格局进行评估及优化。

2022年2月,《长株潭都市圈发展规划》获国家发展改革委批复,其一体化战略历经数十年的实践,已成为支撑全省现代化建设和全方位开放的重大举措,长株潭三市沿湘江呈“品”字形分布。目前长株潭都市圈在城际铁路、高速公路、城际干道等融城设施建设上取得一定成效,正处于一体化高速发展时期,已逐渐形成规模显著、频率较高的跨城通勤现象。

综上所述,本文以长株潭都市圈为例,立足跨城通勤特征,聚焦以个人主观决策为主导的居住地选择行为,探索跨城通勤者居住地选择影响因子,基于跨城通勤视角对都市圈融城功能空间格局进行划分评估并提出优化策略。考量跨城通勤者差异性需求,为都市圈空间格局优化、交通设施一体化建设提供支撑。利用百度位置服务数据、POI、房价、OSM交通网等多源空间数据,利用ArcGIS空间分析工具分析跨城通勤空间分布特点,厘清相关空间驱动因子。建立OPGD模型对驱动力进行探测,揭示城市建成环境、经济等因子的单一及交互影响机制,并建立基于谱聚类算法的都市圈功能格局识别与优化模型。

1 研究设计

1.1 研究区域

长株潭都市圈包括长沙市全域、株洲市中心城区及醴陵市、湘潭市中心城区及韶山市和湘潭县,总面积1.89万km²。依据长株潭三市各区县现状城镇建设区域接壤情况及人口流动廊道现状,本文主要以三市市本级、湘潭县、长沙县的主城区为重点都市区研究范围,

如图1所示。

1.2 研究数据

1.2.1 跨城通勤数据

本文跨城通勤数据来源于2022年5月百度运营公司提供的定位服务数据,通过观测一段时间内同一用户的稳定停留点,并结合时间维度等属性识别出用户的职住地分布,并将个体通勤信息集计到100 m×100 m的空间网格内,包含职住地经纬度坐标、通勤人数、常住人口等属性,本文以职住地坐标是否在不同城市为条件筛选得到长株潭都市圈跨城通勤数据。因百度数据为抽样数据,利用2023年统计年鉴内常住人口数据对其抽样合理性进行验证。以区县为统计单位,对百度数据识别的常住人口与统计年鉴常住人口进行spearman相关性分析,两组人口数据通过显著性检验,spearman相关系数为0.866,认为百度数据抽样分布均衡,可用于分析都市圈整体特征。

1.2.2 驱动因子数据

根据以往研究,城市建成环境、经济、空间位置等是影响居民通勤行为的关键因子^[19],本文结合长株潭都市圈特点,利用POI数据、道路网络数据、轨道交通站点数据、小区房价数据、GDP、行政区矢量数据等,通过划分渔网对空间数据进行统计,计算驱动因子如下。

①POI数据基于百度地图开发平台获取,依据行业分类划分6大类指标,包括生活休闲指标、商业消费指标、工作便利指标、教育便利



图1 长株潭都市圈及都市区研究范围示意图
Fig.1 Schematic diagram of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration and metropolitan area
资料来源:笔者自绘,底图审图号:GS (2024) 0650号。

指标、医疗便利指标、旅游便利指标;②交通网络数据来源于OpenStreetMap开源地图,其中由于高速公路的封闭管理模式,只计入其互通部分;③小区房价数据来源于安居客网站,利用Python语言网络爬虫获取三市小区均价,并集计于网格内;④利用各市县2023年统计年鉴,获取区县GDP及人均GDP数据;⑤通过国家地理信息平台下载长株潭各级行政区矢量数据(见表1)。

1.3 研究方法

1.3.1 谱聚类

谱聚类基于图论和线性代数技术,相比传统聚类算法,其优势在于全面考虑地理空间要素的全局拓扑结构,不局限于局部信息;对噪声数据有较强的鲁棒性,计算复杂度较低。因此,本文采用谱聚类算法对地理探测器进行参数优化及对跨城通勤视角下的都市圈城市空间功能结构进行划分。

采用基于K最近邻亲和图的Ng-Jordan-Weiss谱聚类算法^[20],聚类数为k,主要包含以下两个阶段:①应用数据集构建亲和图K,②对亲和图进行最优分割,从而对数据进行聚类。

亲和图为无向图,表示为K(Z,E,W),其中E为边,Z=(z₁,z₂,⋯,z_n)为顶点,W为亲和图权重邻接矩阵,w_{ij}为边e_{ij}对应的非负权重,即为

样本x_i和x_j之间的亲和度。可用W代表亲和图,并利用高斯相似度计算w_{ij}如下,σ为标准差。

$$w_{i,j} = \exp\left(\frac{-\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)$$
 (1)

$$W = [w_{i,j}]$$
 (2)

亲和图的Laplacian矩阵L计算如下,其中D为对角矩阵,其对角线元素为d_{ij},并对L进行标准化处理得到L_{sym}。

$$L = D - W$$
 (3)

$$d_{i,j} = \sum_{j=1}^n w_{i,j}$$
 (4)

$$L_{sym} = D^{1/2} L D^{1/2}$$
 (5)

计算L_{sym}前k个特征向量值u₁, u₂, ⋯, u_k,以特征向量值为列构建矩阵U∈R^{n×k},并进行标准化处理得到T∈R^{n×k},以矩阵T的行向量y_i∈R^k(i=1,2,⋯,n)作为数据集,并由K-means算法进行聚类并映射回原始数据空间,最终输出聚类结果A₁, A₂, ⋯, A_k, A_i={j|y_j∈C_i}。

1.3.2 最优参数地理探测器(OPGD)

地理探测器是通过分析地理空间分异性,探测地理空间驱动因子及其驱动机制的统计学方法^{[21][17]},该方法能有效免疫自变量多重共线性问题。本文在传统方法基础上引

入谱聚类算法对驱动因子进行分类,并增加参数优化模块,以此建立OPGD模型。参数优化以模型空间分异可解释度q值最大为标准,确定数据的最佳空间统计尺度以及最佳聚类数,有效解决传统方法应对空间数据尺度效应和分区效应上的不足。主要利用其因子探测、交互探测模块,分析都市圈跨城通勤者居住地选择的驱动因子以及不同因子之间的交互效用。

因子探测模块可量化分析各驱动因子对因变量Y空间分异的解释程度q(0≤q≤1),越接近1,表明该因子对跨城通勤者居住地选择的影响越强,反之越弱,其计算如下:

$$q = 1 - \frac{SSW}{SST}$$
 (6)

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2$$
 (7)

$$SST = N \sigma^2$$
 (8)

式中:h为因变量Y的类别;L为因变量Y或驱动因子X的分类数;N_h和N分别是类别h和总体的样本数;σ_h²和σ²分别是类别h和总体的方差。

交互探测模块分析不同驱动因子叠加产生的交互作用,并与单一因子进行比较,评估交互影响是否会增强或减弱对因变量Y的解释度,交互作用类型如表2所示。

2 研究结果

2.1 跨城通勤者空间分布

长株潭都市圈跨城通勤流动情况如图2所示。跨城通勤行为集中在三市邻界的几个区县之间,主要发生在岳麓区—雨湖区、岳麓区—岳塘区、天心区—岳塘区、雨花区—雨湖区、雨花区—岳塘区、雨花区—石峰区、湘潭县—天元区等区县之间。

识别出的长株潭三市跨城通勤者居住人数分别为27 566人、20 742人、17 020人,分别占总量的42.20%、31.75%、26.05%。长株潭都市圈跨城通勤者居住地分布热力图如图3所示,呈现多核心格局,跨城通勤者在

表1 驱动因子一览表

Tab.1 List of driving factors

序号	驱动因子	来源与计算	备注
1	教育便利指标		含中学、小学、幼儿园等
2	工作便利指标		含公司企业、产业园、工业大楼等
3	医疗便利指标		含专科医院、急救中心、综合医院等
4	商业消费指标	1)百度地图开发平台POI数据; 2)ArcGIS核密度计算	含购物消费、餐饮美食等
5	生活休闲指标		含休闲娱乐、洗浴推拿、美容理发、电信营业厅、运动健身等
6	旅游便利指标		含旅游景点等
7	小区均价	安居客网站	二手房数据
8	路网加权密度	1)OpenStreetMap开源地图; 2)结合道路等级利用设计时速对	含高速公路互通(权重100)、快速路(权重80)、主干路(权重60)、次干路(权重40)、支路(权重20)等
9	距轨道站点距离	路网加权; 3)ArcGIS距离计算工具	含城际站点、城市轨道交通站点
10	区县GDP	1)市县2023统计年鉴;	—
11	人均GDP	2)人均GDP=区县GDP/常住人口	
12	距市界距离	1)国家地理信息平台; 2)ArcGIS距离计算工具	底图审图号:GS(2024)0650号

资料来源:笔者自制。

湘潭、株洲两市市区分布更为集中,长沙市区虽分布着最多的跨城通勤者,但集聚性相对较低。依据图2与图3分析情况,本文所选重点都市区研究范围囊括了大部分跨城通勤者特征,研究范围合理。

2.2 地理探测分析结果

2.2.1 参数优化

将影响跨城通勤者居住地选择的驱动因子空间尺度集计为0.1 km、0.5 km、1.0 km、2.0 km、3.0 km,探测结果如图4所示,通过q值比优,q值的90%分位数在0.5 km时达到最大,因此确定500 m×500 m为最佳空间尺度,对空间数据进行集计。此外,利用谱聚类算法将驱动因子划分为3—8类,探测结果如图5所示,将旅游便利指标、距轨道站点距离指标划分为5类使结果达到最优,将小区均价、路网加权密度、医疗便利指标、商业消费指标、距市界距离、区县GDP、人均GDP指标划分为6类使结果达到最优,将教育便利指标、工作便

利指标、生活休闲指标划分为7类使结果达到最优。由此将各特征因子连续数据对应划分为5—7类离散数据后,再代入地理探测器模型进行分析。

2.2.2 跨城通勤居住地选择因子探测分析

基于网格化跨城通勤者集计数据及所选取的城市空间发展指标,探索都市圈跨城通勤者居住地选择的影响因素。利用OPGD探测12个驱动因子对长株潭都市圈跨城通勤者居住地选择空间分异驱动力q值和显著性p值。q值越高,表明该因子对其解释度越高。探测结果如表3所示,12个驱动因子p值均低于0.001,通过显著性检验,表明本文所选的驱动因子均对跨城通勤者居住地选择存在显著影响。依据q值,不同因子之间的解释度存在明显差异。

区县GDP、距市界距离、小区均价、商业消费指数的q值排在前4,是影响跨城通勤者居住地选择的核心驱动因子。其中区县GDP的解释力最强,q值为0.484,表明区域经济条件对跨城通勤者居住地选择影响较大,且由居住地分布热力图看出跨城通勤者居住地在湘潭、株洲两市分布较为集中,在长沙分布相对分散,而长沙与株洲、湘潭两市间区县的GDP差异较大,这些现象进一步加大了区县GDP在模型计算中的影响效用。相比人均GDP的q值0.259,说明跨城通勤者更加关注区县整体的经济发展情况。距市界距离指标q值为0.406,仅次于GDP指标,跨城通勤者更愿意居住在离其他市更近的区域,这是对自身通勤距离与时间的实际考虑,也与株洲、湘潭跨城通勤居住分布较为集中且两市区距离较近等空

表2 双因子交互作用类型
Tab.2 Table of two-factor interaction types

交互作用	判定标准
非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$
单因子减弱	$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$
双因子增强	$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$
独立	$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$
非线性增强	$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$

资料来源:参考文献[21]118。

表3 跨城通勤者居住地选择驱动因子探测结果
Tab.3 The detection results of driving factors influencing the residential choice of intercity commuters

因子编号	驱动因子	q_statistic	p_value
X ₁	小区均价	0.387	0.000
X ₂	路网加权密度	0.183	0.000
X ₃	教育便利指标	0.220	0.000
X ₄	工作便利指标	0.041	0.000
X ₅	医疗便利指标	0.152	0.000
X ₆	商业消费指标	0.307	0.000
X ₇	生活休闲指标	0.162	0.000
X ₈	旅游便利指标	0.096	0.000
X ₉	距轨道站点距离	0.152	0.000
X ₁₀	距市界距离	0.406	0.000
X ₁₁	区县GDP	0.484	0.000
X ₁₂	人均GDP	0.259	0.000

资料来源:笔者自制。



图2 长株潭都市圈跨城通勤OD图
Fig.2 OD map of intercity commuting in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan metropolitan area
资料来源:笔者自制,底图审图号:GS(2024)0650号。

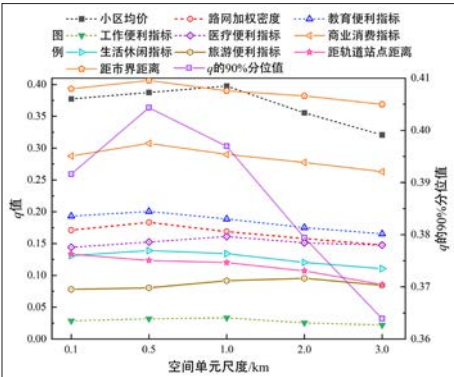


图4 基于OPGD可解释度的空间尺度优化
Fig.4 Spatial scale optimization based on the interpretability of OPGD
资料来源:笔者自制。

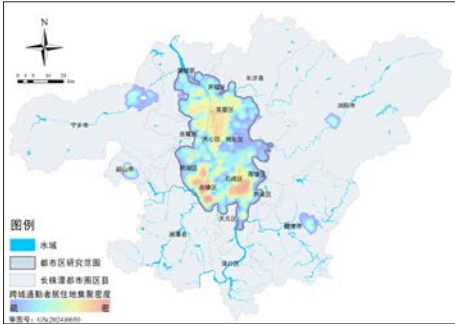


图3 长株潭都市圈跨城通勤者居住地分布热力图
Fig.3 Residence distribution heat map of intercity commuters in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan metropolitan area
资料来源:笔者自制,底图审图号:GS(2024)0650号。

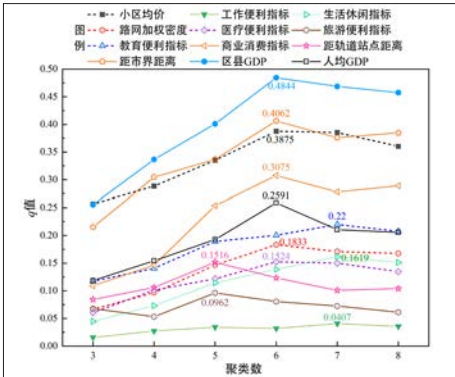


图5 基于OPGD可解释度的聚类数优化
Fig.5 Cluster number optimization based on the interpretability of OPGD
资料来源:笔者自制。

间现状有关。小区均价指标 q 值为0.387,说明较多的跨城通勤者会充分考虑房价、租房价格而选择跨城居住^{[14]847}。商业消费指标、教育便利指标解释度 q 值大于0.200,也具有较明显的影响力,说明跨城通勤者选择居住地时亦会着重考虑学区及周边购物、餐饮等消费设施的便利度。

其余如路网加权密度、生活休闲指标、医疗便利指标、距轨道站点距离等 q 值在0.100至0.200之间,不是跨城通勤者选择居所的首要考量因素。考虑到本文针对跨城通勤者,而长株潭三市路网密度、轨道交通布局存在发展不均衡性,尤其是湘潭、株洲两市轨道交通发展较为滞后,因此,对于常理中会显著影响通勤行为的交通性指标^{[5]110}在本文计算结果中 q 值相对偏低,这也是目前长株潭都市圈融城发展初期阶段的直接特征之一。旅游便利指标、工作便利指标虽也通过了显著性检验,但对跨城通勤者择居的解释力度相对较低,跨城通勤者本就居住异地,且择居多为刚性需求,因此较少会选择企业、产业园集中地区和旅游景点附近居住。

总体上看,对于长株潭都市圈跨城通勤者择居影响较大的依次是经济条件>通勤距离>商业设施>教育设施>交通医疗生活设施>旅游工作设施,这与已有研究结论相符^[22-23]。

2.2.3 跨城通勤居住地选择因子交互探测分析

为了探测不同驱动因子之间的交互影响,利用OPGD交互探测模块分别对影响跨城通勤者居住选择的12个指标进行两两交互探测,结果如图6所示。通过交互探测发现,本文所选不同因子间均存在正向交互作用,表现为双因子增强或非线性增强,即两两因子之间的交互作用强度大于单因子的作用,会强化对择居行为的解释。这进一步量化并证明跨城通勤者居住地分异并非简单地受单一影响因素决定,不同因子的交互作用共同影响择居空间分异特性。

因子交互解释度较高的指标主要集中在距市界距离、区县GDP、商业消费、生活休闲

等指标之间,解释度最高的为距市界距离 \cap 商业消费、距市界距离 \cap 生活休闲、区县GDP \cap 商业消费3组交互指标, q 值大于0.800,说明在三市邻界区域,商业消费、生活休闲便利度高的最能吸引跨城通勤者居住,尤其是生活休闲指标单因子解释度偏低,但与距市界距离、区县GDP产生交互作用时,影响效用显著增强。

2.3 都市圈融城格局评估与优化

经济、交通、配套设施等因子不仅深刻影响着跨城通勤者选择居住地,更是理解都市圈内部人口流动和空间结构关系的重要依据,映射出都市圈各区域功能特性的差异化与协同性特征。都市圈不同城市片区处于不同的融城发展进程、承担着不同功能定位要求,本节旨在通过科学的空间划分方法,进一步明晰都市圈各功能区的特色与定位,探讨针对不同功能区的差异化融城优化策略,促进都市圈融城发展。

2.3.1 都市圈融城功能区划分数目选择

跨城通勤者是都市圈融城发展活力的重要体现,是都市圈融城功能布局的重点服务对象,因此以跨城通勤者择居需求为视角,选择OPGD模型中单因子 q 值大于0.100的空间、经济要素作为都市圈空间功能的界定标准,划分都市圈融城发展差异化功能片区。

首先确定最佳的都市圈融城功能区划分数目,利用谱聚类算法对选取的要素进行聚类,并计算聚类评价指标Silhouette Coefficient、Calinski-Harabaz Index,如图7所示,当聚类数为6时,两类评价指标达到最大值,聚类效果达到最优,即将都市圈融城功能片区划分为6类为最佳。

2.3.2 融城功能区界定与指标评估

长株潭都市区空间划分为6大功能区,6大功能区聚类指标标准化聚类中心分布如图8所示,并采用两个指标评估各功能区跨城通勤特征,其中平均跨城通勤人数代表该功能区内各网格单元平均跨城通勤者居住数量、跨城通勤占总通勤比例代表功能区内跨城通勤人数占总通勤人数的比例。经统计,第1至第6类

功能区中所包含的网格数比例分别为6.5%、26.3%、17.2%、12.5%、8.4%、29.1%。

可以看出,跨城通勤者在功能区3、功能区6内居住最为密集,两个功能区面积占都市区总面积的46.30%,但居住着67.64%的跨城通勤者。功能区2、4、5为跨城通勤者次要集聚区,功能区1为跨城通勤者零散集聚区。同样,功能区3、6的跨城通勤占总通勤比例显著高于其他功能区,表明二者为都市圈融城发展标兵。而功能区2、5、4虽然跨城通勤者集聚度适中,但其跨城通勤占总通勤比与功能区1差异不大,表明功能区2、5、4内有着庞大的通勤者基数,但跨城发展对其内居民的吸引力远低于功能区3、6,具有较高的融城建设潜力待发掘。

图9a为6大功能区的空间位置分布图,图

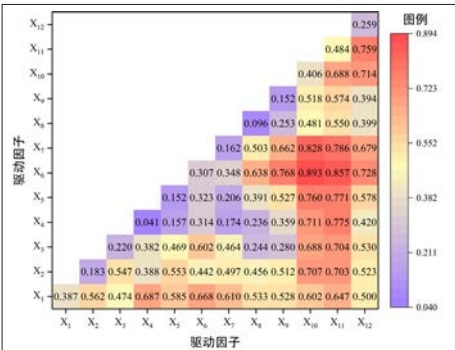


图6 跨城通勤者居住地选择驱动因子交互探测结果热力图

Fig.6 Heat map of interaction detection results for driving factors of intercity commuters' residential location choice
资料来源:笔者自绘。

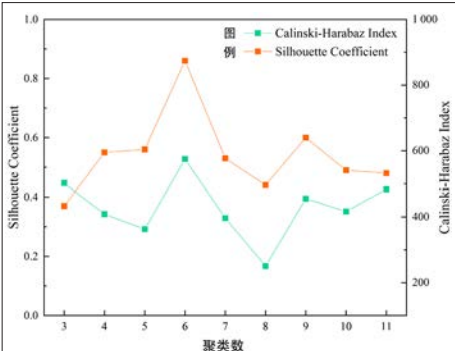


图7 都市圈功能片区划分类别数选择
Fig.7 The number of clusters for dividing functional areas in the metropolitan area
资料来源:笔者自绘。

中三市间功能空白区域主要为长株潭绿心范围内的生态发展区,本文仅对绿心内的集中城镇建设区进行功能区划分。

图9b-图9i为各项评估指标的空间分布图。功能区1位于长沙城区西北边角地带,各项配套设施评估指标都很低,且距轨道站点、市界均较远,房价偏高,不适宜跨城通勤者居住,界定为远郊通勤联系区。功能区2为长沙核心城区外围环形区域,经济、交通、配套设施条件均较好,房价最高,距市界距离适中,界定为外环融城潜力区。功能区3主要为湘潭、株洲城区及长沙南城边缘地段,各项配套设施评估指标基本处于最低水平,且距离轨道站点较远,但房价最低、距市界最近。该区域居住成本及跨城通勤成本较低,集中居住着大量跨城通勤者,界定为融城重点建设区。功能区4主要位于长沙城区东北部,市内交通条件优越,配套设施指标适中,但距市界较远,界定为城际功能提升区。功能区5为长沙城区核心区,人均经济条件最好,各项配套设施指标、交通条件最为优秀,距市界距离适中,界定为更新发展核心区。功能区6为湘潭、株洲城区中心区及长沙南部重点建设片区,各项配套设施评估指标适中,房价处于最低水平,距轨道站点距离适中,距市界较近,集中居住着大量跨城通勤者,界定为融城引领优化区。

2.3.3 融城空间格局优化分析

依据各功能区的功能定位及其各项评价指标强弱分析,提出相应的空间优化策略。功能区1:远郊通勤联系区。距长株潭三市市界最远的长沙城区,距离株洲、湘潭城区约35 km,跨城通勤者零散分布,融城功能性较弱,规划

上应加强该区域与城际交通节点的可达性,提高跨城通勤效率,建议完善教育、医疗、消费、生活水平,提高远郊居住幸福感,并统筹考虑周边产业空间布局,促进职住平衡,抑制极端通勤现象的增长。功能区2:外环融城潜力区。为长沙市核心城区外圈,与市界距离适中,其完善的基础设施和交通条件,吸引了较多的跨城通勤者择居,区域广阔,在融城发展方面具备较大潜力。规划上应充分利用现有发达的市内交通通行条件,进一步加强市内交通与城际交通的衔接。功能区3:融城重点建设区。主要包括湘潭、株洲中心城区边缘地带,当前基础设施建设水平滞后,生活品质不佳,但仍为跨城通勤者核心居住区域之一。因此其应作为都市圈融城发展的近期重点建设区域,加强路网建设,规划新增城际轨道交通,加强公共服务设施建设投入,在拉近跨城通勤距离的同时进一步提升择居吸引力。功能区4:城际功能提升区。整体位于都市圈北部,有相对完善的交通、公共服务设施,为跨城通勤者次要集聚区。但该区域距湘潭、株洲城区较远,为典型的中长距离通勤区,当前主要通过高速公路进行城际联系,规划应着重加强该区域的直接城际联系功能,加强长株城际等城际轨道交通建设引领,缩短通勤耗时。功能区5:更新发展核心区。长沙市繁华地段具备最丰富的交通、公共服务设施资源,受跨城通勤者青睐,规划重点考虑老城区的更新建设,提质既有设施资源,提升居住品质,打造都市圈核心城市发展标杆。功能区6:融城引领优化区。跨城通勤者最为集中的区域,在融城发展及城市建设方面均已取得一定成效。位于三市交界处,“一座城”

建设理念的示范区,肩负着辐射引领长株潭一体化发展的重大使命。应强化规划引领和全局统筹,加强城市路网建设,推进三市城际道路的融通,加密既有城际轨道交通站点,引进高品质教育、医疗资源,吸纳多元消费、生活设施布局,实现资源共建共享。

长株潭都市圈中心体系网络发展尚不健全,株洲、湘潭远落后于长沙市发展,仍处于长沙极核虹吸发展阶段。在空间格局优化上,应注重实现公共服务设施的均衡配置与高品质互联互通,加强一体化协同建设,推动中心体系从“职能竞争、等级分明、传导封闭”向“职能互补、扁平合作、开放共赢”的格局演变。加强三市城镇空间的适度集约,尤其针对融城核心区,考虑发达区域教育、医疗、休闲等公共资源的溢出效应,引导周边城市生活空间的优化调控。交通是都市圈高质量发展的“先行官”,应着力实现1小时通勤圈建设的纽带。补齐城际和市域郊铁路短板,构建三市“零换乘”的轨道交通圈,发挥轨道交通骨干带动作用。统筹规划三市内外路网,实现内部路网与城际路网互联,提质融城农村公路体系。优化都市圈融城公共交通系统,充分利用湘江湾区独特优势,开发多样化水上城际通勤服务。

3 结论与讨论

本文以长株潭都市圈为研究案例,整合多源数据,分析都市圈内以个人主观决策为主导的跨城通勤者居住地选择空间分异格局,建立OPGD探究城市建成环境等因子对跨城通勤者择居的影响,进而依据显著因子基于谱聚类算法对都市圈城市功能区进行划分。主要结论如下:

(1) 长株潭都市圈跨城通勤现象主要发生在邻近三市市界的几个区县之间,且跨城通勤者居住地主要分布在三市都市区范围内,周围县域零散分布。都市区内跨城通勤居住密度整体呈现南高北低多核心格局,长沙市区跨城通勤者居住总数最多,但在株洲、湘潭的分布集聚性更高。

(2) 本文所选12个驱动因子均对跨城通

a 聚类指标分布										功能区类别	b 跨城通勤特征	
小区均价	路网加权密度	教育	医疗	消费	生活	距轨道站点距离	距市界距离	区县GDP	人均GDP		平均跨城通勤人数	跨城通勤占总通勤比例
0.206	0.307	0.134	0.044	0.073	0.064	0.472	0.791	0.325	0.252	1	6	1.24%
0.296	0.602	0.517	0.216	0.188	0.196	0.065	0.468	0.568	0.165	2	17	1.38%
0.100	0.348	0.123	0.051	0.084	0.068	0.451	0.174	0.179	0.327	3	36	5.88%
0.194	0.471	0.254	0.084	0.145	0.151	0.100	0.689	0.831	0.510	4	12	0.93%
0.229	0.667	0.887	0.576	0.461	0.397	0.039	0.548	0.456	0.882	5	20	1.20%
0.105	0.264	0.221	0.138	0.140	0.128	0.192	0.195	0.150	0.466	6	38	4.20%

图8 都市圈各功能区指标分布图
Fig.8 Distribution map of indicators for various functional areas in the metropolitan area

资料来源:笔者自绘。

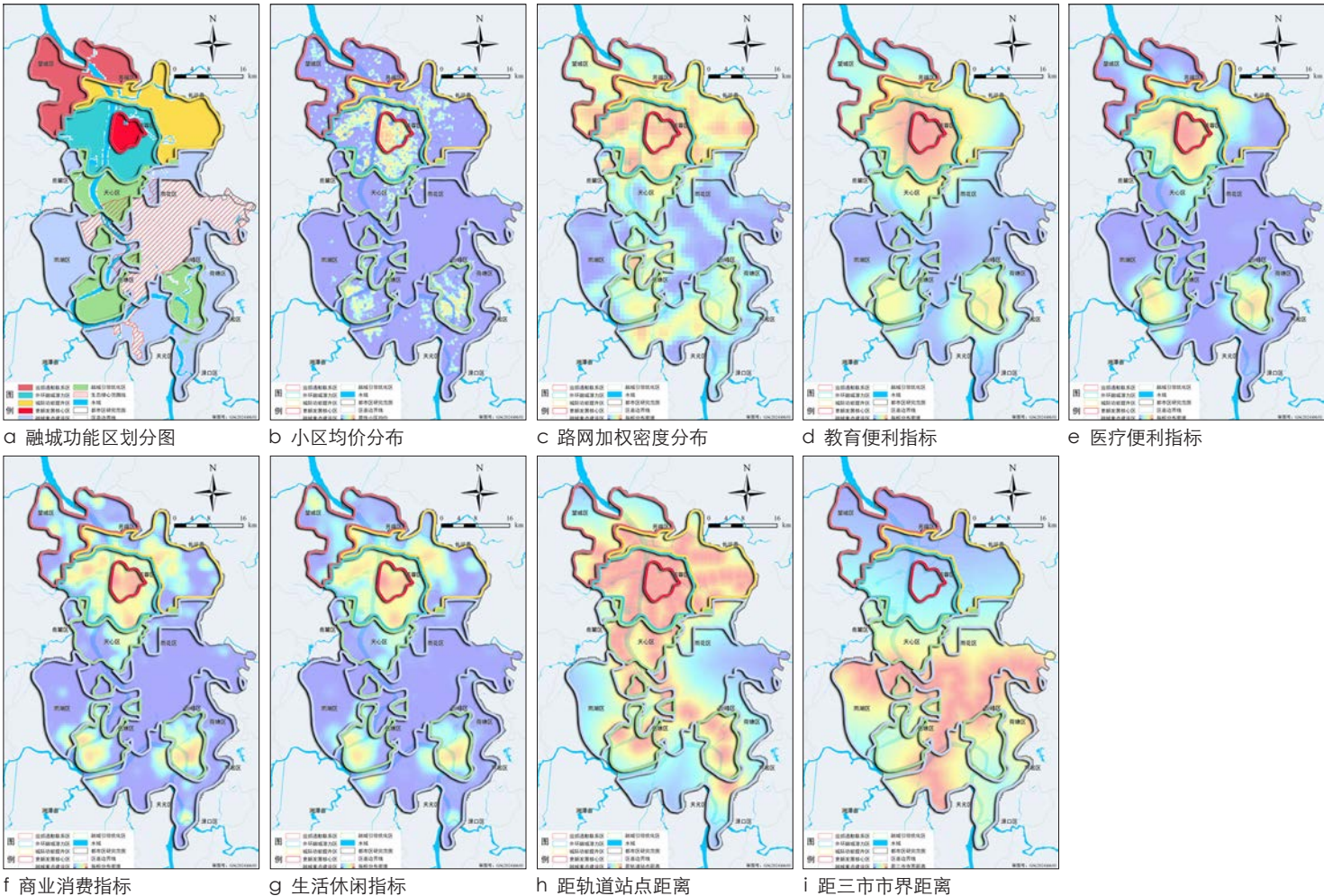


图9 都市区融城功能区划分及各指标分布图
 Fig.9 The division of functional areas and the distribution of each index in the metropolitan area

资料来源：笔者自绘，底图审图号：GS（2024）0650号。

勤择居有着显著影响，其中区县GDP、距市界距离、小区均价、商业消费指标为影响跨城通勤者择居的核心驱动因子；人均GDP、教育、生活休闲、医疗、路网加权密度、距轨道站点距离等为次要驱动因子；旅游、工作便利指标对跨城通勤者择居的解释度较低。

(3) 不同城市建成环境、经济条件等因子间的交互作用强化了对跨城通勤者择居选择空间布局的解释度，多呈现明显的双因子增强效应。以距市界距离、区县GDP、商业消费、生活便利等指标之间的交互效应最强，说明在三市交界或经济发达地区，商业消费、生活休闲设施便利度高的区域最能吸引跨城通勤者居住。

(4) 依据OPGD模型筛选重要空间特征，建立基于谱聚类的都市圈城市融城功能区划分方法，将长株潭都市圈研究区划分为远郊通勤联系区、外环融城潜力区、融城重点建设区、城际功能提升区、更新发展核心区、融城引领优化区，各区域空间分布及指标分布差异明显且特征显著，表明该方法能有效划分都市圈融城功能区。针对不同功能区特点，评估长株潭都市圈融城发展水平并提出空间格局优化建议。

本文立足于跨城通勤者人本视角，解析城际流动人口与国土空间的耦合关系，并进行都市圈尺度的国土空间优化与协调发展探索。同时，本文尚存在一些不足，一方面暂未考虑

跨城通勤者自身社会经济属性，且职住关系中尚未考虑“职”与空间格局的关系；其次都市圈发展受政策、管理影响显著，后续研究可进一步探索综合视角下的都市圈空间格局评估优化策略。

参考文献 References

[1] SALAS-OLMEDO M H, NOGUÉS S. Analysis of commuting needs using graph theory and census data: a comparison between two medium-sized

- cities in the UK[J]. *Applied Geography*, 2012, 35(1): 132-141.
- [2] 张艺帅, 赵民. 我国都市圈的空间界定、特征解析及分类探讨[J]. *城市规划学刊*, 2023 (2): 67-76.
- ZHANG Yishuai, ZHAO Min. Spatial delineation, characteristics analysis, and classification of China's metropolitan regions[J]. *Urban Planning Forum*, 2023(2): 67-76.
- [3] 钮心毅, 王焱, 刘嘉伟, 等. 基于跨城功能联系的上海都市圈空间结构研究[J]. *城市规划学刊*, 2018 (5): 80-87.
- NIU Xinyi, WANG Yao, LIU Jiawei, et al. Spatial structure of Shanghai conurbation area from perspective of inter-city functional links[J]. *Urban Planning Forum*, 2018(5): 80-87.
- [4] MACKUN P. 2020 Standards for delineating core based statistical areas[EB/OL]. (2021-07-16) [2025-01-08]. <https://www.federalregister.gov/d/2021-15159>.
- [5] 林雄斌, 卢源. 都市区跨区域通勤特征与影响因素研究——以京津城际高铁为例[J]. *城市规划*, 2021, 45 (12): 104-113.
- LIN Xiongbin, LU Yuan. Intercity commuting in China's metropolitan area: the case of Beijing-Tianjin intercity high-speed railway[J]. *City Planning Review*, 2021, 45(12): 104-113.
- [6] 王睿, 柯嘉, 张赫. 基于职住分离的超大特大城市交通拥堵碳排放机理研究——以天津市“郊区城职”现象为例[J]. *上海城市规划*, 2023 (6): 33-39.
- WANG Rui, KE Jia, ZHANG He. The carbon emission mechanism of traffic congestion in mega cities caused by job-housing imbalance: a case study of commuting behavior from suburban housing to urban workplaces in Tianjin[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2023(6): 33-39.
- [7] 赵鹏军, 胡昊宇, 海晓东, 等. 基于手机信令数据的城市群地区都市圈空间范围多维识别——以京津冀为例[J]. *城市发展研究*, 2019, 26 (9): 69-79.
- ZHAO Pengjun, HU Haoyu, HAI Xiaodong, et al. Identifying metropolitan edge in city clusters region using mobile phone data: a case study of Jing-Jin-Ji[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(9): 69-79.
- [8] 郭亮, 彭雨晴, 张彪, 等. 交通与土地利用要素供给对通勤圈空间特征的协同优化机制——以武汉市为例[J]. *现代城市研究*, 2024 (4): 117-124.
- GUO Liang, PENG Yuqing, ZHANG Biao, et al. Synergistic optimization mechanism of transportation and land use factor supply on the spatial characteristics of commuting circle: a case study of Wuhan[J]. *Modern Urban Research*, 2024(4): 117-124.
- [9] LIU X, XIA H. Networking and sustainable development of urban spatial planning: influence of rail transit[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 99: 104865.
- [10] YU M, FAN W. Accessibility impact of future high speed rail corridor on the Piedmont Atlantic mega region[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 73: 1-12.
- [11] ZHOU J, MURPHY E, LONG Y. Commuting efficiency in the Beijing metropolitan area: an exploration combining smartcard and travel survey data[J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 41: 175-183.
- [12] 王焱, 钮心毅, 李志鹏. 苏沪跨城通勤的影响因素与作用机制初探[J]. *城市规划*, 2023, 47 (2): 58-66.
- WANG Yao, NIU Xinyi, LI Zhipeng. A preliminary study on the influencing factors and mechanism of inter-city commuting between Suzhou and Shanghai[J]. *City Planning Review*, 2023, 47(2): 58-66.
- [13] VINCENT-GESLIN S, RAVALET E. Determinants of extreme commuting. Evidence from Brussels, Geneva and Lyon[J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 54: 240-247.
- [14] 张纯, 马畅. 基于租房数据的京津冀城市群跨城通勤特征及影响因素研究[J]. *地理科学进展*, 2024, 43 (5): 841-853.
- ZHANG Chun, MA Chang. Characteristics of inter-city commuting and influencing factors in the Beijing-Tianjin-Hebei mega-region based on housing rental data[J]. *Progress in Geography*, 2024, 43(5): 841-853.
- [15] 杨舒, 毛保华, 许奇, 等. 票价水平对地铁乘客通勤出行的影响[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21 (23): 10068-10073.
- YANG Shu, MAO Baohua, XU Qi, et al. The impact of fare levels on commuter travel on the metro[J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21(23): 10068-10073.
- [16] 赵晖, 张纯, 梁晓红, 等. 基于GIS空间融合技术的北京都市圈空间识别及通勤率特征研究[J]. *上海城市规划*, 2023 (6): 55-60.
- ZHAO Hui, ZHANG Chun, LIANG Xiaohong, et al. Beijing metropolitan area spatial boundary identification and commuting rate characteristics based on spatial merge techniques[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2023(6): 55-60.
- [17] SONG Y, WANG J, GE Y, et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: cases with different types of spatial data[J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2020, 57(5): 593-610.
- [18] 席广亮, 甄峰, 方创琳, 等. 形流融合视角的都市圈国土空间优化与协调发展[J]. *地理学报*, 2025, 80 (2): 272-287.
- XI Guangliang, ZHEN Feng, FANG Chuanglin, et al. Territorial spatial optimization and coordinated development of metropolitan regions from the perspective of "form-flow integration"[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2025, 80(2): 272-287.
- [19] 邵海雁, 靳诚, 钟业喜, 等. 海口城市建成环境对高峰期网约车通勤出行的影响——基于滴滴出行数据[J]. *人文地理*, 2022, 37 (5): 130-139.
- SHAO Haiyan, JIN Cheng, ZHONG Yexi, et al. The impact of Haikou's urban built environment on online car-hailing commuting during peak hours: based on Didi travel data[J]. *Human Geography*, 2022, 37(5): 130-139.
- [20] 商强, 林赐云, 杨兆升, 等. 基于谱聚类与RS-KNN的城市快速路交通状态判别[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2017, 45 (6): 52-58.
- SHANG Qiang, LIN Ciyun, YANG Zhaosheng, et al. Traffic state identification for urban expressway based on spectral clustering and RS-KNN[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2017, 45(6): 52-58.
- [21] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72 (1): 116-134.
- WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.
- [22] 吴欣玥, 廖家仪, 张晓荣. 基于多源数据融合的成都市职住空间特征及影响因素研究[J]. *规划师*, 2023, 39 (1): 120-127.
- WU Xinyue, LIAO Jiayi, ZHANG Xiaorong. Employment-residence space characters and their influencing factors based on multi-sourced data integration, Chengdu[J]. *Planners*, 2023, 39(1): 120-127.
- [23] 韩会然, 杨成凤. 不同住房产权下居民居住区位选择的影响因素研究——以北京都市区为例[J]. *现代城市研究*, 2022 (9): 27-33.
- HAN Huiran, YANG Chengfeng. Study on impact factors of residential location choice of urban residents in different housing property: a case study on the Beijing metropolitan area[J]. *Modern Urban Research*, 2022(9): 27-33.