

网络视角下职住空间关系的表象、逻辑、困境及应对研究*

Features, Mechanisms, Challenges, and Responses of the Spatial Jobs-housing Relationship: A Network Perspective

张济宁 卓健 翟端强 高飞扬

ZHANG Jining, ZHUO Jian, ZHAI Duanqiang, GAO Feiyang

关键词 职住空间关系；复杂网络；空间特征；形成逻辑；干预策略

Keywords: spatial Jobs-housing relationship; complex network, spatial characteristics; formation logic; intervention strategies

提 要 科学引导城市职住空间关系的动态演进，以缓解其对超大城市产生的负面影响，首要任务是深入理解职住空间关系的客观形成规律。立足网络视角，应用手机信令等数据，以上海为实证案例，深入解析职住空间网络的形成逻辑。研究分析职住网络的空间特征，发现网络节点呈现“一致性”与“差异性”并存的特征，网络边则呈现出“向心”与“分散”的空间异质特征，网络整体则呈现“一主多团”的结构。采用数理统计方法解析职住网络的形成机制与特征逻辑，结果显示：职住边的形成遵循着“同一性”规律，边的空间特征根源于住房价格的空间格局；同时这一格局与就业人口的单中心布局模式相互叠加，共同塑造了当前“一主多团”的职住网络空间结构。在此基础上，从职住空间失衡、交通瓶颈拥堵以及社会公平缺失三个维度，剖析当前职住网络面临的困境。采用模拟仿真的方法，演绎职住网络在不同场景下的变化趋势，并提出对应的优化策略。

Abstract: Scientifically guiding the dynamic evolution of the spatial relationship between employment and residence is essential for mitigating the adverse effects of imbalances in megacities. This necessitates a deep understanding of the underlying mechanisms shaping this spatial configuration. Adopting a network-based perspective, this study leverages mobile signaling data to empirically examine the employment-residence spatial network in Shanghai, with the aim to uncovering its formation mechanism. The spatial characteristics of the network are analyzed. The results reveal a dual pattern of convergence and divergence among nodes, a combination of centripetal and dispersed structures among edges, and an overall core-periphery structure characterized by one dominant core and multiple secondary clusters. Statistical modeling is employed to explore the mechanisms underlying network formation. The analysis shows that network link generation follows a pattern of homogeneity, and their spatial characteristics are primarily shaped by housing prices. This distribution, when superimposed with the monocentric concentration of employment, jointly produces the current "one-core-multi-cluster" network morphology. Building on these findings, the study further examines three key challenges facing the current employment-residence configuration: spatial imbalance, traffic congestion, and socio-spatial inequity. Simulation-based scenario analysis is employed to explore the potential trajectories of the network under alternative planning strategies, offering recommendations for optimization.

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202504015
文章编号 1000-3363(2025)04-0112-10

作者简介

张济宁，同济大学城市交通研究院博士研究生，zhangjin123@tongji.edu.cn

卓健，同济大学建筑与城市规划学院城市规划系主任，同济大学高铁与站城融合研究院副院长，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，教授、博士生导师，通信作者，jian.zhuo@tongji.edu.cn

翟端强，同济大学建筑与城市规划学院博士后，上海同济城市规划设计研究院有限公司城市更新规划研究中心研究员

高飞扬，同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生

* 国家自然科学基金面上项目“基于空间冲突机制的区域生态空间与农业空间规划管控体系优化研究——以长三角地区为例”（项目编号：52178051），高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室（同济大学）暨上海同济城市规划设计研究院有限公司联合自主课题“历史文化名城绿色交通规划技术方法与实施研究及其应用”（项目编号：KY-2022-LH-A06）；根据第7届“金经昌城乡规划研究生优秀论文遴选”入选论文改写

职住空间是城市最为核心的两类功能空间。两类功能空间的关系动态变化演进,在不同发展阶段均对城市系统的整体运行产生了重要而复杂的影响。在城镇化进程中,伴随城市空间不断扩张,职住空间关系也发生了显著的变化。在一些超大城市中,这种变化直接引发了职住分离加剧、高峰时段道路交通拥堵等问题,对城市居民的日常生活质量、经济活动效率乃至生态环境品质都造成了不利的影响^[1-3]。

面对这一现实问题,如何通过科学、合理的规划与管理手段,有效组织并优化职住空间关系,以期缓解乃至逐步消除由此产生的诸多负面影响,已成为当前城市规划领域亟待解决的现实问题。为此,深入剖析认识城市职住空间关系的形成机制是关键。系统研究其内在演变逻辑与驱动因素,揭示职住空间关系的动态变化规律,可为解决上述问题提供基础的科学依据^[4-5]。

既有研究^[1,6]多集中于空间单元内部的静态指标分析(如职住平衡度、职住自足性指数等),虽能揭示空间内部职住关系特征,但忽视了不同空间单元间的职住动态联系,对跨空间单元职住流动的时空动态性解释不足。在网络科学的理论框架下,城市的各类空间单元可被视作网络中的节点,而职住空间关系则可以被抽象为连接这些空间节点的有向边。通过对职住网络进行系统性分析,能有效捕捉空间之间的动态关系^[7-9]。同时,网络科学提供了节点中心性等大量可量化的指标,可以系统解释和分析职住空间关系特征及形成规律。鉴于此,本研究基于复杂网络理论,以上海市为例,对职住网络的拓扑结构、空间特征及其形成机制展开深入的探索,进而为科学合理优化职住空间组织关系提供理论依据与实践指导。

1 文献综述

1.1 职住空间关系概念辨析

对于城市的职住空间关系,不同学者对其内涵、构成和界定存在差异,尚未统一。国内学者对职住空间关系的理解主要包含形态和结构两方面,形态上重点关注居住人口和就业人口的空间分

布^[10-11],结构上重点关注空间之间的居住—就业功能联系组织强度^[12-13]。《辞海》对“空间关系”的定义为:具有确定位置、属性和形态的单目标之间或群目标之间的相互关系。职住空间关系作为空间关系的一种类别,重点强调空间与空间的交互作用。本研究从结构视角出发,对“职住空间关系”提出如下定义:职住空间关系指的是具有确定位置、属性和形态的地区之间或地区内部的居住—就业功能联系组织强度。

1.2 职住空间关系研究

既有的职住空间关系研究主要包括下述四个方面。

一是聚焦职和住空间内在关系特征及其空间分布规律。职住空间关系特征的衡量主要依赖于职住自足性指数、通勤距离以及标准差椭圆等多项指标^[14-17]。如王德等基于手机信令数据测度上海市253个居民住宅区的通勤距离—概率分布、平均通勤距离、5 km内就业比等特征,并根据不同特征总结出上海市住宅区单中心、带状、双中心和分散4种模式^[15]。

二是深入分析职住空间关系特征形成的影响因素。微观个体层面^[18-23]:一类研究借助问卷调查^[18,21]或交通调查数据^[21-22],系统探究了建成环境、社会经济属性以及制度性因素^[19,21,23]对个体通勤距离、时间等特征的塑造作用。然而,这类研究往往聚焦个体行为,其结论难以直接应用于宏观的城市规划实践,对于城市整体职住关系的优化缺乏直接指导意义。另一类研究则侧重于空间视角,运用大数据分析手段,探究单元内建成环境要素对单元职住平衡的影响^[24-27]。虽然这类研究在揭示城市空间职住关系规律具有一定价值,但往往割裂了城市不同地区之间的内在联系,忽视了城市职住空间关系是居民个体职住选择行为集计后的宏观结果。实际上,地区职住平衡不仅受到该地区内部因素的影响,而且受到城市其他地区的综合作用。

三是基于过剩通勤框架的职住空间关系组织效率评价^[28-31]。研究采用线性规划与空间仿真技术,构建城市职住空间关系的理论最优分配模型,通过对比实际通勤状态与理想状态的偏离程度,

定量解析不同社会群体的通勤效率差异。然而,大部分最优分配模型以社会总通勤成本最小化为目标,不考虑居民个人的居住、社会等成本,由此得出的结论虽能有效识别城市职住空间的优化潜力,但难以进一步提出有针对性的优化路径。

四是运用大数据深入分析特定地区职住空间关系的形成与演变过程^[13,32-34]。研究聚焦特定区域,通过系统性的数据收集与处理,旨在揭示职住空间关系在该地区的动态变化特征。然而,当前此类研究较少,且在分析演变过程时主要依赖于定性方法,缺乏定量分析的严谨性和科学性。

综上所述,当前少有研究关注职住空间关系的形成机制,同时从网络视角下构建职住网络,从而分析职住空间关系形成机制仍存在研究空白。

2 研究思路和数据来源

2.1 研究思路

首先,利用手机信令数据测度上海市域内空间单元的居住—就业空间联系。在此基础上,以居住—就业联系人数作为边的强度,构建上海市职住空间网络。其次,从网络科学的视角出发,对构建的职住网络进行多维度解析,从节点、边以及整体网络三个层面,深入探讨职住网络的空间特征。再次,运用最小二乘法、幂律分布模型等方法,分析空间距离与住房价格对职住边强度的影响,探究职住网络边与整体网络的形成原理;根据上海市独特的就业人口、住房价格分布格局,总结上海市网络特征的形成逻辑。在此基础上,总结上海市职住网络当前面临的主要困境。最后,基于已发现的网络特征和形成规律,采用模拟仿真的技术手段,通过设定不同的城市发展场景,模拟不同场景下职住网络的演变趋势。根据模拟结果,提出有针对性的应对策略和建议。

2.2 数据来源及处理方法

在研究范围的界定上,鉴于崇明岛、长兴岛与上海市区之间因跨海通勤可能带来的特殊性,研究将其排除在外,只保留上海市全域陆地作为研究范围。研究表明,1 km网格单元能有效捕捉上海

市域范围内职住空间关系的特征,同时随着分析单元尺度的增大(从1 km至3 km),空间平均通勤距离分布趋于均衡,极端值减少且标准差缩小^[35]。为在保证数据精度的同时最大限度减少空间信息损耗,研究采用1 km×1 km的规则网格作为基本分析单元,将研究区域划分为7708个网格单元。

居住—就业联系测度方面,研究依托2023年10月联通智慧足迹大数据。首先,识别个体通勤者的居住地与就业地。其次,基于月度通勤频率,剔除当月从居住地到工作地通勤次数少于工作日数量一半的样本,考虑到当月国庆假日安排的特殊性,筛选出完成11次及以上通勤活动的居民作为有效通勤样本,以确保数据的代表性和稳定性。再次,将个体通勤者的居住与就业集计至网格层面,形成各网格间的职住空间关系。考虑到城市建成区外网格的数据稀疏性及其对整体分析结果的潜在干扰,本研究进一步采取数据清洗策略,仅保留通勤者居住人数与就业人数累计占比达到前95%的网格作为职住网络的节点,共计3698个网格得以保留。最后,基于上述筛选标准,本研究涵盖了716 571名通勤者的通勤行为数据,为深入探讨通勤网络的特征及形成机制提供了坚实的数据支撑。同时,为验证手机信令数据在居住人口识别中的准确性,本研究采用第七次全国人口普查(简称“七普”)数据作为

基准进行交叉验证。在街道单元尺度上,手机信令识别的街道通勤者居住人数与“七普”统计总人口的皮尔逊相关系数达到0.85,与“七普”劳动年龄人口(18—65岁)的相关系数提升至0.88,两者均在99%置信水平下呈现显著相关性。

研究所用的住房价格数据源于链家网。该数据记录了二手房的交易价格、小区名字和房屋具体信息,能真实反映交易时刻的住宅小区价格。基于已获得的住宅小区房价数据,应用克里金插值法将矢量数据转化为栅格数据。最后根据每个网格内栅格数据的面积进行加权平均,得到网格平均房价。

3 表象:职住网络的空间特征

3.1 一致与差异:节点的空间特征分析

本节从就业人口与居住人口两个维度分析上海市职住网络中节点的空间特征。研究结果显示,从宏观视角审视,就业人口与居住人口的分布均呈现出显著的“核心—边缘”空间结构特征。同时,两者在分布上也展现出一定的差异性,就业人口的分布相较于居住人口更为集中(图1)。

具体而言,就业人口高度集中于上海市内环以内的南京西路—南京东路—陆家嘴一带、大徐家汇地区。同时,在内环至外环的过渡地带,江湾五角场—三门路、漕河泾高新技术开发区、张江

高科技园区以及天山路等地区也具有大量就业人口。此外,上海市五大新城及郊城镇圈圈内亦散布着若干就业组团,这些组团在推动地区经济发展中发挥着重要作用。

相比之下,居住人口的空间分布则呈现出相对分散的特征。内环线周边地区是居住人口最为集中的区域之一,而最核心的南京西路—南京东路一带居住人口并不突出。此外,外环周边的华漕、七宝、九亭、曹路镇等近郊地区也承载了大量居住人口,形成了多个居住集聚区。值得注意的是,相较于就业人口的集中分布,五大新城及远郊城镇圈内均分布有一定数量的居住人口。

3.2 向心与分散:职住边的空间异质性解析

本节主要聚焦职住网络有向边(职住边)的空间特征,借助通勤人数作为权重指标,对职住边在上海市各区域的分布规律进行深入剖析。研究结果显示,职住边在空间上呈现出显著的异质性,具体表现为中心向心集聚与外围分散布局两种现象并存[图(2a)]。

从就业视角出发,按照内环和外环对上海市划分圈层^①。其中,以内环内中央活动区^②为就业地的职住边,展现出了强烈的向心集聚特征[图(2b)]。这些职住边不仅通勤强度较高,而且其空间覆盖范围广泛,不仅涵盖了主城区,还显著

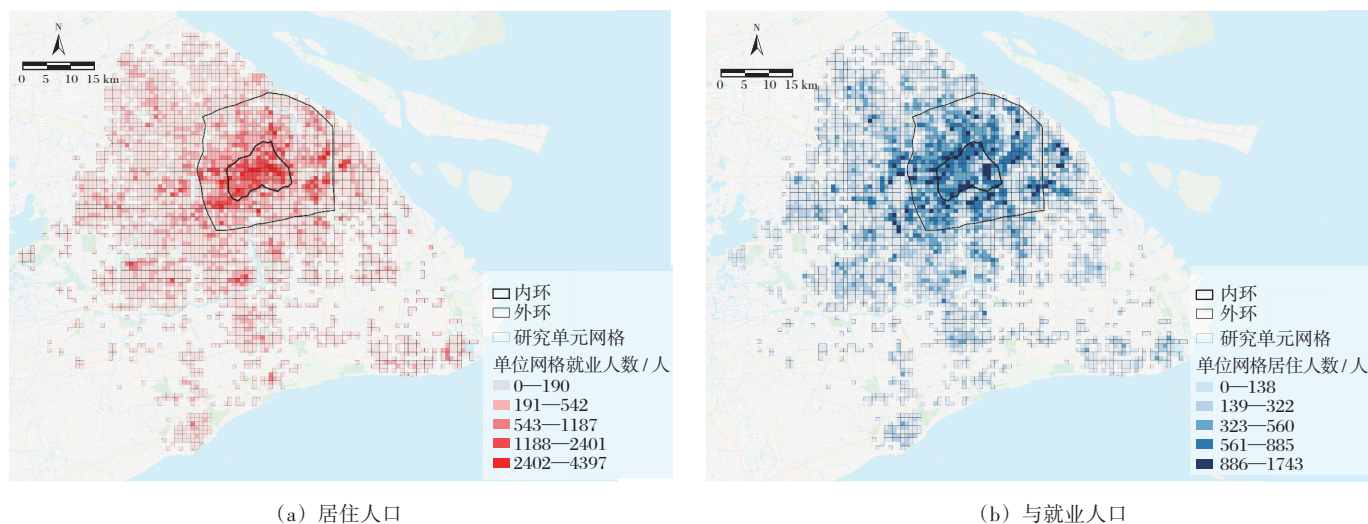


图1 居住人口与就业人口的分布特征

Fig.1 Spatial characteristics of residential population and working population

延伸至近郊区。具体而言,徐泾、泗泾、马陆、浦江、川沙和金桥等外环外的近郊新市镇与内环内地区之间建立了紧密的职住联系,这一分布模式凸显职住边向心集聚的显著特征。

同时,以内环外—外环内主城区为就业目的地的职住边也呈现出明显的向心趋势[图(2c)]。这些职住边的主要居住节点集中在主城区及其周边的近郊区市镇,而几乎不涉及中央活动区内部。这一分布模式进一步揭示职住边的向心性,即尽管主城区与中央活动区在空间上紧密相连,但居民仍更倾向于在主城区或其周边地区寻找合适的住所,从而进一步强化了中心内职住边的向心集聚特征。

然而,与上述向心集聚现象形成鲜明对比的是,以外环外为就业目的地的职住边则呈现出明显的分散布局特征[图(2d)]。与内环相比,这些职住边所连接的两个节点在空间距离上更为接近,且主城区内的地区与外环外就业节点之间的连接相对较少。这一分布模式表明,上海市的职住网络并非完全受制于向心集聚的单一模式,而是主城区外存在一定的分散布局特征。

3.3 一主与多团:职住网络的空间组织

模式探析

上海整个市域范围内职住网络的空间组织并非一致,而是展现出“一主多团”的空间组织模式[图(3a)、图(3b)]。“一主”指的是以上海市中央活动区为核心,主城区和近郊区为圈层,形成了一个高度向心联系的职住网络,其中近郊区向心联系主城区和中央活动区,主城区向心联系中央活动区。“多团”则体现在郊区外围分布着多个相对独立、一定空间尺度内职住平衡的职住组团。值得注意的是,近郊区的市镇在市域职住网络中扮演着双重角色。一方面,它们是中心城区网络体系的外围延伸,作为中心网络的最后一层,与中心城区保持着紧密的联系;另一方面,它们又与远郊区组团相连接,成为连接中心城区与远郊区的重要桥梁。这种双重属性使得近郊区市镇在职住网络中具有独特的地位和作用。

为了进一步揭示上海市域职住网络的社团结构特征,研究基于networkx包应用Louvain社区发现算法^[36]对职住网络进行了社团划分。通过降低算法中resolution(r)参数,可以减少模块度计算中的惩罚项,从而更倾向于生成数量较小、规模较大的社区。

随着 r 值从1降低到0.1,组团数量

从62减少到41个。在这过程中,中心城区的职住组团逐渐融合成若干个大的扇面区域。近郊区的新市镇也逐渐从原本相对独立的组团融入中心城区的大组团之中,验证了近郊区市镇的双重属性。同时远郊区的组团基本未发生变化,仍相对独立,表明远郊等地区职住功能自足性较高。社区发现结果进一步证实了上海市“一主多团”的空间组织模式[图(3c)]。

4 逻辑:职住网络形成原理和特征逻辑

鉴于职住网络节点的居住与就业人口分布受多种复杂因素影响,非本文核心讨论范畴,本节从复杂网络理论的视角,结合数理统计方法,重点聚焦职住边及职住网络的形成原理和特征逻辑。

4.1 职住边:机理同一与房价异质

从就业节点的角度出发,深入探究职住边的形成规律。首先对每个节点的职住边分布规律单独进行建模,然后分析职住边强度的影响因素,最后解析上海市职住边“向心”与“分散”特征的形成逻辑。

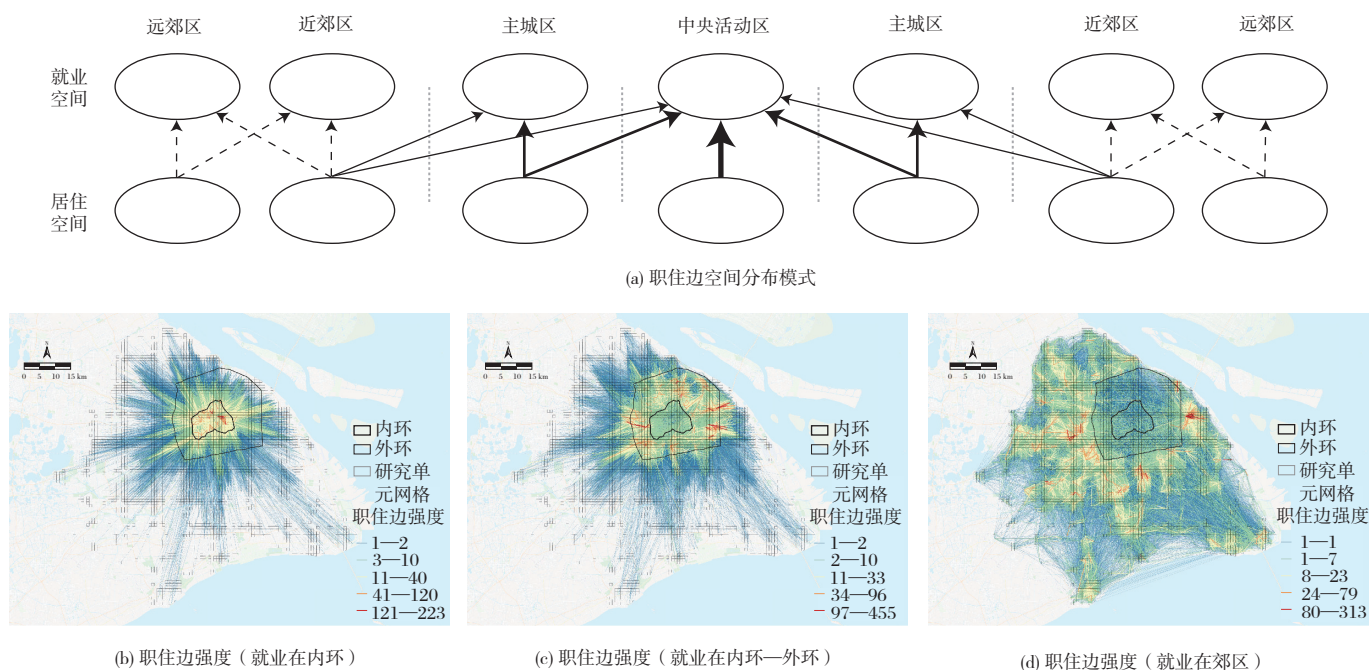


图2 上海市职住边空间分布模式及强度分布特征
Fig.2 Spatial patterns and intensity of job-housing edges in Shanghai

幂律分布作为一种在复杂网络中广泛存在的分布模式，能够描述少数节点拥有大量连接而大多数节点连接较少的现象。首先采用 Kolmogorov-Smirnov (KS) 检验方法，根据就业节点的就业人数排序，并分别对每个就业节点的职住边强度进行了KS检验，以验证其是否符合幂律分布^[37-38]。结果显示，尽管就业节点在地理位置、就业人数等方面存在差异，但其职住边的形成原理却展现出显著的同一性。对于就业人数大于100的1689个就业节点而言，仅有1个节点的职住边强度不符合幂律分布特性。这表明，对于单个就业节点，存在着少量的居住节点，与其形成了紧密的通勤联系。这种联系揭示了职住网络中潜在的“通勤廊道”现象，即少数居住区域与大量就业机会之间的高效通勤通道。

进一步探究职住网络中职住边强度的影响因素。基于地理学第一定律，即

空间邻近性决定联系强度的基本原则，观察发现，职住边强度在空间分布上总体遵循此原则，表现为空间距离越近的节点间职住边强度越大。因此，将空间距离纳入影响职住边强度的影响因素考虑范围。同时，融合古典区位论，住房价格作为居民区位抉择的关键因素亦被纳入考量^[39]。为了量化分析距离与住房价格对职住边强度的影响，采用最小二乘法，并基于幂律分布对就业空间的职住边强度进行拟合 [公式(1)和(2)]：

$$P = X^{-\alpha} \quad (1)$$

$$X = \alpha_1 \times D + \alpha_2 \times R + \beta \quad (2)$$

其中， D 是节点间距离， X 是综合效用， R 是就业节点住房价格， P 是职住边强度，其余为模型参数。

研究发现，就业人数大于100的就业节点，模型的拟合优度平均值约为0.58，这表明距离和住房价格是影响职住边强度的重要因素，能有效解释职住

边强度的形成。同时绘制拟合值与真实值对比图（图4），发现残差基本满足正态分布，再一次证明幂律分布的适用性。进一步分析模型参数，研究发现距离与住房价格的系数均为正值，即随着距离和住房成本的增加，职住边的强度呈现下降趋势。

最后，关于职住边空间特征形成逻辑，上海市职住边的向心集聚与离散分布的空间异质性根源在于住房价格呈现出的单中心指数型衰减分布模式。具体而言，上海市中心城区的住房价格高昂，且自中心向外衰减速度较快。对于在主城区内就业的就业者而言，面对中心城区高昂的居住成本，他们往往通过延长通勤距离作为权衡，倾向于迁居至更为外围、相对远离城市中心但住房价格更为亲民的地区。这一居住选择行为促使主城区与近郊区之间的职住联系线呈现出显著的向心性特征，即就业者居住地

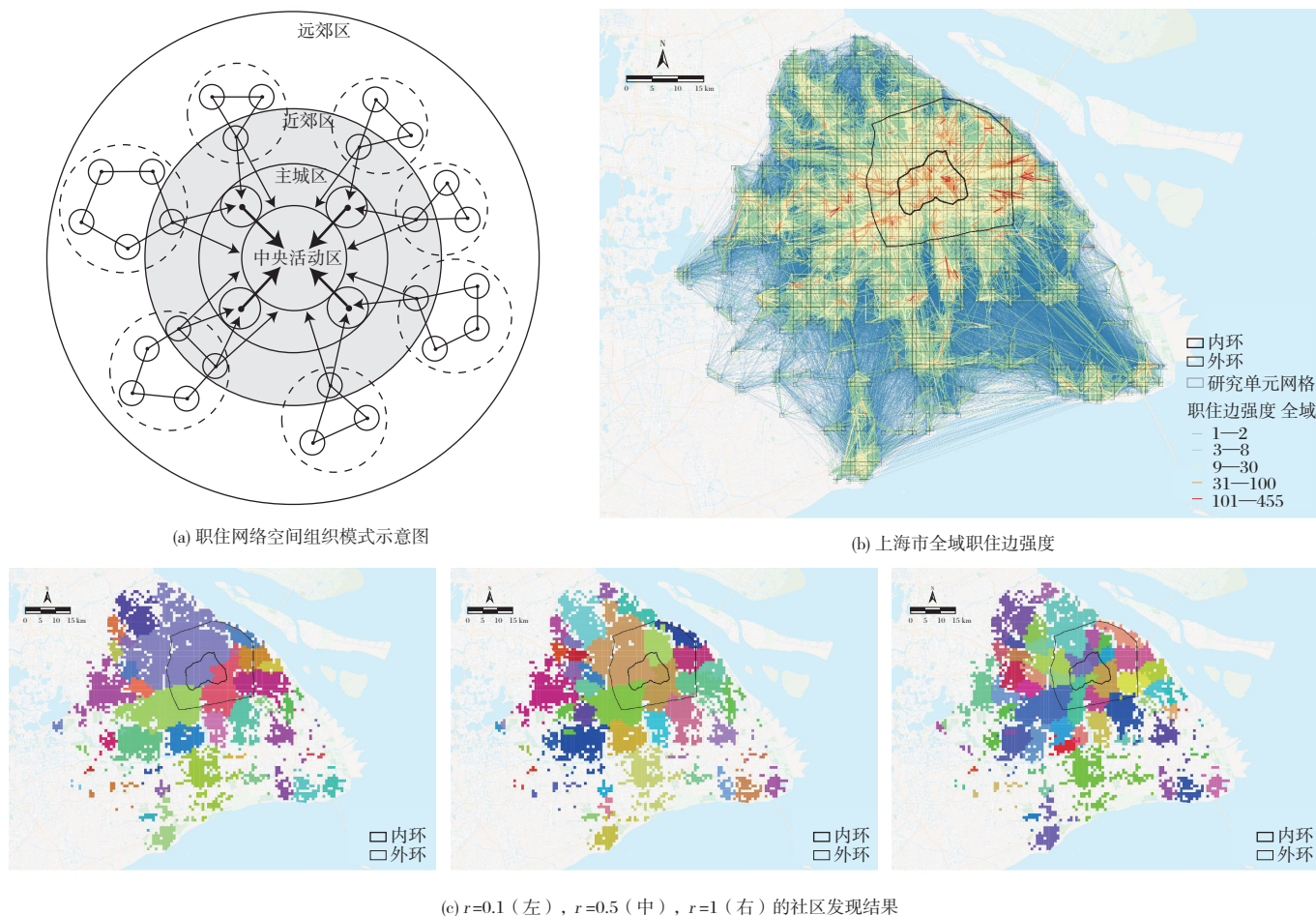


图3 上海市职住网络的空间组织模式、职住边强度及社区发现结果

Fig.3 Spatial patterns of job-housing networks, edge intensity, and community detection results in Shanghai

点趋向于在就业地外围形成扇形分布。相比之下,在上海市的近郊地区,由于住房价格相对较为平稳且处于较低水平,就业者能够在其就业地点附近寻找到价格适宜的住房。因此,这部分区域的职住联系并未形成明显的向中心城区集中的趋势,而是展现出一种更为分散、本地化的居住与就业匹配模式。

4.2 职住网络:子网叠合与就业集聚

在探讨职住网络的形成原理时,需从就业节点至职住边的生成逻辑入手。就业者的居住空间选择行为,主要受制于通勤距离与住房成本两大核心要素,这一过程呈现出空间独立性,较少受到邻近空间环境的直接干预。每个就业节点均为独立的单元,各自能够构成独立的职住子网络。当这些独立的子网络通过空间节点的全面整合与相互交织后,最终将叠合形成城市的职住网络。

上海市职住网络的“一主多团”空间组织模式,根植于就业人口分布的单中心指数的格局。上海市的就业人口分布模式显著呈现为中心集聚、向外围逐步递减的单中心特征。据上文,主城区内的就业节点的居住节点倾向于围绕就业节点在外围扇形分布,这一分布模式塑造了主城区—中央活动区、近郊区—

中央活动区以及近郊区—主城区之间的居住—就业联系。主城区,尤其是中央活动区,汇聚了大量高密度就业岗位,因此尽管近郊区与中央活动区之间的地理距离相对较远,但得益于中央活动区的高就业人口基数,两者间的职住边强度依然较高。相比之下,虽然主城区内中央活动区外的就业人数相对较低,但近郊区的市镇因距离主城区较近,仍成为主城区内部就业人群的主要居住选择,从而共同塑造了“一主”的网络特征。

然而,随着产业郊区化进程的持续推进,上海市主城区外形成了一批具有一定规模的就业组团,根据郊区职住边的分散布局特点,这些就业组团内的就业者能本地化居住,在一定空间尺度内能实现职住平衡,从而在上海市外围形成了“多团”的组织模式。

5 困境

5.1 职住空间失衡:平均通勤距离的空间差异

从居住与就业视角计算空间节点平均通勤直线距离(图5)。研究发现上海市职住网络就业节点的平均通勤距离自城市中心向外围呈现递减态势,而居住节点的通勤距离则呈现先增后减的“驼

峰”分布,峰值位于外环周边的近郊区。近郊区在职住网络中的双重属性,既连接中央活动区又连接远郊城镇圈,是上海市职住分离最为突出的地区。

5.2 交通瓶颈淤积:向心通勤流的压力

上海职住网络的“一主”特征显著,主城区内职住边具有明显向心集聚趋势。早晚高峰时段,大量居住于城市外围的劳动力需长距离通勤至城市中心,形成了密集且高度集中的通勤流。这一通勤模式显著加重了城市交通系统的负担,特别是在连接外围与中心的关键交通走廊——快速路及轨道交通干线上,高峰时段的拥堵已成为常态,严重影响了城市交通的流畅性与居民出行的便捷性^[40]。

5.3 社会公平缺失:低收入群体“时间贫困”加剧

在上海市主城区,尤其是中央活动区就业的个体,面临着高房价的压力。当市场无法提供可负担的住房时,低收入群体被迫将住房成本转嫁到通勤成本上,选择通勤距离更远的低房价地区居住,这直接导致其通勤时间的延长,进一步加剧了低收入人群“时间贫困”的社会现象^[41],个体因长时间通勤而牺牲了个人发展、家庭团聚及休息等。

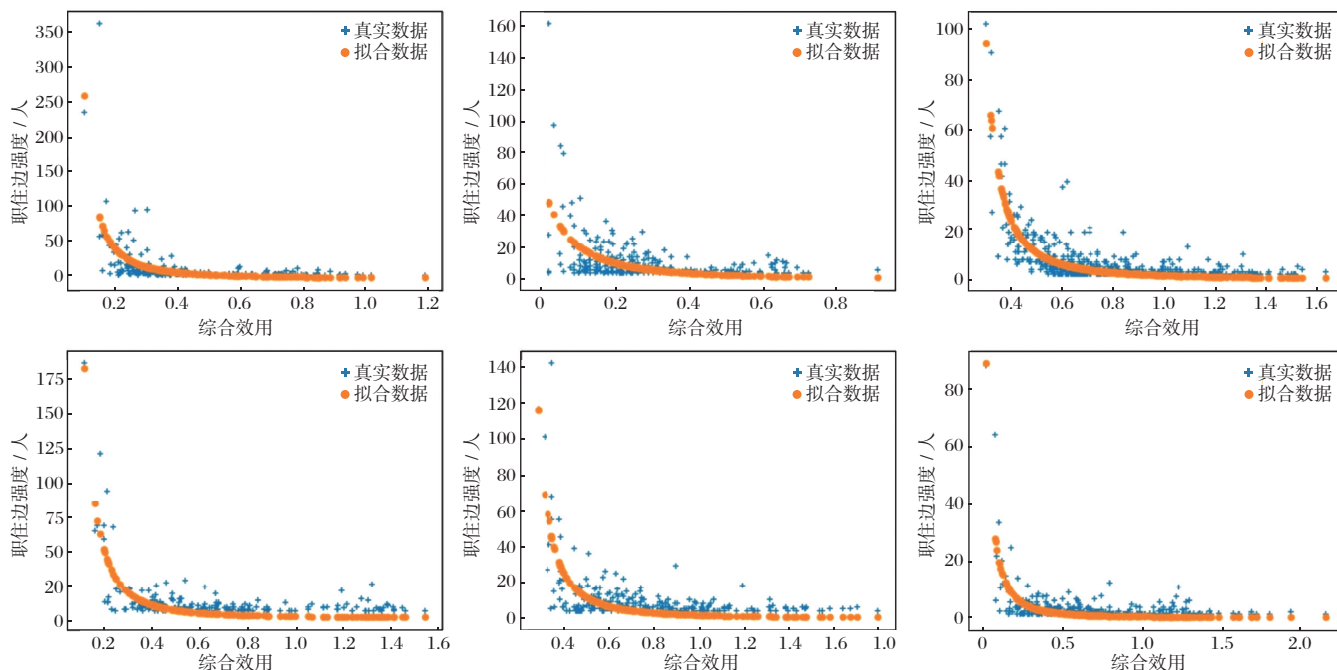


图4 就业人数排名前6的就业节点拟合结果图示

Fig.4 Fitting results of top 6 employment nodes by size of working population

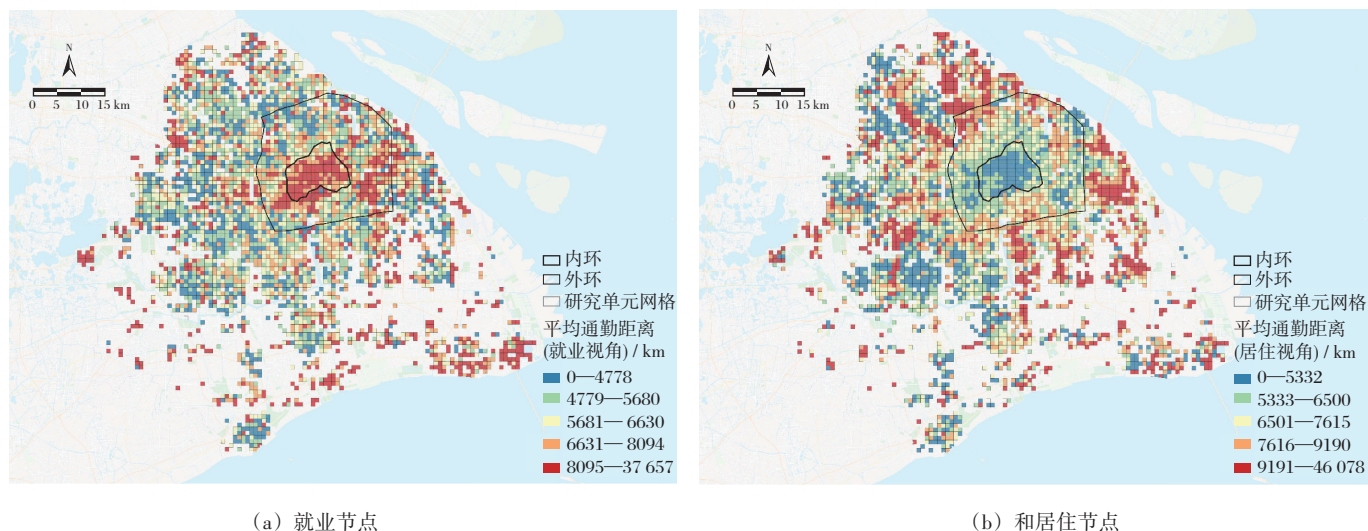


图5 就业节点（左）和居住节点（右）平均通勤距离
Fig.5 Average commuting distance of employment nodes (left) and residential nodes (right)

6 应对

本研究在深入解析通勤网络特征、形成机制及其面临困境的基础上，采用了仿真模拟方法，通过多场景模拟就业者的居住选择过程，揭示在不同住房价格与就业人口分布格局场景下的职住网络特征变化趋势，进而提出有针对性的规划策略和优化建议。

首先，构建一个由50行×50列组成的1 km单元网格系统，共计2500个基本分析单元，以此作为模拟职住分布的空间基底。假设研究区域内总就业人口为100万，同时基于上海市人口和住房价格分布规律，将就业人口与住房价格设定为从中心向外围地区呈指数递减的分布模式。针对每个网格单元内的就业人口，其居住地的选择行为遵循幂律分布原则。在模型中，居住地的选择主要受两大因素驱动：一是与就业地点的距离，二是居住单元的价格。

模拟场景主要包括两个维度的变化。一是居民对住房价格可接受程度的调整，模拟时通过设置住房价格系数的权重高低来实现，权重越高，居民对住房价格可接受程度越低。二是就业人口分布的调整，通过设置单中心、一主多副中心和均质多中心场景来反映不同就业人口空间布局对职住网络形成的影响（图6）。由于住房价格的空间分布格局由市场决定，政府难以直接干预，因此住房价格空间分布格局遵守上海市单中心特征，

不纳入场景考虑范围。

6.1 模拟结果

对空间内居民居住地选择行为进行模拟并集计到空间上后，得到各空间节点的居住人口分布（图6）。结果显示：居住人口分布模式与就业人口分布场景高度相关，同时在房价权重越高的情况下，居民居住选择会更倾向于郊区。

从居住与就业双重视角出发，计算各空间节点的平均通勤直线距离，并进一步汇总得出整个模拟区域网格的平均通勤距离值，以深入剖析职住网络在不同模拟场景下的空间特征及其动态演变规律。研究结果（图7）显示，在全部9个模拟场景中，就业节点的平均通勤距离分布特征呈现出一致性，即均遵循单核心向外围递减的分布模式。然而，值得注意的是，住房价格的可接受程度对就业节点的平均通勤距离产生了显著影响（表1），这一发现有力地印证了住房市场条件在塑造城市通勤模式中的核心与主导作用。相比之下，就业人口的分布变化对居住空间的平均通勤距离影响并不显著，其根源在于就业节点的职住边生成机制主要受到距离与住房价格分布的影响，而与就业节点的人数强度无直接关联。

在9个模拟场景中，居住节点的平均通勤距离分布特征则随着场景的变化而呈现出显著的差异性（图7）。在就业单中心的场景下，居住节点的平均通勤

距离分布呈现出中间低、四周高的典型模式。然而，随着就业多中心化趋势的逐渐显现，居住节点的平均通勤距离分布模式也相应地呈现出多中心化的变化特征。同时，住房价格的可接受程度变化与就业人口的分布格局对居住节点的平均通勤距离产生了显著的双重影响。具体而言，当住房价格的可接受程度提高时，居民在选择居住地时所面临的经济压力得到有效缓解，从而促进了居民在就业地周边的居住选择，进而有助于缩短居住空间的整体平均通勤距离。当就业人口的分布呈现出更加分散的趋势时，外围就业者能够更容易地在邻近地区找到价格可接受的住房，从而实现职住平衡。

通过生成的“不同场景下职住边强度分布图”可以直观看出：就业人口分布格局对职住网络结构具有决定性影响，住房价格可接受程度会进一步影响结构的变化（图7）。当就业人口呈现单中心分布时，职住网络呈现出典型的单中心结构特征，居住—就业联系高度向心集聚。就业人口分布模式转变为“一主多副”格局时，中心地区依然保持着一定的向心集聚能力，但外围地区根据就业人口的分布特点，逐渐形成了多个相对独立的组团。这种结构特征与上海市的“一主多团”模式颇为相似。就业人口分布完全呈现多中心格局时，外围地区的四个组团结构显著，而中心地区的向心集聚的特征相对减弱，不再像单中心或

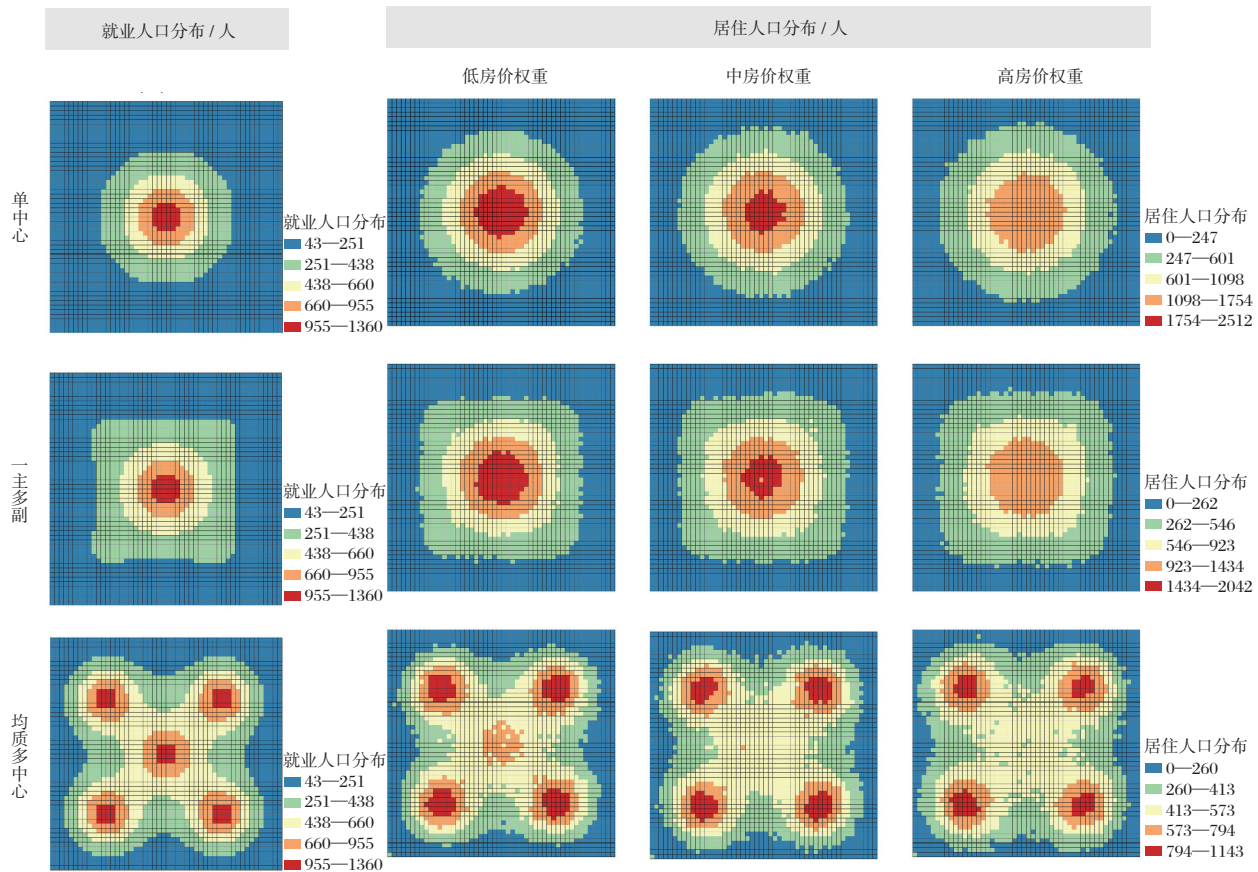


图6 不同场景下的就业人口、居住人口分布

Fig.6 Distributional patterns of working and residential population under different scenarios

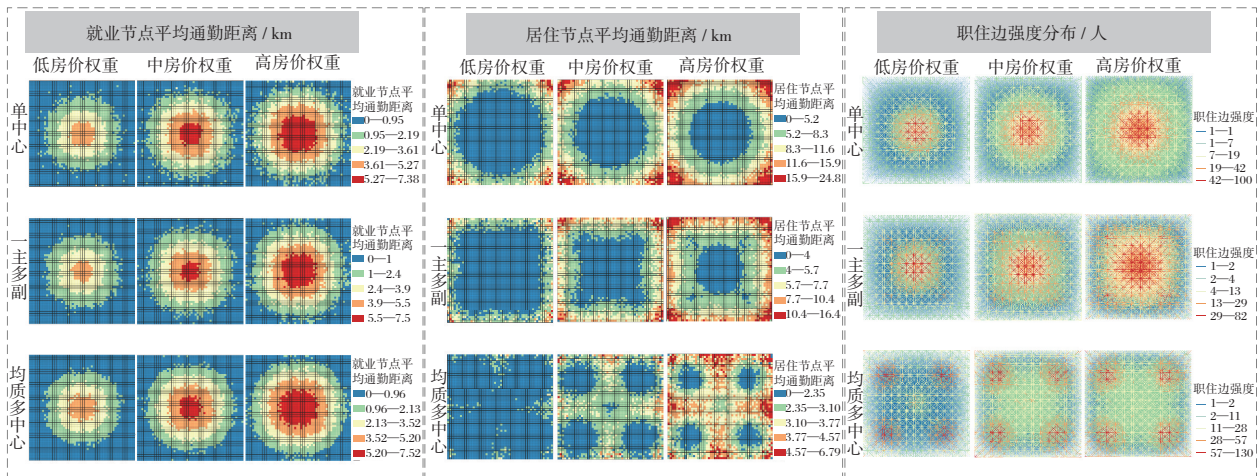


图7 不同场景下的就业节点平均通勤距离、居住节点平均通勤距离及职住边强度

Fig.7 Average commuting distances of employment nodes, residential nodes, and job-housing edge intensity under different scenarios

“一主多副”结构下那样突出。

住房价格可接受程度的变化对职住网络的结构特征亦具有一定的影响。尽管这一变化不会直接导致职住网络边的结构特征发生显著改变，但其向心趋势却会随居民可接受程度的提升而明显

减弱。

6.2 应对策略

6.2.1 住房价格接受程度提升：多维度策略组合

根据模拟结果，居民对住房价格可

接受程度提升能直接促进居民就近居住，减少空间平均通勤距离和减弱向心流强度。一是持续强化保障性住房体系建设。针对上海市当前情况，应进一步加大保障性住房的投资与建设力度，确保住房供应的稳定性和多样性，以满足不同收

表1 不同场景下节点平均通勤距离的均值
Tab.1 Mean commuting distance of nodes across scenarios

场景	低房价权重		中房价权重		高房价权重	
	就业节点	居住节点	就业节点	居住节点	就业节点	居住节点
单中心	1.06	5.50	1.68	7.16	2.26	8.26
一主多副	1.07	3.56	1.69	4.98	2.27	6.05
多中心	1.07	1.63	1.68	2.50	2.26	3.28

入层次居民的居住需求。二是实施差异化住房补贴政策。根据就业地点的住房价格水平,对居民住房成本进行差异化补贴,以减轻其经济负担。企业在追求集聚经济效益的过程中,形成就业岗位的单中心集聚模式,这导致中心区域的就业者因周边高昂的住房价格而不得不选择居住于城市外围,本质上居民是通过损失时间价值来换取工作机会。因此采取定向补贴的方式,精准地补偿居民因居住远离就业地而产生的额外通勤成本,以此弥补其因职住分离而损失的时间价值。

6.2.2 就业人口空间布局优化:推动产业郊区化进程

模拟结果显示,就业人口空间布局的调整对职住网络的空间组织模式具有显著影响。当前上海市已步入企业郊区增速高于中心城区的郊区化阶段^[42],且郊区新市镇已初步形成一定规模的产业集聚与提升,未来应继续加强这一趋势。一是加速推进五大新城建设,强化其作为综合性节点城市^③的功能定位。通过鼓励性政策引导,利用市场机制,推动部分产业向郊区有序转移,形成新的经济增长极,从而重塑上海市职住网络的空间结构,促进区域均衡发展。二是注重交通规划与产业郊区化的协同发展^[43]。在产业郊区化进程中,通勤流的变化不容忽视。模拟结果显示,在就业均质多中心格局形成后,通勤流密集区域可能转移至外围就业中心周边。因此,交通规划需与产业郊区化进程紧密衔接,优化公共交通网络布局,提升通勤效率。

7 结论与讨论

7.1 结论

本研究在复杂网络理论上构建

了上海市的职住网络,并围绕网络表象、逻辑、困境及应对展开了系统研究。

在网络表象层面,研究发现上海市职住网络的节点特征表现为就业人数与居住人数分布模式的大体一致,但就业人数的集中度显著高于居住人数。职住边在中心城区呈现出显著的向心集聚特征,而在郊区则展现出分散布局的空间异质性。整体而言,上海市的职住网络呈现出“一主多团”的组织模式。

在网络形成逻辑方面,本研究揭示了单个就业节点职住边形成的同一性规律,即职住边的强度分布符合幂律分布特征。同时,住房价格与空间距离被证实为影响职住边形成的关键因素。通过将所有就业节点的职住边在空间上进行叠合,便形成整个城市的职住网络模型。进一步地,研究指出职住边空间异质性的根源在于上海市住房价格的单中心分布格局,这一格局与就业人口的单中心布局模式相互叠加,共同塑造了当前“一主多团”的职住网络空间组织模式。

基于上海市职住网络特征,本研究从职住空间失衡、交通瓶颈淤积以及社会公平缺失三个维度深入剖析当前的困境。

最后,本研究应用仿真模拟技术,设定了不同住房价格可接受程度与就业人口分布的场景,以模拟职住网络的形成过程。研究结果显示,调整住房价格可接受程度与优化就业人口空间布局均能对职住网络的形成产生显著影响。据此,本研究从提升住房价格接受度与优化就业人口空间布局两个角度出发,提出了具体的应对策略,旨在为上海市乃至其他城市的职住网络优化提供科学依据与实践指导。

7.2 讨论

尽管本研究在通勤网络的特征及形

成机制方面,特别是在职住边形成规律的探索上取得了初步成果,但仍存在一些局限性,需要今后展开进一步的研究。

首先,本研究挖掘出的职住边形成规律是在就业视角下对空间分析的结果。然而,这也导致了分析视角的局限性。若从居住视角分析,研究结论是否仍一致有待验证。为了更全面、深入地揭示职住边的形成机制,未来研究有必要从居住视角出发,对职住关系进行重新审视。

其次,在分析职住边形成机制时,本研究主要聚焦住房价格和空间距离两个核心要素。未来研究可以进一步拓展分析框架,引入公共服务设施与交通设施等关键变量。

最后,在模拟场景设置方面,本研究基于住房价格单中心分布格局进行了假设,并据此模拟了通勤网络的形成过程。然而,随着就业多中心化趋势的日益显著,住房价格的空间分布模式是否仍能保持单中心特征,是一个值得深入探讨的问题。

注释

- ① 圈层划分为内环内为中央活动区、内环—外环为主城区、外环外为郊区。
- ② “中央活动区”及下文的“主城区”“新市镇”均引自《上海市城市总体规划(2017—2035年)》。
- ③ 表述源于《上海市城市总体规划(2017—2035年)》。

参考文献

- [1] 李巍,王宗相,王录仓,等.中国城市职住空间关系研究缘起、现状、困境与展望[J].城市问题,2023,42(8):37-45.
- [2] 张学波,窦群,赵金丽,等.职住空间关系研究的比较述评与展望[J].世界地理研究,2017,26(1):32-44.
- [3] 刘望保,侯长营.国内外城市居民职住空间关系研究进展和展望[J].人文地理,2013,28(4):7-12.
- [4] 吴志强,严娟,徐浩文,等.城乡规划学科发展年度十大关键议题(2024—2025)[J].城市规划学刊,2024(6):8-11.
- [5] YE Z N. Construction and application of urban mobility diagnosis model[J]/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning,

- 2023, 1: 14[2025-05-22]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00016-9>.
- [6] 程鹏, 唐子来. 上海中心城区的职住空间匹配及其演化特征研究[J]. 城市规划学刊, 2017(3): 62-69.
- [7] 实寅, 张尚武. 基于职住空间绩效的新区规划方案评价方法: 以虹桥主城片区单元规划为例[J]. 城市规划学刊, 2024(6): 54-61.
- [8] 史瑞铮, 高悦尔, 杨春. 基于公交卡数据的城市多尺度职住空间结构特征: 以厦门为例[J]. 城市规划学刊, 2022(4): 87-94.
- [9] HUANG J Z, HU G Y, LIU Y H, et al. Study on the characteristics of weekend trips to three types of non-work destinations based on multi-source data[OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2024, 2: 25[2025-05-22]. <https://doi.org/10.1007/s44243-024-00050-1>.
- [10] 王录仓, 常飞. 基于多源数据的兰州市主城区城市职住空间关系研究[J]. 人文地理, 2020, 35(3): 65-75.
- [11] 张纯, 吴莹, 马程, 等. 乌鲁木齐市的职住空间关系特征及变化规律研究: 基于2010和2014年交通调查分析[J]. 城市发展研究, 2019, 26(3): 24-31.
- [12] 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于职住空间关系分析上海郊区新城发展状况[J]. 城市规划, 2017, 41(8): 47-53.
- [13] 钮心毅, 林诗佳. 后工业化时代产业园区职住空间关系演变模式: 基于大数据的实证研究[J]. 同济大学学报(社会科学版), 2022, 33(1): 67-77.
- [14] 孟晓晨, 吴静, 沈凡卜. 职住平衡的研究回顾及观点综述[J]. 城市发展研究, 2009, 16(6): 23-28.
- [15] 王德, 李丹, 傅英姿. 基于手机信令数据的上海市不同住宅区居民就业空间研究[J]. 地理学报, 2020, 75(8): 1585-1602.
- [16] 饶传坤, 朱铖扬, 翟端强. 基于轨道交通客流的城市通勤特征与职住关系研究: 以杭州市为例[J]. 现代城市研究, 2025, 40(2): 16-23.
- [17] 郭亮, 毕瑜菲, 黄建中, 等. 大城市职住空间特征的多尺度比较与分析: 以武汉为例[J]. 城市规划学刊, 2018(5): 88-97.
- [18] 徐艺轩, 周锐, 戴刘冬, 等. 我国中部中等城市职住分离的空间差异及其影响因素: 以漯河市为例[J]. 城市发展研究, 2014, 21(12): 52-58.
- [19] 焦华富, 戴柳燕. 合肥市城市居民职住空间均衡性现状及影响因素[J]. 城市问题, 2015, 34(5): 46-51.
- [20] 强欢欢, 吴晓, 王慧, 等. “职住平衡”视角下新就业人员的职住空间平衡关系及其内在影响因素: 以南京市主城区为例[J]. 城市规划学刊, 2016(4): 75-81.
- [21] 王振坡, 奚奇, 王丽艳, 等. 城市职住空间匹配特征及其影响因素研究: 以天津市为例[J]. 城市发展研究, 2017, 24(8): 23-28.
- [22] 魏海涛, 赵晖, 肖天聪. 北京市职住分离及其影响因素分析[J]. 城市发展研究, 2017, 24(4): 43-51.
- [23] 甄峰, 李哲睿, 谢智敏. 基于人口流动的城市内部空间结构特征及其影响因素分析: 以南京市为例[J]. 地理研究, 2022, 41(6): 1525-1539.
- [24] HE S J, LI C X, XIAO Y, et al. Examining neighborhood effects on residents' daily activities in central Shanghai, China: Integrating “big data” and “thick data”[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2022, 49(7): 2011-2028.
- [25] 马光明. 北京市职住失衡驱动因素研究及其对雄安新区规划的启示[J]. 北京联合大学学报(人文社会科学版), 2024, 22(1): 21-35.
- [26] ZHAO P J, CAO Y S. Commuting inequity and its determinants in Shanghai: new findings from big-data analytics[J]. *Transport Policy*, 2020, 92(6): 20-37.
- [27] SUN B D, ERMAGUN A, DAN B. Built environmental impacts on commuting mode choice and distance: evidence from Shanghai[J]. *Transportation Research Part D Transport & Environment*, 2016, 52(5): 441-453.
- [28] 岳丽莹, 朱宇, 李开明. 双视角、双维度下超大城市的通勤效率: 以上海市为例[J]. 地理研究, 2024, 43(2): 429-445.
- [29] LIN C L, NIU X Y, YANG J W, et al. unravelling heterogeneity and dynamics of commuting efficiency: Industry-level insights into evolving efficiency gaps based on a disaggregated excess-commuting framework[J]. *Journal of Transport Geography*, 2024, 115(2): 103820.
- [30] ZHANG P J, ZHOU J P, ZHANG T R. Quantifying and visualizing jobs-housing balance with big data: a case study of Shanghai[J]. *Cities*, 2017, 66(6): 10-22.
- [31] YUE L Y, O'KELLY M. Commuting performance in Shanghai: efficiency and orderliness[J]. *Travel Behaviour and Society*, 2023, 31(4): 223-231.
- [32] YANG T R. Understanding commuting patterns and changes: counterfactual analysis in a planning support framework[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2020, 47(8): 1440-1455.
- [33] YANG T R, JIN Y, YAN L X, et al. Aspirations and realities of polycentric development: insights from multi-source data into the emerging urban form of Shanghai[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2019, 46(7): 1264-1280.
- [34] 黄建中, 胡刚钰, 赵民, 等. 大城市“空间结构-交通模式”的耦合关系研究: 对厦门市的多情景模拟分析和讨论[J]. 城市规划学刊, 2017(6): 33-42.
- [35] ZHOU X G, SUN C C, NIU X Y, et al. The modifiable areal unit problem in the relationship between jobs-housing balance and commuting distance through big and traditional data[J]. *Travel Behaviour and Society*, 2022, 26(1): 270-278.
- [36] VINCENT D B, JEAN-LOUP G, RENAUD L, et al. Fast unfolding of communities in large networks[J]. *Journal of Statistical Mechanics Theory and Experiment*, 2008, 10(10): P10008.
- [37] JEFF A, EDWARD T B, DIETMAR P. Power-law: a python package for analysis of heavy-tailed distributions[J]. *PLoS ONE*, 2014, 8(4): e8577.
- [38] AARON C, COSMA ROHILLA S, MEJ N. Power-law distributions in empirical data[J]. *SIAM Review*, 2009, 51(4): 661-703.
- [39] 张艳, 辜智慧, 周维. 大城市职住空间匹配及其与轨道交通的协调发展研究: 以深圳市为例[J]. 城市规划学刊, 2018(1): 99-106.
- [40] 张天然. 基于手机信令数据的上海市域职住空间分析[J]. 城市交通, 2016, 14(1): 15-23.
- [41] 焦健, 王德, 程英. 上海市时间贫困人群的日常活动模式与特征[J]. 城市规划, 2023, 47(4): 31-44.
- [42] 周慧敏, 孙斌栋, 古蕊欢, 等. 上海市企业空间结构演化研究[J]. 城市发展研究, 2023, 30(12): 9-17.
- [43] 范佳慧, 张艺师, 赵民, 等. 广州市空间结构与绩效研究: 职住空间的视角[J]. 城市规划学刊, 2019(6): 33-42.