DOI:10.14188/j.2095-6045.20260456

文章编号:2095-6045(2026)05-0060-08

苏州市村镇地区人口流动网络多情景异质性特征研究

范凌云[1]　汤宇轩[2]　崔　叙[3]　荣丽华[4]　魏晓芳[1]

1 苏州科技大学建筑与城市规划学院,江苏 苏州,215129

2 北京工业大学建筑与城市规划学院,北京,100124

3 西南交通大学建筑学院,四川 成都,611756

4 内蒙古工业大学建筑学院,内蒙古 呼和浩特,010051

Heterogeneous Characteristics of Population Mobility Networks in Village and Town Areas of Suzhou Under Multiple Scenarios

FAN Lingyun[1]　*TANG Yuxuan*[2]　*CUI Xu*[3]　*RONG Lihua*[4]　*WEI Xiaofang*[1]

1 School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215129, China

2 College of Architecture and Urban Planning, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

3 School of Architecture, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

4 School of Architecture, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China

摘　要:村镇地区功能日趋复合,人口活动及其空间联系随日期类型呈现明显的时间节律。本文以苏州市村镇地区为例,利用位置服务(location-based services,LBS)数据构建逐日人口流动网络,设定工作日、周末和国庆长假3类情景,并以同类日期内部的自然波动为参照,从节点、联系和网络3个层次研究不同情景下人口流动网络的异质性。结果表明:①三类情景总体保持多中心、近距离联系集聚的空间格局,呈现“局部敏感、整体稳定”的结构特征;②同类情景内部,人口流动网络日际稳定性总体表现为工作日最高、周末次之、国庆长假较低;③不同情景之间,工作日与周末的人口流动网络差异最小;周末与国庆长假的人口流动网络差异有所扩大,但未超过同类情景内部的自然日际波动;工作日与国庆长假的人口流动网络差异最明显,但仍以局部调整为主,整体网络结构稳定。本研究揭示了不同情景下村镇人口流动网络的稳定性与分异特征,为村镇地区分时分类的空间治理提供参考。

关键词:人口流动网络;多情景;LBS数据;村镇地区

中图分类号:C922;P208;TU984

文献标志码:A

Abstract: Village and town areas are becoming increasingly multifunctional, and human activities and their spatial linkages exhibit pronounced temporal rhythms across different types of days. Using location-based services (LBS) data from Suzhou, China, this study constructs daily human mobility networks for three scenarios: workdays, weekends, and the National Day holiday. Taking natural day-to-day variability within the same scenario as a reference, we examine network heterogeneity at the node, link, and whole-network levels. The results show that: (1) All three scenarios maintain a multicentric spatial pattern dominated by clusters of short-distance connections, characterized by local sensitivity and overall structural stability; (2) Within scenarios, the day-to-day stability of the human mobility network is highest on workdays, followed by weekends, and relatively lower during the National Day holiday; (3) Between scenarios, differences are smallest between workdays and weekends. Differences between weekends and the National Day holiday increase but do not consistently exceed the natural day-to-day variability within the same scenario. The greatest differences occur between workdays and the National Day holiday, although they remain mainly concentrated in local adjustments, with the overall network structure remaining stable. By distinguishing natural day-to-day variability from relatively stable scenario-specific differentiation, this study clarifies the temporal stability and boundaries of change in human mobility networks across village and town areas, providing an evidence base for time- and

引用格式:范凌云,汤宇轩,崔叙,等. 苏州市村镇地区人口流动网络多情景异质性特征研究[J]. 测绘地理信息,2026,51(5):60-67(FAN Lingyun, TANG Yuxuan, CUI Xu, et al. Heterogeneous Characteristics of Population Mobility Networks in Village and Town Areas of Suzhou Under Multiple Scenarios[J]. Journal of Geomatics, 2026, 51(5): 60-67)

基金项目:2024年度教育部人文社会科学研究一般项目(24YJAZH025);江苏省第六期“333高层次人才培养工程”第二层次人才培养支持资金。

scenario-sensitive spatial governance.

Key words: population mobility network; multiple scenarios; location-based services (LBS) data; village and town areas

村镇地区并非静态、均质的低密度空间,而是承载产业就业、日常服务、地方性交往和休闲游憩等多种活动的复合地域[1]。相较于人口规模、土地利用等静态属性,人口流动能够从实际活动联系出发,揭示村庄、镇区及其他空间单元之间动态变化的联系结构。由于不同活动具有差异化的时间节律,村镇地区人口流动也随日期类型发生变化。因此,识别不同日期类型下村镇地区人口流动的变化规律,是认识村镇地区空间组织的重要基础。

位置服务(location-based services,LBS)数据能够持续记录移动终端的位置,为识别人口活动及其空间联系提供较高时空分辨率的数据来源。已有研究验证了LBS数据在职住识别和通勤分析中的适用性[2],并用于刻画人口移动的时空规律[3,4]。在此基础上,相关研究进一步识别城市空间结构特征[5],探讨人口活动与区域功能的对应关系[6]以及远郊新城的城镇化特征[7]。随着网络分析方法的引入,研究开始从空间联系视角揭示都市圈[8]、城市[9]和乡镇[10]等尺度的网络结构特征,并逐步拓展至乡村内部及城乡之间的人口流动与节律差异[11,12]。

尽管相关研究不断拓展,仍存在以下不足。在研究对象上,LBS、手机信令等移动定位数据虽已广泛应用于城市研究,但其在乡村地区的实证应用仍处于起步阶段[11],针对不同情景下村镇人口流动网络变化的研究较少。在研究方法上,现有多时段研究通常比较工作日、周末等日期类型的聚合结果,较少将同类日期内部的自然日际波动作为参照,因而难以区分情景差异与日常波动,容易将同类日期内部的自然变化误判为不同日期类型之间的稳定差异,进而夸大日期类型对节点体系、具体联系乃至整体网络结构的影响。在分析层次上,节点位序、局部联系与整体网络结构的变化并不必然同步,若缺少多层次的对应分析,可能将局部流量调整等同于整体网络结构变化。因此,多情景比较不仅需要识别情景间差异,还需要判断其是否稳定超过同类日期内部的自然波动,并辨析差异发生在节点、联系还是整体网络层面。

基于此,本文以村镇功能复合、地域联系密集的苏州市村镇地区为例,利用2024年10月匿名化LBS数据构建村镇地区逐日人口流动网络,将工作日、周末和国庆长假划分为三类情景。通过等时长重采样分别测度情景内相似性和情景间相似性,并以情景内相似性作为自然日际波动的参照,从节点、联系和网络三个层次识别相对稳定的情景分异,以期为村镇地区动态空间联系识别和城乡空间组织优化提供方法参考。

1　研究对象与数据

1.1　研究对象

苏州市地处长江三角洲核心区域,依托苏南地区工业化和城镇化发展基础,形成了工业化程度较高、城镇体系多中心和城乡联系紧密的地域特征。辖区内村庄分布密集,村庄、镇区与城市社区共同构成多层次的城乡空间单元体系,较为完善的交通网络进一步加强了不同空间单元之间的人员联系。因此,选取苏州作为研究区域,能够较好揭示多功能村镇地区人口流动网络的情景分异,为研究复杂城乡关系下的空间联系提供参考。

1.2　数据来源

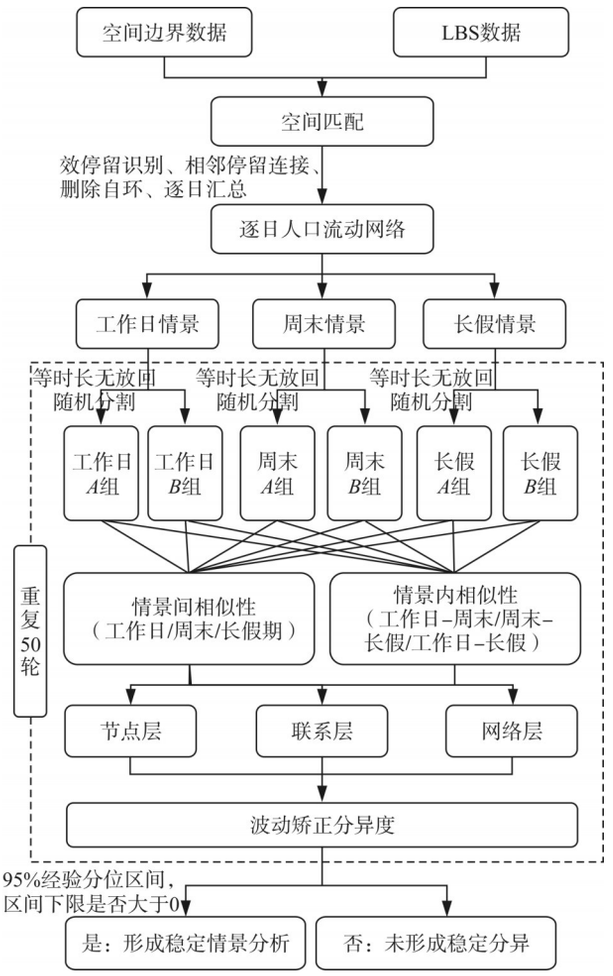
村社边界数据来源于地理遥感生态网平台(http://www.gisrs.cn),用于划分村社单元,为空间匹配和村庄人口流动网络构建提供基础。LBS数据由PioneerData Technology Co.,Ltd.提供,数据时间为2024年10月,覆盖17个Android智能手机品牌的移动终端,共包含约1.65亿条停留记录。数据已进行匿名化处理,主要字段包括匿名终端标识、经纬度、停留开始时间和停留时长等,可用于识别样本终端在不同空间单元之间的活动序列。根据日期类型,将10月1~7日划分为国庆长假,其余日期按星期属性划分为18个工作日和6个周末日。本文所称人口流动频次,是指匿名样本终端在不同空间单元之间发生的连续转移次数,并不直接等同于实际人口流量,主要用于比较统一数据口径下不同情景的相对变化。

2　研究方法

本文首先依据LBS有效停留序列构建村庄相关逐日人口流动网络;然后从节点、联系和网络3个层次测度不同情景网络的相似性;最后,通过等时长无放回重采样分别估计情景内稳定性和情景间相似性,并以同类情景内部的自然波动为参照,判断工作日、周末和国庆长假之间是否存在相对稳定的情景差异(见图1)。

2.1　村镇地区人口流动网络构建

首先,将LBS定位记录匹配至相应村社单元,



A组和B组表示同一情景内部随机划分得到的两个互不重叠子样本，不表示新的情景。

图1 技术路线

Fig. 1 Technical Workflow

按照匿名终端和定位时间进行排序，合并同一终端在同一空间单元内的连续访问，并修正异常访问序列。随后，将停留时间超过10 min的访问识别为有效停留，并按照时间顺序连接相邻有效停留，若前后两次停留位于不同空间单元，则记为一次单元间流动；若仍位于同一空间单元，则不计为流动。最后，按自然日汇总各空间单元之间的流动频次，形成逐日人口流动网络[13]。为集中反映村庄相关流动，本文保留起点或终点至少一端为村庄单元的联系。以参与村庄相关流动的空间单元为节点，以空间单元之间实际发生的流动为联系，联系权重w_{ij}表示由节点i流向节点j的人口流动频次。

2.2 多层次网络相似性指标

已有研究通常从整体联系、节点等级和网络分群等方面刻画人口流动网络[8]。在此基础上，如表1所示，本文按照“基本对象是否保持—相对配置是否稳定—主导结构是否延续”的逻辑，从节点、联系和网络三个层次选择9项相似性指标。各指标均转换为相似性方向，数值越接近1，表示两张网络越相似。节点强度位序基于研究期内参与村庄相关流动的固定节点集合计算，特定网络中未发生流动的节点强度记为0。

（1）节点层。采用活跃节点集合Jaccard系数判断参与流动的空间单元是否保持；Jaccard系数用于衡量两个集合的重合程度，数值越大表示两个集合越相似[14,15]。采用节点强度Spearman秩相关系数衡量流动强度位序的稳定性[16]；并采用前5%高强度节点集合Jaccard系数识别头部节点体系是否延续。前5%为本文识别高强度节点的操作性阈值。节点i的强度为流入与流出频次之和：

$$s_i=\sum_j(w_{ij}+w_{ji}) \tag{1}$$

（2）联系层。采用起讫点（origin-destination，OD）集合Jaccard系数判断基本联系是否保持；采用加权Jaccard系数比较全部OD联系的权重配置；按照OD流动频次由高到低排序，将累计承载80%总流量的最小联系集合定义为主干联系，并以其Jaccard系数判断主要流动通道是否延续。累计80%为本文识别主干联系的操作性阈值。

对于两张网络中全部可能联系$e\in E_a\cup E_b$，加权Jaccard系数定义为[17]：

$$J_w(a,b)=\frac{\sum_e\min(w_e^a,w_e^b)}{\sum_e\max(w_e^a,w_e^b)} \tag{2}$$

式中，w_e^a和w_e^b分别为联系e在网络a和b中的权重；某一网络不存在该联系时，其权重记为0。

（3）网络层。采用最大强连通分量节点集合Jaccard系数判断网络主体连通范围是否稳定；采用节点强度分布的Jensen-Shannon（JS）相似度衡量整体强度分布是否改变；采用标准化互信息（normalized mutual information，NMI）比较网络分群结果的一致性。

节点强度经$\log(1+s_i)$变换后，按照统一的30个等距区间构建概率分布P和Q，并以1减去JS距离得到JS相似度[18]：

$$S_{JS}(P,Q)=1-\sqrt{\frac{1}{2}D_{KL}(P\|M)+\frac{1}{2}D_{KL}(Q\|M)} \tag{3}$$

式中，$M=\frac{P+Q}{2}$，为概率分布P和Q的平均分布；D_{KL}为Kullback-Leibler散度。

网络分群将双向流动频次合并后采用Louvain算法识别[19]。对于网络a和b的分群结果，计算NMI[20]：

$$\mathrm{NMI}(C_a, C_b)=\frac{2I(C_a; C_b)}{H(C_a)+H(C_b)} \quad (4)$$

式中,$I(C_a;C_b)$为两种分群结果间的互信息;$H(C_a)$和$H(C_b)$分别为两种分群结果的信息熵。

表 1　情景稳定性与分异的多层次测度指标体系

Tab. 1　Multilevel Indicator Framework for Scenario Stability and Differentiation

分析	基本对象	相对配置	主导结构
层次	是否保持	是否稳定	是否延续
节点层	活跃节点集合 Jaccard	节点强度 Spearman	前 5% 高强度节点 Jaccard
联系层	OD 集合 Jaccard	加权 Jaccard	80% 主干联系 Jaccard
网络层	最大强连通分量节点集合 Jaccard	节点强度分布 JS 相似度	分群 NMI

2.3　情景内稳定性与情景间差异判定

本文通过情景内比较、情景间比较和波动校正识别不同日期情景之间的稳定分异。情景内比较用于刻画同类日期内部的自然日际波动,情景间比较用于测度不同情景之间的网络差异;仅当情景间差异稳定超过情景内部波动时,才将其识别为相对稳定的情景分异。

由于三类情景包含的日期数量不同,为控制观察时长影响,本文以自然日为抽样单位进行等时长无放回随机分割。每轮分别从工作日、周末和国庆长假中抽取 6 天,并随机划分为两个互不重叠的 3 天子样本,以各子样本逐日 OD 流量的日均值构建网络。情景内比较采用同一情景的两个子样本进行相似性计算;情景间比较则采用不同情景的 3 天子样本进行比较。对于任意两个待比较情景,将二者各自的情景内相似性作为自然波动基准,并据此构建波动校正分异度:

$$\Delta S_{ab}=\frac{S_{aa}+S_{bb}}{2}-S_{ab} \quad (5)$$

式中,S_{aa}和S_{bb}分别为情景 a 和 b 的情景内相似性,S_{ab}为两情景间相似性。$\Delta S_{ab}>0$ 表示情景间相似性低于情景内部稳定水平,即情景间差异超过同类日期的自然波动。

预实验表明,各指标累计均值在 50 轮重采样后基本收敛,因此最终采用 50 轮重采样,并计算 ΔS_{ab} 的均值及 2.5%～97.5% 经验分位区间。若区间下限大于 0,则认为该指标的情景间差异稳定超过内部自然波动。该区间仅用于描述不同日期组合下结果的经验波动,不作统计显著性解释。

3　村镇人口流动网络的多情景差异分析

3.1　总体流量与空间格局

2024 年 10 月,苏州市村镇地区村庄相关人口流动日均频次为 159 267 次。其中,工作日、周末和国庆长假的日均频次分别为 167 875 次、162 033 次和 134 760 次。总体特征呈现为:工作日处于流动强度高位,周末接近日常水平,国庆长假前半程明显下降、后半程有所回升。

从空间格局看,三类情景均呈现多中心、近距离联系集聚的基本特征(见图 2～图 4)。高强度节点并非围绕苏州中心城区单核分布,而是集中于吴中近城地区、吴江江陵街道、昆山、常熟昆承湖周边及太仓沿江地区等多个板块。高值 OD 联系主要围绕相邻村社及高强度节点形成局部集聚,跨地域远距离联系相对分散。工作日与周末的高值节点和主要联系在空间上基本重合,变化主要表现为局部流动强度调整。国庆长假的总体强度下降,但太湖周边、西山岛及常熟昆承湖周边的部分村庄节点和联系相对增强。

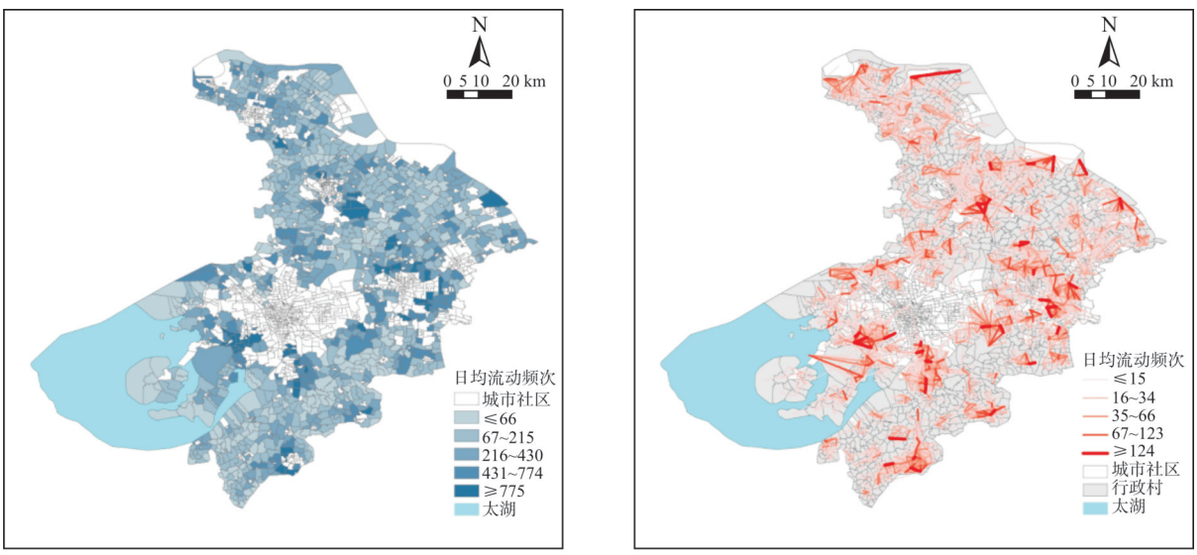
3.2　情景内稳定性:整体结构稳定、局部要素波动

三类情景内部的网络相似性呈现明显的层次差异(见表 2)。

总体上,节点覆盖和整体网络结构较为稳定,头部节点及具体联系波动相对明显;多数节点和联系指标表现为工作日内部稳定性较高、周末次之、国庆长假相对较低。节点层面,三类情景的活跃节点集合和节点强度位序均保持较高稳定性,而前 5% 高强度节点的相似性相对较低,表明日际变化主要集中于头部节点。其中国庆长假的头部节点替换更为明显。联系层面,具体 OD 联系及主干联系在同一情景内部均存在较明显的日际变化,而联系权重配置相对稳定;国庆长假的联系变化幅度整体高于工作日和周末。相比之下,网络层面的主体连通范围、整体强度分布和中观分群在三类情景下均保持较高相似性,说明局部节点和联系的变化尚未改变整体网络组织。

3.3　情景间分异:局部差异逐步扩大,整体网络保持稳定

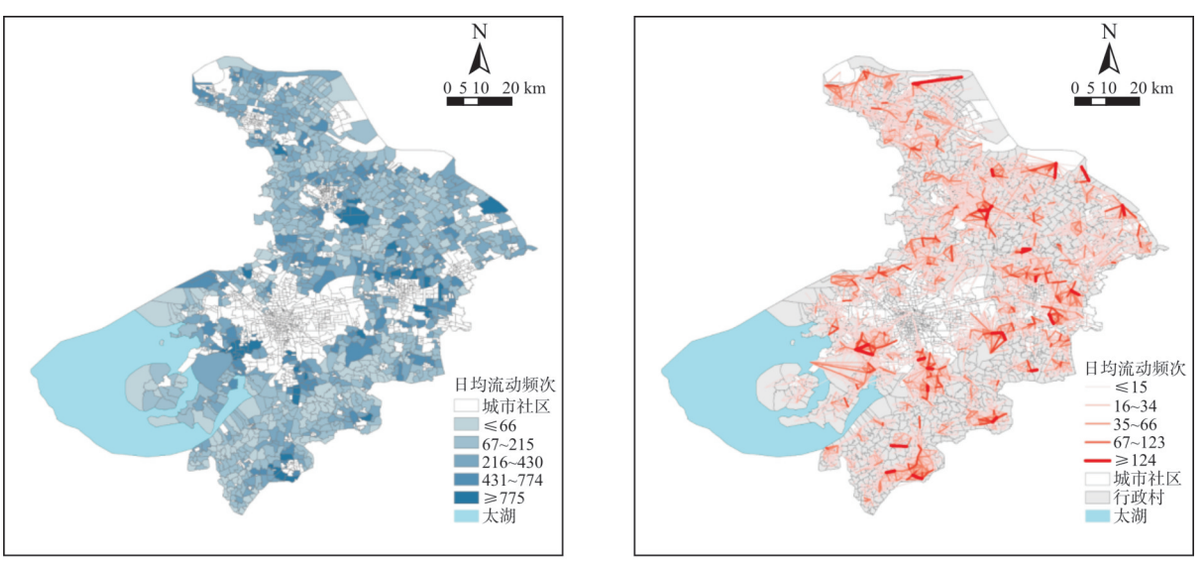
以三类情景各自的内部自然波动为基准,三组



(a) 工作日日均流动频次　　(b) 日均双向OD联系空间分布

图 2　工作日日均流动频次和日均双向 OD 联系空间分布

Fig. 2　Average Daily Mobility Frequency on Workdays and Spatial Distribution of Average Daily Bidirectional OD Flows



(a) 周末日均流动频次　　(b) 日均双向OD联系空间分布

图 3　周末日均流动频次和日均双向 OD 联系空间分布

Fig. 3　Average Daily Mobility Frequency on Weekends and Spatial Distribution of Average Daily Bidirectional OD Flows

情景间的分异呈现由“常态微调”到“差异扩大”,再到“局部稳定分异”的递进关系(见表3)。

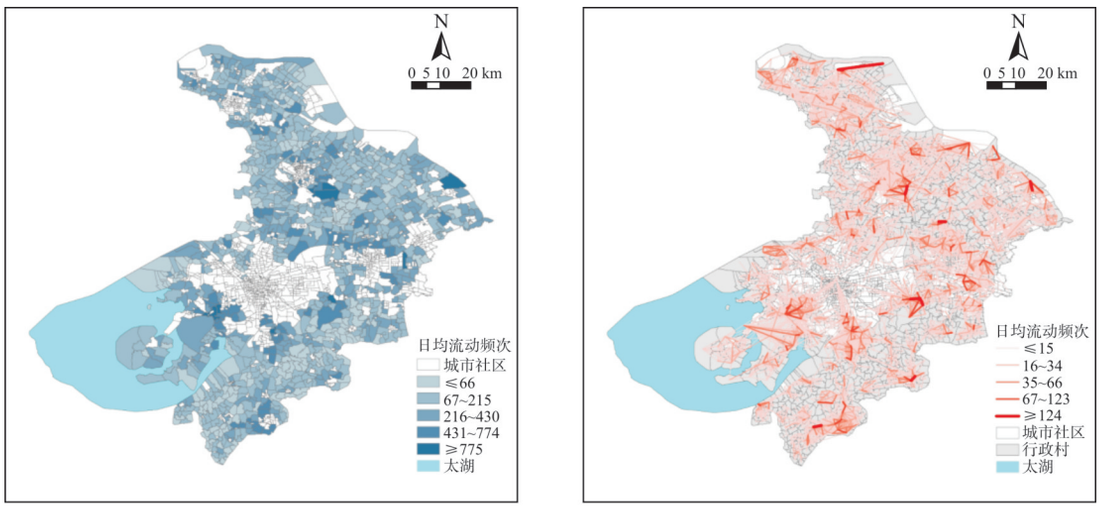
3.3.1　工作日—周末:常态网络的节律性微调

工作日与周末的情景间差异总体较小,多数指标未稳定超过两类情景内部的日际波动,仅节点强度位序、OD联系集合和80%主干联系形成幅度较小但稳定的差异(见表3)。这表明周末延续了工作日的基本网络结构,情景转换主要表现为局部流量调整。

节点层面,仅节点强度位序形成幅度较小但稳定的分异,活跃节点范围和前5%高强度节点均未形成稳定差异。头部节点仅发生少量替换,且空间分布较为分散,未呈现单一功能类型的集中变化,说明周末人口流动仍主要依托既有节点体系展开。

联系层面的稳定差异主要集中于部分具体OD联系和主干联系,而整体权重配置未发生稳定改变。代表性增强联系主要出现在阳澄湖沿岸和东山片区,如新泾村—莲花村、莫厘村—碧螺村等,反映周末休闲游憩活动对局部联系产生一定影响。村庄与城市社区之间的双向联系仅小幅下降,城乡日常联系总体延续。

网络层面,主体连通范围、整体流量分布和网络分群均未形成稳定差异,说明节点相对位序和部分联系的局部调整尚未传导至整体网络层面。



(a) 国庆长假日均流动频次　　(b) 日均双向OD联系空间分布

图 4　国庆长假日均流动频次和日均双向 OD 联系空间分布

Fig. 4　Average Daily Mobility Frequency During the National Day Holiday and Spatial Distribution of Average Daily Bidirectional OD Flows

表 2　情景内稳定性

Tab. 2　Within-Scenario Stability

层次	指标	工作日内稳定性	周末内稳定性	国庆长假内稳定性
节点	活跃节点集合 Jaccard	0.998	0.998	0.999
	节点强度 Spearman	0.995	0.994	0.988
	前 5% 高强度节点 Jaccard	0.904	0.878	0.825
联系	OD 集合 Jaccard	0.331	0.316	0.302
	加权 Jaccard	0.542	0.533	0.489
	80% 主干联系 Jaccard	0.449	0.439	0.288
网络	最大强连通分量节点集合 Jaccard	0.994	0.993	0.994
	强度分布 JS 相似度	0.933	0.947	0.937
	分群 NMI	0.844	0.839	0.829

表 3　不同情景间网络相似性与波动校正分异

Tab. 3　Between-Scenario Similarity and Variability-Adjusted Differentiation Across Scenarios

层次	指标	工作日—周末		周末—国庆长假		工作日—国庆长假	
		情景间相似性	波动校正分异度	情景间相似性	波动校正分异度	情景间相似性	波动校正分异度
节点	活跃节点集合 Jaccard	0.997	0.001	0.998	0.000	0.998	0.001
	节点强度 Spearman	0.990	0.004*	0.982	0.009	0.968	0.024*
	前 5% 高强度节点 Jaccard	0.832	0.059	0.728	0.123	0.635	0.230*
联系	OD 集合 Jaccard	0.317	0.006*	0.299	0.010	0.296	0.020*
	加权 Jaccard	0.523	0.015	0.475	0.036	0.450	0.066*
	80% 主干联系 Jaccard	0.435	0.009*	0.360	0.004	0.354	0.015
网络	最大强连通分量节点集合 Jaccard	0.994	0.000	0.993	0.001	0.993	0.001
	强度分布 JS 相似度	0.935	0.005	0.909	0.033	0.902	0.033
	分群 NMI	0.844	−0.002	0.830	0.004	0.827	0.010

注:波动校正分异度为 50 轮平均值,数值越大表示情景间差异超过情景内波动的幅度越大;*表示分异度的 2.5%~97.5% 经验分位区间下限大于 0,即情景间差异稳定超过情景内部波动。

3.3.2　周末—国庆长假:局部差异扩大但未形成稳定分异

周末与国庆长假的多项指标差异较工作日—周末有所扩大,但 9 项指标均未稳定超过两类情景内部的日际波动(见表 3)。这表明国庆长假的变化主要表现为既有网络中的局部调整增强,两类非工作日情景的基本网络结构仍保持延续。

节点层面,周末向国庆长假的变化主要表现为部分滨湖生态、乡村游憩和农旅融合类节点相对吸引力增强。碧螺村、清水村等节点进入头部,但节点强度位序和前 5% 高强度节点的变化均未稳定超过两类情景内部的自然波动,活跃节点范围也基本保

持不变。

联系层面，部分滨湖和休闲活动相关地区的村际联系增强，而产业、就业联系较强地区的部分联系减弱。例如，莫厘村—碧螺村、新泾村—莲花村等联系有所增强，昆承村—小康村等联系减弱。具体OD联系、权重配置和主干联系的差异均较工作日—周末有所扩大，但均未形成稳定分异。与此同时，村庄与城市社区之间的双向联系总体下降，表明长假期间日常城乡联系有所减弱。

网络层面，节点强度分布的差异有所扩大，但与主体连通范围和网络分群一样，均未形成稳定分异，整体网络组织仍延续周末的基本格局。

3.3.3 工作日—国庆长假：节点与联系的稳定分异

在三组情景比较中，工作日与国庆长假形成稳定分异的指标最多。节点强度位序、前5%高强度节点、OD联系集合和联系权重配置形成稳定分异，其余指标尚未形成稳定差异（见表3）。这表明两类情景之间的变化已由局部流量调整扩展至头部节点和联系配置，但整体网络结构仍保持延续。

节点层面，活跃节点范围基本不变，但节点强度位序和前5%高强度节点均形成稳定分异。部分产业和就业联系较强地区的村庄退出头部节点行列，而清水村、碧螺村、旺山村等具有特色农业、生态游憩和农旅融合功能的村庄相对上升，表明长假期间不同功能节点在网络中的相对地位发生了稳定调整。

联系层面，OD联系集合和权重配置形成稳定分异，而80%主干联系未形成稳定差异。减弱联系更多分布于昆山、常熟等产业和就业联系较强地区，增强联系则主要集中于太湖东山、西山岛及阳澄湖沿岸等休闲游憩资源较集中的地区。例如，昆承村—小康村联系减弱，莫厘村—碧螺村、新泾村—莲花村等联系增强。这说明情景变化已经稳定作用于局部流动路径和流量配置，但尚未改变网络的主要流动通道。村庄与城市社区之间的双向联系总体下降17.5%，且村庄外向联系下降更为明显。

网络层面，主体连通范围、节点强度分布和网络分群均未形成稳定分异，说明节点和联系层面的稳定调整仍发生在既有网络组织内部，尚未引起整体网络结构改变。

4 结束语

本文以情景内部的自然日际波动为参照，识别不同日期类型下苏州村镇人口流动网络的稳定分异。结果表明，村镇人口流动网络总体呈现“局部敏感、整体稳定”的特征：不同情景之间的变化主要集中于节点强度位序、头部节点及具体OD联系配置，而主体连通范围、整体强度分布和网络分群总体保持延续。进一步比较发现，部分表面上的情景差异并未稳定超过同类日期内部的自然波动，说明仅依据不同日期类型的聚合网络进行比较，可能高估情景效应。以情景内波动作为参照，有助于区分自然日际变化与相对稳定的情景分异，并明确差异发生的网络层次。

节点和联系的局部调整与整体网络结构的稳定并不矛盾。节点承担的流量及具体OD联系能够随短期活动安排较快变化，而聚落布局、镇村体系和交通联系具有相对固定的空间基础，使主体连通范围和网络分群在不同情景下仍得以延续。苏州村镇地区工业、商贸、特色农业和生态游憩等功能并存，不同情景下的变化主要表现为不同功能节点的流动强度及其联系配置调整，尚未引起整体网络组织的稳定改变。对于高工业化、多中心且城乡联系密集的村镇地区，短期情景变化可能更多表现为既有空间组织内部的负荷调整，而非整体网络重组。因此，村镇空间与交通组织可在维持基本联系体系连续性的基础上，重点关注周末和长假期间头部节点、局部联系及城乡流向的负荷变化，提高公共服务和交通组织对不同情景的适应能力。

本研究仍存在一定局限。首先，研究数据仅覆盖2024年10月，所识别的国庆长假特征可能受到单次假期安排和季节条件影响，尚不能代表其他月份及不同类型长假。其次，LBS数据记录的是样本终端活动，其流动频次不能直接等同于实际人口流量，样本代表性仍存在一定限制[21-30]。再次，本文主要依据流动联系的空间分布和村庄地域特征解释其功能差异，尚不能准确区分通勤、旅游、探亲等具体活动目的。最后，有效停留时间大于10 min、前5%高强度节点和累计80%主干联系均属于操作性阈值，可能对部分指标结果产生影响，后续可通过阈值敏感性分析进一步检验相关结论的稳健性。

参 考 文 献

[1] Gu Xiaokun, Xie Boming, Zhang Zhengfeng, et al. Rural Multifunction in Shanghai Suburbs: Evaluation and Spatial Characteristics Based on Villages[J]. Habitat International, 2019, 92: 102041

[2] Wan Li, Gao Shuo, Wu Chen, et al. Big Data and Urban System Model— Substitutes or Complements? A Case Study of Modelling Commuting Patterns in Beijing [J]. Computers, Environment and Urban Systems,

2018, 68: 64-77

[3] 詹庆明, 李轩, 樊智宇. 利用非负矩阵分解识别县域人群活动时空特征[J]. 测绘地理信息, 2024, 49(2): 108-113

[4] 王梅红, 贺风, 司连法, 等. 精细地图融合手机信令的城市人口时空分布特征研究[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(1): 49-52

[5] 李智轩, 甄峰, 曹钟茗, 等. 人流视角下城市空间结构特征及规划与治理响应——以南京市为例[J]. 城市发展研究, 2021, 28(6): 58-65

[6] Dong Weihua, Wang Shengkai, Liu Yu. Mapping Relationships Between Mobile Phone Call Activity and Regional Function Using Self-Organizing Map[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 87: 101624

[7] 李镝, 张京祥, 何鹤鸣, 等. 基于LBS数据的大都市远郊新城区城镇化特征研究——以南京溧水中心城区为例[J]. 现代城市研究, 2022(3): 40-48

[8] 黄志强, 甄峰, 席广亮, 等. 南京都市圈日常人口流动网络结构特征及影响因素[J]. 人文地理, 2023, 38(4): 112-120

[9] Escolano-Utrilla S, López-Escolano C, Salvador-Oliván J A. Size and Spatial and Functional Structure of Aggregate Daily Mobility Networks in Functional Urban Areas: Integrating Adjacent Spaces at Several Scales[J]. Cities, 2024, 145: 104731

[10] 俞艳, 樊建, 高昕欣, 等. 手机信令支撑下的城镇体系结构测度——从流空间视角[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2024, 56(1): 131-140

[11] Tian Lin, Zhang Xuchen, Shaw D, et al. An Analysis of Population Movements to Characterize China's Differentiated Countryside: The Case of Chengdu [J]. Journal of Rural Studies, 2026, 122: 103943

[12] Šveda M, Hurbánek P. Rural-Urban Rhythms: Hierarchy in Commuting of Mobile Phone Users in Slovakia [J]. Journal of Transport Geography, 2025, 129: 104425

[13] 冷炳荣, 李继珍, 王英, 等. 基于手机信令数据的重庆与周边地区区域联系模式识别[J]. 城市发展研究, 2022, 29(6):65-73

[14] 余东豪, 魏晓冬, 邓良军, 等. 基于手机位置数据的地铁站点服务范围识别方法[J]. 城市规划学刊, 2025(S1):231-238

[15] Lucchini L, Centellegher S, Pappalardo L, et al. Living in a Pandemic: Changes in Mobility Routines, Social Activity and Adherence to COVID-19 Protective Measures[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1):24452

[16] Oldham S, Fulcher B, Parkes L, et al. Consistency and Differences Between Centrality Measures Across Distinct Classes of Networks[J]. PloS One, 2019, 14(7):e0220061

[17] Ioffe S. Improved Consistent Sampling, Weighted Minhash and L1 Sketching[C]//2010 IEEE International Conference on Data Mining. December 13-17, 2010, Sydney, NSW, Australia. New York: IEEE Press, 2011: 246-255

[18] Lin J. Divergence Measures Based on the Shannon Entropy[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1991, 37(1): 145-151

[19] 牛强, 牛雪蕊, 唐蕾, 等. 基于社区发现算法的宏中观通勤交通分析单元划分方法探索——以武汉市中心城区为例[J]. 交通信息与安全, 2020, 38(4): 95-103

[20] Strehl A, Ghosh J. Cluster Ensembles — A Knowledge Reuse Framework for Combining Multiple Partitions [J]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3: 583-617

[21] 韩钰, 史文中, 涂伟. 一种基于多源数据验证的手机信令数据分析结果不确定性研究方法[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(1): 44-48

[22] 周涛, 赵必成, 俞博. 基于CRISP-DM的交通大数据分析方法及实践——以重庆市手机信令数据和RFID数据为例[J]. 城市交通, 2017, 15(5):42-51

[23] 王鹏远. 基于手机数据集成LSTM与CA的微时空粒度活动人口预测方法研究——以上海市崇明区中国联通用户为例[D]. 上海:华东师范大学, 2020

[24] 詹庆明, 文超, 樊智宇. 长江中游城市群人口流动网络空间结构特征研究[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(6):111-115

[25] 范凌云. 社会空间视角下苏南乡村城镇化历程与特征分析——以苏州市为例[J]. 城市规划学刊, 2015(4): 27-35

[26] 赵莹, 关可汗, 赖丽娜. 基于手机信令数据的长春市居民时空活动分析[J]. 测绘地理信息, 2020, 45(5): 129-132

[27] 周素红, 吴帅霖, 卢俊文. 县域村镇空间发展与管控的数字技术赋能[J]. 测绘地理信息,2023,48(2):8-14

[28] 刘艳芳, 方飞国, 刘耀林, 等. 时空大数据在空间优化中的应用[J]. 测绘地理信息, 2019,44(3):7-20

[29] 杨辰, 辛蕾, 马东波, 等. 基于位置服务数据的社区生活圈测度方法及影响因素分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2024,52(2):232-240

[30] 胡莹, 马锡海. 基于社区生活圈的公共体育设施可达性分析——以苏州市姑苏区为例[J]. 苏州科技大学学报(工程技术版), 2021, 34(3):65-73

修回日期:2026-09-03

第一作者:范凌云,博士,教授,现主要从事城乡规划与设计研究。E-mail:25581910@qq.com

通信作者:魏晓芳,博士,副教授,现主要从事城乡规划与设计研究。E-mail:6319290@qq.com