

村镇聚落网络联系的手机信令探索*

——以中山三乡镇为例

Exploring the Spatial Network of Rural and Urban Settlements through the Lens of Mobile Phone Signaling Data: A Case Study of Sanxiang Town in Zhongshan

赵渺希 徐颖 ZHAO Miaoxi, XU Ying

摘要 村镇联系的结构形态是城乡经济社会复杂关系的综合反映,如何测算村镇聚落联系、构建村镇聚落发展模式是研究村镇聚落体系规划布局的重要议题。以中山三乡镇为例,利用手机信令数据测算村镇聚落的多层级网络联系,并结合自容性、群集性、网络效率等指标分析村镇聚落的网络结构特征。结果表明,三乡镇呈现集群式的空间联系结构,具有自上而下的垂直联系和多层级相互交织的复杂网络特征;行政边界对村镇聚落联系的约束作用较小,而自然地理环境、道路交通条件、土地混合程度等对聚落联系的影响更大;作为沿海发达的半城镇化地区,工作日聚落联系的群集性较高,反映案例村镇联系不再是向心式的单一指向而呈现出网络化的水平多向联系;节假日村镇联系降低,整体网络效率、群集性也更低,但与中心城、外镇的联系比例增加,村民休闲消费的空间跃迁现象明显。

Abstract The structural form of connection between villages and towns is a comprehensive reflection of the complex connection between urban and rural society and economy. It is also an important topic to measure the connection between villages and towns, and construct the development model of them in the study of the planning and layout of rural and urban settlement system. Taking the Sanxiang town in Zhongshan city as an example, this paper attempts to use mobile signaling data to measure the spatial connection between the rural and urban settlements, the settlements and the city center or other towns. That is, to reflect the interaction process by the spatial linkages of human mobility, and to analyze the network structure of rural and urban settlements with the self-compatibility, clustering and network efficiency. The result shows that the Sanxiang town has cluster-form spatial connection structure, and has the complex network characteristics of vertical connection from top to bottom and multi-level mutual feedback. Meanwhile, we also find that administrative boundaries have less restrictive effect on the connection between rural and urban settlements, while geographical environment, road traffic conditions, land use mixing degree and other factors have more prominent influence on the interaction of them. As a coastal developed semi-urbanized area, the clustering of working-day settlement network is relatively higher, reflecting that the case of rural and urban settlements linkage is no longer a centripetal single direction, but a network of horizontal multi-direction. On national days, the links between rural and urban settlements decrease, and the whole network efficiency is comparatively lower. However, the proportions of the links between rural settlements and city center or other towns have increased, illustrating that spatial transition of villagers' leisure consumption behaviors is more universal on the holiday.

关键词 村镇聚落;网络联系;手机信令数据;拓扑结构;空间层次

Key words rural and urban settlements; network connection; mobile phone signaling data; topological structure; spatial level

文章编号 1673-8985 (2019) 06-0038-08 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20190606

作者简介

赵渺希

华南理工大学建筑学院

亚热带建筑科学国家重点实验室

教授,博士

徐颖

华南理工大学建筑学院

硕士研究生

0 引言

一般认为,聚落是人类文明的肇始之地,但学界对村镇聚落间联系方面的研究明显不足。由于传统耕作半径对聚落尺度的空间限

制,村庄的规模报酬递增效应相对有限。因此,农业地区的社会文明进阶基本依赖于与城市以及村镇彼此间的联系交流。20世纪以来,探索村落间相互关系是现代城乡规划和人文地

*基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助“网络社会下大都市空间意象的嬗变机理”(编号2019ZD30)。

理发轫的理论原点之一。1930年代,克里斯特勒在《德国南部中心地原理》中通过对南德地区村镇的研究,揭示了平原假说条件下市场、行政、交通等原则下的聚落体系,由此诞生了城乡规划与人文地理领域中著名的中心地理论。二战后,无论是城市商业设施规划亦或是城镇体系、中心镇、中心村的规划,多遵循这一理论。但在现实环境中,村落所处地理环境并不全是平原,不同地域居民有其特定的行为特征,哈格斯特朗的时间地理学解释了地域组织的时空行为差异,信息社会的扁平化交流模式为村镇关系带来了新的理论范式,诸多因素意味着真实世界的村镇网络联系有着更为复杂的拓扑结构和空间层次。

然而,村镇多属数据稀疏地区,统计年鉴和地方志又往往以城市为重点、对于个体乡村基本忽略不计,致使村镇聚落的空间联系一直难以侦测。既有研究大多以引力模型为基础开展村镇关系研究,但是这种假想的静态联系将空间相互作用视为集聚规模及距离因素的共同作用,无法解释工作日、休息日以及节假日等不同时间段“流”分布的可能波动性,并且引力模型在地理空间的因果前提也并不总是成立,各种静态意义上的聚落规模、区位实际上都是各类微观个体所组成的网络“流”的瞬间堆积,由此形塑了当代乡村社会运行的潮起潮落。因此,以可靠的数据揭示村镇聚落网络联系的时空特征,有助于把握村镇的演化趋势与动力机制,也是合理制定新时期村镇聚落发展规划、实现乡村振兴战略的起点。

1 文献回顾

1.1 村镇空间联系研究

目前,国内外关于村镇联系的研究成果明显少于城市网络;国外研究则多借助交通调查、商业交易、手机信令等数据,结合复杂网络理论方法,从人群的通勤联系、就业联系和社会经济联系方面构建村镇联系。Servillo等^[1]基于意大利皮埃蒙特区37个微观区域中心的通勤数据,分别选取前5位最主要通勤流、构建通勤联系网络,分析不同等级中小城

镇联系的网络结构。Verhetsel等^[2]基于复杂网络理论和社区发现技术,利用比利时通勤数据,探索城市社区不同收入、年龄人群通勤模式的差异。Brønd^[3]利用社会网络分析方法揭示了非洲加纳4个相邻乡村聚落小规模棕榈油交易的复杂网络特征,并总结了不同地方的经济组织模式。Playford等^[4]对农村地区医学毕业生通勤的社会关系网络做出细致的研究。

国内研究主要运用属性数据、而非实测型的联系数据,基本属于引力模型的引申,缺少对真实的村镇空间联系的分析。既有成果主要包括:覃永晖等^[5]借鉴网络形城镇体系理论分析工具,以地处洞庭湖区的临澧县余市桥镇为例,采取层次分析法、发展条件评价法与引力强度分析法,对镇域各村的发展条件与引力强度进行定量分析;宿瑞等^[6]选取重庆市沙坪坝区凤凰镇19个镇村社区作为网络节点,采用修正后的引力强度模型反映节点之间的联系。规划运用方面,宋小冬等^[7]先确定中心村,再在基层自然村中选择集聚村技术,实际上也是基于属性数据的村落关系探索。在实测网络方面,黄勇、张四朋^[8]基于村镇间人际联系构建村镇空间联系网络,用以表征区域村镇空间结构。

总体上,国内既有文献中,场强模型、空间相互作用模型、断裂点公式等方法均来自于社会物理学的引力模型。这种“假想”的空间联系并不是实测的村镇网络联系,空间尺度以县域、市域为主,忽略了微观尺度的村镇聚落(聚落往往不是一个独立的空间统计单元、因此也没有统计数据可用),无法真实反映村镇聚落之间微观的空间联系,且既有研究不涉及社会性网络联系的时间序列分析,因而可信度较低、应用价值有限。

1.2 手机信令数据的空间联系研究应用

城镇化、信息化快速发展的时代,利用海量、多源数据对城乡规划焦点问题进行量化分析逐渐成为热潮。智能手机定位数据具有可获得性强、覆盖面较广、实时可持续等优势,能够

真实表征空间中人的行为特征及社会经济属性,反映实际的人群流向,为区域空间联系研究提供了新方法和新视野。

国外对手机信令数据的应用较早,聚焦于人群流动与行为、城市空间结构、社区发现等方面。Csáji等^[9]基于葡萄牙手机通信数据,利用聚类分析方法,对家庭和办公地点进行识别。Bajardi等^[10]利用意大利米兰移动电话用户拨打和接收的通信数据,以熵函数测量国际通话活动在时间和空间上的异质性,识别城市热点国际社区。Eagle等^[11]利用手机信令数据对农村和城市社区的研究发现,农村和城市社区不仅在网络拓扑结构方面存在显著差异,而且在旅游等潜在行为特征方面的差异也很明显。Louail等^[12]通过研究西班牙31个城市的通话数据,测算一天中个人平均出行距离的演变,来揭示不同类型的城市结构。

目前,手机信令数据在区域联系方面的研究对象集中在城市之间或城市群内部的关联,主要包括城市群空间结构特征、城市功能区边界的划分、城市网络的层级与结构、城镇体系规划等方面,少数学者对其应用于村镇规划的适用性做出了探索。周永杰,刘洁贞等^[13]以手机信令数据为基础,构建城市联系强度模型,对珠三角城市群空间发展格局进行分析。王德等^[14]根据手机信令数据测度上海市中心城区与外围地区的通勤联系与消费联系,由此划分上海都市区。王垚等^[15]以江西省北部区域为例,分别利用手机信令数据和企业关联数据测度城市的人流联系和经济联系,比较这两种城市关联网络的层级、结构、腹地的差异。姚凯等^[16]利用手机信令数据测算了区域内跨镇出行联系强度,研究城镇等级体系、中心城市腹地、区域发展廊道等,为大数据应用于城镇体系规划做出了实践探索。除此之外,谭文星等^[17]先分析村镇手机信令数据的特性,并结合现有村镇规划技术,通过上海郊区的实证研究对手机信令应用于活动空间、村镇体系及问题区域诊断等方面的可行性进行验证。

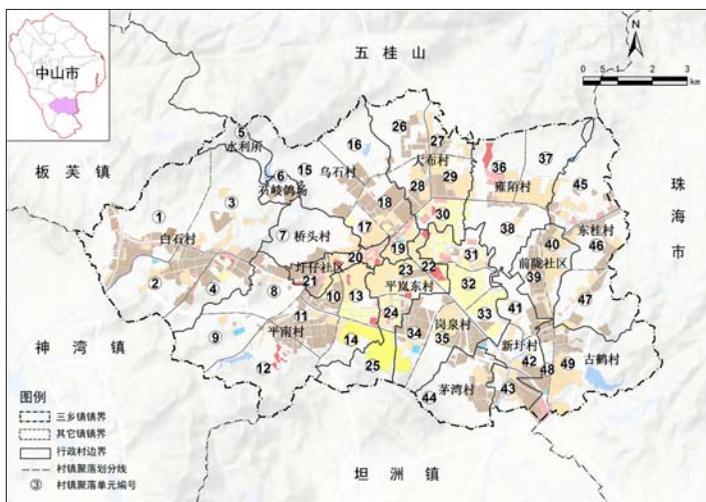


图1 三乡镇村镇聚落划分图
资料来源:笔者自绘。

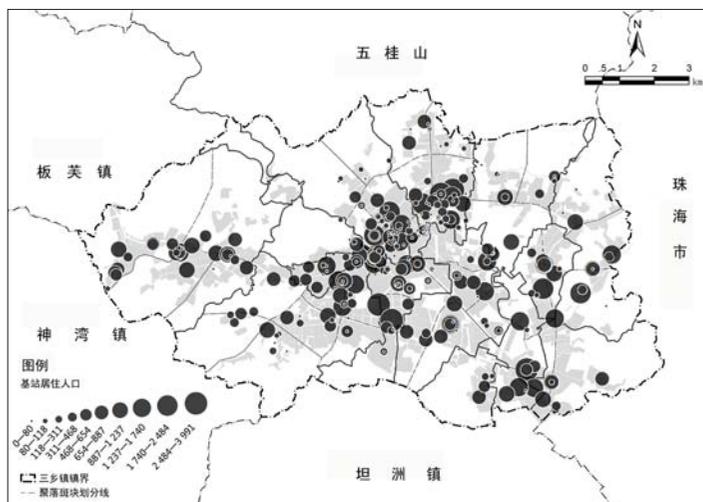


图2 三乡镇移动基站居住人口分布图(单位:人)
资料来源:笔者自绘。

需要指出的是,学界对手机信令数据应用于空间联系已经有过一定探索,但既有的研究仍较少关注村镇聚落的空间网络,且缺少对村镇聚落联系复杂性的测度方法。基于图论衍生出的复杂网络分析工具,具备相对完整的统计量,能够揭示复杂系统的宏观特征。利用手机信令数据研究村镇聚落网络的拓扑结构和空间层次,能够以微观的视角揭示村镇聚落空间人群流动的时空特征,反映村镇聚落空间联系的结构形态及其发展模式,为村镇聚落体系规划提供有益的指导。鉴于此,本文以中山市三乡镇为例,使用手机信令数据测度工作日、休息日、节假日3个不同时段村镇聚落空间的人群联系,结合复杂网络统计指标表征村镇聚落网络的空间结构差异,以期多源时空大数据应用于村镇聚落网络研究做出有益的探索。

2 数据与方法

2.1 研究单元划分

三乡镇位于中山市南部,毗邻珠海、澳门,总面积96 km², 2017年末常住人口20.4万人(户籍人口5.2万人),包含圩仔、前陇、南龙、西山等4个居委会和古鹤村等12个行政村,是广东省中心镇以及中山南部组团中心。三乡镇有良好的交通区位优势, 105国道、城桂快线贯

穿全境,位于珠中江城市“半小时生活圈”和珠三角“1小时生活圈”内,与中山南部镇区之间的联系一直较为紧密,是以外向型经济为主导的经济强镇。

三乡镇处于典型的半城镇化地区,兼具城市和乡村的双重职能和景观特点。区域内土地利用混合程度高;就业呈现多样性,农、工、商等行业已基本取代传统农业;基础设施和公共服务设施较完善;乡村旅游也有所发展。因此,其是相对典型的东南部地区村镇发展研究的样本区域。为更细致地表现村镇聚落网络联系,评估村镇聚落联系的影响机制,本文对三乡镇进行聚落空间单元的划分。根据三乡镇行政村边界、自然地理环境、道路交通设施、用地功能布局等因素,将三乡镇划分为49个聚落单元,其中47个聚落单元作为研究对象(单元⑤⑥内部缺乏基站,且主要为非建设用地,故不考虑在内),并按次序编号(见图1)。三乡镇镇区以外的地域以乡镇行政村边界为空间单元进行划分。

2.2 研究数据

手机信令数据是手机用户在开机、关机、主叫、被叫、收发短信或由位置的移动导致连接基站发生变更时所产生的能记录用户手机识别号、所处基站及停留时间等信息的移动

定位大数据,能够反映用户在村镇聚落之间的出行时空轨迹,测度村镇聚落的真实人流联系。随着互联网和移动互联网技术在村镇的迅速发展普及,村镇中手机持有者比例大幅提升,利用手机信令数据可以较全面地获取居民大规模出行样本,较好地反映村镇聚落之间居民的出行联系。虽然手机信令数据的精度受基站位置布局及辐射范围等因素限制,手机持有率也与居民年龄及其他社会经济属性有关,但是这些因素并不影响使用手机信令数据在建制镇尺度下研究村镇聚落的网络联系。

本文使用的基础数据为中国移动手机信令数据。经统计,镇域范围内移动基站共325个。根据基站居住人数,对三乡镇居住人口分布进行可视化(见图2),发现中心镇区基站分布密集,人口众多,而外围山区基站分布稀疏,居住人口较少。

手机信令数据取自2018年10月1日—14日,包含一个连续的国庆节假日(1日—7日)、5个工作日(8日—12日)和两个休息日(13日—14日),用于不同时间维度村镇聚落居民出行的差异比较。数据标签包括用户ID、时间戳、基站位置编号等信息。其中,用户ID为手机用户的唯一标识码,用于标识追踪用户轨迹;时间戳表示手机信令的传递时间;

基站位置编号可以通过匹配基站的经纬度来定位手机用户所在地。

值得说明的是,数据的目标是发生在三乡镇镇区内部、从三乡镇前往中山其他镇及从其他镇区去三乡镇的居民出行数据,包括通勤联系和非通勤联系数据。以三乡镇聚落斑块与三乡镇其他聚落斑块及中山其他镇行政村之间的出行人次作为村镇聚落之间联系度的基础,测算方法包括用户居住地识别、就业地识别、其他出行目的地识别、联系次数计算及村镇聚落联系度汇总5个步骤。首先,将10月20:00点至次日10:00的月累积停留时长最长、且停留时间大于45 h的基站作为居民居住地;10:00至19:00的月累积停留时长最长、且停留时间大于5.5 h的基站作为工作地;居民进行跨空间单元出行,在目的地基站范围停留时间大于30 min,且停留基站不为工作地所在基站时,将该基站定义为其他目的地;将居民由居住地至就业地的往返联系定义为通勤联系,居民在其他目的地之间的来往定义为非通勤联系,统计居民在不同基站之间的出行联系次数(通勤与非通勤出行频次之和);同时基于划定的村镇聚落空间单元,累计聚落斑块之间的出行联系,构建村镇聚落的联系网络。

2.3 分析方法

2.3.1 网络拓扑结构

本文基于网络拓扑结构,从密度、强度、群集性等方面进行计算,比较工作日、休息日、节假日村镇聚落的网络差异。首先,定义村镇聚落网络的基本单位为两聚落斑块之间日均人流出行频次,以 W_{ij} 表示由i聚落斑块前往j聚落斑块的日均人流量,聚落斑块i和j之间的联系强度为 $W_{ij}+W_{ji}$ 。在分析部分拓扑结构相关指标前,需要对聚落斑块间人流量进行二值化处理,以得到无权无向网络,若人流量大于阈值w,则聚落斑块间联系值 T_{ij} 为1,否则, T_{ij} 为0。

(1) 自容性。为了描述村镇聚落联系的外向性,研究借用了Hall等^[18]的自容性概念,定义 e_{ii} 为三乡镇聚落斑块i内部日均人流联系。则聚

落斑块i的自容性 Le_i 可以表示为:

$$Le_i = \frac{e_{ii}}{\sum_j W_{ij} + \sum_j W_{ji} + e_{ii}} \quad (1)$$

Le_i 的值域在0和1之间,当 Le_i 的值越接近于0,表明该聚落斑块与其他聚落斑块之间联系越强,反之说明该聚落斑块参与村镇一体化程度越弱。为便于不同时间维度村镇聚落网络之间的横向比较,本文借鉴赵渺希等^[19]空间网络的整体自容性 (Le),其度量公式如下:

$$Le = \frac{\sum_i e_{ii}}{\sum_i \sum_j W_{ij} + \sum_i \sum_j W_{ji} + \sum_i e_{ii}} \quad (2)$$

(2) 群集性。对于村镇聚落空间网络的多向性特征,采用群集性的概念进行度量。根据拓扑学相关理论,以任意3个节点之间的联系组成的三角形数量能够表征网络联系的真实状态,即复杂网络统计工具中群集性的指标。Watts等^[20]提出网络联系中相邻节点之间的凝聚力可以用群集性来衡量,在拓扑学中通过计算构成三角形的数量来统计。三角形数量越少,说明网络联系越松散。假定村镇聚落联系为两两相等的无权网络,其计算公式为:

$$C_i = 2E_i / [k_i(k_i - 1)] \quad (3)$$

式中 C_i 为群集性, E_i 是包含节点i的三角形数量, k_i 是节点i与其他节点的连线数量, $k_i(k_i-1)$ 是包含节点i的边可能构成的最多三角形数量。 C_i 的取值范围是0—1。值越大,说明该节点与整个网络中其他节点的三元数组越明显,在网络中的联系越紧密。同样,本文提出空间网络的整体群集性 (C),作为不同时间段村镇聚落联系比较指标,其度量公式如下:

$$C = \frac{2 \sum_i E_i}{\sum_i k_i(k_i - 1)} \quad (4)$$

(3) 网络效率。测量村镇聚落网络节点联结的便利程度,引入图论中全局效率(Latora等^[21])的计算公式:

$$\eta = \frac{\sum_i \sum_j d_{ij}^{-1}}{n(n-1)} \quad (5)$$

式中 d_{ij} 是网络的节点i、j的最小步长,若两节点没有任何路径连通时,定义 d_{ij} 为 ∞ ,相应的值 d_{ij}^{-1} 为0。网络效率 η 的取值范围是0—1,当网络中任意两节点都彼此相连时,形成正则网络,且全局效率达到最大值1。

(4) 变异系数。变异系数 C_v 可用于衡量不同聚落在空间上联系的相对变化程度。计算公式如下:

$$C_v = (\text{Std}/\text{Ave}) \times 100\% \quad (6)$$

式中Std和Ave分别表示聚落斑块间形成联系的边的标准差和平均值。

利用公式(4)(5)(6),可以计算和比较不同聚落空间组织条件下,网络的群集性、网络效率和变异系数(见表1)。

2.3.2 空间层次

相对于传统乡村聚落在空间上等级性、向心性联系,信息时代村镇聚落更可能存在跨越自然地理要素、行政边界等条件的多向层级式关系“流”。从空间层次的视角,将村镇聚落斑块联系划分为村内联系、村际联系、镇区联系、外镇联系和中心城区联系5种类型(见图3)。

其中,村内联系是指聚落斑块间联系发生在镇内同一行政村;村际联系是指聚落斑块间联系发生在镇内不同行政村之间;镇区联系是聚落斑块的联系发生在中心镇区与镇内行政村之间;外镇联系是聚落斑块的联系发生在镇内行政村与镇外其他地域之间;中心城区联系是聚落斑块的联系发生在行政村与中心城区(本文包括东区、西区、火炬区、石岐区、南区、港口镇、五桂山)之间。其中比较特别的是行政村的外镇联系、中心城区联系有助于度量不同于一般行政层级的空间跃迁现象。

3 分析结果

3.1 村镇聚落网络总体空间特征

以村镇聚落斑块为基本空间单元,计算工

表1 人群动态结构模式表

模式网络指标	不同聚落空间组织拓扑				
群集性 (C)		0.00	0.00	0.13	0.00
网络效率 (η)		0.20	0.33	0.40	0.67
变异系数 (C _v , %)		0.00	97.98	0.00	0.00

资料来源:笔者自制。

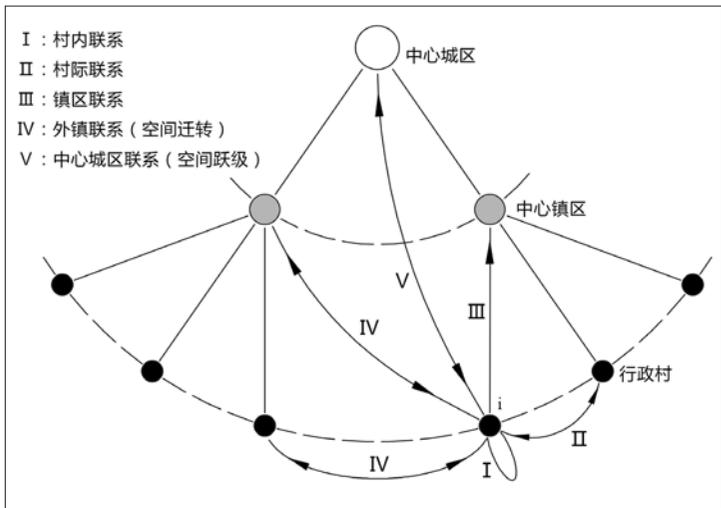


图3 村镇聚落斑块空间层次联系模式图
资料来源:笔者自绘。

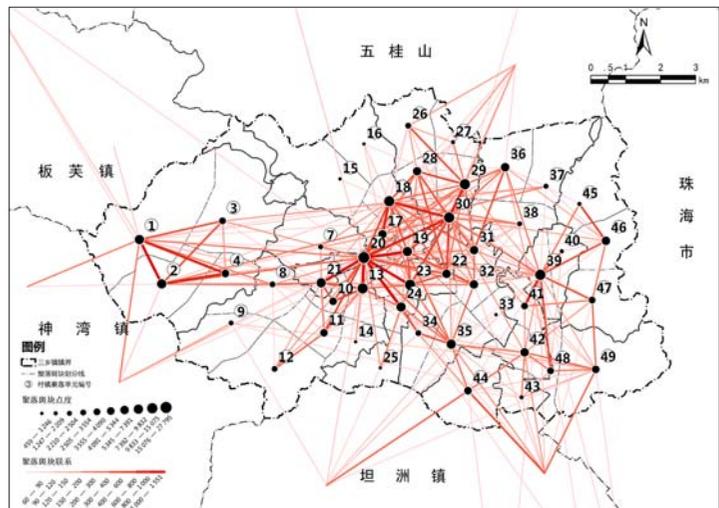


图4 三乡镇聚落斑块关联网络表征图
资料来源:笔者自绘。

工作日、休息日、节假日村镇聚落网络节点度,以聚落斑块之间的人流联系表征聚落斑块间联系强度,比较三乡镇村镇聚落斑块在不同时间维度的联系差异。需要说明的是,为便于不同时间维度村镇聚落网络特征的比较,且不出现孤立的聚落斑块,人流联系及点度的比较均采用休息日、工作日、节假日的日平均值,并将聚落斑块联系阈值设定为60(事先拟定聚落斑块联系阈值取100人次,按照移动市场占有率71%、手机在全年龄段覆盖面85%,最终信令联系值取整为60人次)。在ArcGIS中对网络进行包含地理位置的空间可视化,根据数据特征采用相同区间对聚落斑块联系强度分级,得到村镇聚落斑块关联网络(见图4)。

从图4可以看出,三乡镇整体上呈现簇群式的空间结构,具有复杂网络的结构特征,从

空间联系强度上可以较为明显地划分为东部、中部、西部3个片区。各个片区内部的聚落斑块之间联系较为紧密,既存在向心性垂直联系,也包含多中心的网络联系,而片区之间的联系相对稀疏。

进一步分析村镇聚落斑块联系强度的影响因素,发现行政边界对村镇聚落联系的约束相对较小,空间上邻近但属于不同行政村的斑块之间仍可能存在较强的联系(如①与神湾镇,④与坦洲镇等)。相比之下,自然地理环境、道路交通条件、土地使用混合程度等因素对村镇聚落相互作用的影响更大。三乡镇与中心城区的联系因受到五桂山自然地形的阻隔而较弱,白石村聚落斑块联系同样受内部山地的影响,使得其对内联系更加紧密,形成条带状发展。道路交通设施完善、土地混合程度较高的

中心镇区,聚落斑块自身社会经济发展条件较好,斑块间联系较强,更容易形成网络化的多向联系。

3.2 拓扑结构

对村镇聚落网络的拓扑结构展开分析,计算不同时间维度三乡镇村镇聚落网络的自容性、群集性、网络效率和变异系数等相关指标,结果见表2。

从三乡镇村镇聚落网络的整体自容性来看,工作日村镇聚落网络整体自容性最小,聚落斑块间联系最强;相比之下,节假日聚落网络整体自容性最大,聚落斑块间联系最弱。这说明半城镇化地区的出行联系仍主要发生在聚落内部,而节假日人群回流现象较为明显,人口的潮汐变化对聚落斑块联系强度的影响

表2 村镇聚落网络自容性、群集性、网络效率及变异系数

测度指标	时间		
	工作日	休息日	节假日
自容性 (Le)	0.648	0.673	0.690
群集性 (C)	0.016	0.015	0.012
网络效率 (η)	0.476	0.484	0.427
变异系数 (C_v , %)	80.54	81.03	83.28

资料来源:笔者自制。

表3 村镇聚落网络联系的点度和变异系数

测度指标	时间		
	工作日	休息日	节假日
点度平均值	6 419	6 554	5 699
点度标准差	5 170	5 311	4 746
变异系数 (C_v , %)	80.54	81.03	83.28

资料来源:笔者自制。

表4 村镇聚落斑块不同空间层次联系的比重

时间	空间层次联系				
	村内联系	村际联系	镇区联系	外镇联系	城区联系
工作日	0.507	0.299	0.099	0.068	0.026
休息日	0.509	0.279	0.094	0.082	0.035
节假日	0.523	0.275	0.095	0.075	0.031

资料来源:笔者自制。

表5 村镇聚落斑块不同空间层次联系的一致性检验

空间层次联系 一致性检验	村内联系	村际联系	镇区联系	外镇联系	城区联系
	Kendall协同系数	0.428	0.605	0.067	0.526
显著性 (sig.)	0.000	0.000	0.056	0.000	0.000

资料来源:笔者自制。

较大。

进一步分析村镇聚落网络在不同时间维度群集性的变化,不同时间维度村镇聚落网络群集性均未超过0.02,整体网络群集性较低,说明三乡镇村镇聚落仍未形成较成熟的网络联系,但局部已经表现出较强的复杂网络特征。工作日与休息日村镇聚落网络群集性差异较小,而节假日网络群集性明显下降,表征为较弱的网络联系。

从村镇聚落斑块的网络效率来看,不同时间维度村镇聚落的网络效率一般,结合不同网络结构模式中全局效率的变化,可发现三乡镇聚落网络的联结性不高,聚落斑块形成内部联系紧密的群体,但群体间聚落关联较弱。同时,工作日和休息日聚落斑块的网络效率非常接近,聚落斑块的连通性差异不大,相比之下,节

假日村镇聚落的网络效率明显降低,聚落斑块的联系数量减少且联系强度减弱,整体连通性变小。

同时,分析三乡镇聚落斑块的点度及变异系数,计算结果见表3。休息日节点网络点度的平均值最大,为6 554;工作日略低于休息日,为6 419;节假日平均点度明显降低,仅5 699。从变异系数来看,节假日节点网络点度的变异系数略大于工作日和休息日,但不同时间维度节点网络点度的变异系数均超出80%,说明聚落斑块点度差异较大。根据Duyckaerts等^[22]利用 C_v 值分析点模式给出的建议值:当 C_v 值>64%时,点集为集群分布,说明三乡镇聚落斑块的点度在空间分布上具有集聚性特征。

综合以上分析,节假日村镇网络的活力明

显减弱,说明半城镇化地区村镇联系强度取决于人口的潮汐变化。在国庆节假日,村镇消费、休闲外流,不但镇内的整体联系强度下降,聚落斑块间联系比重、网络效率、群集性下降,而变异系数上升,反映出短期人口流失后村镇聚落网络处于相对均衡的弱联系状态。

3.3 空间层次

以三乡镇聚落斑块为单位,分别统计工作日、休息日、节假日聚落斑块5类空间层次联系及其比重,利用SPSS的Kendall检验方法,分别对5类空间层次联系在不同时间维度的一致性进行检验,结果见表4、表5。

从村内联系来看,节假日聚落斑块村内联系比重的平均值大于工作日和休息日,且比较结果在99%的置信区间具有一致性 (sig<0.01)。这说明节假日半城镇化地区居民可能存在一定的回流现象,以家庭为单位的就近消费休闲活动得到促进。同时,休息日相对于工作日聚落斑块的村内联系差异小,不足以刺激居民“返乡”。但是,不同时间维度聚落斑块的村内联系比重的平均值均超出50%,反映了三乡镇聚落斑块就地城镇化的特点。

从村际联系来看,工作日聚落斑块的村际联系比重的平均值明显大于休息日和节假日,检验结果在99%的置信区间存在一致性 (sig<0.01,且Kendall协同系数>0.5),说明村际联系可能会受到通勤联系的影响。类似的,工作日聚落斑块镇区联系比重的平均值略大于休息日和节假日,检验结果在90%的置信区间可靠 (sig<0.01)。与此同时,不同时间维度聚落斑块与三乡镇中心镇区联系比重的平均值均小于0.01,说明聚落斑块与中心镇区的联系较稳定,三乡镇村镇聚落网络并非呈现出单一的自上而下的垂直式、向心性联系,而是表现为多中心网络化的水平多向联系。

相反,不同时间维度村镇聚落斑块的外镇联系和中心城区联系差异表现出一定的一致性。在节假日和休息日,聚落斑块与外镇、中心城区联系比重的平均值均明显大于工作日,且检验结果在统计学意义上均具有99%的可靠

性 ($\text{sig} < 0.01$)。这也表明,相比工作日的通勤出行,半城镇化地区居民在休息日与节假日愿意付出更高的交通出行成本,来满足更高质量的休闲消费活动。

从横向联系来看,相比于中心城区联系,聚落斑块与外镇的联系更强,说明中心城区对三乡镇村镇聚落斑块尚未构成相对的强吸引力,村镇聚落斑块联系在空间层次上具有距离衰减的特征。具体剖析其原因,一方面在于中山南部山脉连绵不断,三乡镇北部五桂山等镇区内广泛分布的群山在某种程度上会加大三乡镇村镇聚落与中心城区的联系成本,阻隔其与中心城区的关联,并促使其更容易与空间上邻近的镇区产生联系。另一方面,从历史发展的角度来看,1949年后中山南部4镇(三乡镇、坦洲镇、神湾镇和板芙镇)之间一直保持着较为紧密的政治经济联系,三乡镇作为中山南部组团的核心,在大型公共服务设施配套、道路交通设施规划及产业发展等方面与其余三镇关系密切。

通过对不同时间维度三乡镇村镇聚落斑块空间层次联系比重的比较,总结得到半城镇化地区村镇聚落斑块空间层次联系模式(见图5):以工作日联系为标准的倾斜直线,休息日、节假日曲线呈现头部和尾部同时上翘、中部相对塌陷的趋势,表明在这一城镇化地区,休闲时段的居民要么“宅”在本村聚落内部、要么去往中心城区或者外镇,去往本镇镇区的出行比例明显降低。鉴于三乡镇为中山南部的中心镇,这一特征模式也说明,网络扁平化趋势下村镇体系规划应重新审视中心镇的实质性功效。

4 结论与讨论

乡村振兴战略实施过程中,应对村镇的扩展或收缩离不开对乡村聚落空间关系的洞察,尤其是村庄居民点布局、基础设施和公共服务规划,均应以区域共享为原则、尽可能发挥村镇聚落体系的网络外部性。本文的主要创新点在于:运用手机信令数据的人流联系表征村镇聚落的空间联系,并据此构建不同

时间维度的村镇聚落空间联系网络,结合复杂网络相关统计指标,从网络的拓扑结构和聚落斑块联系的空间层次两方面剖析村镇聚落联系的网络特征,反映了半城镇化地区的居民出行特征,揭示了新时期村镇体系发展的网络扁平化趋势规律,对多源数据应用于村镇规划具有借鉴意义。

本文选取中山三乡镇为实证案例,研究结果表明,三乡镇整体上呈现出簇群式的空间联系结构,既具有向心性的垂直联系,又包含多中心、多指向的网络联系;地势平坦、交通设施完善、用地混合多样的中部片区,聚落斑块存在更普遍的跨越行政村边界的密切联系,相反,西部、东部片区受山地阻隔、道路交通条件的限制,与中心镇区联系松散,西部村镇聚落与邻近的神湾镇产生紧密联系,而东部聚落斑块则形成明显的向心性联系。因此,为促进村镇聚落一体化发展格局,可考虑加强西部、东部片区与中心镇区及邻近其他村镇的联系,统筹发展道路交通设施、公共服务设施建设,协调就业设施布局。从时间维度来看,工作日聚落联系的群集性、网络效率较高,自容性和变异系数较小,而节假日村镇联系降低,整体网络效率,群集性也更低,说明半城镇化地区村镇联系强度取决于人口的潮汐变化。同时,节假日聚落斑块与中心城、外镇的联系比例较工作日显著增加,村民消费的空间跃迁现象明显,网络扁平化趋势下村镇体系规划应该重新审视中心镇的实质性功效。

传统研究方法多利用改进的引力模型来探究村镇社会空间联系网络,这种静态模拟网络的构建更依赖于社会经济要素的集聚以及空间距离等因素,并不一定能很好地解释现实生活中村镇之间的空间联系。利用手机信令数据测算村镇空间联系,以人群流动的空间关系,可靠地反映不同时间段村镇网络实际联系的动态变化,由此构建的村镇聚落空间网络能反映微观层面道路、山体等环境因素的影响,揭示了真实环境下村镇聚落网络联系的动态特征,有助于把握村镇聚落的演化趋势和动力机制。当然,手机信令数据仅能从人流方面反

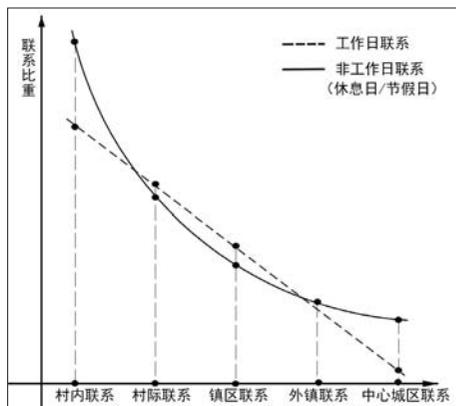


图5 半城镇化地区村镇聚落联系的空间层次差异图
资料来源:笔者自绘。

映村镇聚落的空间联系,基站布局的地域尺度也会对研究精度带来一定的影响,未来可考虑结合Wifi、GPS轨迹点等粒度数据构建多重网络,使研究结果更精准。

随着移动互联网等技术在村镇的进一步发展,运用多项人流、物流、信息流数据定量研究村镇聚落体系发展,指导村镇规划将成为新的趋势。研究发现,手机信令数据能够全面而完整地展现半城镇化地区村镇聚落的网络联系特征,为理清村镇聚落网络发展状况并优化其网络结构提供新方法,有利于推进城乡一体化进程中村镇聚落资源的合理配置,使村镇规划更科学地指导村镇发展。但是本文仅仅对中山三乡镇的案例进行研究,案例仅代表了沿海发达的半城镇化地区村镇,后续研究可对比不同社会经济发展水平、区位等因素影响下的村镇聚落网络联系。同时,对于村镇聚落联系的驱动因素,也可运用相关计量方法做进一步验证。

参考文献 References

- [1] ESPON. Town, small and medium sized towns in their functional territorial context [R]. 2014.
- [2] VERHETSEL A, BECKERS J, MEYERE M. Assessing daily urban systems: a heterogeneous commuting network approach[J]. *Networks and Spatial Economics*, 2018, 18(3): 633-656.
- [3] BRØND F. Territory and trade networks in the small-scale oil-palm industry in rural Ghana[J]. *Applied Geography*, 2018, 100: 90-100.
- [4] PLAYFORD D, BURKITT T, ATKINSON D. Social network analysis of rural medical networks after medical school immersion in a rural clinical school[J]. *BMC Health Services Research*, 2019, 19(1): 305.
- [5] 覃永晖, 彭保发, 王晶. 网络形镇村体系等级结构的实证研究[J]. *经济地理*, 2016, 36 (7) : 84-90.
QIN Yonghui, PENG Baofa, WANG Jing. An empirical study on the hierarchical structure of network town-village system[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 84-90.
- [6] 宿瑞, 王成, 唐宁, 等. 区域镇村社区空间网络结构特征及其优化策略[J]. *地理科学进展*, 2018, 37 (5) : 688-697.
SU Rui, WANG Cheng, TANG Ning, et al. Structural characteristics and optimizing strategies of regional town and village community spatial network[J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(5): 688-697.
- [7] 宋小冬, 吕迪. 村庄布点规划方法探讨[J]. *城市规划学刊*, 2010 (5) : 65-71.
SONG Xiaodong, LYU Di. Discussion on the planning method of village distribution[J]. *Urban Planning Forum*, 2010(5): 65-71.
- [8] 黄勇, 张四朋. 高山峡谷区村镇空间结构及影响因素研究——以康定折东区域为例[J]. *西部人居环境学刊*, 2018, 33 (5) : 42-46.
HUANG Yong, ZHANG Sipeng. Study on spatial structure and influencing factors of villages and towns in alpine canyon area: a case study of Zhedong District, Kangding[J]. *Western Journal of Human Settlement Environment*, 2018, 33(5): 42-46.
- [9] CSÁJI B, BROWET A, TRAAG V, et al. Exploring the mobility of mobile phone users[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2013, 392(6): 1459-1473.
- [10] BAJARDI P, DELFION M, PANISSON A, et al. Unveiling patterns of international communities in a global city using mobile phone data[J]. *EPJ Data Science*, 2015, 4(1): 3.
- [11] EAGLE N, MONTJOYE Y, BETTENCOURT L. Community computing: comparisons between rural and urban societies using mobile phone data[C]//2009 International Conference on Computational Science and Engineering. IEEE, 2009.
- [12] LOUAIL T, LENORMAND M, ROS O, et al. From mobile phone data to the spatial structure of cities[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 5276.
- [13] 周永杰, 刘洁贞, 朱锦锋, 等. 基于手机信令数据的珠三角城市群空间特征研究[J]. *规划师*, 2018, 34 (1) : 113-119.
ZHOU Yongjie, LIU Jiezheng, ZHU Jinfeng, et al. Study on spatial characteristics of Pearl River Delta urban agglomeration based on mobile signaling data[J]. *Planners*, 2018, 34(1): 113-119.
- [14] 王德, 顾家煊, 晏龙旭. 上海都市区边界划分——基于手机信令数据的探索[J]. *地理学报*, 2018, 73 (10) : 1896-1909.
WANG De, GU Jiahuan, YAN Longxu. Boundary division of Shanghai metropolitan area: exploration based on mobile signaling data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1896-1909.
- [15] 王垚, 钮心毅, 宋小冬, 等. 人流联系和经济联系视角下区域城市关联比较——基于手机信令数据和企业关联数据的研究[J]. *人文地理*, 2018, 33 (2) : 84-91, 146.
WANG Yao, NIU Xinyi, SONG Xiaodong, et al. Comparison of regional urban linkages from the perspective of human flow linkages and economic linkages: a study based on mobile signaling data and enterprise linkage data[J]. *Human Geography*, 2018, 33(2): 84-91, 146.
- [16] 姚凯, 钮心毅. 手机信令数据分析在城镇体系规划中的应用实践——南昌大都市区的案例[J]. *上海城市规划*, 2016 (4) : 91-97.
YAO Kai, NIU Xinyi. Application of mobile signaling data analysis in urban system planning: a case study of Nanchang Metropolitan Area[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2016(4): 91-97.
- [17] 谭文星, 王德, 顾家煊. 手机信令数据在县城村镇规划中的适用性研究[J]. *城市建筑*, 2019, 16 (1) : 29-35.
TAN Wenken, WANG De, GU Jiahuan. Applicability of mobile signaling data in county village planning[J]. *Urbanism and Architecture*, 2019, 16(1): 29-35.
- [18] HALL P, PAIN K. The polycentric metropolis: learning from mega-city regions in Europe[M]. London: Earthscan, 2006.
- [19] 赵渺希, 黎智枫, 钟焯, 等. 中国城市群多中心网络的拓扑结构[J]. *地理科学进展*, 2016, 35 (3) : 376-388.
ZHAO Miaoxi, LI Zhifeng, ZHONG Ye, et al. Topological structure of multi-center network of urban agglomerations in China[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(3): 376-388.
- [20] WATTS D, STROGATZ S. Collective dynamics of "small-world" networks[J]. *Nature*, 1998, 393(6684): 440.
- [21] LATORA V, MARCHIORI M. Efficient behavior of small-world networks[J]. *Physical Review Letters*, 2001, 87(19): 198701.
- [22] DUYCKAERTS C, GODEFOY G. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones[J]. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 20(1): 83-92.