

陈静媛,张云彬,王诚,等.基于手机信令数据的合肥市郊区职住空间特征研究[J].华中农业大学学报,2022,41(3):35-46.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.03.005

## 基于手机信令数据的合肥市郊区职住空间特征研究

陈静媛,张云彬,王诚,朱萌

安徽农业大学林学与园林学院,合肥 230036

**摘要** 针对郊区职住空间特征展开深入研究,是探索城乡功能空间关系的重要途径,对于化解城乡二元结构矛盾、实现城乡统筹发展有重要意义。本研究聚焦安徽省合肥市郊区,利用覆盖市域范围的手机信令数据,识别郊区职住人口,开展郊区职住空间的分布格局与特征的可视化分析,进而以职住偏离指数、自足性指数和空间错位指数剖析不同空间尺度下的郊区职住空间匹配合理程度,讨论合肥市郊区与中心城区的职住关系。研究结果显示,合肥市郊区以居住功能为主导,职住空间分布总体呈现不均衡状态;仅少数远郊乡镇的职住一体化程度较高;大多数近郊乡镇街道职住功能不匹配,与中心城区存在职住功能互补关系。

**关键词** 手机信令;人口出行;职住空间;城市郊区;城乡互动;职住平衡;城乡统筹

**中图分类号** TU982.29 **文献标识码** A **文章编号** 2095-7114(2022)03-0035-12

潮汐式的长距离通勤所引发的交通拥堵、居民生活质量下降等问题是中国城市发展面临的共同难题,而就业与居住空间不匹配是长距离通勤产生的重要原因。在城市总体布局的引导下,企业在集聚经济、劳动力和土地成本间权衡;居民在个人收入、住房环境条件和通勤成本间权衡,两者相互作用形成了城市职住空间格局<sup>[1]</sup>。最早在《明日的田园城市》中,埃比尼泽·霍华德即提出了职住平衡的理念<sup>[2]</sup>。20世纪70年代,哈佛大学凯恩提出了“空间不匹配”假说,并引起了广泛学术讨论<sup>[3-4]</sup>。至20世纪90年代,职住平衡问题成为了国际城市研究领域的焦点话题<sup>[5-6]</sup>。国内职住研究起步于20世纪80年代,主要围绕“职住合一”的单位制大院模式被打破后所引起的职住空间格局变化开展系列分析<sup>[7]</sup>。随后由于住房与就业体制改革使得居住-就业选择机会增多,关于职住空间匹配领域的讨论增多,一些学者对国外的职住均衡研究进行引介<sup>[8-9]</sup>。随着城镇化进程加速,大中型城市的职住分离现象不断加剧。此后,许多学者利用传统统计数据对大中型城市的职住空间布局<sup>[10-11]</sup>、人口通勤特征<sup>[12-14]</sup>、职住匹配程度<sup>[15]</sup>和职住空间均衡性影响因素<sup>[16-17]</sup>等议题展开分

析讨论。

近年来,随着中国城乡信息技术的快速提升,越来越多的学者通过应用地图开放数据和手机信令数据等大数据开展了多维度的城乡科学定量研究,主要集中于城市人口空间格局分布<sup>[18]</sup>、城市职住通勤特征<sup>[19-23]</sup>、城市社区生活圈规划<sup>[24]</sup>,并用于量化城市内部空间的相互联系<sup>[25-26]</sup>。在规划实践中,手机信令数据还被应用于城市总体规划实施评估<sup>[27-28]</sup>和量化测度区域城市群的空间结构<sup>[29-32]</sup>。大部分相关学者将研究范围聚焦于城市群、城市全域范围或中心城区,仅少数学者利用手机信令数据探索了村镇聚落的空间功能联系及乡村聚落空间结构的研究<sup>[33-35]</sup>。

现有针对城区居民的职住空间分布及平衡测度研究较多,但关于乡村地区居民的职住平衡测度研究较少,可能是受早期乡村地区手机用户普及率较低和信号基站间隔较远所导致的手机信令数据可用性不足等条件所局限。城市郊区是职住匹配问题最突出的领域之一。由于长期以来城乡二元结构的限制,郊区与中心城区的空间和功能产生巨大差异,并不断催生了两者之间的经济、技术和人口要素交换。社会极化与居住分异随着城市发展进程的推进而愈

收稿日期:2021-07-30

基金项目:2020年度安徽省重点研发项目(202004a06020014)

陈静媛,E-mail:jingyuanchen@ahau.edu.cn

通信作者:张云彬,E-mail:zhangyunbin@ahau.edu.cn

演愈烈<sup>[36]</sup>,郊区职住分离的现象越来越普遍。

安徽省合肥市下辖四区、四县以及巢湖市(县级市),属于长三角一体化发展的重要城市,是快速城市化进程中的典型大型城市,郊区与中心城区功能差异显著,人口、经济等要素交流频繁,职住空间均衡性在空间分布上存在较明显的差异,亟需来自规划研究领域的献策以缓解职住矛盾。同时,随着合肥市智慧城市建设的现状及乡村振兴政策实施,市域范围的手机信令数据质量得到较大提升,可为开展郊区职住空间特征分析提供有效支持。因此,本研究聚焦合肥市郊区,充分挖掘郊区人口的流动特征,并分析郊区的职住空间匹配问题,有利于进一步理解城乡功能空间的关系,为探索城乡统筹发展路径提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究由联通智慧足迹提供手机信令数据支持,所使用数据包括2021年5月在安徽省合肥市域范围内的所有中国联通网络通信集团有限公司(简称,中国联通)用户的手机信令脱敏数据。数据记录了手机用户代码和手机用户的活动事件信息,其中包括事件的类型(通话、短信、开关机与位置移动)、操作时间和关联基站位置等。研究首先对冗余数据、漂移数据等数据进行清洗预处理,并对其中的常住人口进行识别。获得合肥市常住人口联通用户数据后,根据中国联通智慧足迹所提供的全量人数扩样系数代码进行人口数据扩样,获得了合肥市域范围的人口统计数据。

本研究所开展的职住空间特征分析分为微观、中观及宏观3种尺度,分别对应使用基站网格、乡镇街道及区县3种统计单元。基站网格边界数据来自联通智慧足迹,网格边长为250 m。乡镇街道边界及区县边界数据来源于水经注微图地理信息数据平台。

### 1.2 研究范围

研究范围为合肥市郊区,涵盖合肥市市域边界以内、中心城区边界以外的区域(图1)。合肥市下辖4区、4县以及巢湖市(县级市),郊区范围涵盖处于半城市化状态的近郊乡镇街道以及远郊地区的镇村。

根据《合肥市城市总体规划(2011—2020)》中的中心城区和市域范围行政边界,研究区域面积为10 946.39 km<sup>2</sup>。



图1 研究范围

Fig.1 The research area

### 1.3 实验步骤

研究关键步骤依次包括常住人口识别及分类、郊区居住地识别和郊区就业地识别。此外,为探索郊区职住空间形成原因,研究进一步识别郊区常住人口的就业地与中心城区常住人口在郊区的就业地。实验具体步骤为:①将在合肥市域范围内出现超过10 d的用户视为合肥市常住人口并标记,进一步对中心城区常住人口和郊区常住人口进行分类和标记;②统计合肥市常住用户21:00至第2天08:00在每个出现地点停留时长,将停留时间最长的地点标记为本市居住地,进一步识别位于合肥市郊区的居住地并标记,即郊区居住地;③统计合肥市用户08:00至21:00在市域范围内每个出现地点的停留时长,排除居住地后选择停留时间最长的地点,标记为合肥市就业地,并进一步筛选获得郊区就业地;④在合肥市就业地中筛选郊区常住人口就业地;⑤在郊区就业地中筛选中心城区常住人口在郊区的就业地(图2)。

根据扩样结果,识别合肥市域范围人口共9 852 123人,与合肥市第七次人口普查所获得市域总人口数9 369 881的结果较为接近,存在约5%误差,扩样样本具备一定统计学意义。进一步识别研究对象并统计,获得合肥市郊区居住人口数6 153 275人;郊区就业总人口840 995人,其中包含郊区常住人口534 135人,中心城区常住人口306 860人。识别郊区基站网格共46 039个,涉及郊区乡镇街道共108个,区县9个。

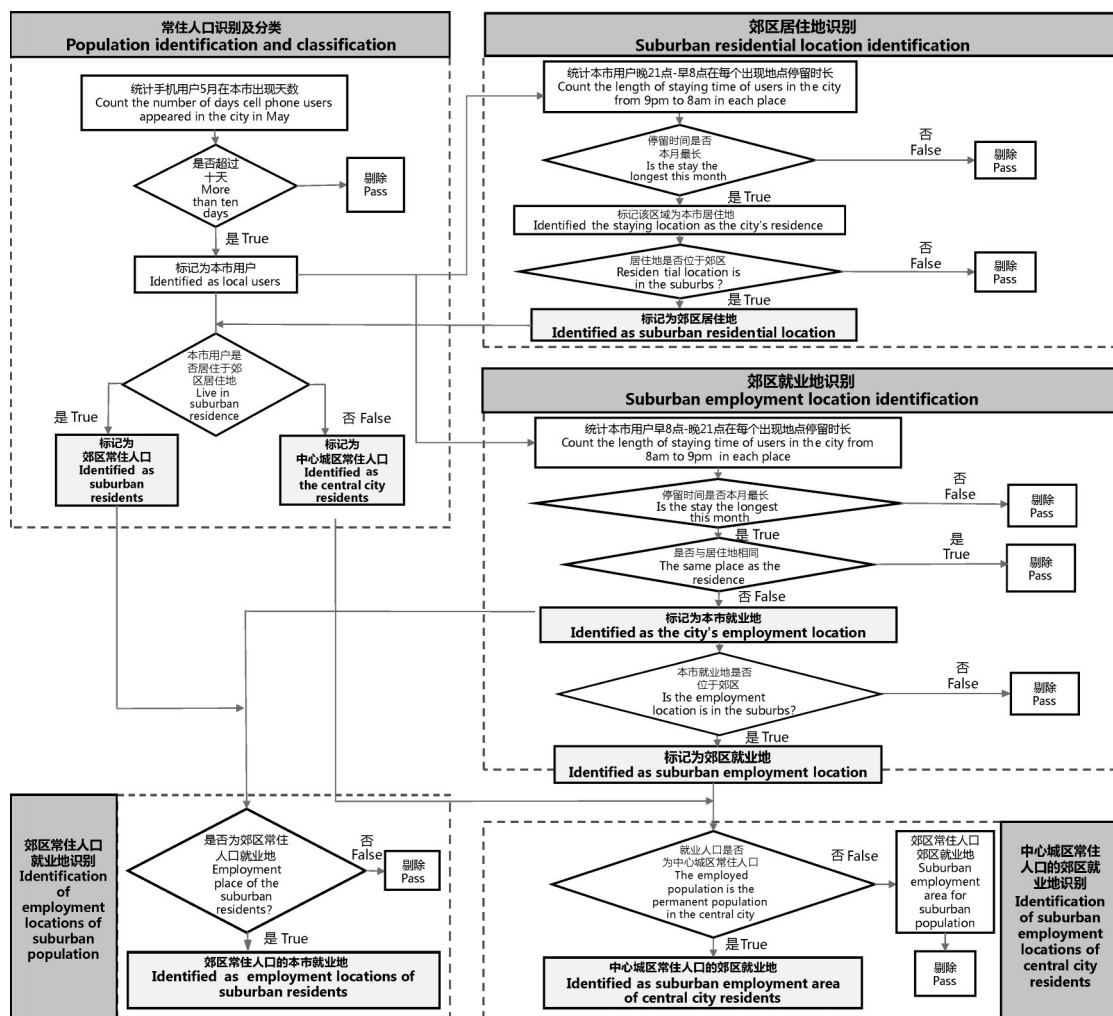


图2 实验步骤

Fig.2 The experiment process

#### 1.4 评价指标

1) 职住偏离指数。职住偏离指数是空间统计单元的职住平衡程度最直接的测度方法<sup>[1]</sup>, 可用于空间统计单元的职住功能导向分析。其计算公式为:

$$Z_{ij} = \frac{Y_{ij}/Y_i}{R_{ij}/R_i} \quad (1)$$

式(1)中,  $Z_{ij}$  为第  $i$  年份  $j$  单元的职住偏离度;  $Y_{ij}$  为第  $i$  年份  $j$  单元中的就业人口数量;  $Y_i$  为第  $i$  年份所有单元就业人口总数;  $R_{ij}$  为第  $i$  年份  $j$  单元中居住人口数量;  $R_i$  为第  $i$  年份所有单元居住人口总数。若  $Z_{ij}=1$ , 则职住功能相匹配; 若  $Z_{ij}>1$ , 则就业功能占主导; 若  $Z_{ij}<1$ , 则居住功能占主导。

2) 自足性指数。自足性指数 ( $C_f$ ) 则从职住一体化的角度分析资源配置的合理程度。常用的自足性指数测度方法为计算统计单元  $i$  的人口职住一体比 ( $Y_i$ ) 与全部统计单元的职住一体比均值的比值<sup>[15]</sup>。

单元  $i$  的自足性指数 ( $C_f$ ) 的计算公式:

$$C_{fi} = \frac{Y_i}{\text{Avg}(Y_i)(i=1, n)} \quad (2)$$

其中,  $Y_i$  为职住一体比重, 即在  $i$  单元内居住并且就业的人数与该单元内居住人口总数的比值。以  $Y_i$  与整个研究范围所有空间统计单元的职住一体化比重平均值之比作为该统计单元“自足性指数”。该数值越高, 代表职住一体化程度越强。

3) 空间错位指数。空间错位指数 (SMI) 由 Martin<sup>[37]</sup> 提出, 主要用于衡量较大尺度空间统计单元区域的就业与居住空间的错位程度。该指数从资源配置均衡程度的视角, 计算职住两者规模的差异。其统计单元规模较大, 一般通过汇总较小尺度的数据以获得较大尺度范围的空间错位指数统计值。计算公式为:



$$SMI_j = \frac{1}{2P_j} \sum_{i=1}^n \left| \left( \frac{e_{ij}}{E_j} \right) P_j - P_{ij} \right| \quad (3)$$

其中,  $SMI_j$  为研究范围  $j$  的空间错位指数,  $P_{ij}$  为研究范围  $j$  内空间统计基本单元  $i$  的居住人口数,  $P_j$  为研究范围  $j$  的居住人口总数,  $n$  为单元  $i$  的个数,  $e_{ij}$  为研究范围  $j$  内  $i$  研究单元的就业人口数,  $E_j$  为  $j$  的就业人口总数。取值范围为 0~1, 测度值越小, 职住空间错位程度越低, 匹配程度越高; 反之, 错位程度越高, 匹配度越低。

### 1.5 研究方法

本研究首先通过职住空间基站网格人口热力图对郊区职住空间特征展开分析, 而后基于微观的基站网格单元、中观的乡镇街道和宏观的区县 3 种统计尺度的职住匹配测算结果, 开展关于郊区职住匹配相关因素及其与中心城区的职住互动联系的讨论。

不同尺度下的职住匹配分析侧重点有所差异, 因此选择了不同的测度方法。微观尺度下, 研究采用了职住偏离指数测度方法, 以获得直观的职住资源空间布局情况, 便于对比近远郊之间的功能导向差异。但由于职住偏离指数只能体现资源规模差异, 即使测度值较低, 也不能说明统计单元内的人口实际在内部完成了职住行为。为弥补这一局限, 本

研究在中观尺度引入了自足性指数, 以便进一步了解各乡镇街道内部职住空间的实际匹配合理程度。在宏观尺度下, 则需要了解各区的职住资源调控需求的紧迫程度, 制定相应宏观调控政策以优化职住资源配置, 避免职住问题恶化, 因此在宏观尺度则以适用于测算较大尺度空间单元的空间错位指数测度方法, 再结合自足性指数对比分析资源匹配情况。为增强统计结果数据可视化效果, 将人口分布统计和指数计算所得数值采用自然间断点分级法进行分类, 使各类之间差异最大化。

## 2 结果与分析

### 2.1 合肥市郊区职住空间分析

1) 郊区居住空间特征。自《合肥市总体规划(1995—2010年)》中提出的“一核一圈五轴”布局, 奠定了合肥市的城镇空间组织结构基础, 延续至今, 形成《合肥市总体规划(2006—2020年)》中的“合肥中心城区+城镇协调区+东、北、西、南、东南五条城镇发展轴”的市域发展格局。由居住空间热力图展现出的人口集聚区主要包括环中心城区乡镇街道、巢湖市市区、庐江县庐城镇和长丰县水湖镇, 与总体规划的布局相吻合(图3A)。

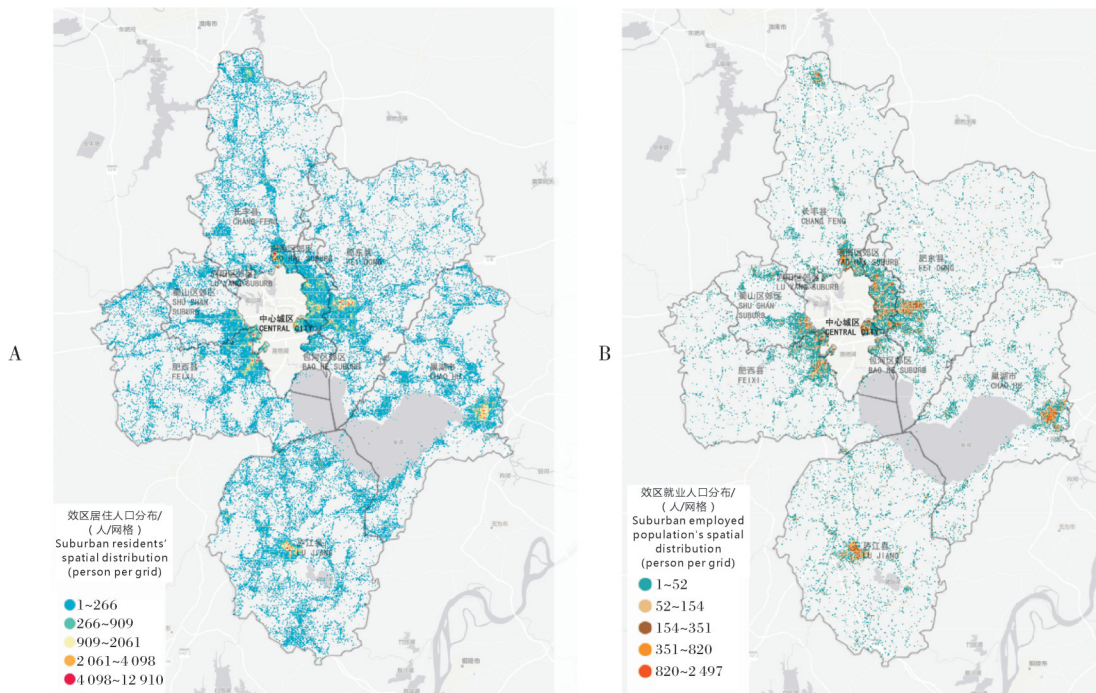


图3 合肥市郊区居住空间热力图(A)和就业空间热力图(B)

Fig.3 Population heat map of suburban residential space(A) and suburban employment space(B) in Hefei City

合肥市郊区居住空间呈现环中心城区连片集聚、远郊城镇多点集聚、总体分散的格局态势。(1)环中心城区连片集聚。在环中心城区周边的蜀山区郊区街道、肥西县乡镇、瑶海区郊区街道和肥东县乡镇有密度高低不等的连片常住人口分布;近郊集聚地内部人口密度相比于远郊城镇区域较高。由于董铺水库、大房郢水库和大蜀山等较大范围的生态环境因素产生隔离,包括庐阳区郊区街道在内的中心城区外缘西北部区域居住人口稀疏;由于包河区滨湖新区开发建设尚处于起步阶段以及巢湖大范围水域产生隔离,中心城区外缘南部区域居住人口稀疏。(2)远郊城镇多点集聚。远郊常住人口主要集中于巢湖市市区、庐江县庐城镇和长丰县水湖镇,三者距离合肥市中心城区直线距离70 km,均为各县重点发展区域。远郊城镇集聚地与中心城区之间呈现明显的线性联系,主要由居住人口在重要交通道路沿线汇聚所形成。(3)总体分散。集聚地之外的郊区地域人口居住分布相对分散,仅在重要交通道路沿线附近居住人口密度稍高,居住地之间呈现微弱的线性联系。

2)郊区就业空间特征。郊区就业空间人口热力整体弱于居住空间人口热力,并呈现近郊环中心城区大规模集聚、远郊城镇小规模集聚、总体集中的格局态势(图3B)。(1)近郊环中心城区大规模集聚。环中心城区的近郊区域为郊区就业人口最密集的区域,受中心城区辐射及近郊地带良好的就业机会影响,有大量就业人口环中心城区集聚。部分区域存在较为集聚的就业人口,如肥东县店埠镇和肥西县上派镇,两者均为县城驻地,与中心城区就业空间呈现相互融合态势。(2)远郊城镇小规模集聚。由于地理区位因素,距离中心城区70 km的巢湖市市区、庐江县庐城镇和长丰县水湖镇三座远郊城镇受合肥市中心城区虹吸效应影响较小,且三者均为各县重点发展区域,就业岗位充足,因此,就业空间呈现小规模高度集聚特征。(3)总体集中。郊区的就业空间相较于居住空间更为集中,大规模就业人口集聚于近郊区域,总体呈现集中分布趋势。除巢湖市、庐江县和长丰县的3个小规模集聚点,大部分郊区地域的就业空间呈现零星散布特征,其集聚趋势及集聚点的联系相对于居住空间十分微弱。

3)城区与郊区职住互动特征。通过交叉识别郊区常住人口和合肥市就业地,获得郊区常住人口在市域范围的就业空间(图4A)。图4A显示,大量郊区常住人口被中心城区虹吸就业,使得中心城区及近郊区域呈现大规模就业集聚态势,仅少部分郊区常住人口在远郊城镇高度集聚,在中心城区及周边的就业空间的集聚点相较于远郊城镇并不突出,说明在其中就业的郊区常住人口相对分散。通过交叉识别中心城区常住人口和郊区就业地,获得中心城区常住人口的郊区就业空间(图4B)。图4B显示,少量中心城区常住人口在郊区就业,人口分布集中于近郊环中心城区与远郊城镇。

总体而言,郊区就业人口的主要构成仍为郊区常住居民,郊区常住居民与中心城区常住居民在郊区的就业分布态势近似。中心城区与郊区的职住人口要素大量交换导致了郊区的职住空间分布差异,郊区人口被中心城区就业虹吸是最主要的交换形式,从另一角度而言,也可能是中心城区就业人口的居住郊区化所导致,而部分中心城区常住人口在郊区的就业分布在一定程度上消减了郊区的职住差异。

研究还发现,在市域范围内就业的郊区常住人口仅145万人,其中,在中心城区和郊区就业的常住人口分别为92万和53万,居住与就业人口统计数据差异较大。原因为:一方面没有通勤行为的老人与幼童无法被识别为就业人口;另一方面,基于数据可用性和就业地筛查方法的局限,前往市域范围之外的和以居住地作为就业地的部分人群无法被识别或统计。

## 2.2 合肥市郊区乡镇职住匹配特征分析

1)微观尺度。通过公式(1),以郊区基站网格为空间统计单元测算职住偏离度,并将测度结果进行空间分布可视化(图5A),能较为直观地观测合肥市郊区在精细尺度下的职住功能空间差异。在实际统计过程中,基站网格的精细尺度也使得部分统计单元出现仅有居住功能或仅有就业功能的情况,而公式(1)无法测度其职住偏离指数,因此,当一部分网格单元的就业人口统计为0时,将其标记为仅居住功能;当一部分网格单元的居住人口统计为0时,将其标记为仅就业功能。



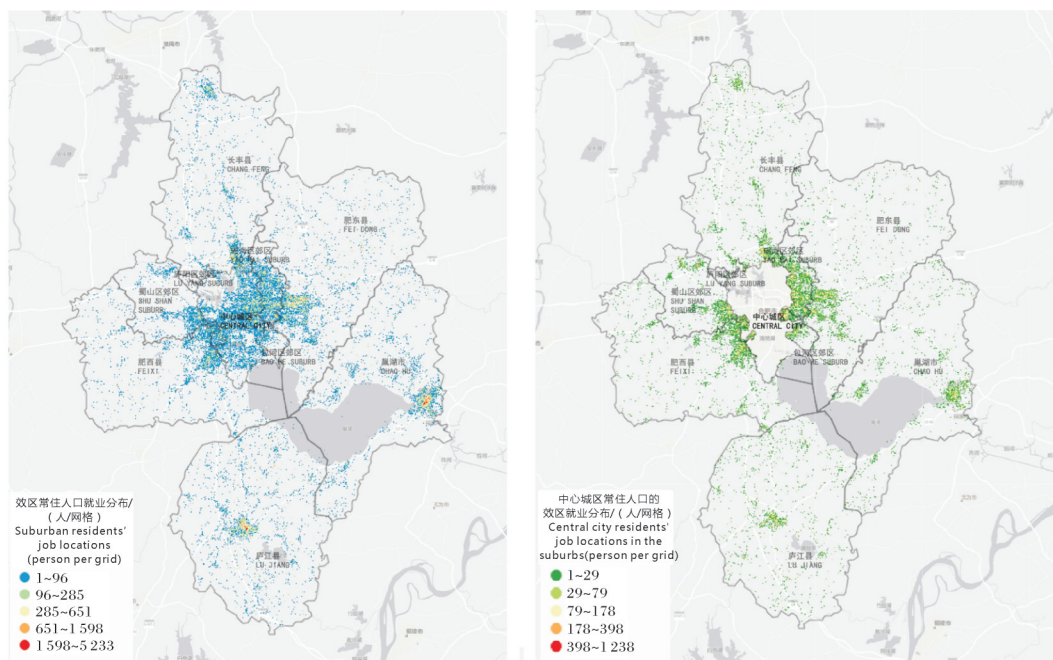


图4 郊区常住人口就业空间热力图(A)和中心城区人口的郊区就业空间热力图(B)

Fig.4 Population heat map of suburban residents' job locations(A) and central city residents' job locations in the suburbs(B)

经统计,偏离度介于0.8~1.2的网格单元,职住功能较为均衡,但数量明显较少且位置分散,占比约4.39%。不均衡的网格单元数量比重为95.61%。居住功能主导的网格单元占比67.83%,其中,纯居住功能占比58.90%,偏离度介于0~0.4和0.4~0.8的单元占比分别为3.27%和5.65%。就业功能主导的网格单元占比27.78%,其中,纯就业功能占比8.79%,偏离度介于1.2~1.6和1.6以上的单元占比分别为3.10%和15.89%。

从微观尺度的职住偏离度测算结果可知,合肥市郊区存在明显职住资源分配不合理的情况。针对职住偏离矛盾较突出的近郊区域(图5B)进行分析发现,在精细的基站网格尺度下,紧邻环中心城区的近郊地带以居住功能为主导;近郊区域实现职住匹配的网格单元数量较少,整体呈现居住主导与就业主导网格交织存在的分布态势;远郊区域网格则多以居住功能为主导零散分布。

结合居住空间分布热力图(图5C)和就业空间分布热力图(图5D)进一步推测认为,首先,中心城区提供了大量就业岗位虹吸近郊人口为近郊职住偏离矛盾突出的主要原因;其二,靠近中心城区的近郊区域内部就业机会较多,但布局较为分散,导致了就业与

居住需求不相匹配;其三,部分城市人口的居住郊区化;其四,相较于城镇地区,以从事农业生产活动为主的乡村地区的居住地常常较为集中、而工作地较为分散且距离较远,所以基站网格的统计尺度对于乡村地区可能过于精细,导致了职住分离的情况。以上原因的综合作用导致了近郊区域的职住偏离矛盾。

2)中观尺度。为进一步了解乡镇街道尺度下的职住资源实际匹配情况,研究在乡镇街道尺度引入自足性指数,用以统计单元内部人口在内部完成职住行为的情况,并进一步讨论职住匹配相关影响因素。通过公式(2),按照郊区乡镇街道为空间统计单元测算自足性指数,并将测度结果进行空间分布可视化(图6),能较为直观地观测合肥市郊区在乡镇街道尺度下的职住自足性差异。

经统计,乡镇街道尺度下的合肥市郊区职住自足性指数( $C_{fi}$ )最大值4.69,最小值0.00,标准差0.72。其中,职住自足性最高的3个乡镇分别为张集乡、庐城镇和水湖镇,分值分别为4.69、3.05及2.83。结合三者的居住与就业空间热力图进一步分析发现,三者的居住和就业空间均呈现单中心集聚态势,同时就业空间规模小于居住空间规模。其中,张集乡隶

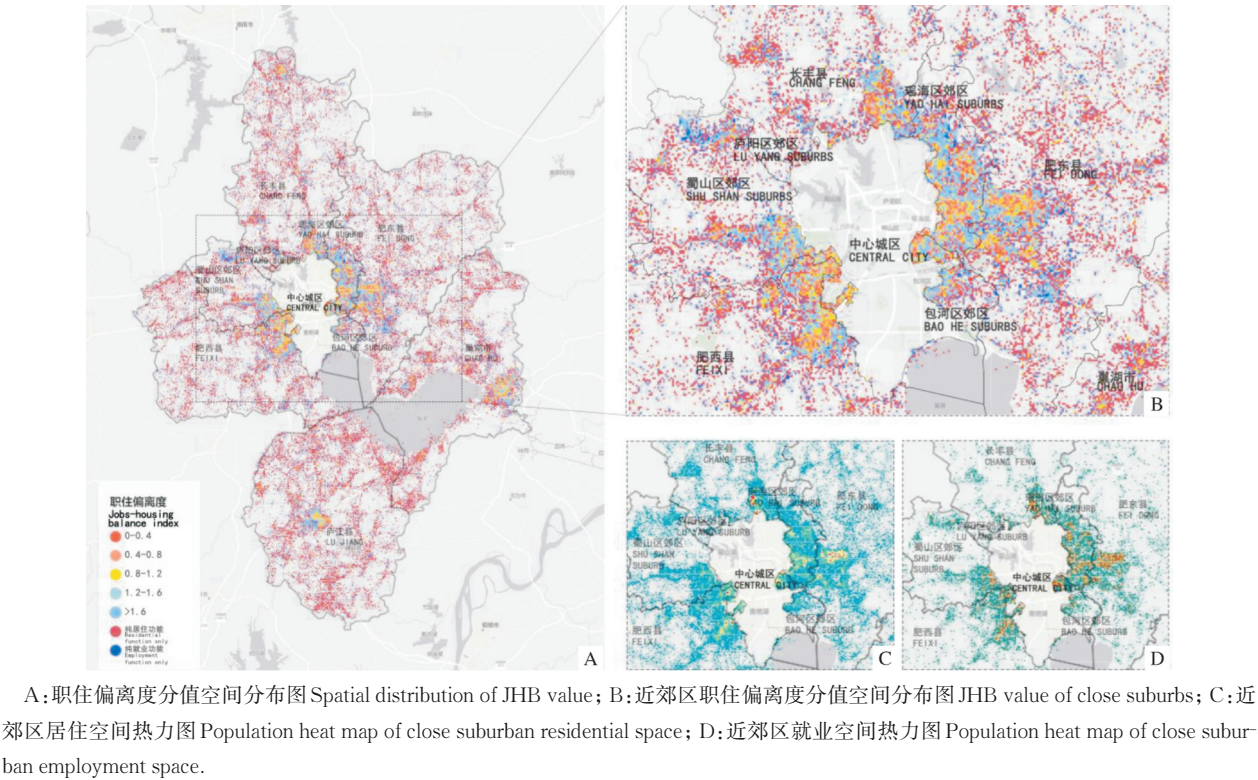


图 5 基站网格尺度下的合肥市郊区职住偏离度测度

Fig.5 Jobs-housing balance index(JHB) measurement of the suburbs based on grid scale

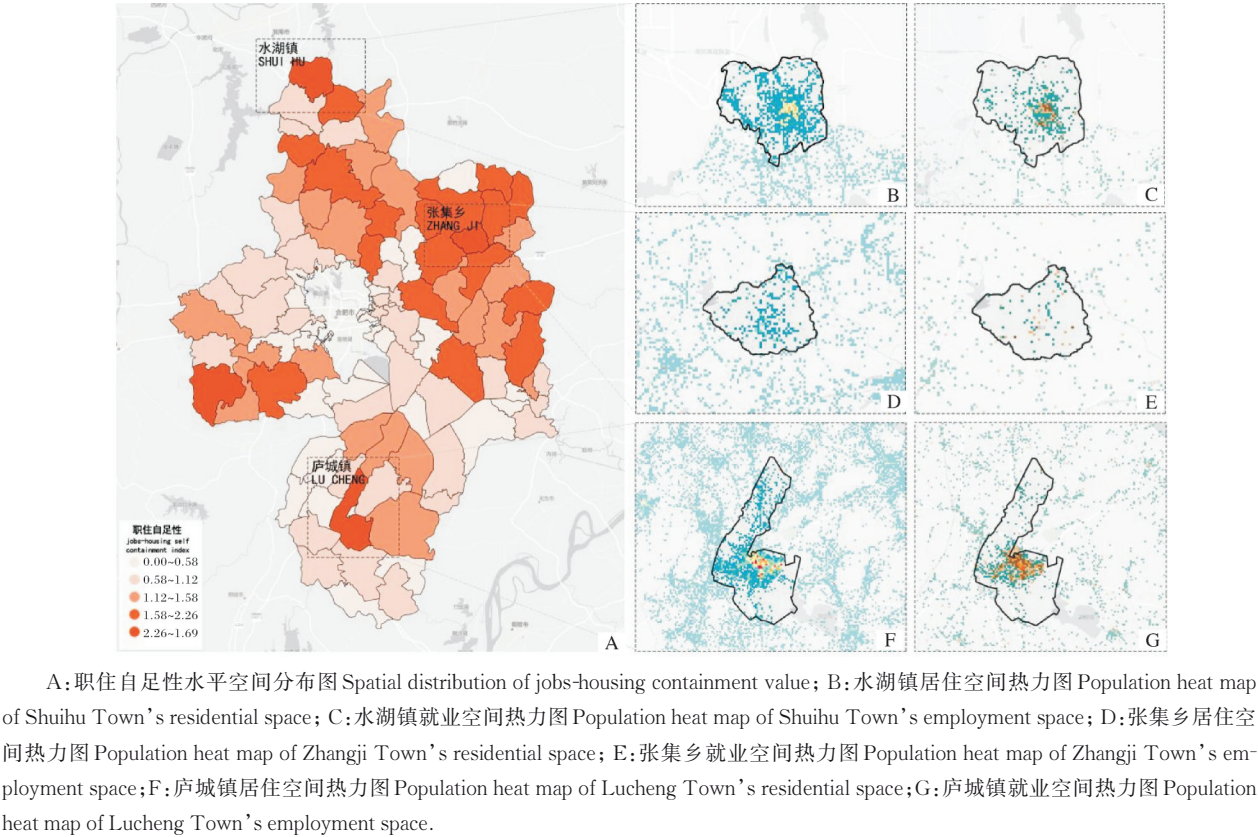


图 6 乡镇街道尺度下的合肥市郊区职住自足性测度

Fig.6 Jobs-housing containment index measurement of the suburbs based on township scale



属肥东县,距离合肥市中心城区约60 km,距离肥东县城30 km,总人口约1.8万人,近年来围绕美丽乡村建设提升了乡镇村庄环境,并通过招商引资积极推动经济发展,因此,在人口较少、创造了良好的居住环境和充足的就业岗位的多重因素综合作用下,张集乡实现了较高的职住一体化水平。庐城镇为庐江县县城及政府驻地,是合肥南部区域经济中心,总人口近24万人,曾入选“2019年度全国综合实力千强镇”;水湖镇为长丰县政府驻地,其规划定位为合肥国际化都市区副中心,总人口15万,距离合肥新桥机场50 min车程,良好交通区位优势保证其有着较高经济发展水平。庐城镇和水湖镇两者距离合肥市中心城区70 km,受中心城区人口虹吸效应影响较小,近年来,随着经济快速发展,两者兼具健全的居住配套设施和较强的就业吸纳能力,以上因素保证了较高的职住自足性。

主城区内近郊区的自足性指数测度值普遍较低,说明近郊区居民大多前往外地就业,结合就业空间热力图可知,大部分人口流向中心城区。其中自足性指数测度最低的区域为庐阳区郊区的三十岗乡,其值为0.00,原因主要为研究区域内的三十岗乡大部分地区属于4A级生态旅游区,居住人口较少的同时就业岗位较少,前往外部就业的居住人口较多。此外,由于就业人口识别方法的局限性,以居住地作为就业地的部分人群无法被识别或统计,造成自足性测算误差,三十岗乡内或许存在一部分人以居住地为就业地的情况,实际自足性可能大于0.00。

3)宏观尺度。虽然适量的人口流动可以是良性的区域资源互动,但仍然需要警惕大规模职住错位现象。为进一步把握职住规律,防止职住问题恶化,研究引入了空间错位指数,结合自足性指数探讨各区县的职住匹配问题。

通过公式(3),按照合肥市郊区市辖区县为空间统计单元测算职住空间错位指数,并将测度结果进行空间分布可视化(图7A),能较为直观地观测合肥市郊区在区县尺度下的空间错位程度差异。经统计,SMI最高值为0.374,最低值为0.285,标准差为0.034。其中,蜀山区郊区最高,为0.374,其他依次为包河区郊区(0.356)、瑶海区郊区(0.341)、长丰县(0.305)、肥东县(0.299)、肥西县(0.294)、巢湖市

(0.291)、庐江县(0.285)和庐阳区郊区(0.285)。合肥市郊区整体空间错位指数均在0.4之内,且辖区间测算值差异较小,可能与统计单元尺度较大,对测算结果产生了一定空间稀释作用有关。

通过公式(2)获得区县尺度的自足性测度结果(图7B),最高值为1.69,最低值为0,标准差为0.60。其中,巢湖市(1.69)最高,其他依次为庐江县(1.66)、肥东县(1.57)、长丰县(1.34)、肥西县(0.93)、瑶海区郊区(0.84)、蜀山区郊区(0.60)、包河区郊区(0.38)和庐阳区郊区(0.00),合肥下辖四县的自足性高于近郊区,说明近郊区的居民更倾向于在外部就业,结合人口就业热力图可知,近郊市辖区居民被中心城区吸纳就业的情况较为普遍。

对于空间错位指数较高的区域,其职住不匹配现象较为明显,未来应针对性地开展调查研究,适时采取措施引导职住人口的流动,防止长距离通勤和职住配套资源负载过大等问题进一步恶化,保证城乡和谐互动和可持续发展。在研究区域中,蜀山区郊区空间错位指数最高,同时自足性指数较低,说明职住失衡情况明显,且内部的居民更倾向于在外部就业。蜀山区郊区东南处为高新技术开发区,提供了大量岗位,就业虹吸能力强,使得东西腹地就业人口分布差异显著,但与此同时,受级差地租影响,蜀山区郊区的住房支出相对于中心城区较低,同时毗邻中心城区且交通便捷,换言之,蜀山区郊区为中心城区的工作人口提供大量居住地。以上因素的综合作用致使蜀山区郊区的居住功能强于就业功能,引发较严重的职住空间错位。空间错位指数最低的区域为庐阳区郊区,其主要构成为前文所提及的三十岗乡。

空间错位指数的实验结果表明,区县尺度下无需对庐阳区郊区职住功能进行调整,但如前文所言,该区域自足性指数最低可能受人口较少和就业人口识别方法的局限的双重影响,需要在未来进一步开展针对性的调查以确保职住资源配置合理性。

### 3 讨论

从职住空间分布特征来看,郊区居住空间呈现环中心城区连片集聚、远郊城镇多点集聚、总体分散的格局态势,与总体规划中的城镇体系布局相吻合。



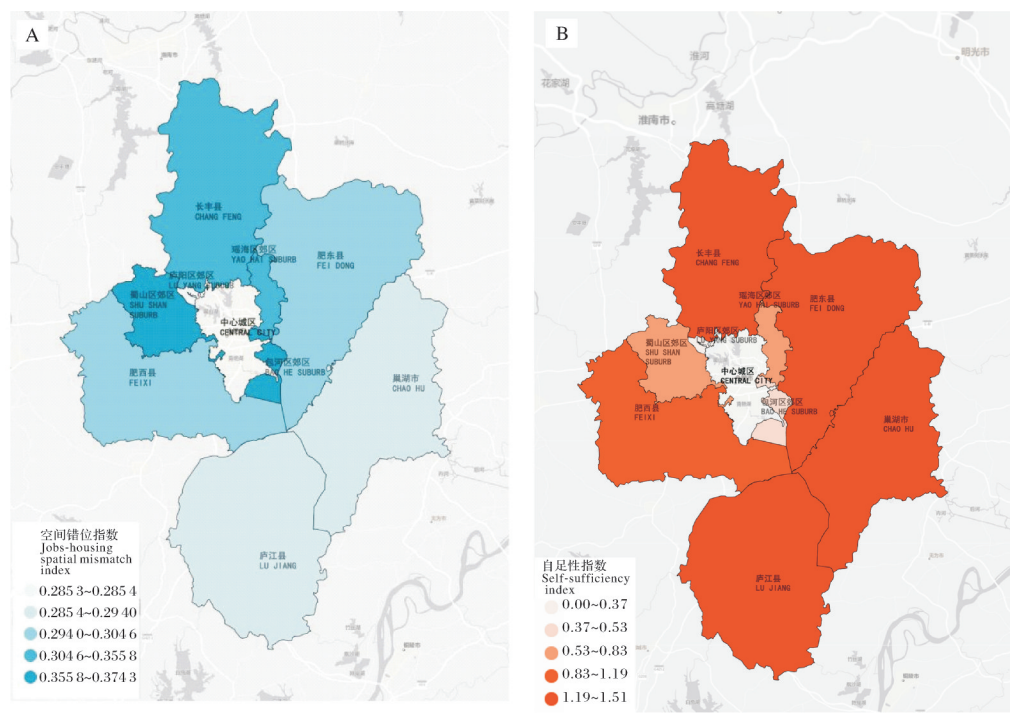


图7 区县尺度下的合肥市郊区职住空间错位指数测度(A)和自足性指数测度(B)  
Fig.7 Jobs-housing spatial mismatch index measurement(A) and containment index measurement(B) of the suburbs based on district scale

郊区就业空间呈现近郊环中心城区大规模集聚、远郊城镇小规模集聚、总体集中的格局态势,相较于居住空间更为集中。从职住空间匹配特征来看,合肥市郊区乡镇街道的居住和就业空间呈现不均衡差异分布态势,两者功能的互补和融合需要一定程度的加强和改善。就业活动向中心城区方向集聚和居住空间向郊区方向分散符合城市的经济发展规律,然而必然导致郊区职住空间的分离。远郊乡镇由于地理因素,受中心城区虹吸影响较小,职住空间的匹配程度较近郊区域高,但仍尚未达到职住平衡。

中心城区与郊区的职住人口要素大量交换导致了职住空间分布差异,深究其原因,离不开城市发展政策、城乡二元结构的限制和市场经济的作用。针对郊区职住不匹配的问题,总体上在区县层面应适当控制郊区居住功能用地布局,并对就业岗位类型和规模进行科学地调整,加快优质公共服务、轨道交通及其他配套设施的建设,对郊区土地进行有序开发布局。同时,应当根据各乡镇街道情况,针对性引导开发建设,合理组织居住与就业功能的关系,增强本地就业吸引力,切实改善职住空间不匹配情况。

本研究在一定程度上丰富了手机信令数据在城

乡关系定量研究中的应用维度。通过使用手机信令大数据所刻画的细粒度的人口空间活动情景,为大范围、大样本量、实时的职住平衡精细测度提供了可能,而这是传统数据条件下无法实现的目标,其不仅为郊区职住问题的改善带来契机,对于城乡空间统筹发展也有一定指导意义。本研究在数据可用性及就业地筛查方法等方面存在一定局限,未来仍有待结合交通出行大数据、居住区大数据、企业岗位大数据以及问卷调查数据,进一步从通勤距离、方向、交通方式等方面开展更加丰富的郊区职住平衡测度。此外,由于城镇地区及乡村地区的职住行为差异较大,在未来研究中应考虑进一步提出针对性的职住匹配统计方法及差异化的衡量标准。未来还可结合不同规模城市的职住情况展开对比分析,探讨不同规模城市的职住平衡调节机制,探索城乡功能互补、要素交换的科学路径,推动城乡统筹和谐发展。

参考文献 References

[1] 王蓓,王良,刘艳华,等.基于手机信令数据的北京市职住空间分布格局及匹配特征[J].地理科学进展,2020,39(12): 2028-2042.WANG B, WANG L, LIU Y H, et al.Characteris-

- tics of jobs-housing spatial distribution in Beijing based on mobile phone signaling data[J]. *Progress in geography*, 2020, 39(12): 2028-2042 (in Chinese with English abstract).
- [2] 埃比尼泽·霍华德. 明日的田园城市[M]. 北京: 商务印书馆, 2010. EBENEZER H. *Garden cities of to-morrow* [M]. Beijing: The Commercial Press, 2010 (in Chinese).
- [3] KAIN J F. Housing segregation, Negro employment, and metropolitan decentralization[J]. *The quarterly journal of economics*, 1968, 82(2): 175-197.
- [4] KAIN J F. The journey-to-work as a determinant of residential location[J]. *Papers of the regional science association*, 1962, 9(1): 137-160.
- [5] CERVERO R. Jobs-housing balance as public policy[J]. *Urban land*, 1991, 50(10): 10-14.
- [6] CERVERO R. Jobs-housing balance revisited: trends and impacts in the San Francisco bay area[J]. *Journal of the American planning association*, 1996, 62(4): 492-511.
- [7] 柴彦威, 刘志林, 沈洁. 中国城市单位制度的变化及其影响[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(2): 155-163. CHAI Y W, LIU Z L, SHEN J. Changes of the DANWEI system and its effects [J]. *Arid land geography*, 2008, 31(2): 155-163 (in Chinese with English abstract).
- [8] 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, 35. MENG X C, WU J, SHEN F B. The study review of urban jobs-housing balance [J]. *Urban studies*, 2009, 16(6): 23-28, 35 (in Chinese with English abstract).
- [9] 周江评. “空间不匹配”假设与城市弱势群体就业问题——美国相关研究及其对中国的启示[J]. *现代城市研究*, 2004, 19(9): 8-14. ZHOU J P. Spatial mismatch hypothesis and employment of the disadvantaged social group: research evolution in the US and implications for China[J]. *Urban research*, 2004, 19(9): 8-14 (in Chinese with English abstract).
- [10] 肖琛, 陈雯, 袁丰, 等. 2000—2010年无锡市职住空间关系变化及影响因素分析[J]. *地理科学*, 2014, 34(2): 137-146. XIAO C, CHEN W, YUAN F, et al. Relationship between job-housing spaces of Wuxi City and its influencing factors in 2000—2010[J]. *Scientia geographica sinica*, 2014, 34(2): 137-146 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张振龙, 蒋灵德. 基于职住平衡与通勤的苏州城市职住空间结构特征[J]. *规划师*, 2015, 31(3): 81-86. ZHANG Z L, JIANG L D. Job-housing balance oriented Suzhou residential space structure study[J]. *Planners*, 2015, 31(3): 81-86 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张艳, 柴彦威. 基于居住区比较的北京城市通勤研究[J]. *地理研究*, 2009, 28(5): 1327-1340. ZHANG Y, CHAI Y W. Characteristics of commuting pattern in Beijing: based on the comparison of different urban residential areas[J]. *Geographical research*, 2009, 28(5): 1327-1340 (in Chinese with English abstract).
- [13] 杨喜平, 杨鸿海, 李彬, 等. 基于手机数据的西部城市居民出行特征研究——以西宁市为例[J]. *人文地理*, 2021, 36(1): 115-124. YANG X P, YANG H H, LI B, et al. Characteristics of urban human mobility of Western China based on mobile phone data: a case study of Xi'ning[J]. *Human geography*, 2021, 36(1): 115-124 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王宇环, 靳诚, 杜家祺. 基于多源数据的成都市居民出行热点时空特征分析[J]. *南京师范大学学报(工程技术版)*, 2020, 20(2): 80-87. WANG Y H, JIN C, DU J Z. Temporal and spatial characteristics of traveling hotspots of Chengdu residents based on multi-source data[J]. *Journal of Nanjing Normal University (engineering and technology edition)*, 2020, 20(2): 80-87 (in Chinese with English abstract).
- [15] 徐卜融, 吴晓. 基于“居住-就业”视角的南京市流动人口职住空间分离量化[J]. *城市规划学刊*, 2010(5): 87-97. XU B R, WU X. Quantitative analysis of the separation of residential and employment space of the floating population in Nanjing [J]. *Urban planning forum*, 2010(5): 87-97 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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(5): 46-51, 59. JIAO H F, DAI L Y. Balance of job-housing space of urban residents in Hefei City and the influencing factors for it[J]. *Urban problems*, 2015(5): 46-51, 59 (in Chinese with English abstract).
- [17] 郑思齐, 曹洋. 居住与就业空间关系的决定机理和影响因素——对北京市通勤时间和通勤流量的实证研究[J]. *城市发展研究*, 2009, 16(6): 29-35. ZHENG S Q, CAO Y. The determinants of jobs-housing spatial relationship in Beijing [J]. *Urban studies*, 2009, 16(6): 29-35 (in Chinese with English abstract).
- [18] 罗名海, 谭波, 秦思娴, 等. 大数据视角下的武汉市人口格局探析[J]. *地理空间信息*, 2019, 17(10): 1-6, 10. LUO M H, TAN B, QIN S X, et al. Research on the population pattern of Wuhan under the perspective of big data[J]. *Geospatial information*, 2019, 17(10): 1-6, 10 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张艳, 姚欣悦, 孟斌, 等. 北京市职住平衡的空间特征研究[J]. *北京联合大学学报*, 2019, 33(1): 31-40. ZHANG Y, YAO X Y, MENG B, et al. A study of the spatial pattern of jobs-housing balance in Beijing[J]. *Journal of Beijing Union University*, 2019, 33(1): 31-40 (in Chinese with English abstract).
- [20] 宋小冬, 杨钰颖, 钮心毅. 上海典型产业园区职工居住地、通勤距离的变化及影响机制[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(12): 53-61. SONG X D, YANG Y Y, NIU X Y. Study on transformation and influence mechanisms of residential location, commuting distance of typical industry parks in Shanghai[J]. *Urban development studies*, 2019, 26(12): 53-61 (in Chinese with English abstract).
- [21] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 利用手机数据识别上海中心城的通勤区[J]. *城市规划*, 2015, 39(9): 100-106. DING L, NIU X Y,



- SONG X D. Identifying the commuting area of Shanghai central city using mobile phone data [J]. *City planning review*, 2015, 39(9): 100-106 (in Chinese with English abstract).
- [22] 朱菁, 张怡文, 樊帆, 等. 基于智能手机数据的城市建成环境对居民通勤方式选择的影响——以西安市为例[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(2): 55-66. ZHU J, ZHANG Y W, FAN F, et al. Impact of urban built environment on commute mode choice by smart phone App data: a case study of Xi'an City [J]. *Journal of Shaanxi Normal University (natural science edition)*, 2021, 49(2): 55-66 (in Chinese with English abstract).
- [23] 周作江. 基于手机定位数据的珠海市职住空间特征研究[J]. *世界地理研究*, 2020, 29(6): 1172-1180. ZHOU Z J. Study on the job-housing spatial characteristics in Zhuhai based on mobile location data [J]. *World regional studies*, 2020, 29(6): 1172-1180 (in Chinese with English abstract).
- [24] 王德, 傅英姿. 手机信令数据助力上海市社区生活圈规划[J]. *上海城市规划*, 2019(6): 23-29. WANG D, FU Y Z. Mobile signaling data helps Shanghai community life circle planning [J]. *Shanghai urban planning review*, 2019(6): 23-29 (in Chinese with English abstract).
- [25] TRASARTI R, OLTEANU-RAIMOND A M, NANNI M, et al. Discovering urban and country dynamics from mobile phone data with spatial correlation patterns [J]. *Telecommunications policy*, 2015, 39(3/4): 347-362.
- [26] 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 Y, NIU X Y, SONG X D, et al. The comparison of regional urban relations between people flow and capital flow: a study based on mobile phone signaling data and firm interlock data [J]. *Human geography*, 2018, 33(2): 84-91, 146 (in Chinese with English abstract).
- [27] AHAS R, AASA A, YUAN Y, et al. Everyday space-time geographies: using mobile phone-based sensor data to monitor urban activity in Harbin, Paris, and Tallinn [J]. *International journal of geographical information science*, 2015, 29(11): 2017-2039.
- [28] 秦萧, 甄峰. 论多源大数据与城市总体规划编制问题[J]. *城市与区域规划研究*, 2017(4): 136-155. QIN X, ZHEN F. On multi-source big data and compilation of urban master planning [J]. *Journal of urban and regional planning*, 2017(4): 136-155 (in Chinese with English abstract).
- [29] READES J, SMITH D A. Mapping the 'space of flows': the geography of global business telecommunications and employment specialization in the London mega-city-region [J]. *Regional studies*, 2014, 48(1): 105-126.
- [30] 钮心毅, 王垚, 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 X Y, WANG Y, LIU J W, et al. Spatial structure of Shanghai conurbation area from perspective of inter-city functional links [J]. *Urban planning forum*, 2018(5): 80-87 (in Chinese with English abstract).
- [31] 钮心毅, 王垚, 丁亮. 利用手机信令数据测度城镇体系的等级结构[J]. *规划师*, 2017, 33(1): 50-56. NIU X Y, WANG Y, DING L. Measuring urban system hierarchy with cellphone signaling [J]. *Planners*, 2017, 33(1): 50-56 (in Chinese with English abstract).
- [32] 李涛, 王姣娥, 高兴川. 中国居民工作日与节假日的城际出行网络异同性研究[J]. *地理学报*, 2020, 75(4): 833-848. LI T, WANG J E, GAO X C. Comparison of inter-city travel network during weekdays and holiday in China [J]. *Acta geographica sinica*, 2020, 75(4): 833-848 (in Chinese with English abstract).
- [33] 钮心毅, 康宁, 王垚, 等. 手机信令数据支持城镇体系规划的技术框架[J]. *地理信息世界*, 2019, 26(1): 18-24. NIU X Y, KANG N, WANG Y, et al. A technical framework for urban system planning using mobile phone signaling data [J]. *Geomatics world*, 2019, 26(1): 18-24 (in Chinese with English abstract).
- [34] 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 K, NIU X Y. Practical analysis of mobile phone signaling data in urban system planning: a case study of Nanchang metropolis [J]. *Shanghai urban planning review*, 2016(4): 91-97 (in Chinese with English abstract).
- [35] 秦萧, 甄峰, 李亚奇, 等. 国土空间规划大数据应用方法框架探讨[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2134-2149. QIN X, ZHEN F, LI Y Q, et al. Discussion on the application framework of big data in territorial spatial planning [J]. *Journal of natural resources*, 2019, 34(10): 2134-2149 (in Chinese with English abstract).
- [36] 张艳, 柴彦威. 生活活动空间的郊区化研究[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(12): 1723-1731. ZHANG Y, CHAI Y W. Study on suburbanization of living and activity space [J]. *Progress in geography*, 2013, 32(12): 1723-1731 (in Chinese with English abstract).
- [37] MARTIN R W. Spatial mismatch and the structure of American Metropolitan Areas, 1970—2000 [J]. *Journal of regional science*, 2004, 44(3): 467-488.

## Spatial characteristics of workplace and residence in suburbs of Hefei City based on cell phone signaling data

CHEN Jingyuan, ZHANG Yunbin, WANG Cheng, ZHU Meng

*School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China*

**Abstract** Reasonable matching of workplace and residence space is a difficult problem that urban researchers have been focusing on for a long time, and suburbs are one of the most prominent regional spaces for matching the workplace and residence. In-depth research on the characteristics of workplace and residence space in the suburbs is an important way to explore the spatial relationship of urban and rural functions. It is of great significance for resolving the contradiction of the dual structure of urban and rural areas and realizing the overall development of urban and rural areas. This article focuses on the suburbs of Hefei City, uses cell phone signaling data covering the whole city area to identify suburban working and residential populations, and develops a visual analysis of the distribution pattern and characteristics of the workplace and residence space in suburbs, and then uses the jobs-housing self-containment index, jobs-housing balance index and spatial mismatch index to analyze the reasonable degree of matching of suburban workplace and residence space under different spatial scales, and discusses the relationship between the workplace and residence space in the suburbs and the central areas of Hefei City. Results of qualitative and quantitative analyses showed that the suburbs of Hefei City were dominated by residential functions, and the spatial distribution of the workplace and residence space was generally uneven. Only a few towns in remote suburban had a high degree of integrating the space of workplace and residence. Most of the suburban townships and streets did not match the functions of workplace and residence, and the central area and the suburbs had a complementary relationship in spatial function. In the future, it is still necessary to further combine multi-source data to explore scientific factors affecting the distribution of the workplace and residence space in suburban areas and methods for optimizing spatial layout.

**Keywords** cell phone signaling; population travel; workplace and residence space; suburbs; urban-rural interaction; job-housing balance; urban-rural co-ordination

(责任编辑:陆文昌)