

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

王 蓓¹, 王 良¹, 刘艳华^{2*}, 杨 波³, 黄晓春¹, 杨 明¹

(1. 北京市城市规划设计研究院, 北京 100045; 2. 浙江财经大学经济学院, 杭州 310018;
3. 北京市社会科学院, 北京 100101)

摘 要: 职住空间作为城市系统最重要的组成部分, 直接影响了城市的形态结构、居民的行为体验以及社会的和谐宜居, 长期以来受到城市研究者的关注和重视。论文利用覆盖北京全地域并持续1个月的1亿多条手机信令数据, 基于DBSCAN的聚类方法, 通过OD定向联系, 识别出同时具备居住—就业关系特征的职住空间。在此基础上, 针对北京市辖区、环路、街道乡镇等不同空间尺度, 综合运用空间错位指数、职住偏离度、职住分离率、通勤流动率等计算方法, 研究北京职住空间分布格局及匹配特征。研究发现: ①北京市居住空间呈现大分散、小集聚特征, 就业空间呈现大集聚、小分散特征; ②基于各个空间尺度、不同测度方法的分析结果均表明, 职住空间的不匹配程度呈现出由中心城区向外围逐渐降低的态势, 但基于街道乡镇尺度呈现出由内向外更细化的就业集聚—居住集聚—二者均衡的三段式变化特征; ③无论是就业空间高度集聚导致的非集聚区就业岗位数量不足, 还是包括就业高集聚区在内大量区域出现的双向通勤现象, 均说明居住功能和就业功能空间重组的必要性。

关键词: 职住空间; 空间匹配特征; 手机信令; 北京

城市作为一个复杂的巨系统, 内部融合了形形色色的居民活动行为, 但居住和就业仍是其最重要的活动类型。随着城市的快速发展, 空间规模日渐扩大, 长距离、潮汐式交通问题所引发的交通拥堵, 已成为中国主要城市所面临的共同难题。而就业和居住的空间不匹配, 则是造成这一问题难以解决的重要原因之一。就业和居住空间, 作为城市居民活动的2大主体功能区, 其地域组织关系随城市发展和体制变迁而发生较大变化^[1-2]。从城市的实际发展情况来看, 就业和居住空间的选择, 是企业和居民分别选址并相互作用的结果。企业追求利润最大化, 在集聚经济、土地和劳动力成本间权衡; 居民追

求效用最大化, 在收入、土地和通勤成本间权衡, 二者相互作用, 最终形成了城市职住空间格局^[3]。尤其对于中国而言, 随着20世纪80年代传统的“职住合一”单位制大院模式被打破, 城市空间得以重构, 就业—居住空间格局便发生了明显变化^[4-5]。进入90年代之后, 随着城镇化进程逐步加速, 住房和就业体制改革进一步深化, 居民进行住房选址和就业选择的机会都显著增加, 导致了居住—就业空间进一步变化^[6]。与此同时, 逐渐出现的以开发区和新城为代表的新城市空间, 也为进一步加剧的居住—就业分离现象增加了外在推动力。如今, 就业和居住的不匹配问题, 不仅带来了严重的交通拥堵、资

收稿日期: 2019-11-25; 修订日期: 2020-04-22。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41601168, 41601122, 51878052); 北京市自然科学基金项目(9182007)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41601168, 41601122 and 51878052; Natural Science Foundation of Beijing, No. 9182007.]

第一作者简介: 王蓓(1983—), 女, 河南郑州人, 高级工程师, 研究方向为城市与区域规划、城市定量研究。

E-mail: wangbei1521@163.com

*通信作者简介: 刘艳华(1984—), 女, 河南辉县人, 副教授, 主要研究方向为区域经济与可持续发展、空间分析与建模、农村贫困。E-mail: YHLiu2014@zufe.edu.cn

引用格式: 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 Bei, Wang Liang, Liu Yanhua, et al. Characteristics of jobs-housing spatial distribution in Beijing based on mobile phone signaling data. Progress in Geography, 2020, 39(12): 2028-2042.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.12.006

源浪费、环境污染等并发问题,同时也为城市居民带来了一定的时间损耗和精神损耗,有悖于构建“以人为本”新型城镇化的建设理念。因此,深入研究就业—居住空间关系,是新型城镇化建设和城市可持续发展所提出的紧迫需求。

长期以来,合理确定就业与居住的空间关系一直是城市研究者面对的难题。早在1968年,哈佛大学学者Kain^[7]就提出了“空间不匹配”假说并引起了广泛的学术讨论,后来在许多学者的研究中得以验证^[8-9]。20世纪90年代,关于职住平衡的研究热潮得以出现^[10-12]。进入21世纪以来,研究者对于职住平衡、职住空间不匹配等问题更加关注^[13-15],主要采用统计数据或样本调研等手段对职住分离现象^[16-17]、分离程度差异^[6,18]、影响因素^[19-22]等进行了分析,对职住空间特征、组织形式及其演化规律^[1,14,23]开展了实证研究。然而,受限于统计数据空间尺度以及调研样本数量规模,相关研究结论尚不足以形成共识性的理论或观点。

随着信息技术的进步,利用大数据开展城市研究工作为这一问题的改善带来一定程度的转机。尤其是近几年随着移动定位服务和云处理技术的发展,搜集和处理个人定位信息已成为现实^[24]。学者们利用IC卡刷卡数据^[25-29]、GPS数据^[30-32]、微博签到数据^[33-34]、手机信令数据等,开展了诸多涉及城市空间问题的研究,取得了较为丰硕的研究成果。其中,手机信令数据作为大数据的重要类型之一,具备覆盖范围广、样本量大、实时性强等优势,目前已在识别人类空间活动、总结人类行为特征^[35-41],识别城市功能分区、勾画城市空间结构^[42-47],分析城市之间的空间联系强度、确定城市等级体系^[48-50]等方面,取得了在之前数据条件下无法实现的一些目标和成果。

目前针对北京的职住空间格局开展的研究确有不少,但大多基于经济普查、人口普查、问卷调查、居民交通行为调查、地理国情监测成果等传统数据^[24,51-62],尚鲜有利用手机信令数据开展分析的研究。而北京如今正面临交通拥堵日益严重、生态环境问题突出、资源要素布局不合理等“大城市病”问题,如何利用以手机信令数据为代表,能够反映人类行动轨迹和社会经济活动的的数据资源,帮助我们更好地了解城市运行轨迹,探寻居民职住分布态势,是本文研究的目的所在。同时,手机信令数据的研究结果与传统数据是否相互支持,以及能否给

出更深层次的研究结论同样是本文认为值得探讨的话题。

基于以上分析,本文将充分利用手机信令数据的优势,同时考虑到测度方法和空间尺度对研究结果可能产生的影响,利用覆盖北京全市域、持续整1个月的1亿多条手机信令数据,针对市域、环路、市辖区、街道乡镇等不同空间尺度,分别运用空间错位指数、职住偏离度、职住分离率等计算方法,探讨北京不同空间尺度下的职住空间匹配态势,试图通过多方途径,共同发掘北京职住空间分布格局及匹配特征,以便提出合理的规划建议。

1 数据与方法

1.1 研究数据

1.1.1 数据来源

本文研究由中国联通提供数据支持,包括2018年9月在北京市范围内出现的所有中国联通用户,共计190608068条记录,每条数据记录了手机代码、开始结束时间、基站位置编号、事件类型等。当手机用户发生通话、短信、位置移动、开关机等行为时,就会产生相应的位置数据和时间数据。由于手机信令数据中记录的位置主要是基站,所以基站的覆盖面大小决定了数据的精度和准确度。

1.1.2 识别过程

目前,利用手机数据识别职住地的常用方法大体上可分为2类^[63]:一是在自定义的居住和工作时段内,根据手机用户通话时间的频繁程度识别居住地和就业地;二是根据手机通话的位置分布,通过空间聚类 and 回归分析识别个体重要活动地点。但是,在既无驻留时间约束,又无通话位置用地属性信息参考的情况下,仅凭通话位置来反映真实职住地,这点有待商榷。基于此,本文虽然也采取了将自定义时段作为划分职住地的基本条件,但在此基础上还增加了驻留时间的排序,这样便将一些偶然发生的非常规现象排除在外。除此之外,还通过DBSCAN(density-based spatial clustering of applications with noise)聚类、与用地属性信息图对比等方式,进一步将识别空间规范化、有效化,使其更能客观反映职住空间分布实况,提高其准确性。具体识别过程如下:

结合手机数据特点,本文对居住人口的空间识别逻辑过程为:①居住地观测时段为21:00到次日

8:00;② 每天在观测时间段内被观测到的秒数,进行月度累加,并进行排名,实现潜在居住地的识别;③ 在潜在居住地识别的基础上,将观测时段内驻留时间最长的地方判定为实际居住地;④ 当月在实际居住地出现天数达到半个月及以上,判定为有效居住地;⑤ 在有效居住地空间出现的人口为居住人口。对就业人口的空间识别逻辑过程也遵循同样的原理,只是观测时段定为9:00~17:00,有效工作地的选择时间是在当月工作日内达到10 d及以上。

按照以上逻辑顺序,可以大致实现对所有数据的职住分类,但由于数据样本点海量,且连接基站的手机信号随强弱容易在几个同时覆盖一个区域的基站间切换,导致在一定空间范围内发生位置偏移,即一个地点在不同时间被不同基站记录,这种现象的纠偏需要对数据进行基于DBSCAN的聚类。DBSCAN即具有噪声的基于密度的聚类方法,是利用基于密度的聚类概念,要求聚类空间中的一定区域内所包含对象(点或其他空间对象)的数目不小于某一给定阈值,算法可从具有噪声的数据集合中发现任意形状的簇(cluster),使得具有足够的密度区域划分在同一个簇内,从而达到聚类的目的。DBSCAN的显著优点是能够有效剔除噪声数据,高效快速地发现任意形状的空间聚类簇。在本文研究中主要是就所有用户的有效数据进行聚类,获取最大的聚类簇中坐标点的算术平均值,这样每个用户就能得到2个有效聚类点,分别作为就业地和居住地。最后,对识别出的职住空间与北京用地属性信息图进行比对,确保就业地落入相应就业用地范围,居住地落入居住用地范围。

1.1.3 识别结果

按照以上识别过程,最终识别出就业人数3404958人。考虑到2018年北京市就业人数为1238万,而联通数据市场占有率本身即大概为3成,也就是370万左右,由此说明识别的就业人口数据规模较为可信。而居住人口的最终选择我们以就业人口为基准,通过出发地(origin)和目的地(destination)的OD通勤联系在已有居住人群中进行筛选。这样的优势在于默认此处的居住人口为减去了老人和少年儿童部分的就业居民群体,因此在样本方面更能反映本文研究的职住关系本质特征。由此,识别出具有工作属性的居住人口3404958人。需要特别说明的是,下文中所提到的居住人口、就业人口等相关措辞,均指在此过程中识别出的相应人口,尤其居住人口是指具有就业身份的那

部分居民。最终,将所有识别出的数据按照基站的覆盖范围,形成250 m×250 m网格作为基本单元,以此进一步做街道乡镇、环路、市辖区尺度等不同要求的空间归并,从而满足不同空间尺度单元的分析需要。

1.2 研究方法

1.2.1 空间错位指数

空间错位指数(spatial mismatch index, SMI)是由Martin^[64]提出的,用来测度城市居民的居住-就业空间错位程度。SMI越小,说明空间错位程度越低,即匹配程度越高;反之,SMI越大,则匹配程度越低。其计算公式如下:

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

式中: P_{ij} 是城市 j 中 i 区县的人口数, e_{ij} 是城市 j 中 i 区县的就业机会, P_j 是城市 j 的总人口数, E_j 是城市 j 的总就业机会。SMI _{j} 的取值范围为0~1。SMI _{j} =0时表示人口居住—就业绝对匹配,SMI _{j} =1时表示人口居住—就业完全不匹配。

1.2.2 职住偏离度

职住偏离度(JHB)是测度职住空间关系最直接的方法,通常用一个区域内的就业人口数与居住人口数的比值来衡量^[21]。计算公式为:

$$Z_{ij} = \frac{Y_{ij}/Y_i}{R_{ij}/R_i} \quad (2)$$

式中: Z_{ij} 为第 i 年份 j 区的JHB指数; Y_{ij} 为第 i 年份 j 区的就业人口数; Y_i 为第 i 年份全区就业人口总数; R_{ij} 为第 i 年份 j 区的居住人口数; R_i 为第 i 年份全区的居住人口总数^[65]。

以上公式中,若 $Z_{ij}=1$,表明就业居住功能相匹配; $Z_{ij}>1$ 表明就业人口比重高于居住人口比重,即就业功能强于居住功能;反之,则表明居住功能占主导。因此,可用JHB的标准差(SD)来衡量全市职住空间匹配程度:

$$SD = |Z_{ij} - 1| \quad (3)$$

式中: SD 值越小,表明居住空间与就业空间越匹配; SD 值越大,表明两者的匹配程度越差。

1.2.3 职住分离率

由于现实存在不同空间单元之间的职住交互现象^[66],也就是假设某区域虽然职住数量是均衡的,但居住在此的人都不在此地工作,或者说工作在此的人都不住在这里,这种情况下需要进一步分

析另外一个指标,即职住分离率。

职住分离率可用居住人口分离率和就业人口分离率分别表示。其中,居住人口分离率是指不在此区域就业的居住人口与此区域所有从事工作的居住人口之比,所以也称通勤流出率;就业人口分离率是指不在此区域居住的就业人口占此区域所有就业人口的比重,所以也叫通勤流入率。需要特别说明的是,虽然两者是通勤的流入流出问题,但实施主体有异,通勤流出针对的是此区域的居住人口,通勤流入是针对此区域的就业人口,因此这两者不能简单相加或者相减。

1.2.4 小结

以上几种方法虽然本质都是研究职住空间匹配关系,但在比较视角、关注对象等方面有所不同。从比较视角来看,空间错位指数和职住偏离度是从资源配置份额的角度与比研究区域更大的空间单元整体情况进行对比说明,职住分离率是从研究区域自身实际的职住来源角度进行分析;从关注对象来看,空间错位指数、职住偏离度只是通过职住数量比重笼统反映两者规模的差异^[67],而职住分离率弥补了笼统衡量职住规模差异带来的弊端,从切实发生的居民职住行为不在同一区域范围内的空间分离现象入手,衡量二者的实际匹配程度。基于以上方法侧重点的差异,本文在不同空间尺度选择了不同的方法以相互证明和校核,具体而言,空间错位指数应用于市辖区尺度的分析,职住偏离度和职住分离率应用于街道乡镇尺度的分析。

2 研究结果

2.1 北京市职住空间分布格局及总体特征

2.1.1 居住空间呈现大分散、小集聚特征,展现圈层“分散集团式”布局态势

自1958年《北京市总体规划方案》将北京市区划分为几十个集团,奠定了“分散集团式”城市布局结构基础,历版城市总规均延续了此空间布局结构,最终形成如今2016年《北京城市总体规划(2016—2035年)》的以天安门为中心“中心地区+边缘集团+新城(含城市副中心)+跨界城镇组团”的圈层“分散集团式”布局^[68]。在这样的城市空间结构中,由居住人口密度热力图展现出的人口集聚区域整体集中在中心城区即六环之内的区域,但在中心城区之内已分散至不同区位,其中以回天地区(回龙观、天通苑)、西南四环、东三环周边、通州区域等最为集中,其余在二环至五环之间均有密度高低不等的集中连片分布,呈现出集聚地彼此之间分布相对分散,但集聚地内部人口密度均相对较高,也就是大分散、小集聚,圈层“分散集团式”布局的特点,如图1a所示。

2.1.2 就业空间呈现大集聚、小分散特征,单中心性布局态势依旧显著

按照北京市三次经济普查的数据显示,2004—2013年北京市街乡办尺度就业人口密度在3万人/km²的就业集聚区由5个增长到11个,且仍主要分布在中心城区。同样,从就业人口密度热力图看

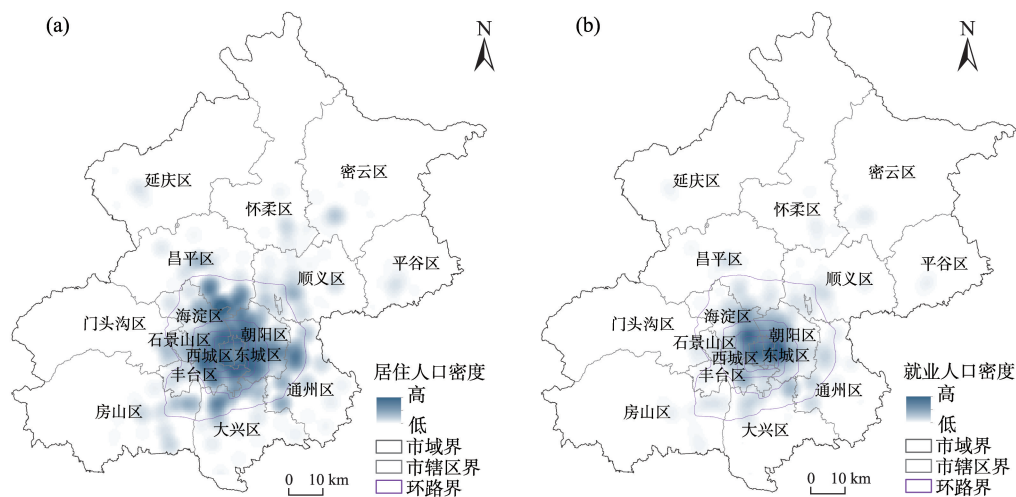


图1 基于手机信令的北京市街道乡镇尺度居住人口和就业人口密度分布热力图

Fig.1 Heat maps of residential and working population densities at the residential community and town and township scale in Beijing based on mobile phone signaling data

(图1b),就业人口的集聚点不如居住人口那样分散,主要集中于中心城区的几大就业片区,具体包括:东二三环的国贸及延伸区域、西二环的金融街、西北四环的中关村绵延至西北五环的上地、西南三四环的丽泽、东南五环的亦庄等。而且,每个集聚点内部人口集聚现象不如居住人口突出,说明在集聚地之内的就业人口相对分散。因此,就业空间呈现大集聚、小分散特征,且单中心性布局态势依旧显著。

由以上分析可知:在居住人口和就业人口数量一一对应的前提下,虽然居住人口和就业人口均呈现出集中于中心城区的单中心分布特征,但居住人口的分布相较于就业人口相对分散,不仅分布在六环之内的大部分区域,而且在六环之外的郊区也有星星点点的集聚态势,而就业人口的空间分布则更为集中,以四环之内和北五环、东五环周边为主。由此可知,北京市居住空间已呈现分散化的分布趋势,就业人口的集聚程度则比居住人口更为显著,可见在居住人口向外疏解的同时,就业岗位却缺乏相应的同步疏解力度,因此居住空间和就业空间呈现出不同的空间分布特征。

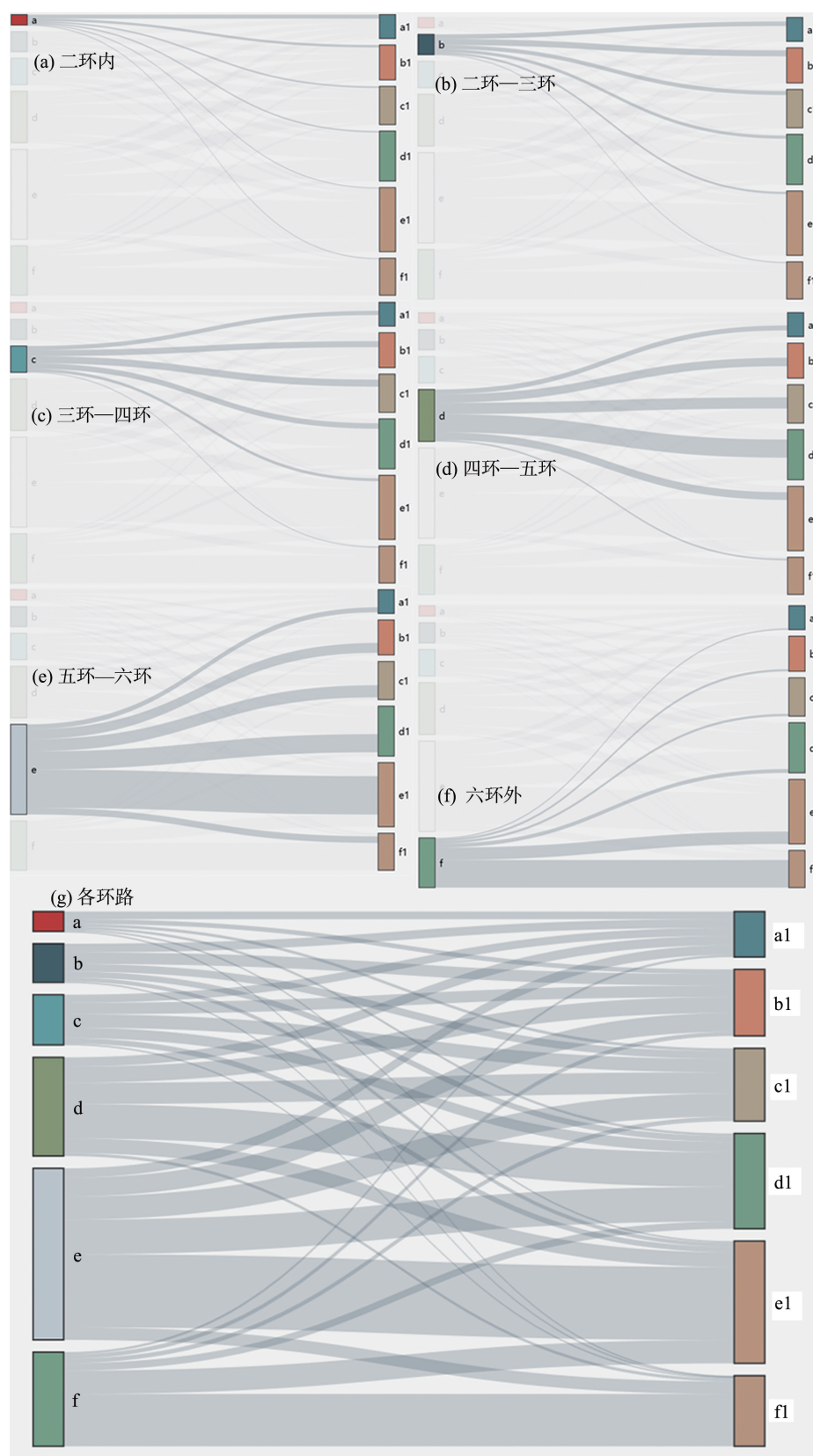
2.2 北京市居民职住通勤的空间分布特征

由于北京市居民的职住空间分布特征整体呈现单中心结构,所以首先按照环路的圈层单元从内到外分析不同环路内所对应的职住现象。本文依次解析了从二环内到六环外,一共6个环路圈层的居住人口和就业人口,分别比较住在各环路的居民的工作地点,如图2所示。由此可看出:①居住人口分布由市中心向外沿环线逐渐增加,人数在五环到六环之间达到顶峰,随后人数减少;就业人口在各环线之间人数略有差异,变化幅度相对较小。这说明了从职住人口总量分布来看,四环之内的居住人口数量远远少于就业人口数量,这和职住人口密度分布所表现出的居住人口集聚点较之就业人口集聚点在空间上更为分散的现象是一致的。②分布在各环路内的居民本着就近原则首选就业地点是本环路之内,且在其他环路的就业量呈现以本环路为中心距离衰减的分布特征。四环之内的居民选择在四环之内就业的占70%,也就是说其主要就业地点仍在四环以内。而四环之外的居民选择在四环内就业的呈现锐减态势,居住在四五环之间就业在四环内的占47%,居住在五六环间的占30%,而在六环外的只占12%。这说明四环之内作为就

业中心对全市居民均有较大吸引力,但通勤距离过长导致大规模远距离通勤的确不太现实。③由于居住在四环之内的人口有13%要去五环之外就业,而居住在六环外的人口有12%要到四环内就业,这种长距离的双向通勤说明了就业功能布局的空间差异性和地域功能互补性,同时也存在就业空间布局不合理问题。

为弥补环路尺度分析产生的外围环路空间跨度过大、本环内结果或出现偏差的现象,从市辖区尺度同步进行通勤流向和流量的分析,以便在不同尺度进行结果的相互校核。由各区居住人口在不同市辖区就业分布比例(表1)可知:①所有市辖区的居住人口都是在本辖区的就业比例最高,邻近区域比例次之;且任意两区之间都有职住通勤双向流量存在;②中心城区(东城、西城、朝阳、海淀、丰台、石景山)在本区就业的比例均不超过50%,排名第二的区域占比通常超过10%,其就业承接区域最为广泛,本区自身职住匹配度最低;城市发展新区(昌平、大兴、房山、顺义、通州)在本区就业比例通常在60%~75%(房山除外,其本区就业比例为84.63%),且排名第二的区域占比通常在10%左右,其相邻区域是主要承接区;生态涵养区(怀柔、门头沟、密云、平谷、延庆)在本区的就业比例通常在80%以上(门头沟除外,其本区就业比例为71.15%),且排名第二的区域占比在5%左右,基本无其他区域作为主要承接区,本区自身职住匹配度最高;③朝阳—昌平、通州—大兴、海淀—昌平、门头沟—石景山、朝阳—通州两两之间均为彼此就业比例排名前三的区域,说明这些区域之间存在较高的双向通勤流,彼此就业互动性更强,就业功能互补现象更为显著。

结合环路和市辖区的分析表明,北京市职住通勤存在以下特点:①无论是市辖区还是环路,居住人口的首选就业地都是本区,但职住匹配度比例有所不同。如中心城区各区自身的职住匹配度较低,因为就业承接空间广阔,整个中心城区及其邻近区域都可选择;这点适用于环路尺度中的四环以内各环路情况。而远郊区各区域职住匹配度较高,甚至达到90%以上,这与六环外居住人口中接近90%都选择在五环之外就业的分布趋势是一致的。②无论是市辖区还是环路,就业人口的流向和流量都符合距离衰减定律,也就是符合从本区到相邻区域再到外围区域的逐层递减态势。③无论是市辖区还是环路,全市任意两区之间均存在双向通勤流现



注:a~f表示二环内—六环之外的居住人口,a1~f1表示其对应环路的就业人口,数轴宽度反映数量规模大小差异。

图2 北京市环路职住人口对应情况

Fig.2 Sankey graphs of relationship of residential and working populations between the ring roads of Beijing

表1 北京市各区居住人口的就业流向及流量比重
Tab.1 Bi-directional jobs-housing flow between districts in Beijing (%)

| 就业 | 居住 | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 昌平区 | 朝阳区 | 大兴区 | 东城区 | 房山区 | 丰台区 | 海淀区 | 怀柔区 | 门头沟区 | 密云区 | 平谷区 | 石景山区 | 顺义区 | 通州区 | 西城区 | 延庆区 |
| 昌平区 | 74.74 | 5.87 | 0.76 | 0.73 | 0.47 | 1.53 | 10.24 | 0.30 | 0.33 | 0.17 | 0.14 | 0.40 | 1.81 | 0.80 | 1.15 | 0.58 |
| 朝阳区 | 9.77 | 49.85 | 3.33 | 3.46 | 0.76 | 6.16 | 8.31 | 0.23 | 0.27 | 0.21 | 0.25 | 0.88 | 4.19 | 9.56 | 2.72 | 0.05 |
| 大兴区 | 0.81 | 7.69 | 60.98 | 1.12 | 2.20 | 8.53 | 2.02 | 0.06 | 0.21 | 0.06 | 0.08 | 0.50 | 0.59 | 13.58 | 1.53 | 0.04 |
| 东城区 | 7.35 | 30.34 | 5.27 | 13.19 | 1.42 | 15.33 | 9.34 | 0.17 | 0.47 | 0.20 | 0.22 | 1.64 | 1.38 | 6.16 | 7.46 | 0.06 |
| 房山区 | 0.41 | 1.36 | 2.86 | 0.38 | 84.63 | 5.81 | 1.82 | 0.08 | 0.37 | 0.04 | 0.02 | 0.53 | 0.19 | 0.55 | 0.91 | 0.03 |
| 丰台区 | 1.75 | 8.50 | 14.40 | 2.42 | 8.08 | 47.28 | 6.99 | 0.07 | 1.00 | 0.06 | 0.08 | 2.31 | 0.36 | 2.10 | 4.55 | 0.04 |
| 海淀区 | 18.63 | 12.74 | 2.47 | 1.58 | 2.12 | 8.84 | 41.34 | 0.16 | 1.19 | 0.11 | 0.11 | 3.28 | 1.02 | 2.31 | 4.01 | 0.11 |
| 怀柔区 | 1.78 | 2.54 | 0.34 | 0.28 | 0.65 | 0.61 | 4.16 | 81.48 | 0.15 | 3.26 | 0.19 | 0.17 | 3.35 | 0.58 | 0.36 | 0.10 |
| 门头沟区 | 1.32 | 2.03 | 0.98 | 0.57 | 2.22 | 3.89 | 5.15 | 0.09 | 71.15 | 0.08 | 0.10 | 10.13 | 0.35 | 0.71 | 1.18 | 0.06 |
| 密云区 | 0.64 | 1.63 | 0.33 | 0.26 | 0.15 | 0.44 | 0.61 | 2.43 | 0.05 | 90.68 | 0.42 | 0.10 | 1.54 | 0.45 | 0.23 | 0.03 |
| 平谷区 | 0.58 | 1.93 | 0.25 | 0.26 | 0.12 | 0.94 | 0.65 | 0.09 | 0.06 | 0.30 | 91.06 | 0.06 | 2.64 | 0.85 | 0.17 | 0.05 |
| 石景山区 | 1.85 | 4.14 | 2.05 | 1.03 | 2.79 | 12.34 | 14.80 | 0.11 | 15.19 | 0.14 | 0.09 | 41.21 | 0.48 | 1.07 | 2.64 | 0.08 |
| 顺义区 | 3.47 | 9.52 | 0.90 | 0.80 | 0.42 | 1.08 | 2.26 | 1.37 | 0.15 | 0.89 | 1.41 | 0.25 | 73.74 | 2.97 | 0.68 | 0.09 |
| 通州区 | 0.98 | 10.46 | 9.56 | 0.90 | 0.64 | 3.10 | 1.61 | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 0.17 | 0.28 | 1.37 | 69.69 | 0.82 | 0.08 |
| 西城区 | 6.01 | 14.73 | 6.11 | 5.38 | 2.45 | 19.41 | 17.19 | 0.11 | 0.97 | 0.11 | 0.11 | 2.97 | 0.73 | 2.93 | 20.68 | 0.11 |
| 延庆区 | 6.43 | 3.18 | 0.66 | 0.35 | 0.34 | 1.06 | 1.54 | 0.27 | 0.89 | 0.08 | 0.09 | 0.14 | 0.57 | 0.86 | 0.48 | 83.06 |

象,而以生态涵养区一核心区、六环外—二环内为代表的空间流是远距离通勤的直接证明,这种情况的发生比例虽然不大,但反映出极不合理的通勤现象以及背后隐藏的职住需求匹配差异。

2.3 北京市居民的职住空间匹配特征

2.3.1 市辖区尺度

本文通过计算北京各市辖区的职住空间错位指数 SMI 来测度不同市辖区的职住空间匹配特征。由计算结果可知,北京市辖区居民职住空间整体呈现的空间错位指数不高,各区县均在 0.3 的范围之内,这与其他学者根据人口普查和经济普查数据计算的北京常住外来人口居住—就业空间错位指数为 0.205、户籍人口居住—就业空间错位指数为 0.173 的结果基本一致^[69]。究其原因,应与北京市辖区单元空间尺度较大,无法反映自身内部职住空间关系,从而对计算结果产生了一定的空间稀释作用有关。其中,朝阳区的空间错位指数相对最高,达到 0.28,接下来由高到低依次是海淀(0.27)、大兴(0.27)、西城(0.26)、东城(0.25)、昌平(0.19)、丰台(0.17)、延庆(0.15)、通州(0.14)、顺义(0.14)、平谷(0.14)、怀柔(0.12)、石景山(0.12)、房山(0.12)、密云(0.10)和门头沟(0.08)。在此基础上,进一步分析了空间错位指数与各区居住人口和就业人口数量的

相关关系,结果显示,居住人数和 SMI 的相关性达到 63.18%,就业人数和 SMI 的相关性达到 72.80%(图 3),可见这一指数与各区的就业人口数量有着更强的正相关关系。

由此推测,职住空间错位指数由中心城区向外围区域逐渐降低的原因在于:全市居住空间分布呈现大分散、小集聚的态势,居住行为的郊区化程度相对更高;就业空间主要集中在城市中心区,其空间集聚强度和增长趋势均高于居住人口密度变化^[55]。中心城区的职住空间不均衡态势非常明显,因为有限的就业空间面向的是相对随机分布的居住人口,就业机会要满足的是全市居民甚至是燕郊居民的就业需求,由此导致朝阳、海淀、西城、东城以及大兴的职住空间错位指数相对较高,均在 0.2 以上。而其他就业岗位相对较少的外围区域不必承担过多的就业需求,面向对象通常限于本区或是邻近周边,因此职住空间错位指数相对较低,呈现出职住空间相对于中心城区较为匹配的特点。

2.3.2 街道乡镇尺度

(1) 职住偏离度

通过计算北京市各街道乡镇的职住偏离度,能直观发现不同街道乡镇的功能主导性。其中,就业功能占主导且排名前列的分别是朝阳区的建外街

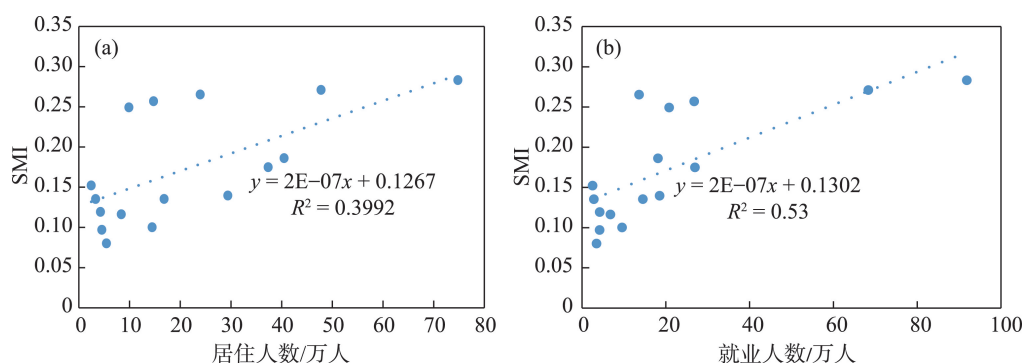


图3 北京市辖区居住人数、就业人数和SMI的相关性

Fig.3 Correlation between spatial mismatch index (SMI) and the residential/working population in the districts of Beijing

道、西城区的金融街街道、东城区的东华门街道、朝阳区的呼家楼街道和朝外街道、东城区的建国门街道、西城区的西长安街街道、海淀区的上地街道和海淀街道、朝阳区的麦子店街道、海淀区的中关村街道、东城区的朝阳门街道等。如图4a所示,它们集中分布在首都功能核心区和拓展区,充分反映了中心城区的CBD、金融街、中关村这三大就业中心的高度集聚。而居住功能占主导且排名前列的街道乡镇分别是大兴区的荣华街道和博兴街道、昌平区的东小口镇和天通苑北街以及霍营街道、门头沟区的军庄镇、海淀区的香山街道、大兴区的北藏村镇、昌平区的龙泽园街道、朝阳区的垡头街道等。这些区域主要位于城市中心城区周边的城乡结合部地带,是大量外来人口的居住承载区,且大多紧邻城市中心的就业集聚区,为就业集聚区提供了充足的劳动力源泉,与其形成良性合作关系。统览全市,就业空间集聚区以中心城区分布为主,职住相对平衡区以城市西部和北部的外围空间为主,就业空间不足、居住空间占优势的区域以环绕中心城区的绿隔地区分布最为广泛。由此可见,以街道乡镇尺度表现出的职住空间差异从城市中心到外围呈现出就业集聚—居住集聚—二者均衡的分布态势。

由于职住偏离度只能表明就业—居住的功能侧重点差异,而无法反映差异大小的具体程度,所以利用其标准差进一步核算两者的匹配度。通过计算北京市各街道的职住偏离度标准差可知:北京市职住功能差异尤其显著的区域主要集中在四环以内CBD、金融街、中关村这3大就业中心所涉及且辐射的街道范围,而居住功能占主导的区域并没有反映出能与就业主导区相比肩的数量差异程度,如图4b所示。由此可以推测,北京的就业空间高度

集聚态势是整体职住空间失配的重要原因,而就业岗位适度分散化以及就业功能的空间再集聚应是降低这种失配程度的方式之一。

(2) 职住分离率

由于职住分离率是通过居住人口分离率和就业人口分离率共同衡量,所以这一现象反映出的通勤流向和流量问题,其本质是城市空间结构中不同功能分区的布局问题。在所有街道乡镇中,职住分离率即通勤流入率和流出率均高于95%的街道乡镇占总量的18.73%,均高于90%的街道乡镇占总量的42.9%,可见,从街道乡镇尺度反映的职住分离现象更为严重,双向通勤现象所占比例如此之高,造成了道路交通的拥堵以及城市空间秩序的混乱。从职住分离率空间分布来看,东城区的崇文门外街、房山区的东风街道、东城区的东直门街道和朝阳门街道以及前门街道、西城区的椿树街道、东城区的景山街道、朝阳区的朝外街道等,均处于通勤流入率最高的区间(图5a);东城区的崇文门外街、门头沟区的军庄镇、房山区的东风街道、东城区的朝阳门街道和前门街道以及景山街道、西城区的大栅栏街道等,均处于通勤流出率最高的区间(图5b)。而就业集聚区作为通勤流入高发地是正常现象,但同时存在高发的通勤流出量不免令人诧异,只能归结为就业功能与当地居民的就业需求不相匹配所导致。由此说明,即便是拥有充足就业岗位的就业集聚地,如果存在就业功能和居住人口就业需求的不匹配,同样无法避免跨区就业的现象发生。而这种双向通勤的大量出现,对道路交通的承载和空间秩序的维持,都将产生较大的压力和影响,因此需要围绕不同区域的重点功能定位,合理组织就业功能和居住功能的关系。

3 结论与讨论

3.1 研究结论

本文利用手机信令数据从市辖区、街道乡镇、环路等不同空间尺度,运用空间错位指数、职住偏离度指数、职住偏离率等多种方法,对北京居民职住空间的分布格局进行了系统性分析,主要结论如下:

(1) 在历版北京市城市总体规划空间布局方案的影响下,北京市居住空间呈现大分散、小集聚特

征,展现圈层“分散集团式”布局态势;就业空间呈现大集聚、小分散特征,单中心性布局态势依旧显著。居住空间的分散化分布和就业空间的集中分布是造成整体职住空间不匹配现象的主要原因。

(2) 从环路尺度来看,四环之内的居住人口数量远远少于就业人口数量,同样说明了居住人口的圈层“分散集团式”布局和就业人口的单中心型布局特征显著;且不同环路的居住人口虽然均首选本圈层就业,但在其他各个圈层选择就业的人数同样具有一定规模,说明了就业功能的融合和互补需要

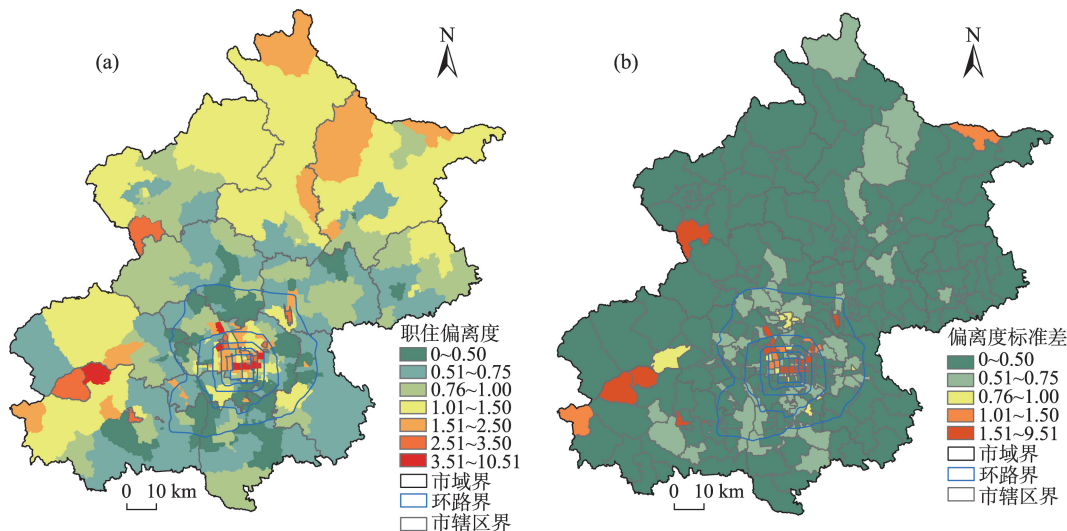


图4 北京市街道乡镇尺度职住偏离度和标准差分布

Fig.4 Distribution of the deviation degree of jobs-housing and its standard deviation at the residential community and town and township scale of Beijing

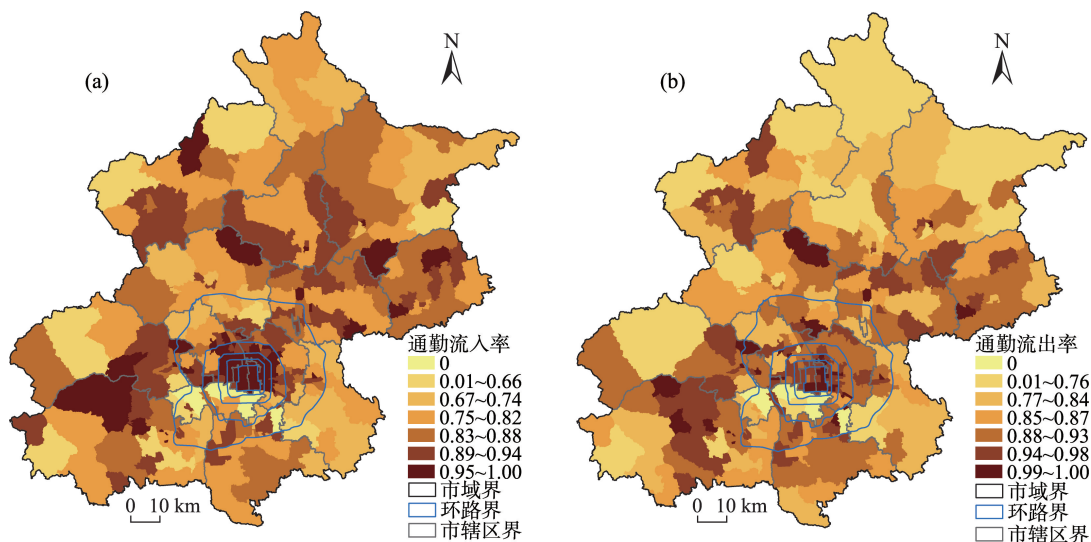


图5 北京市街道乡镇尺度职住分离率分布

Fig.5 Distribution of the commuting flow rate at the residential community and town and township scale of Beijing

一定程度的改善和加强。

(3) 从市辖区尺度来看, 各区居住人口通常首选本区就业, 且中心城区的主要就业承载范围较之外围区域更为广阔; 全市职住空间错位指数普遍不高, 这与市辖区自身空间单元尺度较大从而产生了空间稀释作用有关。这些都反映出从中心城区向外围区域职住空间错位关系由高到低的变化趋势和职住空间的不匹配程度由中心城区向外围逐渐降低的态势。

(4) 从街道乡镇尺度来看, 职住空间分布格局细化为从中心城区向外围区域依次呈现就业集聚—居住集聚—二者均衡的三段式变化态势。就业空间的高度集聚导致许多区域的岗位规模存在缺口, 无法与居住人口实现数量匹配, 应当考虑适度分散化以及空间再集聚。而就业集聚区出现的大量双向通勤现象, 说明了就业功能与居住人口就业需求的不相匹配, 同样呼吁结合不同空间的功能定位, 合理组织就业功能和居住功能的关系。

3.2 讨论

随着社会经济的发展和机制的作用, 受到级差地租的影响, 居民的居住空间趋向城市中心外围, 经济活动尤其是高端服务业在市中心集聚的现象是符合城市经济发展规律的, 然而这种现象必然导致职住空间的逐步分离。尤其对于北京而言, 尽管城市居住人口在郊区化的同时, 就业岗位也出现了一定的分散化趋势, “主中心—次中心”的多就业中心格局初步显现, 但其发生范围仍是以中心城区为主要空间, 即居住中心和就业中心呈现“集聚且分散”的两极化态势。为了避免这种空间分离现象进一步加剧, 发展到严重影响居民通勤行为、生活体验以及城市空间秩序的地步, 城市管理者应当通过产业发展的引导、功能空间的重构等手段, 尽早对居民职住空间布局有所干预。尤其是对于那些根据大数据优势识别出的具体区域的具体问题, 如“存在较高比例双向通勤流的朝阳—昌平、通州—大兴、海淀—昌平、门头沟—石景山、朝阳—通州”, 应进一步深入调查其形成原因, 从全市层面统筹协调可能的产业调整或功能重构。

就北京市中心城区(东城、西城、朝阳、海淀、丰台、石景山)而言, 尽管《北京城市总体规划(2016—2035年)》对中心城区的常住人口、就业规模、建筑总量等均提出了控制要求, 但目前仍存在着居住人口逐步减少、就业人口集聚态势持续加剧的现实情

况。正是在中心城区居住人口不断下降的情况下, 就业岗位仍有较大增加, 才导致了职住空间分离程度进一步增大、空间失配现象更为严重的情况发生。而且在就业空间较为集聚的现状下, 其内部双向通勤问题却很突出, 这也成为内部各区空间错位指数高、职住匹配度却最低的具体表现。针对这些问题, 需要从两方面寻求解决途径: 一是在控制就业规模的同时, 对就业岗位类型和用地功能布局进行适当调整; 二是在中心城区的外围区域, 尤其是距大型就业中心 15 km 半径处适当布局居住空间。

就北京城市副中心和其他城市发展新区而言, 仍要以加快产业升级、增加就业岗位数量和类型、满足当地居民就业需求、承接中心城区人口疏解工作为主要目标, 这不仅对城市空间合理布局、提升城市整体竞争力有重要意义, 也对提高当地居民的生活满意度、增强获得感和幸福感有积极作用。在当前背景下, 远距离通勤已成为北京不容忽视的通勤现象, 对于经历远距离通勤的居民而言, 若有合适的就业岗位实现就近工作可谓是提升生活质量的重要途径。因此, 这些地区应该通过承接中心城区疏解工作, 加快优质公共服务资源投入, 大力推进低效用地疏解腾退和产业转型升级, 在增强本地吸引力的基础上, 结合当地产业发展规划, 继续着力增加就业岗位数量、提高就业岗位密度、丰富就业岗位类型, 从而满足当地居民和承接人口的就地工作选择需求, 切实改善职住空间分布不匹配现象。

参考文献(References)

- [1] 周素红, 闫小培. 城市居住—就业空间特征及组织模式: 以广州市为例 [J]. 地理科学, 2005, 25(6): 664-670. [Zhou Suhong, Yan Xiaopei. Characteristics of jobs-housing and organization in Guangzhou. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(6): 664-670.]
- [2] 宋金平, 王恩儒, 张文新, 等. 北京住宅郊区化与就业空间错位 [J]. 地理学报, 2007, 62(4): 387-396. [Song Jinping, Wang Enru, Zhang Wenxin, et al. Housing suburbanization and employment spatial mismatch in Beijing. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(4): 387-396.]
- [3] Livingston B L. Using jobs housing balance indicators for air pollution controls [M]. Berkeley, USA: Institute of Transportation Studies, University of California, 1989.
- [4] 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 Yanwei,

- Liu Zhilin, Shen Jie. Changes of the Danwei system and its effects. *Arid Land Geography*, 2008, 31(2): 155-163.]
- [5] 党云晓, 董冠鹏, 余建辉, 等. 北京土地利用混合度对居民职住分离的影响 [J]. *地理学报*, 2015, 70(6): 919-930. [Dang Yunxiao, Dong Guanpeng, Yu Jianhui, et al. Impact of land-use mixed degree on resident's home-work separation in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 919-930.]
- [6] 梁海艳, 孟斌, 李灿松. 大城市职住分离的区域测度方法探究: 以北京市为例 [J]. *人口学刊*, 2014, 36(4): 16-25. [Liang Haiyan, Meng Bin, Li Cansong. Research on metropolitan's job-housing separation region measurement method taking Beijing as an example. *Population Journal*, 2014, 36(4): 16-25.]
- [7] Kain J F. Housing segregation, Negro employment and metropolitan decentralization [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1968, 82(2): 175-197.
- [8] Straszheim M. Discrimination and the spatial characteristics of urban labor market for black worker [J]. *Journal of Urban Economics*, 1980, 7(1): 119-140.
- [9] Leonard J. The iteration of residential segregation and employment discrimination [J]. *Journal of Urban Economics*, 1984, 21(2): 323-346.
- [10] Cervero R. Job/housing balance as public policy [J]. *Urban Land*, 1991, 50(10): 10-14.
- [11] 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.
- [12] 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 Xiaochen, Wu Jing, Shen Fanbu. The study review of urban jobs-housing balance. *Urban Studies*, 2009, 16(6): 23-28, 35.]
- [13] 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(9): 8-14. [Zhou Jiangping. Spatial mismatch hypothesis and employment of the disadvantaged social group: Research evolution in the U.S. and implications for China. *Modern Urban Research*, 2004(9): 8-14.]
- [14] 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 Chen, Chen Wen, Yuan Feng, et al. Relationship between job-housing spaces of Wuxi City and relationship and its influencing factors in 2000-2010. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(2): 137-146.]
- [15] 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 Zhenlong, Jiang Lingde. Job-housing balance oriented Suzhou residential space structure study. *Planners*, 2015, 31(3): 81-86.]
- [16] 刘志林, 张艳, 柴彦威. 中国大城市职住分离现象及其特征: 以北京市为例 [J]. *城市发展研究*, 2009, 16(9): 110-117. [Liu Zhilin, Zhang Yan, Chai Yanwei. Home-work separation in the context of institutional and spatial transformation in urban China: Evidence from Beijing household survey data. *Urban Studies*, 2009, 16(9): 110-117.]
- [17] 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 Yan, Chai Yanwei. Characteristics of commuting pattern in Beijing: Based on the comparison of different urban residential areas. *Geographical Research*, 2009, 28(5): 1327-1340.]
- [18] 冯健, 周一星. 郊区化进程中北京城市内部迁居及相关空间行为: 基于千份问卷调查的分析 [J]. *地理研究*, 2004, 23(2): 227-242. [Feng Jian, Zhou Yixing. Intra-urban migration and correlative spatial behavior in Beijing in the process of suburbanization: Based on 1000 questionnaires. *Geographical Research*, 2004, 23(2): 227-242.]
- [19] 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 Siqi, Cao Yang. The determination of jobs-housing spatial relationship in Beijing. *Urban Studies*, 2009, 16(6): 29-35.]
- [20] 柴彦威, 张艳, 刘志林. 职住分离的空间差异性及其影响因素研究 [J]. *地理学报*, 2011, 66(2): 157-166. [Chai Yanwei, Zhang Yan, Liu Zhilin. Spatial differences of homework separation and the impacts of housing policy and urban sprawl: Evidence from household survey data in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 157-166.]
- [21] 英成龙, 雷军, 段祖亮, 等. 乌鲁木齐市职住空间组织特征及影响因素 [J]. *地理科学进展*, 2016, 35(4): 462-475. [Ying Chenglong, Lei Jun, Duan Zuliang, et al. Characteristics of jobs-housing spatial organization in Urumqi City and influencing factors. *Progress in Geography*, 2016, 35(4): 462-475.]
- [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. [Wei Haitao, Zhao Hui, Xiao Tiancong. A study on the characteristics and influencing factors of spatial mismatch between housing and employment in Beijing. *Urban Devel-*

- opment Studies, 2017, 24(4): 43-51.]
- [23] 孟斌. 北京城市居民职住分离的空间组织特征 [J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1457-1466. [Meng Bin. The spatial organization of the separation between jobs and residential locations in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1457-1466.]
- [24] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 基于移动定位大数据的城市空间研究进展 [J]. 国际城市规划, 2015, 30(4): 53-58. [Ding Liang, Niu Xinyi, Song Xiaodong. Urban spatial studies with big data of mobile location: A progress review. *Urban Planning International*, 2015, 30(4): 53-58.]
- [25] Roth C, Kang S M, Batty M, et al. Structure of urban movements: Polycentric activity and entangled hierarchical flows [J]. *PLoS One*, 2011, 6(1): 1-8.
- [26] 龙瀛, 张宇, 崔承印. 利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行 [J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1339-1352. [Long Ying, Zhang Yu, Cui Chengyin. Identifying commuting pattern of Beijing using bus smart card data. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1339-1352.]
- [27] Zhong C, Arisona S M, Huang X F, et al. Detecting the dynamics of urban structure through spatial network analysis [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(1): 2178-2199.
- [28] Ma X L, Liu C C, Wen H M, et al. Understanding commuting patterns using transit smart card data [J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 58: 135-145.
- [29] Huang J, Levinson D, Wang J E, et al. Tracking job and housing dynamics with smartcard data [J]. *PNAS*, 2018, 115(50): 12710-12715.
- [30] Qi G D, Li X L, Li S J, et al. Measuring social functions of city regions from large-scale taxi behaviors [C]// IEEE. 2011 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PERCOM Workshops). Seattle, USA: IEEE, 2011: 384-388.
- [31] 申悦, 柴彦威. 基于GPS数据的城市居民通勤弹性研究: 以北京市郊区巨型社区为例 [J]. 地理学报, 2012, 67(6): 733-744. [Shen Yue, Chai Yanwei. Study on commuting flexibility of residents based on GPS data: A case study of suburban mega-communities in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 733-744.]
- [32] Liu Y, Wang F H, Xiao Y. Urban land uses and traffic 'source-sink areas': Evidence from GPS-enabled taxi data in Shanghai [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1): 73-87.
- [33] 甄峰, 王波, 陈映雪. 基于网络社会空间的中国城市网络特征: 以新浪微博为例 [J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1031-1043. [Zhen Feng, Wang Bo, Chen Yingxue. China's city network characteristics based on social network space: An empirical analysis of Sina Micro-blog. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1031-1043.]
- [34] 王波, 甄峰, 席广亮, 等. 基于微博用户关系的网络信息地理研究: 以新浪微博为例 [J]. 地理研究, 2013, 32(2): 380-391. [Wang Bo, Zhen Feng, Xi Guangliang, et al. A study of cybergeography based on micro-blog users' relationship: With a case of Sina micro-blog. *Geographical Research*, 2013, 32(2): 380-391.]
- [35] Ahas R, Aasa A, Silm S, et al. Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn Metropolitan Area: Case study with mobile positioning data [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2010, 18(1): 45-54.
- [36] Sevtsuk A, Ratti C. Does urban mobility have a daily routine? Learning from the aggregate data of mobile networks [J]. *Journal of Urban Technology*, 2010, 17(1): 41-60.
- [37] Krisp J M. Planning fire and rescue services by visualizing mobile phone density [J]. *Journal of Urban Technology*, 2010, 17(1): 61-69.
- [38] Becker R A, Caceres R, Hanson K, et al. A tale of one city: Using cellular network data for urban planning [J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2011, 10(4): 18-26.
- [39] Sagl G, Delmelle E, Delmelle E. Mapping collective human activity in an urban environment based on mobile phone data [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2014, 41(3): 272-285.
- [40] Manfredini F, Pucci P, Tagliolato P. Toward a systemic use of manifold cell phone network data for urban analysis and planning [J]. *Journal of Urban Technology*, 2014, 21(2): 39-59.
- [41] 王德, 朱查松, 谢栋灿. 上海市居民就业地迁移研究: 基于手机信令数据的分析 [J]. 中国人口科学, 2016(1): 80-89. [Wang De, Zhu Chasong, Xie Dongcan. Research on Intra-city employment mobility in Shanghai: Based on cell phone data. *Chinese Journal of Population Science*, 2016(1): 80-89.]
- [42] Reades J, Calabrese F, Ratti C. Eigenplaces: Analysing cities using the space-time structure of the mobile phone network [J]. *Environment and Planning B: Planning & Design*, 2009, 36(5): 824-836.
- [43] 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构 [J]. 城市规划学刊, 2014(6): 61-68. [Niu Xinyi, Ding Liang, Song Xiaodong. Understanding urban spatial structure of Shanghai central city based mo-

- bile phone data. Urban Planning Forum, 2014(6): 61-68.]
- [44] 钮心毅, 丁亮. 利用手机数据分析上海市域的职住空间关系: 若干结论和讨论 [J]. 上海城市规划, 2015(2): 39-43. [Niu Xinyi, Ding Liang. Analyzing job-housing spatial relationship in Shanghai using mobile phone data: Some conclusions and discussions. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2): 39-43.]
- [45] Pei T, Sobolevsky S, Ratti C, et al. A new insight into land use classification based on aggregated mobile phone data [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014, 28(9): 1988-2007.
- [46] 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(9): 100-106. [Ding Liang, Niu Xinyi, Song Xiaodong. Identifying the commuting area of Shanghai central city using mobile phone data. City Planning Review, 2015(9): 100-106.]
- [47] 陆振波, 龙振, 余启航. 基于手机信令数据的昆山市职住分布与通勤特征分析 [J]. 现代城市研究, 2019(3): 50-55. [Lu Zhenbo, Long Zhen, Yu Qihang. Analysis on the job-housing spatial distribution and commuting characteristics of Kunshan City based on cellular signaling data. Modern Urban Research, 2019(3): 50-55.]
- [48] 钮心毅, 王垚, 刘嘉伟. 基于手机信令数据的深圳与周边城市的空间关联分析 [J]. 城市建筑, 2018(5): 34-38. [Niu Xinyi, Wang Yao, Liu Jiawei. Analysis of spatial relevance between Shenzhen and its neighboring cities based on mobile phone signaling data. Urbanism and Architecture, 2018(5): 34-38.]
- [49] 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. The comparison of regional urban relations between people flow and capital flow: A study based on mobile phone signaling data and firm interlock data. Human Geography, 2018, 33(2): 84-91, 146.]
- [50] 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. Research on the spatial characteristics of pearl river delta urban agglomeration based on mobile signaling data. Planners, 2018, 34(1): 113-119.]
- [51] 徐涛, 宋金平, 方琳娜, 等. 北京居住与就业的空间错位研究 [J]. 地理科学, 2009, 29(2): 174-180. [Xu Tao, Song Jinping, Fang Linna, et al. Spatial mismatch between housing and employment in Beijing. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(2): 174-180.]
- [52] 孟斌, 于慧丽, 郑丽敏. 北京大型居住区居民通勤行为对比研究: 以望京居住区和天通苑居住区为例 [J]. 地理研究, 2012, 31(11): 2069-2079. [Meng Bin, Yu Huili, Zheng Limin. The analysis of commuting behavior in the huge residential districts: A case study of Wangjing and Tiantongyuan in Beijing. Geographical Research, 2012, 31(11): 2069-2079.]
- [53] 孟斌, 郑丽敏, 于慧丽. 北京城市居民通勤时间变化及影响因素 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(10): 1218-1224. [Meng Bin, Zheng Limin, Yu Huili. Commuting time change and its influencing factors in Beijing. Progress in Geography, 2011, 30(10): 1218-1224.]
- [54] 赵晖, 杨军, 刘常平, 等. 职住分离的度量方法与空间组织特征: 以北京市轨道交通对职住分离的影响为例 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(2): 198-204. [Zhao Hui, Yang Jun, Liu Changping, et al. Measurement method and characteristics of spatial organization for jobs-housing misbalance: A case study of the effects of metro systems on jobs-housing misbalance in Beijing. Progress in Geography, 2011, 30(2): 198-204.]
- [55] 赵晖, 杨开忠, 魏海涛, 等. 北京城市职住空间重构及其通勤模式演化研究 [J]. 城市规划, 2013, 3(8): 33-39. [Zhao Hui, Yang Kaizhong, Wei Haitao, et al. Job-housing space restructuring and evolution of commuting patterns in Beijing metropolitan area. City Planning Review, 2013, 3(8): 33-39.]
- [56] 张纯, 易成栋, 宋彦. 北京市职住空间关系特征及变化研究: 基于第五、六次人口普查和2001、2008年经济普查数据的实证分析 [J]. 城市规划, 2016, 40(10): 59-64. [Zhang Chun, Yi Chengdong, Song Yan. Characteristics of job-housing spatial relationship and changes in Beijing: An empirical study based on data from the 5th, 6th population census and economy census in 2001 and 2008. City Planning Review, 2016, 40(10): 59-64.]
- [57] 郑承智, 张旺锋, 武炳炎, 等. 北京市外来人口集聚型城中村流动人口职住分离研究 [J]. 地理科学进展, 2017, 36(4): 416-425. [Zheng Chengzhi, Zhang Wangfeng, Wu Bingyan, et al. Job-housing mismatch of floating population in urban villages of Beijing. Progress in Geography, 2017, 36(4): 416-425.]
- [58] 申犁帆, 张纯, 李赫, 等. 大城市通勤方式与职住失衡的相互关系 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(9): 1277-1290. [Shen Lifan, Zhang Chun, Li He, et al. Interaction between commuting modes and job-housing imbalance in metropolis: An empirical study by Bayesian-tobit analysis.]

- sis in Beijing. *Progress in Geography*, 2018, 37(9): 1277-1290.]
- [59] 郭燕宾, 王淼, 杨伯钢, 等. 基于空间信息的职住平衡评价指标构建: 以北京城市副中心为例 [J]. *北京测绘*, 2018, 32(11): 1267-1271. [Guo Yanbin, Wang Miao, Yang Bogang, et al. Construction of evaluation index of the jobs-housing balance based on spatial information: A case of Beijing city sub-center. *Beijing Surveying and Mapping*, 2018, 32(11): 1267-1271.]
- [60] 任媛, 陈圆圆. 北京市职住空间演化格局及其内在机理 [J]. *城市发展研究*, 2019, 26(3): 9-15. [Ren Yuan, Chen Yuanyuan. Spatial pattern and changes of job-housing in Beijing. *Urban Development Studies*, 2019, 26(3): 9-15.]
- [61] 韩会然, 杨成凤. 北京都市区居住与产业用地空间格局演化及其对居民通勤行为的影响 [J]. *经济地理*, 2019, 39(5): 65-75. [Han Huiran, Yang Chengfeng. Spatial pattern evolution of residential and industrial land and its impact on commuting behavior in Beijing metropolitan area. *Economic Geography*, 2019, 39(5): 65-75.]
- [62] 刘常平, 徐学明, 赵晖, 等. 北京城市职住空间演变、通勤需求与就业可达性特征 [J]. *交通运输研究*, 2019, 5(2): 1-8. [Liu Changping, Xu Xueming, Zhao Hui, et al. Characteristics of urban jobs-housing space evolution, commuter demand and job accessibility in Beijing. *Transport Research*, 2019, 5(2): 1-8.]
- [63] 许宁. 基于手机定位数据的居民职住地分布特征研究: 以深圳市为例 [D]. 长沙: 中南大学, 2014. [Xu Ning. Research of distribution features of home-work location based on mobile phone positioning data in Shenzhen. Changsha, China: Central South University, 2014.]
- [64] Martin R W. Spatial mismatch and the structure of American metropolitan areas 1970-2000 [J]. *Journal of Regional Science*, 2004, 44(3): 467-488.
- [65] Weitz J, Schindler T. Are Oregon's communities balanced? A test of the jobs-housing balance policy and the impact of balance on mean commute times [R]. Portland, USA: Portland State University, 1997.
- [66] Horner M W, Marion B M. A spatial dissimilarity-based index of the jobs-housing balance: Conceptual framework and empirical tests [J]. *Urban Studies*, 2009, 46(3): 499-517.
- [67] 白羽, 赵鹏军. 职住平衡概念与测度方法研究进展 [J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(4): 89-98. [Bai Yu, Zhao Pengjun. A review of concept and methodology of jobs-housing balance. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 2018, 54(4): 89-98.]
- [68] 杨明, 王吉力, 伍毅敏, 等. 边缘城镇崛起下的特大城市职住梯度平衡研究: 以北京为例 [J]. *城市发展研究*, 2019, 26(10): 13-25. [Yang Ming, Wang Jili, Wu Yimin, et al. Study on the gradient balance of jobs-housing in mega-city under the rise of edge cities: Take Beijing as an example. *Urban Development Studies*, 2019, 26(10): 13-25.]
- [69] 孙铁山, 刘霄泉. 中国超大城市常住外来和常住户籍人口居住—就业的空间错位: 基于北京、上海和广州的实证 [J]. *人口与经济*, 2016(5): 23-34. [Sun Tieshan, Liu Xiaoquan. Jobs-housing spatial mismatch of permanent immigrants and local registered residents in Chinese metropolises: An empirical study based on Beijing, Shanghai and Guangzhou. *Population and Economics*, 2016(5): 23-34.]

Characteristics of jobs–housing spatial distribution in Beijing based on mobile phone signaling data

WANG Bei¹, WANG Liang¹, LIU Yanhua^{2*}, YANG Bo³, HUANG Xiaochun¹, YANG Ming¹

(1. Beijing Municipal Institute of City Planning & Design, Beijing 100045, China;

2. School of Economics, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China;

3. Beijing Academy of Social Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: As the most important parts of urban systems, jobs and housing spaces and their balance directly affect the spatial structure of cities, the behavior and experience of the residents, and the harmony and livability of the society. This study used more than 100 million records of mobile phone signaling data, covering the whole city of Beijing and over a period of one month, to identify the jobs-housing spaces by targeting the origin-destination (OD) oriented connections applying the density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) method. Furthermore, this study explored the spatial distribution pattern and matching characteristics of Beijing's jobs and housing spaces from different spatial scales by using various measurement methods of jobs-housing balance. The spatial scales for analysis cover the whole city, ring roads, districts, and residential community and town and townships, and the methods applied include the spatial mismatch index, deviation degree, commuting flow rate, and so on. The results show that: 1) Mainly influenced by the spatial layout of the Beijing Master Plan, Beijing's housing space is characterized by dispersion at the large scale and agglomeration at the small scale, showing a pattern of scattered groupings. In contrast, its working space presents features of agglomeration at the large scale and dispersion at the small scale, retaining a significant single-centered layout. 2) Although working in local areas is the first choice for people at both the ring road scale and the district scale, there are still a great number of people works outside their residential areas. The degree of jobs-housing mismatch gradually decreases from the central city to the periphery no matter which method was adopted or at which scale. At the residential community and town and township scale, however, a more detailed feature of three- zones, with job agglomeration inside, housing agglomeration in between, and balanced distribution outside, was observed. 3) Both the general lack of jobs in certain areas caused by the high concentration of working space and the two-way commuting phenomenon in the majority of the areas caused by the high spatial concentration of jobs indicate the necessity of spatial reorganization of residential function and employment function. Specifically, for the regions with a high proportion of two-way commuting flow between them, such as Chaoyang- Changping, Tongzhou- Daxing, Haidian- Changping, Mentougou- Shijingshan, and Chaoyang-Tongzhou, further in-depth investigation should be conducted to find out the reasons for its formation and then possible industrial adjustment or functional reconstruction from the city level should be coordinated. Relying on big data, on the one hand, the job preference and demand of local residents can be identified, so the types and number of jobs in each region could be adjusted accordingly; on the other hand, the proper locations for new job and residential centers may be identified to help rearrange the land use of the whole city.

Keywords: jobs-housing space; jobs-housing mismatch; mobile phone signaling data; Beijing