

基于手机信令数据的上海市不同住宅区 居民就业空间研究

王德¹, 李丹², 傅英姿³

(1. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200093; 2. 中国城市规划设计研究院上海分院, 上海 200335;
3. 江苏省城市规划设计研究院, 南京 210036)

摘要: 上海市住宅区地域分布广, 住房属性、就业环境与交通环境各异, 就业活动空间呈现不同的组织与分布模式。利用2014年手机信令数据识别上海市移动手机用户的居住地和就业地, 选取253个典型住宅区为分析样本, 将样本住宅区居民就业地核密度分布、通勤距离—概率分布等可视化方法结合就业地特征量化因子, 以综合归纳上海市住宅区就业空间分布模式, 分析影响因子及形成机制。研究揭示了上海市住宅区就业空间的几类典型模式, 包括单中心、带状、双中心、多中心或分散, 以及模式间的过渡类型。在就业空间影响因子方面, 就业中心分布与轨道交通线路是主导因子, 影响就业空间模式的整体分布; 居住区类型特征是次要因子, 导致局部就业空间模式变异。研究结论可为上海市空间结构优化布局、产业空间调整、轨道交通建设及住房建设提供参考。

关键词: 就业空间; 空间模式; 住宅区; 手机信令数据; 上海市
DOI: 10.11821/dlxb202008003

1 引言

近年来职住关系与通勤行为特征成为透视城市空间结构的重要视角。就业空间为住宅区居民就业地分布的集合, 是通勤研究的其中一环, 其不仅与职住分布、交通条件等建成环境相关, 也与居民社会属性密不可分, 是就业、交通、住房等相关规划在居民行为空间的体现。住宅区因其内部相对均质, 具有特定的建成环境与住房属性, 成为就业空间分析中的重要单元之一。已有研究表明, 转型期中国城市中几类典型住区, 如老城旧住宅区、单位住宅区、郊区新建商品房住宅区、政策性住宅区等, 其居民的通勤活动存在明显的分异^[1]。

传统的城市研究与规划实践多从通勤行为展开探讨, 涵盖对就业空间的分析, 数据的获取主要基于问卷调查方法。①从研究对象出发, 相关研究包括若干特殊属性住宅区的通勤特征对比研究^[2-4]; 单一郊区大型社区的通勤特征分析^[5-7]; 城市特殊群体, 如外来农民工、动迁居民的通勤特征分析^[8-9]。受传统数据量的限制, 研究对象局限在微观层面少数典型群体中, 就城市规划而言, 难以得出普适性规律及建议。②从就业空间研究内容出发, 研究利用大型抽样调查数据探究城市整体通勤特征或相关影响因子^[10-13]; ③从就业空间形态特征出发, 柴彦威等^[14]总结北京市住宅区通勤圈形态分布为“圆形+不同类型扇形”的组合, 孙珊珊等^[15]分析上海市两个住宅区的就业空间分布形态为哑铃状与大

收稿日期: 2018-12-21; 修订日期: 2020-05-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771170) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41771170]

作者简介: 王德(1963-), 男, 教授, 博导, 主要从事城市规划方法论、空间与行为、城市大数据、城市模型领域的教学与研究。E-mail: dewang@tongji.edu.cn

饼状,郭文伯等^[16]总结北京市两大居住区域的就业空间分布具有多点分散与单点扩散特征,陈梓烽等^[17]把两个住宅区的就业空间分布总结为分散和集中的内城指向型。由于住宅区样本及数据精度的局限性,空间特征研究限制在了少数住宅区的归纳中,且相关研究较少,并未达成统一、可信的空间分布类型标准。因此,从就业空间研究对象、就业空间特征角度来看,现有的传统数据研究都因样本量的限制,未能得出普适性结论。

随着大数据时代的到来,公共交通刷卡数据以及微博签到数据也被运用到就业空间的研究中。龙瀛等^[18]基于北京市连续一周的公交IC卡刷卡数据对来自3大典型居住区和去往6大典型办公区的通勤出行进行可视化与对比分析。钱志诚^[19]结合地铁刷卡数据与问卷调查数据探讨了深圳市过度通勤问题。石光辉^[20]通过微博用户数据、签到数据的POI分类、签到时间识别深圳市居民居住地与就业地,并对街道层面的通勤特征进行分析。而公交刷卡数据对于脱离公共交通后的人口流向难以判断,其数据精度有待商榷。同时公交刷卡数据、微博签到数据的研究对象仅为公交卡、微博的使用者,其样本的覆盖面受限。

手机数据具有高覆盖率、高持有率的特征,其大样本量、丰富的个体时空行为信息能够弥补传统数据、公交刷卡数据和微博数据在数据数量、广度、精度方面存在的不足,为居民通勤行为与城市空间研究提供了新的契机。已有的居民就业空间研究包括就业地识别、通勤行为规律描述及规划评价等方面。就业地识别上,Ahas等^[21]、Csáji等^[22]、Alexander等^[23]构建了就业地的识别方法,为就业空间研究打下了基础;丁亮等^[24]根据手机信令数据识别上海中心城的通勤圈。通勤行为规律描述上,Ahas等^[25]分析了郊区居民的时空分布特征,包括通勤男性、工作女性、家庭主妇的时空分布规律等;Shi等^[26]在社区层面探讨职住空间分布和人类流动模式,确定了3种群落空间分布,验证了通勤行为带来了城区及郊区的空间互动;Kang等^[27]使用8个城市的手机数据,证实了郊区新城与中心城区的居民通勤行为差异。规划评价上,王德等^[28]利用手机信令数据,以上海市宝山区为例,从职住关系、通勤行为和居民消费休闲出行行为视角进行了城市建成环境的综合评价。已有研究多集中在城市整体或区域的宏观尺度上,缺乏中观层面住宅区视角的分析,且研究更多关注通勤行为,较少聚焦就业空间。

而中国城市在政府主导向市场化转型过程中,形成了不同类型的居住区域,包括郊区大型住区、历史住区、保障性住区、单位分配住区等,这些居住区域往往对应着特定社会经济属性的居民,同时,地域分布与建成环境条件各异,住宅区间存在差异化的就业空间特征。因此,在研究视角上,除从城市或区域宏观、个体微观视角探讨就业空间影响因子的作用机制外,中观层面的居住区域作为建成环境、特定社会经济属性的代表性区域,成为特殊的研究对象,以分析各类住房、交通、产业等城市建设政策的空间效用,为城市的科学发展提供政策建议。

传统的就业空间研究因数据限制,未展开大样本量住宅区的对比,无法得出普适性结论;公交刷卡数据、微博数据、手机数据虽实现了数据量的突破,但仍旧缺乏中观层面住宅区视角的相关研究。本文结合手机信令数据与传统就业空间研究,以住宅区为分析单元,通过个体就业空间“大数据”生成住宅区层面的就业空间“小数据”,系统的对上海市不同类型住宅区就业空间进行比较,总结其分布模式与影响因子,并讨论相应政策的合理制定。研究成果可为上海市住房建设、轨道交通建设、职住关系优化提供参考。

2 研究数据和方法

2.1 研究数据

2.1.1 手机信令数据识别职住地 研究主要使用的是2014年上半年某两周上海2G移动用

户的手机信令数据, 每当手机与基站进行通讯连接(如接打电话、接发短信、位置更新等)时, 基站会进行记录并产生一条包含基站位置信息的信令数据, 上海市域每日平均记录到1600万~1800万个不同手机识别号, 每日平均信令记录数约6亿~8亿条左右。

全市共分布几万个基站, 基站间的距离在几百米至几千米不等(相对成熟的建成区基站距离较小), 在进行位置识别时, 以基站位置代表用户实际位置进行估算。研究中, 针对每一个用户当天20点一次日6点时间段的所有记录点, 剔除偏远点, 选择与所有点平均距离最小的点为当天的居住地, 重复操作得到14 d可能的居住地点集; 同时, 利用9—18点的记录和同样的流程识别出用户10个工作日可能的工作地点集。为保证用户为上海市常住人口, 拥有稳定的居住地, 通常认为两周内出现等于或少于4 d的人口为流动人口, 故居住地点集数目至少为5个; 工作地点集同理。针对每个用户的居住地与就业地点集, 再次计算各点集中与所有点的平均距离最小的点为其稳定居住地与工作地, 由于基站两两之间距离均存在差异, 故与各点平均距离最小点为唯一点, 即最终得出唯一的稳定居住地与工作地。

数据共识别出约1371万个具有稳定居住地和工作地的用户, 样本量约为上海市第六次人口普查常住人口的57%, 在街道层面与六普常住人口数据的皮尔逊相关系数为0.910, 且在0.01水平上显著相关, 说明手机数据识别人口常驻地的方法是可行的。本研究以居住地与工作地之间的路网距离作为通勤距离, 通勤距离为0的用户视为没有通勤出行, 不在本研究的考虑范围, 故筛选出约716万通勤人口数据作为基础数据。

2.1.2 住宅区样本选取 基于住宅区典型性与手机数据可靠性进行初步的样本筛选: 选择面积1 km²以上、内部及周边均质的住宅区, 以保证样本具有一定的数据规模且具有相似的居民社会属性和建成环境; 以住宅区内部数据记录量最大的基站点识别的通勤人口作为住宅区通勤人口, 人口必须大于300人, 以保证手机数据在该样本中的可靠性。在此基础上, 考虑地域差异、住房属性、轨道交通便利程度的差异性, 在上海市范围内共选取253个住宅区, 样本分布如图1所示。在空间分布上, 外环以内123个, 新城内31个, 其他地区99个。所选取的住宅区涵盖了历史住区、一般商品房、别墅、保障性住房、棚户区等典型类型; 轨道交通站点1.5 km范围内住宅区158个, 1.5~3 km范围内49个, 3 km以上46个。

2.2 研究方法

2.2.1 就业空间特征参数

把握253个样本就业空间分布的整体趋势与规律, 是建立模式分类、进行影响因子研究的基础。因此, 根据手机信令数据的空间定位特性, 考虑就业中人们普遍关注的就业距离, 到达就业地的便捷程度以及就业地与市中心的关系, 针对每个样本, 统计通勤距离—概率分布、平均通勤距离、5 km内就业比、轨道交通沿线就业比与内环就业比5个就业参数, 其定义及作用如表1所示。

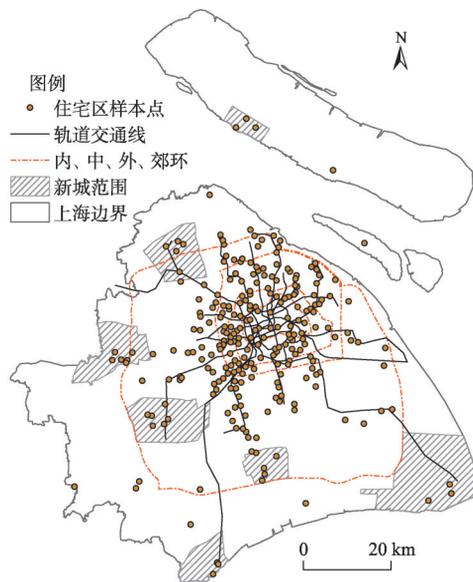


图1 上海253个住宅区样本空间分布

Fig. 1 Sampled 253 residential quarters in Shanghai

表1 就业空间特征参数
Tab. 1 Parameters of employment spatial patterns

名称	定义	作用
通勤距离—概率分布	以1 km为基本通勤距离单元, 不同距离的通勤人口分布	反映通勤距离分布特征
平均通勤距离	就业者通勤路网距离的平均值	反映就业远近的整体趋势
5 km内就业比	住宅区5 km范围内的就业者占总就业者的比例	反映就近就业情况
轨道交通沿线就业比	邻近轨道交通线路所有站点2 km以内就业人口占住宅区总就业人口的比例	反映轨道交通沿线就业趋势
内环就业比	在内环范围内的就业者占总就业者的比例	反映市中心就业核心依赖度

2.2.2 模式分类准则 对住宅区通勤人口的就业地做核密度分析, 得出的就业地空间分布形态为模式划分的主要依据, 以通勤距离—概率分布、平均通勤距离、5 km内就业比的定量标准为辅助数据, 对就业空间分布模式进行综合判断:

(1) 空间形态: 对住宅区通勤者的就业地在ArcGIS中做核密度分析, 由于各住宅区样本数不同, 甚至存在量级差异, 故将核密度分析图的各栅格值MIN-MAX标准化^①后乘以100, 以便于住宅区间在同一量级上进行横向对比, 核密度图直观的反映了住宅区就业分布的空间形态特征及集中程度。

(2) 统计特征: 以1 km为基本通勤距离单元, 统计不同距离段的通勤人口分布, 生成通勤距离—概率直方图, 该分布图反映了通勤人口随通勤距离增加的变化特征, 是对就业地空间分布核密度图在距离特征上的提取, 辅助判断就业空间分布模式。

(3) 模式分类: 根据就业核密度图反映的空间分布的集聚情况, 以及通勤距离—概率分布直方图峰值数反映的距离特征情况, 可以首先将住宅区就业空间分布划分为连绵型、双中心及多中心。根据5 km内就业比、平均通勤距离可将就业空间连绵分布的住宅区划分为两类, 高度集聚的单中心、沿轨交分布的带状。

2.2.3 影响因子确定 根据既有研究的经验以及轨道交通沿线就业比与内环就业比等参数在不同住宅区中的表现, 可初步确定就业空间的影响因子。通过对影响因子的分析, 判断影响因子对于不同模式就业空间的影响, 探究差异化就业空间的形成机制。

3 就业空间分布模式

3.1 模式类型

依据就业地的空间密度分布、通勤距离—概率分布, 加上以5 km内就业比为主的就业空间因子统计数据, 总结出上海市253个住宅区样本就业空间分布的4类典型模式: 单中心、带状、双中心、多中心或分散, 以及模式间的过渡类型。

3.1.1 单中心 该模式中居民的就业以住宅区为地理空间核心连续分布, 随着通勤距离的增加, 通勤人数迅速衰减, 呈现“近距离、多方向、连续性”的就业特征。

单中心模式往往依附就业中心存在, 分为市中心单中心和郊区单中心两类, 二者在空间上有所分异, 市中心单中心模式位于内环强大的就业核心区, 郊区单中心模式邻近郊区较大规模就业中心。市中心模式相比于郊区模式而言, 就业更加集聚, 平均通勤距离3.5~5.5 km, 5 km内就业比65%以上; 郊区模式平均通勤距离3.5~7.5 km不等, 5 km内就业比例50%以上。

① MIN-MAX标准化方法是对原始数据进行线性变换。设minA和maxA分别为属性A的最小值和最大值, 将A的一个原始值x通过MIN-MAX标准化映射成在区间[0, 1]中的值x', 其公式为: $x' = (x - \min A) / (\max A - \min A)$ 。

位于内环核心区的常华小区与位于嘉定新城的李园一、二村分别为典型的市中心单中心与郊区单中心模式案例。常华小区的就业空间高度依赖内环就业区，在空间分布上呈现住宅区附近的就业单核心（图2），随着通勤距离的增加，就业概率迅速、连续下降，平均通勤距离4.2 km，5 km内就业比78.1%；李园一、二村的主要就业空间集中在新城范围，基本不受市中心就业影响，相比常华小区而言，就业空间蔓延更大，就业概率随通勤距离下降趋势减缓，平均通勤距离6.1 km，5 km内就业比67.4%。

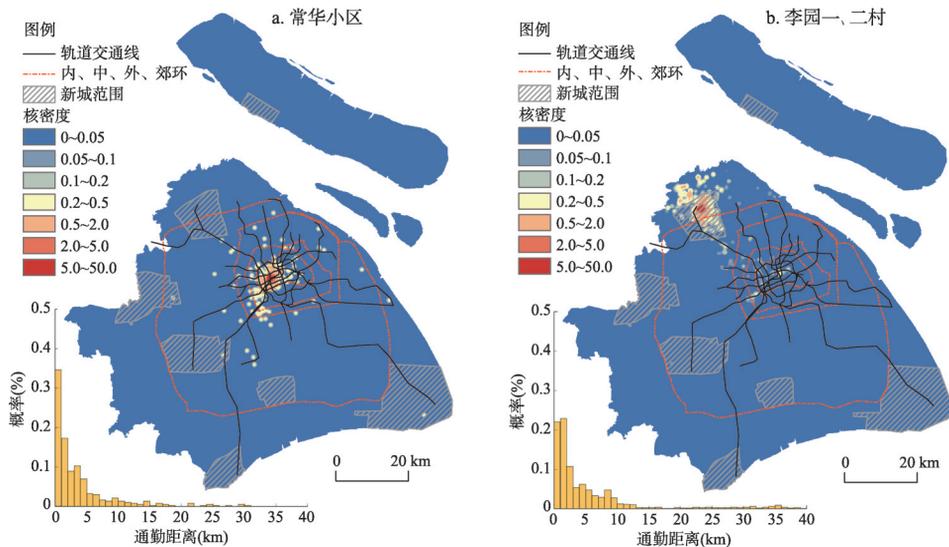


图2 上海市中心常华小区(a)、郊区李园一、二村(b)单中心模式就业地核密度分布

Fig. 2 Kernel densities of single-nucleated patterns in city center and suburbs

3.1.2 带状 该模式中居民沿住宅区至市中心交通沿线带状就业，市中心就业指向性明显。相比于单中心模式而言，随着通勤距离的增加，通勤概率衰减缓慢，呈现“中远距离、单一方向（向心）”的特征。

带状模式主要分布在市中心单中心模式外围，即内环就业核心边缘至郊区新城边界区域，往往依附轨道交通线路形成。因此，以单一线路沿线就业趋势强弱为重要参考标准，定义单一轨道交通沿线就业率50%为阈值，用于区分典型带状模式与弱带状模式；在典型带状模式中，轴向就业趋势明显，就业空间主要沿某单一线路分布，依据就业空间分布的连续与否，分为连续型与间断型两类；弱带状模式中，轴向就业特征存在，但就业空间并非沿单一轨道交通沿线分布。如图3所示，典型带状模式主要分布在单一直达市中心轨道交通线路站点附近，这些线路多位于浦西地区，其中间断型带状位于连续型带状外围；弱带状模式的住宅区分布在通往市中心有两条或以上轨道交通线路可选地区，或距轨道交通站点较远地区等。带状模式的平均通勤距离大于市中心单中心模式，典型带状与弱带状模式均为5.5~13 km不等，在典型模式中，连续型模式为5.5~10 km，外围的间断型模式通勤蔓延更大，为8~13 km。

天山新苑、申莘新村、市光新村分别为连续型带状、间断型带状、弱带状的住宅区案例（图3），天山新苑位于内、中环之间，邻近轨道交通2号线威宁路站，其就业空间沿轨道交通2号线至内环就业核心呈现带状分布，随着通勤距离的增加，就业概率连续下降，平均通勤距离8.4 km，2号线沿线就业比66%；申莘新村位于外环附近，邻近轨道交通5号线春申路站，就业空间沿5号线及其相连的1号线至内环就业核心间断型分布，

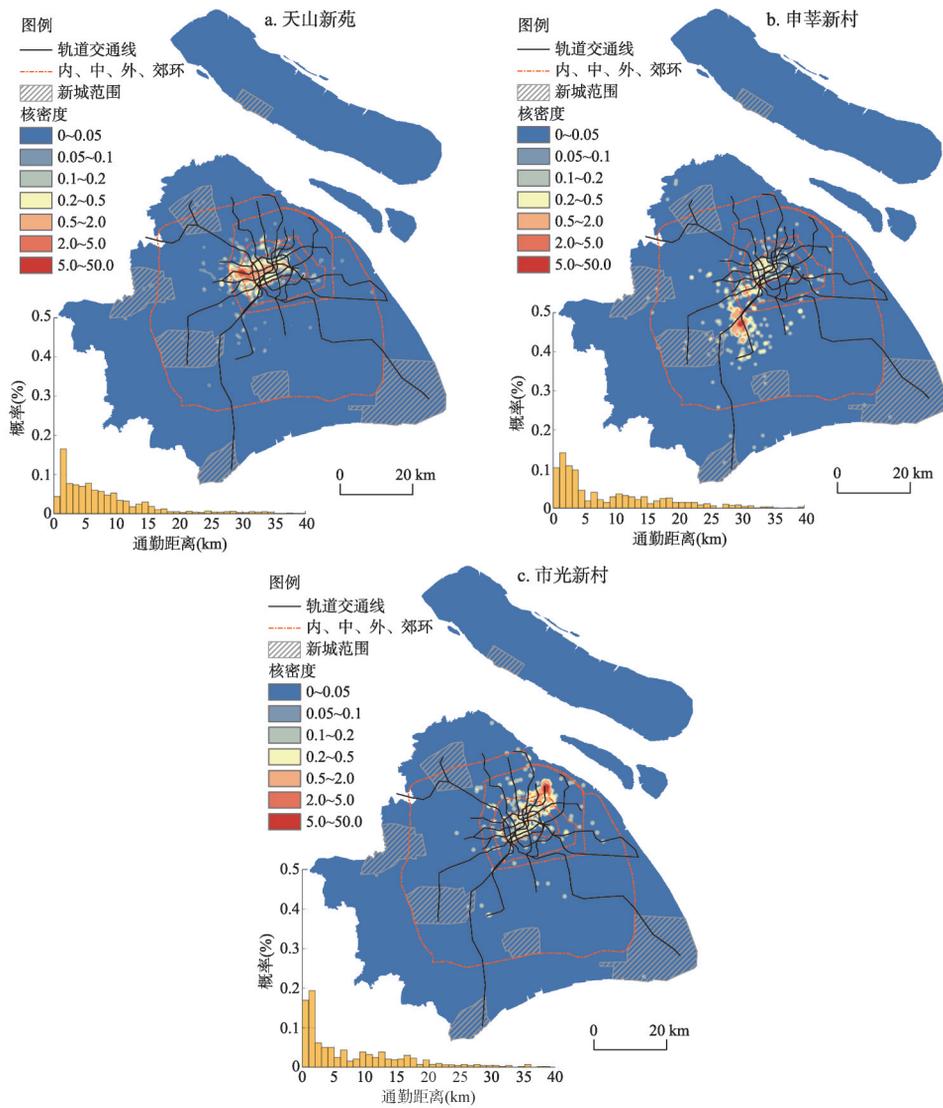


图3 天山新苑连续型(a)、申莘新村间断型(b)、市光新村弱带状(c)模式就业地核密度分布
Fig. 3 Kernel densities of three ribbon-shaped patterns

随着通勤距离增加，就业概率呈现波动性下降，平均通勤距离9.4 km，轨道交通5号线及1号线沿线就业比61%；市光新村位于外环附近，邻近轨道交通8号线嫩江路站，8号线通往市中心方向与10号线交错，中间区域的轨道交通线路较为复杂，就业空间整体呈现沿多条轨道交通线路通往市中心的趋势，平均通勤距离8.3 km。

3.1.3 双中心 双中心模式的住宅区居民就业空间存在双核心，除住宅区周边之外，还存在市中心附近的就业核心，随着通勤距离的增加，通勤人数迅速衰减，至市中心附近迅速升高，呈现“双峰值”，可以看成带状模式在特殊环境下的变体；双中心模式相比于带状模式而言通勤距离更远，具有“超远距离、单一方向（向心）、间断性”特征。

该模式主要分布在近远郊带状模式的边缘区域，同样依托快速轨道交通产生，一般分布在站点1.5 km以内，就近（5 km以内）及内环附近的通勤人口占总通勤人口的70%以上，平均通勤距离最大，在10~20 km不等。

世博家园为典型的双中心模式住宅区案例，位于外环以外，邻近轨道交通8号线江月路站，其就业空间集中在住宅区周边以及内环核心，中间区域断层现象明显（图4），通勤距离一概率分布具有“双峰”特征，平均通勤距离13.1 km，就近与内环通勤占总通勤人口的72.4%。

3.1.4 多中心或分散 该模式下，除就近就业核心外，呈现多个小就业核心或无明显就业核心，通勤概率随通勤距离增加的衰减不规律，通勤距离蔓延较大，呈现“中远距离、多方向、间断性”的特征。

因就业吸引主体及地域差异，多中心及分散模式分为市中心模式与远郊模式两类。前者主要分布在浦东16号、21号线沿线，平均通勤距离8~13 km不等；后者分布在郊区新城及周边地区，平均通勤距离7~13 km。

康桥宝邸和弘泽阳光苑分别为典型的市中心、郊区多中心或分散模式（图5），康桥宝邸位于浦东外环附近，轨道交通16号线沿线，但是轨道交通线路沿线就业趋势不明显，就业空间分布在住宅区周边、市中心、张江高科等地，整体较为零散，平均通勤距离11.8 km；弘泽阳光苑位于金山区，距离金山新城一定距离，就业空间分布在住宅区周边、金山新城等地，平均通勤距离11.2 km。

3.1.5 过渡型 过渡型主要分布在两种模式转化的空间过渡地带，具有两种模式的中间特征。

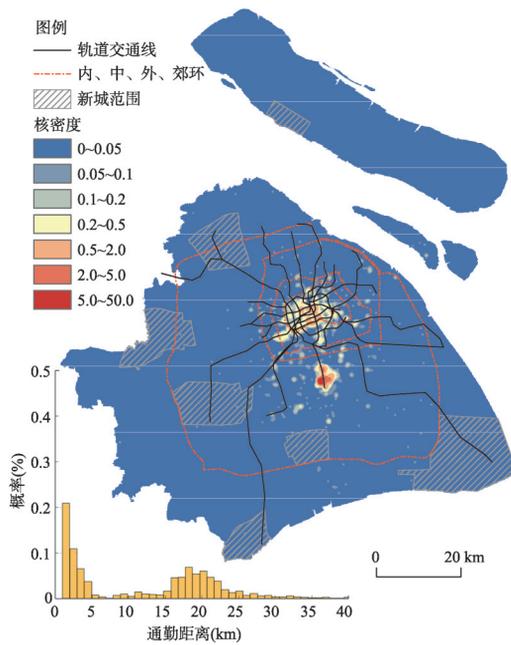


图4 世博家园双中心模式就业地核密度分布
Fig. 4 Kernel densities of dual-nucleated patterns

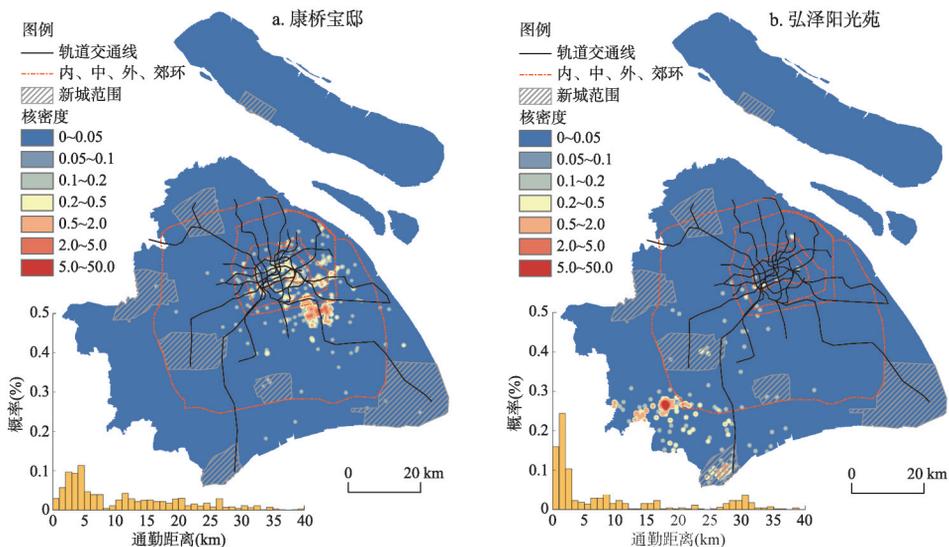


图5 上海市中心康桥宝邸(a)、郊区弘泽阳光苑(b)多中心或分散模式就业地核密度分布
Fig. 5 Kernel densities of multi-nucleated and decentralized patterns in city center and suburbs

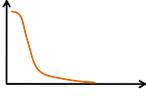
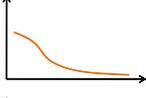
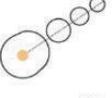
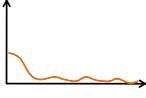
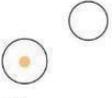
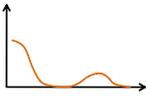
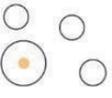
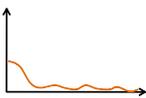
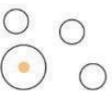
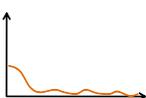
3.2 特征总结

3.2.1 类型汇总 上海市住宅区就业空间存在4类典型模式：单中心、带状、双中心、多中心或分散，具体特征如表2所示。

3.2.2 数量分布 就业空间模式大类分布，其中单中心模式与多中心或分散模式因吸引主体构成的不同，分为两个亚类（图6），带状模式因空间分布特征的不同，分为3个典型亚类（图7），表3为各模式大类及亚类的数量统计，在选取的253个样本中，带状模式所占比例最大，双中心模式所占比例最小。

3.2.3 模式特征 如图8所示，单中心模式的住宅区，居民整体通勤出行比较集约，呈现近距离、多方向、连续性的特征，通勤方式的选择上可能更加灵活；带状模式的住宅区，单方向向心就业趋势明显，具有中远距离、单一方向的特征，容易形成较大的潮汐交通压力；双中心模式的住宅区同样具有向心通勤趋势，具有超远距离、单一方向、间断性的特征，易形成交通压力，相当比例的居民进行长距离通勤，是一种异常与不合理的模式；多中心或分散模式的住宅区，居民的通勤方向更加分散，具有中远距离、多方向、间断性的特征，一定程度上分解了单向交通压力，但是平均通勤距离整体偏高，其合理性有待进一步探讨。

表2 就业空间分布模式主要特征
Tab. 2 Characteristics of employment spatial patterns

就业空间模式	空间形态特征		通勤数据特征	
	就业分布	就业核心示意	通勤距离—概率	平均通勤距离(km)
单中心	住宅区周边(市中心)			3.5~5.5
	住宅区周边(郊区新城)			3.5~7.5
带状	住宅区至市中心			5.5~13
				
双中心	住宅区周边+市中心附近			10~20
多中心或分散	住宅区周边+其他(市中心)			8~13
	住宅区周边+其他(远郊)			7.5~13

4 影响因子与形成机制

4.1 影响因子

本文讨论的基本作用因子包括就业中心分布、轨道交通距离和住宅区特性3类。

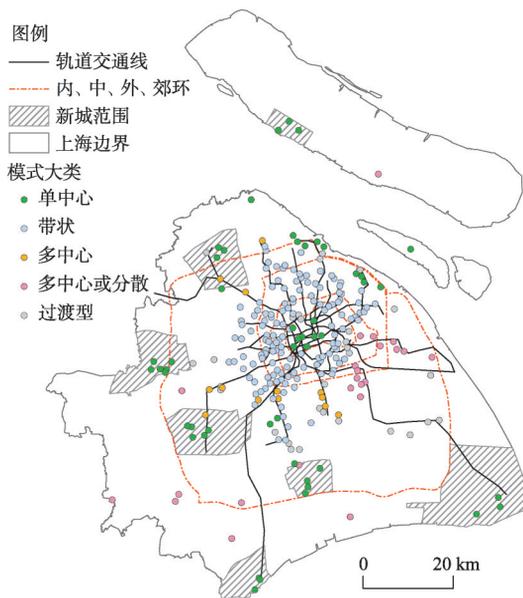


图6 就业空间模式大类

Fig. 6 Spatial distribution of the patterns

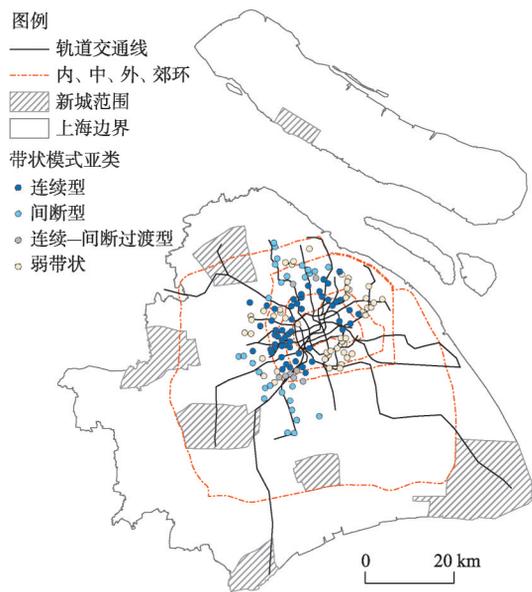


图7 带状模式亚类

Fig. 7 Spatial distribution of ribbon-shaped sub-patterns

4.1.1 就业中心 由内环就业比可知，市中心内环就业核心具有强大的就业吸引力，吸引范围覆盖至远郊住宅区，当就业吸引比例下降到5%以下时，住宅区的远距离与向心性就业趋势变得不明显，故以内环就业比5%为阈值，将住宅区以是否依附市中心就业分为两类。总体而言，在市中心就业核心影响范围内，内环附近就近就业情况较好，随着市中心距离的增加，远距离向心就业趋势越明显，且这种向心就业往往沿轨道交通线路展开；轨道交通线路对于远距离通勤具有一定的拉动作用，近远郊地区的轨道交通换乘站点或末端站点尤其明显。在非市中心吸引地区，住宅区的就业偏离与平均通勤距离较小，就近就业比例较高，尤其在新城内部。

对就业空间模式可能产生影响的就业中心包括市中心内环就业核心，郊区新城就业中心，以及产生特殊模式的浦东地区就业中心等。为了探究其具体吸引边界，以市中心内环就业核心为例，基于上海市所有通勤人口记录数大于300的5436个基站，统计内环就业人口占总记录通勤人口的比例，借助ArcGIS软件使用克里金（Kriging）空间插值法，得到内环就业比例分布，因内环就业比例5%为空间吸引和模式转变的临界值，故把内环就业比例大于5%的区域定义为市中心就业集中区作用区，以郊区新城就业中心、浦东地区就业中心相应的规划边界为就业中心范围重复上述操作，得到各就业中心吸引边界（图9）。在影响范围上，具有“强中心、弱郊区、局部显著”的特征，内环就业核心具有强大的就业吸引力，因便捷的轨道交通不断向外蔓延；新城的吸引力较弱且受市中

表3 模式类型数量

Tab. 3 A summary of the patterns

模式大类	样本数(个)	模式亚类	样本数(个)
单中心	31	市中心型	8
		郊区型	23
带状	147	连续型	54
		间断型	32
		连续—间断过渡型	8
		弱带状	53
双中心	13	双中心	13
多中心或分散	25	市中心型	14
		郊区型	11
过渡型	37	过渡型	37
总计			253

心作用排斥,在吸引边界上,行政区划的影响较大;浦东地区16号、21号线沿线存在多个零散的就业核心,如张江高科、金桥、康桥工业区等,吸引范围集中在局部地区,成为相对特殊的多中心作用区域^②。

市中心作用区与新城作用区、浦东多中心作用区存在空间重合,在市中心与新城重合作用区中,市中心方向对模式的影响力更大,主要分布双中心模式;市中心与浦东多中心作用区,二者的影响均显著,主要分布多中心或分散模式;在单一的市中心作

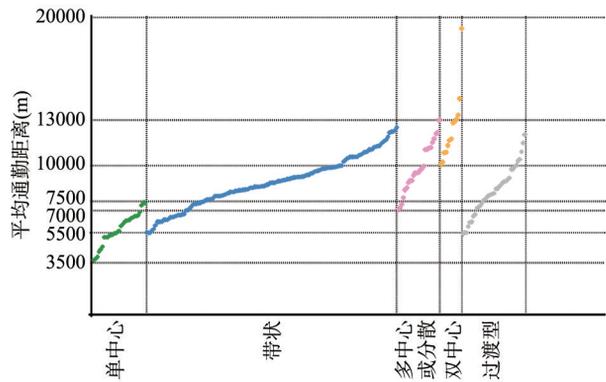


图8 各模式大类平均通勤距离分布
Fig. 8 Average commuting distance of different patterns

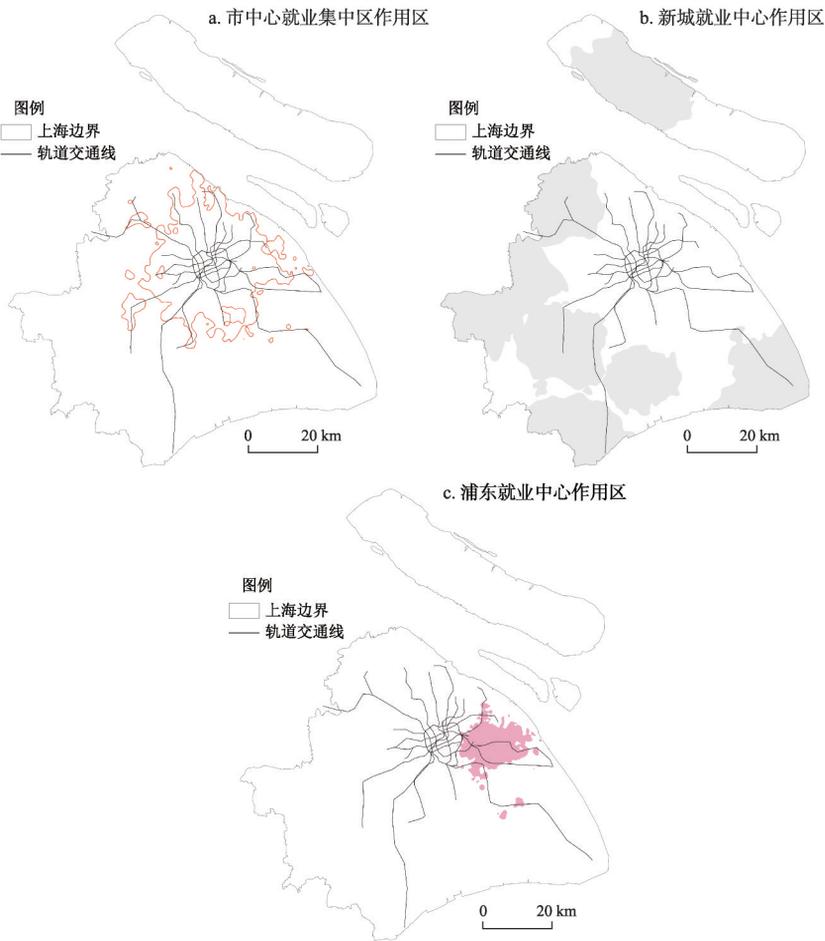


图9 上海市中心就业集中区作用区(a)、新城就业中心作用区(b)、浦东就业中心作用区(c)
Fig. 9 Principal attraction areas of different employment centers (central city, new towns, Pudong)

② 笔者通过对区域就业吸引比例与区域公共交通可达性的关系进行定量分析以及拟合,并综合实际情况,验证了上述结论,由于文章篇幅的限制不在此叙述。

用区，随着就业核心可达性的增加，依次分布着单中心、带状、双中心模式。在单一的新城作用区，分布着郊区单中心、多中心或分散模式，单中心模式主要分布在新城边界之内，多中心或分散模式分布在单中心模式外围。因此，上海市共分为市中心、市中心与浦东多中心、新城三类主导区，各作用区内就业空间分布模式如图10所示。

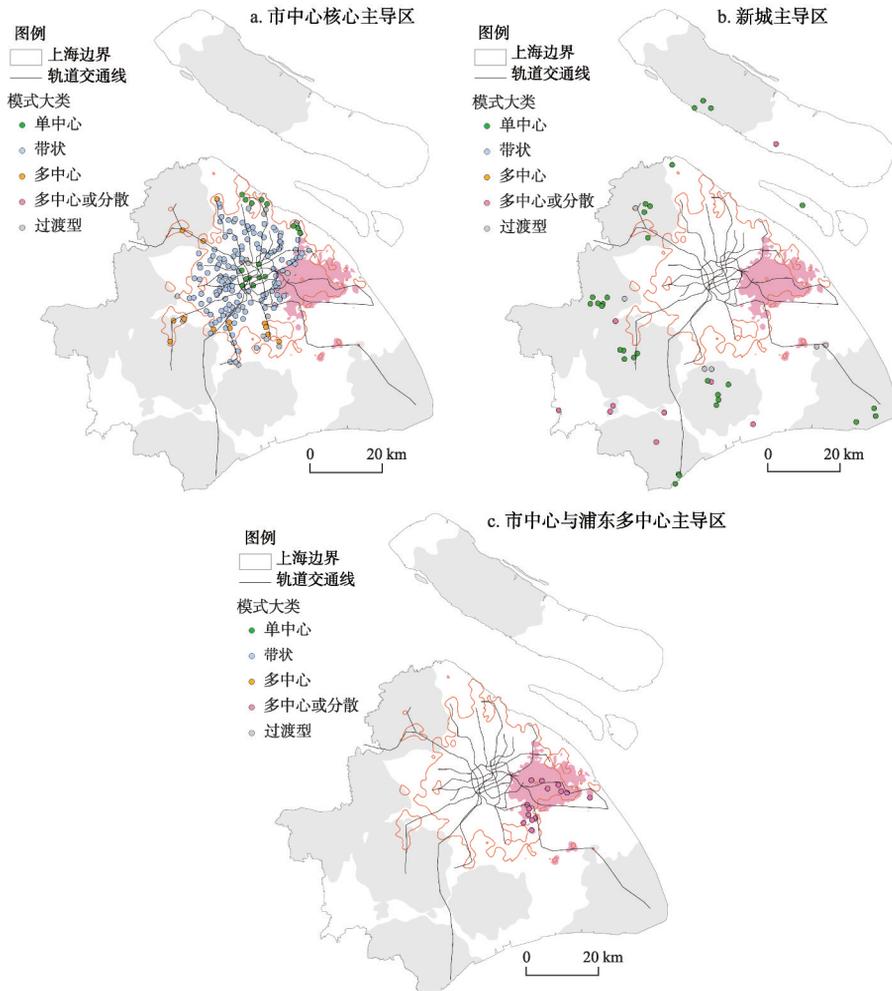


图10 上海市中心核心主导区(a)、新城主导区(b)、市中心与浦东多中心主导区(c)内的模式
Fig. 10 Commuting patterns in principal attraction areas of different job centers (central city, new towns, Pudong)

4.1.2 轨道交通线路 上海市轨道交通线路密集，作为快速公共交通，轨道交通极大程度增加了市中心及沿线的可达性，位于相同地理区域的住宅区距离轨道交通站点越近，通往市中心的就业比例越高，轨道交通沿线就业比越高，轨道交通站点的影响范围在3 km左右，1.5 km内尤为显著。

轨道交通线路对住宅区就业空间分布模式的影响主要集中在市中心就业主导区内，是产生带状、双中心模式的重要拉动力，增加了居民对长距离通勤的忍耐度，典型的带状与双中心模式多位于与市中心直接相连的轨道交通线路站点距离1.5 km以内；多条线路的拉动或轨道交通站点距离过远是形成弱带状模式的主要原因。

图11为位于类似区位的3个住宅区：红旗小区、夏朵小城、元吉元翔小区，轨道交

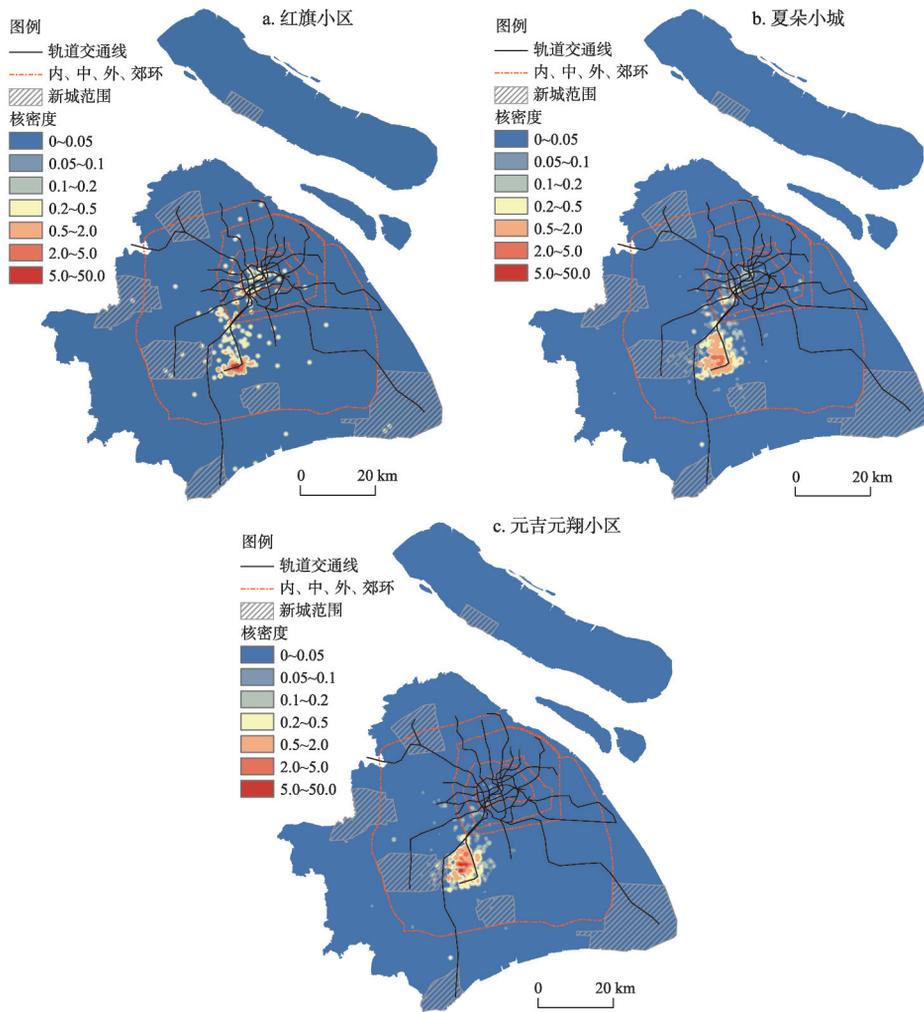


图 11 距离轨交站点 1.5 km 以内红旗小区(a)、1.5~3 km 夏朵小城(b)、3 km 以上元吉元翔小区(c)的就业空间分布

Fig. 11 Employment spatial patterns for typical quarters with different distances from the subway station

通站点距离分别为 1.5 km 以内、1.5~3 km、3 km 以上，内环就业比分别为 9.9%、4.7%、1.5%，轨道交通沿线就业比为 74.7%、54.2%、35.9%，平均通勤距离为 10.0 km、8.6 km、6.5 km，就业空间模式呈现典型带状模式（间断型带状）向郊区单中心的演变。

4.1.3 住宅区属性 上海市中心城区的棚户区、历史住区等住房类型位于就业高度集中区域，并没有在就业空间模式及特征上显示出较大的影响。住房类型对就业空间模式的影响主要集中在外环附近，相关住区属性包括保障性住房与别墅住区。

(1) 保障性住房。在保障性住房中，经济适用房往往空间位置偏远，配套轨道交通，例如新凯家园，为轨道交通 9 号线沿线“飞地式”住宅区，受住房价格与轨道交通双重吸引，部分就业于市中心的居民选择主动入住，加上轨道交通沿线的就业断层，就业空间分布呈现双中心模式。

在动迁性质的保障性住房类型中，居民大多被动安置，导致就业空间分布与迁入或定居前就业分布关联较大。世博家园与滨浦新苑为类似区位与价位的住宅区，世博家园

小区是为配合世博会园区土地前期开发而建设的大型居住社区，居民迁出地邻近市中心就业核心，滨浦新苑为本地安置住宅区。世博家园居民迁入后仍然保持市中心就业依赖，便利的轨道交通进一步吸引了市中心就业者入住，在动迁因子与交通因子双重作用下，形成典型就业空间双中心模式，平均通勤距离 13.1 km，5 km 内就业比 41.5%，内环就业比 30.9%；滨浦新苑整体就业呈现弱双中心模式，本地就业趋势更加明显，平均通勤距离 9.2 km，5 km 内就业比 53.5%，内环就业比 10.4%，二者就业空间分布对比如图 12 所示。

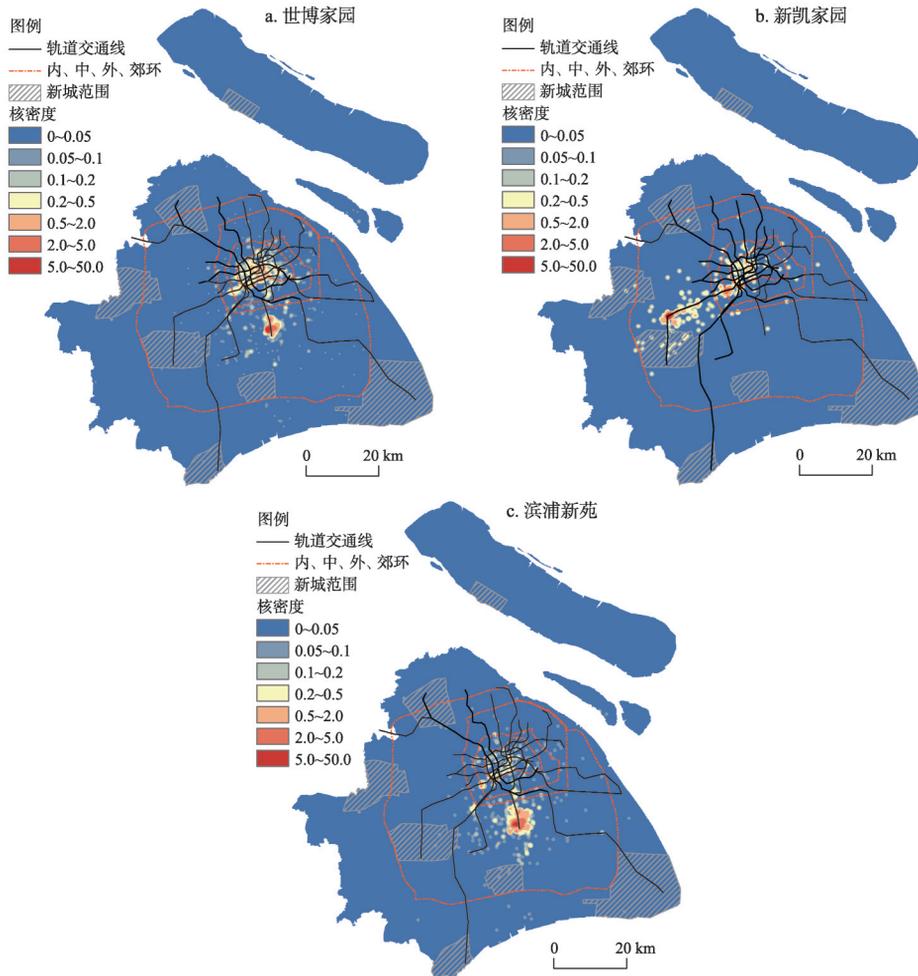


图 12 新凯家园(a)、世博家园(b)、滨浦新苑(c)就业空间分布

Fig. 12 Employment spatial patterns for three resettlement residential quarters

由以上分析可知，保障性住房属性往往与轨道交通的吸引，周边就业岗位缺失的排斥力综合作用于就业空间分布。

(2) 别墅住区。郊区的别墅住区并没有在就业空间模式上产生特殊变化，只在就业空间因子特征上与一般商品房显示出部分差异性。万科四季花城与富锦苑为宝山区类似区位住宅区，万科四季花城建成于 2006 年后，建筑类型以小高层、别墅为主，住房品质较高；富锦苑建成于 1995 年左右，为老式砖混结构多层住房。图 13 为万科四季花城与富

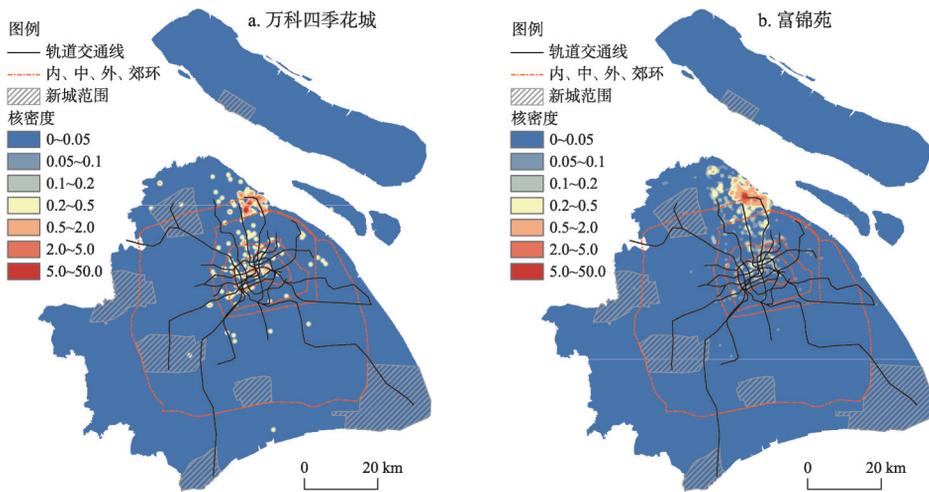


图 13 万科四季花城(a)、富锦苑(b)就业空间分布

Fig. 13 Employment spatial patterns for villa and regular residential quarters

锦苑居民就业空间对比，万科四季花城的居民就业空间分布为弱带状模式，相比于富锦苑更加分散化，平均通勤距离 12.3 km，5 km 内就业比 36.6%，内环就业比 19.5%；富锦苑居民就业空间也呈现弱带状模式，但活动本地依附性更大，平均通勤距离 8.3 km，5 km 内就业比 45.6%，内环就业比 8.3%。

以别墅区为典型的高价位住宅区往往对应高收入群体，居民就业类型与交通方式更加灵活多样化，对轨道交通的依赖程度相对较小，相比于同区位低价位住宅区，就业空间分布具有就近比例降低，整体更加分散，平均通勤距离增加的趋势。

4.2 模式形成机制

综合以上就业空间影响因子分析，就业中心往往与轨道交通综合作用产生影响，为主要因子；住宅区特殊属性则在局部地区产生就业空间特征变异，为次要因子。各模式的主导因子及对应区域如表 4 所示，全市共分为 6 类影响因子作用区，具体空间分布如图 14 所示。

表 4 模式主导因子及产生区域
Tab. 4 Dominant factors and referred area

模式类型	就业中心	轨道交通	住宅区属性	产生区域
单中心	○			内环/新城就业中心核心作用区
带状	○	○		内环就业核心+轨道交通综合作用区
双中心	○	○	(○)	内环就业核心+轨道交通+(住宅区属性)综合作用区
多中心或分散	○			内环就业核心+浦东多就业中心作用区 新城就业核心+周边低等级就业中心作用区
模式内变化			○	通常在郊区

高等级就业中心的吸引、轨道交通线路缩短通勤时间、居住区自身属性是导致住宅区就业空间由效益最优的单中心模式转向其他类型的影响因素。单中心与多中心模式主要受就业中心分布影响，双中心模式受轨道交通线路与市中心就业核心双重影响，其中，住宅区的保障住房属性可能对双中心模式的形成具有促进作用。

5 结论与讨论

上海市居民住宅区就业空间存在单中心、带状、双中心、多中心或分散4种典型模式大类，就平均通勤距离而言，从小到大依次为单中心、带状/多中心或分散、双中心。单中心模式住宅区具有“近距离、多方向、连续性”空间特征，主要分布在内环就业核心与郊区就业中心；带状模式住宅区具有“中远距离、单一方向（向心）”空间特征，主要分布于内环就业核心边缘至郊区新城边界区域；双中心模式住宅区具有“超远距离、单一方向（向心）、间断性”的空间特征，主要分布在近远郊带状模式的边缘区域；多中心或分散模式住宅区具有“中远距离、多方向、间断性”空间特征，主要分布于浦东16号、21号线沿线、郊区新城及周边。

讨论的就业空间影响因子包括就业中心、轨道交通线路、住宅区属性3类。上海市就业中心具有“强中心、弱郊区、局部显著”的特征，内环就业核心具有强大的就业吸引力，新城的吸引力较弱且受市中心作用排斥，受行政区划的影响较大；其他就业中心也受到市中心的排斥作用，吸引范围集中在局部地区。轨道交通线路主要配合市中心就业核心作用，增加了居民对长距离通勤的忍耐度，轨道交通站点的影响区域集中在3 km内，1.5 km内尤为显著。住房类型对就业空间模式的影响主要集中在外环附近，住区属性包括保障性住房与别墅住区，在保障性住房中的经济适用房和市中心动迁房属性增加了内环就业比例，其他动迁房居民的就业与迁出地具有较大关联；别墅区居民就业地相比于价位低的一般住宅区更加分散，轨道交通依赖度更低，可能与收入属性相关。

在各模式的形成机制中，就业中心往往与轨道交通综合作用产生影响，为主要因子；住宅区特殊属性则在局部地区产生就业空间特征变异，为次要因子。单中心模式为就业中心导向型，带状模式为就业中心、轨道交通综合导向型，双中心模式受就业中心、轨道交通、可能包含住宅区特性的多因子影响，多中心或分散模式为多就业中心导向型。

同样作为大都市，北京以及沈阳与上海的就业空间存在较为明显的差异。北京的就业空间由于市中心故宫的分隔，主要呈现多中心特征，存在3个中心，分别为西北部中关村、东部泛CBD地区以及西南部金融街附近。其就业中心的主要吸引范围为就业地周边及向外扇形辐射区域。总体而言，长距离通勤行为并不多，职住相对均衡。但其受轨道交通的影响同样不明显，通勤时间长的原因往往来自于大型住宅区建设带来的单向庞大通勤量及高架、环线、轨交的复杂路况，局部空间问题较为显著。而沈阳的就业中心主要分布在市中心以及铁西区，铁西区工业制造业的大量分布吸引了大量的就业人口，传统的市中心就业吸引并不如上海显著，铁西区郊区职住比反而较高，总体来说就业相对分散，通勤压力较低。

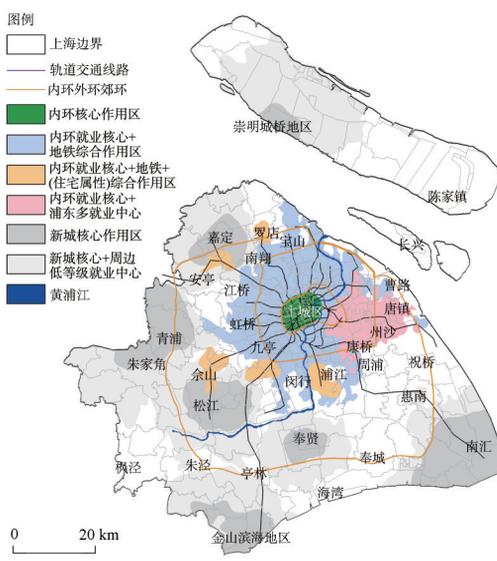


图 14 就业空间影响因子作用区结构
Fig. 14 Dominant factors and referred area

本文进一步从通勤活动角度验证了上海市“多中心”发展的不足,基于现状就业空间模式及影响因子特征,发现不合理就业空间问题的根本解决方法是打破现有市中心核心主导的就业空间布局结构,倡导“多中心发展”,在类型和数量上有效引导产业向外围地区转移,同时加强外围地区公共交通系统与保障性住房配套,以实现更集约、高效的发展。

参考文献(References)

- [1] 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. [张艳, 柴彦威. 基于居住区比较的北京城市通勤研究. *地理研究*, 2009, 28(5): 1327-1340.]
- [2] Li Qiang, Li Xiaolin. Research on the residents' working-trip feature of large-scale residential district in suburban Beijing. *Urban Problems*, 2007(7): 55-59. [李强, 李晓林. 北京市近郊大型居住区居民上班出行特征分析. *城市问题*, 2007(7): 55-59.]
- [3] 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. [孟斌, 于慧丽, 郑丽敏. 北京大型住宅区居民通勤行为对比研究: 以望京住宅区和天通苑住宅区为例. *地理研究*, 2012, 31(11): 2069-2079.]
- [4] 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. [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. *地理学报*, 2012, 67(6): 733-744.]
- [5] Zhang Ping, Yang Dongyuan. Attributes and travel behavior of residents in large communities at peripheral Shanghai: A case study on Jinhe new town, Jiangqiao, Jiading. *City Planning Review*, 2012, 36(8): 63-67. [张萍, 杨东援. 上海外围大型社区居民属性和出行行为: 基于嘉定江桥金鹤新城的实证研究. *城市规划*, 2012, 36(8): 63-67.]
- [6] Gan Di, Wang De, Zhu Wei. Research on the residents' commuting feature of large-scale residential district in suburban Shanghai: A case study of Gucun, Baoshan District. *Geographical Research*, 2015, 34(8): 1481-1491. [干迪, 王德, 朱玮. 上海市近郊大型社区居民的通勤特征: 以宝山区顾村为例. *地理研究*, 2015, 34(8): 1481-1491.]
- [7] Yuan Jun, Lin Hangfei. A study on characteristics of commuting trips of relocated residents: Taking Jiangqiao large residential community in Shanghai as an example. *Urban Transport of China*, 2013, 11(4): 58-65. [袁君, 林航飞. 动迁居民通勤出行特征研究: 以上海市大型居住社区江桥基地为例. *城市交通*, 2013, 11(4): 58-65.]
- [8] Pan Haixiao, Wang Xiaobo, Day Jennifer. Travel characteristics and its impact on social segregation and urban livability. *Urban Planning Forum*, 2010(6): 61-67. [潘海啸, 王晓博, Day Jennifer. 动迁居民的出行特征及其对社会分异和宜居水平的影响. *城市规划学刊*, 2010(6): 61-67.]
- [9] Liu Baokui, Feng Changchun. Commuting pattern and spatial relation between residence and employment of migrant workers in metropolitan areas: The case of Beijing. *Urban Planning Forum*, 2012(4): 59-64. [刘保奎, 冯长春. 大城市外来农民工通勤与职住关系研究: 基于北京的问卷调查. *城市规划学刊*, 2012(4): 59-64.]
- [10] 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. [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. *地理研究*, 2004, 23(2): 227-242.]
- [11] Zhou Suhong, Yang Lijun. Study on the spatial characteristic of commuting in Guangzhou. *Urban Transport of China*, 2005, 3(1): 62-67. [周素红, 杨利军. 广州城市居民通勤空间特征研究. *城市交通*, 2005, 3(1): 62-67.]
- [12] Sun Bindong, Shi Wei, Ning Yuemin. An empirical study on the polycentric urban structure of Shanghai and strategies in future. *Urban Planning Forum*, 2010(1): 58-63. [孙斌栋, 石巍, 宁越敏. 上海市多中心城市结构的实证检验与战略思考. *城市规划学刊*, 2010(1): 58-63.]
- [13] Liu Wangbao, Hou Changying. Urban residents' home-work space and commuting behavior in Guangzhou. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 272-279. [刘望保, 侯长营. 转型期广州市城市居民职住空间与通勤行为研究. *地理科学*, 2014, 34(3): 272-279.]
- [14] Chai Yanwei, Zhang Xue, Sun Daosheng. A study on life circle planning based on space time behavioral analysis: A case study of Beijing. *Urban Planning Forum*, 2015(3): 61-69. [柴彦威, 张雪, 孙道胜. 基于时空间行为的城市生活圈规划研究: 以北京市为例. *城市规划学刊*, 2015(3): 61-69.]

- [15] Sun Shanshan, Zhu Chen, Chen Chuan, et al. Analysis of large residential community residents' travel feature in different locations//New-type Urbanization and Transportation Development: 2013 China Annual Meeting of Urban Transportation Planning, 2014: 13. [孙姗姗, 朱琛, 陈川, 等. 不同区位大型居住社区居民出行特征对比分析//新型城镇化与交通发展: 2013年中国城市交通规划年会暨第27次学术研讨会论文集, 2014: 13.]
- [16] Guo Wenbo, Zhang Yan, Chai Yanwei, et al. Study on spatio-temporal figure of suburban residents based on GPS data: A case study of Tiantongyuan and Yizhuang in Beijing. *Areal Research and Development*, 2013, 32(6): 159-164. [郭文伯, 张艳, 柴彦威, 等. 基于GPS数据的城市郊区居民日常活动时空特征: 以北京天通苑、亦庄为例. *地域研究与开发*, 2013, 32(6): 159-164.]
- [17] Chen Zifeng, Chai Yanwei, Zhou Suhong. A comparative studies of suburban residents' travel behavior on weekdays under different suburbanization modes: A case analysis of Beijing and Guangzhou. *Human Geography*, 2015, 30(2): 23-30. [陈梓烽, 柴彦威, 周素红. 不同模式下城市郊区居民工作日出行行为的比较研究: 基于北京与广州的案例. *人文地理*, 2015, 30(2): 23-30.]
- [18] Long Ying, Zhang Yu, Cui Chengyin. Identifying commuting pattern of Beijing using bus smart card data. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1339-1352. [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. *地理学报*, 2012, 67(10): 1339-1352.]
- [19] Qian Zhicheng. A study on excessive commuting in Shenzhen based on the data of subway card swiping and questionnaire survey[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2017. [钱志诚. 基于地铁刷卡数据和问卷调查数据的深圳市过度通勤研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2017.]
- [20] Shi Guanghui. Using Weibo check-in data analysis job-housing balance and commute characteristics: A case study in Shenzhen [D]. Wuhan: Wuhan University, 2017. [石光辉. 利用微博签到数据分析职住平衡与通勤特征[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.]
- [21] Ahas R, Silm S, Jarv O, et al. Using mobile positioning data to model locations meaningful to users of mobile phones. *Journal of Urban Technology*, 2010, 17(1): 3-27.
- [22] Csáji B C, Browet A, Traag V A, et al. Exploring the mobility of mobile phone users. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2013, 392(6): 1459-1473.
- [23] Alexander L, Jiang S, Murga M, et al. Origin-destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, 58: 240-250.
- [24] Ding Liang, Niu Xinyi, Song Xiaodong. Identifying the commuting area of Shanghai central city using mobile phone data. *City Planning Review*, 2015, 39(9): 100-106. [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. *城市规划*, 2015, 39(9): 100-106.]
- [25] 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. *International Journal of Geographical Information Science*, 2015, 29(11): 2017-2039.
- [26] Shi L, Chi G, Liu X, et al. Human mobility patterns in different communities: A mobile phone data-based social network approach. *Annals of GIS*, 2015, 21(1): 15-26.
- [27] Kang C, Liu Y, Ma X, et al. Intra-urban human mobility patterns: An urban morphology perspective. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2012, 391(4): 1702-1717.
- [28] Wang De, Zhong Weijing, Xie Dongcan, et al. The application of cell phone signaling data in the assessment of urban built environment: A case study of Baoshan District in Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2015(5): 82-90. [王德, 钟炜菁, 谢栋灿, 等. 手机信令数据在城市建成环境评价中的应用: 以上海市宝山区为例. *城市规划学刊*, 2015(5): 82-90.]

Employment space of residential quarters in Shanghai: An exploration based on mobile signaling data

WANG De¹, LI Dan², FU Yingzi³

(1. Collage of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Branch, China Academy of Urban Planning & Design, Shanghai 200335, China;

3. Jiangsu Institute of Urban Planning and Design, Nanjing 210036, China)

Abstract: The employment space of a residential quarter is widely affected by factors including housing properties and the neighboring supply of transportation and employments, which forms numerous spatial diagrams. Investigating and understanding the exemplar patterns of the employment space are thus crucial before we make targeted planning policies. Taking Shanghai as a case study and using mobile signaling data, this paper endeavors to extract typical patterns and distinguish the key factors. After the users' home and work locations are inferred, the employment space of 253 residential quarters is characterized in combination of the kernel densities estimation and the probability density analysis of commuting distance. We extracted five spatial patterns, namely, single-nucleated, ribbon-shaped, dual-nucleated, multi-nucleated, and decentralized, and highlighted several transitional patterns between them. Moreover, several factors are considered significant: the accessibility of employment centers and subway stations is a dominant factor that determines the global distribution of the patterns, while housing type is the secondary factor which leads to local variations and transitions. Finally, an integrated portrait covering the whole city area is summarized in terms of how different factors can be combined to explain the employment space of any quarters. We believe that our findings can help make planning policies regarding spatial structure optimization, industrial spatial adjustment, and housing development.

Keywords: employment space; spatial pattern; residential quarter; mobile signaling data; Shanghai