

# 基于公交刷卡数据的武汉市职住通勤特征研究<sup>1</sup>

刘耀林<sup>1, 2, 3</sup>, 陈龙<sup>\*1</sup>, 安子豪<sup>1</sup>, 张翔晖<sup>1</sup>

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 中国湖北武汉 430079; 2. 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,

中国湖北武汉 430079; 3. 武汉大学地理空间信息技术协同创新中心, 中国湖北武汉 430079)

**【摘要】**: 通勤出行和职住关系对于理解城市空间结构和职住组织模式具有重要意义。基于公交刷卡数据, 以武汉市主城区和都市发展区为研究区, 通过构建出行模型和职住地识别规则, 识别了职住通勤群体, 从职住密度、通勤时间与距离、通勤流向和可视化等方面对武汉市的通勤出行和职住平衡进行测度, 并识别了武汉市的职住通勤模式。结果表明: ①核心城区的职住密度明显高于其它城区, 承载着较多的居住和就业人口; ②通勤距离与时间具有核心—外围—边缘的递增模式; ③城市主要通勤流位于核心城区和外围城区; ④职住通勤模式总体可以概括为核心—外围—边缘的单中心向内通勤模式, 越往外围区域越呈现职住错位的趋势。

**【关键词】**: 通勤出行; 职住关系; 公交刷卡数据; 交通拥堵; 空间结构; 公共服务体系; 武汉市

**【中图分类号】**: TU984.12 **【文献标志码】**: A **【文章编号】**: 1000 - 8462(2019)02 - 0093 - 10

DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2019.02.011

通勤和职住空间是城市研究的重要议题, 是城市居民行为在城市空间上的体现, 能够反映城市空间结构。居住空间和就业空间作为城市两大基础功能区, 其空间分布决定了城市居民工作的旅行需求<sup>[1]</sup>。工业革命以来, 城市的物质基础和社会空间发生显著变化, 城市化进程和郊区化浪潮的不断推进, 导致交通拥堵、居住隔离和环境污染等城市病成为城市可持续发展面临的重要问题。城市的职住和通勤问题越来越受到规划学、地理学和社会学等领域学者的关注。相关研究最早可以追溯到 19 世纪末 Howard 在其“田园城市”理念中提出居住区和就业区相互邻近的设想<sup>[2]</sup>; Saarinen 提出了城市的有机疏散理论, 认为城市中心区应该疏散过多的人口和就业岗位<sup>[3]</sup>; Cervero 和 Homer 等学者从城市土地利用和通勤的视角对职住空间关系进行了研究,

<sup>1</sup>收稿时间: 2018-06-28; 修回时间: 2018-09-12

**基金项目**: 国家重点研发计划项目 (2017YFB0503601、2017YFB0503505)

**作者简介**: 刘耀林 (1960—), 男, 湖北黄冈人, 博士, 长江学者特聘教授, 博士生导师。主要研究方向为地理信息系统、地理空间数据挖掘和土地评价、规划模型等。E-mail: yaolin610@163.com。

**※通讯作者**: 陈龙 (1993—), 男, 河南信阳人, 硕士研究生。主要研究方向为城市交通规划和健康城市。E-mail: maihurgeoch@163.com。

认为居住和就业用地的混合开发可以减少通勤距离,有利于职住平衡<sup>[4-5]</sup>;部分学者从社会学的视角对职住分离现象进行了研究,例如 Kain 和 Dim-can 等的研究发现郊区化、种族歧视、住房隔离和居民收入平等因素对职住错位现象具有重要影响<sup>[6-7]</sup>。

中国市场化改革以来,伴随着土地城镇化和住房制度改革,以单位为基础空间单元,职住接近的城市职住空间布局结构逐渐瓦解,城市的职住关系发生了深刻的变化<sup>[8]</sup>。国内学者们从不同角度对城市的职住通勤问题进行了研究。已有的研究大多基于传统数据,从通勤距离与时间、职住空间组织和影响居民通勤行为的社会经济因素进行研究。例如,柴彦威、刘志林等利用出行问卷数据分析了北京市的职住错位特征、居民出行行为与就业可达性<sup>[9-11]</sup>。孙斌栋等研究了职住平衡、城市多中心性与通勤交通的关系<sup>[12-13]</sup>。孟斌等利用不同时期的问卷数据研究了北京居民通勤时间的变化与居民社会经济属性的关系以及职住空间组织结构<sup>[14-15]</sup>;周素红、刘望保等运用不同时期的家庭社会调查数据验证了广州的职住分离趋势,并从家庭条件、住房和工作性质等方面分析影响居民选择职住地的因素<sup>[16-17]</sup>;周江评等根据交通普查数据研究了西安市的通勤效率与职住平衡<sup>[18]</sup>;胡娟等在空间组团尺度上对武汉市的职住特征进行了评价<sup>[19]</sup>;丁亮、钮心毅等基于手机信令数据对上海市的职住关系和就业中心体系进行了测度<sup>[20-21]</sup>。

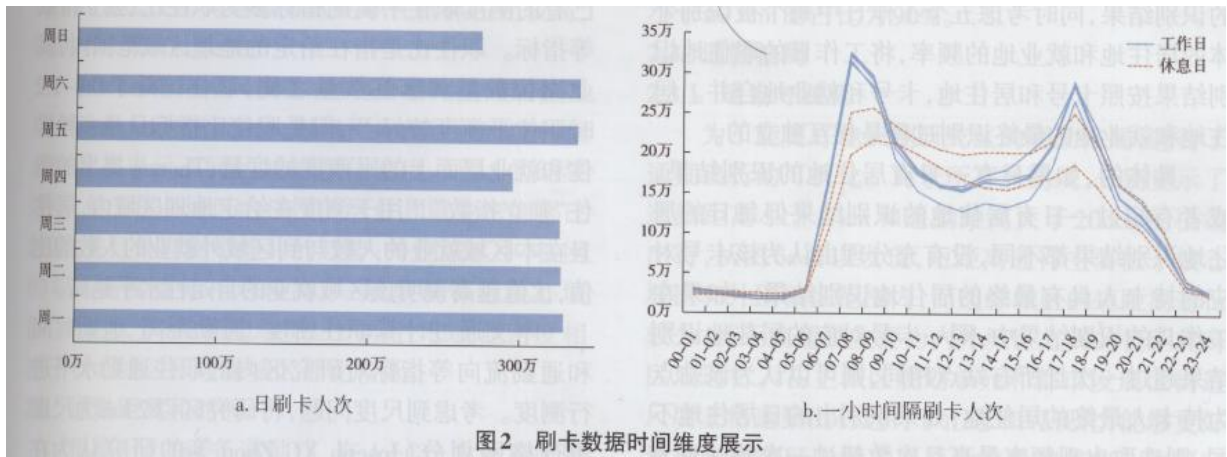
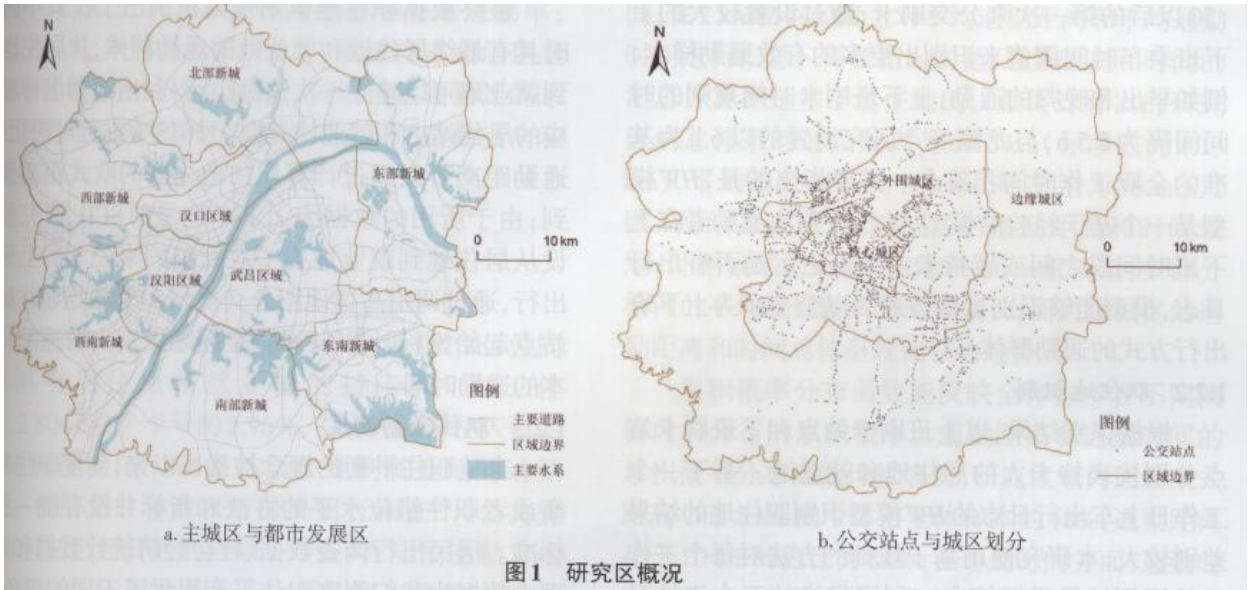
传统数据对职住通勤的研究在大尺度的空间背景下存在代表性低,抽样不均匀的问题;公共交通刷卡数据(Smart Card Data, SCD)作为一种地理时空大数据,具有数据量大、价值密度低和时空连续度好等特点。已有较多的研究利用 SCD 数据研究居民通勤行为和模式,并结合交通、城市结构来指导城市运行与规划。Barry、Trepanier、Bagchi 等学者通过建立出行假说模型进行出行 OD 推算、换乘识别等<sup>[22-24]</sup>;Ceapa、Lathia 等利用公共交通刷卡数据识别交通拥堵和预测旅行需求<sup>[25-26]</sup>;Agard 等利用聚类算法(例如分层聚类, HAC;K-means 聚类;基于密度的聚类, DBSCAN;矩阵分解, NMF)对居民行为和空间活动模式进行识别<sup>[27]</sup>。近年来,部分学者将 SCD 数据应用于城市居住、就业和职住平衡的研究中。龙瀛等利用 SCD 数据建立出行模型识别了北京的职住关系和通勤出行<sup>[28]</sup>;Zhou 等识别了北京的过度通勤<sup>[29]</sup>;许园园等基于地铁刷卡数据构建出行链模型识别了上海市域的职住空间和通勤格局<sup>[30]</sup>。

本文利用公交刷卡数据,通过建立识别规则,从城市居民职住通勤格局的角度为研究城市空间结构提供新的视角;并且以中部大城市武汉为研究对象,相比于以往研究多集中于北京、上海等较发达的特大城市,能够更好地揭示不同经济发展水平的城市居民职住通勤格局的差异性。

## 1 研究数据与方法

### 1.1 区域与数据

以武汉市主城区和都市发展区为研究区。根据《武汉市城市总体规划(2010-2020年)》,主城区和都市发展区总用地面积 3 261 km<sup>2</sup>。根据 2015 年全国人口普查数据,研究区范围内常住人口 858 万,占武汉市总人口的 81%。武汉市主城区包括传统意义上的汉口、武昌和汉阳区域,主城区是城市主要建成区,都市发展区包含六大新城组群。根据研究区空间规划组团<sup>[19]</sup>将汉口、武昌和汉阳中央活动区划为核心城区,外围城区是主城区除核心城区以外的区域,都市发展区为边缘城区,最终将研究区划分为核心、外围、边缘三个城区,不同城区经济发展水平具有差别。研究区概况和公交站点分布如图 1 所示。



研究原始数据为武汉市 2015 年 3 月 23—29 日一周的公交刷卡数据，刷卡站点位于研究区内，数据的选取时间没有节假日和恶劣天气状况等因素的干扰以确保数据的稳定性。公交刷卡数据包括卡号、上车刷卡时间和上车刷卡站点三个字段的属性，所有的卡号都经过了匿名处理。在时间维度上对 SCD 进行展示，日刷卡人次（图 2a）表明工作日（周一至周五）刷卡次数整体处于较高水平且波动幅度较小，以一小时为间隔对每日的刷卡人次进行展示（图 2b）发现工作日相对于休息日具有更明显的早晚高峰；考虑到武汉市公交刷卡数据为无下车记录数据和数据的实际特性，本次研究最终只选取了 5 个工作日的刷卡记录识别职住通勤人群。工作日五天共有 16 168 717 次刷卡记录，对应 2 804 643 张公交卡，因此可以计算得到工作日期间每张卡日均刷卡 1.15 次。

## 1.2 数据处理与方法

公交刷卡数据存储了持卡人的原始上车刷卡记录，利用 SCD 识别出最终的职住通勤人群，需要对原始刷卡数据进行预处理。由于少数站点并不是所有工作日都有刷卡记录，对 SCD 站点字段进行清洗共得到研究区内 2 025 个公交站点，根据站点坐标在 ArcGIS 10.2 中进行空间化得到站点矢量图层。将每个卡号在一日内的刷卡记录进行合并，得到对应持卡人所有工作日的出行日志，记录了每一次公交出行的上车站点和上车时间。

### 1.2.1 职住出行模型

构建职住出行模型用于从预处理的 SCD 中识别职住样本。对于卡号为 N 的持卡人，其一日的上车出行日志可以概括为：

$$N: \{t_1:s_1, t_2:s_2, \dots, t_k:s_k\}$$

式中： $t$  表上车时间； $s$  代表上车站点； $t_i < t_j, i < j$ 。

刷卡数据时间维度的分析显示武汉市公共交通工作日刷卡早晚高峰显著，因此可以推断一个具有全职工作的通勤个体的上下班刷卡时间很可能位于早晚高峰时间段左右。职住通勤模型可以概括为 HW 识模型，利用一日的出行日志，通过设置时间规则识别出上班上车站点 H 和下班上车站点 W；对于当日上班上车站点 H 和下班上车站点 W 本文设置的时间规则是：

$$H = s_1 \ \& \ t_1 \leq 10:00$$

$$W = s_p \ \& \ t_p \geq 16:30 \ \& \ t_{p-1} < 16:30 \ (2 \leq p \leq k)$$

当同时满足 HW 模型的上下班上车站点识别时间规则时，对于卡号为 N 的通勤个体，可以认为其在该日具有符合规则的上下班出行。模型的主要时间规则可以解释为在一个工作日中全职工作的通勤个体上班上车刷卡时间必须在 10:00 以前并且为当日第一次刷卡，下班上车刷卡时间必须是 16:30 以后的第一次乘公交刷卡；通过设置较大的上下班乘车时间阈值来识别出更多的有效通勤样本，例如早出和晚归的通勤；上下班刷卡时间规则的时间间隔为 6.5 h，与龙瀛等<sup>[28]</sup>研究设置的以 6 h 为基准的全职工作时间相符合。需要指出的是，HW 模型是一个基于经验的模型，并没有关注通勤者在上下班时间段之间或者持卡人下班之后是否有出行日志，模型能够识别出最普遍的以公交车为上下班出行方式的通勤群体。

### 1.2.2 职住地识别

根据识别结果，上班刷卡站点和下班刷卡站点分别代表持卡人的居住地和就业地。基于一个工作日上车出行日志的 HW 模型识别职住地的结果差别较大，本研究使用基于规则的方法对每个工作日的识别结果进行综合。利用最终的五个工作日的识别结果，同时考虑五个工作日中每个被识别个体的居住地和就业地的频率，将工作日的职住地识别结果按照卡号和居住地，卡号和就业地合并。居住地和就业地的最终识别过程是相互独立的。

具体的，如果只有一日有居住地的识别结果，或者有超过一日有居住地的识别结果但每日的居住地识别结果都不同，没有充分理由认为该卡号对应的持卡人具有最终的居住地识别结果。如果在工作日的识别结果中，同一卡号对应的居住地识别结果超过一次且所有站点相同，则可以认为该站点为持卡人最终的居住地；如果识别出的日居住地不同，则选取出现频率最高且次数超过一次的站点为最终居住地；如果两个站点出现的频率相同且都超过一次，为了确定最佳的最终居住地，通过计算站点的居住潜力和就业潜力，表示对应站点属于居住地和就业地的概率，二者是根据土地利用现状图得到的，具体公式为：

$$P_h^k = \frac{S_h^k}{S_t^k}, P_j^k = \frac{S_j^k}{S_t^k}$$

式中： $P_h^k$ 为站点 K 的居住潜力； $P_j^k$ 为站点 k 的就业潜力，基于公交站点图层生成泰森多边形； $s_h^k$ 为多边形地块 K 中居住地块的面积； $s_j^k$ 为地块 K 中就业地块的面积； $s_i^k$ 为多边形地块 K 的面积。多边形地块 K 是站点 K 所在的泰森多边形，最后将所有站点的居住和就业潜力标准化。当出现频率相同的站点无法确定居住地的时候，比较站点的居住潜力，选取居住潜力较大的站点为最终的居住地。识别过程中的居住和就业地块的划分依据是根据城市用地分类与规划建设标准。

最终根据职住地识别规则识别出工作日中同时具有最终居住地和就业地的通勤群体，从居住地到就业地可以建立一次通勤出行，利用通勤出行对应的居住站点和就业站点在 ArcGIS 中进行可视化，通勤距离可以通过计算职住地之间的欧式距离得到；由于所用的数据为无下车记录的 SCD，研究假设从居住地到就业地为一次完整的乘公车的上班出行，通过调用高德地图公交规划 API，根据职住地站点起始坐标计算出了所有最终识别出的通勤样本的通勤时间。

### 1.2.3 职住通勤测度

自从职住平衡的理念被提出以来，测度职住平衡或者职住错位水平的方法和指标并没有统一的标准。居民出行调查数据、社会经济统计数据和地理大数据为我们测度职住平衡提供了不同的视角。已有的测度职住平衡的指标多为职住比、独立指数等指标。职住比是指在给定的地理区域范围内，就业岗位数量和家庭数量之比，职住比处于 0.8~1.2 时职住平衡度较好<sup>[32]</sup>，但是职住比指标只是一种居住和就业层面上的平衡度的度量；Thomas 提出的职住“独立指数”<sup>[33]</sup>用于测度在给定地理区域内，居住且在本区域就业的人数与到区域外就业的人数的比值，比值越高说明该区域就业的自足性水平越高。

本文通过计算职住密度、通勤距离、通勤时间和通勤流向等指标对研究区内的职住通勤水平进行测度。考虑到尺度问题，将研究区以 2 km 为尺度进行格网划分（Joseph XG Zhou 等的研究认为在 2 km 的地理尺度下通勤者更倾向于选择非机动车出行<sup>[34]</sup>，分别计算每个格网的职住密度，平均通勤距离与时间。在主城区（核心城区和外围城区）规划单元和都市发展区（边缘城区）街道的尺度上对两两目标单元之间的通勤链接进行了汇总来揭示主导通勤流量和流向，街道和规划单元作为城市空间的基本行政和规划单元，其职住通勤联系对城市规划具有指导意义。

在通勤流向方面，以核心城区、外围城区和边缘城区三大空间分析城区为尺度，对最终识别出的职住通勤群体的通勤流向进行分析，在一定程度上识别武汉市职住群体在城市空间上的通勤互动格局。根据不同城区的居住样本、就业样本以及居住且在本区域就业样本的通勤人群数量，计算出不同城区的外出通勤率和外来通勤率；具体公式为：

$$C_e = \frac{N_h - N_{hw}}{N_h}, C_i = \frac{N_w - N_{hw}}{N_w}$$

式中： $C_e$ 、 $C_i$  分别表示外出通勤率和外来通勤率； $N_h$ 、 $N_w$ 、 $N_{hw}$  分别表示居住样本、就业样本和居住且在本区域就业的样本数量。同时构建通勤矩阵来更直观地说明不同区域的职住人口的通勤流向和流量。

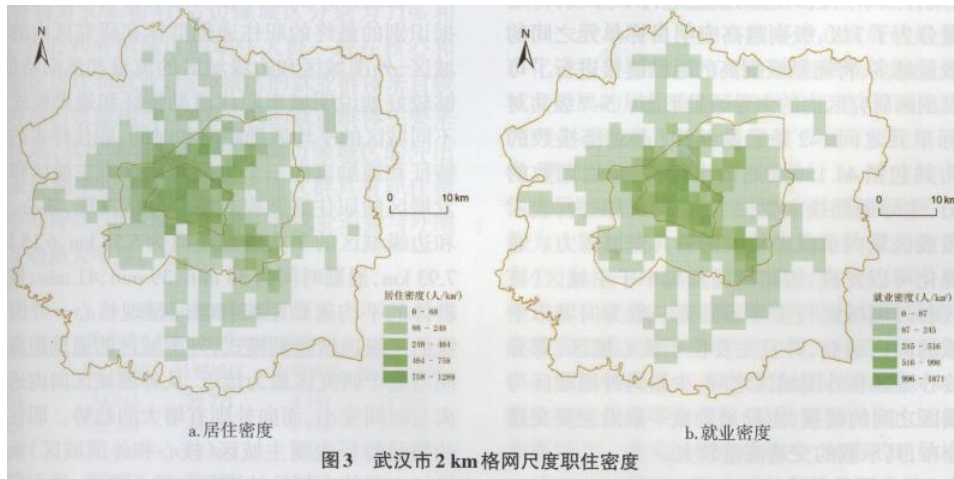
## 2 结果与分析

### 2.1 职住密度

使用工作日刷卡数据最终识别出 167 284 位同时具有居住地和就业地的持卡人，占工作日 2 804 643 个卡号的 5.96%，占研究区常住人口的 2%，构建了 167 284 条从居住地到就业地的通勤线。根据 2011 年武汉市居民出行调查<sup>[19]</sup>，公共交通（包括已经

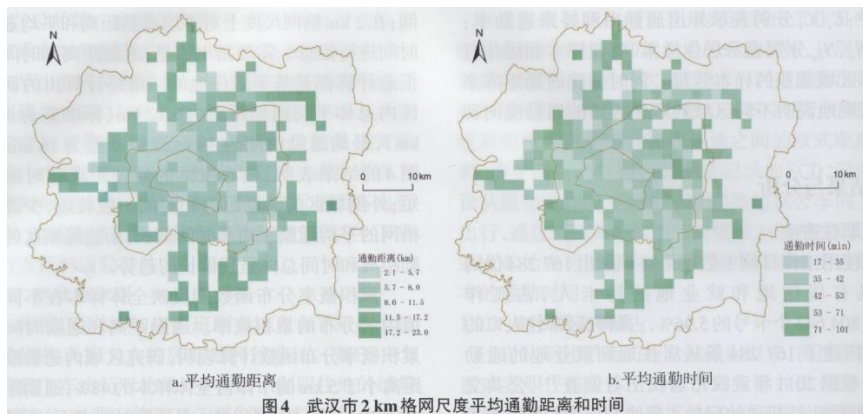
开通的轻轨 1 号线) 在居民通勤方式中占比 27%，仅次于步行，而私家车通勤占比为 11.9%，以公交车为通勤方式的职住群体占比较高，识别结果具有代表性。

在 2 km 的格网尺度上，对每个格网内的居住人口和就业人口进行汇总，以格网内的居住密度和就业密度来表示不同区域的职住密度。图 3 的结果表明，位于核心城区内格网的居住和就业密度都比较高，并且具有集中连片的趋势；外围城区中，格网的职住密度整体相对较高，一般呈现邻近核心城区、团块状分布；而边缘城区的居住和就业密度相对于核心城区和边缘城区都较低。



## 2.2 通勤距离和时间

根据 167 284 条通勤线，在 ArcGIS 中计算通勤的欧式距离；利用每一条通勤线的起始公交站点坐标，调用高德地图公交规划 API 计算出了通勤时间；在 2 km 格网尺度上对平均通勤距离和平均通勤时间进行汇总。需要指出的是，通勤距离和时间的汇总计算都是基于居住地的。最终计算出的研究区内总体平均通勤距离为 6.12 km(标准差为 4.13km)，平均通勤时间为 38 min(标准差为 16 min)。图 4 的结果表明，核心城区的通勤距离和时间较短；外围城区的通勤距离和时间一般较短，少部分格网的平均通勤距离和时间偏长；而边缘城区的通勤距离和时间总体呈现偏长的趋势。



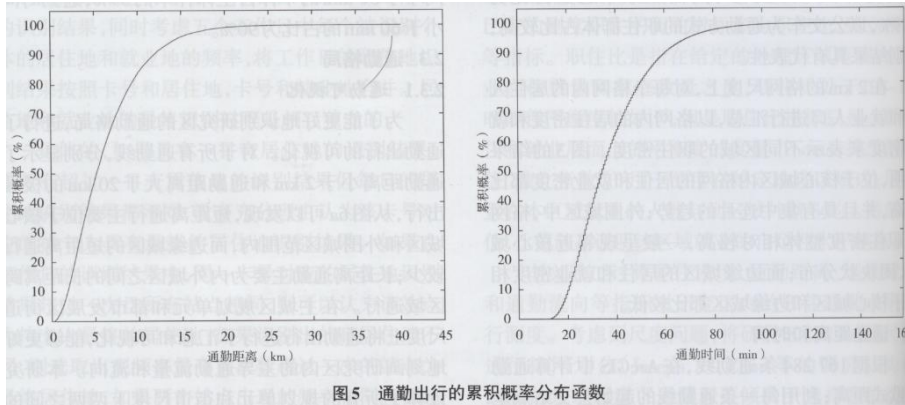


图5 通勤出行的累积概率分布函数

累积概率分布函数能反映全体样本在不同阈值内的分布的累积概率。通勤距离和通勤时间的累积概率分布函数计算表明，研究区域内通勤距离小于 5 km 的个体占全体样本的 48%，通勤距离小于 10 km 的占比为 84%；在通勤时间方面，通勤时间小于 30 min 的个体占全体样本的 39%，通勤时间小于 60 min 的占比为 90%。

### 2.3 通勤格局

#### 2.3.1 通勤可视化

为了更好地识别研究区的通勤格局，进行了通勤出行的可视化。对于所有通勤线，分别显示了通勤距离小于 2 km 和通勤距离大于 20 km 的极端出行，从图 6a 可以发现，短距离通行主要位于核心城区和外围城区范围内，而边缘城区的短距离通行较少；长距离通勤主要为内外城区之间的长距离跨区域通行。在主城区规划单元和都市发展区街道尺度上将通勤出行进行了汇总和可视化，能够更好地刻画研究区内的主导通勤流量和流向。本研究计算了所有的规划单元和街道尺度上两两之间的通勤数量，用通勤链接表示它们之间的通勤流量和流向，用自然断点法对通勤数量进行了分级，将通勤数量分为了 7 级，级别越高表明目标单元之间的通勤数量越多，将通勤级别高的通勤链接进行了可视化以刻画研究区内的主导通勤形态。5~7 级共对应目标单元之间 142 条通勤链接（占总链接数的 2.2%），共包括 44 159 次通勤出行（占总通勤数的 26.4%），主导通勤线主要位于主城区范围内，表示该路段或区域内承载着较大的公共交通压力。通过可视化可以发现，短距离通勤集中于主城区（核心城区和外围城区）；主导通勤流一般为向城市中心区域的向内通勤，并且主要位于核心城区，部分位于核心城区和外围城区之间，少量为外围城区与边缘城区之间的链接，主导通勤流一般沿主要交通走廊分布，其承载的交通流量较大。

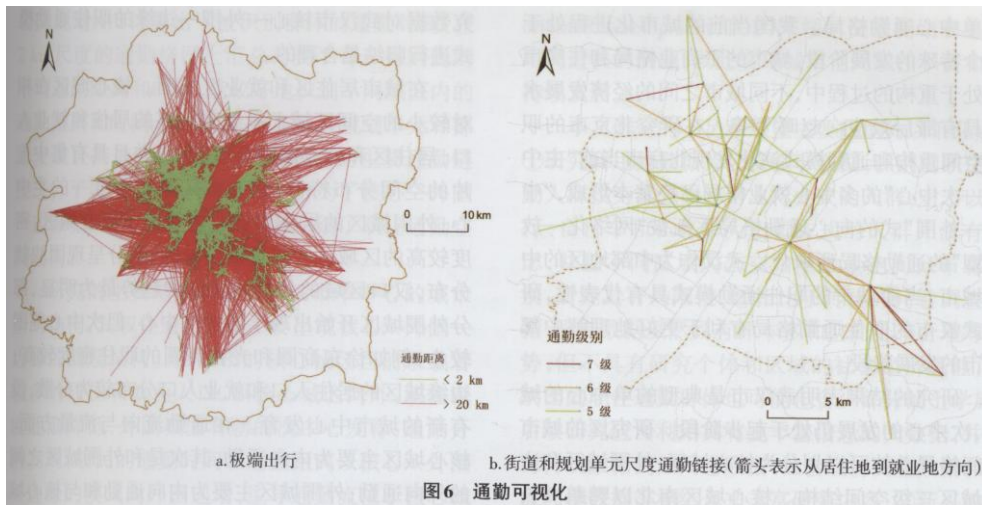


图6 通勤可视化

### 2.3.2 不同城区通勤特征

通勤指标能较为直观地说明利用公交刷卡数据识别的最终职住通勤群体在研究区内的核心城区、外围城区和边缘城区的流量和流向特征，能够较好地说明城市职住通勤特征和通勤模式。从不同城区的平均通勤距离和时间、职住样本的数量特征和通勤流向三个方面对武汉市主城区和都市发展区的职住通勤模式综合分析发现，核心、外围和边缘城区的平均通勤距离为 5.53 km, 6.15 km 和 7.93 km，通勤时间为 35 min, 39 min, 41 min，被识别群体的平均通勤距离和时间呈现核心—外围—边缘的三级递增通勤模式，外围城区的通勤距离和时间与整个研究区最为接近，从外围城区向内通勤距离与时间变小，而向外则有增大的趋势。职住样本的数量特征表明主城区（核心和外围城区）承载着被识别群体大部分的居住和就业需求；核心城区和外围城区比较来看，核心城区的就业压力要大于居住压力，外围城区的居住群体多于就业群体；边缘城区的职住个体较少，相对以居住为主。三级区域的通勤率和通勤矩阵表明，居住在核心城区的职住人群有 41%外出就业，而在核心城区就业的人群有 55%是外来人群；外围城区的外出通勤率和外来通勤率分别为 50%和 41%；边缘城区分别为 71%和 60%。核心和外围城区的职住人群一般在核心和外围城区居住和就业；核心城区的就业群体来自核心和外围的数量相当；外围城区的就业群体主要来自本区域，其次来自核心城区；而边缘城区的外出和外来通勤率较高说明其被识别人群具有职住错位的空间特征，边缘城区的居住和就业通勤与外围城区互动最为明显。

表 1 武汉市不同城区通勤指标对比

区域	平均通勤距离 /km	平均通勤时间 /min	居住样本 (N <sub>h</sub> )	就业样本 (N <sub>w</sub> )	居住且在本区域就业 (N <sub>hw</sub> )	外出通勤率/% (C <sub>e</sub> )	外来通勤率/% (C <sub>i</sub> )
核心城区	5.53	35	59 623	78 825	34 913	41.44	55.71
外围城区	6.15	39	89 550	75 273	44 270	50.56	41.19
边缘城区	7.93	41	18 111	13 186	5211	71.23	60.48
研究区	6.12	38	167 284	\	\	\	\

表 2 通勤矩阵

	核心城区	外围城区	边缘城区	就业样本 (N <sub>w</sub> )
核心城区	34 913	39 771	4 141	78 825
外围城区	22 244	44 270	8 759	75 273
边缘城区	2 466	5 509	5 211	13 186
居住样本 (N <sub>h</sub> )	59 623	89 550	18 111	\

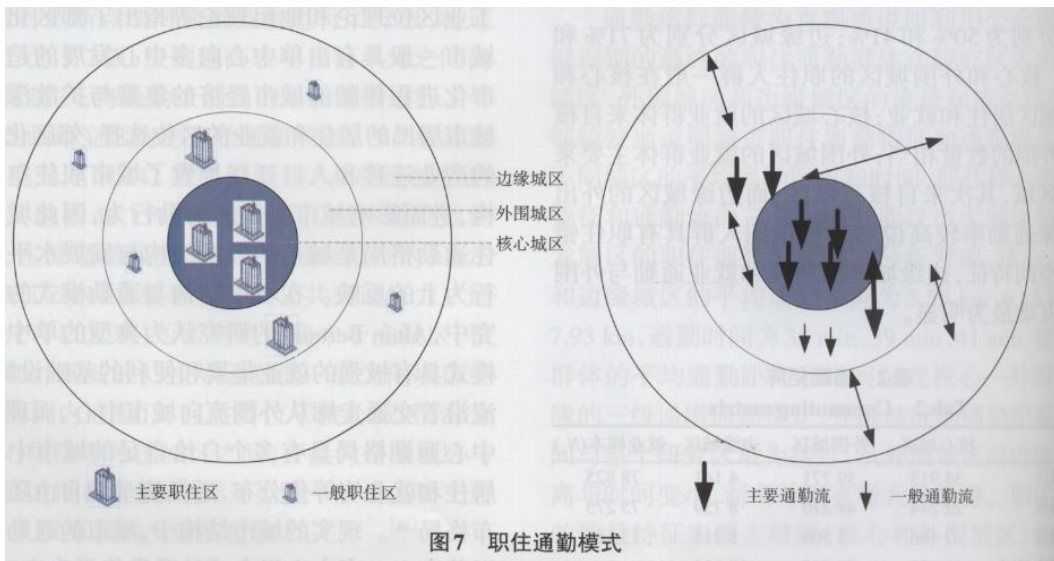
### 3 职住通勤模式

城市空间结构郊区化发展趋势是城市经济集聚与扩散两种驱动力在城市空间结构上博弈的结果，郊区化的城市扩张方式伴随着城市空间结构多中心发展和职住空间错位<sup>[35]</sup>。城市的中心地理论、工业区位理论和地租理论等指出了郊区化进程中城市一般具有由单中心向多中心发展的趋势。城市化进程伴随的城市经济的集聚与扩散深刻影响城市居民的居住和就业的区位选择，郊区化所导致的产业迁移和人口迁居导致了城市职住空间的重构，进而影响城市居民的通勤行为，因此城市的职住通勤格局是城市的经济结构与发展水平在居民行为上的反映。在城市结构与通勤模式的布局研究中，Alain Bertaud 的研究认为典型的单中心通勤模式具有极强的就业集聚和便利的基础设施，通勤流沿着交通走廊从外围流向城市中心，而理想的多中心通勤格局具有多个自给自足的城市中心或者居住和就业均等化分布，通勤流呈现自由随机的分布格局<sup>[36]</sup>。现实的城市结构中，城市的通勤格局多以单中心—多中心组合式的通勤格局为主，或者呈现单中心通勤格局。我国当前的城市化进程处于一个特殊的发展阶段，城市的工商业格局和住房市场处于重构的过程中，不同城市之间的经济发展水平具有滞后效应。赵晖<sup>[37]</sup>等人在研究北京市的职

住空间重构和通勤模式演化发现北京市当前“主中心—次中心”的多中心就业格局已经基本形成，“中心—外围”式的向心通勤格局逐渐被“网络化—放射型”的通勤格局所取代。武汉作为中部地区的中心城市，当前城市的职住通勤模式具有代表性，研究武汉市的职住通勤格局有利于更好地理解中部城市的发展阶段。

研究的结果表明武汉市是典型的单中心的城市，次中心的发展仍处于起步阶段。研究区的城市空间格局总体可以划分为核心城区、外围城区和边缘城区三级空间结构。核心城区南北以鹦鹉洲长江大桥和长江二桥为界，东西可达中南路和王家墩商业区，外围城区是主城区除核心城区以外的城区，边缘城区即为都市发展区。核心城区作为建国以来武汉市的核心建成区，其职住空间结构复杂，分布较多的单位制社区、办公区与新兴商业区；外围城区是 1990 年代市场经济改革之后城市空间的主要拓展区，伴随着住房市场化和土地快速城镇化，该区域的城市职住空间与核心城区有着显著差别，在城镇化与城市空间重构过程中，现阶段外围城区和核心城区已经成为武汉市的主要城区；对于边缘城区，武汉城市总体规划(2010—2020)指出都市发展区是新时期武汉市城市功能的集聚区和拓展区。基于以上背景和武汉市的特殊发展阶段，不同层级的城区职住空间组织结构具有差别，利用研究数据对武汉市核心—外围—边缘的职住通勤模式进行归纳是合理的。

在城市居住区和就业区方面。核心城区在相对较小的空间区域上承载着较多的居住和就业人口，居住区和就业区混合度较高，并且具有集中连片的空间分布特征，核心城区是城市唯一的主中心；外围城区的居住和就业密度小于核心城区，密度较高的区域往往邻近核心城区，部分呈现团块状分布，汉口区域的外围城区这种趋势最为明显，部分外围城区开始出现了新的次中心，但次中心范围较小，例如徐东商圈和光谷商圈的职住密度较高；边缘城区的居住人口和就业人口分布较为分散，没有新的城市中心发育。在通勤流向与流量方面。核心城区主要为内向通勤，其次是和外围城区之间的外向通勤；外围城区主要为内向通勤和与核心城区之间的外向通勤为主；边缘城区的居住和就业群体职住错位现象明显，其通勤流和外围城区联系紧密。在职住平衡度水平上，主城区的职住平衡度较好，越往外围区域越呈现一种职住错位分布的现象。职住通勤模式可以简要地概括为图 7。



## 4 结论和讨论

### 4.1 结论

本文利用武汉市主城区和都市发展区 2015 年一周工作日的公交刷卡数据，对研究区的职住通勤现状和职住通勤模式进行了研究，主要的贡献和结论有：针对无下车公交刷卡数据，从职住通勤的角度构建了付见模型和职住地识别规则识别了研究区内职住人群的居住地和就业地，并调用了高德地图公交规划 API 计算出了被识别群体的通勤时间；在 2km 尺度的通勤格网上汇总

得到了每个格网内的平均通勤距离和时间，能较好地识别不同城区内的通勤距离和时间上的差别；在主城区规划单元和都市发展区街道的尺度上对研究区内的主要通勤链接进行了可视化；将研究区域划分为核心—外围—边缘城区的三级城区，研究和归纳了职住通勤空间结构。

研究的主要结论验证了武汉市单中心的城市空间结构，其职住通勤模式主要呈现核心—外围—边缘的圈层结构。武汉市的核心城区当前承载着较多的居住和就业人口，以核心城区向外，职住密度逐渐降低，外围城区有新的次中心发育；通勤分析发现，居民的通勤时间和通勤距离以核心—外围—边缘的模式向外围递增，主导通勤流位于核心城区和主要交通走廊；职住平衡水平呈现核心—外围—边缘的趋势向外递减，边缘城区职住错位现象明显。

#### 4.2 讨论

武汉市目前核心—外围—边缘的职住通勤模式仍然是典型的单中心结构通勤模式，通勤结构有着向单中心—多中心组合式发展的趋势。在城市化进程不断推进，郊区化发展的形势下，如何疏解武汉市中心区域居住和就业人口，提高城市通勤效率已经成为城市规划面临的重要问题。以公交刷卡数据为代表的大数据为学者和规划人员理解城市系统和城市空间提供了新范式，这些数据的出现将城市规划的重点从长期战略规划转移到关于城市如何运作和管理的短期思考。新时期，我国的城镇化进程进入了新的发展阶段，城市发展模式已经由粗放的增量扩张转变为存量发展的集约模式，如何运用大数据研究城市的个体、空间单元和区域的行为和特征来理解城市系统，在经济发展方式转变、城市更新、郊区化和居住分异等背景下更好地识别城市职住结构，为城市空间结构优化、道路交通规划和产业发展提供更好的依据具有重要意义。在政策制定方面，城市核心区当前承载较高的居住和就业负担，以及由此导致的交通拥堵、环境污染、公共服务设施不匹配是面临的主要挑战。决策者应该制定更合理的工商业空间布局规划，调整住房政策和居住空间布局，建立更加公平均衡的区域公共服务体系来引导城市居民的职住空间选择，在当前中国城市发展的特殊阶段，应该构建更加发达的公共交通体系和公共交通发展政策（例如 Transit-oriented development, TOD）来缓解交通拥堵和通勤时间过长的的问题，以此实现城市空间职住平衡和可持续发展。

本文研究的不足和展望主要归纳为以下几点：①研究所用的数据为公交刷卡数据，识别的职住通勤人群仅为以公交车为出行方式的人群，对于以步行、自行车和私家车为出行方式的人群并没有考虑，并且不同区域内公交站数量空间分布有差别，研究具有局限性；②相比于传统的问卷调查数据，刷卡数据虽然具有样本多和空间分布合理等优势，但不具有研究个体和区域的社会经济属性，识别出的职住通勤群体也可能包含少部分的上学族，后续研究应当利用具有更丰富信息的大数据，并且与传统数据例如问卷数据、社会经济调查数据和建成环境数据等相结合来丰富研究内容；③新兴的城市大数据虽然能更好地刻画城市的空间结构和格局，但数据所挖掘出来的个体、区域和城市的形态和模式需要进一步总结和归纳，不同时期的现象所隐藏的深刻城市社会性和制度性因素也亟待解释。

#### 参考文献：

- [1]Giuliano G. Is job-housing balance a transportation issue? [J]. Transportation Research Record, 1991, 13(5):305-312.
- [2] Howard E. Garden cities of tomorrow [M] • London : S. Sonnen-schein&Coltd, 1902. .
- [3]Saarinen E. The city: Its Growth, its decay, its future[M]. New-York : Reinhold Publishing Corporation, 1945.
- [4]Cervero R. Jobs-housing balance and regional mobility [J]. Journal of the American Planning Association, 1989, 55(2): 136-150.

- 
- [5] Horner M, Murray A. A multi-objective approach to improving regional jobs-housing balance [J]. *Regional Studies*, 2003, 37(2):135-146.
- [6] Kain J.F. Housing segregation, negro employment, and metro-politan decentralization [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1968, 82(2): 175 - 197.
- [7] Duncan B. Factors in work-residence separation: wage and salary workers, Chicago, 1951 [J]. *American Sociological Review*, 1956, 21(1):48-56.
- [8] 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.
- [9] 刘志林, 张艳, 柴彦威. 中国大城市职住分离及其特征——以北京为例[J]. *城市发展研究*, 2009, 16(9) :110-117.
- [10] 刘志林, 王茂军. 北京市职住空间错位对居民通勤行为的影响分析——基于就业可达性与通勤时间的讨论[J]. *地理学报*, 2011, 66(4):457-467.
- [11] 张艳, 柴彦威. 基于居住区比较的北京市通勤研究[J]. *地理研究*, 2009, 28(5):1327-1340.
- [12] 孙斌栋, 李南菲, 宋洁杰, 等. 职住平衡对通勤交通的影响分析[J]. *城市规划学刊*, 2010(6): 55 - 60.
- [13] 孙斌栋, 涂婷, 石巍, 等. 特大城市多中心空间结构的交通绩效检验[J]. *城市规划学刊*, 2013(2):63-69.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 周素红, 刘玉兰. 转型期广州城市居民居住与就业地区位选择的空间关系及其变迁[J]. *地理学报*, 2010, 65(2):191-201.
- [17] 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[J]. *地理科学*, 2012, 34(3) : 272 - 279.
- [18] 周江评, 陈晓键, 黄伟, 等. 中国中西部大城市的职住平衡和通勤效率——以西安为例[J]. *地理学报*, 2013, 68(10): 1316-1330.
- [19] 胡娟, 朱丽霞, 罗静. 武汉市职住空间特征及评价[J]. *人文地理*, 2014(3) :76-82.
- [20] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 上海中心城就业中心体系测度——基于手机信令数据的研究[J]. *地理学报*, 2016, 71(3): 484-499.
- [21] 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.
- [22] Barry J, Newhouser R, Rahbee A, et al. Origin and destination estimation in New York city with automated fare system data [J]. *Transport Research Record*, 2002, 1817:183 - 187.

- 
- [23] Trepanier M, Tranchant N, Chapleau R. Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system [J]. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2007, 11(1):1 - 14.
- [24] Bagchi M, White P.R. The potential of public transport smart card data [J]. *Transport Policy*, 2005, 12(5):464 - 474.
- [25] Ceapa I, Smith C, Capra L. Avoiding the crowds: understanding tube station congestion patterns from trip data. In : *Proceeding of the 1st ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing* [M]. ACM Press, 2012.
- [26] Lathia N, Froehlich J, Capra L. Mining Public Transport Usage for Personalised Intelligent Transport Systems [C] // *2010 IEEE 10th International Conference on Data Mining*, 2010.
- [27] Agard B, Morency C, Trepanier M. Mining Public transport user behavior from smart card data [C] // *The 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (IN-COM)*, 2006.
- [28] 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):1 339- 1 352.
- [29] Zhou J, Long Y. Job-housing balance of bus commuters in Beijing exploration with large scale synthesized smart card data [C] // *Transportation Research Record 92nd Annual Meeting*, Washington DC, 2014.
- [30] 许园园, 塔娜, 李响. 基于地铁刷卡数据的城市通勤与就业中心吸引范围研究 [J]. *人文地理*, 2017, 32(3):93 - 101.
- [31] 周春山, 叶昌东. 中国城市空间结构研究述评 [J]. *地理科学进展*, 2013, 32(7):1 030- 1 038.
- [32] Cervero R. Jobs-housing balance and regional mobility [J]. *Journal of the American Planning Association*, 1989, 55(2): 136- 150.
- [33] Thomas R. London's new towns : A study of self-contained and balanced communities [M]. London: PEP, 1969.
- [34] Joseph XG Zhou, Anthony GO Yeh, Weifeng Li. A commuting spectrum analysis of the job-housing and self containment of employment with mobile phone location big data [J]. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*, 2017, 45(3):434-451.
- [35] Xingjian Liu, Mingshu Wang. How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities [ J ]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 151:10-20.
- [36] Bertaud A. The spatial organization of cities : Deliberate outcome or unforeseen consequence? [M]. Berkeley Institute of Urban and Regional Development, 2004.
- [37] 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, 37(8):33 - 39.