

大城市职住空间特征的多尺度比较与分析*

——以武汉为例

郭亮 毕瑜菲 黄建中 郑朝阳 胡刚钰 王冠

Multi-scale Comparison and Analysis of Jobs-housing Spatiale Characteristics in Big Cities—Taking Wuhan as an Example

GUO Liang, BI Yufei, HUANG Jianzhong, ZHENG Chaoyang, HU Gangyu, WANG Guan

提要 对职住空间特征的既有研究往往以单一、宏观尺度及静态分布特征研究为主,难以有效解释大城市空间布局与交通系统运行的内在结构与关联。在梳理国内外居住、就业和通勤行为相关研究的基础上,以武汉市为例,采用手机LBS出行轨迹数据,从大区(行政分区)、中区(街道分区)及小区(TAZ,交通小区)三个尺度研究武汉市职住空间分布的静态与动态关联特征。研究表明,三个尺度从不同层面揭示了大城市空间结构与通勤行为、通勤中心分布之间的内在关联。在进一步识别通勤圈分布的基础上,结合对武汉市域通勤圈分布与交通系统布局、运行状态的分析,提出应该以通勤圈为基础单元细化大城市空间结构,推进各类交通方式系统与通勤圈内外的空间整合,逐步优化交通结构,推进大城市空间结构与交通体系的协调发展。

关键词 职住空间;多尺度分析;通勤圈;优化;武汉

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.201805010
文章编号 1000-3363(2018)05-0088-10

作者简介

郭亮,华中科技大学建筑与城市规划学院,湖北省城镇化工程技术研究中心,博士,副教授, paoren111@163.com

毕瑜菲,广州市城市规划勘测设计研究院,硕士,助理规划师

黄建中,同济大学建筑与城市规划学院,高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室,教授,博导,通讯作者, hjz03213@126.com

郑朝阳,华中科技大学建筑与城市规划学院,硕士研究生

胡刚钰,上海同济城市规划设计研究院,硕士,助理规划师

王冠,武汉市交通发展战略研究院工程师

Abstract: Past researches on the characteristics of jobs-housing spaces were mostly based on single, macroscopic and static distribution characteristics, and hence it is difficult to effectively explain the internal structure and operational performance of the spatial layout of the big cities and the operation of the transportation system. Based on the theories and empirical researches about residence, employment and commuting behavior in China and abroad, the paper employs LBS (location based service) data to examine the static distribution and dynamic correlation characteristics of Jobs-housing distribution in Wuhan at scales of big-zone (Administrative district), medium-zone (Block) and small-zone (Traffic Analysis Zone). The research reveals intrinsic relationship among the spatial structure of big cities, the commuting behavior and the distribution of commuting centers. Based on an analysis of the distribution of Commuting Circles and the layout and operation status of transportation system, the paper suggests that spatial structure of big cities should be refined based on Commuting Circles and spatial integration of fast rail transit systems and Commuting Circles should be promoted. In addition, the paper also point out the need to integrate the cross-regional and internal commuting into the multi-modal transportation system and to take advantage of slow traffic in short distance trips. Overtime, transportation structure will be optimized and coordinated development of spatial structure and transportation system in big cities will be realized.

Keywords: jobs-housing space; multi-scale analysis; commuting circle; optimization; Wuhan

市场力驱动下,城市土地和住房等市场要素改革加速,在城市空间外扩-内更、产业提档-升级、人口外迁-内聚的过程中,其职住空间分布在经历着“分离-

* 国家自然科学基金“基于低碳出行的大城市‘日常生活单元’交通与土地利用模式优化”(51678259);湖北省自然科学基金“存量视角下湖北省域大中城市空间结构与低碳交通系统整合优化策略研究”(2017CFB665);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2016YXMS060);国家社会科学基金“老年人社区生活圈的构建与协同营造策略研究(17BSH126);上海同济城市规划设计研究院科研课题“基于交通情景模拟的大城市‘空间结构-交通模式’耦合与优化研究”(KY-2016-YB-07)

内聚”的过程，城市通勤出行时距也在发生相应变化，并诱发一系列的交通问题。面对大城市不断扩张的空间规模和日益凸显的交通问题，大多数城市都在致力于优化城市空间结构、推进综合交通系统建设、发展快速轨道交通以应对挑战。通常此类研究依赖传统交通调查所获得的宏观模型进行分析预测，据此提出的交通发展对策比较侧重于宏观层面的交通结构优化，且往往集中于城市整体的交通系统与设施体系建设以被动应对交通需求增长；也有部分学者利用传统经济、人口普查数据分析大城市职住分布特征来寻找空间绩效的优化途径，受制于传统数据来源的限制，较为单一的研究尺度往往难以深入解释大城市职住空间分布差异与交通系统功能定位、运行矛盾之间的内在关联。本研究试图以武汉为对象，利用手机LBS数据分析多尺度的职住空间静态分布与动态关联特征，进一步识别多尺度的职住空间分布特征差异，以引导大城市空间结构与交通系统的协调发展。

1 研究缘起及基本思路

1.1 相关研究

国外对职住空间的研究起步较早，Kain (1968) 首次提出“空间不匹配”概念，随后西方学者在就业-居住空间匹配领域进行了大量的理论探索和实证研究。处于欧美特定的社会背景下，相关研究主要关注低收入人群、少数族裔和女性等社会弱势群体对于居住就业空间的选择 (Thompson, 1997; Houston, 2005)、职住空间匹配的影响因素 (Gobillon, Selod, 2007; Alonso, 1964) 以及解决措施等内容 (Clark, Burt, 1980; Stoll, 1999)。受西方研究影响，国内学者在我国城镇化发展过程中逐步认识到就业和居住空间的匹配是影响大城市空间绩效的重要因素，并对此展开大量研究。主要表现在：

(1) 研究尺度上由单一尺度为主逐步向多尺度结合发展。西方学者通常使用交通小区作为分析单元 (Horner, 2002; Manning, 2003; Sultana, 2002),

Peng (1997) 等学者建议采用动态研究范围；我国学者主要借助行政区划 (孙斌栋, 等, 2010; 胡娟, 等, 2014)、街道 (周素红, 闫小培, 2006)、居住区 (柴彦威, 等, 2011) 来划定分析单元，也有学者以与国外研究尺度相当的交通小区进行职住空间分析 (徐艺轩, 等, 2014)；近年来赵晖等 (2013) 从多种空间尺度探索城市结构与职住关系的联系。

(2) 数据来源上由传统数据为主走向多源数据相结合。孙斌栋等 (2014)、张纯等 (2016) 主要使用传统普查数据分析大城市职住空间分布与演化特征；强欢欢等 (2016) 利用问卷调查数据研究通勤关系；随着手机信令数据的广泛应用，钮心毅等 (2017)、李峰清等 (2017)、黄建中等 (2017) 开始使用手机信令数据分析职住空间关系。

(3) 测度方法与指标选取上呈现多元化特征。西方学者多采用职住比指标和自足性指标 (Cervero, 1989; Pavlos S, 2015), Cervero (1989) 采用就业-居住比率测度职住平衡度；国内学者胡娟等 (2013)、郑思齐等 (2015)、王振坡等 (2017) 借鉴国外数理统计分析方法采用职住比、空间错位指数、熵、偏离度指数、就业可达性等指标测度职住空间关系，从不同角度揭示大城市职住空间分布特征。

总体而言，目前研究较多从单一尺度来探讨职住空间分布的静态关系，而对不同尺度的职住空间分布特征及其通勤出行特征的动态关联涉猎不多。虽有部分学者如李峰清、赵民、黄建中等 (2017) 利用多源数据分析职住空间分布静态和动态特征，借此进一步探讨大城市的空间绩效，但总体来看相关研究仍偏宏观，对中、微观尺度的职住空间分布特征与交通系统的动态关联规律认知仍需强化。因此从多尺度分析大城市职住空间的静态特征与动态关联，有助于深入认知大城市空间结构构成与交通系统的互动机制，并为从不同尺度探讨优化大城市空间结构绩效的策略提供了可能。

1.2 数据来源

本文以武汉市域为研究范畴，主要就业、居住人口数据来源于手机APP的LBS轨迹数据，数据采集时间为2017年4月17日中23日一周时间范围内。LBS轨迹数据基于位置服务 (location based service) 技术，通过分工作日和非工作日获取武汉市域范围内的独立手机终端用户位置及用户职住标签和归属地标签等数据，研究现状职住空间分布特征^①。本文分别以大区 (行政分区)、中区 (街道分区) 和交通小区 (TAZ) 为基本尺度单元^②，测度和分析武汉市域职住空间静态分布与动态关联特征 (部分特征会汇总至中心城区和远城区等圈层尺度)，并进一步探讨基于多尺度职住空间特征的大城市空间结构与交通系统优化策略。

1.3 评价指标

基于上述数据既有特性，职住空间分布的静态特征由“就业-居住比”、“就业-居住偏离度指数”和“空间错位指数”来测度，动态关联采用“通勤距离”、“通勤空间”和“通勤中心”等指标来测度。

(1) 静态特征指标

① “就业-居住比”：是测度职住空间关系最简单且常用的指标，即某一区域内就业人口数量和居住人口数量的比值，显示该区域的职住均衡程度。其值越大，表示区域就业主导性越强，反之则居住主导性越强。

② “就业-居住偏离度指数”：即通过比较区域内就业人口数量占就业人口总量的比重与居住人口数量占居住人口总量的比重，来测度该区域职住平衡程度。比值等于1则表明此区域就业和居住功能相对匹配，大于1则表明此区域就业职能强于居住职能，小于1则表明居住职能强于就业职能。

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

其中， Z_{ij} 为j区第i年的就业-居住偏离度指数， Y_{ij} 为j区在第i年的就业人口数量， Y_i 为全市第i年的就业人口总数量； R_{ij} 为j区第i年份的常住人口数量， R_i 为第i年全市常住人口总数量。

采用“就业-居住偏离度指数”的标准差SD来衡量武汉市“就业-居住匹配度”：

$$SD = |Z - 1| \quad (\text{公式2})$$

值越小，表明职住空间越匹配，值越大，表明职住空间越失衡。

③“空间错位指数”：通过采用小尺度数据源来测度相对较大尺度区域内就业地和居住地的空间错位程度，如以小区尺度的居住和就业数据为依据，汇总至中区尺度空间单元内，分析其职住空间错位程度，依此类推 (Martin, 2004)。值越大，表明空间错位程度越明显。其公式表达为：

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

其中，SMI_j为大都市区j的空间错位指数，P_i为大都市区j中i区县的人口数，P_j为大都市区j中的人口总量，n为大都市区j中区县个数，e_{ij}为大都市区j中i区县的就业人口数量，E_j为大都市区j中总的就业人口数量。

(2) 动态关联指标

①“通勤距离”：以交通小区的几何中心为O、D点，采用GIS生成的最短路径距离代表两个交通小区之间的通勤距离。

②“通勤中心”：通过将通勤数据OD关系可视化表达，反映主要通勤量的通勤通道和通勤流向，揭示城市各区域之间的通勤联系，识别城市主要的通勤区域以及通勤中心，从而从动态关联视角揭示城市职住空间特征。

③“通勤空间”：通勤数据汇总至中心城区和远城区等圈层结构以及大区、中区尺度，分别研究不同尺度区内通勤以及跨区通勤的样本比例，从而研究中心城区和远城区之间通勤的相互作用，揭示城市通勤圈分布及通勤量占比特征。

2 多尺度的武汉市职住空间静态分布特征

多尺度的职住空间静态分布特征包括“就业-居住比”、“就业-居住偏离度指数”和“空间错位指数”。

2.1 分尺度的就业与居住比例

以公式1计算，大区、中区、小区尺度的平均“就业-居住比”分别为0.50、0.54和1.27。具体来看，显示出大区尺度下武汉市各区职住空间分布并不均衡，中心城区和部分远城区就业职能相对突出；中区尺度下中心城区内部居住和就业职能均较突出，远城区主要以居住职能为主导；小区尺度下的职住比分布规律更为清晰，反映出中心城区内部核心区域居住和就业职能均较突出，临近中心城区的外围周边区域以就业功能为主导，远城区大部分均以居住职能为主导 (图1)。反映了“就业-居住比”会随着单元尺度的缩小而逐步表现出更为精准的差异化分布特征。

2.2 分尺度的就业与居住匹配度

以公式2计算“就业-居住偏离指数”，再采用标准差SD (公式3) 来衡量“就业-居住匹配度”，可知大区、中区、小区三个尺度的“就业-居住匹配度”分别为0.26、0.16和0.47，结果显示大区和中区的就业-居住空间匹配度相对较好。具体来看，大区尺度下，部分远城区就业-居住空间分布相对较失衡；中区尺度下，仅有中心城区北部边缘少量单元就业-居住空间匹配度失衡；小区尺度下则呈现出两极分化特点，中心城区周边区域就业-居住空间匹配度较低，职住空间严重失衡，而市域其他区域就业-居住空间匹配度则相对较高，整体就业-居住匹配程度较好 (图2)。

2.3 分尺度的空间错位程度

以公式3测算分圈层、大区、中区

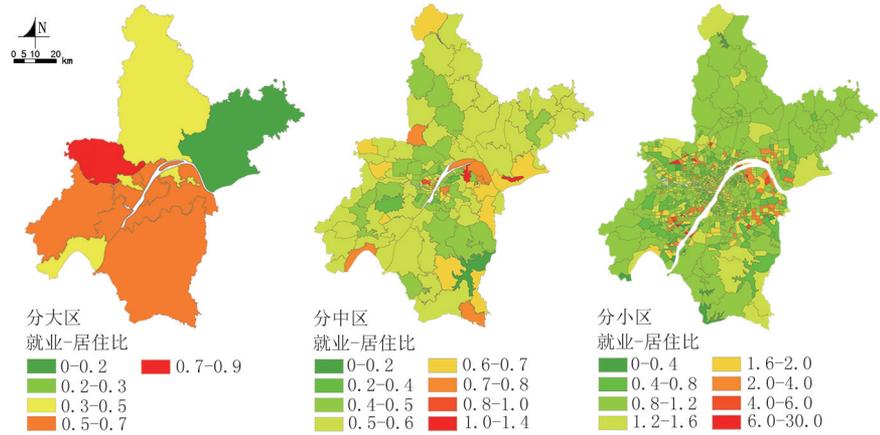


图1 武汉分大区、中区和小区尺度就业-居住比
Fig.1 Job-housing ratio at scales of big-zone, medium-zone and small-zone
资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

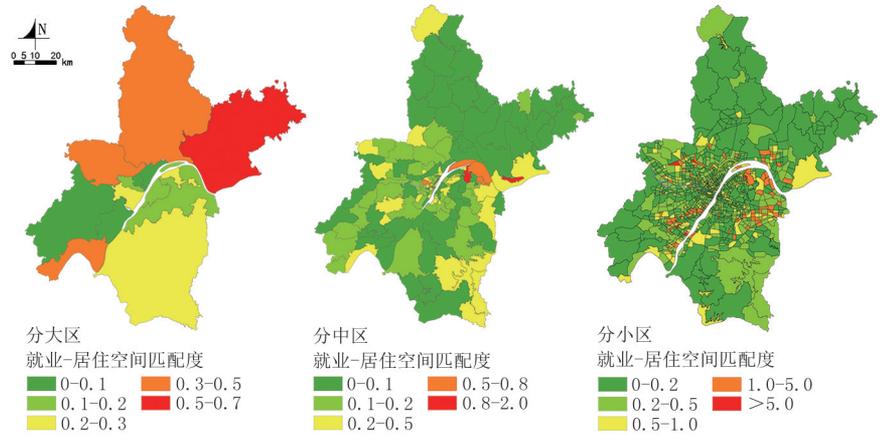


图2 武汉分大区、中区和小区尺度就业-居住空间匹配度
Fig.2 Spatial matching at the scale of big-zone, medium-zone and small-zone
资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

三个大等级尺度的空间错位程度。分圈层总体职住空间错位程度不明显，远城区职住空间错位程度远大于中心城区；分大区的除汉南区、武汉经济开发区和东湖新技术开发区外，其他各区职住空间错位指数均较低；分中区的职住空间错位程度进一步凸显圈层式结构分布，反映出中心城区内部职住空间错位程度较低，而中心城区周边职住空间错位程度相对较高，远大于中心城区（图3）。随着单元尺度缩小，用地类型单一化，空间错位指数会逐步变大。

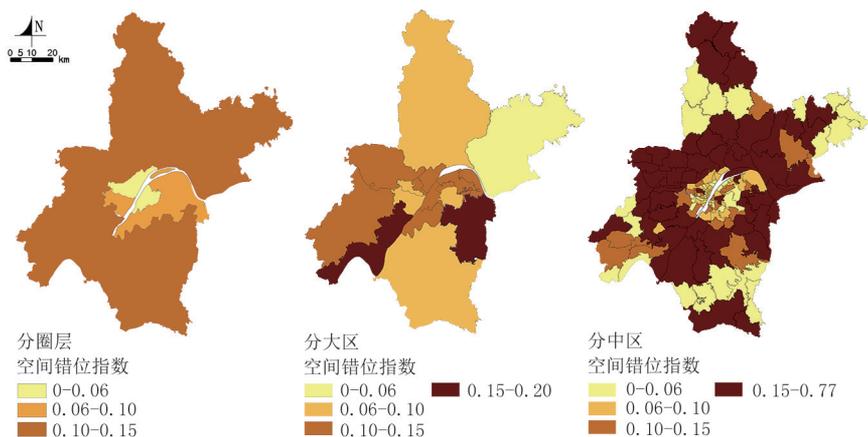


图3 武汉分圈层、大区和中区尺度空间错位指数

Fig.3 Spatial mismatching index at concentric-zone, big-zone and medium-zone level
资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

2.4 多尺度的职住空间静态特征

(1) 多尺度的职住空间静态分布特征对比表明，“就业-居住偏离度指数”和“空间错位指数”此两个指标反映出职住空间分布匹配（或错位）程度差异在三个尺度的表现较为一致；“就业-居住比”指标则更为准确地指出了分区域的偏向居住或就业的程度。

(2) 对比职住空间分布的多尺度特征，大区尺度表明远城区职住空间匹配程度远低于中心城区；中区尺度进一步表明中心城区形成以就业职能为主导的职住单元，远城区主要以居住职能为主导；小区尺度则更为明确地反映出中心城区内部核心区域居住和就业职能均较突出，而临近中心城区的外围周边区域以就业功能为主导等特征。三个尺度的对比可以更为精准地反映出职住空间分

布的尺度差异。

(3) 职住空间分布静态特征仅仅只是反映了不同尺度的职住空间分布状态，但对具体不同尺度单元之间的通勤出行关系并不明确，这些需要借助多尺度单元的动态特征作进一步关联分析。

3 多尺度的武汉市职住空间动态关联特征

衔接上文的职住空间静态特征，本节从职住空间动态关联的多尺度视角进一步分析通勤距离、通勤空间和通勤中心的分布特点。

3.1 通勤距离分布特征

通过建立基于交通小区的通勤出行网络，测算出武汉市平均通勤距离为6.21km。分大区的通勤距离分布特征显示，洪山区、江岸区、汉阳区、蔡甸区、黄陂区居民外出通勤距离大于外来就业通勤距离，其就业吸引范围相对较小；而东湖高新区、江汉区、武汉经济开发区、汉南区和新洲区则相反，其就业吸引范围相对更大（图4）。

同时通勤距离分布结果（图5）显示，1公里以内的通勤出行占30.3%，4公里以内的通勤出行占61.2%，8公里以内的出行占73.9%，说明主体通勤出行距离较近，同时进一步验证了武汉市职住空间的整体匹配度较好这一结论。

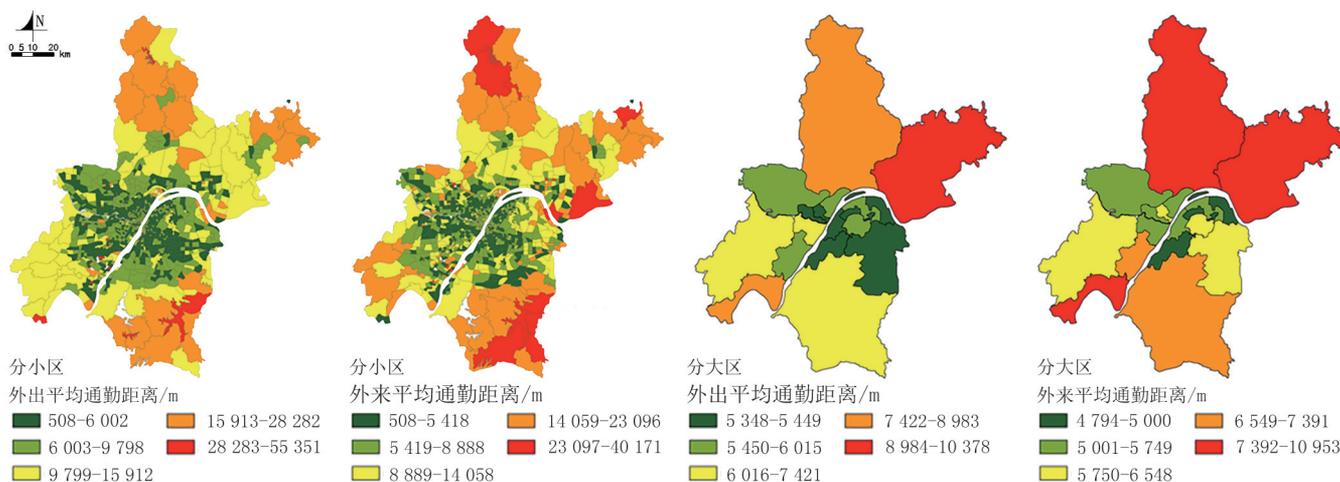


图4 武汉分小区、大区居民外出平均通勤距离和外来平均通勤距离

Fig.4 Average commuting distance of outbound and inbound at the scales of small-zone and big-zone
资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

表1 中心城区和远城区通勤出行量分布一览表

Tab.1 Commuting trip distribution of central area and suburban area

通勤流向	通勤量(人)	占比(%)
中心城区-中心城区	2269010	56.42
中心城区-远城区	620903	15.44
远城区-中心城区	491283	12.22
远城区-远城区	640409	15.92

数据来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

3.2 通勤中心分布特征

不同尺度下通勤分布情况（图6）表明：大区尺度下通勤量主要发生在中心城区内部；中区尺度下中心城区形成七大通勤中心，远城区基本未能形成明显的通勤中心；小区尺度下中心城区内部存在大量短距离通勤出行，远城区独立性通勤中心初现。多尺度通勤分布进一步揭示了主要通勤中心分布的多尺度差异。

3.3 通勤空间分布特征

中心城区和远城区通勤出行量分布表明中心城区就业岗位占全市总岗位的68.64%，中心城区内部通勤仍占主导地位；中心城区和远城区跨区通勤总人口占总样本的27.66%，可见二者间具有双向吸引作用；武汉市的通勤空间主要集中在中心城区内部以及远城区和中心城区之间，远城区内部通勤量相对较小（表1）。

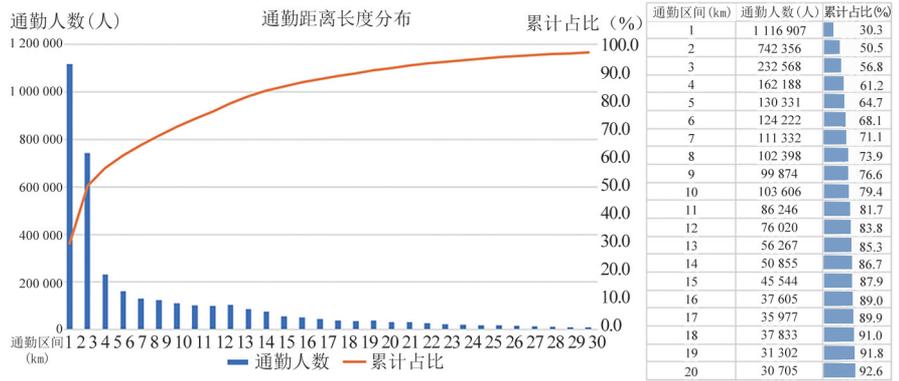


图5 武汉通勤距离区间分布

Fig.5 Commuting distance interval distribution of Wuhan

资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

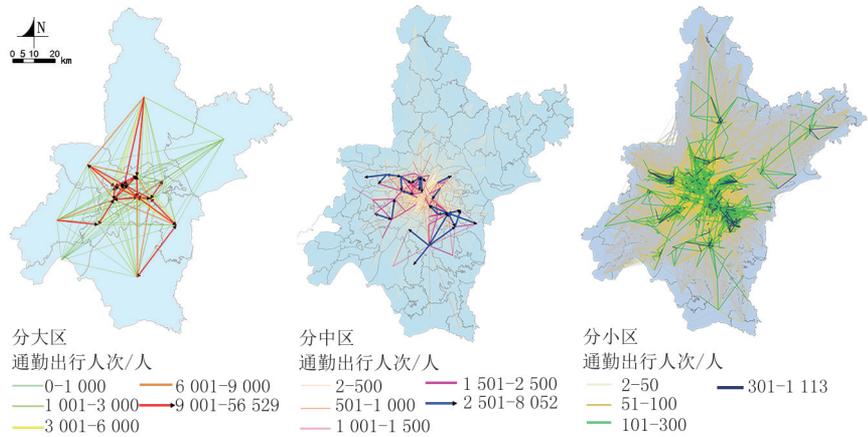


图6 武汉分大区、中区和小区尺度通勤出行人次

Fig.6 Commuting trips at the scales of big-zone, medium-zone and small-zone

资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

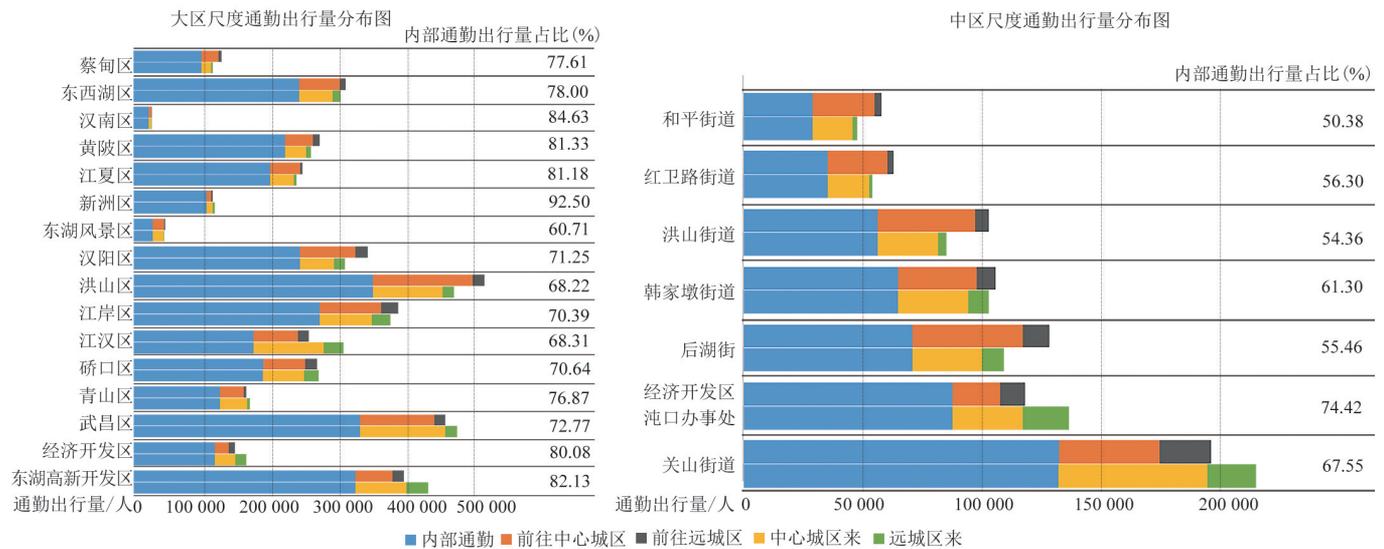


图7 市域大区尺度、中心城区中区尺度通勤中心通勤出行量分布

Fig.7 Commuting trip distribution at the scale of big-zone of city area and at medium-zone of central area

资料来源：武汉市手机LBS数据，作者自绘。

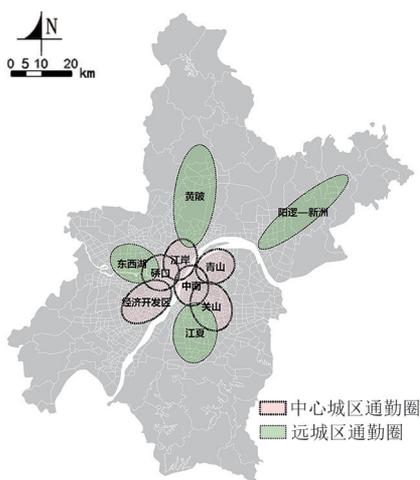


图8 武汉主要通勤圈分布
Fig.8 Main commuting circle distribution of Wuhan
资料来源：作者自绘。

大区通勤出行量分布显示洪山区、武昌区、东湖高新区的外部往来通勤出行对相对较高，蔡甸区、汉南区、东湖高新开发区等内部通勤出行比重相对较高；中区尺度反映出中心城区七大通勤中心的内部通勤出行比重分布（图7）。多尺度的通勤出行空间分布对比反映出尺度越大、其内部通勤出行比重越高的特点。

表2 武汉主要通勤圈数据表
Tab.2 Main commuting circle data of Wuhan

通勤圈名称	区位	短轴(m)	长轴(m)	尺度(km ²)	道路网密度(km/km ²)	公交站点覆盖率(300m半径)(%)	轨道站点覆盖率(500m半径)(%)
江岸	中心城区	5265	6884	113.9	4.91	61.69	32.54
硚口	中心城区	5839	6100	111.9	5.47	72.19	32.14
中南	中心城区	5560	6659	116.3	4.64	66.55	24.34
青山	中心城区	5447	6521	111.6	3.92	44.07	6.69
关山	中心城区	6469	8270	168.1	3.26	43.77	5.36
经济开发区	中心城区	5881	9037	166.9	3.24	35.52	10.93
东西湖	远城区	6026	8199	155.2	3.95	33.00	6.37
黄陂	远城区	6700	16985	357.4	3.37	6.32	0.60
江夏	远城区	7142	9911	222.4	3.21	21.03	1.06
阳逻—新洲	远城区	4453	18600	260.1	3.94	0.17	0.79

资料来源：作者整理。

3.4 多尺度的职住空间关系比较

多尺度的职住空间动态特征从不同层面揭示了大城市空间结构与通勤行为、通勤中心分布之间的内在关联。其中，大区尺度只是初略表明了中心城区的内部出行量比较大，远城区发展尚不成熟；中区尺度相对凸显了中心城区内部七大通勤中心的分布；小区尺度进一步反映出部分远城区在逐步形成相对独立的通勤中心，基于不同尺度的职住空间分布静态特征与动态关联的对比分析有助于精准认识大城市职住空间特征的

多尺度差异，从而为进一步把握大城市空间结构发展趋向、整合大城市空间结构与交通系统提供了基础。

4 武汉市空间结构与交通发展模式优化建议

在当前大城市空间由“外部扩张”向“自我更新”发展的过程中，职住空间分布相对不平衡会引发大量过剩通勤和交通拥堵等城市问题，城市空间结构的多中心化会分散交通需求、降低交通拥堵的风险，推进大城市空间结构多中

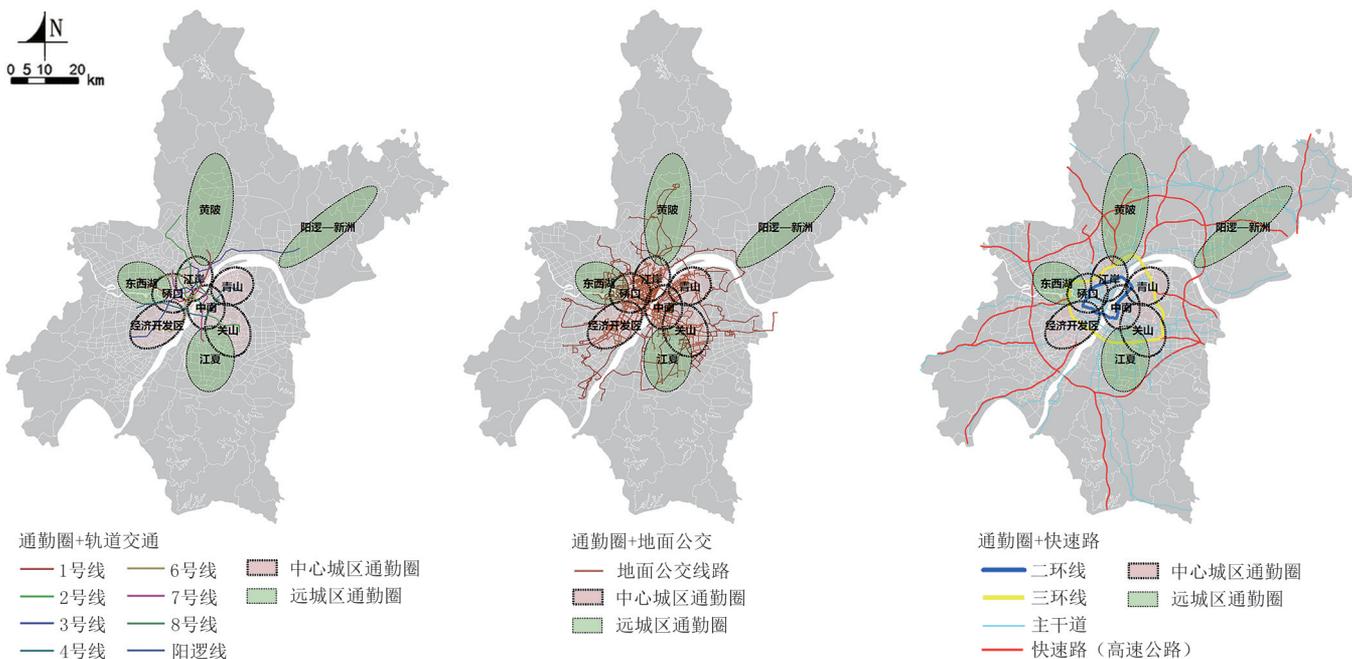


图9 武汉主要通勤圈与交通设施系统布局
Fig.9 Main commuting circles and transportation facilities system of Wuhan
资料来源：作者自绘。

心发展是规划界长期以来所追求的方向。鉴于通勤中心和通勤空间的分布实际上体现了大城市空间结构的多中心特征,因此进一步识别通勤圈与交通系统分布与运行之间的关系,对推进大城市多中心结构发展尤为重要。

4.1 通勤圈识别与分布

在前述关于职住空间静态分布与动态关联特征分析基础上,借助标准差椭圆方法,以通勤人数为权重,进一步识别武汉市域主要通勤圈^③。从图中可知,中心城区主要通勤圈包括硚口、中南、江岸、青山、关山及武汉经济开发区等六处,远城区则表现出东西湖、黄陂、阳逻-新洲、江夏汤逊湖等四处通勤圈(图8),

再把主要通勤圈与快速轨道交通、地面公交及快速路系统进行空间叠合(图9),以深入了解交通系统运行效率是否与通勤圈和交通系统空间分布之间存在必然关联。

主要通勤圈相关数据指标列表显示(表2),中心城区通勤圈的长轴明显比远城区的短,远城区通勤圈方向过于集中。在通勤圈尺度上也基本符合中心城区小于远城区的规律,其尺度小于中心城区的关山和经济开发区通勤圈;其二,在计算通勤圈与道路网密度指标时发现,硚口通勤圈的道路网密度最高,而同为中心城区的关山和经济开发区通勤圈($3.24\text{km}/\text{km}^2$)的道路网密度则较低,其水平与远城区相接近;其三,以常规公交站点300m为服务半径求得各通勤圈的公交站点覆盖率,中心城区的硚口、江岸和中南通勤圈的公交站点覆盖率大于60%,基本上能够满足通勤出行需求,而青山、关山和经济开发区则低于50%;远城区的东西湖有着相对较高的公交站点覆盖率(33%),黄陂和阳逻-新洲的公交站点覆盖率较低;其四,轨道交通站点以500m为服务半径计算轨道站点覆盖率,中心城区的关山和青山通勤圈只有5.36%和6.69%;远城区的黄陂、江夏和阳逻-新洲的轨道站点覆盖率为1%左右,其通勤圈内部的轨道交通系统还未建设完善。

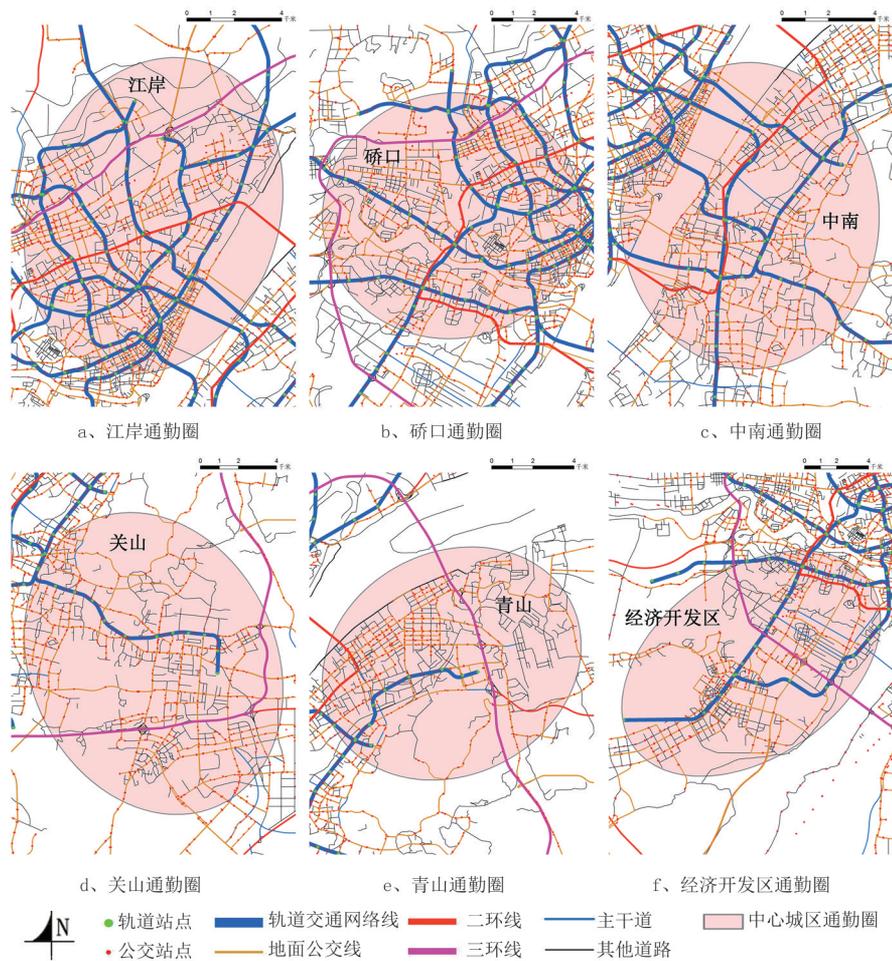


图10 武汉市主要通勤圈详图

Fig.10 Detailed map of main commuting circles in Wuhan
资料来源:作者自绘。(注:因篇幅所限,远城区四大通勤圈就不一一列上。)

从图9、图10可以发现,中心城区硚口、江岸、中南等三大通勤圈的轨道交通线路覆盖率较高,其他均仅有一条轨交线路到达;中心城区六大通勤圈中地面公交线路覆盖率也较高,远城区的四个通勤圈则公交覆盖率较低;二环线承担了串联中心城区五大通勤圈与远城区三大通勤圈的职能,三环线则承担了串联中心城区五大通勤圈与远城区四大通勤圈的职能,四环线正在串起远城区的四大通勤圈。主要通勤圈分布与公交系统的耦合度并不好,反而是快速路环线与通勤圈的空间分布衔接较好。

4.2 通勤圈布局与交通系统关联

结合通勤圈分布与交通系统布局,可以发现当前武汉市城市空间格局与交通系统发展之间存在如下关联特征:

4.2.1 通勤圈分布与快速轨道交通系统布局存在空间错位

从大区尺度来看,主要的通勤出行均集中在中心城区,由于远城区功能配套仍然不太成熟,从中心城区→远城区和从远城区→中心城区的通勤出行量也不少,这就意味着市域交通设施的布局要围绕服务中心城区的高强度出行和中心城区与远城区的跨区通勤为主。从2016年底前开通的6条轨道交通线路运行情况来看(图11),轨道交通仅仅只是解决了部分江北的内部出行和部分江南、江北的跨区出行,对比图9,可以发现当前快速轨道交通布局与实际通勤圈分布之间存在空间错位,导致地铁线路所承担的总出行率只占到12.3%;而地面公交由于武汉江河湖泊众多、路网密度不高的特点使其重复系数较高、可达

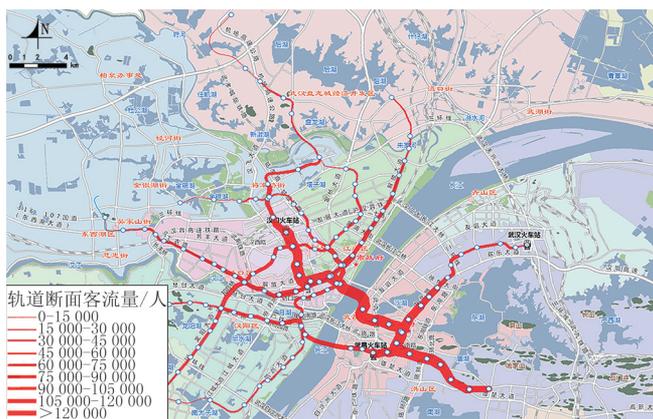


图11 武汉2016年轨交断面客流分布

Fig.11 Passenger flow of rail traffic section of Wuhan in 2016

资料来源：武汉市交通发展战略研究院，2016年武汉市交通信息系统建设与维护报告，2016。



图12 武汉2016年地面公交客流分布

Fig.12 Bus passenger flow of Wuhan in 2016

资料来源：武汉市交通发展战略研究院，2016年武汉市交通信息系统建设与维护报告。

性不够（图12），仅占总出行率的16.6%。从而为私人机动化出行留下了空档（武汉市交通发展战略研究院，2016）。

4.2.2 快速环线与通勤圈分布较吻合导致小汽车在长距离出行中占比均过大

从《2017年武汉市交通发展年报》中可以发现，公交和小汽车出行同时在为增长的交通需求服务^④。结合2017年交通结构（图13），步行和非机动出行方式分别占到21.8%和17.4%，比较符合通勤出行距离较短的特征；但客车出行占31.5%，说明小汽车出行占比仍然过大，使出行结构面临极大挑战。

图14中大量分布于二环沿线及二环、三环之间主要快速通道中的机动车流量说明机动车在长距离通勤出行中发挥着重要作用。也有研究显示在短距离出行中机动车占比也比较高^⑤。究其原因，在于武汉市特殊的河网水系分布的地理特征，导致了城区的路网密度不高、支路网缺乏的特点，这就影响到常规公交系统的布局 and 覆盖，使慢行交通出行受阻，并导致了短距离出行者采用机动车出行，从而加剧了局部交通拥堵。这些问题的存在进一步说明，大城市交通系统建设必须与其通勤圈空间分布相匹配，即需要在传统大尺度空间结构基础上，以通勤圈为基础单元深化空间结构构成，发挥多模式交通方式系统优势，共同构筑低碳、绿色的交通体系以满足不同尺度的出行需求。

4.3 武汉市空间发展优化建议

4.3.1 武汉市未来空间结构发展导向

武汉市城市空间结构将面临由“1+6”结构（2020年）逐步向“1+3+3”结构（2030年）、“1+4”（2049年）结构过渡的发展过程。

从三个阶段的空间发展规划来看，武汉市虽是典型的多中心结构，但此种多中心结构是建立在大的区域地理关系尺度基础上，与实际存在的通勤圈尺度之间缺乏内在关联。而实际上现有的空间结构是由若干基础通勤圈构成的，只不过这些通勤圈与交通系统布局之间缺乏一定的空间耦合关系，从而使不同距离的通勤行为缺乏适合的交通工具支撑，由于此种空间结构与交通体系的空间配置错位就导致了事实上的交通结构恶化和经常性的交通拥堵。

4.3.2 空间发展优化建议

(1) 以通勤圈为基础细化空间结构构成

鉴于通勤圈已在事实上成为大城市空间结构的基本构成单元，要提高大城市空间结构运行效率，需要进一步细化大城市空间结构构成。要达此目的，需要首先评估现有通勤圈的尺度、构成要素及构成机理，对尺度不合理的通勤圈（如通勤距离较长且长、短轴差距较大）则需要考虑针对构成要素的缺陷进行补充优化；在此基础上，推动以通勤圈为基础单元完善大城市空间结构体系。

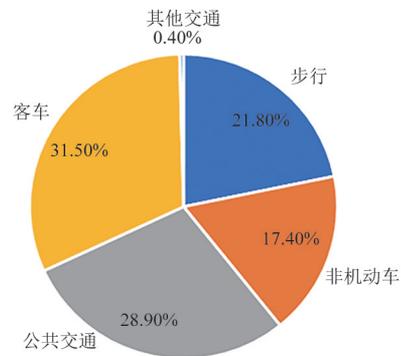


图13 武汉2017年交通出行结构

Fig.13 Traffic travel structure of Wuhan in 2017
资料来源：《2017年武汉市交通发展年报》，作者整理绘制。

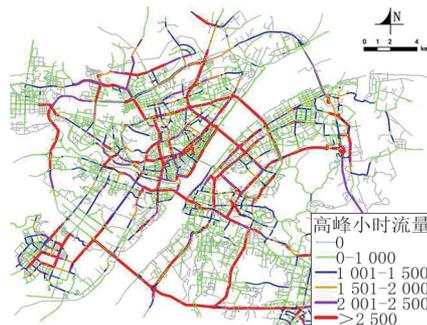


图14 2016年武汉市高峰小时交通流量分布

Fig.14 Peak hour traffic flow of Wuhan in 2017
资料来源：武汉市交通发展战略研究院，2016年武汉市交通信息系统建设与维护报告[Z]，2016。

(2) 以多模式交通强化通勤圈内外衔接

强化快速轨道交通系统与通勤圈长轴的衔接，中心城区内部也要加强通勤圈短轴之间的快速轨道交通衔接，使快速轨道交通发挥客流主要通道的职能；

快速路系统应该发挥次要跨区通道职能；在通勤圈内部，主要依托于地面公交形成内部通勤主通道，强化地面公交、非机动车方式与快速轨道站点的衔接，发挥慢行交通在短距离出行中的优势，以摆脱对个体机动化交通方式的依赖，逐步优化交通结构，提高大城市空间运行绩效（图15）。

5 结论

(1) 三个尺度的职住空间静态与动态分布特征表明：武汉市域范围总体职住分布相对均衡。从通勤空间对比来看，中心城区的通勤空间主要位于中心城区内部及其周边，远城区内部形成明显的就近就业空间。这得益于近年来武汉市在持续推进中心城区产业升级的过程中，不断强化远城区居住和服务设施配套，使远城区逐步发挥出“反磁力”中心作用，在客观上促进了多中心结构的形成。

(2) 三个尺度的职住空间动态特征从不同层面揭示了大城市空间结构与通勤行为、通勤中心分布之间的内在关联。其中，大区尺度初略表明了中心城区的内部出行量比较大，远城区发展尚不成熟；中区尺度相对凸显了中心城区内部七大通勤中心分布；小区尺度进一步反映出部分远城区在逐步形成相对独立的通勤圈，上述特征符合武汉市多中心结构发展的趋向。多尺度对比有助于精准认识大城市职住空间特征的多尺度差异，为进一步把握大城市空间结构发展趋向、整合大城市空间结构与交通系统提供了基础。

(3) 大城市职住空间分布的相对不平衡会引发大量过剩通勤和交通拥堵。从多尺度分析大城市职住空间的静态和动态特征，结合通勤圈与交通系统空间分布，揭示了系统服务的主要对象和运行的主要矛盾，为大城市空间系统运行优化提供依据。为达此目的，需要以通勤圈为基础单元细化大城市空间体系，推进快速交通系统与通勤圈这一基础单元之间的衔接，发挥快速轨道交通在长距离出行中的主导作用；合理区分跨区

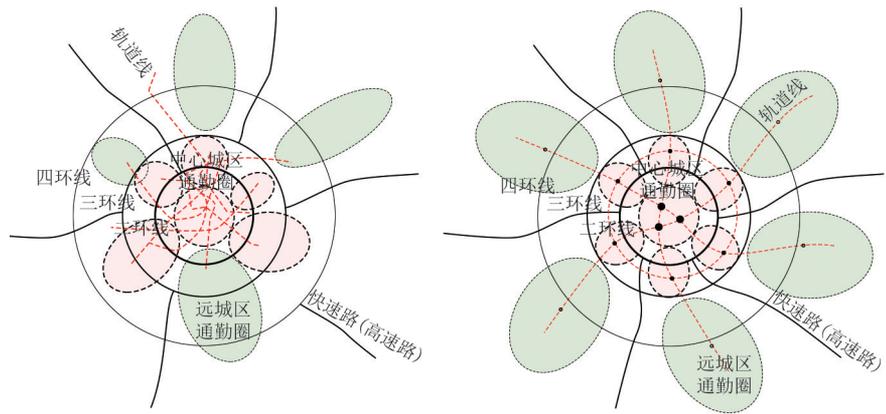


图15 武汉现状、规划通勤圈结构示意图

Fig.15 Commuting circle structure of status quo and planning of Wuhan

资料来源：作者自绘。

通勤与内部交通出行，强化快轨与常规公交的衔接，提高慢行交通系统的连通性，使“快轨+公交（慢行）”方式在对机动车方式的竞争中逐步占据有利地位，引导大城市空间组织更加高效集约。

感谢上海霸图卫（PTV）公司沈畅、李欢的技术支持，华中科技大学建筑学院袁满老师以及潘洁、张秋圆、王定、祝芸依、梁伟平、李佳敏、王舒等同学的协助！

注释

- ① LBS轨迹数据能够弥补传统普查数据的缺陷，其数据样本量大，属性标签丰富，识别用户在工作日非工作时段（21:00-07:00）及周末出现频次最多的地址即为居住地，用户在工作日工作时段（10:00-17:00）及周末出现频次最多的地址即为就业地。
- ② 本文大区和中区尺度以行政区和街道为基本单元，分别为16个、170个。小区尺度参考武汉市控规管理单元划定交通小区，主城区由649个交通小区构成，武汉市域由1217个交通小区构成。
- ③ 通勤中心不同于通勤圈，前者主要指通勤出行强度非常明显的就业吸引点或居住吸引点；后者主要指在围绕通勤中心的一定区域范围之内，以通勤中心为核心的区域其内部通勤出行总量与周边区域通勤出行总量的比值大于68%，即表示在此核心区域形成了相对集中的通勤出行范围。
- ④ 2016年底全市机动车和私人客车总量均有大幅增长（分别达到246.4万辆和193.6万辆），且道路交通流量和过江交通量也在快速增长（分别比2015年增长33.3%和19%）；与此同时，公共交通客运总量也比2015年增长9%（其中，轨道

交通比2015年增长26.2%）。

- ⑤ 武汉交通规划院的一份研究也支持这一观点，2014年武汉市5公里以内的出行中，机动车出行占到37%。

参考文献（References）

- [1] ALONSO W. Location and land use[M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1964.
- [2] CERVERO R. Jobs-housing balance and regional mobility[J]. Journal of the American Planning Association, 1989, 55(2): 136-150.
- [3] 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 home-work separation and the impacts of housing policy and urban sprawl: evidence from household survey data in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2): 157-166.)
- [4] CLARK W A V, BURT J. The impact of work place on residential relocation[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1980, 70(1): 59-67.
- [5] LAURENT G, HARRISS, YVES Z. The mechanisms of spatial mismatch[J]. Urban Studies, 2007, 44(12): 2401-2427.
- [6] HORNER M W. Extensions to the concept of excess commuting[J]. Environment and Planning, 2002, 34(3): 543-566.
- [7] HOUSTON D S. Methods to test the spatial mismatch hypothesis[J]. Economic Geography, 2005, 81(4): 407-434.
- [8] 胡娟, 胡忆东, 朱丽霞. 基于“职住平衡”理念的武汉市空间发展探索[J]. 城市规划, 2013, 37(8): 25-32. (HU Juan, HU Yidong, ZHU Lixia. Exploration on spatial development of Wuhan based on job-housing balance[J]. City Planning Review, 2013, 37(8): 25-32.)
- [9] 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. (HU Juan, ZHU Lixia, LUO Jing. Characteristics and evaluation of jobs-housing space of Wuhan[J]. Human Geography, 2014(3): 76-82.)
- [10] 黄建中, 胡刚钰, 赵民, 等. 大城市“空间结构-交通模式”的耦合关系研究——对厦

- 门的多前景模拟分析和讨论[J]. 城市规划学刊, 2017(6): 33-42. (HUANG Jianzhong, HU Gangyu, ZHAO Min, et al. On the inter-connection of spatial structure and traffic mode of mega-cities: multi-scenario simulation in Xiamen city[J]. Urban Planning Forum, 2017(6): 33-42.)
- [11] KAIN J F. Housing segregation, negro employment, and metropolitan decentralization quarterly[J]. Journal of Economics, 1968, 82(2): 175-197.
- [12] 李峰清, 赵民, 吴梦迪, 等. 论大城市“多中心”空间结构的“空间绩效”机理——基于厦门LBS画像数据和常规普查数据的研究[J]. 城市规划学刊, 2017(5): 21-32. (LI Fengqing, ZHAO Min, WU Mengdi, et al. Polycentric mega-city and its mechanism of spatial performance: findings from Xiamen based on LBS and census data[J]. Urban Planning Forum, 2017(5): 21-32.)
- [13] MANNING A. The real think theory: monosony in modern labor market[J]. Labour Economics, 2003, 10: 105-131.
- [14] MARTIN R W. Spatial mismatch and the structure of American metropolitan areas, 1970-2000[J]. Journal of Regional Science, 2004, 44(3): 467-488.
- [15] 钮心毅, 丁亮, 宋小东. 基于职住空间关系分析上海郊区新城发展状况[J]. 城市规划, 2017(8): 47-53+126. (NIU Xinyi, DING Liang, SONG Xiaodong. Analyzing suburban new town development in Shanghai from the perspective of job-housing spatial relationship[J]. City Planning Review, 2017(8): 47-53+126.)
- [16] KANAROGLOU P S, HIGGINS C D, CHOWDHURY T A. Excess commuting: a critical review and comparative analysis of concepts, indices, and policy implications[J]. Journal of Transport Geography, 2015, 44(2015): 13-23.
- [17] PENG Z R. The jobs-housing balance and urban commuting[J]. Urban Studies, 1997, 34(8): 1215-1235.
- [18] 强欢欢, 吴晓, 王慧, 等. “职住平衡”视角下新就业人员的职住空间平衡关系及其内在影响因素——以南京市主城区为例[J]. 城市规划学刊, 2016(4): 75-81. (QIANG Huanhuan, WU Xiao, WANG Hui, et al. Analysis of the job-housing balance for the newly employed—take the main city of Nanjing as an example[J]. Urban Planning Forum, 2016(4): 75-81.)
- [19] STOLL M A. Spatial mismatch, discrimination and male youth employment in the washington, DC area: implications for residential mobility policies[J]. Journal of Policy Analysis and Management, 1999, 18(1): 77-98.
- [20] SULTANA S. Job/housing unbalance and commuting time in the Atlanta Olitan exploration of causes of longer commuting time[J]. Urban Geography, 2002, 23(8): 728-749.
- [21] 孙斌栋, 李南菲, 宋杰洁, 等. 职住平衡对通勤交通的影响分析——对一个传统城市规划理念的实证检验[J]. 城市规划学刊, 2010(6): 55-60. (SUN Bindong, LI Nanfei, SONG Jiejie, et al. A study empirical on the impact of Job-Housing Test of a traditional idea in the balance on commuting travels: An field of urban planning[J]. Urban Planning Forum, 2010(6): 55-60.)
- [22] 孙斌栋, 魏旭红. 上海都市区就业——人口空间结构演化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(6): 747-758. (SUN Bindong, WEI Xuhong. Spatial distribution and structure evolution of employment and population in Shanghai metropolitan area[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(6): 747-758.)
- [23] THOMPSON M A. The impact of spatial mismatch on female labor force participation[J]. Economic Development Quarterly, 1997, 11(2): 138-145.
- [24] 王振坡, 系奇, 王丽艳, 等. 城市职住空间匹配特征及其影响因素研究——以天津市为例[J]. 城市发展研究, 2017(8): 23-28. (WANG Zhenpo, XI Qi, WANG Liyan, et al. Study on characteristics of job-housing spatial balance and its influencing factors: a case study in Tianjin[J]. Urban Development Studies, 2017(8): 23-28.)
- [25] 武汉市交通发展战略研究院. 2016年武汉市交通信息系统建设与维护报告[R]. 2016. (Wuhan Traffic Development Strategy Research Institute. Construction and maintenance report of Wuhan traffic information system in 2016[R]. 2016.)
- [26] 徐艺轩, 周锐, 戴刘冬, 等. 我国中部中等城市职住分离的空间差异及其影响因素——以漯河市为例[J]. 城市发展研究, 2014(12): 52-58. (XU Yixuan, ZHOU Rui, DAI Liudon, et al. Spatial differences and the impacts of the separation between jobs and residential locations: evidence from household survey data in Luohe city[J]. Urban Development Studies, 2014(12): 52-58.)
- [27] 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(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[J]. City Planning Review, 2016(10): 59-64.)
- [28] 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(8): 33-39. (ZHAO Hui, YANG Kaizhong, WEI Haitao, et al. Job-housing space restructuring and evolution of commuting patterns in Beijing metropolitan area[J]. City Planning Review, 2013(8): 33-39.)
- [29] 郑思齐, 徐杨菲, 张晓楠, 等. “职住平衡指数”的构建与空间差异性研究: 以北京市为例[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015(4): 475-483. (ZHENG Siqi, XU Yangfei, ZHANG Xiaonan, et al. Jobs-housing balance index and its spatial variation: a case study in Beijing[J]. Tsinghua Univ (Sci&Technol), 2015(4): 475-483.)
- [30] 周素红, 闫小培. 广州城市居住-就业空间及对居民出行的影响[J]. 城市规划, 2006(5): 13-18. (ZHOU Suhong, YAN Xiaopei. Relationship between urban residential space and employment space and impact on resident trip in Guangzhou[J]. City Planning Review, 2006(5): 13-18.)