

基于日常通勤流动的南京都市圈空间结构特征*

谢智敏 甄 峰 席广亮

提 要 以具有代表性的南京都市圈为研究对象,利用手机信令数据提取街镇尺度的居民日常通勤流动网络,通过网络分析方法构建网络中心性、网络联系和网络组团3个维度点线面的分析框架,进而开展多维度的都市圈空间结构研究。结果表明:①通勤流网络中心性形成“中心城区圈层扩散+县城点状散落分布”的总体格局,并以南京市为首形成“1+2+4+1+1”的5级发展梯队。②通勤流联系集中在3—7 km区间,在市区和县域内部分别倾向于多中心网络化与中心放射式的结构,跨城通勤集中在南京与镇江、马鞍山以及滁州市之间,呈现出在边界地区集聚以及南京市中心城区辐射带动的双重特征,南北纵向跨城联系则较为薄弱。③省市县多层级行政边界对都市圈城镇空间发展仍有明显的制约作用,跨界组团主要集中在江苏省境内。④目前南京都市圈呈现出单核驱动极化发展的总体特征,存在副中心等规模不足、跨界发展不均衡以及郊县发展相对孤立等主要问题,需要通过多方面措施持续推进都市圈迈向多心联动均衡发展的空间结构。

关键词 通勤流;空间结构;网络分析;手机信令数据;南京都市圈

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202205013
文章编号 1000-3363(2022)05-0090-09

作者简介

谢智敏,香港中文大学地理与资源管理学系博士研究生,南京大学建筑与城市规划学院硕士,779817904@qq.com

甄 峰,南京大学建筑与城市规划学院,江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室,教授,博士生导师,通信作者,zhenfeng@nju.edu.cn

席广亮,南京大学建筑与城市规划学院,副教授,硕士生导师

Spatial Structure of Nanjing Metropolitan Area: The Perspective of Daily Commuting Flow

XIE Zhimin, ZHEN Feng, XI Guangliang

Abstract: Using Nanjing metropolitan area as a representative case, the research maps the network of daily commuting flows at the subdistrict and the town level by extracting mobile phone signaling data. It further constructs the framework of network centrality, connection, and community by deploying methods of network analysis as well as carries out a multidimensional analysis of the metropolitan spatial structure. The research renders several results. Firstly, the central commuting flow network exhibits a pattern of "circle diffusion in the central area and sporadic point distribution in county towns", and in this spatial pattern, a "1+2+4+1+1" five-echelon structure can be discerned with Nanjing being positioned at the top. Secondly, length of commuting links mostly falls within the range of 3 km to 7 km, and links demonstrates polycentric networking features and central radial structure in urban and county areas respectively. In addition, inter-city commuting mostly happens between Nanjing and Zhenjiang, and between Ma'anshan and Chuzhou, exhibiting the dual characteristics of concentration in border areas and radiation from the central urban area of Nanjing. Thirdly, Administrative boundaries at multiple levels of provinces, cities, and counties have an obvious restrictive effect on commuting flows in the metropolitan area, and cross-border commuters are mainly concentrated in Jiangsu Province. Finally, Nanjing metropolitan area showcases the overall characteristics of polarized development driven by a single center, and it faces several main problems of insufficient size of sub-centers, imbalanced cross-border development, and relative isolation of suburban counties. The paper calls for the promotion of polycentric metropolitan structure through implementing various measures.

Keywords: commuting flow; spatial structure; network analysis; mobile phone signaling data; Nanjing metropolitan area

伴随着全球化、信息化和城镇化进程的不断深化,以都市圈和城市群等为表征的巨型城市区域^[1]逐渐崛起,成为各类资源配置的重点区域。近年来随着中国城镇化步入下半场,加之新常态阶段高质量发展与国土空间优化要求,都市圈在国家城镇化布局战略中的地位不断凸显,正逐渐成为城市群发展的核心载体。2019年国家发改委《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》便提出通过培育发展一批现代化都市

*国家社会科学重点基金:“综合承载和资源优化配置能力评估与提升策略研究”,(项目编号:20AZD040)

圈,为城市群高质量发展、经济转型升级提供重要支撑。2021年国家“十四五”规划纲要和2022年国家发改委《新型城镇化和城乡融合发展重点任务》均指出要依托城市群和都市圈来共同促进区域大中小城市和小城镇协同发展。

2021年2月,《南京都市圈发展规划》成为率先通过国家发改委批复的都市圈规划,此后1年内福州都市圈、成都都市圈、长株潭都市圈和西安都市圈规划等又相继获批。作为国家级都市圈,南京都市圈包含省界、市界、长江等多重边界阻隔,也是东部沿海发达地区联通内陆地区的重要桥梁,其空间发展存在的问题与相对应的优化策略具有较强的代表性,可以为全国其他地区不同都市圈发展提供借鉴。

而随着都市圈内部要素流动和一体化进程的加快,其空间结构日趋复杂化,这为研究和规划实践带来了新的挑战。在众多流动性要素之中,人流是承载、携带、激发各类要素流动的核心^[2],居民日常通勤流动作为一种相对稳定和高频的人流,不仅可以很好地反映城市功能^[3],也是分析城市区域多中心结构的重要指标^[4]。同时,通勤流与都市圈的内涵也高度相关,汪光焘等^[5]总结指出都市圈是一个或若干核心城市与周边城镇跨行政区划的协同发展,以一小时通勤圈和交通圈为主要范围。总体而言,通勤流是透视都市圈空间结构的重要维度,都市圈层面的通勤流分析方法和结论仍有待深化探索。

1 研究回顾

空间结构是地理学和城乡规划学研究中的核心话题,一般指社会经济及自然要素在空间上的分布位置、组合形式和相互关系^[6],根据研究尺度不同主要分为城市内部和区域两个层面。1990年代以后,在全球化和信息化的进一步作用下,流空间^[7]、全球城市^[8]和世界体系理论^[9]逐渐兴起,区域空间结构研究范式也逐渐从中心地范式下的形态、等级体系转换为流动范式下的网络结构、功能和联系^[10-11]。以GaWC和POLYNET小组为代表的全球学者开展了一系列区域交通网络、信息网络、知识网络、企业网络

等不同类型的研究^[12-16],积累了众多经典的分析方法,包括网络中心性、控制力、对称性、优势流法与组团检测算法等^[17-20]。近年来,手机信令数据和迁徙大数据等高精度高覆盖率的人类电子足迹数据不断涌现,促使城市区域空间研究进一步深化。在城市内部,人流已经被广泛应用于空间结构测度、功能区识别、活力评价以及交通发展等方面的研究^[21-28],区域层面的人流研究则主要聚焦在城镇体系和城市网络等方面^[29-30]。总体而言,流动性的视角为科学理性的空间规划提供了更好的理论基础,在大数据手段的广泛应用下,通过流辅助规划实践的应用价值也不断提升。

都市圈是都市区概念的延伸,最早源自1990年代美国统计局提出的“Metropolitan Area”,泛指一种中心城市向外拓展与外围地区一体化发展的一种新地域现象。此后都市圈概念逐渐引入国内,21世纪初张京祥等^[31]对都市圈空间组织形式做出了比较全面的阐述,强调其圈层式的结构特征。在都市圈空间结构研究方面,传统静态视角的相关研究主要聚焦在经济发展水平演化、城镇空间分形结构以及夜间灯光识别建成区空间分布特征等方面^[32-34]。伴随着区域流空间与城市网络理论的不深化,近年来都市圈流空间研究逐渐兴起,主要包括经济流^[35]、交通流^[36]、企业流^[37]与人流^[38-41]等,在大数据的促进下,都市圈人流研究方兴未艾。钮心毅等^[38-39]基于手机信令数据较早地开展了相应的探索,对都市圈跨城功能联系和公共中心体系等进行了较为全面的分析。赵鹏军等^[40]以京津冀地区为研究对象,基于手机信令数据提取通勤流和生活流,进而识别不同城市的都市影响圈范围。许劼等^[41]利用跨城人流网络分析方法识别出长三角地区不同都市圈范围,并进一步分析不同都市圈内部核心至边缘不同类型节点间空间联系的模式。总体而言,都市圈空间结构关注的焦点在于厘清中心—外围间的发展关系,相比于静态要素形态特征的解析,动态联系的刻画有助于更加深入地理解不同地区发展的动力机制。

综上,流动和网络已成为当下区域空间结构研究中的主流范式,但相关研

究多从企业、创新和交通出发进行探索,对于通勤流的分析相对较少,并且都市圈通勤流研究的关注重点往往局限于中心城市对外联系以及跨城联系方面,缺乏对于都市圈内部整体通勤流空间结构特征的综合分析。而由于都市圈介于城市与区域空间尺度的特殊性,传统以地级市或是区县行政单元开展的研究难以准确反映出都市圈空间结构的特点,需要借助大数据手段开展更小尺度更精细化的研究。因此,本文将以具有代表性的南京都市圈为例,深化大数据在都市圈层面的流空间分析思路和方法,利用手机信令数据开展街镇尺度的空间结构研究,在已有较为成熟的理论方法上构建网络中心性、网络联系以及网络组团3个维度点线面的主体分析框架,最后总结提炼出主要的特征、问题和规划建议。

2 研究设计

2.1 研究区域概况

南京都市圈是全国最早启动建设的“跨省都市圈”,东西横跨江苏省和安徽省两个省份,位于长江下游和长三角区域中部,连通东部中部两大板块、衔接长江淮河两大流域,具有十分重要的战略地位。如图1所示,南京都市圈规划范围涵盖南京、镇江、扬州、淮安、滁州、马鞍山、芜湖、宣城市全域以及常州市的金坛区和溧阳县,总面积6.6万km²,2019年末常住人口约3500万人。在道路交通方面,南京都市圈依托南京综合交通枢纽初步形成了较为完善的高速公路和铁路网络。在空间结构规划方面,《南京都市圈发展规划》(下文简称《规划》)提出将致力于构建“一极两区四带多组团”的空间格局,以南京市为一极,加强宁马滁和宁镇扬片区同城化发展,向外辐射形成沪宁合、沿江、宁淮宣、宁杭滁四条发展带,形成多个县城和重点镇组团。本文将以都市圈规划范围内833个乡镇街道为研究单元,结合日常通勤流动、规划导向以及相关政策进行综合分析。

2.2 数据来源与处理

研究所使用数据主要包括2020年南

京都市圈的手机信令数据以及社会经济统计数据。其中手机信令数据是由移动通信运营商中国联通所提供的2020年11月9日—15日期间经过乡镇街道空间聚合后的数据,确保用户隐私和安全。通过统计用户白天最长驻留时间和夜间最长驻留时间的地点来分别确定居住地和工作地,经过样本扩样后提取各乡镇街道全量居住人口数量和一周内不同乡镇街道之间通勤人次总量。此外,计算发现区县居住人口数量和全国第七次人口普查常住人口数量的皮尔逊相关性指数高达0.91,两者之间具有显著的相关性,说明手机信令数据具有较高的准确性。

2.3 研究思路与方法

研究分为四个部分,第一部分为通勤流网络中心性分析,包括中心性的总体空间分布特征以及各城市街镇中心性数值高低分布曲线的对比分析,以明晰南京都市圈空间发展的等级特征。第二部分为通勤流网络联系分析,包括整体联系以及筛选后的跨城联系的空间分布特征,并对整体以及跨城通勤人次在不同距离区间上的分布曲线进行对比分析,进而评估都市圈通勤联系的集聚范围以及跨界发展的均衡性。第三部分开展多分辨率的网络组团划分,识别出各大城镇空间组团,进而分析省市县行政边界以及地理阻隔对都市圈城镇空间发展的影响。第四部分,在上述分析基础上总结南京都市圈空间结构存在主要问题并提出相应的规划建议。

在研究方法方面,将街镇间一周双向通勤人次总量的平均值作为网络联系强度,进而构建无向加权网络,在此基础上使用网络中心性、探索性空间数据分析以及组团检测算法等进行分析。网络中心性为各街镇单位面积与其他街镇网络联系强度之和,以消除街道与乡镇面积差异较大的影响。探索性空间数据分析则通过GIS平台自然间断点分级法以及局部空间自相关分析(LISA聚类)对网络中心性以及网络联系的空间分布特征进行可视化分析,其中LISA聚类的空间权重矩阵以空间单元的欧式距离为基础通过反距离法进行确定。组团检测算法选取Blondel等^[19]提出的一种基于模块度和分辨率不断迭代的Fast Unfolding算

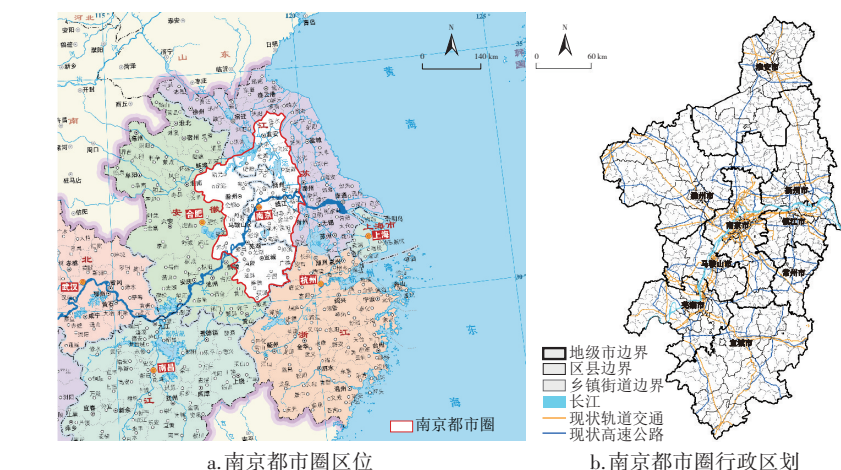


图1 南京都市圈区位与行政区划 (区位底图审图号: GS (2016) 1605号)
Fig.1 Location and administrative division of Nanjing Metropolitan Area

法,该方法已被广泛应用于全球不同国家和地区,能够快速地对大规模网络进行组团划分。当模块度在0.3—0.7之间说明组团划分的效果较好,通过分辨率的调整可以进一步挖掘出网络中不同尺度大小的组团^[42-43],本文根据已有研究选取0.5分辨率和1.0分辨率进行对比分析。

3 结果分析

3.1 南京都市圈通勤流网络中心性特征

3.1.1 空间分布特征

基于自然间断点分级法,将都市圈各街镇网络中心性划分成10个层级并在GIS中直观分析其相对应的空间分布特征。如图2(a)所示,形成“中心城区向外围圈层扩散+县城点状散落分布”的总体格局。其中通勤高度集聚的地区如表1所示,主要位于南京市中心城区内部的新街口核心商圈、日益发展成熟的河西新城市中心以及信息产业集中的中国(南京)软件谷;通勤较高集聚的地区一方面分布在南京市通勤核心地区以外绕城环线以内,另一方面在马鞍山、芜湖、镇江、扬州以及淮安市中心城区的内部核心地带也形成了一定的规模,滁州市和宣城市中心城区则缺乏相应的通勤高度集聚区,反映出这两座城市在产业经济发展方面存在的滞后性;通勤中度集聚的地区主要分布在中心城区的内边缘,是各城市近年来新城发展的重点地区,如南京市江北新城与东山新城、扬州市西区新城以及马鞍山市城南高铁

新城等;通勤较低集聚的地区则环绕分布在中心城区的外边缘,形成了一系列环城发展带,是城乡过渡的关键地区;通勤集聚程度最低的地区呈现明显的县域集中的特点,不同地级市的市区和县域在通勤人口的吸纳方面形成巨大的落差,而各县域内部又形成明显的核心边缘结构,进而构成都市圈城、镇、村3个发展梯度。此外,进一步分析各街镇通勤流网络中心性LISA聚类结果的分布特征。如图2(b)所示,都市圈内部形成五大通勤热点区域,与南京市、马鞍山市、芜湖市、扬州市以及淮安市中心城区的范围大致相符,其中南京中心城区空间规模最大,江北新城与江南主城区形成跨江连绵发展的态势,镇江、滁州与宣城中心城区仍有待进一步发展。通勤冷点区域则连片集中分布在都市圈南北两端以及地级市、区县的交界地区,承担较多的生态保护任务,并且基础设施建设方面也较为滞后,是促进都市圈一体化协调发展的关键地区。

3.1.2 不同城市内部通勤流网络中心性分布差异

对都市圈各城市内部街镇通勤流网络中心性的分布特征进行对比分析,如图3所示,一方面均倾向于指数分布,即在由高等级核心街镇向低等级街镇过渡的过程中存在较多中等级的次中心节点,反映出都市圈各城市多中心化发展的共同趋势。另一方面不同城市间也存在一定的差异性,总体上形成“1+2+4+

1+1”的5个发展梯队。第一梯队的南京市与其他城市之间存在较大的整体差距，其内部通勤流网络中心性的最高值两倍多于位居第二的马鞍山市；常州市由于其中心城区并未划定进入南京都市圈范畴，其街镇通勤流网络中心性最低，属于第五梯队。第二梯队为芜湖市和马鞍山市，街镇整体等级规模相对于除南京市以外的其他城市占明显优势，其中芜湖市尽管核心街镇能级落后于马鞍山市，但其内部存在大量的中高等级街镇，中心城区整体的规模较大，空间结构更为舒展扁平化。第三梯队的淮安、扬州、镇江和滁州市从街镇规模到分布特征上较为相似，其中滁州市与淮安市的核心街镇能级相对较高，但滁州市内部中等等级街镇相对较少，空间发展更为极化，而镇江市中低等级街镇数量较为不足，影响了其城市空间的进一步发展。第四梯队为宣城市，其内部仅有单个核心街镇能级接近于第三梯队，由此往下便迅速衰减，其他节点发展能级严重不足，说明宣城市发展相对其他城市较为滞后，中心城区仍处于早期要素集聚阶段，尚未充分发挥扩散带动作用。

3.2 南京都市圈通勤流网络联系特征

3.2.1 整体通勤联系强度空间分布特征

将不同距离上的通勤人次数量进行汇总，如图4所示，可以发现南京都市圈内部以短距离通勤出行为主，高度集中在3—7 km范围，超出7 km后通勤人次数量迅速减少，而在40 km以外就趋近于0。在此基础上，将联系强度进行5级自然间断点分类，如图5（a）所示，可以发现通勤流联系在空间分布上主要集中在市域内部，且市区和县域表现出了不同的结构特征。一方面跨城联系强度与市域内部联系强度差异较大，仅有部分地区突破了行政壁垒的约束作用，形成了与市域内部联系相当的高强度跨城通勤流，如南京江宁区的汤山街道与镇江句容市的开发区、南京浦口区的永宁街道与滁州来安县的汊河街道以及南京江宁区的江宁街道与马鞍山花山区的慈溪乡等，由此也可以看出南京市在引领都市圈同城化发展方面仍有较大提升空间。再则，市区和县域内部空间联系结构呈现出多中心网络式和中心放射式

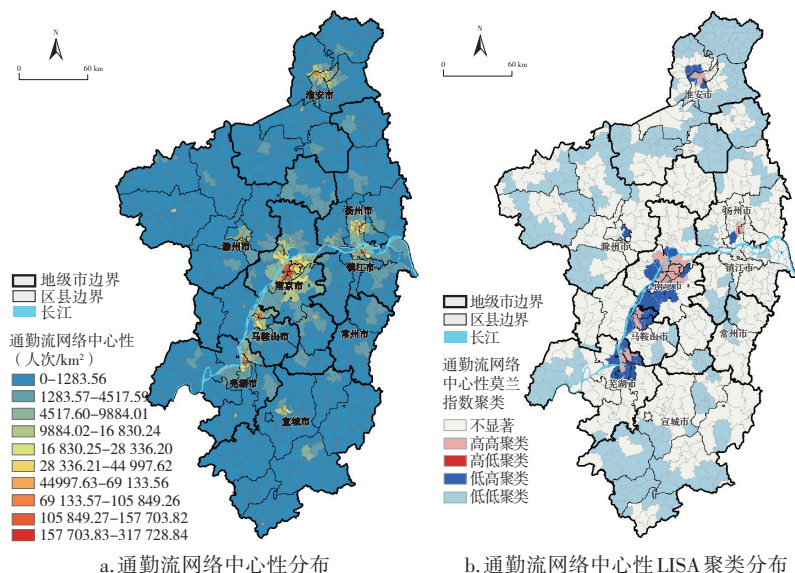


图2 南京都市圈通勤流网络中心性及其LISA聚类分布
Fig.2 The distribution of commuting flow network centrality and its LISA clusters in Nanjing Metropolitan Area

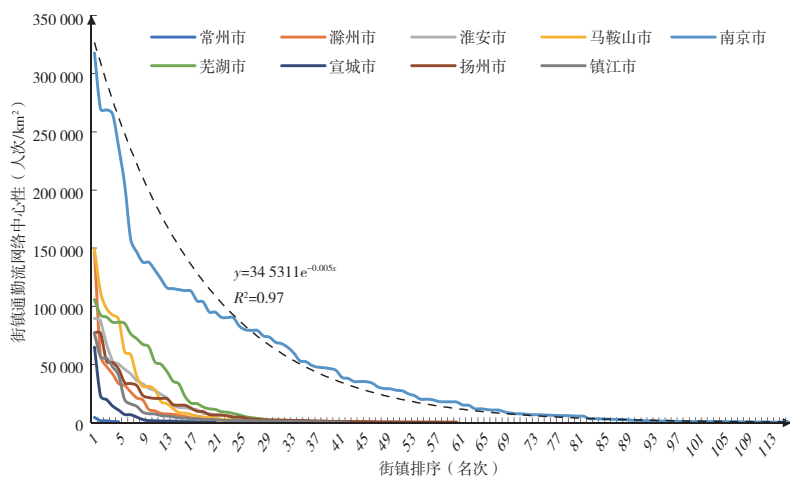


图3 不同城市内部通勤流网络中心性分布曲线
Fig.3 Distribution of centrality of commuting flow network within different cities

表1 南京都市圈通勤流网络核心街镇

Tab.1 The core subdistricts and towns in the commuting flow network of Nanjing Metropolitan Area

街镇单元	网络中心性 (万人次/km ²)	排序	街镇单元	网络中心性 (万人次/km ²)	排序
南京市五老村街道	31.77	1	南京市双塘街道	13.79	12
南京市湖南路街道	26.97	2	南京市建宁路街道	13.12	13
南京市华侨路街道	26.89	3	南京市宁海路街道	12.37	14
南京市朝天宫街道	26.53	4	南京市莫愁湖街道	11.60	15
南京市新街口街道	23.71	5	南京市夫子庙街道	11.53	16
南京市洪武路街道	20.48	6	南京市建邺区江东商业文化旅游中心区	11.43	17
南京市沙洲街道	15.77	7	南京市南苑街道	11.35	18
马鞍山市桃源路街道	14.90	8	南京市江东街道	11.30	19
滁州市经济技术开发区	14.69	9	马鞍山市解放路街道	11.23	20
南京市中国（南京）软件谷	14.67	10	芜湖市滨江公共服务中心	10.58	21
南京市中央门街道	13.80	11			

两种形态。其中市区内部中心城区往往与其邻近区域的重点镇形成紧密交织的联系,进而带动周边区域形成一体化的大都市区,如南京江宁区、六合区与浦口区共同融入了中心城区的联系网络之中,扬州市中心城区向东与江都区仙女镇形成紧密的联系,芜湖市中心城区与芜湖区湾沚镇等。而县域往往以县城为单一极化中心,县域与中心城区以及相邻县域之间的联系相对薄弱,造成县域发展相对孤立。值得注意的是,依托发达的轨道交通,南京市北部中心城区与南部的溧水区和高淳区等也形成了长距离较高强度的通勤联系,这也将促使南京市全域实现高水平的城镇化,由此其外围的街镇将在南京都市圈跨界一体化发展中承担更大的作用。

3.2.2 跨城通勤联系强度空间分布特征

基于整体联系的分析结果,进一步对比分析街镇跨城通勤联系强度空间分布特征。如图4所示,跨城联系相比于整体联系在距离分布上具有较多的波动,在10 km、20 km、40 km以及50 km等近中远不同距离处形成多个波峰,反映跨城发展出现一定程度的由边界毗邻地区向市域内部渗透的趋势。结合GIS空间分析(图5(b))可以发现,跨城联系呈现出在边界接壤地区集聚以及南京市中心城区辐射带动的双重特征。其中南京市边界地区分布有大量的跨城联系,同时中心城区跨城通勤流动分别向西北、西南、东北3个方向聚集,推动南京与镇江、马鞍山以及滁州率先形成同城化发展的趋势。统计高强度的跨城街镇联系对(表2)可以进一步发现,南京市与马鞍山市以及滁州市的跨城联系以交界毗邻街镇的联系为主,镇江与南京的跨城联系则存在更多非毗邻街镇的紧密联系,南京市中心城区向东拓展形成的新城较好地促进了宁镇一体化发展。此外,马鞍山与芜湖、镇江与常州等在边界地区也形成了较强的通勤流动。总体而言,宁镇滁马四市构成南京都市圈同城化发展的核心地区,而都市圈南北纵向的联系仍然较为薄弱。

3.3 南京都市圈通勤流网络组团划分

不同分辨率结果表明,省市县多层级行政边界对南京都市圈城镇空间发展

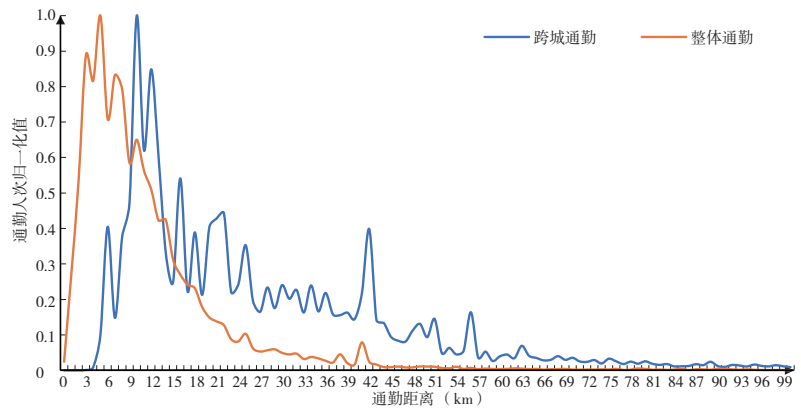


图4 不同距离区间整体通勤和跨城通勤人次归一化值

Fig.4 Normalized values of overall commuting and inter-city commuting trips in different distance intervals

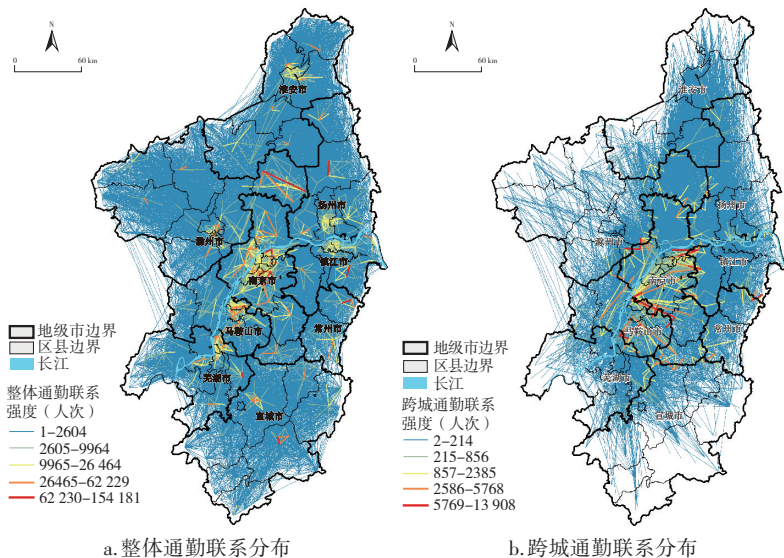


图5 南京都市圈整体通勤联系和跨城通勤联系分布

Fig.5 The distribution of overall commuting and inter-city commuting links in Nanjing Metropolitan Area

表2 高强度跨城通勤联系

Tab.2 High-intensity inter-city commuting links

联系对名称	联系强度(人次)	排序
马鞍山市慈湖乡—南京市江宁街道	13 908	1
滁州市汉河镇—南京市永宁街道	12 660	2
镇江市开发区—南京市汤山街道	10 853.5	3
马鞍山市当涂经济开发区—芜湖市龙山街道	10 494.5	4
马鞍山市慈湖乡—南京市石湫镇	10 397	5
镇江市宝华镇—南京市仙林街道	10 004.5	6
马鞍山市丹阳县—南京市横溪街道	8430	7
马鞍山市姑孰镇—芜湖市龙山街道	8192.5	8
滁州市乌衣镇—南京市永宁街道	7564	9
芜湖市龙山街道—马鞍山市年陡镇	7484.5	10
镇江市宝华镇—南京经济技术开发区	7048	11
镇江市皇塘镇—常州市开发区	6780	12
马鞍山市博望镇—南京市石湫镇	6508.5	13
芜湖市龙山街道—马鞍山市太白镇	5767.5	14

仍有明显的限制作用, 跨界发展组团多集中在江苏省并仍有待进一步培育拓展。在1.0分辨率情景下, 南京都市圈通勤流网络划分出11个组团(图6(a)), 模块度为 $0.756 > 0.3$, 划分效果较为理想。从边界约束角度来看, 安徽省境内的马鞍山市、芜湖市以及滁州市表现为明显的内生发展特征, 难以跨越省界和市界形成城镇组团, 扬州市与其同省且接壤的镇江市和南京市也并未形成密切的通勤联系。而在跨界发展方面, 南京北部市区与东部的句容市形成一个发展组团, 南京市南部的溧水高淳两区与宣城市北部边界的街镇形成融合发展态势, 扬州市北部的宝应县与其邻近的淮安市金湖县形成一个较小的组团, 常州市溧阳市和金坛区与宣城市的郎溪县和广德县联系紧密, 在现实中郎溪县近年来通过苏皖合作示范区的建设逐步加强和溧阳市的合作, 包括在两地交界地区建设郎溪经济开发区等, 这与通勤流动的趋势相吻合。在0.5分辨率情景下, 都市圈通勤流网络被进一步分割和重组, 形成22个组团(图6(b)), 模块度为 $0.318 > 0.3$, 划分结果可信度也相对较高。对比1.0分辨率结果可以发现, 除市域行政边界限制之外, 市域内部的市区以及县域之间同样存在较为明显的空间发展边界, 反映出自上而下由行政边界主导的多层级城镇空间发展形态。其中马鞍山市内部市区与县域之间联系较为紧密, 市域一体化发展程度相对较高, 滁州市、芜湖市、宣城市以及镇江市呈现出明显的围绕市区的“一体两翼”的空间结构, 扬州市、淮安市和南京市由于南北地形狭长更多表现为“南北市县分割”的空间结构。值得注意的是, 南京市内部以老城区为核心进一步分化形成多个扇面式的组团, 城市内部的多中心外向发展趋势较为明显。其中北侧为江北新区, 其与江南主城在长江的地理阻隔和原先政策的倾向性影响下仍然存在一定的割裂性, 南侧为东山新城与禄口新城, 与邻近的马鞍山市的联系仍相对不足, 东侧为紫东新城, 与句容市宝华镇形成一个紧密的组团, 在G312科创走廊建设战略的促进下, 未来该组团将形成人流汇集与科技创新的叠合优势, 从而进一步加快宁镇一体化进程。

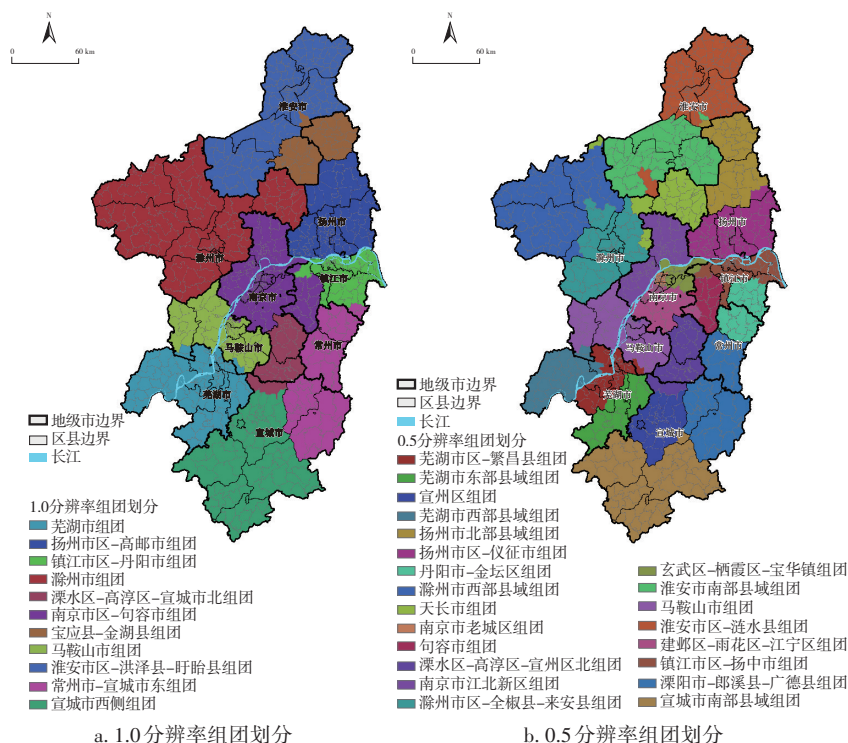


图6 不同分辨率下南京都市圈通勤流网络组团划分

Fig.6 Community division of commuting flow network in Nanjing Metropolitan Area under different resolutions

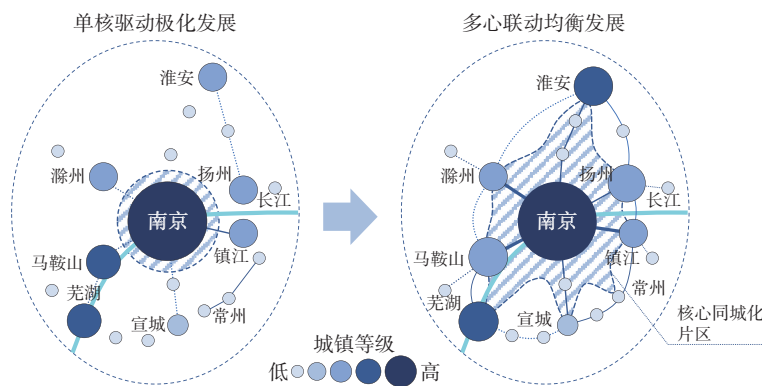


图7 南京都市圈空间结构优化示意图

Fig.7 The spatial structure optimization of Nanjing Metropolitan Area

3.4 南京都市圈空间结构存在问题与规划建议

3.4.1 存在问题

综合上述分析结果, 可以发现目前南京都市圈空间结构呈现出单核驱动极化发展的总体特征(图7), 具体存在以下3点问题。①副中心等级规模不足。通勤流网络中心性分析结果表明南京都市圈呈现出以南京市为绝对核心的城镇等级体系, 以芜湖和马鞍山为代表的副中心仍与南京市发展存在较大差距。事

实上, 根据第七次人口普查, 在中心城区人口规模不超过1000万人的特大城市中, 南京位列第六名, 落后于武汉、东莞、西安、杭州和佛山等城市, 而根据国家发改委近年来颁布的都市圈发展规划, 南京都市圈的地域面积位居前列, 这就导致南京都市圈空间结构发展呈现出一定程度的“小马拉大车”现象。此外, 由于都市圈南北两端缺乏较高能级的副中心, 致使空间结构的整体框架无法有效拉开, 严重影响都市圈的一体化

进程。②跨界发展不均衡。一方面南京都市圈作为跨省都市圈,安徽省境内城市的跨界通勤联系还较为薄弱,无法充分参与都市圈内部整体的要素流通循环体系。另一方面,南京市目前的跨界发展主要以东侧的镇江市为主,与东侧同样毗邻的扬州市联系薄弱,西侧尽管与滁州市和马鞍山市也形成了一定的联系,但仍未充分突破省级行政壁垒的桎梏,南北两侧的联系则存在明显不足,其中南侧依托快速轨道交通以及溧水高淳副城的建设有望在未来充分带动宣城市与溧阳市的发展,北侧由于长江地理阻隔以及六合副城发展不足,与天长市以及淮安市之间的联动发展仍面临较大困境。③郊县发展相对孤立。根据通勤流联系强度和网络组团的划分结果可以发现,尽管市域是都市圈居民日常通勤流动的主要基本单元,但市域内部城镇空间仍然可以进一步细分为若干组团,并且表现出市区与县域明显割裂的发展态势,对于都市圈内部城市新空间建设以及城乡融合发展等均会产生一定程度的制约作用。

3.4.2 规划建议

由此,结合现有规划,本文认为未来应持续推进南京都市圈形成多心联动均衡发展的空间结构(图7),具体可以从以下3个方面进行优化提升。①推动南京建设国家中心城市,培育强副中心城市。一方面推动核心城市南京建设国家级中心城市,完善江北新区、紫东新城、汤山新城以及板桥新城的建设,使其成为联系滁州市、镇江市和马鞍山市的枢纽节点,不断加强宁马滁和宁镇扬同城化片区内部交通、公共服务以及产业等方面的协作,形成跨城发展的大都市空间,综合提高南京在区域中的竞争力。另一方面促进芜湖市、淮安市建设成为都市圈内部强副中心城市,充分发挥其现状城市规模优势和地理位置特点,加强对都市圈南北两端边缘地区的辐射带动,促使都市圈空间发展更为均衡化;②构建“四廊道+双环线”的综合交通体系,提升都市圈同城化水平。一是加快完善沿江和过江通道建设,重点推进南京市与毗邻的扬州市沿江轨道交通和高速公路的建设。二是依托高速公路建设缩小都市圈南北两端地区与核心地区的

时空距离,充分放大宁淮宣发展带沿线优质的生态旅游资源优势,打造城市居民周末游的休闲观光带。三是加快沪宁合发展带和宁杭滁发展带沿线快速路的改扩建,强化南京都市圈与合肥、上海以及杭州都市圈的联系。四是基于南京市绕城公路环线和绕城高速公路环线向外进一步扩展形成两条串联都市圈内外地区发展的高速环线通道,增强都市圈内部江苏和安徽境内地区的联系,进一步提升南京市向外的辐射能力。③加快推进城乡融合发展。一方面持续提高都市圈内部县县的本地城镇化水平,促进县域资源要素适度向县城聚集,培育壮大县城规模,提高县域产业布局、基础设施建设和公共服务配套的效率,缩小县域与邻近大中城市的发展差距。另一方面加强县城之间以及县城与中心城区的交通联系,以县城为支点加强乡村与城市的要素流通,由市域向都市圈层面逐步实现城乡融合发展。

4 结语

基于大数据技术,通过复杂网络分析方法构建点、线、面的分析框架来解构人流要素,深入挖掘南京都市圈街镇尺度的空间结构特征,主要发现如下:①通勤流网络中心性形成“中心城区向外围圈层扩散+县城点状散落分布”的总体格局,并以南京市为首形成“1+2+4+1+1”的5级梯队。②都市圈内部仍以3~7 km短距离通勤出行为主,通勤联系在空间分布上主要集中在市域内部,并且市区和县域分别形成多中心网络化和中心放射式的差异化结构,跨城通勤则主要集中在南京市与镇江市、马鞍山与滁州市之间,并呈现出在边界地区集聚以及南京市中心城区辐射带动的双重特征,都市圈南北纵向的联系则较为薄弱。③省市县多层级行政边界对都市圈城镇空间发展仍有明显的限制作用,跨界发展组团多集中在江苏省内并仍有待进一步培育拓展。④目前南京都市圈呈现出单核驱动极化发展的总体特征,存在副中心等级规模不足、跨界发展不均衡以及郊县发展相对孤立等主要问题,需要通过城镇体系优化、交通体系建设、城乡融合发展等多方面措施持续推进都市圈近

向多心联动的空间结构。

通过街镇尺度精细化的通勤流动分析,本文发现了南京都市圈空间由城市内部到区域扩展、联系以及融合的多维度特征,较好地解析了城与镇的空间关系和发展差异,能够更好地辅助都市圈空间的精细化治理。此外,可以发现中心地理论在县城乡镇层面的适用性较强,城市层面则更加偏向非本地化的流空间关系,这进一步彰显了从流动性视角审视都市圈空间发展的必要性,这也与Taylor^[1]提出的将中心地与流空间相结合的中心流理论相契合。最后,对比国内外不同都市圈空间结构的分析结论,南京都市圈相比于上海以及东京都市圈的多中心网络化发展,更加倾向于和北京都市圈类似的单中心极化发展,许劼等^[4]的研究表明南京都市圈内部核心城市对于次中心城市具有较强的控制力,次中心的自主性和影响力仍有待提升,这也佐证了本文的分析结论。

囿于时间和个人精力的限制,本研究仍存在相应的不足,有待后续研究进一步深化拓展。一是对都市圈通勤流空间结构背后的产业经济、基础设施、绿色生态等影响要素缺乏更深入的耦合分析,难以更好地支撑不同地区空间发展的多元化策略。二是未充分挖掘手机信令数据的目的性,分析都市圈不同地区通勤流和休闲流的差异化特征等。

文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

参考文献

- [1] HALL P, PAIN K. The polycentric metropolis: learning from mega-city regions in Europe[M]. London: Routledge, 2006.
- [2] 罗桑扎西,甄峰,张珊珊.复杂网络视角下的城市人流空间概念模型与研究框架[J].地理研究, 2021, 40(4): 1195-1208. (LUO Sangzhaxi, ZHEN Feng, ZHAN Shanqi. A conceptual model and methodological framework for examining urban people flow space based on complex network perspective[J]. Geographical Research, 2021, 40(4): 1195-1208.)
- [3] RAIN D R. Commuting directionality, a functional measure for metropolitan and nonmetropolitan area standards[J]. Urban Geography, 1999, 20(8): 749-767.

- [4] BURGER M J, DE GOEI B, VAN DER LAAN L, et al. Heterogeneous development of metropolitan spatial structure: evidence from commuting patterns in English and Welsh city-regions, 1981 - 2001[J]. Cities, 2011, 28(2): 160-170.
- [5] 汪光焘, 李芬, 刘翔, 等. 新发展阶段的城镇化新格局研究: 现代化都市圈概念与识别界定标准[J]. 城市规划学刊, 2021(2): 15-24. (WANG Guangtao, LI Fen, LIU Xiang, et al. (New patterns of urbanization in the new development stage: the concept and identification standards of modern metropolitan areas[J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 15-24.)
- [6] 吴传钧, 刘建一, 甘国辉. 现代经济地理学[M]. 南京: 江苏教育出版社, 1997. (WU Chuanjun, LIU Jianyi, GAN Guohui. Modern economic geography[M]. Nanjing: Jiangsu Education Press, 1997.)
- [7] CASTELLS M. The informational city: information technology, economic restructuring and the urban-regional progress [M]. Oxford U K & Cambridge USA: Blackwell, 1989: 146.
- [8] SASSEN S. The global city: Introducing a concept[J]. Brown Journal of World Affairs, 2005, 11(2): 27-44.
- [9] WALLERSTEIN I. The modern world-system I[M]. University of California Press, 2011.
- [10] BATTEN D F. Network cities: creative urban agglomerations for the 21st century [J]. Urban Studies, 1995, 32(2): 313-327.
- [11] TAYLOR P J. External urban relational process: introducing central flow theory to complement central place theory[J]. Urban Studies, 2010, 47(13): 2803-2818.
- [12] DERUDDER B, WITLOX F, FAULCONBRIDGE J, et al. Airline data for global city network research: reviewing and refining existing approaches[J]. Geo-Journal, 2008, 71(1): 5-18.
- [13] 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[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(8): 1031-1043.)
- [14] LIU J, CHAMINADE C, ASHEIM B. The geography and structure of global innovation networks: a knowledge base perspective[J]. European Planning Studies, 2013, 21(9): 1456-1473.
- [15] 张艺帅, 赵民, 王启轩, 等. “场所空间”与“流动空间”双重视角的“大湾区”发展研究: 以粤港澳大湾区为例[J]. 城市规划学刊, 2018(4): 24-33. (ZHANG Yishuai, ZHAO Min, WANG Qixuan, et al. On the development of “Great Bay Area” from the perspective of “space of place” and “space of flow”: case study of Guangdong, Hongkong and Macao Bay Area[J]. Urban Planning Forum, 2018(4): 24-33.)
- [16] 张艺帅, 赵民, 程遥. 我国城市群的识别、分类及其内部组织特征解析: 基于“网络联系”和“地域属性”的新视角[J]. 城市规划学刊, 2020(4): 18-27. (ZHANG Yishuai, ZHAO Min, CHENG Yao. Identification and classification of urban clusters in China: the perspectives of network connections and local attributes[J]. Urban Planning Forum, 2020(4): 18-27.)
- [17] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. Social networks, 1978, 1(3): 215-239.
- [18] WHEELER J O, MITCHELSON R L. Information flows among major metropolitan areas in the United States[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1989, 79(4): 523-543.
- [19] BLONDEL V D, GUILLAUME J L, LAMBIOTTE R, et al. Fast unfolding of communities in large networks[J]. Journal of Statistical Mechanics. Theory & Experiment, 2008(10): 155-168.
- [20] LIMTANAKOOL N, SCHWANEN T, DIJST M. Developments in the Dutch urban system on the basis of flows[J]. Regional Studies, 2009, 43(2): 179-196.
- [21] ZHI Y, LI H, WANG D, et al. Latent spatio-temporal activity structures: a new approach to inferring intra-urban functional regions via social media check-in data[J]. Geo-spatial Information Science, 2016, 19(2): 94-105.
- [22] 张艳, 辜智慧, 周维. 大城市职住空间匹配及其与轨道交通的协调发展研究: 以深圳市为例[J]. 城市规划学刊, 2018(1): 99-106. (ZHANG Yan, GU Zhihui, ZHOU Wei. Spatial match of jobs-housing and the rail transit's role in commuting metropolises: a case study of Shenzhen[J]. Urban Planning Forum, 2018(1): 99-106.)
- [23] 郭亮, 毕瑜菲, 黄建中, 等. 大城市职住空间特征的多尺度比较与分析: 以武汉为例[J]. 城市规划学刊, 2018(5): 88-97. (GUO Liang, BI Yufei, HUANG Jianzhong, et al. Multi-scale comparison and analysis of jobs-housing spatial characteristics in big cities: taking Wuhan as an example[J]. Urban Planning Forum, 2018(5): 88-97.)
- [24] 王雅娟, 屈信, 张尚武. 规划研究视角的特大城市通勤空间紧凑性评价方法: 以济南市为例[J]. 城市规划学刊, 2018(6): 61-68. (WANG Yajuan, QU Xin, ZHANG Shangwu. Exploration on planning-oriented evaluation method of commuting space compactness in mega-cities: a case study of Jinan city[J]. Urban Planning Forum, 2018(6): 61-68.)
- [25] 王德, 任熙元. 日常流动视角下的上海市实有人口分布与流动性构成[J]. 城市规划学刊, 2019(2): 36-43. (WANG De, REN Xiyuan. Distribution and composition of actual population in urban space from daily human mobility view[J]. Urban Planning Forum, 2019(2): 36-43.)
- [26] 罗桑扎西, 甄峰. 基于手机数据的城市公共空间活力评价方法研究: 以南京市公园为例[J]. 地理研究, 2019, 38(7): 1594-1608. (LUO Sangzhaxi, ZHEN Feng. How to evaluate public space vitality based on mobile phone data: an empirical analysis of Nanjing's parks[J]. Geographical Research, 2019, 38(7): 1594-1608.)
- [27] 范佳慧, 张艺帅, 赵民, 等. 广州市空间结构与绩效研究: 职住空间的视角[J]. 城市规划学刊, 2019(6): 33-42. (FAN Jiahui, ZHANG Yishuai, ZHAO Min, et al. On the spatial structure and performance of Guangzhou: a perspective of job-housing space[J]. Urban Planning Forum, 2019(6): 33-42.)
- [28] 李峰清, 赵民, 黄建中. 论大城市空间结构的绩效与发展模式选择[J]. 城市规划学刊, 2021(1): 18-27. (LI Fengqing, ZHAO Min, HUANG Jianzhong. The performance of spatial structure and the choice of development model of mega-city[J]. Urban Planning Forum, 2021(1): 18-27.)
- [29] 钮心毅, 王焱, 丁亮. 利用手机信令数据测度城镇体系的等级结构[J]. 规划师, 2017, 33(1): 50-56. (NIU Xinyi, WANG Yao, DING Liang. Measuring urban system hierarchy with cellphone signaling[J]. Planners, 2017, 33(1): 50-56.)
- [30] 王录仓, 刘海洋, 刘清. 基于腾讯迁徙大数据的中国城市网络研究[J]. 地理学报, 2021, 76(4): 853-869. (WANG Lucang, LIU Haiyang, LIU Qing. China's city network based on Tencent's migration big data[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(4): 853-869.)
- [31] 张京祥, 邹军, 吴启焰, 等. 论都市圈地域空间的组织[J]. 城市规划, 2001(5): 19-23. (ZHANG Jingxiang, ZHOU Jun, WU Qiyang, et al. On the spatial organization of the metropolitan area[J]. Urban Planning Forum, 2001(5): 19-23.)
- [32] 唐伟, 钟祥浩. 成都都市圈县域经济时空差异及空间结构演变[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(7): 732-738. (TANG Wei, ZHONG Xianghao. Evolution of economic spatial-temporal disparities and spatial economic structure in Chengdu metropolitan region[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(7):

- 732-738.)
- [33] 闫广华. 沈阳都市圈的范围及城镇空间分布的分形研究[J]. 地理科学, 2016, 36(11): 1736-1742. (YAN Guanghua. Geographic area and fractal study of towns spatial distribution of Shenyang metropolitan area[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(11): 1736-1742.)
- [34] 蒋凯, 胥晓毓, 李政寰. 城镇体系识别及空间结构特征比较: 以北京、上海、东京都市圈为例[J]. 城市发展研究, 2020, 27(4): 55-61+2. (JIANG Kai, ZAN Xiaoyu, LI Zhenghuan. Identification of urban system and comparison of spatial structure characteristics: a case study of Beijing, Shanghai and Tokyo metropolitan areas[J]. Urban Development Studies, 2020, 27(4): 55-61+2.)
- [35] 陈晓华, 吴仕婧. 南京—合肥双都市圈区域空间格局研究: 基于城市流的视角[J]. 华东经济管理, 2021, 35(11): 35-44. (CHEN Xiaohua, WU Shiqiang. Research on the regional spatial pattern of Nanjing-Hefei double metropolises: based on the perspective of urban flow[J]. East China Economic Management, 2021, 35(11): 35-44.)
- [36] 韩艳红, 陆玉麒. 基于时间可达性的城市吸引范围演变研究: 以南京都市圈为例[J]. 人文地理, 2014, 29(6): 95-103. (HAN Yanhong, LU Yuqi. Evolution of the city attracting scope based on time accessibility: a case study of Nanjing metropolitan area[J]. Human Geography, 2014, 29(6): 95-103.)
- [37] 田琳. 生产性服务业分工视角下的上海都市圈产业空间组织演进[J]. 城市规划学刊, 2021(3): 104-111. (TIAN Lin. Evolution of the space economy of Shanghai metropolitan area: the perspective of producer service[J]. Urban Planning Forum, 2021(3): 104-111.)
- [38] 钮心毅, 王焱, 刘嘉伟, 等. 基于跨城功能联系的上海都市圈空间结构研究[J]. 城市规划学刊, 2018(5): 80-87. (NIU Xinyi, WANG Yao, LIU Jiawei, et al. Spatial structure of Shanghai conurbation area from perspective of inter-city functional links[J]. Urban Planning Forum, 2018(5): 80-87.)
- [39] 钮心毅, 康宁, 李萌. 都市圈视角下的上海城市公共中心体系重构探讨[J]. 城市规划学刊, 2019(3): 42-49. (NIU Xinyi, KANG Ning, LI Meng. Reconstruction of Shanghai city public center system from the perspective of metropolitan area[J]. Urban Planning Forum, 2018(5): 80-87.)
- [40] 赵鹏军, 胡昊宇, 海晓东, 等. 基于手机信令数据的城市群地区都市圈空间范围多维识别: 以京津冀为例[J]. 城市发展研究, 2019, 26(9): 69-79. (ZHAO Pengjun, HU Haoyu, HAI Xiaodong, et al. Identifying metropolitan edge in city clusters region using mobile phone data: a case study of Jing-jin-ji[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(9): 69-79.)
- [41] 许劼, 张伊娜. 基于跨城人流布局的都市圈识别与空间网络模式研究: 以长三角核心区为例[J]. 城市问题, 2021(8): 24-35. (XU Jie, ZHANG Yina. The boundary identification and spatial network patterns of mega city-regions from the perspective of inter-city flow: a case study of the core area of the Yangtze River Delta[J]. Urban Problems, 2021(8): 24-35.)
- [42] NEWMAN M E J, GIRVAN M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. Physical review E, 2004, 69(2): 026113.
- [43] 郭世泽, 路哲明. 复杂网络基础理论[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 267-268. (GUO Shize, LU Zeming. Basic theory of complex networks[M]. Beijing: Science Press, 2012: 267-268.)

修回: 2022-09