

产业组团视角下武汉都市圈产业空间组织特征及优化策略*

袁满 张璇 单卓然 黄亚平

提要 在构建“双循环”新发展格局的背景下,研究都市圈内产业空间的组织特征并提出相应的优化策略,对推动都市圈产业链、供应链深度融合具有重要意义。基于微观企业数据,采用“场所空间”和“流动空间”研究方法,在产业组团视角下分析武汉都市圈产业空间组织特征及功能协同水平,诊断存在的问题。结果表明:在“场所空间”上,武汉都市圈的产业空间呈现“点—轴”式格局,并表现为制造业“大分散,小集中”及生产性服务业集中化的特征;在“流动空间”上,武汉都市圈网络极化特征显著,功能协同水平有待提升。从形流结合、形流模拟、以流定形等三个方面讨论基于“场所空间”和“流动空间”的感知诊断与模拟仿真方法,并针对强核成长型都市圈产业空间总结了“核心+轴带”结构、内外圈层分工协作、临界区合作共建等布局优化规律。

关键词 武汉都市圈; 产业空间; 场所空间; 流动空间

中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.16361/j.upf.202401008

文章编号 1000-3363(2024)01-0063-11

作者简介

袁满,华中科技大学建筑与城市规划学院、自然资源部城市仿真重点实验室、湖北省城镇化工程技术研究中心,副教授, yuanman_aup@hust.edu.cn

张璇,华中科技大学建筑与城市规划学院硕士研究生

单卓然,华中科技大学建筑与城市规划学院、自然资源部城市仿真重点实验室、湖北省城镇化工程技术研究中心,教授,副系主任,博导,通信作者, szr1987@163.com

黄亚平,华中科技大学建筑与城市规划学院、自然资源部城市仿真重点实验室、湖北省城镇化工程技术研究中心,教授,院长,博导

Characteristics of Industrial Spaces and Strategies for Optimization in Wuhan Metropolitan Area: A Perspective of Industrial Clusters

YUAN Man, ZHANG Xuan, SHAN Zhuoran, HUANG Yaping

Abstract: In the context of establishing a new development pattern for dual circulations, it is of great significance to examine and optimize the organization of industrial spaces in metropolitan areas to foster the deep integration of industrial and supply chains. Based on micro-level business data, this study analyzes the characteristics and functional synergies of industrial spaces in Wuhan Metropolitan Area by invoking the concepts of space of places and space of flows. Taking the perspective of industrial clusters, it identifies existing issues. Concerning the space of places, the study shows that Wuhan's industrial spaces exhibit a "point-axis" pattern, indicating significant dispersion with limited agglomeration in the manufacturing sector and spatial concentration in producer services. In terms of the space of flows, Wuhan Metropolitan Area displays clear network polarization and weak functional synergy. Finally, methods for perceiving and simulating the space of places and space of flows are discussed from three aspects: form-flow integration, form and flow simulation, and form shaped by flow. For metropolitan space economies with robust growth momentum and a strong center, the paper suggests shared strategies of spatial optimization. These include forming a "core and axial belt" structure, facilitating the division of labor and cooperation between inner and outer circles, and fostering collaborations between boundary areas in proximity.

Keywords: Wuhan metropolitan area; industrial space; space of place; space of flow

近年来,国际形势风云变幻,逆全球化趋势不断强化,全球产业链、供应链面临断链危险^[1]。为应对百年未有之大变局,习近平总书记提出“构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局”。在构建新发展格局的背景下,产业链和供应链由原有外向型经济主导的发展模式逐渐向区域化、本土化转变^[2],同时呈现出在城市群、都市圈重组的趋势^[3]。因此,如何在城市群、都市圈的范围内合理布局产业空间,打破各地区之间的行政壁垒,加强地区之间的分工合作,优化“区域—产业”联通互动格局,建设联系紧密、功能结构完善的产业空间网络,是目前城市群、都市圈一体化研究的重点。武汉都市圈作为国内典型的成长型都市圈,也是国家发改委批复的第

* 国家重点研发计划资助“城市群都市圈空间优化关键技术”(项目编号:2022YFC3800103)

7个国家级都市圈,具有明确的一体化产业发展目标与诉求。因此,有必要对武汉都市圈的产业空间组织特征及存在问题进行深入研究,从而指引成长型都市圈产业空间布局规划,助力一体化发展格局的形成。

1 相关研究综述

1.1 “场所空间”与“流动空间”

早期产业空间相关组织研究主要以产业集群理论^[4-5]为基础,侧重于对产业集聚的地域范围、地理区位以及空间格局等的研究;在研究城市群、都市圈的空间组织特征时,大部分学者多是基于“中心地”理论或是“核心—边缘”理论,关注不同城市间的层次等级,认为城市群或都市圈内部存在“中心—腹地—外围”等发展水平不同的地区,在空间上则表现为沿圈层扩散或轴线扩散的特征^[6]。就实质而言,这些研究都是建立在基于地理邻近的场所空间之上。1996年,Castell^[7]提出了“流动空间”的概念,他认为随着全球化和信息化的不断发展,技术、信息、资本等各种“流动要素”在城市之间的流动成为了主导区域空间组织的重要力量,地域的重要性趋向于减弱,城市成为了“去空间化”的网络节点,城市的发展也更加依赖于城市之间的关联。在“流动空间”理论的影响下,国内学者基于企业关联网络^[8]、创新网络^[9]、交通网络^[10]、地区合作网络^[11-13]、产业链空间网络^[14]等方面对城市群和都市圈开展了实证研究,分析了城市群和都市圈的网络空间结构特征、时空演变过程以及网络外部性等。

单纯采用“流动空间”的方法来研究区域产业空间的组织特征同样也存在局限性,可能会忽略产业空间的地理空间属性。虽然“流动空间”淡化了“场所空间”,但“流动要素”仍需要在特定的城市集中、转化和再分配^[15],且地理距离对产业空间的组织起着重要作用,不仅会影响交易成本,同时也会影响着双方之间的关联强度。因此,本文在研究区域产业空间组织特征时,将“场所空间”和“流动空间”结合起来,分析产业空间布局特征与功能关联,从而为后续产业空间的规划布局及优化提供指引。

1.2 都市圈产业空间组织研究进展

2019年2月19日,国家发改委颁布了《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》,要求以推动都市圈内各城市间专业化分工协作作为导向,推动中心城市产业高端化发展,夯实中小城市制造业基础和特色化发展。在新型城镇化建设中,都市圈将作为发挥中心城市辐射带动作用的重要空间载体,起到以圈鼎群、承上启下的重要作用^[16]。尤其是在如今构建“双循环”新发展格局的背景下,都市圈作为产业链、供应链重组的重要空间范围^[17-18],已成为城市区域产业空间研究中的热点。

目前,在区域产业空间组织的实证研究上,国内学者主要聚焦于产业空间的集聚特征、组织模式、格局演化以及动力机制等方面(表1)。在“流动空间”视角的研究中,大部分学者仍是参照城市群中“流动空间”的研究范式,以县

级行政区作为基本单元研究都市圈产业空间组织特征,但该尺度难以指导当前亟须空间落地的产业发展规划。虽然县级行政区尺度的数据更易获取,但由于行政区划大小存在较大差异,可能会影响各区县研究结果的可比性^[19]。更重要的是,对于都市圈这一处于城市群和城市之间的中观尺度而言,规划更加关注开发园区这类综合性产业集群的形态布局优化,将区县作为研究单元过于宏观,其更侧重于解析产业功能定位,研究结论难以作为开发园区形态布局的依据。本文在县级行政区上进行尺度下移,以开发园区为基础,通过“场所空间”研究方法来识别划定产业组团,并以其为节点构建产业组团关联网络,解析武汉都市圈产业组团间功能协同水平及存在的问题。

2 研究数据和方法

2.1 研究范围和研究数据

2.1.1 研究范围

由于武汉都市圈范围尚未公布,本文选择了《武汉都市圈建设三年行动方案(2023—2025年)》中涉及的九市作为研究范围,即武汉、鄂州、黄石、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门和潜江。为了便于后续的分析,将武汉都市圈划分为15 km、30 km、60 km、80 km、150 km等5个圈层,其中,15 km以内为武汉主城区,30 km以内为武汉都市圈产业发展核心圈层,30 km以外为产业发展外围圈层。

2.1.2 研究数据来源

本文获取了截至2023年3月的研究

表1 部分区域产业空间组织研究成果

Tab.1 Research results on spatial organizations of selected regions

作者	研究视角	研究尺度	研究基本单元	研究主要内容
黄亚平等(2016)	场所空间	都市区	企业	利用企业数据,研究1990年代以来武汉都市区制造业的空间演化进程及动力机制 ^[20]
张艺帅等(2018)	场所空间与流动空间	城市群	区县	利用遥感、产业普查等数据研究场所空间发展态势,利用企业“总部—分支”数据,以区县为单元构建并分析网络发展特征 ^[21]
任亚文等(2022)	场所空间	城市群	企业	利用企业数据,分析半导体产业链上、中、下游空间格局及区位关联特征 ^[22]
程遥等(2016)	流动空间	城市群	区县	利用企业“总部—分支”数据,对县市单元的网络联系进行定量分析,得出空间特征和演变趋势 ^[6]
田琳(2021)	流动空间	都市圈	区县	区县作为节点,构建了基于生产性服务业企业关联的城市网络,分析上海都市圈产业空间的演进特征 ^[23]
张振广等(2023)	流动空间	都市圈	区县	利用微观企业数据,以区县为单元,分别分析了上海大都市圈产业链、供应链和创新链的空间组织特征 ^[24]

区域内企业数据，数据信息包括企业名称、企业位置、行业代码等基本信息，以及企业之间的“总部—分支”关联、“投资”关联和“客户—供应商”关联。数据来源于国家企业信用信息公示系统、工商局、知识产权局、全国公共资源交易系统。

2.2 研究方法

2.2.1 “场所空间”研究方法

一是利用 ArcGIS 计算出 1 km×1 km 网格中不同行业类型的企业数量，从而识别出企业数量集聚区，并绘制出企业密度随距离变化曲线图，从而分析产业空间的密度分布特征；二是根据企业的从业人数，采用核密度分析方法识别出企业规模集聚区，分析产业空间的规模分布特征。场所空间识别出的集聚区同时也是确定产业组团位置和功能划分的依据。

2.2.2 网络构建方法

本文利用“总部—分支、投资、客户—供应商”等三类企业关联数据，按照制造业、主导产业和生产性服务业等三种企业类型，构建了九类产业组团关联网络。构建有向加权网络的方向为“总部企业—分支企业”“投资企业—被投资企业”“客户企业—供应商企业”，权重为产业组团间企业联系对数量总合。其中主导产业选择依据湖北省《关于加快建设全国构建新发展格局先行区的实施意见》，选取光电子信息、高端装备制造、生命健康和新能源汽车产业，生产性服务业选择则依据《生产性服务业统计分类（2019）》以及参考相关论文^[23,25]，企业的产业划分则依据《战略性新兴产业分类（2018）》以及《国民经济行业分类（2017）》。

2.2.3 网络分析方法

本文主要利用 UCINET 软件，采用社会网络分析方法，分析了产业组团关联网络的整体特征以及节点地位。在网络整体特征的分析中，主要分析了网络密度、中心势以及平均路径长度，并进行了凝聚子群聚类分析；在节点地位分析中，通过计算节点的出度、入度，分析节点的外向控制能力和内向吸纳能力，并通过计算节点的中介中心度来分析节点在网络中所发挥的“桥梁”作用。

3 武汉都市圈产业空间格局特征分析及产业组团划分

3.1 产业空间格局特征分析

3.1.1 依托交通轴线扩散，呈现“点—轴”式分布格局

从图 1 可以看出，武汉都市圈产业空间以武汉主城区为中心，沿交通主干道等轴线向外围圈层扩散，并形成了多个产业集聚区，呈现“点—轴”式的空间分布格局。产业空间在向外扩散的过程中，产业集聚区的规模也同时沿圈层向外缩小。在核心圈层内，武汉东湖高新区中的光电子信息产业园，武汉经开区中的智能制造产业园以及武汉临空港经开区内已形成了规模较大的产业集聚区；在 30—80 km 的圈层中，鄂州葛店经开区、黄冈高新区、黄石经开区以及孝感高新区等也形成了具有一定规模的产业集聚区。与此同时，顺应武鄂黄黄、汉孝、武咸、武仙四大同城化方向，依托核心圈层内的大规模产业集聚区，武汉都市圈产业空间沿主要交通通道形成了

四条产业发展轴，其中，武鄂黄黄方向产业空间具有贴边发展布局的特征，连绵化、一体化发展趋势更为明显。

3.1.2 制造业的“大分散，小集中”与服务业的集中化格局特征

考虑到虽然企业数量可以在一定程度上反映产业空间的布局特征，但地区产业发展水平以及发展重心往往取决于大规模企业。因此在分析企业密度分布特征的基础上，基于企业规模，即企业的就业人数进行了核密度分析（图 2）。对比核密度分析结果和企业密度布局特征可以发现，制造业企业的数量集聚和规模集聚特征有一定差异，主要体现在武汉的主城区是都市圈的数量集聚中心，却以小型制造业企业集聚为主，大型制造业企业则布局在主城区外围；而生产性服务业企业的数量集聚特征和规模集聚特征较为一致，均是以武汉主城区和东湖高新区中的光电子信息产业园作为集聚中心。

对比制造业和生产性服务业可以得出，制造业空间的布局更加分散，在都

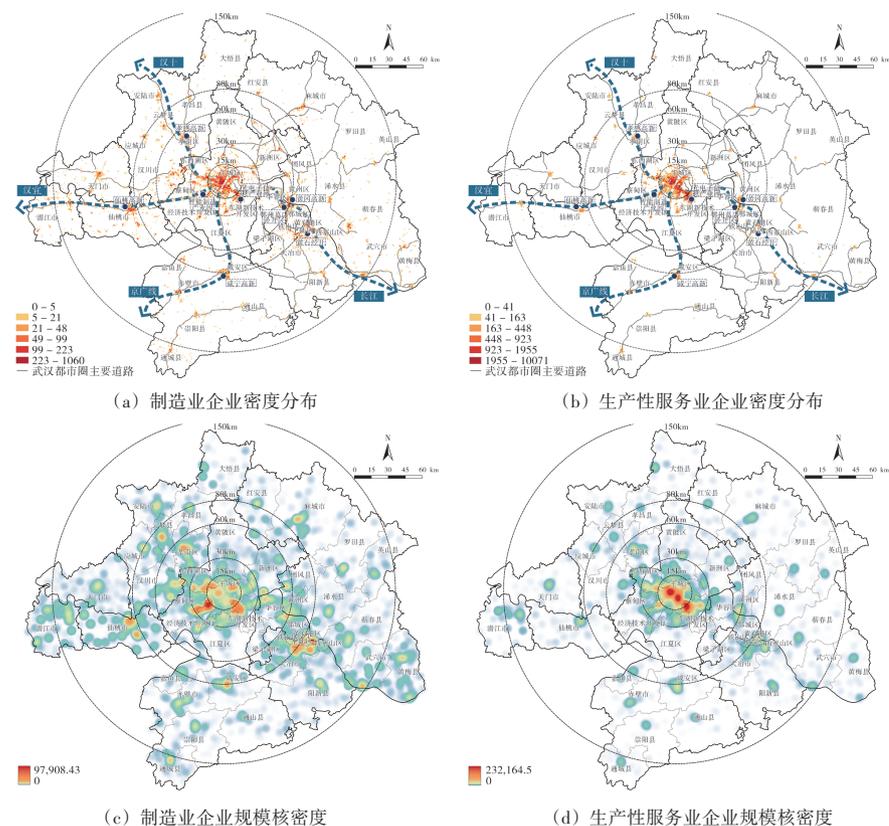


图 1 武汉都市圈企业集聚特征分析

Fig.1 Characteristics of business agglomeration in Wuhan Metropolitan Area

市圈的不同圈层中均形成了多个集聚区，而生产性服务业则呈现出强中心的特征。图2反映了武汉都市圈生产性服务业、制造业和主导产业企业从都市圈中心向外围地区的企业密度变化情况，可以发现，与生产性服务业相比，制造业和主导产业企业的密度变化曲线更为平缓，且密度高峰较为一致，生产性服务业企业的密度高峰主要位于核心圈层内，且峰值差距大，这进一步地表明了制造业企业相对分散化的特征以及生产性服务业企业高度集中化的特征。在改革开放后的增长时代中，为实现集聚规模经济效益，全国范围内均掀起了开发区建设热潮，开发区提供了政策优惠以及完善的设施配套，吸引了大量制造业企业在开发区和园区中集聚^[26]。目前，武汉都市圈内各地均建设了数量较多、规模不一的产业园区，这就造成了制造业空间“大分散、小集中”的格局特征。

3.2 产业组团的识别与功能划分

3.2.1 产业组团的识别

在识别产业组团时，首先依据前文场所空间分析中识别出的产业集聚区来确定产业组团的位置（图1）。在产业组团边界识别中，主要采用了两种方式。一是位于开发区的产业组团，根据开发区的相关园区规划，将规划的园区边界作为产业组团边界，例如在武汉经济技术开发区中，由于本文重点研究制造业及生产性服务业，因此将除去军山新城这一居住生活区和现代科技农业园这一农业发展区的智能制造产业园、现代服务业产业园、智能网联和电动汽车产业园以及通用航空及卫星产业园的边界作为产业组团的边界。二是没有明确园区规划产业组团，则依据企业集聚区的范围，通过道路或行政边界围合形成边界。

3.2.2 产业组团的功能划分

为了便于后续的分析，对产业组团进行了编号命名，并将产业组团划分为不同的功能（图3）。在编号中，开头数字代表产业组团所在市，1代表武汉，2代表鄂州，3代表黄石，4代表黄冈，5代表孝感，6代表咸宁，7代表仙桃，8代表潜江，9代表天门。

在确定产业组团所属功能时，结合

科技创新资源、生产性服务业企业、主导产业企业的分布以及产业组团所在区域的产业规划及定位，确定科创中心、综合服务、先进制造以及创新产业组团。例如：组团1-2，科技创新资源集聚，在武汉都市圈中承担科创中心的功能；组团1-13，1-21等，作为主导产业的集聚地，承担先进制造功能；组团1-1、1-7等，生产性服务业企业集聚，在产业规划中主要发展现代服务业，承担综合服务功能；组团1-4、1-6、6-2等，主导产业形成了一定规模，且部分组团邻近科创资源，作为创新产业组团。此外，近年来的武汉都市圈各类政策文件都提出了通过合作共建、园外园和飞地经济等方式来推动都市圈产业协作，因此本文将合作共建园区所在产业组团作为跨

界产业合作组团。

4 武汉都市圈产业组团关联网分析

4.1 产业组团关联网整体特征分析

4.1.1 组团网络极化特征明显，且有东西向发展趋势

将基于“企业总部—分支”联系、“投资”联系以及“客户—供应商”联系的组团网络进行二值化，计算出制造业网络、主导产业网络以及生产性服务业网络的网络密度、中心势以及平均路径长度（表2）。三类网络的网络密度相对较低，中心势相对较高，这说明产业组团间网络联系并不完整，且发展不均衡，网络权力呈现出高度集中的特征。其中，

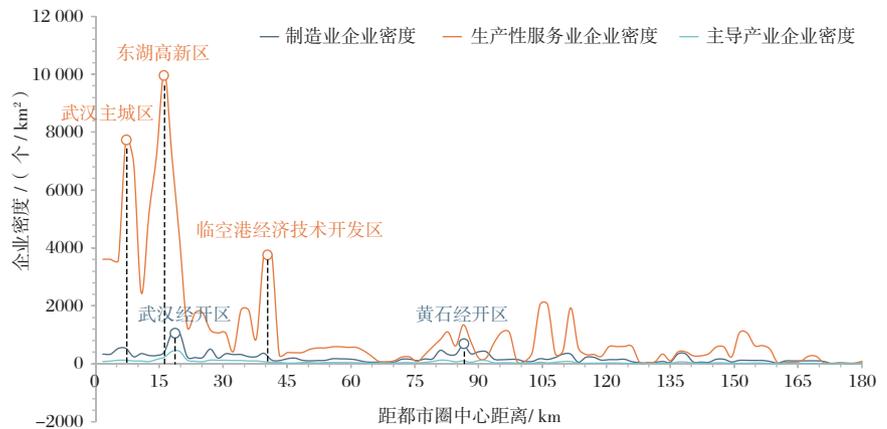


图2 武汉都市圈企业密度空间分布变化
Fig.2 Changes in business density in Wuhan Metropolitan Area

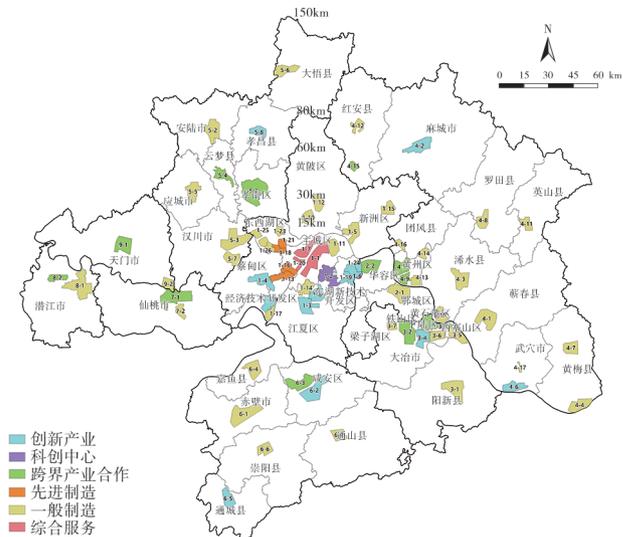


图3 武汉都市圈产业组团布局
Fig.3 Layout of industrial clusters in Wuhan Metropolitan Area

制造业网络的中心势最高，极化特征更为显著，主导产业网络的平均路径长度最长，网络通达性和传输效率较差。

对组团联系网络按照联系强度以自然断点分为六个等级，并通过ArcGIS可视化(图4)。三类网络的高强度链接均主要出现在核心圈层组团之间，其次是核心圈层组团与外围创新产业以及跨界产业合作组团之间，在这些链接中主要以东西向联系为主。从细分行业的组团关联网络来看，制造业、主导产业以及生产性服务业网络在产业组织特征上各有侧重。在制造业网络中，组团网络联系主要沿武鄂黄黄、武仙方向；在主导

产业网络中，组团网络联系则主要沿武鄂黄黄方向，并在外围圈层组团之间出现了较强的链接；在生产性服务业网络中，组团网络联系主要沿武鄂黄黄、武孝、武咸以及武仙方向。与此同时，在

制造业和主导产业方面，明显有外围圈层组团流向核心圈层的链接，但生产性服务业网络中，高强度链接大多为核心圈层流向外围圈层，由此可见在生产性服务业方面，核心圈层的控制力更高。

表2 武汉都市圈产业组团关联网络指标

Tab.2 Network indicators of industrial clusters in Wuhan Metropolitan Area

指标	制造业企业			主导产业企业			生产性服务业企业		
	总部分支	投资	供应商	总部分支	投资	供应商	总部分支	投资	供应商
网络密度	0.241 2	0.210	0.151 4	0.129 0	0.112 6	0.076 1	0.407 5	0.331 8	0.354 6
中心势	0.670 0	0.630	0.700 0	0.510 0	0.540 0	0.450 0	0.570 0	0.660 0	0.610 0
平均路径长度	1.815 0	1.842	1.963 0	2.057 0	2.184 0	2.300 0	1.598 0	1.689 0	1.663 0

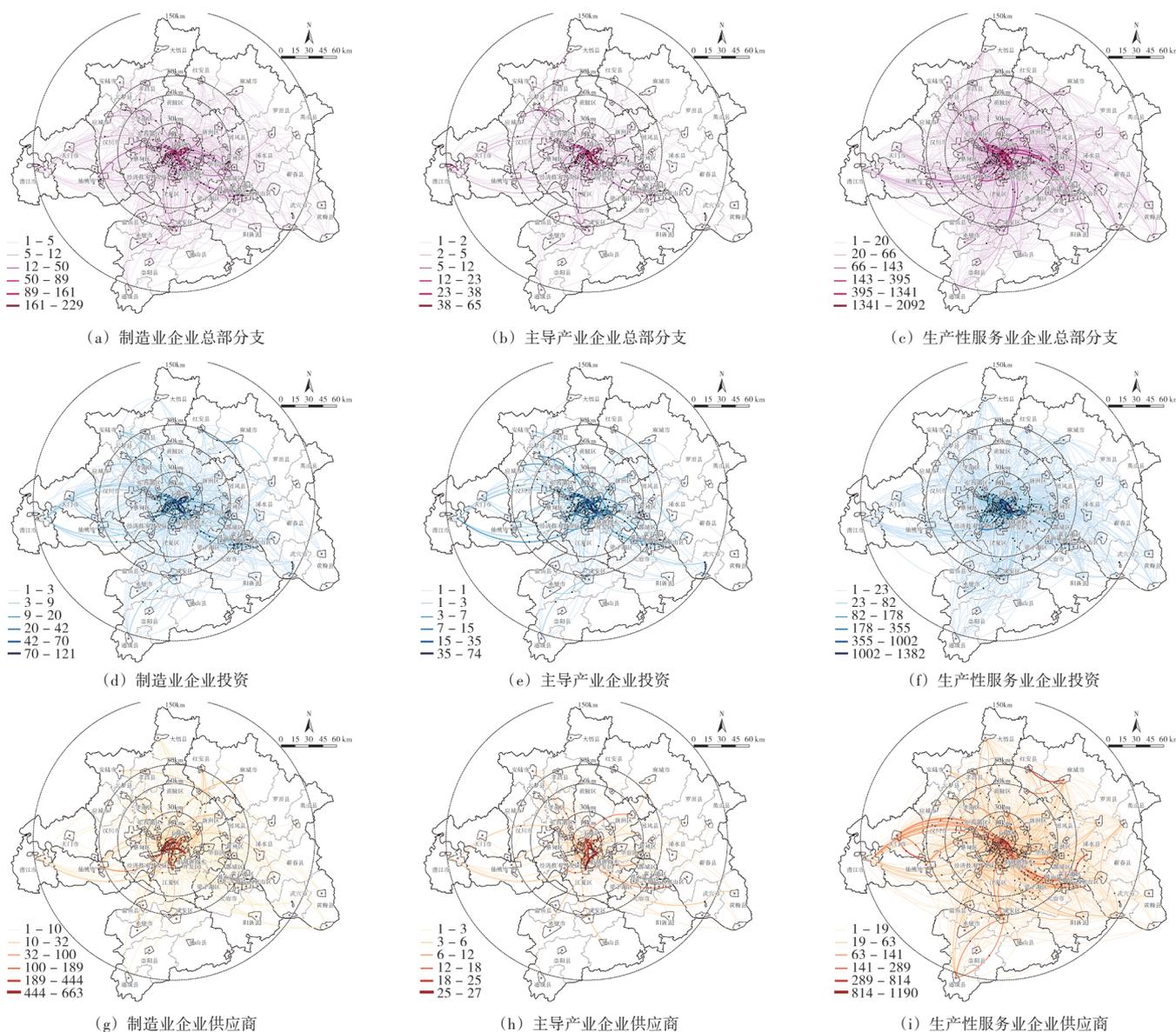


图4 武汉都市圈产业组团关联网络

Fig.4 Network of industrial clusters in Wuhan Metropolitan Area

4.1.2 行政区划和地理位置影响了网络的功能协同格局

根据图4可以初步分析出，在武汉都市圈产业组团网络的联系中，联系密切的一般出现在产业发展水平较高或地理位置邻近的产业组团之间，这说明地缘优势发挥着重要作用，产业发展水平和地理位置同样影响产业组团网络的组织方式。

为进一步分析武汉都市圈产业组团关联网络的功能协同水平，将产业组团关联划分为六种类型，在六种联系类型中，其他城市联系与武汉市联系、其他城市间联系作为跨市域的联系最能体现都市圈产业组团网络的功能协同水平。由表3可得，其他城市之间产业组团的联系最少，跨市级联系也是以武汉市为主导的，仅占了10%左右，这表明低能级城市之间尚未建立起互动协作的关系，且行政区划对武汉都市圈的跨区域协同产生着重要影响。从不同行业类型网络来看，相较于制造业和主导产业，生产性服务业网络中跨组团以及跨区域联系占比较高，说明生产性服务业的辐射带动效应更强。与此同时，相较于“企业总部—分支”关联，“客户—供应商”关联中，组团内的联系明显少于组团间的联系，且跨行政区的联系以及低能级城市之间的联系比例也有所提升，这表明距离因素对企业间的关联影响程度相对较低。

从图5可以看出，同一子群的空间布局与行政边界的划定较为符合，进一步说明了行政区划对产业组团间的联系起到了一定的阻碍作用，武汉都市圈的产业发展尚未打破行政壁垒，从而影响了网络的功能协同水平。但也有部分不同行政区划的产业组团划分在了同一子群中，主要表现为邻近扩散和等级扩散。值得注意的是，位于临界区的产业组团往往会出现邻近扩散的现象，这表明加强临界区的一体化建设对于打破行政壁垒，提高网络的功能协同水平具有重要意义。

4.1.3 “客户—供应商”关联网络发展水平相对较低，供应链分工体系尚未完善

根据前文的分析可知，从网络密度、中心势以及平均路径长度等三个指标来看，相较于“总部—分支”与“投资”

关联网络，“客户—供应商”关联网络的网络密度较低，中心势和平均路径长度较高，这表明“客户—供应商”关联网络的节点联系紧密度较低，网络发展不均衡，网络的控制力结构更加趋于集中，且网络的通达性也相对较差（表2）。与此同时，比较三类网络的连接类型发现，供应商网络的双向链接占比最低，且除了生产性服务业，空链接数量也最多，这表明在武汉都市圈中，大部分产业组团之间尚未建立起“客户—供应商”关

联，且联系方向多为单向，双向互动较少，这也进一步表明了产业组团之间存在更为明显的等级差异。见表4。

“供应商—客户”关系反映的是供应链上下游关系^[24]，因此为分析武汉都市圈内是否形成了完善的供应链分工体系，除构建了武汉都市圈内“客户—供应商”关联网络外，还构建了客户位于武汉都市圈组团内，供应商位于武汉都市圈外的“客户—供应商”关联网络，从而计算武汉都市圈内供应链占比。结果表明，

表3 武汉都市圈产业组团关联网络联系类型

Tab.3 Types of network linkage between industrial clusters in Wuhan Metropolitan Area

网络类型		武汉市组团内联系占比/%	武汉市内组团间联系占比/%	武汉市与其他城市联系占比/%	其他城市组团内联系占比/%	其他城市内组团间联系占比/%	其他城市间联系占比/%
制造业企业	总部分支	38.88	20.34	7.82	26.58	4.96	1.42
	供应商	18.40	62.17	10.20	5.52	2.13	1.58
主导产业企业	总部分支	51.02	20.43	7.97	15.72	3.93	0.93
	供应商	11.66	47.64	22.01	10.15	3.52	5.03
生产性服务业企业	总部分支	27.93	39.69	13.46	13.22	4.71	0.99
	供应商	14.81	34.68	20.93	17.66	8.70	3.22

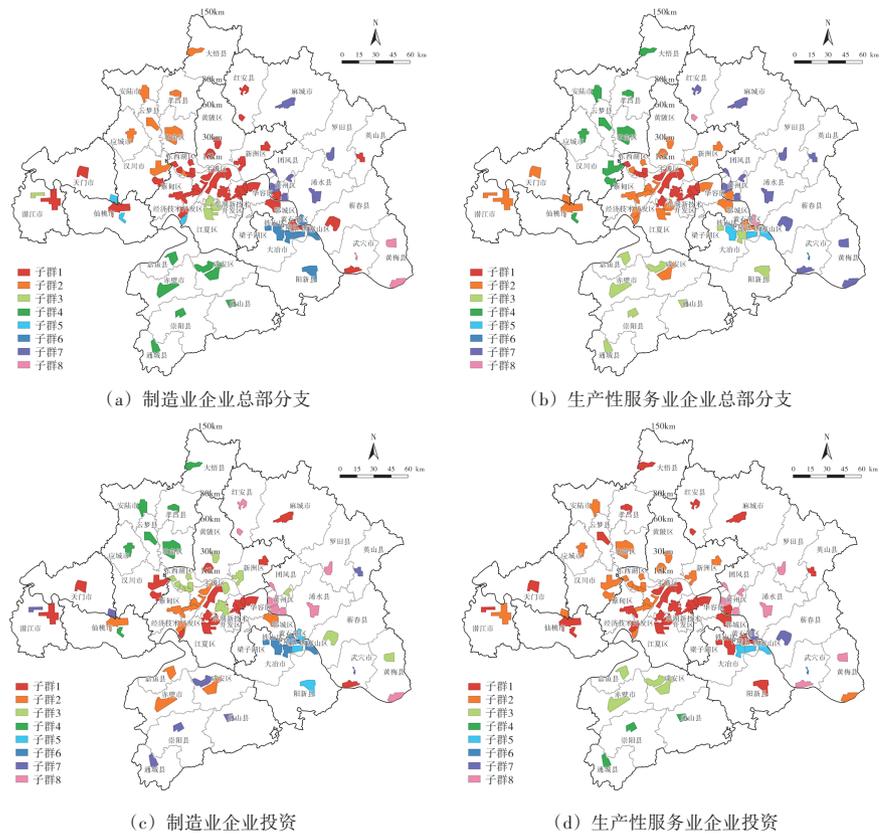


图5 武汉都市圈产业组团子群划分

Fig.5 Subgroups within industrial clusters in Wuhan metropolitan area

武汉都市圈制造业、主导产业及生产性服务业的供应链本地化分别仅为5.5%、15.19%以及4.6%。整体来看，目前武汉都市圈的原材料和市场仍处于“两头在外”的状态，尚未在都市圈内部形成完善的供应链网络；从不同行业来看，主导产业的供应链本地化最高，这表明目前武汉都市圈将供应链网络建设的重心放在主导产业上。

4.2 产业组团关联网络节点分析

4.2.1 核心圈层已出现功能分化，外围圈层仍处于低水平同质化发展

由图6可以看出，核心圈层内组团的度中心度与外围圈层内组团的度中心度有着明显的差距，外围圈层组团发展水平均较低。同时从外围圈层来看，度中心度较高组团主要分布在60 km圈层及80 km圈层附近，这表明60 km圈层及80 km圈层周边范围为武汉都市圈外围圈层的产业主要发展区域。

从不同类型网络来看，相较于“客户—供应商”关联网络，“总部—分支”关联网络的联系方向体现出明显的行业差异。例如在制造业方面，虽然组团1-1和组团1-7的中心度最高，但其出度均小于入度，而组团1-13、1-11等的出度均大于入度，这表明其外向控制能力更强，制造业更为发达。相反地，在生产性服务业的网络中，组团1-1和1-7的出度均大于入度，表明其作为综合服务组团，在生产性服务业上的外向控制制度更强，生产服务功能更为凸显。值得注意的是，组团1-2的中心度排列第三，且无论是制造业还是生产性服务业，出度均大于入度，在网络中具有较强的核心控制能力。这是由于组团1-2作为科创中心，其拥有武汉都市圈32.38%的研究型创新主体以及35.96%的产业型创新主体，在所有组团中位列首位，与此同时，创新主体10 km范围内制造业企业占比达到了67%，科创功能与生产、服务功能紧密结合，由此可见地区创新实力对产业发展具有重要驱动作用。

相较于“总部—分支”关联网络，“客户—供应商”关联网络的中心度排名体现出明显的行业差异。例如：组团1-13在制造业方面中心度最高，而在生产性服务业方面排名第四，表明其制造业

表4 武汉都市圈产业组团关联网络链接类型

Tab.4 Types of links between industrial clusters in Wuhan metropolitan area

网络类型		双向链接量 / 个	单向链接量 / 个	双向链接占比 / %	单向链接占比 / %	空连接数量 / 个
制造业企业	总部分支	214	420	33.75	66.25	1994
	投资	170	382	30.80	69.20	2076
	供应商	93	305	23.37	76.63	2230
主导产业企业	总部分支	76	263	22.42	77.58	2289
	投资	85	211	28.72	71.28	2332
	供应商	18	182	9.00	91.00	2428
生产性服务业企业	总部分支	414	657	38.66	61.34	1557
	投资	397	475	45.53	54.47	1756
	供应商	308	624	33.05	66.95	1696

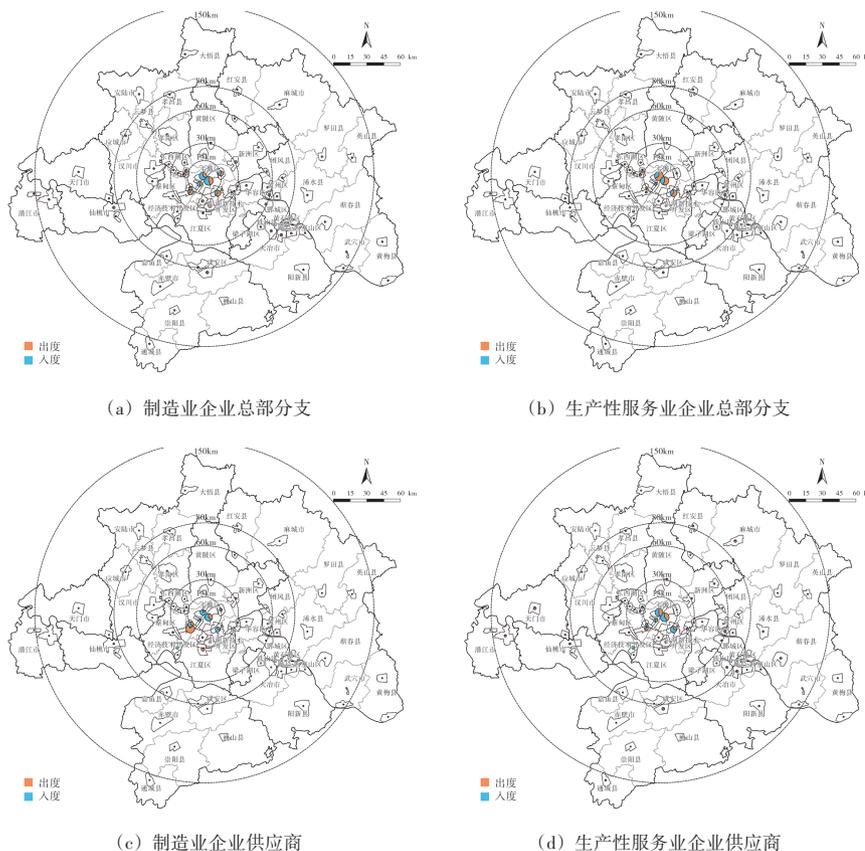


图6 武汉都市圈产业组团度中心性

Fig.6 Degree centrality of industrial clusters in Wuhan Metropolitan Area

发展水平很高，但配套服务方面稍弱；组团1-16、1-3、1-11等在制造业方面排名前十，但在生产性服务业方面未排入前十，表明其以生产制造功能为主，组团3-3、9-1、6-2等则相反，表明其以生产性服务功能为主。见表5。

为进一步分析核心与外围圈层的功能差异，在核心圈层和外围圈层中各选

五个高中心度组团，结合《中国开发区审核公告目录（2018年版）》中的主导产业信息、各市的产业地图、开发区门户网站中的产业发展介绍等，进一步分析其主导产业类型（表6），在核心圈层内，产业组团有不同的产业发展偏好，已出现了功能分化，位于武汉主城区的组团发挥着综合服务职能，主城区外组

表5 度中心度排名前10产业组团
Tab.5 Top 10 industry clusters in terms of degree centrality

制造业企业总部分支网络				生产性服务业企业总部分支网络			
编号	所在地	组团类型	联系方向(出度—入度)	编号	所在地	组团类型	联系方向(出度—入度)
1-1	武汉主城区	综合服务	-181	1-1	武汉主城区	综合服务	1193
1-7	武汉主城区	综合服务	-444	1-7	武汉主城区	综合服务	2845
1-2	武汉东湖高新区	科创中心	118	1-2	武汉东湖高新区	科创中心	1409
1-20	武汉主城区	综合服务	-35	1-20	武汉主城区	综合服务	-734
1-11	武汉青山区	一般制造	32	1-21	武汉东西湖区	先进制造	247
1-13	武汉经开区	先进制造	91	1-9	武汉经开区	创新产业	-544
3-3	黄石主城区	跨界产业合作	23	3-3	黄石主城区	跨界产业合作	-272
1-8	武汉江夏区	创新产业	77	4-9	黄冈黄州区	跨界产业合作	106
4-9	黄冈黄州区	跨界产业合作	-18	1-8	武汉江夏区	创新产业	-195
1-18	武汉东西湖区	先进制造	67	1-16	武汉经开区	先进制造	119
制造业企业供应商网络				生产性服务业企业供应商网络			
1-13	武汉经开区	先进制造	2364	1-1	武汉主城区	综合服务	-1632
1-1	武汉主城区	综合服务	-530	1-7	武汉主城区	综合服务	-190
1-7	武汉主城区	综合服务	-829	1-2	武汉东湖高新区	科创中心	-1871
1-16	武汉经开区	先进制造	-283	1-13	武汉经开区	先进制造	633
1-2	武汉东湖高新区	科创中心	-400	3-3	黄石主城区	跨界产业合作	505
1-3	武汉江夏区	创新产业	438	1-20	武汉主城区	综合服务	105
1-11	武汉青山区	一般制造	-53	1-9	武汉经开区	创新产业	-906
1-20	武汉主城区	综合服务	-240	9-1	天门市	跨界产业合作	328
1-9	武汉经开区	创新产业	-259	6-2	咸宁咸安区	创新产业	244
1-8	武汉江夏区	创新产业	98	1-8	武汉江夏区	创新产业	139

团主要发挥先进制造与创新产业职能，且有明显的发展侧重差异，例如，组团1-2重点发展光芯屏端网和生命健康产业，组团1-13重点发展新能源汽车和新材料产业。在外围圈层中，主导产业均是光电子信息、生命健康和智能制造，产业结构上存在同构现象，虽然产业结构趋同和区域分工深化可以同时存在^[27]，但目前外围圈层处于低水平重复建设的状态，难以与核心圈层形成完善的产业链分工格局，甚至会导致资源的配置效率下降。

4.2.2 跨界产业合作组团具有较强的综合联系能力

点度中心性主要根据关系数量的多少来反映节点在网络中的中心地位，但这种中心地位有时候并不如桥梁性的位置重要，中介中心性是根据节点的最短路径数量来刻画节点的，反应的便是节点所发挥的桥梁性作用^[28]。

在表5中，度中心度排名前五的组团几乎均位于核心圈层内，前十的组团

表6 高度中心度产业组团主导产业类型

Tab.6 Types of dominant industries in industrial clusters with high degree of centrality

圈层	组团名称	组团所在地	组团类型	组团主导产业
核心圈层内	1-1	武汉主城区	综合服务	金融服务、科技服务、工程设计、文化创意
	1-2	武汉东湖高新区	科创中心	光芯屏端网、生命健康、智能制造
	1-7	武汉主城区	综合服务	创意设计、金融服务、科技服务、商贸物流
	1-13	武汉经开区	先进制造	新能源汽车、新材料、生命健康、电子电器
	1-20	武汉主城区	综合服务	健康服务、工业服务、电商
核心圈层外	3-3	黄石主城区	跨界产业合作	光电子信息、装备制造、生物医药
	4-9	黄冈黄州区	跨界产业合作	光电子信息、智能制造、生物医药
	5-1	孝感孝南区	跨界产业合作	光电子信息、先进制造
	6-2	咸宁咸安区	创新产业	光电子信息、大健康、智能制造
	7-1	仙桃市	创新产业	新材料、生物医药、电子信息

中也少有不位于武汉市内。但根据图7和表7，在中介中心度排名前十的组团中，位于外围圈层且不属于武汉市的组团占比增多，部分组团的中介中心度甚至高于部分位于武汉市的高度中心度组团。这些组团虽然并未处于网络中的中心地位，但其在网络中发挥着“桥梁”

作用，拥有较强的综合联系能力，对网络的功能协同水平反而发挥着更为重要的作用。

此外，位于外围圈层中的高中介中心度组团大部分属于跨界产业合作组团，这表明目前武汉都市圈推动共建的合作园区加强了外围圈层与核心圈层的联系



图7 武汉都市圈产业组团中介中心性

Fig.7 Betweenness centrality of industrial clusters in Wuhan Metropolitan Area

表7 中介中心度排名前10产业组团

Tab.7 Top 10 industry clusters in terms of betweenness centrality

制造业企业总部分支			制造业企业投资			制造业企业供应商		
编号	所在地	组团类型	编号	所在地	组团类型	编号	所在地	组团类型
1—1	武汉主城区	综合服务	1—1	武汉主城区	综合服务	1—1	武汉主城区	综合服务
1—7	武汉主城区	综合服务	1—2	武汉东湖高新区	科创中心	1—13	武汉经开区	先进制造
1—2	武汉东湖高新区	科创中心	1—7	武汉主城区	综合服务	3—3	黄石主城区	跨界产业合作
3—3	黄石主城区	跨界产业合作	1—18	武汉东西湖区	先进制造	1—7	武汉主城区	综合服务
4—6	黄冈武穴市	创新产业	3—3	黄石主城区	跨界产业合作	1—2	武汉东湖高新区	科创中心
4—9	黄冈黄州区	跨界产业合作	6—2	咸宁咸安区	创新产业	5—1	孝感孝南区	跨界产业合作
1—18	武汉东西湖区	先进制造	1—21	武汉东西湖区	先进制造	1—21	武汉东西湖区	先进制造
1—20	武汉主城区	综合服务	1—13	武汉经开区	先进制造	5—5	孝感应城市	一般制造
5—1	孝感孝南区	跨界产业合作	5—1	孝感孝南区	跨界产业合作	7—1	仙桃市	跨界产业合作
1—21	武汉东西湖区	先进制造	1—19	武汉东湖高新区	创新产业	1—16	武汉经开区	先进制造

与协作，对提高产业组团网络的通达性和传输效率具有重要意义。从共建园区的结对双方来看，大多是外围圈层产业组团与东湖高新区之间开展合作，少数是与武汉经济技术开发区以及临空港经济技术开发区开展合作，这便解释了虽然组团1-2、1-11及1-13均属于高度中心度组团，但位于东湖高新区的组团1-2中介中心度普遍较高，而位于青山区的组团1-11的中介中心度甚至未排入前十。

5 结论与讨论

5.1 基于“场所空间”和“流动空间”的感知诊断与模拟仿真方法具有一定普适性

从空间视角来研究和促进城市间产业分工协作的关键，在于找到产业链、

供应链深度融合发展与都市圈产业空间组织的关联性，进而通过关键空间要素的供给或塑造来实现一体化发展格局。传统规划方法在解决上述问题时，重在“规划实践”到“规划经验”的总结提炼，存在缺数据、少计量、欠科学的问题，面对都市圈这一复杂的巨系统，基于数据与模型驱动的智慧规划技术势在必行。本文提出了“场所空间”和“流动空间”的综合分析方法，有望为都市圈感知诊断与智慧规划提供一套科学可行的技术体系。

5.1.1 形流结合，开展都市圈产业空间特征感知与问题诊断

综合采用“场所空间”和“流动空间”的研究方法，从都市圈产业空间集聚水平、功能协同水平等维度进行测度评价，可以感知都市圈产业空间特征，诊断存在的问题。基于地理邻近性的场

所空间分析方法可以从土地使用、就业人数、企业数量、资本密度等方面分析产业空间集聚特征。采用多类型流空间数据可以反映产业空间不同维度的网络联系特性，如“总部—分支”网络主要表征都市圈企业内的垂直等级关系，而“客户—供应商”网络能够测度都市圈企业间的水平分工关系，从而对网络功能极化、产业链分工、行政区划阻碍、供应链安全韧性水平等方面进行综合评价。此外，依据产业组团节点的出度、入度、中介中心度等指标计算结果，能够从区域联系视角诊断各类产业园区的运行状态，识别影响产业一体化发展的枢纽、要冲、梗阻等产业组团节点。

5.1.2 形流模拟，开展都市圈产业空间典型情景预测

基于感知诊断结果，可对都市圈变化趋势进行情景预测，模拟不同情景下

产业空间“形”与“流”两种状态的演化特征。一般有两种常见的模拟预测情景：一是常态发展下的情景模拟，参照现有驱动因素与路径依赖过程推演都市圈产业空间未来状态；二是重大战略驱动下的情景模拟，将重大空间战略或重大项目建设作为关键变量融入模拟模型，如武汉都市圈的武汉新城、花湖机场，评价其对都市圈产业空间的影响作用。可采用多智能体系统模拟产业空间“形”的演变，通过“流动空间”数据模拟产业组团之间的合作、竞争、互补等关联关系，预测都市圈未来可能涌现的关键战略空间。基于复杂网络系统，可模拟不同情景下的都市圈产业空间“流”的演变，并用攻击模拟方法测试供应链断供、断产情况下的“流动空间”韧性水平。

5.1.3 以流动定形，优化都市圈产业空间布局

依据开发园区边界或产业集聚区范围，划定产业组团作为“流空间”分析的基本单元，能够突破既有研究主要采用区县行政区作为都市圈产业功能联系网络节点的尺度局限，细化评价分析与空间规划的研究粒度，为都市圈产业发展规划的落地提供空间要素供给。综合现状“流动空间”感知诊断及未来情景仿真模拟的结果，能够识别出都市圈产业空间的核心、轴带、节点、协同发展区等“场所空间”要素，以优化都市圈

产业空间布局，支撑园区精度的都市圈产业地图编制。此外，本文“客户—供应商”数据来源于企业公开招标信息，样本覆盖度欠佳，今后可采集企业采购发票数据、物流货车轨迹数据，以更好测度都市圈各产业组团的“流动空间”特征，提高以流动定形的准确性。

5.2 强核成长型都市圈产业空间布局优化具有一定规律性

我国都市圈都大多属于以省会和特大超大城市为核心的强核成长型都市圈，从经济规模、产业发展、区域联系等角度来看，武汉都市圈是强核成长型都市圈的典型代表。如何优化都市圈产业空间组织，从空间供给视角推动都市圈产业链、供应链深度融合，是强核成长型都市圈实现高质量发展的必由路径。

5.2.1 打造“核心+轴带”的产业空间布局结构

针对强核成长型都市圈普遍存在的网络过度极化、外圈层过弱问题，应采用“核心+轴带”的空间布局模式，利用都市圈核心城市的辐射带动效应，依托产业发展轴带动都市圈外围产业空间多等级节点，推进产业链供应链从核心圈层向外围圈层延伸，推动都市圈形成功能完善、分工协作的产业一体化格局。武汉都市圈应构建“一核、四廊、多节点”的产业空间布局结构（图8），打造武鄂黄黄“光芯屏端网”科创大走廊、

武咸生命健康产业发展轴、汉孝临空产业发展轴、武仙先进制造产业发展轴，辐射带动沿线的次核心节点、重要节点和新增节点，促进资金、信息、技术、人才等要素沿廊道自由流动，形成核心带动、节点支撑、轴带辐射的空间格局。

5.2.2 优化产业组团功能，深化内外圈层产业分工与协作

都市圈作为构建“双循环”新发展格局的重要空间支撑，既要成为国内大循环的重要节点，也要在内部形成合理的分工体系，从而打通自身“内部循环”^[29]。对于强核成长型都市圈，较为完善的产业链供应链体系尚未在圈内形成，由于外围圈层仍处于低水平同质化阶段，供应链网络主要集中在集中在核心圈层，或是跨越外围圈层与圈外城市关联。因此，要积极引导外围圈层产业组团差异化发展，充分发挥其比较优势，对接核心圈层优势产业，承接核心区域转移和外溢的生产环节，实现都市圈产业链供应链的延链与补链，在外围圈层培育功能互补的产业集聚区。武汉都市圈可结合核心节点优势与本地产业基础，差异化打造光电子信息和智能制造、新能源与智能网联汽车、临空产业、轻工制造、智能机电制造、生命健康等6大产业协同发展区，提高产业集群竞争力，完善都市圈内产业链供应链分工体系（图8）。核心圈层组团要持续提升综合服务及创新研发功能，更好发挥对产业协

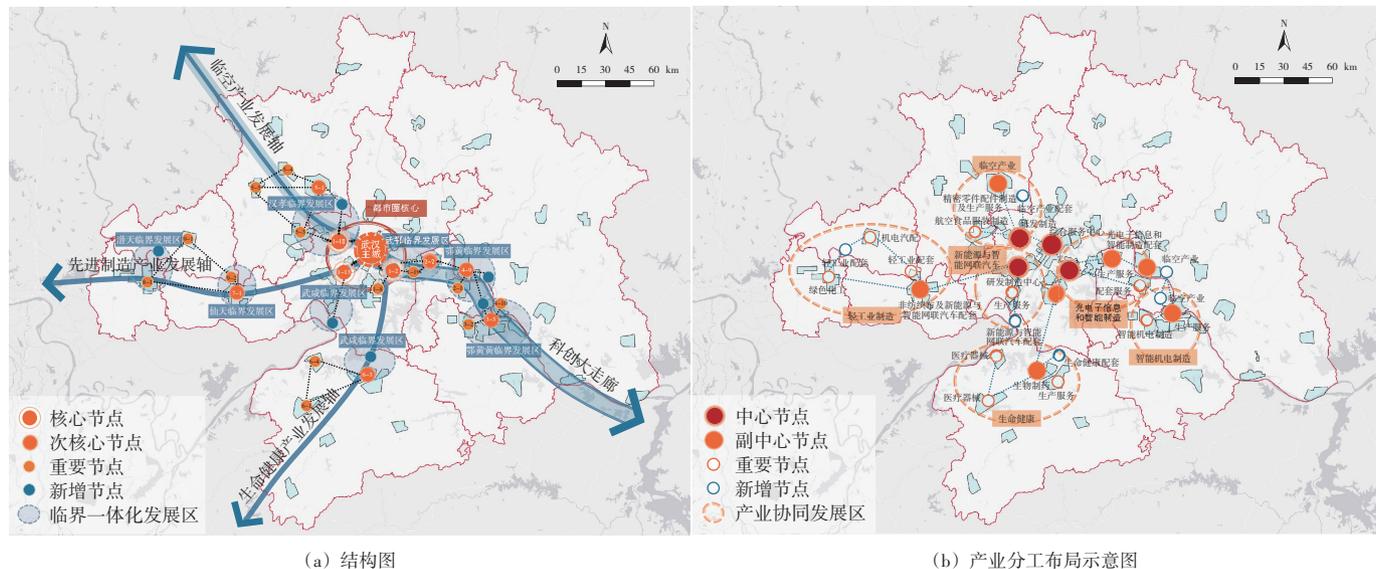


图8 武汉都市圈产业空间优化模式图
Fig.8 Model of industrial space optimization in Wuhan Metropolitan Area

同发展区的辐射带动作用；邻近核心圈层的产业组团可能受到集聚阴影或虹吸效应影响，宜培育生产制造产业以提升功能互补性；远离核心圈层的副中心节点可依托产业协同发展区，推动相关生产性服务业发展；以此形成研发、融资、头部、主链在核心，制造、投资、链条、配套在周边的格局。

5.2.3 推动临界区域合作共建，提升跨行政区功能联系

跨界产业合作组团在成长型都市圈产业网络中发挥着重要的桥梁作用，是链接外围圈层与核心圈层的关键节点，有助于打破行政区划壁垒、提升区域功能协同水平。应积极推动临界区域协同发展与合作园区共建，利用外围圈层城市土地、劳动力等价格优势，在武鄂、汉孝、武咸、武仙、鄂黄黄、仙天等临界区域，推进园区共建合作，加强产业合作，打造都市圈跨界交流合作及空间统筹的示范区（图8）。一是构建完善的园区共建合作机制，加强各地的信息交流及政策协调，避免因信息不对称和利益冲突而造成的合作效率下降；二是制定有针对性的政策措施，通过税收、土地、资金扶持等优惠政策，鼓励企业参与园区的共建合作；三是根据当地的资源基础和产业发展现状，定制匹配当地产业发展的共建合作方案，通过创新园外园、双向飞地等方式推动都市圈特色园区的深度合作；四是采用更为开放的治理方式，鼓励合作双方创新性地探索出互利共赢的合作模式。

6 结语

本文以武汉都市圈作为研究对象，采用产业组团为基本单元，综合“场所空间”与“流动空间”分析方法来解析武汉都市圈产业空间的组织特征与问题，提出了“场所空间”和“流动空间”的感知诊断与模拟仿真方法，总结了强核成长型都市圈产业空间布局优化策略，希望为其他都市圈国土空间规划提供借鉴。

参考文献

[1] 贺灿飞, 王文宇, 朱晟君. “双循环”新发展

- 格局下中国产业空间布局优化[J]. 区域经济评论, 2021(4): 54-63.
- [2] 沈立, 倪鹏飞. 全球产业链演变趋势下中国城市发展格局的未来走向及政策建议[J]. 经济纵横, 2022(2): 60-68.
- [3] 申明锐, 王紫晴, 崔功豪. 都市圈在中国: 理论源流与规划实践[J]. 城市规划学刊, 2023(2): 57-66.
- [4] MARSHALL A. Principles of economics [M]. London: MacMillan, 1890.
- [5] WEBER A. Theory of the location of industries[M]. Chicago: The University of Chicago Press, 1965.
- [6] 程遥, 张艺帅, 赵民. 长三角城市群的空间组织特征与规划取向探讨: 基于企业联系的实证研究[J]. 城市规划学刊, 2016(4): 22-29.
- [7] CASTELLS M. The rise of the network society. volume 1 of the information age: economy, society and culture[M]. Massachusetts and Oxford: Blackwell, 1996.
- [8] 马海涛, 方创琳. 基于企业微观视角的城市区域生产网络空间组织研究: 以粤东城镇群服装生产为例[J]. 地理科学, 2011, 31(10): 1172-1180.
- [9] 马海涛, 黄晓东, 李迎成. 粤港澳大湾区城市群知识多中心的演化过程与机理[J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2297-2314.
- [10] 赵涉希, 王彦开, 胡雨珂, 等. 广佛都市圈网络外部性的城镇借用规模绩效检验[J]. 地理研究, 2022, 41(9): 2367-2384.
- [11] 张衍春, 夏洋辉, 单卓然, 等. 粤港澳大湾区府际合作网络特征及演变机制研究[J]. 城市发展研究, 2022, 29(1): 7-14.
- [12] 张衍春, 陈梓烽, 许顺才, 等. 跨界公共合作视角下珠三角一体化战略实施评估及启示[J]. 城市发展研究, 2017, 24(8): 100-107.
- [13] ZHANG X C, CHEN S Q, LUAN X F, et al. Understanding China's city-regionalization: spatial structure and relationships between functional and institutional spaces in the Pearl River Delta[J]. Urban Geography, 2020, 42(3): 312-339.
- [14] 石敏俊, 孙艺文, 王琛, 等. 基于产业链空间网络的京津冀城市群功能协同分析[J]. 地理研究, 2022, 41(12): 3143-3163.
- [15] 胡国建, 陆玉麒. 基于企业视角的城市网络研究进展、思考和展望[J]. 地理科学进展, 2020, 39(9): 1587-1596.
- [16] 方创琳. 新发展格局下的中国城市群与都市圈建设[J]. 经济地理, 2021, 41(4): 1-7.
- [17] 高煜, 张京祥. 后新冠时代的都市圈发展与治理创新[J]. 城市发展研究, 2020, 27(12): 79-88.
- [18] 黄亚平, 徐灿, 袁满, 等. 武汉都市圈汽车产业空间特征及形成机制研究: 基于产业链视角的分析[J]. 城市问题, 2023(9): 4-13.
- [19] 李佳洺, 张文忠, 李业锦, 等. 基于微观企业数据的产业空间集聚特征分析: 以杭州市区为例[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 95-107.
- [20] 黄亚平, 周敏. 武汉都市圈制造业空间演化特征、机理及引导策略研究[J]. 城市规划学刊, 2016(6): 54-64.
- [21] 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.
- [22] 任亚文, 杨宇. 珠三角地区半导体产业布局特征及其区位关联模式[J]. 地理科学进展, 2022, 41(9): 1622-1634.
- [23] 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.
- [24] 张振广, 马璇. 上海大都市圈产业空间组织特征及其规划建议[J]. 规划师, 2023, 39(4): 28-35.
- [25] 陈红霞, 吴妹雅. 三大都市圈城市网络的发展水平与结构特征比较: 基于六大类生产性服务业细分行业的实证研究[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 110-118.
- [26] 高金龙, 袁丰, 陈雯. 转型期城市制造业空间重构过程与机理: 以南京市为例[J]. 地理研究, 2017, 36(6): 1014-1028.
- [27] 魏后凯. 大都市区新型产业分工与冲突管理: 基于产业链分工的视角[J]. 中国工业经济, 2007(2): 28-34.
- [28] 路青, 宁静. 基于企业数据的京津冀城市群网络结构解析: 区域性社会网络和超网络分析的应用[J/OL]. 城市规划, 2023-10-16: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2378.tu.20230625.0929.002.html>.
- [29] 贺灿飞, 任卓然, 王文宇. “双循环”新格局与京津冀高质量协同发展: 基于价值链分工和要素流动视角[J]. 地理学报, 2022, 77(6): 1339-1358.

修回: 2023-12