

# 电子商务背景下快递企业物流

## 网络结构及自组织效应

### ——以中通快递为例

周建平<sup>1</sup> 刘程军<sup>2</sup> 徐维祥<sup>1</sup> 李露<sup>1</sup> 周梦瑶<sup>1</sup> 侯和宏<sup>21</sup>

(1. 浙江工业大学 经济学院, 中国浙江 杭州 310023;

2. 浙江工业大学 之江学院, 中国浙江 绍兴 312030)

**【摘要】:** 为探究电子商务纵深推进背景下快递企业物流网络的宏观格局及微观机制, 文章基于“双十一”期间的中通快递流通数据分析多尺度视角下省—市—县三种层级快递物流网络的空间格局、网络结构和网络自组织效应, 得到以下结论: ①快递流量分布格局由省域尺度的块状分布格局, 向市域的多核心及极核溢出的聚集式分布转变, 再向县域尺度的一核多极空间形态转变。不同尺度下的网络结构异质性明显, 具有一定尺度效应。②电商快递有效削弱区域联系格局中的地理约束, 强化沿海区域与欠发达地区的物质输送联系, 而且快递物流网络格局反映电商产业供给侧集聚—消费需求侧离散的空间特征。③网络联结紧密度呈省—市—县梯度下降。快递物流网络尺度越小, 交互性较强的模体结构出现的频率越低, 而发散型模体结构的主导地位越强。④互惠性、扩张性、传递性、中介性以及闭合性等多种网络自组织效应推动快递物流网络结构复杂化。

**【关键词】:** 电子商务 物流网络 自组织效应 ERGM 模型

**【中图分类号】:** F259.27 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 02-0103-10

随着新一轮科技革命纵深发展和信息网络技术的创新升级, 中国在互联网领域的“基础设施奇迹”带来了接入设施的广覆盖及使用设施的低门槛, 抹平了一定程度上的“数字鸿沟”<sup>[1]</sup>。互联网作为一种新型基础设施, 逐渐孕育了新的经济发展形态, 改变了各类生产、流通、消费活动, 特别是电子商务向生产生活的持续渗透, 形成了新的资源要素配置方式, 同时也推动了传统意义上地理空间格局的改变, 包括对社会经济空间组织模式、区域间的空间联系均产生了深刻的变革<sup>[2]</sup>。而电子商务对空间联系格局的影响路径之一是依托于快递物流这一线下实体, 根据2019年国民经济和社会发展统计公报, 中国网上零售额为106324亿元, 比上年增长16.5%, 实物商品网上零售额为85239亿元, 增长19.5%, 同时快递物流量也快速增长, 2019年快递业务量达到了635.2亿件, 比上年增长25.3%。电子商务发展背景下的快递物流带来了更广区域的联通, 一方面电商快递带来的跨区域要素配置和资源输送会对区域间联系和城市网络体系重构产生较大的影响<sup>[3]</sup>, 另一方面电商快递承载了信息流及资金流, 实体反映了互联网信息及资本的跨域配置。随着这种虚拟及实体要素跨域流动的日益强化, 区域体系的联系基础发生了内在的变化, 基

**作者简介:** 周建平(1995-), 男, 浙江丽水人, 博士研究生, 研究方向为区域物流与区域经济。E-mail: zjp126222@126.com

刘程军(1987-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为产业经济与区域发展。E-mail: lcjun01@163.com

**基金项目:** 浙江省社会科学规划项目(20NDQN257YB、18NDJC215YB); 国家自然科学基金面上项目(71774145、71874160); 浙江省自然科学基金项目(LQ19G030011、LY19G030023)

于快递企业物流联系视角形成的区域网络体系逐渐浮现。在此背景下，基于大型快递企业物流输送视角的区域网络联系特征和组织规律的研究有待进一步深入。

信息化背景下区域间的复杂流动网络研究已经成为探究现代区域体系的新出发点<sup>[4]</sup>，而且区域研究中“流空间”相关的研究体系不断完善，“地方空间”研究逐渐向“流空间”研究转变，网络化的研究导向逐渐代替了等级化问题的导向，使区域等级理论框架向区域间关系以及网络联系的框架演进，学术界在“流空间”视角下以区域间要素流动分析区域网络及空间关联的研究也渐成体系，如在客运流视角，Smith以航空公司乘客流量数据，分析了全球城市网络系统的联系特征变化<sup>[5]</sup>，在旅游流视角，Chua则根据地理标记社交媒体数据的方法分析了意大利南部地区旅游景点的空间、时间和人口特征，以此揭示了区域旅游业的发展状况<sup>[6]</sup>，此外，Ashkezari-Toussi基于社交网络数据的情感地图分析了城市间的情感网络结构<sup>[7]</sup>，Krtke基于制造业网络分析世界城市网络结构及制造业如何联结城市网络，扩展了对世界城市网络的研究视角<sup>[8]</sup>。同时，国外学者对流空间理论的成熟运用也引起了国内学者对该理论的广泛关注，开展了旅游流<sup>[9-11]</sup>、信息流<sup>[12-14]</sup>、企业流<sup>[15-16]</sup>、物流<sup>[17-18]</sup>以及居民流<sup>[19]</sup>等多种流空间要素研究。其中，因物流是基于实体货物流通桥接区域，相比于其他要素，它与城市间生产分工及价值链体系的关联更为紧密<sup>[20]</sup>，这使得在物流联系视角下开展的区域网络研究成为流空间理论深化扩展的重要议题之一。如宗会明等基于腾邦物流的企业分支网络数据对综合服务型物流企业的空间网络组织模式展开研究，发现全球化对物流企业的网络组织演进存在影响<sup>[21]</sup>；刘程军等通过社会网络分析方法解构了浙江省县域物流网络结构，发现了物流网络中节点联系总量与电商发展水平的空间拟合度较高<sup>[3]</sup>；梁双波等则借助货代企业数据分析物流供应链网络的时空演化及影响因素，得到了经济、区位、政策、市场以及物流组织情况等因素对供应链网络形成具有影响作用<sup>[22]</sup>。

此外，由于“流空间”网络数据属于节点间的关系型数据，对网络与网络间关系的研究方法与传统的计量方法存在一定的差异性。目前国内外学者对网络数据进行实证分析主要划分为以下几类：(1)运用社会网络分析方法，通过分析网络的密度、中心性及凝聚子群等指标来研究网络的结构及聚类特征<sup>[3]</sup>；(2)运用空间计量方法分析网络节点联系总量的溢出效应及影响因素<sup>[23]</sup>，这两类方法只能基于单一网络，不足以分析网络结构的形成原因及形成过程，也难以探究该网络与其他网络间的影响关系；(3)通过二次指派程序（QAP模型）对网络数据进行重复采样来排除观测值之间的依赖性<sup>[24]</sup>，该方法可以阐明网络间的关联关系及关联强度，衡量外生网络的影响效应，但未能剖析网络的结构特征及其形成过程；(4)具有细致刻画空间网络形成过程优势的方法，如指数随机图模型（ERGM），它可以提供一个完全随机的网络形成过程，并通过仿真过程及参数估计推断内生结构、节点属性和外部网络对某一网络结构形成的影响效应<sup>[25]</sup>。现有关于快递物流的网络结构研究主要聚焦于宏观层面，对于微观结构的组织模式深入分析亟待加强，而网络模体分析及指数随机图模型在剖析网络形成过程及微观机制具有较强解析能力。

尺度效应表现为随着研究对象的空间尺度、研究深度的变化，研究对象呈现出数量特征、质量特征及时空结构的异质性<sup>[26]</sup>，而物流网络的空间尺度不同，网络规模、组织规律性以及微观结构都会呈现差异化特征<sup>[17-18]</sup>。现有针对物流网络的研究主要集中在省级及市级尺度，而随着中心城市发展容量的逐渐饱和以及互联网经济发展重心和渠道的持续下沉，县域成为快递物流发展的重要节点<sup>[3]</sup>，展开多尺度的快递物流网络分析能较好展现电子商务发展背景下的快递物流网络结构。综上所述，本研究从快递运单中提取出实际快递物流数据，以此构建快递物流网络，并运用社会网络分析、模体分析以及指数随机图模型在多尺度视角下分析省—市—县三种层级物流网络的空间格局、网络结构和网络自组织效应，有效克服既有物流网络研究中运用引力模型及企业分支网络方法间接估算而难以比较准确度量真实联系情况的问题，以期丰富快递物流网络微观研究样本，为物流网络优化和现代服务业高质量发展提供理论依据。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 研究方法

本研究以“快递企业物流网络—多尺度网络格局及特征—网络节点属性及模体—网络自组织机理”为主线，具体从空间格局、网络结构和网络自组织效应三个方面展开分析，研究方法主要为社会网络分析法、模体（Motif）分析方法以及指数随机图

模型 (ERGM)。

### 1.1.1 社会网络分析法

社会网络分析法是社会学研究中的重要方法，后逐渐运用到经济学领域，其特点是从“关系”角度出发分析网络，本研究通过该方法可以展现出快递物流网络的整体形态、结构以及特征，为此本研究分别从网络密度和中心度两个角度进行分析<sup>[27]</sup>，并采用 UCINET 来计算。

(1) 网络密度。网络密度可以反映快递物流网络中各研究单位之间联系紧密程度。公式<sup>[28]</sup>如下：

$$D_i = \frac{2m}{n(n-1)} \quad (1)$$

式中： $D_i$  表示第  $i$  个区域的网络密度； $m$  表示实际拥有的连接关系总数； $n$  表示可能拥有的理论最大关系总数。

(2) 中心性分析。中心度指数是中心性的量化指标之一，分析该指数可以从以下三个角度进行：度数中心度、接近中心度、中间中心度。公式<sup>[29]</sup>如下：

$$C_D(C_i) = \sum_i a_{ij} / (n-1) \quad (2)$$

$$C_C(C_i) = \frac{n-1}{\sum_{j \neq i} d_{ij}} \quad (3)$$

$$C_B(C_i) = \sum_{i \neq j \neq l} \frac{D_{jl}(i)}{D_{jl}} \quad (4)$$

式中： $C_D(C_i)$  表示度数中心度； $a_{ij}$  为区域点  $i$  和其它区域之间的有效连接数量； $C_C(C_i)$  表示接近中心度； $d_{ij}$  为表示节点  $i$  和  $j$  之间的最短路径； $C_B(C_i)$  表示中间中心度； $D_{jl}$  表示连接区域点  $i$  的另外 2 个区域点  $j$  和  $l$  间最短路径； $D_{jl}(i)$  为连接区域点  $j$  和  $l$  并通过节点  $i$  的路径。

### 1.1.2 网络模体 (Motif) 分析方法

模体，即网络的基元，能够展示网络中各节点之间的基本连接模式。某一网络中的模体是网络中出现频率远高于在具有相同节点和连线数的随机网络中出现频率的连通子图，通常基于模体的频率、 $P$  值以及  $Z$  值等统计特征进行分析。 $Z$  值可以衡量某一模体在真实网络中的重要性， $Z$  值越大表示该模体在网络中越重要。其中  $Z$  值的计算公式为：

$$Z_i = \frac{N_{real_i} - N_{rand_i}}{\sigma_{rand_i}} \quad (5)$$

式中： $N_{\text{real}i}$  表示模体  $i$  在实际网络中出现的次数； $N_{\text{rand}i}$  表示模体  $i$  在随机网络中出现的次数； $\sigma_{\text{rand}i}$  表示标准差。

### 1.1.3 指数随机图模型 (ERGM)

指数随机图模型 (ERGM) 能够通过类似标准的回归形式来解释所观测到的网络结构特征。该模型的一般构建过程如下：考虑一个随机图  $G=(V, E)$ 。令二元随机变量  $Y_{ij}=Y_{ji}$  表示  $V$  中节点  $i$  和  $j$  之间存在一条边  $e \in E$ 。这样  $Y=[Y_{ij}]$  就是  $G$  的 (随机) 邻接矩阵。记  $y=[y_{ij}]$  是  $Y$  的一个特定实现。指数随机图模型是使用指数族分布形式定义  $Y$  中元素的联合分布的一类模型。ERGM 的基本形式<sup>[30]</sup>如下：

$$p_{\theta}(Y = y) = \left(\frac{1}{k}\right) \exp\left\{\sum_H \theta_H g_H(y)\right\} \quad (6)$$

式中：每个  $H$  都是一个构型，其定义为  $G$  的一个节点子集中节点之间可能的边的集合； $g_H(y) = \prod_{Y_{ij} \in H} Y_{ij}$ ，故若构型  $H$  出现于  $y$  中则为 1，否则为 0；非零值  $\theta_H$  表示在给定剩余部分图条件下， $Y_{ij}$  和  $H$  中的所有节点对  $\{i, j\}$  相依； $k=k(\theta)$  是归一化指数。该模型主要采用马尔科夫链蒙特卡罗极大似然估计法对模型进行检验，通过不断对模型的模拟和参数修正，赤池信息量 (AIC) 和贝叶斯信息量 (BIC) 用于评判指数随机图模型 (ERGM) 的间接性和拟合度。

### 1.2 数据来源

由于中国快递公司较多，难以获取全部快递公司的物流信息，为了保证研究的可行性、合理性及典型性，本研究以处于中国快递业第一方阵中的中通快递为例分析快递物流网络格局。中通快递股份有限公司于 2002 年在上海成立，是一家国内业务规模较大的快递企业，截至 2019 年底，中通服务网点约 30000 个，分拨中心 91 个，网络合作伙伴约为 4750 家，长途车辆数量超过 6600 辆，干线运输线路超过 2400 条，快递网络覆盖了中国 98% 以上的区县。覆盖较广的中通快递业务流向能较为准确及全面地反映不同尺度下的快递网络格局。

本研究分析省—市—县三尺度下的快递网络，关于研究区域，在省级尺度下，包括 34 个省级行政区，包括 23 个省、5 个自治区、4 个直辖市、2 个特别行政区；在市级尺度，包括 360 个市级行政区，包括 4 个直辖市以及 356 个地级市、地区、自治州、盟等市级行政单位；在县级尺度，包括 2600 个区县行政单位。本研究分析电子商务背景下的快递物流网络结构，但是难以从现有数据中有效剥离出准确的电商物流信息，根据相关研究方法<sup>[17]</sup>，选取“双十一”电商节后的快递流向来反映电商快递物流网络结构，并通过慧达网站 (<http://www.huidai178.com/>) 及中通快递官方网站 (<https://www.zto.com/>) 查询获得快递流向数据，考虑快递普遍时长及考虑“双十一”期间的货物运输可能延后的特点，随机获取得到 2019 年 11 月 11 日—2019 年 11 月 20 日内的 10358 条数据，对数据进行清洗后 (剔除无效及重复数据)，最终得到 81595 条快递流向数据。“双十一”电商节全国购物需求急速增加，由此引致的快递流向能较好反映电子商务发展背景下的快递物流网络，而且全国范围的购物狂欢也有助于挖掘更广区域内的物流网络结构。

## 2 多尺度下快递物流网络格局

为更为准确刻画快递物流网络的空间格局，本研究在省域—市域—县域三个尺度下展开，将物流网络格局的尺度逐渐细化，从不同层面揭示物流网络的格局和特征。

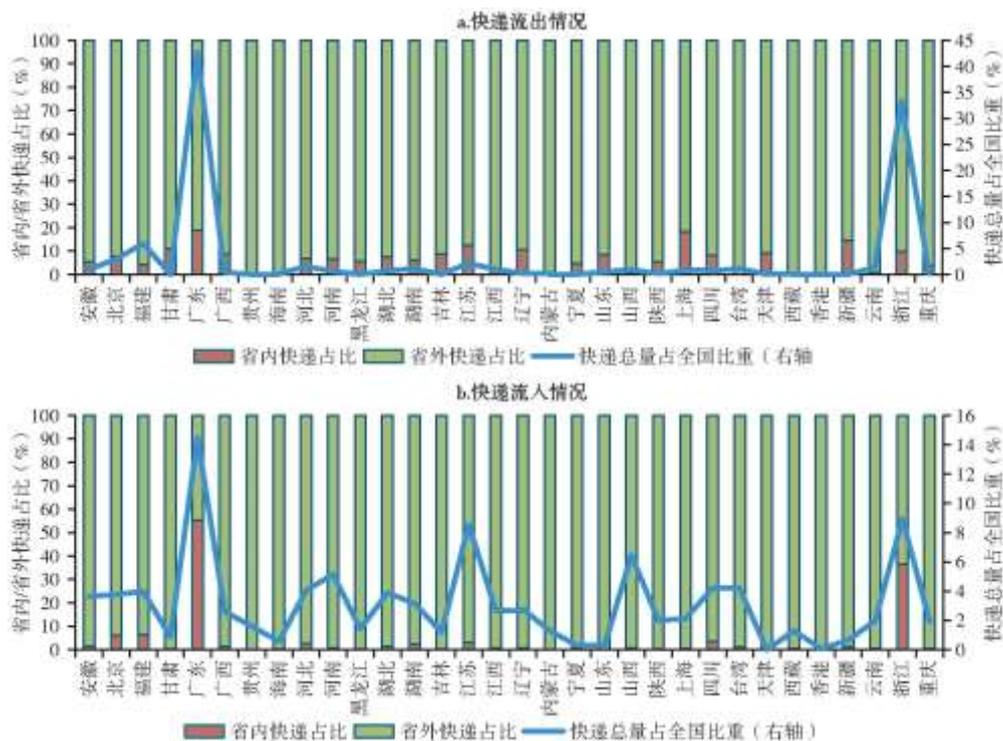


图1 省域快递流入及流出情况

## 2.1 节点快递流量格局

### 2.1.1 省域快递流入及流出情况

省域快递流出格局中，流向省外的快递占比明显高于省内，其中仅广东、江苏、辽宁、上海、新疆、浙江、甘肃等区域的流向省内快递占比大于10%。针对快递总量占全国总量的比重而言，广东及浙江的快递流出占比领先优势明显，占比分别为44.70%以及33.35%，具有明显的马太效应。究其原因，区域的产业结构特点是各地电商发展差异重要因素，粤浙等省份的轻工业较为发达，而在电子商务销售过程，由于轻工业产品的易耗性，在“双十一”这类以促销为主的电商节中受到了消费者的青睐，日用品、服饰等轻工业品的销量相对较高，因此快递业务也相对较多，另一方面物流园区及电商企业主要集聚于东部沿海省份，这也是浙江及广东成为快递流出集中省份的重要原因之一。省域快递流入的格局中，大部分省域的省外快递占比仍然较高，仅有广东及浙江的省内快递占比大于30%，广东省甚至达到了55.27%，与快递流出情况不同的是，浙江及广东快递流入的总量占比相较于流出而言下降明显。

### 2.1.2 各尺度快递节点流量情况

快递流量表示该节点快递流入数量以及快递流出数量的总和，本研究基于自然断点法将不同尺度的快递流量划分为5个等级的区域，分别命名为高值、较高值、中值、较低值以及低值区，可视化结果如图2所示（在省市尺度，将四个直辖市、香港、澳门以及台湾地区均视为同一级研究区）。基于空间格局形态视角而言，在省域尺度，块状分布格局较为明显，高值及较高值区主要集中在东南沿海区域，低值及较低值则分布于中部及华北地区；在市域尺度，胡焕庸线两侧城市的快递流量格局分异明显，低值区主要集中于胡焕庸线左侧，在胡焕庸线右侧，格局呈多种分布形态，一种为多核心形态，如长三角城市群以及粤港澳大湾区，多个城市为高值区，还有一种为极核形态，表现为单一高值区及其他区域形成的区块式分布形态，如京津冀城市群、中

原城市群以及成渝城市群等地区；在县域尺度，少数的高值区域以及零星的较高值分布形成多核多极分布格局。整体而言，随着尺度的细微化，微观分布格局被放大，层级化地块状分布逐渐向核心边缘形态转变。

## 2.2 快递物流网络空间分布格局

基于自然断点法分别将省域—市域—县域间快递联系统一划分为 5 个等级：弱联系、较弱联系、一般联系、较高联系以及强联系，并利用 ArcGIS10.2 软件进行可视化处理（为了提升可视化效果，将市域及县域级别中快递量仅为 1 的网络线设置为透明），绘制得到图 3。在省域快递网络中，以浙江—广东—江苏为核心形成强联系三角格局，这表明长三角城市群与粤港澳大湾区的省域间物质输送联系较多，而且较强联系与一般联系也呈现这些核心省域向外辐射的散射状特征，网络整体上具有明显的空间异质性和网络层级性；在市域快递网络中，网络联系整体呈现“东密西疏”的空间分布特征，格局形成以京津冀城市群、长三角城市群以及粤港澳大湾区为主体的差异化巨型组团形态，其中京津冀城市群内主要形成以北京为主体的单核心结构，长三角城市群以及粤港澳大湾区则为多核心结构；在县域网络中，以长三角为中心的散射状网络结构明显，快递流转呈扇形空间形态。整体而言，快递物流具有多尺度网络效应，不同尺度下的网络结构具有一定异质性，而且随着尺度不断细化，中长距离物流联系特征愈发突出，可能有以下原因，电子商务背景下，线上线下的虚实结合逐渐深入，地理空间和互联网信息空间也愈发趋向均质化，运输距离与流通成本对货物的影响明显降低，多尺度下快递物流网络中长距离的空间联系较多，同时也说明地理距离约束下短距离联系为主要的传统物流网络格局被逐渐削弱。

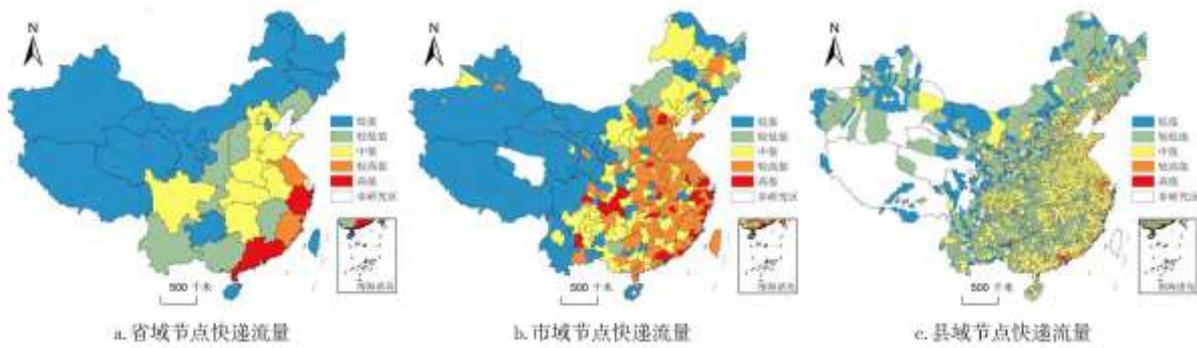


图 2 快递节点流量分布格局

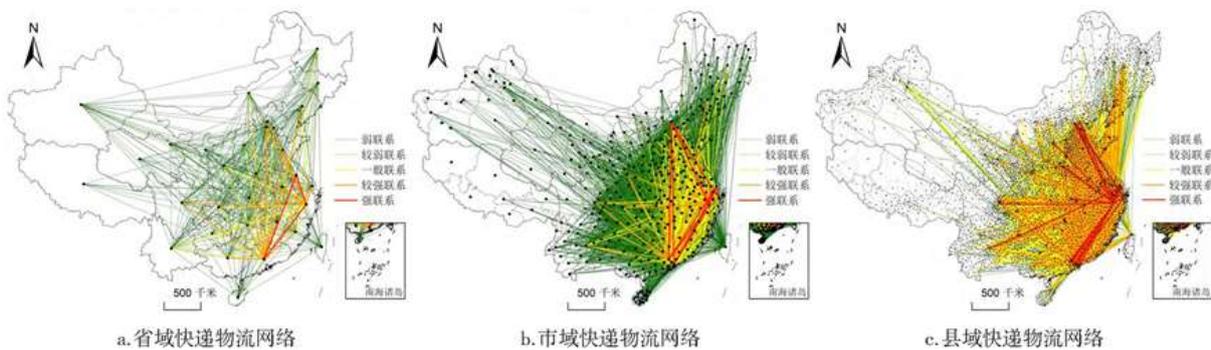


图 3 快递物流联系网络格局

## 2.3 首位度网络格局

为了探究各层级网络的主体形态及区域节点的整体影响力，本研究通过提取出每个节点与其对应的最大连接值（即该节点与其他节点的最大快递流量），得到首位度联系网络，并基于快递物流网络中流入及流出快递的差异性绘制快递流入的首位联系图及快递流出的首位联系图（图4），对于部分节点，因其首位联系是与节点自身形成，因此未绘制网络连接线。由图4可知，省域—市域—县域的快递流入首位联系及快递流出首位联系存在一定差异，针对快递流出首位联系网络而言，在省域层面，浙江与广东的核心地位凸显，多数省域与两者存在首位联系，这表明大部分省份的快递主要来源为浙江与广东，快递发货的集中度较高，在市域层面，金华、广州以及深圳的首位联系占比达到了97.22%，这表明中国几乎所有的市域与这两个城市都形成了首位联系，在县域层面，流出首位联系呈长距离放射状且东部县域的流出指向性明显。针对快递流入首位联系网络而言，各尺度网络中的空间形态表现不一，省域网络中，广东及浙江的核心地位仍突出，而市域及县域网络中首位联系的空间指向性较弱。究其原因，区域人口格局、经济活动以及产业分布差异性决定了快递物流首位联系格局的不均衡。从流入及流出的首位联系格局来看，快递的发货地集中度较高，而收货地集中度相对较低，快递流出地多集中于沿海省份，特别是浙江与广东电商产业发达，2个省份占据了大部分的发货量，快递流出地的集中反映了电商需求产业集中度较高，而流入地较为分散则与各地消费者实际的需求相关，由此体现了电子商务的供给侧集聚而消费需求侧离散化的特征。

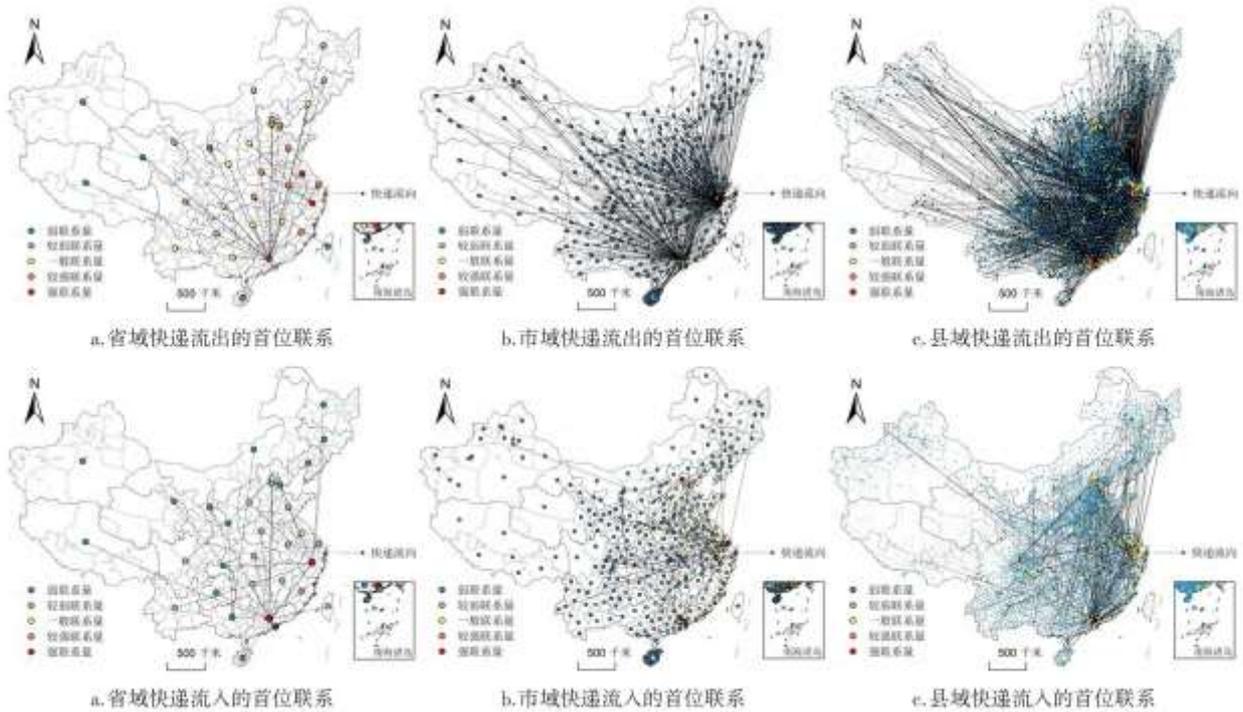


图4 快递流入流出首位度网络格局

### 3 多尺度下快递物流网络结构及自组织效应

#### 3.1 快递物流网络密度及多重中心特征

##### 3.1.1 网络密度分析

为分析快递物流网络的整体联结程度，本研究基于Ucinet软件进行网络密度测算，得到省域快递物流网络密度为0.654，市域快递物流网络密度为0.079，县域快递物流网络密度为0.006，随网络尺度的逐渐细微化，网络密度呈现下降的趋势，这说

明省域快递网络联结较为紧密，空间关联程度较高，而市域网络及县域网络的快递关联程度还较低，物流组织关系较为松散。

### 3.1.2 网络多中心性分析

本研究将计算得到的各尺度网络中心度按节点快递流量降序排列后绘制成图 5。由图 5 可知，在省域快递网络中，度数中心度及接近中心度的降序分布较为接近，拟合程度较高，仅在 20 位后出现明显差异，中心度排位前五名为广东、浙江、福建、河北、四川，而中间中心度的首位差距较为明显，而且大部分省份均在 0 值附近，这说明大部分省份在快递物流网络中的资源控制力较低；在市域快递网络中，度数中心度及接近中心度的降序分布仅在前列较为接近，中心度排位前十名为广州、金华、深圳、泉州、东莞、揭阳、杭州、北京、佛山以及汕头，但后续的差异性较大，度数中心度的降速明显快于接近中心度，中间中心度首位差异有所降低，大部分市域的中间中心度仍在 0 值附近；在县域网络中，度数中心度及接近中心度的差异进一步扩大，金华的县级市义乌排至首位，排名前几位多为广东及浙江的县域，如广州的白云区及天河区、深圳的龙岗区及福田区、宁波的鄞州区等。总体而言，中心度排名较为靠前的节点在空间上与快递物流流量的分布趋于相似，主要集中于长三角、京津冀以及粤港澳等地区。

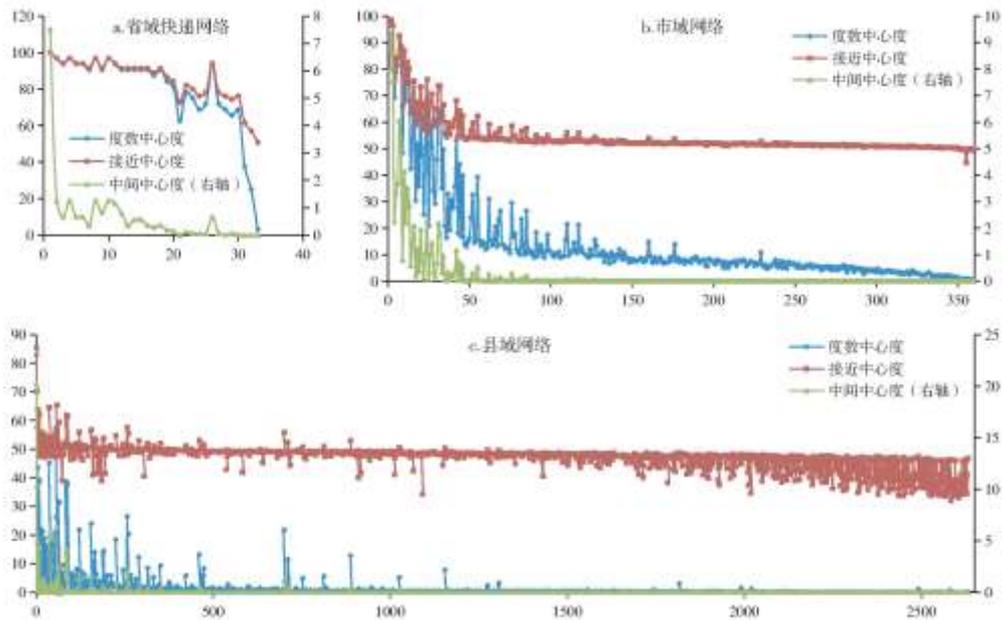


图 5 快递物流网络节点多中心度的位序分布

### 3.2 快递网络的微观关联模式

模体 (Motifs) 分析方法可以探究快递网络的微观关联模式，本研究分别对省—市—县三个层级的快递物流运输网络中的模体结构展开识别，分析哪些模体结构出现的频率较高并判断哪些模体在快递物流运输网络中发挥了显著作用。在省域网络中，模体 140、14、166 通过了显著性检验，这表明这些模体结构在省域快递运输网络中具有重要作用，会对网络的整体结构产生影响，140 网络连通模式的 Z 值最大但是出现频率较小，说明该模体发挥了一定作用，但是影响力有限，究其原因可能是该模体的交互关系较强，节点均产生了传递作用，而在快递网络中各省域尽管存在一定程度的交互性特征，但省域间仍存在明显非平衡的关联，使得这种均衡性网络模体出现概率较低。模体 14 的频率较高，该模体表明各节点有一定的交互关系但未形成传递三角形结构，这表明省域快递网络存在一些核心节点，对外的辐射较强。在市域网络中，模体 6、46、238、12、166 通过了显著性检验，对网络的整体结构形成了一定作用，其中，模体 6 的频率高达 58.30%，占据了主导地位，该模体主要是一些强势节点向

外辐射形成，缺少交互性和传递性，这表明市域网络中核心节点对网络形成的影响较强。模体 46 的频率排第二，这表明市域快递网络中，快递来往形成的交互关系结构仍较为明显。在县域网络中，模体 6、46、238、12、164、166 通过了显著性检验，其中，模体 6 结构的网络主体地位明显，以主导县域为核心形成的核心—边缘格局在县域快递物流网络中较为常见。总体而言，快递物流网络尺度越小，交互性较强的模体结构出现的频率越低，而发散型模体结构的主导地位越强。

### 3.3 快递物流网络自组织效应

#### 3.3.1 网络自组织效应变量选择 ERGM

指数随机图模型（ERGM）能够用于解释网络中的连接关系以及连接形成的原因，由于任何一个网络都是该网络所有节点形成的所有网络可能集中的一种特殊情况，指数随机图模型的被解释变量就是一个网络出现的概率。该模型允许多种可能影响节点间关系形成的因素纳入模型中，通常分为：网络自组织效应（内生结构变量）、个体属性效应、外生网络效应。本研究重点考虑自组织效应对快递物流网络形成的影响，如果一个网络在某些结构特征上明显有异于从网络可能集中随机抽取的其余网络，则意味着该网络的实现将受到某些特殊结构的影响。网络自组织效应能分析出影响网络实现概率的特殊内生结构，找出较为重要的网络局部关系构建过程，内生结构变量可以包括网络的边数、交互性、聚敛性、扩张性、传递性、交互 K 三角、交互 k 路径等变量。

#### 3.3.2 ERGM 结果分析

本研究使用马尔科夫连蒙特卡罗最大似然估计法（MCMC）估计模型参数，edges 变量类似传统模型中的常数项解释其他变量的基准，可解释为网络节点形成关系的基本倾向，在所有模型中该值均为负值且在统计上显著，这说明各尺度的快递物流网络建立并不是由随机过程而产生。互惠性（mutual）的系数为正值且均通过了 1% 的显著性检验，这表明在多尺度的快递物流网络中，存在明显的互惠效应，有较多的交互联结，区域之间相互输送产品的现象较为明显，同时也说明区域之间的电子商务实体产品的需求及资源依赖是相互的。扩张性（ostar）及传递性（twopath）具有显著的正效应，扩张的向外输送及节点的传递是快递物流网络形成的重要结构过程，这是快递网络趋于复杂性的基础，同时也表明扩张加传递的物质输送模式推动形成了多尺度的快递物流网络。中介性（gwdsp）仅在县域物流网络中表现显著的正向作用，这说明县域快递网络中的节点关系形成倾向于中介 2-路径。闭合性（gwesp）的系数在市域网络及县域网络中均为正值且通过显著性检验，这表明快递物流网络节点形成关系受到闭合机制的显著影响，节点间产生物流联系时具有一定的共享伙伴，同时也倾向于形成这种伙伴联系，闭合性构成了网络中凝聚子群形成的基础，是网络联系聚集及复杂化的条件。

## 4 结论及讨论

### 4.1 结论

基于中通快递物流企业的物流运单数据，在省一市一县多尺度视角下分析了层级物流网络的空间格局、网络结构和网络自组织效应，解析了多尺度物流网络的宏观格局特征及微观机制。研究得到了以下结论：(1) 快递流量及网络格局空间异质性明显，具有一定尺度效应。随着尺度的细化，快递流量的微观分布格局被逐渐放大，省域尺度呈现块状分布格局，市域则为多核心及极核溢出的聚集式分布，在县域尺度更是呈现多核多极的空间形态。针对网络格局而言，在省域快递网络中，以浙江—广东—江苏为核心形成强联系三角格局，在市域快递网络中，格局呈现出以京津冀城市群、长三角城市群以及粤港澳大湾区为主体的三大巨型组团形态，在县域网络中，以长三角为中心的散射状网络结构明显。(2) 电商供需两侧的集散分布深刻影响快递物流网络格局，弱化了空间距离约束。三种尺度的网络中长距离的快递物流联系较强，电子商务背景下的运输距离与流通成本对货物的影响明显降低，地理距离约束下短距离联系为主的传统物流网络格局被逐渐改变。快递流出首位度网络的极化效应明显，东部沿海地区是快递流出首位联系的主要区域，但是流入首位度网络的空间指向性较弱，各区域的联系分布较为无序，体现了产

---

业供给侧集聚而消费需求侧分散化分布的特点。(3)网络尺度越小,各节点的交互性越弱。省域快递网络联结较为紧密,而市域网络及县域网络的快递关联程度还较低,物流组织关系较为松散。长三角、京津冀以及粤港澳等地区的网络中心性较强。由于区域间存在明显非平衡的关联,快递物流网络尺度越小,交互性较强的模体结构出现的频率越低,而发散型模体结构的主导地位越强。(4)多种网络自组织模式推动了快递物流网络结构复杂化。快递物流网络中的互惠性明显,扩张的向外输送及节点的传递是快递物流网络形成的重要结构过程,而且节点间产生物流联系时具有网络节点共享,网络闭合性明显,构成了网络中凝聚子群形成的基础。

#### 4.2 讨论

依托于互联网这一新型基础设施的广域覆盖及以电商消费升级为特征的国内消费新趋势,中国的电子商务产业提档升级,与经济社会各方面深度融合,并借助快递物流形成区域间的实体联系,强化了发达区域与欠发达地区的空间联系。以往学者对于县域物流这一尺度的探究尚有不足,且对物流网络的微观关联机制及自组织效应的研究尚有待加强,本研究基于“双十一”期间的快递流通数据分析多尺度视角下的物流网络格局及自组织效应,在多尺度视角及网络微观机制上取得了一定创新,对后续的相关研究有一定参考价值,但是快递物流网络仍值得更进一步探索,如多源数据的融合分析、电子商务与快递物流的融合效率及其背后驱动机制、物流网络与其他网络的异质性网络结构互动效应等方面的内容仍需深入展开研究。

#### 参考文献:

- [1] 邱泽奇,张树沁,刘世定,等.从数字鸿沟到红利差异——互联网资本的视角[J].中国社会科学,2016(10):93-115,203-204.
- [2] 安同良,杨晨.互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应[J].经济研究,2020,55(2):4-19.
- [3] 刘程军,周建平,蒋建华,等.电子商务背景下县域物流的空间联系及其网络结构研究——以浙江省为例[J].地理科学,2019,39(11):1719-1728.
- [4] Pflieger G, Rozenblat C. Introduction. Urban networks and network theory: the city as the connector of multiple networks[J]. Urban Studies, 2010, 47(13):2723-2735.
- [5] Smith D A, Timberlake M F. World city networks and hierarchies, 1977-1997: an empirical analysis of global air travel links[J]. American Behavioral Scientist, 2001, 44(10):1656-1678.
- [6] Chua A, Servillo L, Marcheggiani E, et al. Mapping Cilento: Using geotagged social media data to characterize tourist flows in southern Italy[J]. Tourism Management, 2016, 57:295-310.
- [7] Ashkezari-Toussi S, Kamel M, Sadoghi-Yazdi H. Emotional maps based on social networks data to analyze cities emotional structure and measure their emotional similarity[J]. Cities, 2019, 86:113-124.
- [8] Krätke S. How manufacturing industries connect cities across the world: extending research on ‘multiple globalizations’ [J]. Global Networks, 2014, 14(2):121-147.
- [9] 李磊,陆林,穆成林,等.高铁网络化时代典型旅游城市旅游流空间结构演化——以黄山市为例[J].经济地理,2019,39(5):207-216,225.

- 
- [10]秦静,李郎平,唐鸣镝,等.基于地理标记照片的北京市入境旅游流空间特征[J].地理学报,2018,73(8):1556-1570.
- [11]汪德根,陈田,陆林,等.区域旅游流空间结构的高铁效应及机理——以中国京沪高铁为例[J].地理学报,2015,70(2):214-233.
- [12]董超,修春亮,魏冶.基于通信流的吉林省流空间网络格局[J].地理学报,2014,69(4):510-519.
- [13]王宁宁,陈锐,赵宇.基于信息流的互联网信息空间网络分析[J].地理研究,2016,35(1):137-147.
- [14]姚文萃,周婕,陈虹桔,等.基于互联网公共信息流的区域网络空间结构研究[J].经济地理,2017,37(10):10-16.
- [15]盛科荣,张红霞,赵超越.中国城市网络关联格局的影响因素分析——基于电子信息企业网络的视角[J].地理研究,2019,38(5):1030-1044.
- [16]王成,王茂军.山东省城市关联网络演化特征——基于“中心地”和“流空间”理论的对比[J].地理研究,2017,36(11):2197-2212.
- [17]李鲁奇,孔翔.“双十一”期间中国快递流通的时空结构与效率——基于时间地理学视角[J].地理研究,2019,38(8):1891-1904.
- [18]宓泽锋,曾刚.不同尺度下长江经济带物流联系格局、特征及影响因素研究[J].地理科学,2018,38(7):1079-1088.
- [19]席广亮,甄峰,沈丽珍,等.南京市居民流动性评价及流空间特征研究[J].地理科学,2013,33(9):1051-1057.
- [20]任梦瑶,肖作鹏,王缉宪.中国城际专线物流网络空间格局[J].地理学报,2020,75(4):820-832.
- [21]宗会明,周素红,闫小培.全球化下地方综合服务型物流企业的空间网络组织——以腾邦物流为案例[J].地理研究,2015,34(5):944-952.
- [22]梁双波,曹有挥,吴威.长江三角洲地区物流供应链时空演化及其影响因素——基于国际货代企业数据的分析[J].地理研究,2017,36(11):2156-2170.
- [23]刘程军,周建平,蒋建华,等.区域创新与区域金融耦合协调的格局及其驱动力——基于长江经济带的实证[J].经济地理,2019,39(10):94-103.
- [24]Broekel T,Balland P A,Burger M,et al. Modeling knowledge networks in economic geography:a discussion of four methods[J].The annals of regional science,2014,53(2):423-452.
- [25]Windzio M.The network of global migration 1990-2013:Using ERGMs to test theories of migration between countries[J].Social Networks,2018,53:20-29.
- [26]徐维祥,张筱娟,刘程军.长三角制造业企业空间分布特征及其影响机制研究:尺度效应与动态演进[J].地理研究,2019,38(5):1236-1252.

---

[27]彭芳梅. 粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构——基于改进引力模型与社会网络分析的实证分析[J]. 经济地理, 2017, 37(12):57-64.

[28]秦奇, 吴良, 李飞, 等. 基于社会网络分析的东南亚地缘关系研究[J]. 地理学报, 2018, 73(10):2014-2030.

[29]郑文升, 姜玉培, 卓蓉蓉, 等. 安徽省县际经济联系网络结构演变及影响因素[J]. 地理科学, 2016, 36(2):265-273.

[30]刘华军, 杜广杰. 中国雾霾污染的空间关联研究[J]. 统计研究, 2018, 35(4):3-15.