

李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 等. 中国三大城市群电子商务快递物流网络空间结构及其形成机制研究 [J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1398-1408. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling et al. Spatial structure and formation mechanism of e-commerce express logistics network in the three major urban agglomerations of China. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(8): 1398-1408.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.08.011

中国三大城市群电子商务快递物流网络空间结构及其形成机制研究

李苑君^{1,2,3}, 吴旗韬², 张玉玲², 吴康敏², 张虹鸥², 金双泉⁴

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 广东省科学院广州地理研究所, 广东 广州 510070; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 广东省交通运输规划研究中心, 广东 广州 510101)

摘要: 以中国长三角、京津冀、珠三角三大城市群为案例, 基于中国智能物流骨干网(China Smart Logistic Network, CSN)关系数据, 采用社会网络分析、随机森林分类算法、QAP 分析等研究方法, 在县区尺度上探索电子商务快递物流网络空间结构特征及其形成机制。研究发现: ① 三大城市群电商快递物流网络密度较高, 已形成典型的网络式空间结构。其中长三角城市群网络呈圈层蛛网式结构, 县区间联系强度以环杭州湾为中心向外围梯度衰减; 京津冀城市群网络受制于行政藩篱, 形成“北京-天津”双核心网络结构; 珠三角城市群网络联系强度自区域外围由弱到强逐渐向珠江口东岸方向变化, 形成“穗(广州)-莞(东莞)-深(深圳)”快递物流廊道。② 三大城市群中物流输出型县区多集中在区域中部, 依托中心城市向外物流辐散, 而物流输入型县区多分散于外围。③ 城市群电商快递物流网络形成主要受人均可支配收入、常住人口和距离等因素影响。研究结果对于丰富城市网络理论, 促进城市群快递物流协调发展, 提升现代服务业水平和城市群整体竞争力具有重要意义。

关键词: 城市网络; 电子商务快递物流; 网络空间结构; 三大城市群

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2021)08-1398-11

随着经济全球化与区域一体化发展, 城市群成为国家参与全球竞争与国际分工的重要地域单元, 将决定世界政治经济新格局^[1,2]。中国的长三角、京津冀和珠三角三大城市群, 有条件位列世界级核心城市群, 且较之制造业, 其主要竞争力来源于信息产业和服务业^[3]。其中以现代物流为代表的服务业具有深入所有行业的优势, 是城市经济增长的新引擎^[4]。快递物流业作为高速发展的新兴服务行业, 亦逐渐成为推动流通方式转型、刺激消费升级的先导性产业^[5], 有效促进了区域一体化发展。与此同时, 快递物流业也出现网络布局不合理、末端设施不配套、网点设置混乱, 配送系统低效等一系列问题^[6]。研究快递物流网络布局, 在宏观上把握物流网络整体结构, 在微观上透视物流要素

流动特征, 明确不同节点城市在城市群的功能定位, 对于促进城市群快递物流协调发展, 提升现代服务业水平和城市群整体竞争力具有重要意义^[7,8]。

国内外学者对物流网络的构建方法主要有 2 种, 一是引入物理力学模型计算城市间相互作用力, 以此作为联系强度构建城市等级体系^[8-10]; 二是通过物流企业总部-分支机构地理位置和组织关系表征城市间物流联系, 并以此构建物流网络^[11,12]。上述方法在城市间物流流动数据难以获取的技术背景下, 一定程度上反映了物流网络主体结构特征, 但仍根植于距离因素对空间联系的阻力, 是一种静态的、物理的研究视角^[13], 且本质上是模拟的网络, 未能完全真实展现物流网络结构特征。20 世纪 90 年代, Manuel Castells 提出流空

收稿日期: 2020-07-17; **修订日期:** 2020-10-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071165, 41801144)、广东省科学院发展专项资金项目(2020GDASYL-20200104007, 2021GDA-SYL-20210103004)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (42071165, 41801144), GDAS' Project of Science and Technology Development (2020GDASYL-20200104007, 2021GDASYL-20210103004).]

作者简介: 李苑君(1995-), 女, 湖北襄阳人, 博士研究生, 主要从事交通地理学研究。E-mail: liyuanjun19@mails.ucas.ac.cn

间(Space of Flows)的概念,将城市间联系抽象为“流”,认为空间是围绕资本流、信息流、技术流等流动因素产生的^[14],城市网络以流为媒介运行各类社会功能,为城市网络研究提供了动态分析视角^[15],在此视角下基于城市间流动“关系数据”构建网络更能真实展现其结构特征。目前,大数据技术发展掀起基于各类流动“关系数据”刻画城市网络的热潮,研究内容不仅局限于旅游流网络^[16,17]、交通流网络^[18,19]等可测度性较高的网络,许多学者亦尝试利用企业联系数据分析资金流网络^[15]、利用手机通讯数据探究信息流网络^[20]等,研究内容愈加丰富,而基于流动“关系数据”构建物流网络的研究则有待深入。

从研究尺度上看,国外物流网络研究多集中于全球尺度,从世界城市网络(World City Network, WCN)的视角分析物流对全球经济的影响^[21,22]。而中国行政区经济和体制性障碍的存在限制了物流要素在城市网络中的流动,流空间地域性特征明显^[23],因此国内研究多依托省、市行政单元等空间尺度^[24,25],如探索浙江省公路货运网络的时空演化规律^[24],分析江西省水果物流网络发展的理想模式等^[25]。近年来,随着区域一体化进程推进,城市群成为存在巨大能量流动的地域综合体^[26],物流要素流动频繁,资源可实现跨区高度整合。因此,在城市群尺度下,物流网络呈现何种特征,仍是值得探索的问题。

综上,本研究基于中国智能物流骨干网(China Smart Logistic Network, CSN)流动“关系数据”,探究中国三大城市群电子商务快递物流网络结构特征,并结合 QAP 分析法探索影响网络形成的因素,以期丰富城市网络理论,为城市群快递物流业协调发展提供理论指导。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域

研究区域为长三角、京津冀和珠三角城市群。其中长三角城市群包括上海市、南京市、无锡市、常州市、苏州市、南通市、扬州市、镇江市、泰州市、杭州市、宁波市、嘉兴市、湖州市、绍兴市、舟山市和台州市 16 个城市^[27], 129 个县,面积 11.04 万 km²;京津冀城市群包括北京市、天津市、石家庄市、唐山市、秦皇岛市、保定市、张家口市、承德市、沧州市和廊坊市共 10 个城市^[27], 152 个县,面积

18.40 万 km²;珠三角城市群包括广州市、深圳市、东莞市、佛山市、惠州市、江门市、肇庆市、中山市和珠海市 9 个城市^[27], 47 个县,面积 5.50 万 km²。根据国家邮政局(<http://www.spb.gov.cn>)统计,2019 年三大城市群快递业务总量约 327 亿件,占比全国 52%。作为中国快递业务最密集、物流最频繁的地区,三大城市群是研究快递物流网络的典型区域。

1.2 数据来源与预处理

基础数据来源于中国智能物流骨干网(China Smart Logistic Network, CSN)。CSN 由阿里巴巴启动,联合顺丰、“三通一达”(申通物流、圆通快递、中通快递和韵达快递)等国内主要快递公司共同构筑,是电商行业重要的基础设施和国内最大的社会化物流平台。CSN 网络在城市之间建立多条动态快递物流运输线路,成为物流“关系数据”新来源。本研究在其官方网站(<https://56.1688.com>)上逐县区检索获取城市群内部各县区之间的有向物流线路数目。鉴于线路周期变动,为避免偶然性,在 2019 年 12 月 2~6 日内采集 5 批数据,取其平均值。数据的预处理包括去除部分统计重复线路、同城线路和无站点追踪线路,最终实际获取县区之间 20 813 对起止点(O-D)组合,共计 1 648 731 条有向线路。研究中涉及的人均 GDP、人口等统计数据来源于 2019 年国民经济和社会发展统计公报(<http://stats.gd.gov.cn/tjgb>),部分缺失数据补充自 2019 年政府官方工作报告(<http://www.gd.gov.cn/zwgk/zfgzbg>);快递点数目获取自百度地图(<https://lbsyun.baidu.com>);县区间最短公路行驶距离来源于 OpenStreetMap 开源 wiki 地图矢量数据库(<https://wiki.openstreetmap.org/wiki>)。

1.3 研究方法

1.3.1 联系强度

联系强度 P_{ij} : 刻画城市群内县区之间的关联程度,以 2 个县区间的有向快递物流线路数目之和作为联系强度。

$$P_{ij} = P_{i-j} + P_{j-i} \quad (1)$$

式中, P_{i-j} 和 P_{j-i} 分别为 i 县区到 j 县区、 j 县区到 i 县区的快递线路数目。以县区为节点,县区间联系强度为加权边可构建无向联系强度网络。

1.3.2 社会网络分析(SNA)

利用社会网络分析法探究城市群电商快递物

流有向网络结构特征。网络密度用以分析整体网络结构,计算网络密度越接近于1,表示节点连边越完整,县区间物流流动路径越广泛^[28]。节点度 C 、点出度 $C_{(out)}$ 和点入度 $C_{(in)}$ 用以量化县区快递物流集散规模,并作为分类依据明确各县区在网络中的功能。其中点出度表示节点对外辐射输出能力,点入度表示节点容纳能力,节点度反映节点综合能力^[28]。各指标通过Ucinet软件测算。

1.3.3 随机森林分类法(Random Forest, RF)

根据电商快递物流网络中各节点所处位置和节点属性进行分类,明晰其物流功能,是促进物流网络有序演进和城市群协调发展的基础。本研究采用随机森林分类算法,它归为机器学习的一种,以集成思想为基础,创建决策树为基本分类单元并对数据进行训练,对于实际数据能够产生高准确度分类结果^[29]。训练数据集选择方式如表1。

表1 训练数据分类方式

分类依据	集散类型	分类依据	规模类型
$C_{(out)}/C_{(in)}>1$	物流输出型	节点度 $C>$ 均值	大规模
$C_{(out)}/C_{(in)}=1$	物流平衡型	节点度 $C=$ 均值	中规模
$C_{(out)}/C_{(in)}<1$	物流输入型	节点度 $C<$ 均值	低规模

选择节点度、点出度和点入度3项特征值,通过随机森林算法理论上可将所有县区分为大规模输出型、输入型和平衡型,中规模输出型、输入型和平衡型及低规模输出型、输入型和平衡型9类,基于数据实际情况排除中规模类型,保留大规模输出型、输入型和平衡型;低规模输出型、输入型和平衡型6种类型县区。

1.3.4 QAP 回归分析法

采用QAP(Quadratic Assignment Procedure)回归分析方法探究影响网络形成的因素。传统多元回归统计检验为避免共线性问题,要求自变量保持独立性,针对网络“关系数据”的检验,即探索“关系之间的关系”则无法发挥作用。QAP相关性检验方法可避免共线性问题,一般通过比较2个关系矩阵中对应元素的方法进行检验,还可以对一个对称矩阵和分为多组的属性数据之间进行自相关分析的随机检验^[30]。QAP回归模型为:

$$F = f(a_1X_1, a_2X_2, a_3X_3, \dots, a_nX_n) \quad (2)$$

式中, F 为电商快递物流联系强度矩阵, $X_1 \sim X_n$ 为影响因素关系矩阵, $a_1 \sim a_n$ 为系数。

现代物流业发展受经济、社会多方面综合影响,综合前人研究成果^[31-34],选择各县区人均GDP、人均可支配收入、常住人口、社会消费品零售总额、快递点数量和空间距离(最短公路行驶距离)6个因素构建关系矩阵进行分析(表2)。

2 分析结果

2.1 县区间电商快递物流联系强度

依据自然断点法将联系强度数值分为5级,同时基于全网络、保留50%网络和10%网络3种情况,分别对网络结构进行分级可视化,以透视网络结构与空间关联特征。在保留10%和50%网络情况下,珠三角城市群联系强度截断值分别为148和127,高于长三角城市群的121和104,也高于京津冀城市群的77和58,表明珠三角城市群内各县区快递物流联系相对紧密。

分等级解析全网络联系强度(表3)。三大城市群强等级联系县区对数目较少,但在整体网络

表2 自变量的说明

变量选择	关系矩阵构建说明	假设检验	预期影响
人均GDP	两县区的人均GDP和矩阵	人均GDP越多,经济越发达,越有利于快递物流业发展	正向
人均可支配收入	两县区的人均可支配收入和矩阵	人均可支配收入越多,居民网购意愿更为强烈	正向
常住人口	两县区的常住人口和矩阵	人口越多,网购人数和快递物流业从业者越多	正向
社会消费品零售总额	两县区的社会消费品零售总额和矩阵	社会消费品零售总额越多,消费市场越活跃	正向
快递点数量	两县区的快递点数量和矩阵	快递点数量越多,快递物流基础设施越完善	正向
空间距离	两县区的最短公路行驶距离	距离越近,快递物流往来越密切	负向

注:和矩阵为基于两县区之间统计值之和所构建的矩阵。

表 3 2019 年三大城市群电商快递物流网络联系强度分级统计

Table 3 Hierarchical statistics on connection strength of e-commerce express logistics network in three urban agglomerations in 2019

联系强度等级	县区间联系强度			县区对数目/对			比例/%		
	长三角	京津冀	珠三角	长三角	京津冀	珠三角	长三角	京津冀	珠三角
弱	23~67	15~32	49~108	296	155	50	3.59	1.35	4.63
较弱	67~97	32~49	108~124	2 326	3 678	411	28.17	32.05	38.02
中	97~116	49~66	124~138	4 176	4 257	442	50.58	37.09	40.89
较强	116~130	66~83	138~152	1 261	2 975	121	15.27	25.92	11.19
强	130~150	83~100	152~173	197	411	57	2.39	3.58	5.27

中占据重要地位。如长三角城市群联系强度等级最高的仅 197 对县区,以总占比 2.39% 的县区对数目,连接起城市群内部 4.1% 的快递物流线路;珠三角城市群则有 57 对县区,占比县区对总数的 5.27%,连接起网络中 6.6% 的快递物流线路;京津冀地区最为显著,其联系强度等级最高的有 411 对县区,占县区对总数的 3.58%,覆盖城市群内部 7.0% 的快递物流线路。三大城市群快递物流联系强度显著集中于中等级,该等级内县区对及其连接起的快递物流线路数目均最多。此外,三大城市群县区间快递物流联系强度亦存在一定差异性,珠三角城市群县区之间联系更为紧密,其各等级联系强度数值均高于其他城市群,平均联系强度为 127,长三角城市群平均联系强度为 102,京津冀城市群各等级联系强度数值均低于其他城市群,平均联系强度为 57。

2.2 电商快递物流联系强度网络的空间差异

从空间分布上看(图 1),各城市群电商快递物流网络空间结构差异显著。长三角城市群网络具有空间非均衡性特征,联系强度从环杭州湾的区域中心向外围由强到弱梯度递减,网络形态呈层级蛛网状(图 2a)。从 50% 结构网络至 10% 结构网络,联系路线逐渐收敛于城市群中部。联系强度较强的线路,其沿海沿江、临近区域中心城市分布的地理特征明显;联系强度最强线路集中于由上海、杭州、宁波和苏州围成的矩形区域。京津冀城市群网络空间分异显著,从 50% 结构网络至 10% 结构网络,区域北部、外围联系线路明显消失,只保留中部和西南物流联系,且最高联系强度线路集中于城市群中心的北京和天津,两城市间呈现高强度、密集化物流联系,极化发展态势突出,与外围地区形成“核心-边缘”结构(图 2b)。珠三角城市群网络中,从 50% 结构网络至 10% 结构网络,

物流联系强度由弱到强逐渐集中于中东部地区,形成“穗(广州)-莞(东莞)-深(深圳)”快递物流联系廊道(图 2c)。与传统珠三角城市群呈现“广深”双核联动式网络结构不同,“流空间”视角下,城市群电商快递物流网络形成了快递物流带显著的“廊道效应”,除广深外,东莞的物流节点作用突出,整体网络联系依赖于“穗-莞-深”区域的辐射带动和中介桥梁作用。此外,三大城市群电商快递物流联系主要通过等级扩散机制形成,邻近扩散效应不显著。具体表现为,同社会发展水平、经济发达区域之间联系强度较强,而地理位置邻近的区域之间未出现明显的强联系特征。

2.3 电商快递物流网络密度

对三大城市群快递物流网络进行二值化处理,测算其网络密度。长三角城市群、京津冀城市群和珠三角城市群网络密度分别为 0.998、0.994 和 0.999,差异较小,数值均接近于 1,表明城市群内部网络密度较高,只有少数县区之间缺失快递物流联系,整体上三大城市群均已形成典型的网络化空间结构。

2.4 县区物流功能分类结果

县区物流功能分类结果如图 3。长三角城市群各县区的物流功能从高输出到低平衡可分为 6 类。点度数总值较高的县区中,物流输出型县区主要分布在环杭州湾两岸的上海市和宁波市,少数分布于杭州市东部和苏州市,均依托于区域中心城市;物流输入型县区较为分散,部分集中于杭州湾北侧,嘉兴市南部;物流平衡型县区分布于城市群东北部和西南部,包含苏州市、杭州市、无锡市和南通市部分县区。点度数总值较低的县区中,物流输出型和平衡型较少,输入型县区在城市群西北部至东南部一带均有分布。京津冀城市群物流功能分区呈现“核心-外围”特征,行政区掣肘现

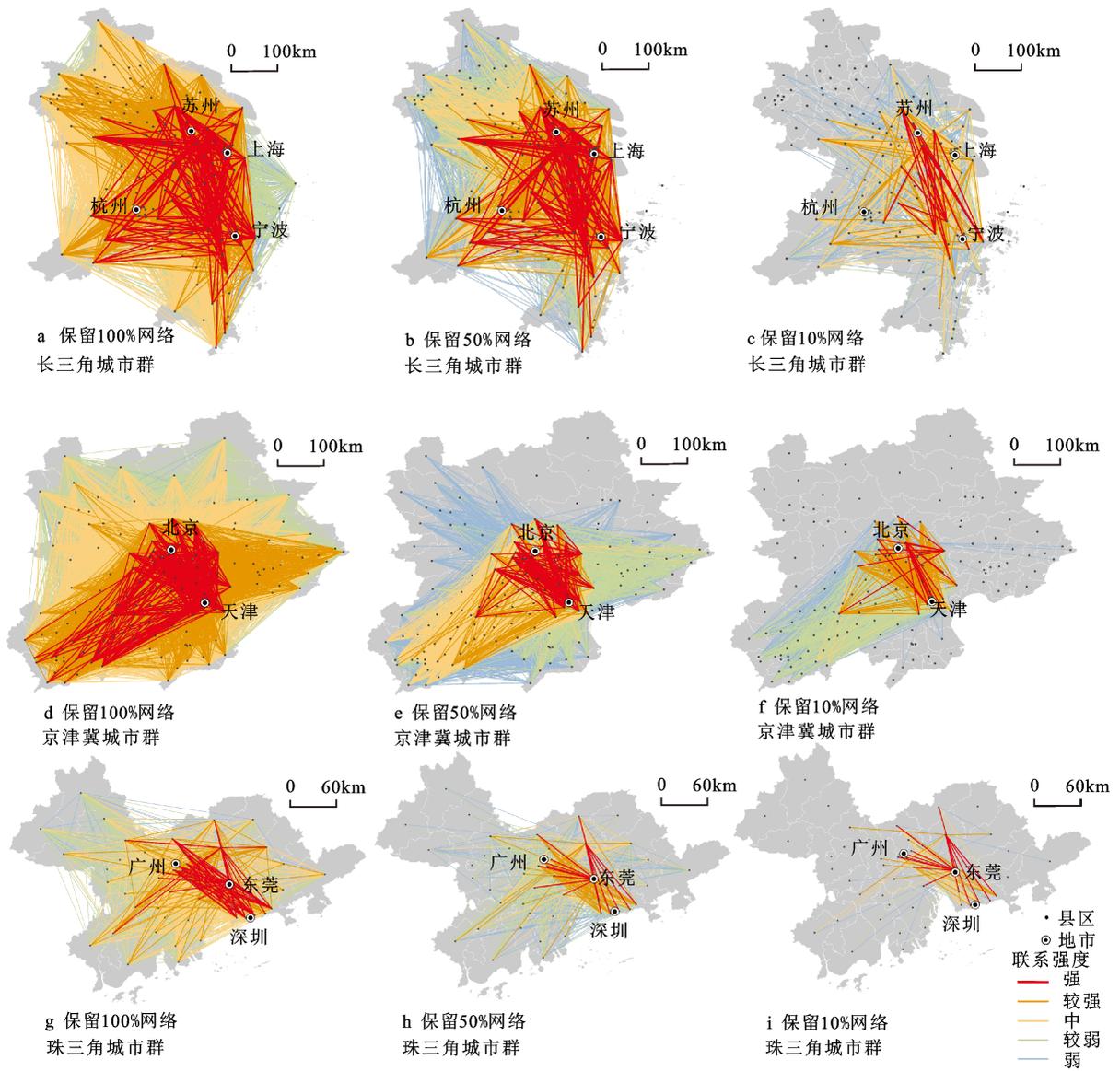
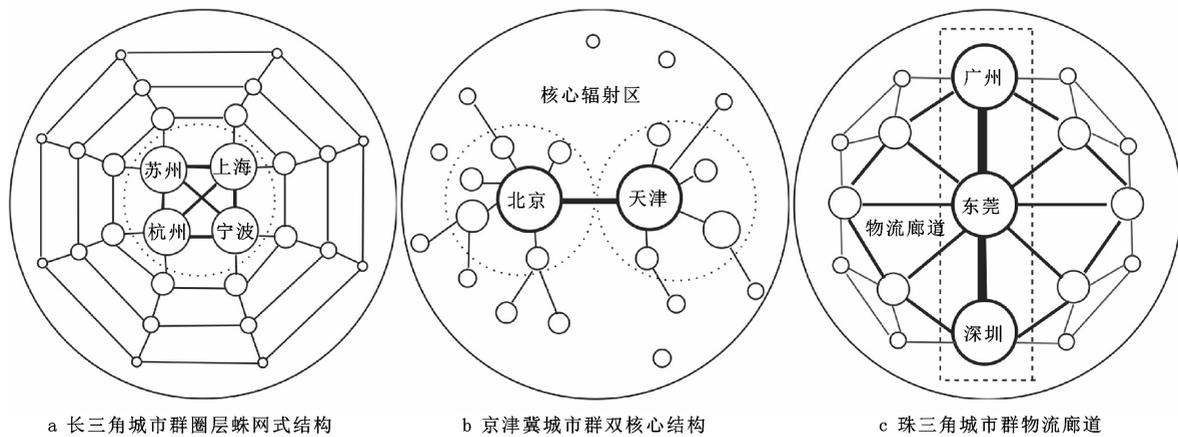


图 1 2019 年不同网络保留状态下三大城市群电商快递物流联系的空间结构

Fig.1 Spatial structure of e-commerce express logistics connection in urban agglomerations under different network reservation states in 2019



a 长三角城市群圈层蛛网式结构

b 京津冀城市群双核心结构

c 珠三角城市群物流廊道

图 2 三大城市群电商快递物流网络模式

Fig.2 E-commerce express logistics network modes in three urban agglomerations

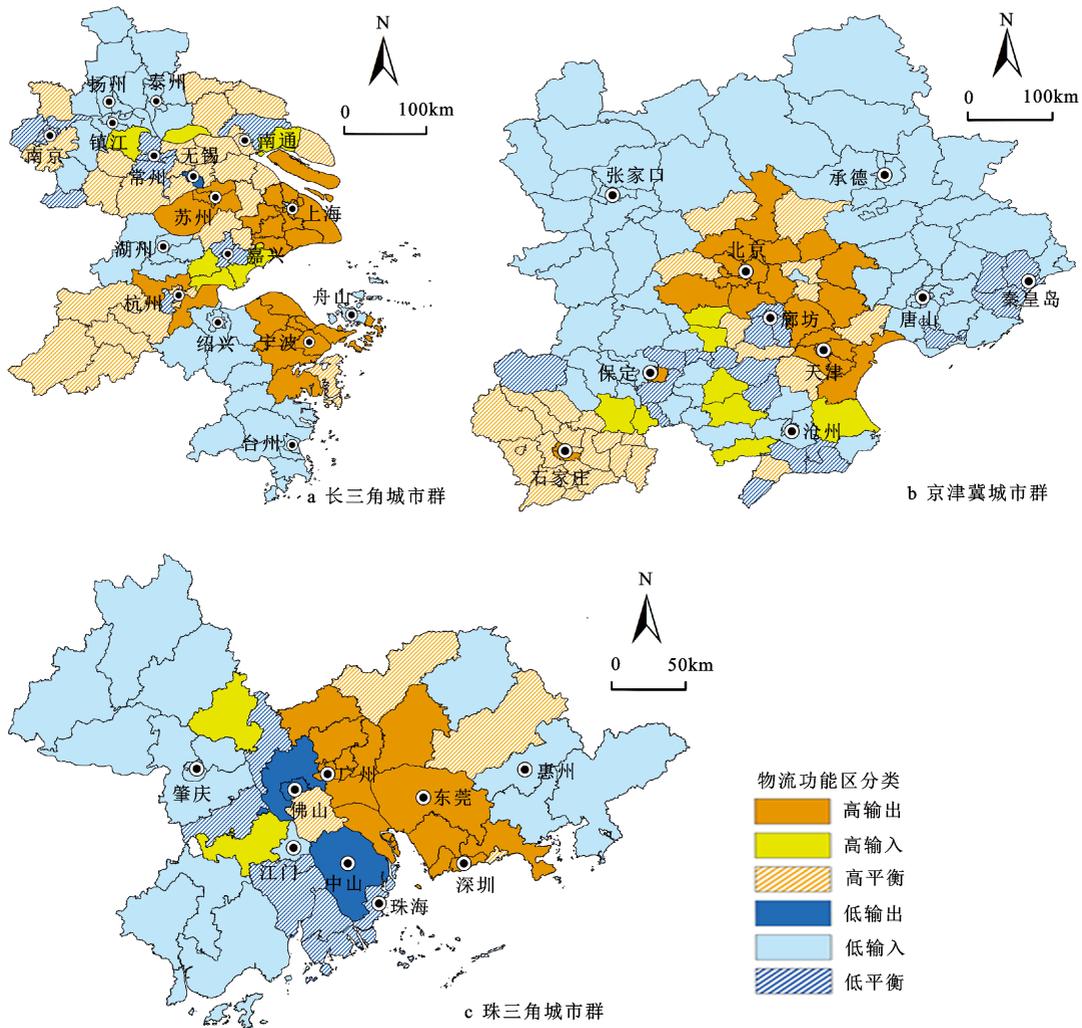


图3 2019年城市群县区物流功能分布

Fig.3 Logistics function distribution map of counties in urban agglomerations in 2019

象明显。其中低输入型县区占据主导地位,覆盖张家口市、承德市和秦皇岛市等城市群外围区域,高输出型县区分布在城市群中部北京和天津市,依托区域中心城市向外围辐射。其他类型县区数量较少,除物流高平衡区相对集中于石家庄市外,其他功能区分散于城市群南部。京津冀城市群缺失低输出型县区,在此城市群内,点度数较低的县区多接收外地快递物流输入。在珠三角城市群,点度数较高的县区中,物流输出型县区集中分布在珠三角中东部,覆盖广州市、东莞市和深圳市多数县区;物流输入型和平衡型县区较少,分散于城市群西部和东部。点度数较低的县区中,输出型县区集中在中西部的佛山市和中山市;输入型县区分散于城市群外围。

2.5 网络形态影响因素分析

根据 QAP 回归分析结果(表 4),可决系数均高于 0.85,说明选取的变量对电商快递物流网络的解释力度均超过 85.0%,有显著解释意义,且可决系数概率均为 0.000,通过了 1% 的显著性检验。

从 QAP 回归分析结果的共性影响因素上看,人均可支配收入、常住人口因素在三大城市群中标准化回归系数均为正,距离因素均为负,表明前者对快递物流网络形成起推动作用,后者负向影响快递物流网络形成,验证了假设检验。受制于此共性影响因素,三大城市群快递物流网络联系均呈现出由区域中心城市向外围联系强度逐渐减弱的特点,城市群中部依托行政或经济中心城市,社会发展、居民收入和消费水平均相对较高,且区域

表 4 城市群电商快递物流网络成因 QAP 回归分析

Table 4 The QAP regression analysis of the formation of e-commerce express logistics network

	变量	标准化回归系数	显著性	概率1	概率2	可决系数
长三角城市群	截距	0.000				0.889
	常住人口	0.353	0.000	0.000	1.000	
	快递点	0.045	0.076	0.076	0.925	
	人均GDP	0.074	0.026	0.026	0.975	
	人均可支配收入	0.805	0.000	0.000	1.000	
	社会消费品零售总额	-0.280	0.000	1.000	0.000	
	距离	-0.056	0.000	1.000	0.000	
京津冀城市群	截距	0.000				0.859
	常住人口	0.481	0.000	0.000	1.000	
	快递点	-0.004	0.034	0.967	0.034	
	人均GDP	0.011	0.083	0.083	0.918	
	人均可支配收入	0.786	0.000	0.000	1.000	
	社会消费品零售总额	-0.024	0.070	0.930	0.070	
	距离	-0.406	0.000	1.000	0.000	
珠三角城市群	截距	0.000				0.952
	常住人口	0.149	0.001	0.001	1.000	
	快递点	0.048	0.042	0.042	0.959	
	人均GDP	-0.096	0.022	0.978	0.022	
	人均可支配收入	0.979	0.000	0.000	1.000	
	社会消费品零售总额	0.246	0.000	0.000	1.000	
	距离	-0.206	0.000	1.000	0.000	

注：自变量回归系数均在10%的显著性水平上通过检验；空白为无此项。

人口众多，交通便利，对外快递物流联系密切，由此形成物流联系核心区域。此外，人均可支配收入、常住人口和距离因素在不同城市群的影响力度有所不同。珠三角城市群人均可支配收入标准化回归系数最高，为 0.979；长三角、京津冀城市群人均可支配收入标准化回归系数分别为 0.805 和 0.786。人均可支配收入反映消费水平，是推动消费者潜在购物需求成为实际需求量的根本因素。在珠三角城市群，尤其是东部“穗-莞-深”一线，居民的收入和消费水平均较高，刺激区域制造业、电子商务产业规模日益壮大，促进货物广泛流通，使珠三角城市群东部县区成为重要的快递物流集散区。京津冀城市群常住人口标准化回归系数最高，为 0.481，表明人口是推动其电商快递物流发展的重要因素，京津冀城市群电商快递物流发展仍处于人口红利期，尤其是河北省地市作为主要的人口

红利释放区，随着未来的“电商下沉”，大批新入网用户将成为网购潜力人群。珠三角常住人口标准化回归系数最低，为 0.149，其电商快递物流网络形成与人口相关，但影响力度不大，珠三角城市群依赖人口要素投入难以继续维持经济增长，而以科技创新为核心的信息化、自动化、电子化、共享化及智能化将成为其未来物流发展趋势。京津冀城市群距离因素标准化回归系数为-0.406，影响力度最大，其电商快递物流发展仍依附地理空间，区域间联系未能克服空间摩擦，尤其是京津冀城市群外围和北部地区，如承德市和张家口市部分县区，由于其地理位置相对偏远，在电商快递物流网络中沟通物流线路较少，在此情况下完善物流基础设施布局成为增强外围县区向心联系的重要选择。长三角城市群距离因素的标准化回归系数为-0.056，影响力度最弱。长三角城市群作为电子商

务产业发展的先行示范区和国际智能物流骨干网的起点,其市场一体化水平、快递物流一体化水平均居全国前列。长三角城市群快递物流基础设施以上海、杭州和苏州等地市为中心层级分布,形成“小时级生活圈”,弱化了地理距离对于县区间联系的阻碍,提升快递物流的运力。

从差异化影响因素上看,社会消费品零售总额、快递点和人均 GDP 在三大城市群中回归系数有正亦有负。京津冀城市群社会消费品零售总额标准化回归系数为-0.024,表明其负向影响快递物流网络形成。除北京和天津双核心区域外,城市群外围多数社会消费品零售总额较高的地市反而快递物流联系较弱,甚至出现快递物流联系“空地”,如唐山市社会消费品零售总额近 3 000 亿元,位列第四,而在 10% 网络保留状态图中唐山市县区快递物流联系被整体过滤掉,出现“空地”。目前京津冀城市群消费市场虽具有一定活力,但主要由传统线下销售渠道激发,网络零售在日常生活中的渗透率相对不高。而长三角城市群社会消费品零售总额标准化回归系数为-0.280,亦负向影响快递物流强度,与京津冀城市群相比又有其区域特点,长三角城市群各地市社会消费品零售总额差异较小,以上海为辐射中心,北部消费市场由南京和苏州等城市带动,南部则依托杭州和宁波等主力城市,消费市场整体活跃,而快递物流联系强度则呈现以上海市、杭州市、苏州市和宁波市等为中心向周边梯级扩散的格局,尤其南京作为行政和经济双中心的作用并未在快递物流网络中凸显,其线上消费市场与南京市线下活跃的商圈经济未能深度融合。京津冀城市群快递点标准化回归系数为-0.004,亦对快递物流网络形成起反作用。区域内快递点分布具有地市“中心趋向”,多分布于北京市、天津市、石家庄市和保定市中心区域,其辐射范围有限,主要服务于周边县区。除北京市和天津市外少有在整个城市群物流网络中发挥重要集散功能的快递服务网点。在珠三角城市群,人均 GDP 标准化回归系数为-0.096,表明其对快递物流网络形成起反作用。在城市群西线的珠海市、佛山市内多数县区,2019 年人均 GDP 超过 10 万元,而快递物流联系强度整体较弱,主要是由于区域内人口相对东部较少,且经济发展主要由重化工业、高新技术产业带动,轻工业和服务业发展相对珠三角东线、长三角城市群较弱,因此人均

GDP 的增加未能转化为快递物流业发展的优势。

3 结论

城市群是未来中国参与全球竞争与国际分工的重要地域单元。本研究以中国长三角、京津冀和珠三角三大城市群为案例,探究电商快递物流网络结构特征与形成机制,结论如下。

1)三大城市群电商快递物流网络密度均较高,已形成典型的网络式空间结构。其中长三角城市群形成圈层蛛网式结构,县区间快递物流联系强度由强到弱从环杭州湾地区向外围梯度衰减。京津冀城市群网络受制于行政藩篱,形成“北京-天津”双核心结构,极化发展态势突出。珠三角城市群在“穗-莞-深”形成了强快递物流带,网络结构表现出显著的“廊道效应”。三大城市群快递物流联系主要通过等级扩散机制形成,未表现出显著的邻近扩散。

2)三大城市群中物流输出型县区多集中在区域中部,依托中心城市向外进行快递物流辐射;物流输入型县区多分散于城市群外围。长三角城市群物流平衡型县区分布较广,各类型县区未呈现明显集中态势;京津冀城市群北部则出现大片物流低输入型县区,其他各类型县区多集中连片分布;珠三角城市群物流高输出型县区则明显集中于中东部。

3)QAP 回归结果显示,三大城市群电商快递物流网络形成受制于人均可支配收入、常住人口和距离等共性因素,其中京津冀城市群电商快递物流发展受人口因素影响较深,仍处于人口红利期,且依附地理空间,现阶段区域间联系未能克服空间距离摩擦;珠三角城市群电商快递物流发展主要受人均可支配收入影响,依赖人口要素投入难以继续维持产业发展;长三角城市群受距离影响较弱。

本研究基于 CSN 流动“关系数据”探究城市群电商快递物流网络结构特征与形成机制,以期丰富城市网络理论,并对其他城市群物流一体化发展提供政策参考。电商快递物流网络为开放式网络,中国城市物流发展亦存在空间溢出效应,城市群网络外部因素会对其结构特征、节点功能产生一定影响;此外,鉴于数据可获取性,本研究未将香港、澳门纳入珠三角城市群范围,上述不足将在未来研究中进一步深化。

参考文献(References):

- [1] Scott A J. Global city-regions: Trends, theory, policy[M]. New York: Oxford University Press, 2001: 78-87.
- [2] Fang C L, Yu D L. Urban agglomeration: An evolving concept of an emerging phenomenon[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017(162): 126-136.
- [3] 方创琳, 毛其智, 倪鹏飞. 中国城市群科学选择与分级发展的争鸣及探索[J]. *地理学报*, 2015, 70(4): 515-527. [Fang Chuanglin, Mao Qizhi, Ni Pengfei. Discussion on the scientific selection and development of China's urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 515-527.]
- [4] 董琦, 甄峰. 基于物流企业网络的中国城市网络空间结构特征研究[J]. *人文地理*, 2013, 28(4): 71-76. [Dong Qi, Zhen Feng. The study on spatial structure characteristics of China's city network based on the logistics enterprise network. *Human Geography*, 2013, 28(4): 71-76.]
- [5] 杨萌柯, 周晓光. “互联网+”背景下快递末端协同配送模式的构建[J]. *北京邮电大学学报(社会科学版)*, 2015, 17(6): 45-50. [Yang Mengke, Zhou Xiaoguang. Construction of collaborative distribution pattern at the terminal of express under the background of “Internet Plus”. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications (Social Sciences Edition)*, 2015, 17(6): 45-50.]
- [6] 翟运开. 基于服务蓝图的物流服务流程优化——以快递物流服务为例[J]. *工业技术经济*, 2009, 28(12): 19-22. [Zhai Yunkai. Logistics service process optimization based on service blueprint: Take express logistics service as an example. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2009, 28(12): 19-22.]
- [7] 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. [Ren Mengyao, Xiao Zuopeng, James J Wang. Spatial pattern of intercity less-than-truckload logistics networks in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 820-832.]
- [8] 沈丽珍, 席广亮, 秦萧, 等. 基于快递物流测度的区域流动空间特征——以江苏省为例[J]. *人文地理*, 2018, 33(1): 102-108. [Shen Lizhen, Xi Guangliang, Qin Xiao et al. The research on the characteristics of the regional space of flows based on measurement of the express logistic of flows: A case study of Jiangsu province. *Human Geography*, 2018, 33(1): 102-108.]
- [9] 刘荷, 王健. 基于轴辐理论的区域物流网络构建及实证研究[J]. *经济地理*, 2014, 34(2): 108-113. [Liu He, Wang Jian. The construction of regional logistics networks and its empirical research based on hub-and-spoke theory. *Economic Geography*, 2014, 34(2): 108-113.]
- [10] 张雪, 戢晓峰, 伍景琼. 云南省食用菌产业物流网络研究[J]. *地域研究与开发*, 2017, 36(3): 36-40. [Zhang Xue, Ji Xiaofeng, Wu Jingqiong. Logistics network of edible mushroom industries in Yunnan province. *Areal Research and Development*, 2017, 36(3): 36-40.]
- [11] Akhavan M, Ghiara H, Mariotti I et al. Logistics global network connectivity and its determinants: An European city network analysis[J]. *Journal of Transport Geography*, 2020, 82(c): 1-9.
- [12] 叶磊, 段学军. 基于物流企业的长三角地区城市网络结构[J]. *地理科学进展*, 2016, 35(5): 622-631. [Ye Lei, Duan Xuejun. City network structure of the Yangtze River Delta region based on logistics enterprise network. *Progress in Geography*, 2016, 35(5): 622-631.]
- [13] 修春亮, 孙平军, 王绮. 沈阳市居住就业结构的地理空间和流空间分析[J]. *地理学报*, 2013, 68(8): 1110-1118. [Xiu Chunliang, Sun Pingjun, Wang Qi. Residence-employment structure analysis on spaces of geography and flows in Shenyang city. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1110-1118.]
- [14] Castells M. Grassrooting the space of flows[J]. *Urban Geography*, 1999, 20(4): 294-302.
- [15] Taylor P J, Catalano G, Walker D R F. Measurement of the world city network[J]. *Urban Studies*, 2002, 39(13): 2367-2376.
- [16] Rogerson C M, Visser G. International tourist flows and urban tourism in South Africa[J]. *Urban Forum*, 2006, 17(2): 199-213.
- [17] 闫闪闪, 靳诚. 洛阳城区旅游流空间网络结构特征[J]. *地理科学*, 2019, 39(10): 1602-1611. [Yan Shanshan, Jin Cheng. Characteristics of spatial network structure of tourist flow in urban area of Luoyang. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(10): 1602-1611.]
- [18] Yang H, Dobruszkes F, Wang J et al. Comparing China's urban systems in high-speed railway and airline networks[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 68: 233-244.
- [19] 靳诚, 徐菁, 黄震方, 等. 基于高速公路联网收费数据的江苏省交通流动特征与影响因素[J]. *地理学报*, 2018, 73(2): 248-260. [Jin Cheng, Xu Jing, Huang Zhenfang. Regional traffic flow and its influencing factors based on expressway network toll collection data: A case study in Jiangsu province. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(2): 248-260.]
- [20] Doran D, Fox A. Operationalizing central place and central flow theory with mobile phone data[J]. *Annals of Data Science*, 2016, 3(1): 1-24.
- [21] Hesse M, Rodrigue J P. Global production networks and the role of logistics and transportation[J]. *Growth and Change*, 2006, 37(4): 499-509.
- [22] Jacobs W, Ducruet C, Langen P D. Integrating world cities into production networks: The case of port cities[J]. *Global Networks*, 2010, 10(1): 92-113.
- [23] 高鑫, 修春亮, 魏冶. 城市地理学的“流空间”视角及其中国化研究[J]. *人文地理*, 2012, 27(4): 32-36. [Gao Xin, Xiu Chunliang, Wei Ye. Study on the sinicization of “space of flows” basing on the visual angle of urban geography. *Human Geography*, 2012, 27(4): 32-36.]
- [24] 黄音, 任天鸣, 黄淑敏, 等. “互联网+”背景下浙江省城际货运时空网络演化及驱动机制[J]. *经济地理*, 2020, 40(6): 126-136. [Huang Yin, Ren Tianming, Huang Shumin et al. Spatio-

- temporal evolution and formation mechanisms of intercity freight network in Zhejiang province under the background of "internet plus". *Economic Geography*, 2020, 40(6): 126-136.]
- [25] 龚梦, 祁春节. 水果流通中物流网络布局设计——以江西省为例[J]. *经济地理*, 2012, 32(11): 100-104. [Gong Meng, Qi Chunjie. Design on fruit logistics network and nodes layout in Jiangxi province. *Economic Geography*, 2012, 32(11): 100-104.]
- [26] 王钊, 杨山, 龚富华, 等. 基于城市流空间的城市群变形结构识别——以长江三角洲城市群为例[J]. *地理科学*, 2017, 37(9): 1337-1344. [Wang Zhao, Yang Shan, Gong Fuhua et al. Identification of urban agglomerations deformation structure based on urban-flow space: A case study of the Yangtze river delta urban agglomeration. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(9): 1337-1344.]
- [27] 赵渺希, 钟焯, 徐高峰. 中国三大城市群多中心网络的时空演化[J]. *经济地理*, 2015, 35(3): 54-61. [Zhao Miaoxi, Zhong Ye, Xu Gaofeng. Polycentric progress of the three major city regions in China, 2001-2009. *Economic Geography*, 2015, 35(3): 54-61.]
- [28] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET软件实用指南[M]. 上海: 格致出版社, 2009: 98-110. [Liu Jun. Lectures on whole network approach: A practical guide to UCINET. Shanghai: Truth and Wisdom Press, 2009: 98-110.]
- [29] 张雷, 王琳琳, 张旭东, 等. 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例[J]. *生态学报*, 2014, 34(3): 650-659. [Zhang Lei, Wang Linlin, Zhang Xudong et al. The basic principle of random forest and its applications in ecology: A case study of *Pinus yunnanensis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3): 650-659.]
- [30] 刘军. QAP: 测量“关系”之间关系的一种方法[J]. *社会*, 2007, 27(4): 164-164. [Liu Jun. A method of measuring the relationship between "relations". *Chinese Journal of Sociology(CJS)*, 2007, 27(4): 164-164.]
- [31] 王东方, 董千里. 中国城市物流发展空间结构演化及影响因素[J]. *北京交通大学学报(社会科学版)*, 2019, 18(4): 125-139. [Wang Dongfang, Dong Qianli. Spatial structure evolution in urban logistics development in China and its influencing factors. *Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition)*, 2019, 18(4): 125-139.]
- [32] 刘勇. 物流业全要素能源效率评价及其影响因素分析[J]. *统计与决策*, 2014(1): 66-68. [Liu Yong. Evaluation of total factor energy efficiency of logistics industry and analysis of its influencing factors. *Statistics and Decision*, 2014(1): 66-68.]
- [33] 刘秉镰, 余泳泽. 我国物流业地区间效率差异及其影响因素实证研究——基于数据包络分析模型及托宾模型的分析[J]. *中国流通经济*, 2010, 24(9): 18-21. [Liu Binglian, Yu Yongze. An empirical analysis on the regional disparity of efficiency and factor in China's logistics-based on DEA and Tobit Model. *China Business and Market*, 2010, 24(9): 18-21.]
- [34] 俞佳立, 钱芝网. 长江经济带物流产业效率的时空演化及其影响因素[J]. *经济地理*, 2018, 38(8): 108-115. [Yu Jiali, Qian Zhiwang. Logistics industry efficiency and its influencing factors in Yangtze River economic belt. *Economic Geography*, 2018, 38(8): 108-115.]

Spatial Structure and Formation Mechanism of E-commerce Express Logistics Network in the Three Major Urban Agglomerations of China

Li Yuanjun^{1,2,3}, Wu Qitao², Zhang Yuling², Wu Kangmin², Zhang Hongou², Jin Shuangquan⁴

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;*

2. *Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, Guangdong, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;* 4. *Guangdong Provincial*

Transportation Planning and Research Center, Guangzhou 510101, Guangdong, China)

Abstract: The modern logistics industry has the advantage of going deep into all industries and is a new engine for economic growth of urban agglomerations. The express logistics industry, as a rapidly developing service industry, has gradually become a leading industry which promotes the transformation of circulation and stimulates consumption upgrading. And it further promotes the integration of urban agglomerations. Studying the spatial layout of express logistics network and exploring the network formation mechanism are of great significance for promoting the coordinated development of express logistics and improving the modern service industry in urban agglomerations. This research selected three major urban agglomerations in China, including the Yangtze River Delta, the Beijing-Tianjin-Hebei, and the Pearl River Delta as the cases, and the social network analysis, random forest classification methods and Quadratic Assignment Procedure methods were applied to analyzing the spatial structure characteristics of e-commerce express logistics networks at county scale and further explore its formation mechanism. The results show that: 1) The network density values are high, indicating that all three major urban agglomerations have formed typical network space structures, and the flow paths of e-commerce express logistics between cities are extensive. In the Yangtze River Delta, the e-commerce express logistics network has formed a hierarchy-shaped spider web structure, and the intensity of inter-county connections gradient decreases from strong to weak with Hangzhou Bay as the center. The network character has formed a “Beijing-Tianjin” dual core structure in the Beijing-Tianjin-Hebei due to administrative barriers. The network has formed a “Sui (Guangzhou)-Guan (Dongguan)-Shen (Shenzhen)” logistics link corridor in the Pearl River Delta and the intensity of inter-county connections increased from the periphery of the region to the east bank of the Pearl River Estuary. In addition, connection intensity in all the above e-commerce express logistics networks show the effect of hierarchical diffusion rather than proximity diffusion. 2) The logistics output-oriented counties are concentrated in the middle of the urban agglomeration, relying on the central city for outward express logistics dispersion; the logistics input-oriented counties are scattered in the periphery. Furthermore, the logistics balanced counties in the Yangtze River Delta are widely distributed; the low logistics input-oriented counties distributed in the northern Beijing-Tianjin-Hebei; and the high logistics output-oriented counties show an obvious centralized distribution pattern in the east bank of the Pearl River Estuary. 3) The formation of e-commerce express logistics networks are mainly influenced by per capita disposable income, permanent resident population and inter-county distance. The results are important to enrich the urban network theory as well as enhance the level of modern service industry and the overall competitiveness of urban agglomerations.

Key words: urban network; e-commerce express logistics; network spatial structure; three main urban agglomerations in China