
中国高技术产业供应链空间网络及影响因素研究*

钟韵，周昱彤

内容提要：基于供应链内供需关系所形成的有向性特征，以全国为研究区域，利用 2016-2020 年上市公司供应商及客户数据，应用社会网络、GIS 空间分析和二次指派程序等方法，试图从“链”及“网”，刻画中国高技术服务业和制造业供应链及其空间网络特征并探究其网络结构影响因素。结果显示：①地方视角下，高技术产业供应链上下游企业在四大城市群内中心城市存在集聚，制造业上下游企业空间集中范围更大，高交易额供应链上下游主要锁定在部分一线城市及资源型城市；行业视角下，高技术上市公司供应链上下游企业同样多布局于高技术产业，部分关联紧密的服务行业企业在北上广深存在聚集。②高技术服务业和制造业供应链上、下游有向网络均呈现出低密度、低凝聚力特征，且空间结构具有层级性，集中布局在胡焕庸东侧，网络内重要核心节点不仅是供应的重要目的地，同时亦是交易输出的重要起始地。③网络核心节点多为三大城市群内中心城市，上、下游网络的核心节点存在差异，且部分发达城市的供给输出和承接输入端能力均领先，但也有非核心城市展现了突出的供给输出或承接输入能力。④区域发展水平差距、供应条件及成本差距、创新水平差距对供应链网络存在一定影响，具体因素在制造业与服务业间、上游与下游间存在差异。

关键词：高技术产业 供应链 有向空间网络 社会网络分析 二次指派程序 中国

* 钟韵、周昱彤，暨南大学经济学院，邮政编码：510632，电子信箱：zytde888666@163.com
文章所属专业委员会领域：城市与区域经济

一、引言

当前城市空间网络研究侧重整体网络结构刻画,多以无向网络形式建构城市间关系特征,对要素流动的方向性分析较少。供应链中的上下游关系存在方向性,为构建有向网络提供了条件。近年来,已有学者开展了网络有向性的研究,研究视角主要集中于城市间技术转移^[1-5]和知识流动^[6]、企业内部组织^[7-9]和股权质押关系^[10]、创新合作^[11-13]等网络中有向性的体现,其有向网络的构建指标主要基于合作专利、总部分支机构、金融机构与上市公司间股权质押流等数据,但是,利用供应链关系来构建有向网络的研究尚不多见。

现有针对供应链主体关联关系与网络结构的研究,大多利用企业微观层面数据进行分析,研究视角主要基于两大方向:一是从企业经营角度出发,利用上市公司供应链信息通过社会网络分析、回归计量等方法探讨不同企业在供应链中所处位置对企业竞争力、经营状况及技术创新的影响^[14-18]。二是从经济地理学视角展开,针对汽车产业的已有研究利用零部件供需链接配套关系数据应用统计分析、空间网络分析方法对供应链构成的城市网络进行刻画分析,讨论网络及节点特征^[19-21];聚焦于制造业的研究则是利用企业间资金流数据通过对比空间布局构建企业及城市主体间关联网络,以此探究企业分工协作空间结构特征^[22];对于物流供应链,有研究基于企业微观角度构建分析物流节点空间布局及空间结构优化^[23,24],还有研究利用国际货代企业时间序列数据,借助复杂网络等方法探究物流供应链时空演化及影响因素^[25]。总体而言,供应链视角下的行业关系与城市关联,仍有较大的研究空间,鉴于此,本文对高技术产业供应链及其空间网络的刻画测度将有助于深化供应链研究。

本文依托我国高技术产业上市公司与上、下游企业间的矢量供应关联数据,从地方联系和行业关联两视角刻画供应链特征,利用供应链内企业间矢量链接投射形成的城市关联关系构建有向空间网络,探讨供应网络结构及有向性特征,以期展现高技术服务业与高技术制造业供应链及其构建的有向网络,为供应链建设和促进供应链主体高效合作提供有益参考。

二、数据来源及研究方法

(一) 数据来源及处理

本文以全国为研究区域,运用城市层面企业空间数据进行分析,共涉及全国184个城市。产业选取方面,聚焦于高技术产业并将其分为高技术服务业与高技术制造业进行研究,分别选取2个服务行业和3个制造行业。依据高技术产业分类标准,2个高技术服务行业分别是信息传输、软件和信息技术服务业,科学研究和技术服务业;3个高技术制造行业分别为医药制造业,计算机、通信和其他

电子设备制造业，仪器仪表制造业。

本文试图通过上市高技术企业与上游供应商、下游客户企业间供应关系构建高技术产业供应链，并利用企业间交易金额数据反映供应链主体间关联强度。整理国泰安（csmar）数据库中上市公司前五大供应商、客户信息，利用 wind 数据库基于上市公司股票代码查询其地址、行业等信息并依据高技术产业分类标准进行筛选，共选出高技术上市公司 347 家，其行业分布情况见表 1。

鉴于数据统计截止时间为年份连续数据，根据可获取性原则供应交易时间选取 2016—2020 年为研究范围，剔除其余时间数据。利用“企查查”和“天眼查”大数据平台分别查询上市公司上下游供应商、客户企业的空间地理位置、所属行业信息，整理出 3321 家供应链上下游企业的相关有效数据。参考已有研究中对于供应链内企业间供应关系所运用的网络分析方法^[19,20,26]，本研究根据上述所得企业地理信息，将上市公司与其上、下游企业分别归入到所属城市，并以其之间供应交易额为媒介，将企业间矢量供应交易关系转化为城市间方向性链接，以此构建供应链有向空间关联网络。

表 1 高技术上市企业行业分布

所属行业大类	细分行业	上市企业数量
高技术服务业	信息传输、软件和信息技术服务业	151
	科学研究和技术服务业	17
	医药制造业	74
高技术制造业	计算机、通信和其他电子设备制造业	83
	仪器仪表制造业	22

（二）研究方法

1. 核密度分析法

核密度分析法可以计算出空间中点要素在周围领域中的密度，核密度越高，反映要素在这一区域内的聚集程度越高，反则反之。企业作为网络内最小的微观单元，其地理分布将直接影响网络的空间结构，故本文基于核密度分析并利用 ArcGIS 软件对企业地理布局进行可视化处理，以直观反映高技术产业供应链上下游企业的空间分布特征。

2. 有向加权网络分析

（1）有向关联非对称矩阵

为体现供应链空间网络内上下游链接的有向性，本文选择使用有向关联非对称矩阵来构建城市间的有向联系^[2]。基于图论原理，将地级及以上城市作为网络节点（ N ），将城市间的供应交易往来作为边，城市 i 向城市 j 供应的资金额度用 R_{ij} 表示，城市 j 向城市 i 供应的资金额度用 R_{ji} ，由此建立城市供应链的加权非对称矩

阵（如式（1）所示）。此矩阵既能体现有向网络的关联结构，也可以保留最有价值的关联强度数据，以此构建的网络既包含供应链交易关联的资金流向性，又涵盖了关联强度的权重性。

$$R = \begin{bmatrix} 0 & R_{12} & \cdots & R_{1(n-1)} & R_{1n} \\ R_{21} & 0 & \cdots & R_{2(n-1)} & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ R_{(n-1)1} & R_{(n-1)2} & \cdots & 0 & R_{(n-1)n} \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{n(n-1)} & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

（2）社会网络分析法

基于有向加权非对称网络，运用社会网络分析方法，通过计算密度、中心度、出度、入度作为网络特征指标对中国先进制造业供应链复杂的空间网络结构进行刻画，具体指标见表 2。

表 2 有向加权网络指标及其含义

指标	计算公式	公式解释	实际意义
网络密度	$D = \frac{l}{N(N-1)}$ (2)	节点间实际链接数量占最大可能链接量的比例	供应链空间网络所有节点间链接紧密程度
中心度	$DC = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij}(i \neq j)}{N-1}$ (3)	节点 i 与节点 j 关联强度与 $N-1$ 个基点最大可能链接量的比值	某一城市与其他城市的供应链总量，反映该城市在网络中的对外交往能力以及是否处于核心位置
出度	$S_i^{out} = \sum_{j=1}^N a_{ij}w_{ij}$ (4)	以节点 i 为起点的所有弧的权重和	城市在供应链上的供给输出总量
入度	$S_i^{in} = \sum_{j=1}^N a_{ji}w_{ji}$ (5)	以节点 i 为终点的所有弧的权重和	城市在供应链上的需求输入总量

注：N 为网络中城市节点总数；l 表示城市间总链接量； x_{ij} 表示节点 i 与节点 j 间的关联强度； a_{ij} 表示以 i 为起点、 j 为终点链接的强度； a_{ji} 表示以 j 为起点、 i 为终点链接的强度； w_{ij} 为以节点 i 为起点，节点 j 为终点的联系边权重； w_{ji} 为以节点 j 为起点，节点 i 为终点的联系边权重。

三、基于供应链上下游关系的有向网络分析

供应链作为一种产业链分工所形成的网络，企业、地区“节点”是构成产业链供应链的主体要素，产业链供应链主体间关系则为结构要素，因此供应链可视为企业间信息、知识、社会关系等各类“流”的集合^[27]。通过分析高技术上市公司与上下游企业的联系，试图从“链”及“网”，分析中国高技术产业的供应网

络，尤其是由供需关系所形成的有向性特征。

（一）供应链特征分析

1. 地方视角的供应链特征

由高技术上市公司分别与其上游企业和下游企业构建的供应链，展现出以下地方属性特征：

第一，供应链的上下游企业集聚于四大城市群内中心城市，高技术制造业的上下游企业空间集中的范围相对更大。如图 1、图 2 所示，高技术服务业和制造业供应链的上下游企业大多集聚在京津冀、长三角、珠三角、成渝这四大城市群，其中直辖市及省会城市程度最为显著。高技术服务和制造业供应链内超 50% 的上、下游企业位于直辖市及省会城市，其中的上市供应商及客户则多位于北京、上海、深圳等超一线城市。基于此，可以看出中国行政中心的政策、资本、人才和技术等优势在高技术产业供应链上企业区位选择发挥着决定性作用。与服务业相比，高技术制造业供应链上下游企业空间集聚点分布范围更广，以东部沿海及中部省会城市为带动的集聚点更为密集。

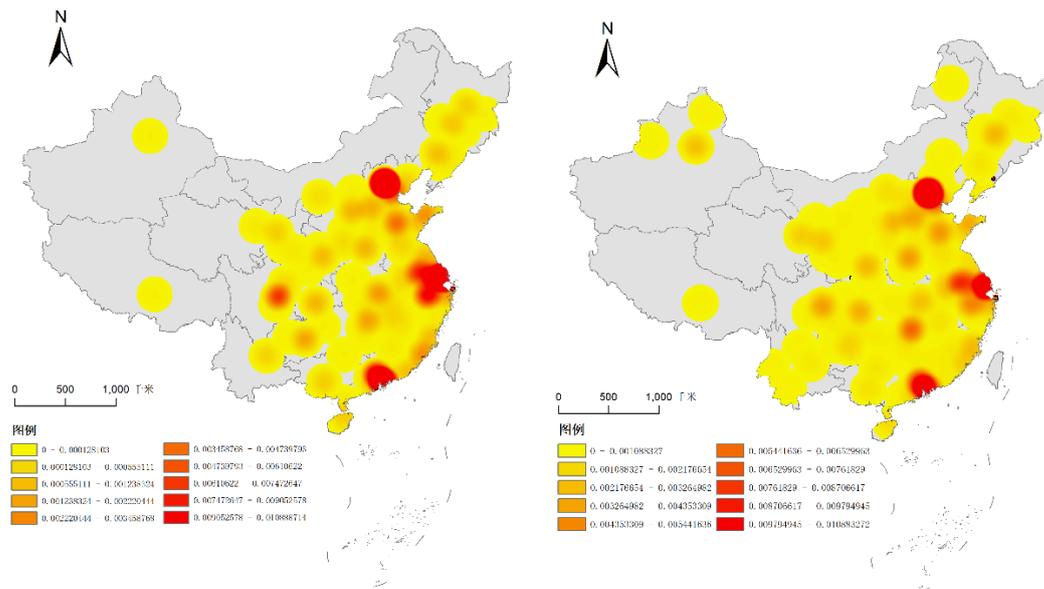


图 1 中国高技术服务业供应链上游供应商（左）、下游客户（右）分布核密度图

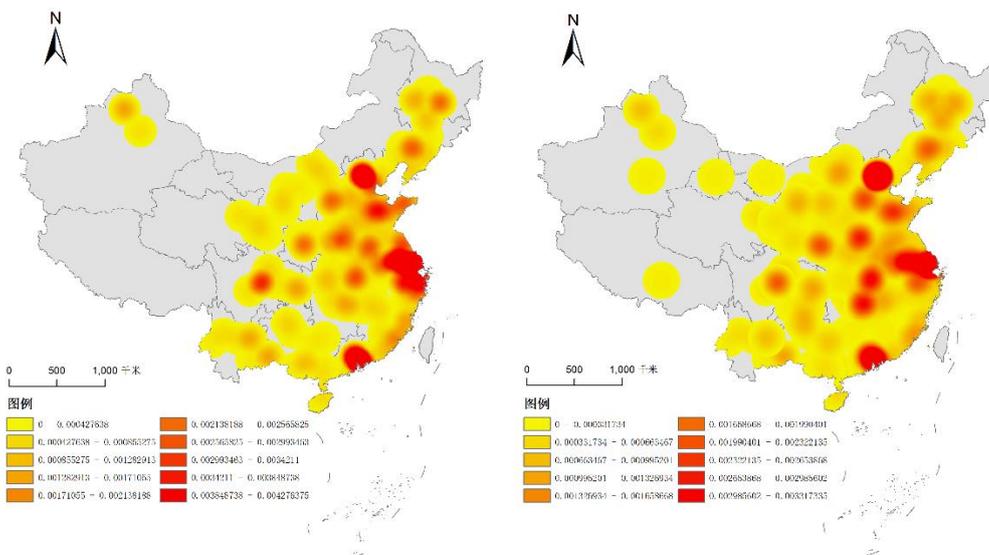


图 2 中国高技术制造业供应链上游供应商（左）、下游客户（右）分布核密度图

表 3 高技术产业供应链内城市交易额

排名	高技术服务业		高技术服务业		高技术制造业		高技术制造业	
	上游		下游		上游		下游	
	城市	供应额 (亿元)	城市	销售额 (亿元)	城市	供应额 (亿元)	城市	销售额 (亿元)
1	天津	46.61	北京	456.45	北京	69.62	北京	341.41
2	北京	35.01	上海	210.43	上海	67.77	上海	73.99
3	苏州	34.33	深圳	80.09	深圳	55.46	深圳	51.59
4	上海	33.00	广州	75.88	广州	46.20	银川	42.38
5	深圳	32.51	天津	64.01	福州	37.93	贵阳	26.43
6	运城	15.39	杭州	40.79	大庆	34.18	广州	24.26
7	九江	14.81	长春	29.09	宁波	24.36	南京	18.75
8	唐山	14.29	盐城	29.08	太原	14.81	郑州	16.27
9	武安	13.89	南京	27.25	南京	13.97	苏州	16.19
10	南通	10.22	宁波	23.93	无锡	13.92	信阳	15.14

第二，高额交易供应链上下游主要锁定在超一线、新一线城市以及部分资源型城市。将供应链上、下游与中游高技术产业上市公司间的交易额根据供应商或客户企业所属城市进行映射加总后发现，高技术产业高额交易供应链上下游主要集中在北京、上海、深圳三个超一线城市以及京津冀、长三角两大城市群内的新一线城市（见表 3）。这些区域经济社会发展迅速、实力雄厚，对资金、劳动力等要素有着强大吸引力，因此导致供应链内金额规模较大的交易流锁定在此。除经济发达区域外，运城、九江、大庆等地供应额度也相对突出，这些城市及其所属

省份在钢铁、煤炭、石油等工业生产要素上不仅储量相对丰厚，而且利用自身资源禀赋形成了相关支柱产业并着力发展，结合链内供应商企业经营范围可以说明，资源型城市在高技术产业供应链上游存在供给优势。

2. 行业视角的供应链特征

供应链通过微观层面的企业链接进一步形成了行业间的分工协作，根据上下游企业所属行业构建供应链内行业间关联以反映行业视角下的供应链特征。

第一，高技术上市公司供应链上下游企业同样多属于高技术行业。数据分析显示，上市高技术服务业企业的上游供应商和下游客户中，分别有为 43.34%、17.14%为高科技企业，其中 90%为同类服务业企业；上市高技术制造业企业的上游供应商和下游客户中，分别有为 33.93%、18.94%为高科技企业，其中上游超 60%为同类制造业企业，下游超 50%为高技术服务业企业。从具体关联行业来看，在高技术服务业上游的联系企业中，主要的行业类型涉及：信息服务、科技服务、电子设备制造业；而在下游的联系企业中，主要涉及信息服务业，电力、热力生产供应，传输服务和货币金融服务等行业。高技术制造业上游供应商则主要涉及医药制造、电子设备制造、信息技术服务行业，下游客户主要涉及电子设备制造、供应业、科技推广服务行业。由此可见，高技术产业供应链上下游基于对创新资源要素的依赖与同类技术密集型行业合作最为密切，产业内服务与制造行业的供应链存在交叉融合。

第二，部分高技术产业上下游关联紧密行业在北上广深四地存在聚集。根据高技术产业供应链紧密链接行业内企业地理区位，探究上下游行业主体的空间布局。数据显示，服务业供应链关联最为紧密的行业中，上游属于高技术服务业的供应商有 55%，下游属于金融服务业的客户有 70%在北京、上海集聚，其他行业的空间分布上相对分散；制造业供应链链接的多数行业在全国各城市中分布较为均衡，未表现出明显的区域集中现象，上下游供应商、客户中仅高技术服务业内超 50%企业位于北上广深四个核心城市。

（二）网络结构特征分析

参与主体构成的网络体系以及主体间的关联关系搭建起了供应链网络的基本结构^[28]，本文针对高技术服务与制造行业分别构建供应链上、下游网络。为从网络角度进一步探讨供应链中的有向性链接，上游网络中供应商所属城市为供应输出地、高技术服务业或制造业上市公司为承接输入地；下游网络中上市公司则转换为供应输出地，客户所属城市为承接输入地，并将上市公司与上下游企业间的交易金额作为其所属城市间的关联强度，以此构建有向关联非对称矩阵并测度有向网络结构，探讨高技术产业供应链有向空间网络的结构层级、有向组织、空间差异及核心节点特征。

1. 高技术服务业与制造业供应链上、下游有向网络均表现为低密度特征

根据网络各特征指标值可以看出（表 4），高技术服务业与制造业的供应链上、下游网络虽各自相互独立，但网络各特征指标值却维持在近似水平，呈现出低密度、低凝聚力特征。其中，网络密度取值范围为 0-1，值越小说明网络密度越低^[29]，两行业上下游有向空间网络密度值均小于 0.1，远小于同节点规模随机网络密度 0.5^[19,30]，属于典型的低密度网络，且凝聚力指数和有向捷径距离值也相对较低，这与已有关于同为技术密集行业的汽车产业供应链网络研究所测度出的网络特征表现一致^[19,20]。究其原因，是因为高技术和汽车产业供应链各环节需求的产品专业化程度较高，且相较于其他产业来说对技术、劳动力、信息知识等要素更为依赖，优势区位追逐性更强，但由于优势区位及偏好驱动往往处于不同区域，致使城市间链接布局相对分散。

表 4 高技术服务业与制造业供应链上、下游有向网络特征指标值

网络特征指标	高技术服务业		高技术制造业	
	上游有向网络	下游有向网络	上游有向网络	下游有向网络
网络密度	0.065	0.061	0.034	0.042
有向捷径距离	2.304	2.354	3.203	3.050
凝聚力指数	0.118	0.104	0.090	0.105

2. 网络结构呈现层级性，网络联系覆盖面较广

利用 ArcGIS 分别对高技术服务业和制造业的供应链上、下游有向网络空间格局进行可视化，以城市间供应链的交易额建立的网络^①显示（图 3、图 4），高技术服务和高技术制造供应网络均主要集中在胡焕庸线以东，上下游网络的核心节点城市有较高的相似性，网络结构大体体现为由北京、上海、广深和成都四大核心地区为支撑、全国多个城市参与的形态。在供应强度较低的第二级网络中，西部更多的城市参与令网络覆盖面积相对更大。

就流向来看，网络中的重要核心节点不仅是供应的重要目的地，同时亦是交易输出的重要起始地，因此，高技术服务供应链网络的上、下游网络具有较高的相似性，高技术制造供应链网络的上、下游网络亦然，反观服务供应网络和制造供应网络，结构则有不尽相似。

就流量而言，高技术服务供应链网络中，交易额占前 10 位的城市，其上、下游网络交易额分别占网络交易额中的 52.64%、54.34%；交易额占前 50%交易

^① 图 3 与图 4 按交易额进行排序分级，按交易额的前 50%、后 50%将供应链网络分为两个级别，箭头指出地为供应输出地，指向地为承接出入地。

额的供应链涉及城市数量，分别占网络中总城市数量的 65.85%、60.77%^②。高技术制造供应链网络中，交易额占前 10 位的城市，其上、下游网络交易额分别占网络交易额中的 41.36%、48.85%；交易额占前 50%交易额的供应链涉及城市数量，分别占网络中总城市数量的 69.59%、68.99%。由此可见，高技术供应链网络具有较为明显的层级性。

值得注意的是，华北、东北、西部的部分等级位序较低城市在网络中也形成了高交易额链接，如服务业上游网络中的运城市 and 九江市，下游网络中的盐城市，制造业上游网络中的大庆市，下游网络中的黔南布依族苗族自治州、宜宾市和克拉玛依市，这些城市基于其内部的个别大型上市公司、供应商或客户企业与省内发达城市或全国经济发达城市建立了高交易额供应往来，较为强势地出现在了网络中。

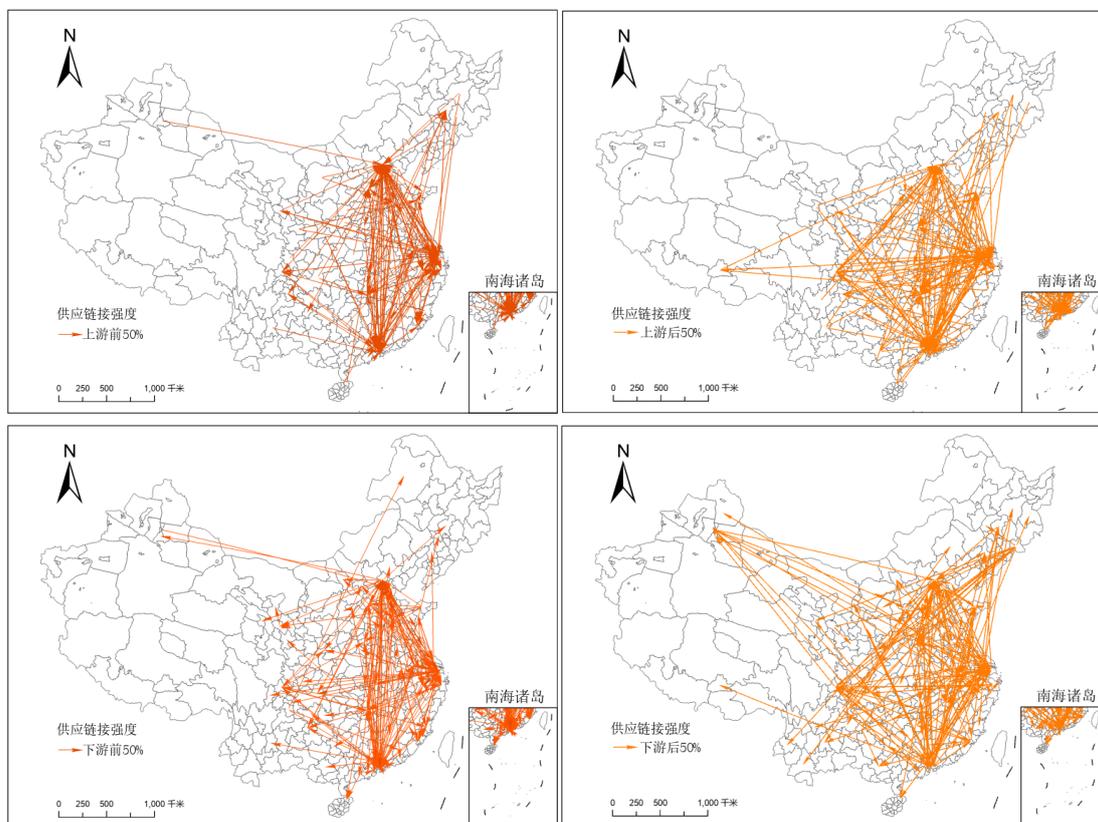


图 3 中国高技术服务业城市供应链关联网络（上：上游网络 下：下游网络）

^② 前、后 50%交易额的供应链涉及城市数量加总不等于 100%，因为两个等级网络中所含城市有重合部分，高技术服务业和制造业供应链中交易额占后 50%交易额的供应链涉及城市数量更多。

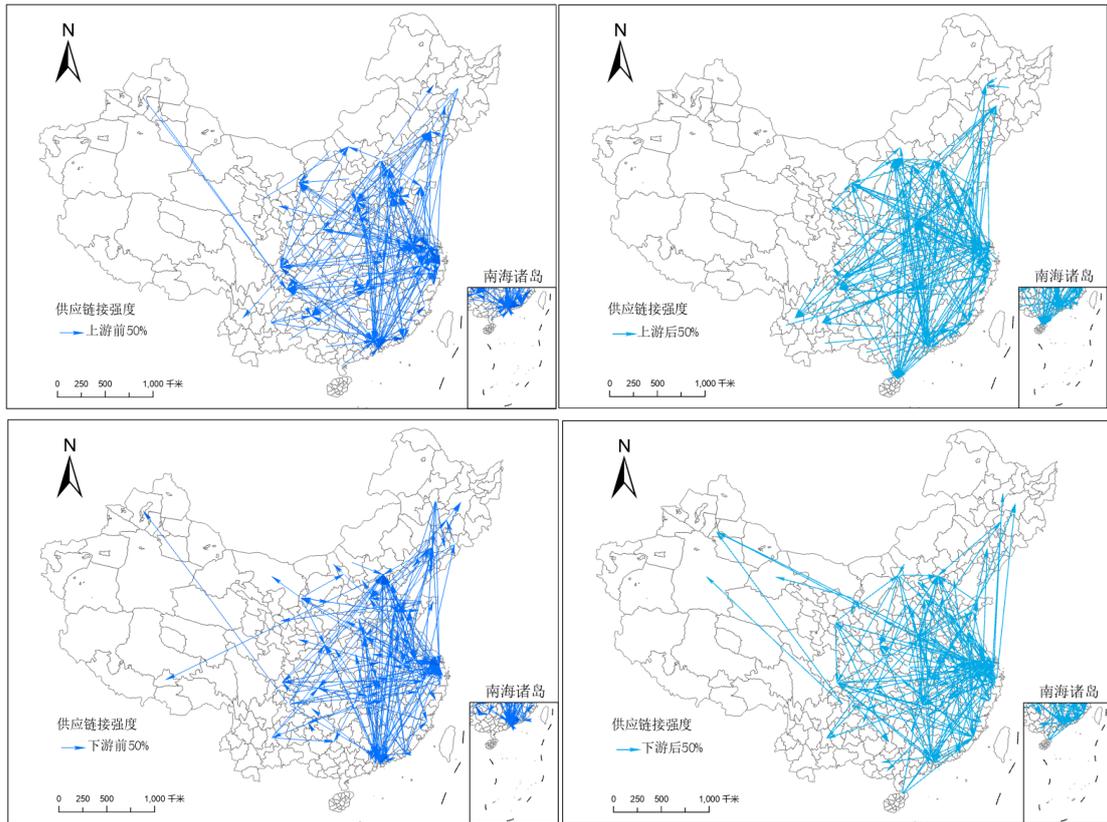


图 4 中国高技术制造业城市供应链关联网络（上：上游网络 下：下游网络）

（三）网络节点特征分析

1. 网络核心集中在三大城市群内核心城市

计算各城市节点的网络特征指标值，通过中心度（表 5）看出高技术服务业与制造业供应链的上、下游网络核心节点虽存在一定差异，但北京、上海和深圳在供给输出和输入端的综合地位均远高于全国其他城市。

具体来看，服务业供应链上、下游网络中北京、上海占据了绝对核心地位，以北京、上海两地作为供给输入或输出端的链接交易额占上、下游网络交易总额近 83%，其中下游网络内北京形成的链接交易额占比 55.64%。

制造业供应链上游网络内深圳在供给输出与输入端的综合实力居于首位，形成的链接交易额占网络交易总额 20%，且北上广三地和大庆市的网络地位也领先于全国其他城市，与深圳相加总计链接交易额占网络交易总额 68.85%；与上游网络中多个核心的情况不同，下游网络内仅北京与其他节点的指标值出现分层差距，形成的链接交易额占网络交易总额 38.84%，其余经济发达城市表现较为相近，北京成为了网络中在供给输出与输入端最具优势的核心城市。

表 5 高技术服务业和制造业供应链网络城市节点中心度前五名（标准化后值）

高技术服务业				高技术制造业			
上游网络		下游网络		上游网络		下游网络	
城市	中心度	城市	中心度	城市	中心度	城市	中心度
北京	2.419	北京	2.195	深圳	1.946	北京	2.561
上海	1.852	上海	1.082	大庆	1.272	广州	0.92
深圳	0.888	石家庄	0.456	北京	1.264	无锡	0.811
石家庄	0.818	广州	0.435	上海	1.227	深圳	0.808
天津	0.504	深圳	0.331	广州	1.086	成都	0.723

2. 除一线及省会城市外，部分非核心城市成为网络供给输出或输入端能力突出节点

为探究各城市节点在供应链上下游网络中的供给输出和承接输入能力强弱，确定网络供给输出或输入端核心节点及其优势链接，计算各城市节点的出、入度值后排序，并利用节点间有向供应链进行可视化处理，得到结果如图 5、图 6 所示。其中，节点越大、颜色越深，表示城市的出度或入度值越高，供给输出或承接输入能力越强，内圈节点为排名前 10 的城市；节点间有向线条越粗、颜色越深，表示两城市间的供应链越紧密；箭头指向表示交易流向；节点左侧半圆形阴影为城市内部企业供应往来所形成，颜色越深、面积越大表示供应额度越高。

就高技术服务业供应链网络来看（图 5），上、下游网络中北上广深等网络权利核心城市在供给输出与输入端能力排名均相对靠前，其之间及北京、深圳两地内部也有着较高强度的链接关联，且倾向与供给能力水平相当的区域中心城市如天津、石家庄、苏州等建立供应关系，交易额前 10 名的城市间供应链中有 9 条由这些城市组成，由此说明网络的供给流向一定程度上遵循了择优连接机制。

此外，部分经济发展水平非高等级城市在服务业供应链网络中也表现出了较强供给能力，盐城、运城、九江、唐山流向上海、绍兴流向北京建立起的供应链连接强度位于所有链接中的前 5%，体现了其供给能力和在供应链中承担的重要角色。

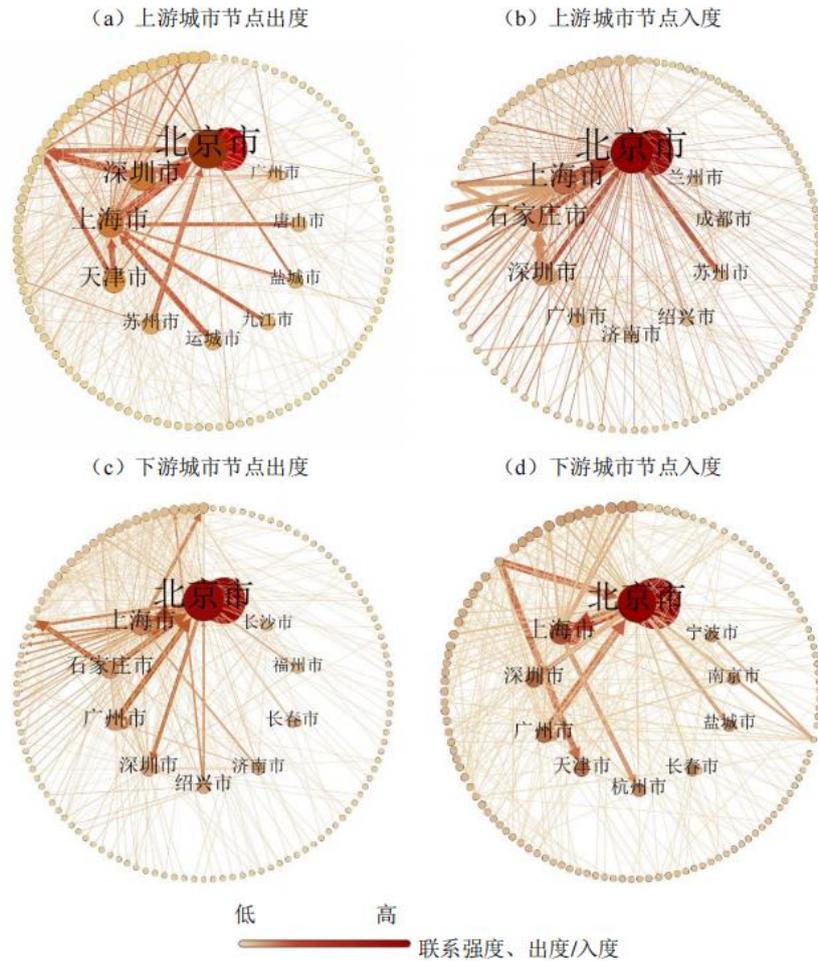


图 5 中国高技术服务业城市供应链网络节点城市出度和入度

就高技术制造业供应链来看（图 6），上下游网络中权利核心节点的供给输出与输入能力并非都表现突出，而是大多仅在供给输出或承接输入一端承担核心角色，且除北上广深外，省会城市在输出与输入能力上也相对领先于全国其他城市。

具体来看，上游网络中北京、广州两地的供给输出能力相较于承接输入能力排名更加靠前，供给交易额和输入交易额占网络总额的比重两地分别相差 12%、4%，而深圳、大庆的承接输入能力更为突出，承接输入交易额比供给输出交易额占网络总额的比重分别高 3%、7%；福州、汕头等城市虽并非网络权利中心，但其在供给输出、输入端的重要作用也不容忽视，优势链接集中在发达城市或临近城市，交易额占比超两地涉及链接总额的 90%，福州市内部供应交易额更是占到了网络中所有链接的首位。下游网络中虽仅有北京一个城市占据绝对权利中心地位，但其能力仅在承接输入端领先其他城市，承接输入交易额比供给输出交易额占网络总额的比重高 38%，而广州在供给输出端的能力远高于北京，位列首位，供给输出交易额比承接输入交易额占网络总额的比重高 10%；非核心节点中无

锡、成都、广州→北京以及深圳、银川两城市内部的高强度供应流位列城市间所有链接的前 5 名，这些城市也因此 在供给输出端展现了较强的能力。

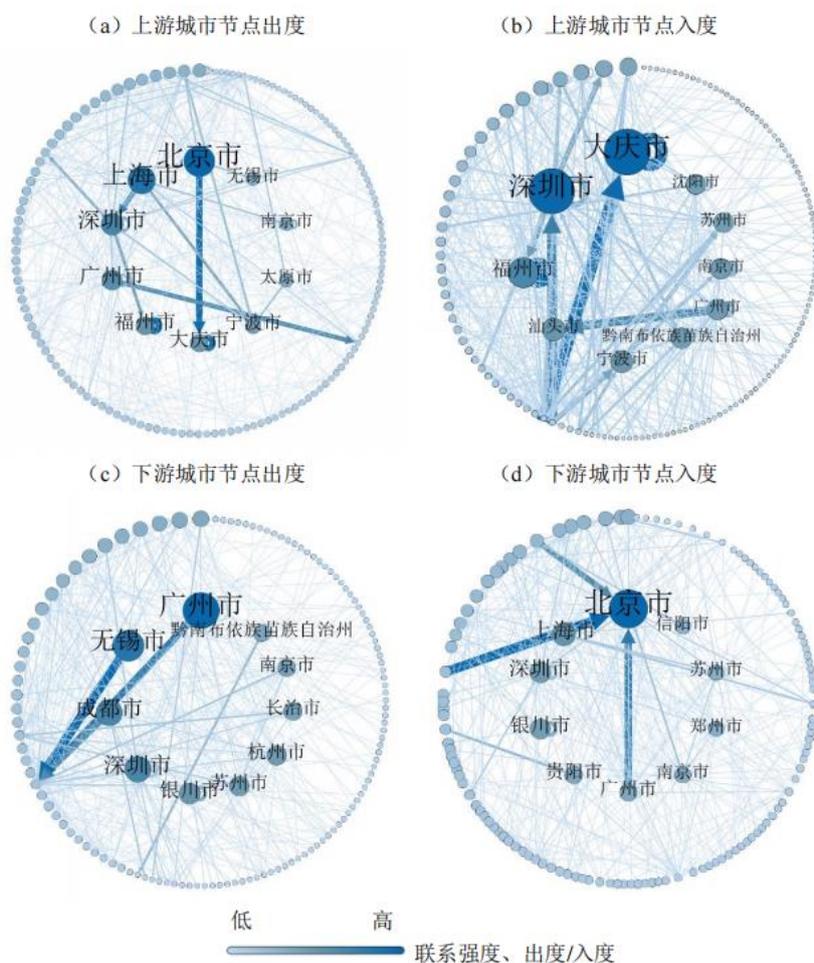


图 6 中国高技术制造业城市供应链网络节点城市出度和入度

四、供应链网络的影响机制分析

(一) 研究设计

供应链空间网络的形成与发展是多种社会经济因素相互作用的结果。本文采用二次指派程序(QAP)方法对高技术公司上下游供应链网络关联数据进行分析，以此探究中国高技术产业供应链空间网络结构的影响因素及驱动机制。

二次指派程序可用来研究矩阵间的相关性与回归性，属于非参数检验方法，不需要假设变量之间的相互独立性，因此比参数方法更加稳健^[29,31]，本文构建如下网络分析计量模型：

$$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^8 (\alpha_i X_i) + U \quad (6)$$

其中， α_0 为截距项； α_i 为自变量待估参数；由于 QAP 主要同时构架网络关系矩阵和城市属性关系矩阵，所以因变量Y为构建的中国高技术产业供应链空间

关联关系，来自于第二部分建立的有向关联非对称矩阵，自变量 X 为各城市节点间各影响因素指标的差值矩阵。

既有供应链空间组织影响因素研究表明，所在地区经济社会、产业发展、劳动力成本、交通运输水平可能会影响供应链上下游企业的空间分布^[32]。此外，高技术产业的先进性、创新性使得其供应链发展离不开市场、信息、创新等环境要素的推动^[33,34]。考虑到供应链上下游的有向性特征，本文将供应输出方与承接输入方所属城市在经济发展、产业结构、信息流动、消费活力、生产成本、运输环境及能力、创新环境方面的相对差距指标作为影响上下游网络结构的潜在因素，具体指标见表 6。指标整理自《中国城市统计年鉴》及各地级市统计年鉴，由于非地级市指标数据难以获取，故仅将全国地级市作为研究对象，其指标差值矩阵由各指标 2016-2020 年平均值计算得到。

表 6 变量定义与说明

一级指标	二级指标	指标简称	指标说明
区域发展水平	经济发展相对差距	GDP	人均地区生产总值(元) 差值矩阵
	产业结构相对差距	IND	第二/三产业增加值占 GDP 比重(%) 差值矩阵
	信息基础相对差距	MTS	移动电话年末用户数(万户) 差值矩阵
	消费活力相对差距	CGS	社会消费品零售总额(万元) 差值矩阵
供应成本 及条件	生产成本相对差距	WAG	在岗职工工资总额(万元) 差值矩阵
	运输环境相对差距	FRE	货运总量(万吨) 差值矩阵
	运输能力相对差距	NET	交通仓储邮电业从业人员数(万人) 差值矩阵
创新水平	创新环境相对差距	INO	专利申请数(件) 差值矩阵

注：高技术服务业产业结构相对差距具体指标选择使用第三产业增加值占 GDP 比重(%)差值矩阵，高技术制造业产业结构相对差距具体指标选择使用第二产业增加值占 GDP 比重(%)差值矩阵。

(二) QAP 相关分析

为测度供应链空间网络所形成的关联矩阵与各指标差值矩阵间的相关性，运用 Ucinet 软件对相关系数进行计算。表 7 为 QAP 相关性分析结果，各相关系数均通过了显著性水平检验，城市间各影响因素的差值与其供应链强度存在一定相关关系，但这并不表示其之前具备回归关系，需要进一步通过回归分析探究各变量对供应链关联网络的具体驱动机制。另外，对各自变量进行相关性分析发现，各自变量间也存在一定相关性，若将其全部纳入回归模型会导致出现多重共线性

问题并影响统计检验结果，因此证明了使用 QAP 回归分析进行影响因素研究的必要性。

表 7 高技术产业供应链空间网络 QAP 相关性分析（相关系数值）

自变量	高技术服务业		高技术制造业	
	上游网络	下游网络	上游网络	下游网络
GDP	0.015*	0.000*	0.010*	0.001*
IND	0.053**	0.037*	0.022*	0.029*
MTS	0.079**	0.062*	0.057***	0.050*
CGS	0.088***	0.070*	0.057***	0.051*
WAG	0.129***	0.131**	0.082***	0.099***
FRE	0.041*	0.041*	0.023*	0.012*
NET	0.114***	0.111**	0.077***	0.079***
INO	0.082***	0.070*	0.067***	0.051*

注：*（ $p < 0.05$ ），**（ $p < 0.01$ ），***（ $p < 0.001$ ）

（三）QAP 回归分析

回归分析用以探索多个矩阵和一个矩阵间的回归关系，结果报告中包含未标准化和标准化后回归系数，标准化后回归系数由指标矩阵进行标准化后处理得到，消除了指标观测值量纲的影响，因此本文将根据标准化后回归系数值来比较不同指标对城市间供应链强度的影响，高技术服务业和制造业供应链空间网络 QAP 回归分析结果见表 8。

表 8 高技术服务业供应链空间网络 QAP 回归分析结果（拟合系数）

自变量	高技术服务业		高技术制造业	
	上游网络	下游网络	上游网络	下游网络
GDP	-0.020*	-0.045***	-0.022**	-0.019*
IND	-0.016	-0.032**	0.007	0.002
MTS	-0.152***	-0.191***	-0.045*	-0.033
CGS	-0.006	-0.074*	-0.065**	-0.092***
WAG	0.193***	0.255***	0.093***	0.215***
FRE	0.039**	0.065***	0.018**	0.012
NET	0.103*	0.124**	0.054*	0.035
INO	-0.027	-0.004	0.043*	-0.044*

注：*（ $p < 0.05$ ），**（ $p < 0.01$ ），***（ $p < 0.001$ ）

城市间区域发展水平差距方面,通过显著性检验的二级指标对高技术服务业、制造业供应链上下游网络内城市间链接强度均表现为负向影响。由于经济、产业发展水平较低的城市在提供产品、技术等要素不具备难以匹配发达城市需求,且信息基础、消费活力差距较大时也会导致无法为企业间信息流动和交易往来提供有效支撑,因此会影响低发展水平城市在供应链中的参与度,也导致了核心城市间择优链接现象的产生。

进一步对比供应链上、下游网络影响因素的差异发现,产业结构差距及消费活力差距仅对服务业供应链下游网络连接强度存在显著影响,一定程度上是因为高技术服务业上市公司在供应链下游多向同行业及金融服务行业供给产品,且其多位于产业发展及市场环境较活跃地区,当客户所在城市的产业结构和消费活力水平较低时,会影响其对于高水准技术及服务的需求,所以导致其与中游上市公司的联系相对较弱;而信息基础差距仅对制造业供应链上游网络结构存在显著影响,这是由于高技术制造业上游供应商与下游客户相比更多属于高技术公司,在供应过程对城市信息基础设施较为依赖,因此导致上市公司与其供应商所属城市间信息基础水平存在较大差距时将对其供应链产生更为显著的影响。

供应条件及成本差距方面,各二级指标会对高技术产业供应链上下游网络中城市间链接表现为显著的正向影响。由于生产成本作为决定产品定价的关键因素,其差距产生的优势差会促进供给交易的产生及强化,因此生产成本差异对于网络中两城市供应链强度的影响远大于其他二级指标。而城市的运输环境和能力往往与其交通货运水平相匹配,由于供应链内的中、西部城市多通过与东部核心城市链接的方式融入到网络当中,这些核心城市的交通货运水平通常与其他城市存在较大差距,所以城市间运输环境和能力差异对城市间供应链表现为正向作用。

另外还发现,制造业供应链内相比于下游网络,上游网络结构更易受到城市间运输环境和能力差距的影响,根据供应链特征分析结论可知制造业供应链上下游企业的空间分布更广,其下游客户企业与上游供应商相比在中、西部地区布局更多,该特征在一定程度上导致了运输环境和能力差距对上游网络结构表现出更为显著性的影响。

创新环境差异仅在高技术制造业上下游网络中回归系数显著,上游为正向影响,下游为负向影响,究其原因,一定程度上在于高技术制造业供应链上游大多仅需要基础性工业原料,对供给品的创新性要求较低,部分资源型城市凭借原料供给优势构建了较强的网络链接,使得许多非经济发展水平突出城市加入到供应链当中;而其下游多对接高技术公司,当下游客户所在地创新环境活跃时才会带动其发展进而增加其对于高技术制造品的需求,供应链由此得到强化。

五、结论

供应链内企业间存在的有向上下游供应交易关系，将产业、城市通过商品和服务流通连接起来，映射到地理区位上形成空间网络结构。本研究基于供应链内企业关系数据，由“链”及“网”揭示中国高技术产业供应链及其空间网络特征，并对网络影响因素进行分析探讨，得到以下结论：

（一）地方视角下高技术产业供应链上下游在四大城市群内行政中心城市集聚，密集程度由东向西递减，制造业上下游企业空间集中范围大于服务业；高交易额供应链的上下游企业主要集中在超一线、新一线城市以及运城、九江、大庆等资源型城市。行业视角下，高技术上市公司供应链上下游企业同样多布局于高技术产业，部分上下游关联紧密的服务行业在北上广深存在聚集。

（二）高技术服务业和制造业供应链上、下游有向网络均呈现出低密度、低凝聚力特征，结构都表现出显著的层级性，链接空间范围较广但主要集中在胡焕庸线东侧，形成了北京、上海、广深和成都四大核心地区为支撑、全国多个城市参与的形态，且网络内重要核心节点不仅是供应的重要目的地，同时亦是交易输出的重要起始地，而部分等级位序较低城市也因区域内个别企业建立的高额供应链链接较为强势地出现在了网络中。

（三）网络权利在三大城市群内核心城市有所集中，高技术服务业上下游网络内北京、上海两地是网络权力的绝对核心所在，上游网络中深圳与石家庄形成了次级权力中心；高技术制造业上游网络中除深圳这一首位权力核心外，大庆和北上广四个城市的权力也相对领先，下游网络中仅北京表现为最具权力优势的核心城市。

（四）高技术服务业供应链上下游网络中北上广深等因为供给输出与输入能力均突出成为网络权利集中的核心城市，倾向择优选择与供给能力相对优秀的区域中心城市建立链接；部分非发达城市如运城、九江、盐城、唐山等地与北京、上海等发达城市的供应高强度往来，使得其在供给输出或输入端能力表现突出。高技术制造业上下游网络中大多数权力节点的供给输出与输入能力不平衡，其他地区省会城市的能力也较为突出，福州、汕头、无锡、成都等非权力核心城市也展现了较强的供给输出或输入能力。

（五）城市间区域发展水平差距、供应条件及成本差距、创新环境差异三方面因素均对高技术产业供应链网络存在一定影响。区域发展水平差距方面，通过显著性检验指标均表现为负向影响，其中产业结构差距及消费活力差距在服务业供应链中仅影响下游网络，信息基础差距在制造业供应链内仅影响上游网络；供应条件及成本差距方面，各指标对网络中城市链接表现为显著的正向作用，其中

制造业上游网络结构更易受到城市间运输环境和能力差距的影响;创新环境差异仅在制造业上下游网络中回归系数显著,在上游网络中发挥正向作用,在下游网络中表现为负向作用。

参考文献

- [1] 刘承良, 管明明, 段德忠. 中国城际技术转移网络的空间格局及影响因素[J]. 地理学报, 2018, 73(08): 1462-1477.
- [2] 刘承良, 牛彩澄. 东北三省城际技术转移网络的空间演化及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2092-2107.
- [3] 刘承良, 管明明. 基于专利转移网络视角的长三角城市群城际技术流动的时空演化[J]. 地理研究, 2018, 37(05): 981-994.
- [4] Fan Xiao, Wang Jiaoe, Du Delin. High-speed rail heading for innovation: the impact of HSR on intercity technology transfer[J]. *Area Development and Policy*, 2022, 7(3).
- [5] 任龙, 姜学民, 傅晓晓. 基于专利权转移的中国区域技术流动网络研究[J]. 科学学研究, 2016, 34(07): 993-1004.
- [6] 马海涛. 知识流动空间的城市关系建构与创新网络模拟[J]. 地理学报, 2020, 75(04): 708-721.
- [7] 周晓艳, 侯美玲, 李霄雯. 独角兽企业内部联系视角下中国城市创新网络空间结构研究[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1667-1676.
- [8] 王波, 雷雅钦, 易丹然, 等. 广东省国有企业空间组织网络演化——基于有向加权网络的分析[J]. 经济地理, 2021, 41(12): 142-148.
- [9] 黄晓东, 马海涛, 苗长虹. 基于创新企业的中国城市网络联系特征[J]. 地理学报, 2021, 76(04): 835-852.
- [10] Jin Xingxing, Guojian Hu, Hailong Ding, et al. Evolution of spatial structure patterns of city networks in the Yangtze River Economic Belt from the perspective of corporate pledge linkage[J]. *Growth and Change*, 2020, 51(2).
- [11] 韩增林, 袁莹莹, 彭飞. 东北地区装备制造业官产学研合作网络发展演变[J]. 经济地理, 2018, 38(01): 103-111.
- [12] 陆天赞, 吴志强, 黄亮. 美国东北部城市群创新城市群落的社会网络关系、空间组织特征及演进[J]. 国际城市规划, 2016, 31(02): 51-60.
- [13] 孙春晓, 裴小忠, 刘程军, 等. 中国城市物流创新的空间网络特征及驱动机制[J]. 地理研究, 2021, 40(05): 1354-1371.
- [14] 于明洋, 吕可夫, 阮永平. 供应链网络位置与企业竞争地位[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(07): 1796-1810.
- [15] 李娜, 李随成, 王玮. 供应商供应网络位置与企业绩效:网络认知能力的作用[J]. 管理科学, 2015, 28(02): 49-59.
- [16] 陈理, 周忠宝, 黄珺. 供应网络位置、管理层能力与企业技术创新——基于融资和风险视角[J]. 系统科学与数学, 2021, 41(11): 3078-3092.
- [17] 李桂华, 赵珊, 王亚. 供应网络位置、吸收能力与企业创新绩效[J]. 软科学, 2020, 34(12): 1-7.
- [18] 史金艳, 杨健亨, 李延喜, 等. 牵一发而动全身:供应网络位置、经营风险与公司绩效[J]. 中国工业经济, 2019, (09): 136-154.
- [19] 王成, 王茂军, 柴箐. 城市网络地位与网络权力的关系——以中国汽车零部件交易链接网络为例[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1953-1972.
- [20] 陈肖飞, 杨洁辉, 王恩儒, 等. 基于汽车产业供应链体系的中国城市网络特征研究[J]. 地理研究, 2020, 39(02): 370-383.

-
- [21] 范大龙, 曹卫东, 王雪微. 中国汽车零部件供应网络时空格局演化研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2022, (01): 109-121.
- [22] 陶杰, 曹卫东, 吴娟. 资金流视角下企业分工协作网络研究——基于2019年中国制造业500强企业[J]. 资源开发与市场, 2021, 37(08): 940-946.
- [23] 李娜, 周海娟. 非首都功能疏解背景下京津冀流通供应链空间优化研究[J]. 商业经济研究, 2022, (04): 165-168.
- [24] 陈红丽, 赵爽, 杨海波, 等. 环首都流通圈物流供应链节点空间布局优化[J]. 经济地理, 2020, 40(07): 115-123.
- [25] 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.
- [26] 王雪微, 范大龙, 曹卫东. 中国汽车总部与零部件企业供应网络结构演化及影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(02): 124-135.
- [27] 中国社会科学院工业经济研究所课题组, 张其仔. 提升产业链供应链现代化水平路径研究[J]. 中国工业经济, 2021, (02): 80-97.
- [28] 宋华, 杨雨东. 中国产业链供应链现代化的内涵与发展路径探析[J]. 中国人民大学学报, 2022, 36(01): 120-134.
- [29] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET软件实用指南[M]. 北京: 格致出版社, 2009.
- [30] Levinger R-L, Mayhew B H. Size and the density of interaction in human aggregates[J]. American Journal of Sociology, 1976, (82(1)): 86-110.
- [31] Barnett-G A. Encyclopedia of Social Networks[M]. Beverly Hills: SAGE Publications, 2011.
- [32] 康江江, 林柄全, 宁越敏. 中国大陆苹果零部件供应链空间组织研究[J]. 经济地理, 2021, 41(07): 138-145.
- [33] 曾瑶. 高技术产业研发投入经济效益与时空特征影响因素研究[J]. 工程管理科技前沿, 2023, 1-10.
- [34] 张钟方, 侯立军. 数字产业化与高技术产业研发效率——基于随机前沿方法的实证研究[J]. 工程管理科技前沿, 2023, 1-10.

Spatial Network and Influencing Factors of China's High-tech Industry Supply Chain

Zhou Yutong, Zhong Yun

(School of Economics, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Summary: This research study aims to depict the characteristics of supply chains and their spatial networks in China's high-tech service and manufacturing industries based on the directed relationships formed by supply and demand within the supply chain. Using data from listed companies' suppliers and customers from 2016 to 2020, we employ social network analysis, GIS spatial analysis, and Quadratic assignment procedure (QAP) to analyze the supply chains and their spatial network features in the high-tech industry. The findings reveal the following:

1) In terms of regional perspective, upstream and downstream companies in the high-tech industry supply chain tend to agglomerate in the central cities of the four major urban clusters, with the manufacturing sector exhibiting a wider spatial concentration range. High-value transaction supply chains predominantly focus on certain first-tier cities and resource-based cities.

2) Both the upstream and downstream directed networks of the high-tech service industry and manufacturing supply chain present the characteristics of low density and low cohesion, and the spatial structure is hierarchical, and they are concentrated on the east side of Hu Huanyong. It is also an important starting point for transaction output.

3) The core nodes of the network are mostly the core cities in the three urban agglomerations. The core nodes of the upstream and downstream networks are different, but there are also non-core cities show outstanding supply output or take on the input capacity.

4) Regional development level disparities, supply conditions and cost differences, and disparities in innovation environments have varying impacts on the high-tech industry supply chain network. These factors show differences in their effects on the manufacturing and service industries, as well as on the upstream and downstream networks.

Keywords: High-tech industry; Supply chain; Directed spatial network; Social network analysis; Quadratic assignment procedure (QAP); China