引用格式：吕承超，郭梦瑶，殷伟远，等. 中国产业关联网络的结构特征与演化机制[J]. 技术经济，2025，44(11)：66-79.
Lü Chengchao，Guo Mengyao，Yin Weiyuan，et al. Structural characteristics and evolutionary mechanism of industrial linkage network in China[J]. Journal of Technology Economics，2025，44(11)：66-79.

产业技术经济

中国产业关联网络的结构特征与演化机制

吕承超[1]，郭梦瑶[1]，殷伟远[1]，王楚婷[2]
（1.青岛科技大学经济与管理学院，青岛 266001；2.辽宁大学金融与贸易学院，沈阳 110036）

摘 要：采用社会网络分析方法，利用2012—2020年中国42个产业部门的投入产出表数据，对产业关联网络的结构特征进行动态描述，并建立基于随机行动者的网络动力学模型对产业关联网络的演化机制进行识别与分析。结果表明：42个产业网络的整体性指标并无显著性差异，网络整体趋于稳定。化学产品及交通运输、仓储和邮政一直处于中心地位，第二产业尤其是制造业在网络中处于核心地位。2012—2015年，中国产业关联网络可以分为4个板块（双向溢出板块Ⅰ、Ⅱ，经纪人板块，净受益板块）；2017—2020年，经纪人板块消失，出现了主受益板块，板块内的产业关联效应更加明显。产业关联活动主要集中在金属制品，化学产品，通信设备、计算机和其他电子设备，电器机械和器材等制造业，以及批发和零售，交通运输、仓储和邮政，信息传输、软件和信息技术服务等服务业。内生结构因素的相对重要性为53.11%，其在网络关系演化中发挥重要作用，负的出度效应表明关联关系较多的产业难以发展新关系，传递效应表明产业存在不断细化的趋势，外生属性因素的相对重要性为46.89%，其中劳动力的影响最为显著，占比达到20.52%。本文为打破行业壁垒，畅通产业循环进而加速国内循环提供重要的产业政策参考。

关键词：产业网络；社会网络分析；投入产出；随机行动者导向模型
中图分类号：F426 **文献标志码**：A **文章编号**：1002-980X(2025)11-0066-14
DOI：10.12404/j.issn.1002-980X.J24071809

一、引言

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出要坚持把发展经济着力点放在实体经济上，加快推进制造强国、质量强国建设，促进先进制造业和现代服务业深度融合，构建实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展的现代产业体系，构建现代化产业体系需要提升产业链和供应链的现代化水平[1]。产业链是指各产业部门之间相互关联所构成的复杂链式结构，推进产业链现代化就是要加强上下游产业技术经济的关联性[2]，因此研究产业间的关联对提升产业链现代化水平具有重要意义。“十四五”时期为应对新发展阶段的机遇和挑战，中共中央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。产业关联在国内大循环与国际大循环的相互促进效应中发挥了重要作用[3]，因此研究产业关联关系对促进国内大循环进而带动国际大循环有着重要意义。

随着工业化和信息化的不断发展、制造业和服务业的不断融合，产业之间的边界日趋模糊，中国三产结构优化升级的主题变成了重视发展导向的产业融合协调[4]。适应产业融合的趋势需要促进产业间的技术融合和资源融合，从而推动产业之间与产业内部的协调发展。改革开放以来中国的产业结构不断变化，各

收稿日期：2024-07-18
基金项目：国家社会科学基金“级联风险情境下中国高技术产业供应链网络韧性评估与安全治理研究”(24BGL278)
作者简介：吕承超(1983—)，博士，青岛科技大学经济与管理学院教授，博士研究生导师，研究方向：区域经济、产业经济、经济高质量发展等；郭梦瑶(1999—)，青岛科技大学经济与管理学院硕士研究生，研究方向：产业经济；殷伟远(2001—)，青岛科技大学经济与管理学院硕士研究生，研究方向：经济高质量发展，企业经济；(通信作者)王楚婷(2002—)，辽宁大学金融与贸易学院硕士研究生，研究方向：金融科技。

个产业间的关系错综复杂，研究产业之间的关联关系有助于实现产业融合效率的最大化。事实上，这种错综复杂的产业关联关系，本质上致使各个产业在生产、分配、流通的过程中形成一个复杂的产业网络，且产业结构和需求结构随着新资源、新技术的诞生逐步升级，产业的网络特征越来越明显[5]。通过网络可以更加清楚地了解各产业在循环中的主要表现形式，揭示各产业在产业关联中的地位与作用，有助于畅通产业循环和国内经济循环。

本文的边际贡献体现在以下三个方面：一是采用社会网络分析方法，考察 42 个产业部门关联网络拓扑结构的整体性与个体性动态演变特征，打破以往文献静态时点研究的局限；二是不同于其他文献利用凝聚子群的方法对产业部门简单聚类，本文通过块模型将 42 个产业分为 4 个板块，研究板块内部与板块之间的关联模式，并识别各个板块的角色与作用，提取各个板块中成员的共同特征，为建立不同产业间的新型关系打下基础；三是建立基于随机行动者的网络动力学模型，系统考察产业关联网络背后的重要驱动因素，综合考虑出度效应、互惠效应和传递效应等内生网络结构变量及劳动力、资本、技术和对外开放程度等外生属性变量的影响，并实证检验各个因素的相对重要性。这些对打破行业壁垒，畅通产业循环进而加速国内循环均提供了重要的产业政策参考。

二、文献综述

产业关联是指各产业在经济活动中产生的复杂广泛且密切的技术经济联系，很早就有学者对产业关联进行了研究。已有的研究主要围绕产业网络的构建、产业间的关联特征及个别产业大类的关联关系等方面展开。

第一，从网络视角研究产业关联。产业网络从纵向看是产业之间的前后向供给需求关系，从横向看是各产业之间的竞争与合作关系，产业网络与传统产业的发展及新兴产业的形成息息相关[6]。产业网络是产业组织理论的创新，构成要素包括主体、行为、资源，并且从不同的要素角度出发可以将产业网络划分为八种类型[5]。有向加权网络度中心性符合产业部门的经济基础特征，对关键产业部门的识别能够起到补充和完善作用[7]。通过复杂网络分析法，可以用度中心性、接近中心性等指标衡量产业网络结构特征[8]。从网络视角比较中美两国的产业内循环，不难发现与美国相比，中国的产业内部关联相对不均衡[9]。

第二，基于投入产出表分析产业关联。利用投入产出表研究产业结构的关联特征[10]，除了对产业结构进行静态分析，投入产出法作为揭示产业关联机制最重要的方法，还可以进行动态研究[11]。利用投入产出表可以计算 42 产业部门的影响力和感应度系数，进一步分析得出主导产业[12]。投入产出表分析中，直接投入系数可以测算产业的后向关联，直接分配系数可以测算前向关联[13]。运用投入产出分析方法发现中国制造业与服务业的关联效应趋于上升[14]，通过分析数字产业的投入产出结构，可以发现数字产业与传统制造业和服务业息息相关，是两者重要的中间投入和上游需求部门[15]。除了对产业大类的关联分析，还可以通过投入产出分析确认对经济内循环起核心作用的产业，包括电气机械、器材和通用设备等[16]。

第三，聚焦于个别产业大类研究其关联关系。当前中国经济处于高质量发展阶段，制造业单一驱动的经济发展模式已经不再适用，逐渐向制造业、服务业双轮驱动模式转变[17-18]。有不少学者着重对制造业和服务业的关联关系进行研究，并将产业关联关系纳入产业集聚的研究中去。生产性服务业与制造业之间不仅存在上下游的投入产出关系，两者的需求还互为传导[19]。先进制造业与生产性服务业间存在显著的双向产业互动关系，但这种关系具有非对称性的特征[20]。畅通制造业生产体系内部循环的关键在于明确制造业内产业间的关联程度，产业关联度对制造业增值税实际税负有显著的负向影响[21]。

虽然目前部分学者对中国产业关联结构进行了研究，但是相关成果仍然存在一些不足，主要体现在以下 4 个方面：其一，已有研究大多基于投入产出表计算相关指标，通过定量技术对产业部门简单定位，这些简单的指标难以解释产业网络的复杂性；其二，已有研究重在分析网络的拓扑特征，而且没有对产业聚类，忽视产业模块之间的关联；其三，已有研究大多考察产业关联的静态特征，缺乏网络的动态演化分析；其四，已有研究缺乏对驱动产业关联关系演化的影响因素分析。

本文从网络视角出发，运用网络分析方法从整体、局部、个体逐层深入解读产业关联模式，揭示各产业

在网络中的地位和作用。然后运用基于随机行动者的网络动力学模型研究产业网络的演化机制,考虑互惠效应和出度效应等内生网络结构变量,以及资本、技术、劳动和对外开放程度等属性变量的影响,系统考察产业关联网络背后的关键驱动因素。本文可为加快构建现代化产业体系,推动经济高质量发展提供有效的政策切入点。

三、产业关联的网络分析模型及数据说明

(一)产业关联网络构建

本文构建包含42个节点的中国产业关联网络。产业间以投入产出为基本内容的关联关系可以反映产业间的相互影响[12],因此选取2012年、2015年、2017年、2018年和2020年的投入产出表构建5个产业关联网络。利用投入产出的绝对数量构建连线,由于产业之间关联关系过多,不便于进行网络特征分析,因此使用直接消耗系数与直接分配系数构建产业供给网和需求网[10]。直接消耗系数是指第j产业总投入中消耗的第i产业的货物或服务所占的比例,公式表示如式(1)所示。

$$a_{ij}=\frac{x_{ij}}{X_j},\ i,j=1,2,\cdots,42 \tag{1}$$

其中:a_{ij}为直接消耗系数;x_{ij}为第j产业所使用的第i产业的货物或服务的价值量;X_j为第j产业的总投入。直接分配系数是指第i产业对第j产业的直接供给占第i产业总供给的比例,公式表示如式(2)所示。

$$h_{ij}=\frac{x_{ij}}{out_i},\ i,j=1,2,\cdots,42 \tag{2}$$

其中:h_{ij}为直接分配系数;x_{ij}为第i产业对第j产业的直接供给量;out_i为第i产业的总供给。直接消耗系数构成了产业的供给网,纵向考虑供给网,直接分配系数构成了产业的需求网,横向考虑需求网,通过与各行各列平均值对比构建0-1网络,从而构建了刻画产业间需求与供给关系的有向非对称二元矩阵[13],最后将两个网络按照1+1=1,1+0=0,0+0=0的运算方法提取交网。

(二)产业关联网络的特征分析

本文构建产业关联网络后,通过社会网络分析方法对网络的整体特征及各个节点的个体性特征进行识别[22],通过块模型考察产业的联通模式,对各个产业部门在网络中所处的位置及发挥的作用进行分析。

1. 网络整体性和个体性特征

整体性表示网络中各节点的紧密程度,反映网络的凝聚力,具体指标见表1。各节点的个体性特征主要由节点中心性反映,中心性反映一个节点在网络中的地位,中心性越强,在网络中越接近核心位置[23],与其他产业的关联越紧密。描述中心性的指标以度数中心度为代表,其表示与一个产业直接相连的其他产业的个数,在有向网络中分为入度和出度。

表1 网络整体性与个体性特征指标描述

网络特征	指标	描述
整体性特征	网络密度	网络密度越大,表明网络中的关联关系越多,产业之间的联系越紧密
	网络关联度	反映节点间彼此联络的程度,两个产业之间联系的途径越多,产业的关联度越高
	平均最短路径	全部产业对建立联系需要经过的其他产业数最小值的平均数
	互惠性	体现出网络中产业之间交互的密切程度
个体性特征	出度中心度	一个产业对其他产业的供给关系数
	入度中心度	一个产业对其他产业的需求关系数

2. 块模型

块模型是由White等[24]提出的研究网络位置模型的方法,该模型可以将不同产业部门组成不同的板块,通过分析板块之间的传递方向研究产业之间关联网络的关联方式[25-27]。Burt[25]将板块位置分为四类,当块模型应用在经济领域时,通常将各板块扮演的角色位置分为以下四种:①主受益板块,该板块的产业部门在板块内部的关系比较多,向外部溢出的关系较少,当板块接收关系远多于该板块发出关系时,甚至极端情况下,只有接收关系而没有发出关系时,可以称为主受益板块;②净溢出板块,该板块对其他

板块产业发出关系较多，但是内部关系较少，接收其他板块发出的关系也较少；③双向溢出板块，该板块接收外来关系较少，但对板块内部和其他板块发出较多的关系；④经纪人板块，该板块内部成员之间关联较少，扮演“桥梁”的角色，既接收其他板块的发出关系，同时也对其他板块发出关系。本文通过板块划分揭示产业关联网络的内部结构和溢出路径，通过绘制弦图来描述不同板块的接收发出关系及扮演的不同角色[28]。

（三）数据来源

2011 年 3 月国务院发布了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》（简称“十二五”规划）提出要跟随科技进步新趋势，利用中国产业的比较优势，进一步发展现代产业体系，故 2011 年作为“十二五”规划的开山之年，是一个重要的时间节点。但是，投入产出表的公布并不连续，考虑到数据的可得性、全面性及统计口径的一致性，本文选取 2012 年、2015 年、2017 年、2018 年和 2020 年共 5 年的 42×42 部门投入产出表进行分析计算，时间横跨两个“五年规划”。投入产出表数据来自国家统计局，由于国家统计局在 2017 年才开始编制非竞争型投入产出表，因此本文所采用的投入产出表为竞争型。2012 年为 139 个部门，2015 年是 42 个部门，2017 年、2018 年和 2020 年为 149 个，通过国民经济行业分类将小类进行加总合并，最后整理为 42×42 的投入产出表。

四、产业关联网络的结构特征

（一）产业关联网络的整体性特征

运用 Ucinet 计算产业网络的整体性指标，计算结果见表 2。在 5 个时间段内网络整体性指标并无显著差异，说明产业网络已经趋于完善，各个产业之间的联系趋于稳定，尤其是 2017 年之后网络密度指标几乎相同。整体网络密度稳定在 0. 123，各产业间联系的紧密程度并不高，这可能与产业分工的专业性有关。网络关联性反映了网络的稳健性，产业网络的关联性指标大于 0. 75，说明该网络较为稳定，产业之间具有较好的连通性，不会因为个别产业的没落而导致整个网络的崩溃。

表 2　网络整体性特征

整体性特征指标	2012 年	2015 年	2017 年	2018 年	2020 年
网络密度	0. 122	0. 119	0. 123	0. 123	0. 123
网络关联性	0. 774	0. 796	0. 794	0. 774	0. 774
平均最短路径	2. 399	2. 496	2. 503	2. 468	2. 531
互惠度	0. 129	0. 133	0. 111	0. 111	0. 111

（二）产业关联网络的时序相关系数

基于二次指派程序（QAP），借助 Ucinet 对 2012—2020 年的产业关联网络进行基于二次指派程序（QAP）的相关性分析，并利用热力图对分析结果进行更直观地展示。如图 1 所示，产业网络的相似性都在 0. 8

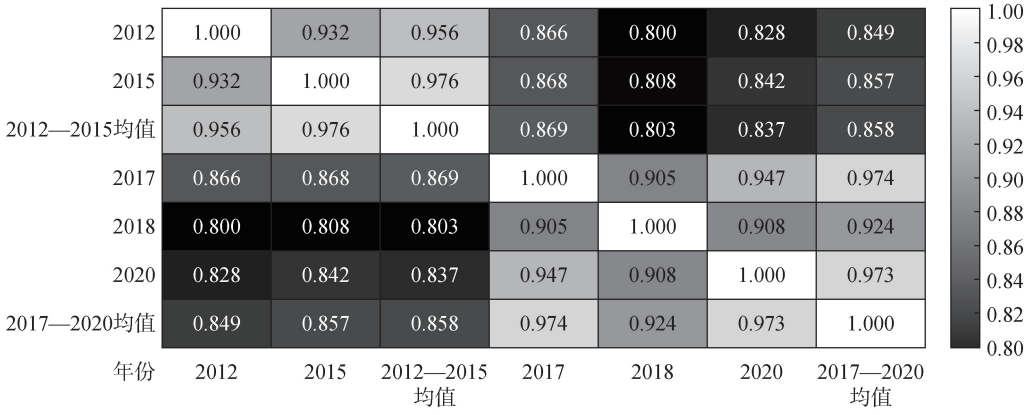


图 1　2012—2020 年产业关联网络的时序相关系数

以上，说明产业网络具有高度相似性和稳定性；同时，以 2015 年作为分界线，2015 年前后的网络相似性更高，说明产业网络结构的稳定也具有阶段性。值得注意的是，2012—2015 年均值网络与 2012 年和 2015 年网络的相关系数在 0.95 以上，2017—2020 年均值网络与 2017 年、2018 年和 2020 年网络的相关系数也在 0.92 以上，因此本文将分别采用两阶段的均值数据为代表对产业网络进行板块分析。

（三）产业关联网络的板块分析

本文分别对 2012—2020 年的产业关联网络划分板块。见表 3，2015 年之后，板块内部关联关系数开始大于板块间，说明产业关联网络逐渐依赖于板块内部的关联效应。两阶段的差异表明上文提出的分阶段分析具有合理性。因此，以 2012—2015 年均值数据和 2017—2020 年均值数据为样本重新进行板块划分，从而更好识别各产业的角色及关联模式。

为了更好判别板块角色，本文以 2017—2020 年均值数据为样本绘制弦图。如图 2 所示，与 2012—2015 年相比，该时间段所划分出的板块内部产业共性特点更为明显。板块一和板块三发出端纽带弧长较长，同时对板块内和板块外都发出较多的关系，其中板块一发出关系数 53 个，板块内部 28 个，板块三发出关系数 33 个，板块内部 14 个。因此板块一和板块三是“双向溢出板块”，板块一和板块三的成员更偏向于传统产业领域。板块二的接收端纽带弧长大于发出端，同时对其他板块的发出端纽带弧长较短，板块二发出关系数 103 个，内部关系数 70 个，接收其他板块关系数 40 个，属于“净受益板块”，该板块大部分成员属于战略性新兴产业①，“净受益板块”的特征表明当前正处于集中资源与力量推动新兴产业快速发展的阶段。板块四的接收端纽带弧长中板块内部大于板块外，内部关系数 40 个，说明内部关系比例多，发出端纽带中其他板块弧长较短，板块外发出关系数 24 个，接收关系数 30 个，受益特征明显，因此属于“主受益板块”，板块四多为第三产业。

如图 3 所示，以 2012—2015 年均值数据为样本绘制弦图，同理将其分为两个双向溢出板块、净受益板块和经纪人板块。

表 3　2012—2020 年产业网络板块划分

系数	2012 年	2015 年	2017 年	2018 年	2020 年
板块内部关联关系数	128	123	146	151	150
板块之间关联关系数	124	124	107	100	103

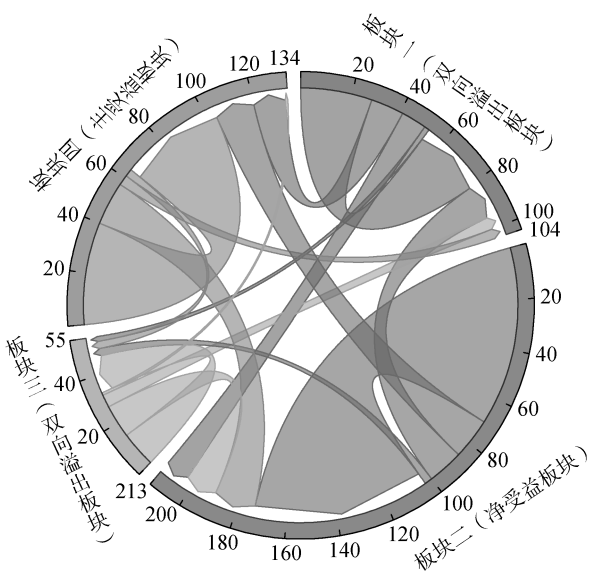


图 2　2017—2020 年产业板块关联模式

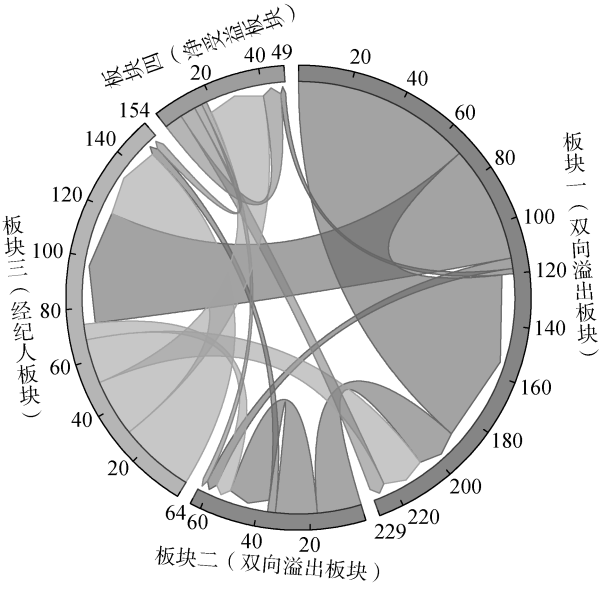


图 3　2012—2015 年产业板块关联模式

① 战略性新兴产业分类标准参照《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》。

两个时间段都没有净溢出板块，说明各产业对板块外的单向供给关系较少。2017—2020 年经纪人板块消失，而增加了主受益板块，再次表明板块内的产业关联效应更加明显。为考察各产业的板块分布变化，绘制桑基图如图 4 所示。双向溢出板块中成员基本保持不变，但是部分机械行业转向净受益板块，如金属制品、电气机械和器材、通用设备等。原因可能在于，机械行业与新兴产业紧密相关，为加快培育战略性新兴产业，该板块内的对外发出关系将更多转向对内发出关系，因此板块的“溢出”特征有所削弱，“受益”特征开始体现。信息传输、软件和信息技术服务、房地产、租赁和商务服务由经纪人板块转变为主受益板块。原因可能在于，改革开放以来，外商企业通过服务外包的方式向中国进行服务产业转移，刺激中国服务业企业从制造企业中专业化分离出来，对服务业产生正向的技术溢出，故这些产业在 2012—2015 年表现出“经纪人”特征。但是近年来跨国公司利用资金、技术等优势对国内服务业形成了供给垄断，加剧了对国内服务业企业的市场挤出效应[29]，在分工不断深化的背景下，市场挤出效应渐渐赶超技术溢出效应，从而导致产业的受益特征日益显著。



图 4　2012—2020 年板块流动

（四）产业关联网络的个体性特征

本文利用 Ucinet 计算各产业的度数中心度来反映中心性特征，以出度中心度为例②，根据二八定律，选择排名前八的产业。

② 限于文章篇幅，关于入度中心度的分析留存备索。

见表 4,各年度的产业排名整体变化不明显,批发和零售业、交通运输、仓储和邮政业及化学产品一直保持在前三位。原因可能在于,批发和零售业是社会化大生产中的重要环节,连接生产和消费;交通运输、仓储和邮政业是制造业重要的下游产业,向其他产业提供物流服务;化学产品产业属于国民经济支柱型产业,关联产业多,生产的产品种类丰富。金融业在 2017 年和 2018 年虽未进入行业排名的前三名,但仍稳居前十之列,随着 2017 年国务院金融稳定发展委员会成立,监管机构强化问责机制,“一行三会”等监管机构发布一系列严厉政策,推动金融业进入紧缩周期;租赁和商务服务业在 2015 年后排名也较为靠前,随着国家大力投资能源交通和基础设施,成套设备和专业机械的需求增加,为租赁和商务服务业发展创造良好机遇;金属制品业的产品属于工业消费品,广泛用于交通、建筑、电力等领域,下游覆盖产业丰富,因此排名稳定且靠前;通信设备、计算机和其他电子设备的出度中心度从 2015 年跻身前八行列,此后排名一直稳步前进,这可能得益于“十三五”时期数字红利的充分释放和相关产业的蓬勃发展,作为数字经济的核心产业之一,该产业为产业数字化提供了产品和工具,从而与越来越多的行业建立起紧密联系。

如图 5 和图 6 所示,进一步以 2012—2015 年均值和 2017—2020 年均值为样本数据绘制产业的关联关系图,节点大小表示度中心度,连线数与方向可以反映各产业的关联强度与关联方向。图 6 与图 5 相比,产业网络中处于关联核心的产业变动不是很大,结合两个阶段的关联关系图,可以看出各个产业在网络中所处的地位和扮演的角色,有助于衔接各产业的需求和供给,有效实现产业协同发展,从而获取更多利益[30]。

表 4　产业出度中心度排名

2012 年	2015 年	2017 年	2018 年	2020 年
批发和零售	批发和零售	批发和零售	批发和零售	批发和零售
交通运输、仓储和邮政	交通运输、仓储和邮政	交通运输、仓储和邮政	交通运输、仓储和邮政	交通运输、仓储和邮政
化学产品	化学产品	化学产品	化学产品	化学产品
金融	金融	租赁和商务服务	租赁和商务服务	租赁和商务服务
金属制品	租赁和商务服务	金属制品	金属制品	通信设备、计算机和其他电子设备
电气机械和器材	金属制品	电气机械和器材	电气机械和器材	金融
通信设备、计算机和其他电子设备	电气机械和器材	通信设备、计算机和其他电子设备	通信设备、计算机和其他电子设备	金属制品
造纸印刷和文教体育用品	通信设备、计算机和其他电子设备	金属冶炼和压延加工品	造纸印刷和文教体育用品	电气机械和器材

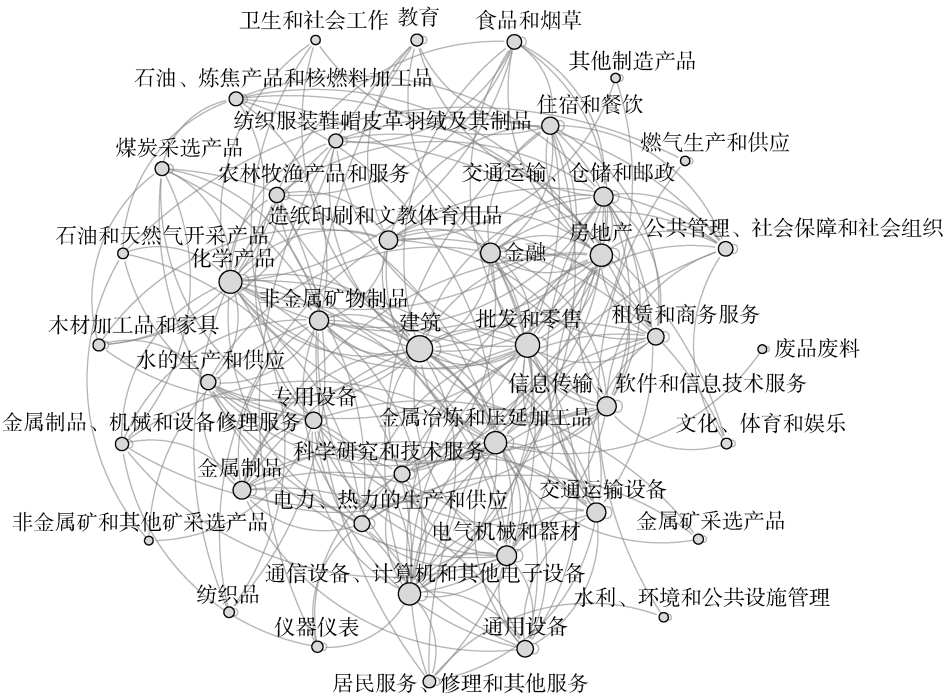


图 5　2012—2015 年均产业关联关系

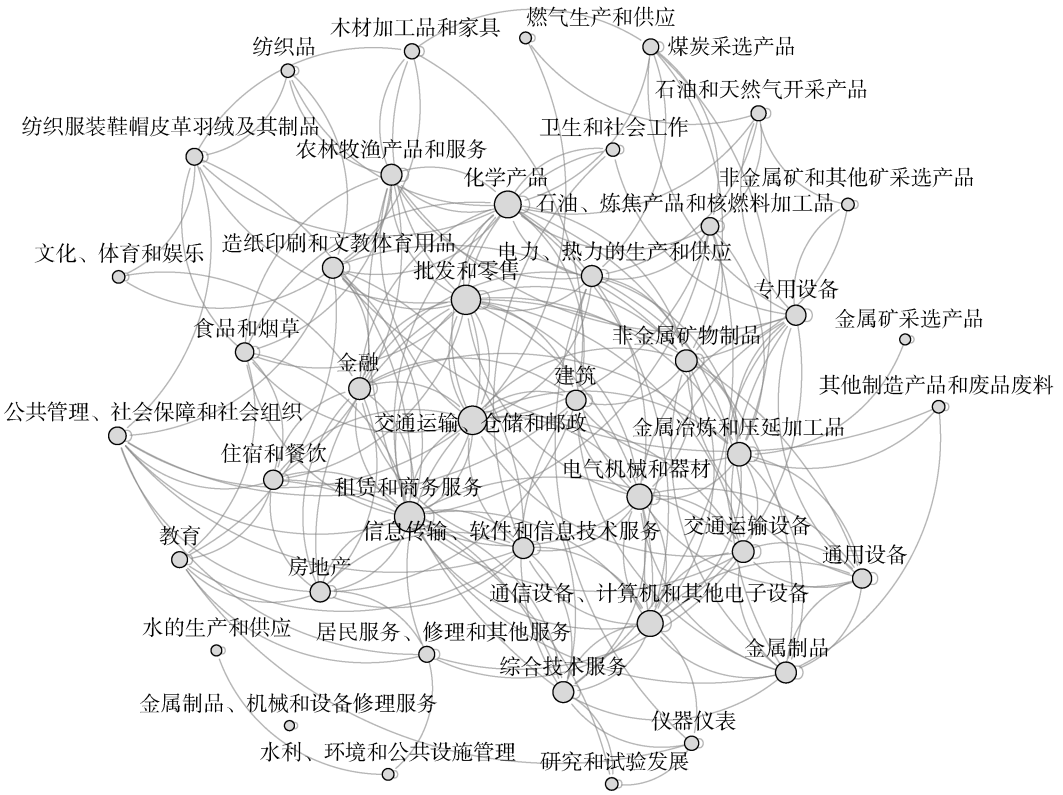


图 6　2017—2020 年均产业关联关系

产业关联活动主要集中在金属制品，化学产品，通信设备、计算机和其他电子设备，电气机械和器材，金属冶炼和压延等制造业，以及交通运输、仓储和邮政，批发和零售，信息传输、软件和信息技术服务，租赁和商务服务等服务业，农林牧渔产品和服务及建筑业。信息传输、软件和信息技术服务，交通运输、仓储和邮政，金融等生产性服务业与制造业的连线数增加，说明两大部门之间的联系不断增强。随着信息社会的到来，制造业中服务投入占中间投入品的比重越来越大，制造业服务化的趋势日益明显[31-33]。

（五）产业关联网络动态演化特征

各产业之间连接关系的演化可以分为四种，分别是 0-1 型，表示关系由无到有；1-0 型，表示关系由有到无；0-0 型和 1-1 型则表示关系的维持，具体产业链关系演化情况见表 5。

整体来看，42 个产业部门的关系较为稳定，变动概率较低。在产业网络关系变动中，0-1 型占比较低，说明产业结构中新型显著关系的建立较为困难，而 1-0 型相对较高，说明产业网络中存在关系断裂的风险。分时间段来看，2015—2017 年网络关系发生了较为剧烈的变动，而其他时间段关系的变动概率较低。2015—2017 年无论是新型关系的建立还是原来关系的破裂都较多，其背后有两层关键原因：一方面，2015 年第三产业占比首次超过 50%③，中国经济发展进入由第三产业拉动的时代，产业结构加速优化，促进产业关系重塑；另一方面，2015 年是“十二五”规划的收官之年，政府对符合结构调整和转型升级方向的重点产业加大支持力度，进一步催化了产业关系的变迁。

表 5　产业链关系演化情况

网络名称	阶段	0-0 型	0-1 型	0-1 型占比（%）	1-0 型	1-1 型	1-0 型占比（%）	变动总数	变动概率（%）
42 部门产业网络	2012—2015 年	1275	10	0.78	13	184	6.60	23	1.55
	2015—2017 年	1263	25	1.94	20	174	10.31	45	3.04
	2017—2018 年	1277	6	0.47	26	173	13.07	32	2.16
	2018—2020 年	1282	21	1.61	9	170	5.03	30	2.02

③ 数据来自国家统计局。

五、产业关联网络关系演化的驱动机制

(一)产业关联网络关系演化的影响因素分析

本文对影响产业关联网络关系演化的驱动因素提出假设并进行实证分析。根据网络动态演化理论,影响网络动态演化的因素包括内生结构因素和外生属性因素[34-35]。如表 6 所示,本文选择出度效应、互惠效应和传递效应三个重要内生结构因素[36]。其中 i、j、h 分别为第 i 产业、第 j 产业和第 h 产业;Out 为出度效应;X_{ij} 为第 i 产业对第 j 产业的发出关系;Rec 为互惠效应;X_{ji} 为第 j 产业对第 i 产业的发出关系;Tra_1 为传递三元组效应;X_{ih} 为第 i 产业对第 h 产业的发出关系;X_{jh} 为第 j 产业对第 h 产业的发出关系;Tra_2 为传递纽带效应;X_{hj} 为第 h 产业对第 j 产业的发出关系;Tra_3 为三循环效应;X_{hi} 为第 h 产业对第 i 产业的发出关系;V_{alter} 为 $alter$ 效应;v 为外生属性变量;x_{i+} 为第 i 产业对其他产业发出关系;$\hat{sim}^{v}$ 为所有产业 V 值相似性得分的平均值,其中 $sim_{ij}^{v}=(\Delta-|V_i-V_j|)/\Delta$,$\Delta=\max_{ij}|V_i-V_j|$。

如表 6 所示,本文选取 4 大要素变量作为影响产业关联的外生因素,对于选取的属性变量 V,研究其 $alter$ 效应、ego 效应和 sim 效应[37]。一是资本,产业会通过资本、劳动力成本等要素传播,经过不断循环累积,形成产业关联、经济关联的前后双向联系[38]。二是劳动力,中国丰富的劳动力资源促进了制造业发展,制造业可以通过较强的网络关联机制来带动相关产业发展[39],并且人力资本流动能够间接促进规模效应的发挥[40]。三是技术,制造业的产业关联存在明显的分层特征,具有技术密集型特征的产业关联度大多高于 25%[21]。四是对外开放程度,产业对外开放是中国改革开放的重要部分,在开放合作中更容易提高中国产业的创新力和竞争力。

表 6　中国产业关联网络演化机制的影响变量说明

变量	公式	描述
出度效应	$Out=\sum_j X_{ij}$	反映产业间已经存在的关联关系数量对产业关联网络演化的影响
互惠效应	$Rec=\sum_j X_{ij}X_{ji}$	互惠效应显著为正,表明两个产业间单向关系有较大可能演化为双向关系
传递三元组	$Tra_1=\sum_{j,h} X_{ih}X_{ij}X_{jh}$	第 i 产业与第 h 产业之间的关联也可以通过第 j 产业产生
传递纽带效应	$Tra_2=\sum_h X_{hj}\max_j(X_{ij}X_{jh})$	直接和间接纽带效应,包括与第 i 产业直接或者间接联系的其他产业
三循环	$Tra_3=\sum_{j,h} X_{ij}X_{jh}X_{hi}$	三个产业之间形成分工闭环
$alter$ 效应	$V_{alter}=\sum_j x_{ij}v_j$	表示为接受者效应,测度 V 值越高的产业是否更愿意接受其他产业的产出
ego 效应	$V_{ego}=v_i x_{i+}$	表示为发送者效应,测度 V 值越高的产业是否更愿意向其他产业提供产品
sim 效应	$V_{sim}=\sum_j X_{ij}(sim_{ij}^{v}-\hat{sim}^{v})$	表示为相似者效应,测度 V 值越相似的产业间是否更愿意产生关联

(二)产业网络驱动机制模型构建

1. 变量选取与数据处理

2012—2020 年的产业关联网络即为处理过的 0-1 网络④。内生结构因素变量从网络直接计算得到。本文选择资本、技术、劳动力及对外开放程度作为产业网络关联演化的外生属性因素,分别由各产业实际到位资金比上年增长值、R&D 经费内部支出、城镇单位就业人员年末人数、外商投资企业数作为各因素的代表。

其中,各产业实际到位资金比上年增长值来自于《中国统计年鉴》,R&D 经费内部支出来自于全国科技经费投入统计公报、《中国科技统计年鉴》及全国企业统计调查年鉴,城镇单位就业人员年末人数来自《中国

④ 2012—2015 年产业投入产出表中产业分类将其他制造产品和废品废料分为两个类别,科学研究和技术服务为一个类别;2017—2020 年则是将其他制造产品和废品废料合并为一类;科学研究和技术服务分为研究和试验发展及综合技术服务。考虑到分类的不同,在该部分实证分析中将 42 类产业删减为 39 类。

劳动统计年鉴》，外商投资企业数来源于国家市场监督管理总局和中国工业统计年鉴。根据模型要求，用SPSS 软件中的可视分箱将所有数据离散化到 0~9。

2. 模型拟合检验

锡耶纳（SIENA）是借助随机行动者导向模型（SAOM）建立的动态网络演化方法[41]，运用 R 语言中的RSiena（Siena in R）实证网络仿真工具包对模型进行估计。如表 7 所示，网络模型整体最大收敛比率为 0.1308，小于 0.25 的收敛判别标准，各个估计参数的 t 比率的绝对值都小于 0.07，因此该模型具有较好的收敛性，参数估计结果有效。从图 7 中可以看出 P 值达到了 0.681，说明模型拟合较好，图中曲线较好地处于估计区间内。

3. 驱动因素的作用机制分析

表 7 反映了产业关联网络演化机制的 SAOM 模型估计结果，具体分析如下。

出度效应在 1‰的显著水平上为负，说明在投入产出有限的情况下，当一个产业的关联关系增加时，收益小于成本，产业发展会抑制周边关联产业的发展。互惠效应并不显著，可能产业之间更多的是单向联系，难以发展成双向关系。

传递三元组效应在 1‰的显著水平上为正，说明产业不断细化，分工不断深化。推进产业结构优化的关键就在于形成拥有内生分工演化能力的市场化的网络关联[30]。显著为正的传递三元组效应表明当前的产业网络具备内生分工演进能力，可以通过扩大市场规模支持分工进一步深化，从而达到越来越高的生产报酬递增效果。三循环效应在 5%的水平上显著为负，说明产业关联网络中存在三元组形式的闭环，但遵循等级顺序，有明显的上下游关系，显著为正的传递三元组效应和显著为负的三循环效应共同表明产业网络有较强的分层倾向。传递纽带效应在模型中不显著，可能因为产业之间产生关联存在约束条件，也有可能因为中介产业越多越会促进两个端点产业连接的趋势，与传递纽带效应假定恰好相反。

劳动力 *alter* 效应在 1%的显著水平上为正，*sim* 效应在 10%的水平上显著为正，*ego* 效应并不显著。说明劳动密集型产业接受其他产业的产品较多，但不倾向于和其他产业建立发出关系，劳动密集型产业从需求侧直接联系消费者。相似者效应显著则表明人力资源相似的产业更容易产生关联关系。

资本的三个效应都不显著，说明产业之间的关联不会受到产业资本规模的影响，可能原因是资本密集型产业受政府发展战略和产业政策的影响较大，驱动中国产业发展的重要动力之一是投资需求，但是这种投资驱动带有明显的行政干预色彩，如在 GDP 考核之下地方政府可能会干预投资偏向在短期内能刺激 GDP 增长的制造业[29]。资本的趋利性也导致资本流向收益率高的产业，高收益产业成为投资热门，不可自由流动的资本要素不能对产业网络演化产生显著影响。

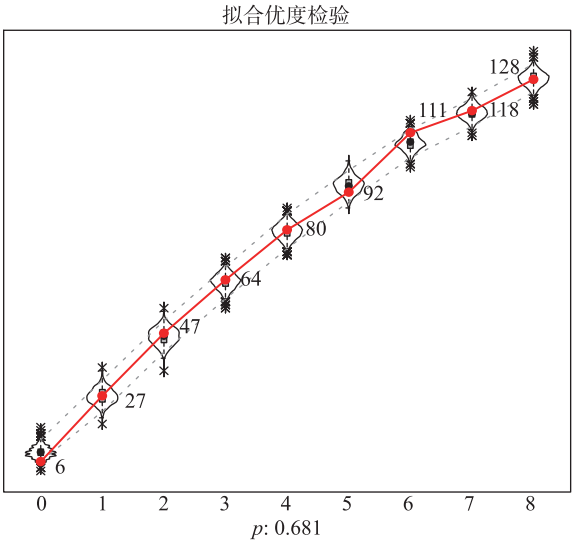


图 7　模型拟合优度

表 7　模型估计结果

估计参数	par.	(s. e.)
出度效应	−1.692***	(0.183)
互惠效应	−0.362	(0.309)
传递三元组	0.248***	(0.065)
三循环	−0.211*	(0.097)
传递纽带效应	0.002	(0.248)
劳动力 *alter* 效应	0.130**	(0.044)
劳动力 *ego* 效应	−0.072	(0.060)
劳动力 *sim* 效应	0.853+	(0.479)
资本 *alter* 效应	0.033	(0.040)
资本 *ego* 效应	0.042	(0.042)
资本 *sim* 效应	−0.119	(0.410)
技术 *alter* 效应	−0.002	(0.034)
技术 *ego* 效应	0.031	(0.041)
技术 *sim* 效应	0.671+	(0.367)
开放 *alter* 效应	0.018	(0.040)
开放 *ego* 效应	0.127*	(0.050)
开放 *sim* 效应	0.467	(0.410)

注：***、**、*、+分别表示在 1‰、1%、5%、10%的水平上通过显著性检验。

技术的 *sim* 效应在 10%的显著性水平上为正,说明技术水平相当的产业之间更容易产生联系。但是技术的 *alter* 和 *ego* 效应并不显著,说明产业之间的关联在技术水平上等级性较强。

对外开放的 *ego* 效应在 5%的水平上显著为正,说明对外开放程度越高,产业更多向外输出产品,对外开放可以帮助该产业提升产品竞争力。但是对外开放的 *alter* 和 *sim* 效应并不显著,一个产业的对外开放程度与建立上游关联无显著关系,同时两个产业的对外开放相似性对建立联系也毫无影响。

(四)产业网络演化中各驱动因素的相对重要性

通过计算各驱动因素的相对重要性进一步分析其在产业关联网络关系演化中的作用大小,各因素的相对重要性在不同年份没有发生明显变化。如图 8 所示,内生结构因素在 5 个时期的平均值为 53.11%,外生属性因素为 46.89%,因此在网络关系演化中两种因素同等重要,共同发挥作用。

在内生结构因素中,相对重要性排在首位的是出度效应,其占比达到了 33.31%,排名第二的为传递三元组效应,占比为 11.39%。三循环效应排名第五,相对重要性为 6.13%。传递纽带效应在所有因素中占比最小,仅为 0.05%,互惠效应排名第十二,为 2.22%,两者并不显著。

在外生属性因素中,劳动力的 *alter*、*ego* 和 *sim* 效应占比分别为 10.08%、4.59% 和 5.86%,占比总计达到 20.52%,排在前列,说明劳动力对于产业网络演化至关重要,尤其是劳动力的接受者效应。对外开放的三种效应总计占比 12.92%,在外生属性因素中排名第二,尤其是 *ego* 效应,占比为 8.32%,表明对外开放在畅通产业循环上具有关键作用。技术总计占比为 7.17%,其中技术 *sim* 效应占比为 4.93%,在所有因素的相对重要性中排在第七位,对网络关系演化影响较大。资本占比总计为 6.27%,其中三个效应的相对重要性排名均较为靠后,前文已经表明资本在行政干预下呈现出“非理性”的特征,不能在产业间自由流动,从而使得资本这一因素相对于其他因素没有表现出显著的重要性,但是这并不意味着资本毫不重要,资本可以促进产业自身发展。

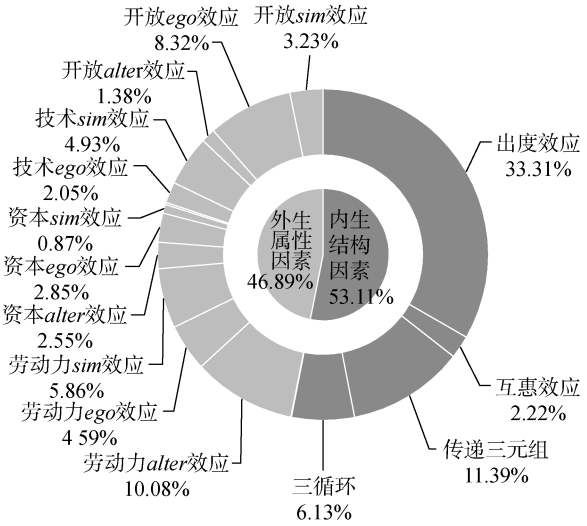


图 8　各驱动因素在网络演化中的相对重要性

(五)稳健性检验

本文采用替代关键变量的方法进行稳健性检验[42-44],采用固定资产投资(不含农户)代替各产业实际到位资金比上年增长值来反映资本,数据来源于《中国统计年鉴》。用出口总额代替外商投资企业数来表示对外开放程度,出口总额来自投入产出表,结果如表 8 所示。第一个模型网络模型整体最大收敛比率为 0.18,第二个网络模型整体最大收敛比率为 0.16,小于 0.25 的收敛判别标准,模型估计结果有效。各变量的估计结果以及显著性与前文无明显差异,说明本文的模型估计结果具有稳健性。

表 8　产业关联网络演化的模型稳健性检验

不同替换变量	替换资本变量		替换开放变量	
估计参数	par.	(s.e.)	par.	(s.e.)
出度效应	−1.694***	(0.191)	−1.742***	(0.192)
互惠效应	−0.361	(0.310)	−0.353	(0.306)
传递三元组	0.277***	(0.066)	0.267***	(0.069)
三循环	−0.211*	(0.095)	−0.181+	(0.093)
传递纽带效应	−0.002	(0.253)	0.012	(0.252)
劳动力 *alter* 效应	0.131**	(0.043)	0.143**	(0.045)
劳动力 *ego* 效应	−0.076	(0.059)	−0.039	(0.052)
劳动力 *sim* 效应	0.859+	(0.450)	0.952*	(0.477)
资本 *alter* 效应	0.031	(0.041)	0.034	(0.039)
资本 *ego* 效应	0.052	(0.043)	0.044	(0.042)

续表

不同替换变量	替换资本变量		替换开放变量	
资本 *sim* 效应	-0.178	(0.407)	-0.157	(0.389)
技术 *alter* 效应	-0.001	(0.034)	0.005	(0.037)
技术 *ego* 效应	0.032	(0.042)	-0.046	(0.046)
技术 *sim* 效应	0.666^{+}	(0.368)	0.573^{+}	(0.321)
开放 *alter* 效应	-0.017	(0.041)	-0.040	(0.045)
开放 *ego* 效应	0.126*	(0.049)	0.123*	(0.053)
开放 *sim* 效应	0.463	(0.401)	0.042	(0.450)

注：***、**、*、$^{+}$分别表示在1‰、1%、5%、10%的水平上通过显著性检验。

六、结论与政策建议

(一)主要结论

基于2012年、2015年、2017年、2018年和2020年五年的投入产出表数据，本文通过社会网络分析方法，对中国产业关联网络的结构特征与演化机制进行了系统分析，得出如下结论：①42个产业网络的整体性指标并无显著性差异，网络关联指标大于0.75，网络整体趋于稳定。②无论从出度中心度还是入度中心度看，交通运输、仓储和邮政和化学产品都处于中心地位；第二产业，尤其是制造业在网络中处于核心地位。③2012—2015年中国产业关联网络可以分为4个板块(双向溢出板块Ⅰ、Ⅱ，经纪人板块，净受益板块)，2017—2020年经纪人板块消失，出现了主受益板块，板块内的产业关联效应更加明显。④产业关联活动主要集中在化学产品，金属制品，通信设备、计算机和其他电子设备，金属冶炼和压延，电器机械和器材等制造业，以及批发和零售，信息传输、软件和信息技术服务，交通运输、仓储和邮政等服务业。⑤内生结构因素的相对重要性为53.11%，其在网络关系演化中发挥重要作用；负的出度效应表明关联关系较多的产业难以发展新关系，传递效应表明产业不断细化的趋势；外生属性因素对中国产业关联网络演化的相对重要性为46.89%，其中劳动力的影响最为显著。

(二)政策建议

基于上文的结论，本文提出如下的政策建议。

第一，以规划为行动纲领，贯彻新发展理念，坚持深化供给侧结构性改革。推动产业间的分工合作，消除产业壁垒，各地区应结合本地的资源禀赋，充分发挥在网络中处于核心地位的产业的优势，拉动其他产业发展，同时创新发展新型产业关系，注重产业链的融合发展，如促进制造业与服务业的融合，传统产业与互联网的融合等。

第二，以板块分析为基础，借助板块内更容易发生关联关系的优势，合理进行产业布局。“双向溢出板块”应重点关注，既要发挥其拉动相关产业发展的溢出作用，又要加快自身发展，防止成为经济发展的瓶颈；“经纪人板块”的消失将带来消极影响，应激励更多“经纪人”产业的形成来助力产业部门协同发展效应的发挥，对于延长产业链也有积极作用；“净受益板块”应在夯实产业基础的前提下快速发展，避免出现产业内短板，同时增强溢出效应，对相关产业产生辐射作用，助力传统产业升级转型。

第三，以推动经济高质量发展为目的，结合各产业特点，充分挖掘产业潜力。第一产业是国民经济的基础，为了强化第一产业的溢出效应，应深化农业供给侧结构性改革，强化质量导向，完善农林牧渔业科技创新体系，建设智慧产业。充分发挥第二产业，尤其是制造业的中心地位作用，发展服务型制造新模式，推动石化、钢铁、有色等原材料产业结构调整，扩大轻工业优质产品供给，对于钢铁、煤炭、化工、采矿等重污染产业要以资源环境刚性约束推动产业结构持续优化。党的十八大以来中国的现代服务业加速崛起，但是第三产业的“受益特征”仍较为明显，因此要积极推进“互联网+”，培育壮大服务业新动能，促进现代服务业与先进制造业、现代农业的深度融合，深化业务关联、链条延伸、技术渗透，发展巩固交通运输、仓储和邮政，信息传输、软件和信息技术服务，金融等产业的网络联系主体地位，深入扩展服务业对外开放。

第四，以优化要素投入为手段，诱导网络内部助推力，多渠道增添网络外生动力。强化产业关联的出度效应和传递效应，依托现有的关联关系，积极扩展新的产业链伙伴；推动产品市场和要素市场的发育，注重

人力、技术等要素对产业投出的积极作用。人力资本与技术是产业关联网络形成和发展的重要渠道机制，应提高劳动力素质，培养更多创新型、应用型、技能型人才，发挥服务业吸纳劳动力的优势，加强各产业的研发投入经费。对于严重受制于人的产业环节，要集中优质资源合力攻克难关，增强产业自主创新能力，减少甚至消除产业间的技术断层。

参考文献

[1] 张虎，张毅，韩爱华. 我国产业链现代化的测度研究[J]. 统计研究，2022，39(11)：3-18.

[2] 刘志彪. 产业链现代化的产业经济学分析[J]. 经济学家，2019(12)：5-13.

[3] 郑休休，刘青，赵忠秀. 产业关联、区域边界与国内国际双循环相互促进——基于联立方程组模型的实证研究[J]. 管理世界，2022，38(11)：56-70，45，71-80.

[4] 黄群慧，贺俊. 中国制造业的核心能力、功能定位与发展战略——兼评《中国制造2025》[J]. 中国工业经济，2015(6)：5-17.

[5] 张丹宁，唐晓华. 产业网络组织及其分类研究[J]. 中国工业经济，2008(2)：57-65.

[6] 黄守坤，李文彬. 产业网络及其演变模式分析[J]. 中国工业经济，2005(4)：53-60.

[7] 黄祖南，郑正喜. 复杂产业网络度中心性研究[J]. 统计研究，2021，38(5)：147-160.

[8] 赵晓军，王开元. 中国产业网络变迁规律研究[J]. 统计与决策，2021，37(20)：90-95.

[9] 王涛，肖世莺. 投入产出网络视角下中美产业内循环比较研究[J]. 统计研究，2022，39(11)：32-43.

[10] 王岳平，葛岳静. 我国产业结构的投入产出关联特征分析[J]. 管理世界，2007，23(2)：61-68.

[11] 余典范，干春晖，郑若谷. 中国产业结构的关联特征分析——基于投入产出结构分解技术的实证研究[J]. 中国工业经济，2011(11)：5-15.

[12] 刘佳，朱桂龙. 基于投入产出表的我国产业关联与产业结构演化分析[J]. 统计与决策，2012(2)：136-139.

[13] 陈曦，席强敏，李国平. 制造业内部产业关联与空间分布关系的实证研究[J]. 地理研究，2015，34(10)：1943-1956.

[14] 余典范，张亚军. 制造驱动还是服务驱动？——基于中国产业关联效应的实证研究[J]. 财经研究，2015，41(6)：19-31.

[15] 江小涓，李辉. 服务业与中国经济：相关性和加快增长的潜力[J]. 经济研究，2004(1)：4-15.

[16] 吴利学，方萱. 中国数字经济的投入产出与产业关联分析[J]. 技术经济，2022，41(12)：91-98.

[17] 关冠军. 我国经济内循环的产业关联关系研究：基于四期投入产出表的数据[J]. 统计与决策，2023，39(8)：86-90.

[18] 孙正，岳文浩，霍富迎. 我国生产性服务业与制造业协同集聚程度测算研究——基于产业与城市群的视角[J]. 统计研究，2022，39(3)：21-33.

[19] 陈国亮，陈建军. 产业关联、空间地理与二三产业共同集聚——来自中国212个城市的经验考察[J]. 管理世界，2012，28(4)：82-100.

[20] 凌永辉，张月友，沈凯玲. 中国的产业互动发展被低估了吗?[J]. 数量经济技术经济研究，2018，35(1)：23-41.

[21] 储德银，李媛，张同斌. 产业关联视角下增值税行业税负差异的成因研究[J]. 经济研究，2023，58(7)：174-190.

[22] CARRINGTON P J，SCOTT J，WASSERMAN S. Models and methods in social network analysis[M]. Cambridge：Cambridge University Press，2005.

[23] FREEMAN L C. Centrality in social networks：Conceptual clarification[J]. Social Network，1979，1(3)：215-239.

[24] WHITE H C，BOORMAN S A，BREIGER R L. Social structure from multiple networks. I. blockmodels of roles and positions[J]. American Journal of Sociology，1976，81(4)：730-780.

[25] BURT R S. Positions in networks[J]. Social Forces，1976，55(1)：93.

[26] BLOCK P. Reciprocity，transitivity，and the mysterious three-cycle[J]. Social Networks，2015，40：163-173.

[27] 李敬，陈澍，万广华，等. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法[J]. 经济研究，2014，49(11)：4-16.

[28] 邵帅，徐俐俐，杨莉莉. 千里“碳缘”一线牵：中国区域碳排放空间关联网络的结构特征与形成机制[J]. 系统工程理论与实践，2023，43(4)：958-983.

[29] 凌永辉，刘志彪. 中国服务业发展的轨迹、逻辑与战略转变——改革开放40年来的经验分析[J]. 经济学家，2018(7)：45-54.

[30] 刘明宇，芮明杰. 价值网络重构、分工演进与产业结构优化[J]. 中国工业经济，2012(5)：148-160.

[31] 吕政，刘勇，王钦. 中国生产性服务业发展的战略选择——基于产业互动的研究视角[J]. 中国工业经济，2006(8)：5-12.

[32] 江曼琦，席强敏. 生产性服务业与制造业的产业关联与协同集聚[J]. 南开学报(哲学社会科学版)，2014(1)：153-160.

[33] 江静，刘志彪，于明超. 生产者服务业发展与制造业效率提升：基于地区和行业面板数据的经验分析[J]. 世界经济，2007(8)：52-62.

[34] SNIJDERS T A B. Stochastic actor-oriented models for network change[J]. Journal of Mathematical Sociology，1996，21(1/2)：149-172.

[35] 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.

[36] SNIJDERS T A B. Stochastic actor-oriented models for network dynamics[J]. Annual Review of Statistics and Its Application，2017，4：343-363.

[37] 李敬，刘洋. 中国国民经济循环：结构与区域网络关系透视[J]. 经济研究，2022(2)：27-42.

[38] 张虎，韩爱华，杨青龙. 中国制造业与生产性服务业协同集聚的空间效应分析[J]. 数量经济技术经济研究，2017，34(2)：3-20.

[39] 李福柱，曹友斌，李昆泽. 中国制造业出口技术复杂度的区域差异及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究，2022，39(4)：107-126.
[40] 李健，高鹏程，谢衡. 产业协同集聚、人力资本流动与高技术产业创新[J]. 统计与决策，2023，39(2)：179-184.
[41] SNIJDERS T A B，BUNT G G V D，STEGLICH C E G. Introduction to stochastic actor-based models for network dynamics[J]. Social Networks，2010，32(1)：44-60.
[42] 顾夏铭，陈勇民，潘士远. 经济政策不确定性与创新——基于我国上市公司的实证分析[J]. 经济研究，2018，53(2)：109-123.
[43] 孙传旺，罗源，姚昕. 交通基础设施与城市空气污染——来自中国的经验证据[J]. 经济研究，2019，54(8)：136-151.
[44] 刘啟仁，陈恬. 出口行为如何影响企业环境绩效[J]. 中国工业经济，2020(1)：99-117.

Structural Characteristics and Evolutionary Mechanism of Industrial Linkage Network in China

Lü Chengchao[1], Guo Mengyao[1], Yin Weiyuan[1], Wang Chuting[2]
(1. School of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266000, China;
2. School of Finance and Trade, Liaoning Universitiy, Shenyang 110036, China)

Abstract: The social network analysis method was adopted to dynamically describe the structural characteristics of industrial linkage networks using input-output table data of 42 industrial sectors in China from 2012 to 2020, and to establish a network dynamics model based on stochastic actors to identify and analyze the evolution mechanism of industrial linkage networks. The results show that there is no significant difference in the holistic indicators of the 42 industrial networks, and the networks as a whole tend to be stable. Chemical products as well as transportation, warehousing and postal services have been at the center, and the secondary industry, especially the manufacturing industry, is at the core of the network. From 2012 to 2015, China's industrial linkage network could be divided into four segments (bidirectional spillover segments I and II, broker segment, and net beneficiary segment), and in the period of 2017-2020, the broker segment disappeared, and the net beneficiary segment disappeared. In 2020, the broker segment disappeared and the main beneficiary segment appeared, and the industrial linkage effect within the segment became more obvious. Industry-linked activities are concentrated in the manufacturing industries of metal products, chemical products, communication equipment, computer and other electronic equipment, and electrical machinery and equipment, and the service industries of wholesale and retail, transportation, storage and postal services, and information transmission, software and information technology services. The relative importance of endogenous structural factors is 53.11%, which plays an important role in the evolution of network relationships, the negative out-degree effect indicates that industries with more interconnected relationships are difficult to develop new relationships, and the transmission effect indicates that there is a trend of continuous refinement of the industry, and the relative importance of exogenous attribute factors is 46.89%, of which the influence of labor is the most significant, accounting for 20.52%.

Keywords: industrial networks; social network analysis; input-output; stochastic actor oriented models(SAOM)