

动态视角下集成电路产业创新网络演化特征分析

刘晓燕 李金鹏 单晓红 杨娟 魏云凤

【摘要】进行产业创新网络演化特征分析有助于把握产业内部创新合作变化规律及趋势,对复杂市场变化和行业激烈竞争做出响应,为产业组织治理提供依据,提升产业创新绩效,引导产业优化。本文通过构建创新网络演化模型,运用动态网络和社会网络的分析方法对集成电路产业的创新网络演化特征进行实证分析。结果表明,在结构特征演化中,集成电路创新网络结构呈现由松散型向核型结构演化的趋势;在主体及合作关系演化中,中国企业逐渐占据网络主体地位,高校和科研院所占比较低,合作趋于同类型主体间合作,合作关系更加密切;在网络稳定性演化中,网络变化速率经过前期的波动变化后逐渐降低,集成电路产业的创新网络稳定性逐步提升,并有效促进了创新绩效产出。

【关键词】网络演化;动态视角;集成电路产业;SIENA

【作者简介】刘晓燕(1974-),女,河北唐山人,北京工业大学经济与管理学院副教授,博士,研究方向为组织理论与战略管理;李金鹏(通讯作者),单晓红,杨娟,魏云凤,北京工业大学经济与管理学院(北京 100124)。

【原文出处】《中国科技论坛》(京),2019.11.48~55

【基金项目】国家社科重点项目“新兴科技环境下提升我国创新政策供给能力研究”(17AGL009)。

0 引言

当前,中国正处于经济发展的转型期,传统的资源配置方式已经不能满足企业日渐增长的发展需求^[1]。在大环境压力下,创新成为企业获取竞争优势的重要途径,创新网络成为创新的重要组织形态。这种组织形态可以有效缓解单个企业在创新活动中技术知识等资源的不足,降低由技术和市场的不确定带来的研发风险,有效促进组织的知识绩效和经济绩效^[2-3]。然而与战略联盟相比,创新网络的松散程度更高,网络演化不明确、不稳定的问题突出^[4],网络演化的不确定性和不稳定性成为创新网络的一大困扰,严重削弱了网络的创新输出,致使创新合作关系提前解体,导致创新网络的失败。在此背景下,从动态视角进行创新网络的演化分析,有助于掌握创

新网络演化的规律及趋势,为网络组织的进一步协调及治理提供依据。

集成电路产业是最能反映知识经济特征的高新技术产业。集成电路的不断完善,促进了计算机等产品的升级换代,也促进了整个信息产业的蓬勃发展。2014年,国家颁布《集成电路产业发展纲要》,加大产业投资,加快产业建设总体部署。2015年5月印发的《中国制造2025》,将集成电路置于发展新一代信息技术产业的前沿。在技术发展和国家政策支持的环境下,2016年中国集成电路产业销售额为4335.5亿元,比上年增长20.1%。中国集成电路产业发展迅速,取得了令人瞩目的成就。但据海关统计,2016年中国集成电路进口额为2270.7亿美元,而出口额为613.8亿美元,集成电路产业仍面临着自主创

新能力不足的困境。从总体上来看,中国集成电路行业关键技术自给率低,核心技术掌握量少,产业链多集中于下游的封装测试阶段。其中最主要的原因是企业创新能力不足,行业创新绩效低下。对集成电路产业的创新网络演化进行分析,有助于把握集成电路产业的创新网络的演化形态及特征,为政府制定集成电路产业创新政策、优化产业结构提供支撑,为引导该产业的创新网络未来发展提供支持。

1 文献综述

网络演化最早出现在复杂网络的研究中,它描述了网络拓扑结构、资源流量、信息扩散等系统状态(整体形态和行为方式)沿时间轨迹的变化^[5]。网络演化在创新网络中体现为节点的进退及节点间关系的变化。

目前,学者们对创新网络演化的研究主要分为关系、结构和动力三个视角。在关系视角下,主要研究了网络中合作关系的变化和对网络演化的影响。以 Granovetter 为代表的学者强调组织间的凝聚力,认为组织间的强联系可以促进合作,促进组织获得异质性知识^[6]。部分社会学家从节点属性出发,认为个体倾向于选择熟悉或具有相似性^[7]的主体进行合作,常见的友谊网络研究中指出相同性别的个体之间更有可能建立友谊关系^[8];经济地理学家从地理邻近、认知邻近、组织邻近等多种邻近关系出发^[9],认为当企业之间位于同一地理区域、具有相似的规范和价值观、具有相似的知识库时,这些邻近性在一定程度上降低了协作成本或风险,他们之间更有可能建立合作关系。此外,这种关系是可传递的^[10],两个没有合作关系的公司可以通过“第三方”建立联系^[11],它们都与第三方有合作关系,从而形成一个封闭的三角形,实现更稳定的资源交换。Granovetter 认为,关系传播中的“中间人”可以在跨越社会边界获取资源和信息的过程中起到促进新关系联结的桥梁作用,从而形成企业的关系嵌入^[12]。结构视角下,主要分析了合作创新网络整体的结构特征变化。Zheng 等^[13]利用网络密度和节点度数中心度指标,描绘了纳米技术研发国家间合作网络的变化; Milojev^[14]、Zhang 等^[15]从优先连接角度分析网络演化的内部驱

动机,研究表明,度数中心度高的节点对新进入节点更有吸引力;刘凤朝等^[16]从网络结构特征出发,使用度数中心度、中间中心度和接近中心度三个指标分析不同节点在网络中的位置和功能特征,发现节点所处的网络位置对其创新绩效有显著影响,且随着网络的演变这一影响更加明显。动力视角下,主要研究创新网络为什么演化?如何演化?刘国巍等^[5]从网络的时空特征出发,引入最优分割理论从时间演化和空间演化进行分析,明确了网络结构的时空协同演化路径。陈文婕等^[17]通过对全球低碳汽车技术合作创新网络的演化路径进行研究发现,在创新网络演化过程中,网络密度逐渐提升、核心组织逐渐凸显;阮平南等^[18]结合 Feature Selection 方法分析 IBM 专利合作网络的数据,挖掘了创新网络不同阶段的演化动力。

目前,学者对创新网络的演化研究或基于关系嵌入视角下对创新网络合作特征变化进行探索,或基于结构嵌入视角下对创新网络的结构特征变化以及对网络演化的路径和动因进行探索,为本文的研究提供了丰富的理论基础。但是存在以下问题:①研究主要聚焦在技术创新网络,没有结合具体的产业特征,不同的产业发展阶段,其创新背景存在差异,如何从产业创新网络的视角,同时结合网络的稳定性特征进行研究成为产业优化和治理的重要问题;②研究基本是在静态的视角下研究关系嵌入和结构嵌入^[19-20],这种组织间关系层面的静态性^[21],不利于网络对复杂市场变化和行业激烈竞争做出响应;③由于不同产业背景下创新网络的发展阶段不同^[22],其研究成果存在不一致。本文从动态视角,结合集成电路产业生命周期特征,分析网络关系、结构、稳定性的演化趋势,进一步深化创新网络演化的理论研究,并为引导产业创新网络的发展提供参考。

2 数据来源与相关理论概念

2.1 数据来源及处理

集成电路是一种微型电子设备或组件,是集知识、科技、资本、人才于一体的高科技产业。而专利作为知识密集型产业的重要知识输出^[23],其联合应

用信息被广泛用于研究合作创新^[24-26]。根据集成电路产业年度报告可知其专利申请以主分类号H01L为主,又因发明专利在专利申请中的难度和技术价值含量最高,因此,选用集成电路产业中H01L下发明专利联合申请来表示创新网络中的合作关系。

集成电路产业发明专利申请最早出现于1985年,2000年开始形成有价值的合作申请网络,参照IPC国际专利分类,对国家知识产权局重点产业数据库中集成电路产业2000-2017年内的发明专利进行检索,得到专利数据41274条,其中主分类号H01L下专利数据29785条,筛选出其专利中联合申请数据,同时将个人与个人、个人与企业的联合申请进行剔除,作为本文数据样本。

2.2 集成电路创新网络稳定性演化模型

在集成电路创新网络中,可以通过节点之间的合作关系表示相互影响的倾向,建立基于离散时间的 n 个主体节点组成的 $n \times n$ 的 $0 \sim 1$ 合作矩阵,并在不同的时间观测点借助SIENA模型对创新网络状态进行模拟。SIENA模型为集成电路产业中每个行为主体定义了其目标效用函数,主体都期望目标函数能够最大化,因此,这个函数决定了未来网络的结构^[27]。当组织存在关系改变的条件,组织将根据偏好和组织特征对合作关系做出选择,网络中的节点关系发生变化,而模型中的目标函数正决定了网络变化的概率,它代表了节点的行为规则。当节点从一组网络转移到另一组网络中时,该节点移动的概率随着此状态下的目标函数的增高而增高,目标函

数被假定为效用分量的线性组合:

$$f_i(\beta, x) = \sum_k \beta_k s_{ki}(x) \quad (1)$$

其中, $f_i(\beta, x)$ 是指节点 i 的目标函数值,它取决于网络状态 x ; $s_{ki}(x)$ 是基于理论和实际选择的网络功能、效果, β_k 是目标函数中影响要素的权重参数。若 $\beta_k=0$,相应的网络功能 $s_{ki}(x)$ 在网络动态中不起任何作用;若 β_k 为正,说明此节点将有更高的概率移动到与节点有一样高的目标函数值的方向;反之,若 β_k 为负,则此节点将不会有高概率移动到跟节点有相类似目标函数值的地方。本文用模型中基本参数速率 λ 来表示网络中合作主体改变他们关系的机会,即网络演变的稳定性。而对于SIENA模型,网络速率函数 λ 被定义为分别取决于周期 m 、主体协变量和主体对网络依赖性的因子乘积^[28]。

$$\lambda_i^{net}(\rho, \alpha, x, m) = \lambda_{i1}^{net} \lambda_{i2}^{net} \lambda_{i3}^{net} \quad (2)$$

其中, $\lambda_{i1}^{net}(\rho, \alpha, x, m)$ 是在网络状态 x 下的变化速率; λ_{i1}^{net} 是两个连续观察时刻之间差异数量的第 m 个时间段的总变化量; λ_{i2}^{net} 是主体协变量对网络的影响; λ_{i3}^{net} 是主体根据节点度数和往复关系确定的网络依赖性。

3 对集成电路产业创新网络的实证分析

3.1 集成电路创新网络总体趋势

为了便于对集成电路产业创新网络演化过程和特征进行分析,本文以2000-2017年专利申请为基础,结合中国集成电路产业发展布局和国家政策,将集成电路创新网络演化分为起步、成熟、调整、再生四个阶段(见图1)。

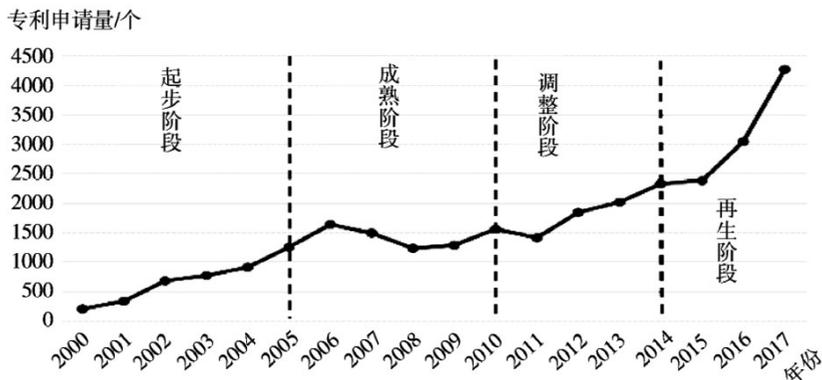


图1 集成电路产业专利申请趋势

(1)起步阶段(2000-2005年):2000年6月24日,国务院发布了《鼓励软件业和集成电路业发展的若干政策》(18号文件),自此,中国集成电路打开了对外交流合作的渠道,大批优秀外国企业和人才得以进入中国市场,同时对《中华人民共和国专利法》进行了再次修订,赋予了非国有企业与国有企业、集体企业同等的地位,极大地促进了企业创新活力。以2000年为起点,集成电路产业发展态势良好,专利申请数量不断增长,至2005年专利申请量达到1787个,产业处于创新起步时期。

(2)成熟阶段(2006-2010年):2007年年末开始的经济下滑进而导致全球性的经济危机,由于中国主要从事集成电路基础性器件和设备的生产销售,因此,整个产业受到较大冲击,专利申请出现负增长。同时,中国在2006年加入世界半导体理事会,与世界半导体市场的对接极大促进了国内集成电路产业发展的成熟化,并在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2010)》等一系列政策扶持下,集成电路产业在经济危机中保持平稳并较快恢复增长。这个阶段的专利申请数量呈现平稳的状态。

(3)调整阶段(2011-2014年):2011年,国务院发布了《进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》,旨在通过调整投资、融资、进出口、人才、知识产权等推动集成电路产业结构优化,同时期传统电子产品的衰落和智能产品的迅速崛起促使中国集成电路产业更加注重自主研发和协同创新。此阶段在政策调整和市场经济复苏的影响下主要表现为产业规模迅速扩大,资源得到更加有效合理配置,专

利申请数量持续增加。

(4)再生阶段(2015-2017年):2014年,集成电路最大应用领域电脑市场逐渐趋于饱和,集成电路产业发展放缓,同时AI、云计算、物联网等成为集成电路发展的新方向,并在2015年引发了世界集成电路企业间并购的狂潮。在此背景下,2015年,国家发布《中国制造2025》着重强调制造强国战略实施;2016年,“十三五规划”将发展智能制造、加快突破新一代信息通信等核心技术作为重点推进,集成电路产业作为政策扶持的重要产业,其创新主体不断增多,合作网络中焦点公司占据结构洞优势与其他节点进行持续合作,网络稳定性增加,行业体系在原有水平上实现“再次创新”。

3.2 集成电路创新网络结构演化

集成电路产业中企业创新合作表现为共同申请专利,所以本文选取2000-2017年集成电路产业不同阶段内的创新合作网络进行可视化分析(见图2),并通过计算阶段内每一年的结构特征指标可以更清楚地考察网络结构的演化情况(见表1)。

(1)起步阶段(2000-2005年):在起步阶段初期,集成电路创新合作网络中节点和边的数量都较少,合作规模较小,中心节点为美国、日本企业,中国企业在创新研发中处于边缘地位,并未参与合作网络中,可以看出大多节点都处于分散合作的状态。这一时期,网络中心化程度由于更多创新主体的加入而总体上呈下降趋势,合作网络凝聚力降低,其中2002年由于日本企业株式会社日立制作所的加入,并吸引了多个节点合作,造成中心势指数暂时增加。

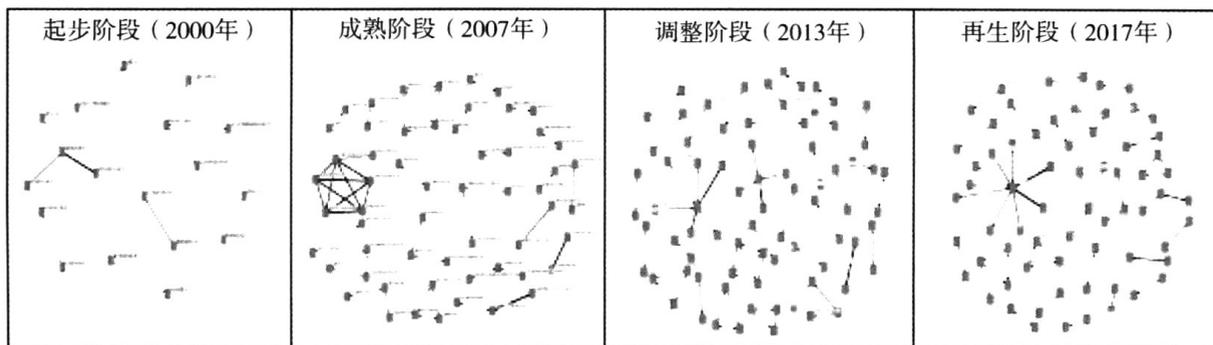


图2 集成电路产业创新合作网络形态

表1 集成电路产业创新网络的结构特征指标

年份	中心势(%)	网络密度	平均路径	年份	中心势(%)	网络密度	平均路径
2000	9.31	0.1046	1.294	2009	3.43	0.0592	1.237
2001	7.64	0.2000	1.000	2010	2.34	0.0404	1.539
2002	13.07	0.0994	1.548	2011	2.13	0.0256	1.237
2003	4.60	0.0583	1.607	2012	3.13	0.0490	1.470
2004	4.45	0.0871	2.007	2013	2.59	0.0533	1.329
2005	2.16	0.0654	1.138	2014	5.86	0.1147	1.421
2006	1.04	0.0593	1.141	2015	6.04	0.1172	1.718
2007	3.98	0.0952	1.271	2016	2.61	0.1763	1.545
2008	1.23	0.0432	1.161	2017	6.08	0.1604	1.489

同时,网络随着创新主体合作增加,网络整体连通性降低,相对于整个合作网络,主体间的合作仍旧松散。

(2)成熟阶段(2006–2010年):在集成电路产业的成熟阶段,从图2可以看出网络规模较起步阶段明显增加且保持稳定,但此阶段网络中的主体节点进入、退出网络频繁,网络中心势、网络密度和平均路径长度指标都呈现不规则的变化。表明整个网络未能形成一个稳定的合作关系,其中多为在市场不稳定需求下,企业之间以短期利益为导向,以获取异质类资源为目标开展合作,二次合作创新较少,导致网络演化趋向无序。但由于产业在这一阶段已经成熟,并没有因市场大环境的影响迅速衰退,而是在认识到市场饱和及未来前景的事实下,加快产业转型,促进机制改革和新产品开发,使产业进入下一阶段。

(3)调整阶段(2011–2014年):在集成电路产业的调整阶段网络规模达到最大值,合作网络由前一阶段独立、分散的节点合作逐渐演变为以某一节点为中心互相合作的模式,在网络结构指标计算中,中心

势和网络密度整体不断增加表明这一时期网络逐渐趋于稳定,网络中逐渐形成新的中心节点,凝聚力渐强。平均路径长度趋向于1.4较成熟阶段增加,结合实际合作情况发现,这是由于各节点由最开始的分散合作转变为依附中心节点合作,增加了信息传递的距离。节点间的合作更加稳定、紧密,节点与网络中心节点的联系增加,推动合作网络朝向稳定、有序发展。

(4)再生阶段(2015–2017年):在集成电路产业的再生阶段,可以看到网络规模缩小,集中、合作紧密的群体开始涌现,网络中出现明显的中心节点,以京东方科技集团、天马微电子、中芯国际集成电路制造为中心,形成较为紧密的合作网络,为促进网络内的资源协调与交换奠定了重要基础。

3.3 集成电路创新网络主体及合作关系演化

(1)集成电路创新网络主体演化。由于不同创新主体在资金来源、合作环境、产业链合作方式等方面存在不同程度的差别,导致创新主体在创新伙伴选择时对合作网络的趋向产生很大影响。根据创新主体的类型将其分为企业、外企、高校和科研院所三

种,对创新主体的演化进行统计(见图3)。

从图3可以看出,2006年之前集成电路产业创新合作申请主体以外企为主,这一时期中国集成电路处在创新起步阶段,中国企业参与度很低,企业间协同创新网络较为封闭。2006年之后在市场需求和政策鼓励下,中国企业占比逐渐增加并超过外企成为集成电路产业创新主力军,近三年外企占比有所增加,这与中国集成电路产业体系更加成熟和外企为争夺中国市场的战略布局有关。其中高校、科研院所一直处于一个较低的地位,这表明集成电路产业创新合作主要以企业为主,本身具有科技创新资源优势的学研机构未能和企业形成相互信任的稳定合作关系。此外,统计发现,企业之间的合作同质性不明显,同类型企业之间合作较为密切,外企和中国企业的联合创新较少,可以看出中国集成电路产业仍处于创新主体合作分布不均匀的困境。

(2)集成电路创新网络主体间合作关系演化。为了进一步对集成电路产业主体间合作关系进行探究,对2000-2017年集成电路产业主体间的平均合作频次进行统计(见图4)。

主体间的合作频次是测量网络关系强度的重要指标,是影响合作创新的重要因素,刻画了主体间的合作紧密程度。由图4可以看出,主体间平均合作频次呈波动上升趋势,整体上反映了集成电路产业内主体间合作越来越紧密。这表明,虽然网络规模不断扩大,但随着创新型经济的驱动,主体对合作创新依赖性逐渐增强,一个稳定的合作关系是创新产生的重要保障,因此,创新合作网络主体间趋向更密切的合作关系。

3.4 集成电路创新网络稳定性演化

SIENA模型是一个以行为主体为导向的统计学网络模型,要求网络必须是连续动态变化的,故本文

主体类型占比 (%)

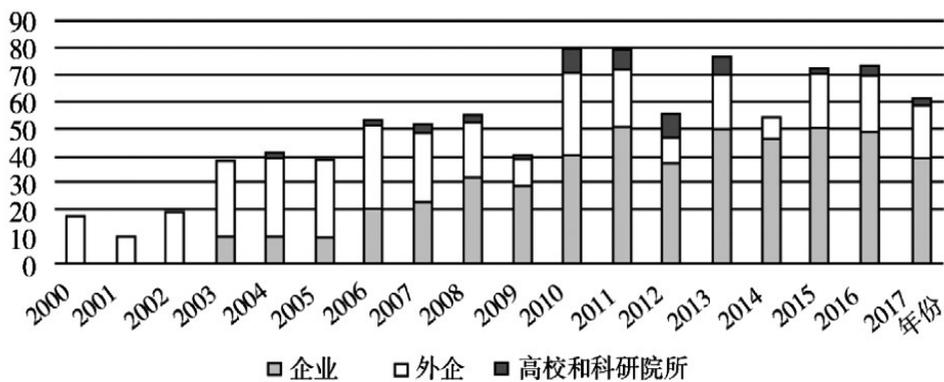


图3 2000-2017年集成电路产业创新合作主体演化

平均合作频次

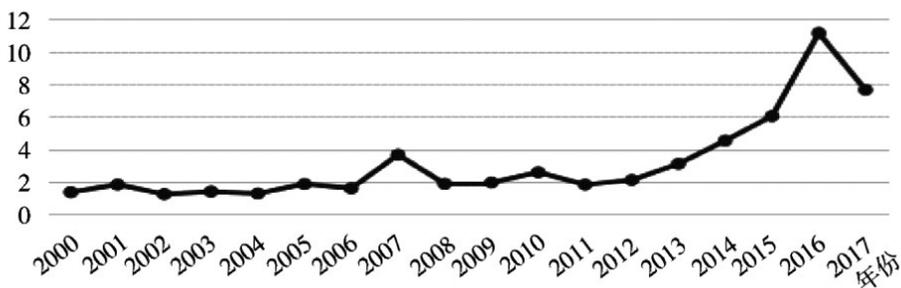


图4 2000-2017年集成电路产业主体间平均合作频次

剔除因日本企业产业布局规模涌入和规模退出导致网络变化不连续的2004年和2005年(可以视为网络速率变化无限大),集成电路创新网络变化速率如表2所示。

为了使参数的估计值更加稳定,本文采取SIENA中条件矩估计法。所有变量T值在 $P < 0.1$ 下显著,且每一阶段的总最大收敛比(t-ratios)小于0.1,模型具有良好的收敛度。由运行结果中速率 λ 的值可看出,集成电路产业技术专利申请合作网络虽然变化不稳定,但是在2008年后整体呈现一种变化速率越来越小的趋势,说明合作网络也越来越趋于稳定。

结合集成电路产业网络主体、结构演化和专利申请可以得出网络稳定性变化与合作网络绩效的关系。2000-2005年起步阶段网络速率不断增大,网络中心势逐年降低,专利申请逐渐增加,主要是由于这一时期合作网络不稳定且不断吸收新的主体增加规

模,创新主体为外企,外企以短期效益为目标并未形成稳定的合作关系,此阶段的专利申请量增加反映的是规模增加带来的效益和企业对短期效益的追求。2006年进入成熟阶段,合作网络主体逐渐演变为中国企业,其中2006-2007年网络变化速率为28.9707,专利申请量出现了负增长,表明期间网络合作关系变化频繁,网络稳定性很差,并对创新合作绩效产出产生了负面影响,并且可以看出,在成熟阶段网络速率的起伏变化与网络结构和专利申请的起伏密切相关。2011-2014年调整阶段,稳定的合作关系和良好的政策市场环境促进了主体间联合创新意愿,专利申请数量持续增加。2015年进入再生阶段,由于京东方等节点在新一轮产业研发中不断扩大合作规模、增加创新投入、提升创新能力,拥有更多的网络权,核心优势逐步形成,集成电路网络演化变动趋势明显减小。同时,结合再生阶段专利申请增长速率

表2 基于SIENA的网络变化速率估计结果

速率 λ	参数估计	标准差	T值	总最大收敛T比
2000-2001年	1.1106	0.3824	2.9043	0.0971
2001-2002年	1.1567	0.4095	2.8247	0.0985
2002-2003年	2.8572	1.0627	2.6886	0.0824
2006-2007年	28.9707	23.0622	1.2562	0.0874
2007-2008年	1.4477	0.3273	4.4232	0.0492
2008-2009年	1.9160	0.5261	3.6419	0.0511
2009-2010年	1.5068	0.3507	4.2965	0.0150
2010-2011年	0.8492	0.1427	5.9509	0.0269
2011-2012年	0.8381	0.1397	5.9993	0.0214
2012-2013年	1.1406	0.2107	5.4134	0.0457
2013-2014年	0.9372	0.1774	5.2830	0.0574
2014-2015年	1.1378	0.2180	5.2193	0.0442
2015-2016年	0.9188	0.1507	6.0969	0.0641
2016-2017年	0.9046	0.1559	5.8024	0.0917

可以看出,合作网络的稳定发展有效地促进了合作绩效的产出。

综上所述可以得出,随着创新网络的不断发展成熟,合作网络逐渐趋于稳定,组织期望拓展关系和创造条件改变关系的概率降低,创新网络的演化发展随着时间的推移趋于缓慢。随着合作网络逐渐趋于稳定,集成电路产业创新合作绩效的增长越来越高,组织之间也倾向以合作方式进行创新研究。经过长时间的合作,组织之间也将存在稳定的合作关系,长此以往,组织会优先选择已经有合作历史的组织进行再次合作。

4 研究结论与对策建议

创新网络随着时间推移不断进行演进,这种演进过程也是一个产业积累不可或缺的部分。本文借助SIENA构建创新网络演化模型,并对集成电路产业的创新网络演化进行实证分析,得出以下结论:

(1)从创新网络结构演化来看,网络规模经过一段时间的扩张逐渐趋于稳定,网络中心化特征越来越明显,网络呈现以重要节点为中心,向外发散的核型结构。同时,产业中的核心企业掌控着整个产业的信息流和合作导向,造成创新合作集中于核心企业进行,在一定程度上阻碍了创新的扩散。

(2)从主体合作关系演化来看,企业始终是最重要的创新主体,学研机构和高校在创新网络中地位较弱,创新合作网络从以外企为主逐渐演变为以中国企业为首,外企占据一定地位的态势。创新主体间平均合作频次逐渐增加,合作关系越来越密切,更加有利于合作网络的稳定,但主体合作关系异质性明显,往往是具有强实力的企业之间的合作密切,且主体合作类型异质性差,多为同类型企业间的合作,这种情况不利于异质资源的传递,影响深度创新。

(3)从网络速率演化来看,集成电路产业创新网络虽然每个阶段都在不断变化,但是网络演化速率随着时间推移逐渐变慢,网络逐渐趋于稳定。同时,网络演化速率减慢有利于创新绩效的产出。因而在产业治理过程中要保障网络整体的稳定性,避免网络动荡,是产业创新绩效提升的前提和保障。

结合本文的研究结论,对集成电路产业提出如下建议:第一,鼓励创新企业进入合作网络,加快网络中有效信息的扩散,不断将外部创新成果和创新要素引入合作网络,高校和科研院所要充分发挥科技资源优势,提高自身在创新网络中的主体地位,与企业建立相互信任的合作关系,促进科技成果有效转化,防止合作网络陷入创新困境;第二,合作网络中主体要积极寻找新的合作伙伴,中外企业需要建立更多的合作路径促进异质性资源有效利用,企业和企业、企业和学研机构间要建立稳定的合作,增加合作频次;第三,政府制定集成电路产业发展政策时应该要保证政策的长久和有效贯彻,营造一个稳定的创新合作环境,完善创新成果保护机制,实现集成电路产业发展重心向核心技术的转移。

参考文献:

- [1]张路蓬,薛澜,周源,等.战略性新兴产业创新网络的演化机理分析——基于中国2000-2015年新能源汽车产业的实证[J].科学学研究,2018,36(6):1027-1035.
- [2]PARK C, VERTINSKY I, BECERRA M. Transfers of tacit vs. explicit knowledge and performance in international joint ventures: The role of age[J]. International business review, 2015, 24(1): 89-101.
- [3]谢永平,党兴华,孙永磊.知识权力集中度、核心企业治理与网络稳定[J].科学学与科学技术管理,2014(9):67-77.
- [4]刘雯,马晓辉,刘武.中国大陆集成电路产业发展态势与建议[J].中国软科学,2015(11):186-192.
- [5]刘国巍.产学研合作创新网络时空演化模型及实证研究——基于广西2000-2013年的专利数据分析[J].科学学与科学技术管理,2015,36(4):64-74.
- [6]BAKKER R M, KNOBEN J. Built to last or meant to end: Intertemporal choice in strategic alliance portfolios[J]. Organization science, 2015, 26(1): 256-276.
- [7]SNIJDERS T A B, PAITISON P E, ROBINS G L, et al. New specifications for exponential random graph models[J]. Sociological methodology, 2010, 36(1): 99-153.
- [8]KRIVITSKY P N, HANDCOCK M S. A separable model

for dynamic networks.[J].Journal of the royal statistical society, 2014, 76(1): 29-46.

[9]IAZZERRETI L, CAPONE F. How proximity matters in innovation networks dynamics along the cluster evolution: A study of the high technology applied to cultural goods[J].Journal of business research, 2016, 69(12): 5855-5865.

[10]WAL T, ANNE L J. The dynamics of the inventor network in German biotechnology: Geographic proximity versus triadic closure[J]. Journal of economic geography, 2014, 14(3): 589-620.

[11]DAHLANDER L, MCFARLAND D A. Ties that last: Tie formation and persistence in research collaborations over time[J]. Administrative science quarterly, 2013, 58(1): 69-110.

[12]GRANOVETTER M. Economic action and social structure: The problem of embeddedness[J].American journal of sociology, 1985(91): 481-510.

[13]ZHENG J, ZHAO Z Y, ZHANG X, et al. International collaboration development in nanotechnology: A perspective of patent network analysis[J].Scientometrics, 2014, 98(1): 683-702.

[14]MILOJEVIC S. Modes of collaboration in modern science: Beyond power laws and preferential attachment[J].Journal of the association for information science and technology, 2010, 61(7): 1410-1423.

[15]ZHANG H, QIU B, IVANOVA K, et al. Locality and attachedness-based temporal social network growth dynamics analysis: A case study of evolving nanotechnology scientific collaboration networks[J].Journal of the association for information science and technology, 2010, 61(5): 964-977.

[16]刘凤朝,张娜,孙玉涛,等.基于优先连接的纳米技术合作网络演化研究[J].管理评论,2016,28(2):74-83.

[17]陈文婕,曾德明,邹思明.全球低碳汽车技术合作创新网络演化路径研究[J].科研管理,2016,37(8):28-36.

[18]阮平南,王文丽,刘晓燕.技术创新网络多维邻近性演化研究——基于IBM专利合作网络数据[J].科技进步与对策,2018,35(8):1-7.

[19]郑方,彭正银.基于关系传递的结构嵌入演化与技术创新优势——一个探索性案例研究[J].科学学与科学技术管理,2017,38(1):122-135.

[20]蒋军锋,张玉韬,王修来.知识演变视角下技术创新网络研究进展与未来方向[J].科研管理,2010(3):68-77.

[21]DYER J H, NOBEOKA K. Creating and managing a high-performance knowledge-sharing network: The Toyota case [J].Strategic management journal, 2002, 21(3): 345-367.

[22]GHOSH A, RANGANATHAN R, ROSENKOPF L. The impact of context and model choice on the determinants of strategic alliance formation: Evidence from a staged replication study[J].Strategic management journal, 2016(37): 2204-2221.

[23]刘雯,马晓辉,刘武.中国大陆集成电路产业发展态势与建议[J].中国软科学,2015(11):186-192.

[24]高霞,陈凯华.合作创新网络结构演化特征的复杂网络分析[J].科研管理,2015,36(6):28-36.

[25]吕国庆,曾刚,顾娜娜.基于地理邻近与社会邻近的创新网络动态演化分析——以我国装备制造业为例[J].中国软科学,2014(5):97-106.

[26]HENDRICKX M M H G, MAINHARD T, BOOR-KLIP H J, et al. Our teacher likes you, so I like you: A social network approach to social referencing[J].Journal of school psychology, 2017(63): 35-48.

[27]HAYE K D L, EMBREE J, PUNKAY M, et al. Analytic strategies for longitudinal networks with missing data[J].Social networks, 2017(50): 17-25.

[28]SNIJDERS T A B. The statistical evaluation of social network dynamics[J].Sociological methodology, 2001, 31(1): 361-395.