

浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络动态演化分析

陈钰芬, 姚天娇, 胡思慧

(浙江工商大学 统计与数学学院, 杭州 310000)

摘要:推进 ICT 产业创新发展是浙江省实施数字经济“一号工程”的重要举措之一。运用社会网络分析方法,从不同阶段和不同行业领域两方面定量分析产学研合作创新网络特征及其对创新绩效的影响。研究表明:浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络呈核心-边缘化结构,具有二步式螺旋式上升的演化特征;网络密度对创新绩效存在促进作用,网络中心性对创新绩效存在抑制作用;产学研合作创新网络对浙江省 ICT 产业的发展有推动作用。

关键词:社会网络分析;产学研;合作创新网络;专利分析

中图分类号:F532.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-980X(2019)10-0065-09

创新是引领发展的第一驱动力。在经济全球化的背景下,光靠单一组织很难全面获取创新所需的要素,组织间的相互交流合作已成为创新的主要形式^[1],市场竞争的关键不再是单一组织本身所拥有的创新能力和资源的丰裕程度^[2],而取决于该组织所处的生存环境极其与其他组织合作所获得的互补性资源的多寡^[3]。因此,越来越多的企业选择与其他创新主体进行合作,其中产学研合作创新成为一种重要的创新模式^[4]。产学研合作创新网络是指企业、高校、研究机构等创新主体之间通过各种知识信息交流整合而成的一种相互合作关系,这种合作关系会随着创新主体联系的增多而产生多样化、复杂化的知识网络组织^[5],这是一种跨越组织边界的三方合作创新方式,能够充分发挥企业、高校及研究院所的创新优势^[6]。

作为长江经济带经济发展的重要组成部分,浙江位于东部沿海,毗邻上海,拥有得天独厚的地理优势。近年来,浙江省经济发展态势良好,浙江省主要以其独有的浙商文化、民营经济为主,民营经济占浙江全省 GDP 一半以上,2018 年这一占比高达 65.5%。作为数字经济载体的信息通讯技术产业 (ICT),已逐渐成为促进国家或区域经济增长的主要驱动力,各国政府纷纷制定 ICT 产业发展战略,以促进 ICT 产业快速发展^[7]。较其他产业而言,

ICT 产业在专利申请的数量、频率及更新速度上都有明显优势。而浙江在 ICT 产业方面的发展并不具有优势,但由于近年来浙江省出台了一系列促进创新发展的新举措,专利数量明显增多,但相较于北京、广州等 ICT 行业发展强省而言仍然有较大差距。

目前,产学研合作创新网络的研究大多从网络组织形式及运行机制^[8-10]、网络结构及演化特征^[11-13]、网络结构与创新绩效的关系^[14-19]三方面展开,但以 ICT 产业为对象的研究较少。已有研究主要是以 ICT 产业为案例探究产学研合作创新网络的组织形式^[20-21],或是从宏观层面分析 ICT 产业产学研合作创新的网络演化^[22-23],从微观层面分析 ICT 产业产学研创新网络的相关研究较少。

因此,本文着力于从微观层面研究浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络的特征及动态演变。首先,按不同阶段和不同行业领域构建以企业、大学、研究机构为创新主体的产学研合作创新网络;其次,计算网络节点数量、网络密度、各类中心性、凝聚子群等网络结构指标;最后,分析浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络的网络结构及对创新绩效的影响,从而找出浙江省 ICT 产业合作创新发展的优势与不足,为浙江省 ICT 产业合作创新的发展提供理论研究基础,并为决策者制定合理高效的产学研政

收稿日期:2019-04-18

基金项目:教育部人文社科规划基金项目“企业创新生态系统的作用机理、动态演化与管理决策”(16YJA630004);国家自然科学基金项目“企业创新生态系统的异质性主体交互、演进及管理决策”(71672178);浙江省新苗人才计划“产学研协同创新网络的拓扑结构及驱动机制分析——基于不同特质企业视角”(2019R408075)

作者简介:陈钰芬(1973—),女,浙江嵊州人,技术创新管理博士,浙江工商大学统计与数学学院教授,研究方向:创新管理、科技评价与决策;姚天娇(1995—),女,浙江海宁人,浙江工商大学统计学硕士研究生,研究方向:管理统计;胡思慧(1994—),女,浙江杭州人,浙江工商大学统计学硕士研究生,研究方向:应用统计。

策和措施提供理论依据和建议。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

专利是知识创新的成果,在一定程度上能够反映实际的创新产出,无形资产中的专利既是技术创新的产出又是企业生产经营的主要投入^[1]。Chesbrough^[24]指出专利作为企业专属的战略性成果,在一定程度上能反映企业所进行的创新活动。Ernst^[25]指出专利的申请与面世是技术创新成功的标志之一,作为知识的“编码化形式”,专利在情报学、管理学、地理学等领域常常被作为研究技术创新的代理指标使用。除了企业,大学和研究机构也会通过专利申请促进科学技术的成果保护和成果产业化。

本文专利数据来源于国家知识产权局专利检索

系统。通过对 ICT 产业合作专利的进一步分析,该数据中只有发明专利和实用新型专利,且 ICT 产业合作发明专利占 ICT 产业合作专利的 72.40%,故本文以 ICT 产业合作发明专利为研究对象。由于专利公布的滞后性,本文将申请时间限定为 2017 年 12 月 31 日及以前,检索所得数据的时间跨度为 1997—2017 年。本文按照 OECD 专利统计公报^[26]中对 ICT 产业国际专利分类号的界定范围及高霞、陈凯华^[27]一文所提及的 ICT 各个行业领域中 IPC 分类号的界定范围,将 ICT 领域进一步细分为 4 个行业领域,分别是电信/无线电、计算机/办公机器、消费电子及其他 ICT 技术,见表 1。此外,由于专利申请虽未明显标注出排名先后与贡献程度的关系,但是在实际操作中确实存在此类问题,故本文选取联合专利中排名前两位的申请人作为研究对象。

表 1 各阶段浙江省 ICT 产业网络创新主体数量

ICT 领域	IPC 代码
电信	G01S; G08C; G09C; H01P; H01Q; H01S; H1S5; H03B; H03C; H03D; H03H; H03M; H04B; H04J; H04K; H04L; H04M; H04Q
消费电子	G11B; H03F; H03G; H03J; H04H; H04N; H04R; H04S
计算机、办公机器	B07C; B41J; B41K; G02F; G03G; G05F; G06; G07; G09G; G10L; G11C; H03K; H03L
其他 ICT	G01B; G01C; G01D; G01F; G01G; G01H; G01J; G01K; G01L; G01M; G01N; G01P; G01R; G01V; G01W; G02B6; G05B; G08G; G09B; H01B11; H01J; H01L

具体检索式(以电信/无线电子行业领域为例):
(申请日 $\leq$ 2017.12.31 AND IPC 分类号=(G01S G08C G09C H01P H01Q H01S H1S5 H03B H03C H03D H03H H03M H04B H04J H04K H04L H04M H04Q)) AND (发明类型=(“I”) AND 公开国家/地区/组织=(CN)AND 申请(专利权)人=(;/FREC $>$ 1)AND 申请人地址=(浙江省)。

1.2 分析阶段的划分

1992 年,随着邓小平“南巡讲话”和十四大的召开,浙江省积极响应国家号召,大力支持和推动民营科技企业发展,使民营企业逐渐成为浙江省科技成果转化和高新技术产业化的重要力量。2005 年,国务院颁布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》,提出我国需构建以市场为导向、产学研结合的技术创新体系。2006 年,召开了全国科学技术大会,标志着我国产学研合作从“产学研结合”阶段转换到“产学研用紧密结合”阶段^[28]。在国家政策的统筹规划及推动下,浙江省出台了《浙江省国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》和《浙江省科技强省建设与“十一五”科学技术发展规划纲要(2006—2020)》,文件指出浙江省需全面深化改革

开放,加强创新平台和人才队伍建设,建立健全以企业为主体、产学研紧密结合的区域创新体系,并加快电子信息、新材料、先进装备制造等高技术产业发展,更多地获取核心技术的知识产权,从而进一步提升浙江省产业竞争力,故本文将 1997—2005 年划分为产学研合作创新的萌芽阶段。此后,大量国家层面和省市层面的政策相继出台,其中《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》进一步指出,推进智慧城市建设,需统筹城市各项资源,尤其需推进我国 ICT 产业的自主创新和融合发展。2013 年,浙江省出台《关于促进中小企业“专精特新”发展的指导意见》。2014 年浙江省在全国企业管理创新大会召开之后组织开展浙江省企业技术创新会议,强调技术创新和产学研合作创新的重要性,故本文将 2014 年作为第二个时间分割点。综上所述,本文按照不同政策的出台年份将浙江省 ICT 产业产学研合作创新划分为三个阶段,分别是萌芽阶段(1997—2005 年)、发展阶段(2006—2013 年)和稳定阶段(2014—2017 年)。

1.3 研究方法

社会网络分析方法(SNA)是一种集社会学、统

计学、数学、图论等理论与技术于一身的定量分析方法^[29],它将复杂网络和社会网络研究相结合,为合作创新等诸多领域提供了新的研究范式,此外,它也为研究网络演化轨迹提供了较为合适的方式方法^[30]。故本文运用社会网络方法对浙江省 ICT 产业产学研合作创新进行研究。

本文选择 UCINET 软件进行数据分析,UCINET 是用于分析和可视化社交联系的最广泛使用的软件程序之一^[31-33]。UCINET 6 是 Lin Freeman、Martin Everett 和 Steve Borgatti 共同开发的用于社交网络分析的编程工具。

1.4 网络结构指标

本文从整体网络分析和网络结构分析两方面来对浙江省 ICT 产业的产学研协同创新网络进行探究,其中主要的指标有:网络密度、网络中心度、凝聚子群等。

网络密度。网络密度测量的是整个合作创新网络中实际存在的关系系数与理论上应该存在的关系系数之比,记为 D 。其计算公式如下:

$$D = \frac{n}{\frac{1}{2}N(N-1)} \quad (1)$$

其中: n 表示整个网络内实际存在的关系系数; N 表示网络中所包含的创新主体总数。

网络中心性。用于分析某一网络结构最基本的指标,包括度数中心性、中间中心性、接近中心性。其中,度数中心度是指某一创新主体和其他创新主体发展交往的能力,揭示该创新主体是否处于核心位置,用 $DC(i)$ 表示;中间中心度刻画的是某一创新主体控制网络中其他创新主体间交往的能力,用 $BC(i)$ 表示;接近中心性考察的是某一创新主体与其他创新主体的远近程度,若这一距离之和越小,则表明该节点越靠近中心位置,用 $CC(i)$ 表示,具体计算公式如下:

$$DC(i) = d(n_i) = \sum_i x_{ij}; \quad (2)$$

$$BC(i) = \sum_{i \neq j, i \neq k \in V} \frac{p_{jk(i)}}{p_{jk}}; \quad (3)$$

$$CC(i) = \frac{1}{N-1} \sum_{i \neq j \in V} \frac{1}{d_{ij}} \quad (4)$$

其中:若 $x_{ij} = 0$ 表示该网络中的创新主体 i 和创新主体 j 并不直接相连,若 $x_{ij} = 1$,表示 i 和 j 直接相连; p_{jk} 表示创新主体 j 到创新主体 k 的最短路径数量; $p_{jk(i)}$ 表示创新主体 j 到创新主体 k 的最短路径中通过 i 的数量; d_{ij} 表示创新主体 i 和创新主体 j 的距离。

凝聚子群。探究网络中所含有共同特点的联系

紧密节点组成的子图,本文采用 k -核方法来衡量子图,即子图中的点都至少与该子图中的 k 个其他点邻接。

2 实证结果与分析

2.1 整体网络分析

1997 年以来,浙江省 ICT 产业中的专利申请单位总量由萌芽阶段的 61 家增长到稳定阶段的 478 家,网络规模稳步扩大。其中,网络密度从萌芽阶段的 0.0251 下降至发展阶段的 0.0073,这是源于发展阶段浙江省 ICT 产业以吸引大量外部创新主体加入为手段,通过扩大网络规模来扩大该网络的覆盖范围和影响力。创新主体数量急剧增加,而网络中各创新主体之间的合作次数却没有相应地增加,导致网络密度骤降。稳定阶段整体网络的网络密度为 0.0101,较发展阶段有所回升,这体现了稳定阶段在已有的网络基础上,更注重网络中创新主体合作频次的提升,使得网络中创新主体间的合作更为密切。

表 2 各阶段浙江省 ICT 产业网络创新主体数量

	高校	科研院所	企业	政府部门	总数
萌芽阶段	11	10	38	2	61
发展阶段	32	25	172	2	231
稳定阶段	65	70	337	6	478

从整体网络发展图来看,浙江省 ICT 产业逐渐形成了产学研合作创新网络的核心—边缘化结构。该结构体现了在该网络中,大部分创新主体处于网络边缘,只有极少数创新主体能获得核心资料。因此,该网络整体对创新个体的影响力较小,这在一定程度上阻碍了知识的转移和创新,个体成员难以从网络中获取有价值的资源。

2.2 不同行业领域的网络特征分析

本文以电信、消费电子和计算机、办公机器三个 ICT 行业领域的企业为研究对象,分别对其网络情况进行分析。较其他两个领域而言,消费电子领域的网络合作创新最为密切,计算机、办公机器领域的网络稀疏,网络中的创新主体较少,有待进一步改善。

计算机、办公机器领域的合作创新次数为 500 次、创新主体个数为 262 个,体现了计算机、办公机器领域在浙江省 ICT 行业中该领域的发展势头较好,但是其网络密度指标为最低值,这可能是由于该领域中创新主体数远大于其他两个领域的创新主体数,该领域可以着重关注网络内部创新主体间的合作。而消费电子领域应着重于吸收一些外部的创新主体,扩大网络覆盖程度及影响力。

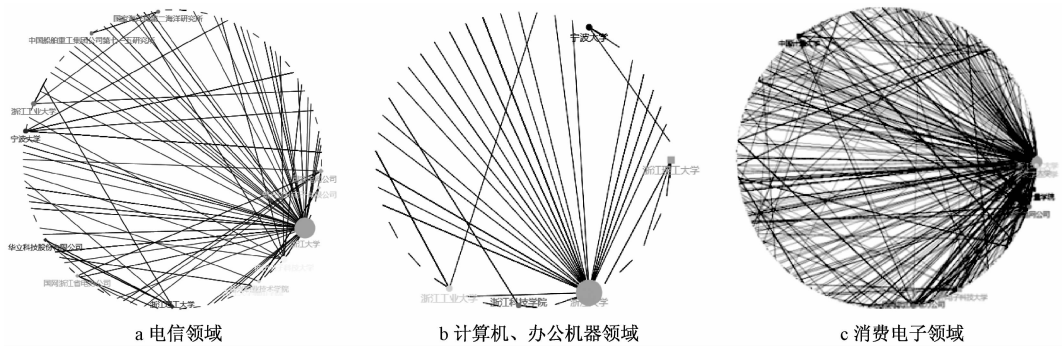


图 1 不同领域浙江省 ICT 产业产学研整体网络图

表 3 浙江省 ICT 产业不同领域的网络整体水平

	合作创新次数	节点数	平均度	网络密度
电信领域	209	132	1.59	0.0242
消费电子领域	81	51	1.61	0.0635
计算机、办公机器领域	500	262	1.72	0.0146

在电信领域中,浙江大学的点度中心度和中间中心度均为最高值,说明在该网络中,浙江大学对网络中资源的控制能力较为强劲;虽然浙江理工大学这一创新主体的点度中心度不高,但其接近中心度为 0.1429,这说明浙江理工大学比较靠近该网络的中心位置,体现了浙江理工大学处于该网络中的重要位置。

在消费电子领域和计算机、办公机器领域中,浙江大学三个中心度指标均为最高值,这体现了在该网络中,浙江大学不仅有较强的资源控制能力,还靠近网络中心位置,说明浙江大学在浙江省 ICT 行业的消费电子领域网络中有着无可比拟的重要作用,是该网络最为核心的创新主体。同样地,在这两个领域中,国家电网公司的聚类系数远大于浙江大学,这体现了以国家电网公司为中心所形成的凝聚子群的密度较高,网络内部创新主体间的联系较为密切。

另一方面,电信领域网络的平均中间中心度为 14.37,远低于其他两个领域的平均值,这说明该领域网络中的权力和地位分配不均匀的情况最为严重。而消费电子领域网络的平均中间中心度为 128.63,处于三个领域的中游水平,这说明该领域相较于其他两个领域而言,网络中的权力和地位分配比较均匀。尽管如此,电信领域网络仍存在少部分主体在网络中拥有更多信息和资源,而绝大部分创新主体只拥有较少的信息和资源这一网络特征。在计算机、办公机器领域中,该领域网络的平均中间中心度为 245.72,处于三个领域该指标值中的最高水平,且聚类系数的最大值约等于 1(保留四位小数),聚类系数最低值大于消费电子领域的最低值,说明该网络中所形成的凝聚子群比较稳定。

表 4 浙江省 ICT 产业不同领域的度数中心度指标

	最小度数中心度	最大度数中心度	平均度数中心度
电信领域	1	46	1.59
消费电子领域	1	83	1.72
计算机、办公机器领域	1	155	1.69

表 5 浙江省 ICT 产业不同领域的中间中心度指标

	最小中间中心度	最大中间中心度	平均中间中心度
电信领域	0	1395	14.37
消费电子领域	0	11762	128.63
计算机、办公机器领域	0	34565.3	245.72

表 6 浙江省 ICT 产业不同领域的接近中心度指标

	最小接近中心度	最大接近中心度	平均接近中心度
电信领域	0.0066	1	0.34
消费电子领域	0.0012	1	0.26
计算机、办公机器领域	0.0005	1	0.30

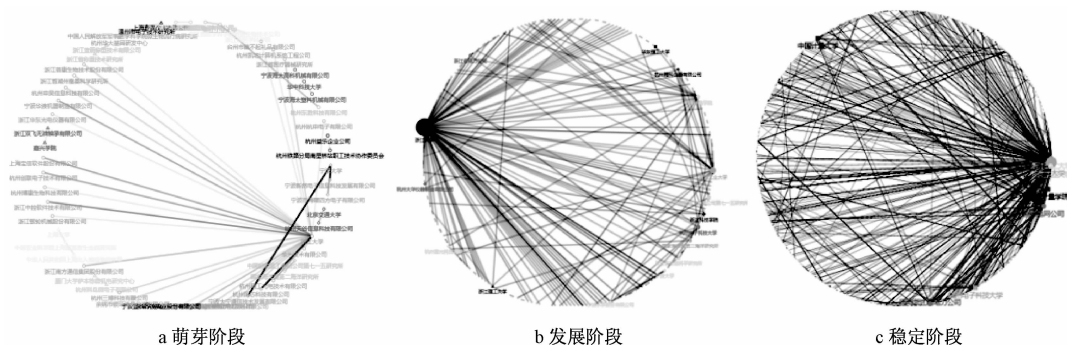
表 7 浙江省 ICT 产业不同领域的聚类系数指标

	最小值	最大值	均值
电信领域	0	0	0
消费电子领域	0	0.33	0.0031
计算机、办公机器领域	0	1	0.0112

2.3 不同阶段的网络特征分析

2.3.1 不同阶段各创新主体网络位置分析

萌芽阶段(1997—2005 年),浙江省 ICT 产业产学研整体网络密度非常稀疏,网络包含的创新主体数量和创新主体间的合作频次都非常少。其中,浙江大学和宁波大学占据该网络的核心地位。此外,虽然企业数量占全部创新主体总数的 62.30%,但是大多处于网络边缘位置,无法接触网络核心信息;相反,高校仅占比 18.03%,但是浙江大学和宁波大学在该网络中起重要作用,尤其是浙江大学,对该阶段网络起到决定性作用,故该阶段网络是高校主导型网络。



注:图2中的节点表示专利权申请人,即创新主体;连线表示合作关系;连线线段的颜色深浅程度表示合作次数:合作次数越多,线段颜色越深;若无合作,则无线段连接。

图2 不同时间段浙江省 ICT 产业产学研整体网络

发展阶段(2006—2013年),整体网络中创新主体的数量呈飞跃性增长,说明该网络正处于高速发展阶段。该阶段大量外部企业涌入 ICT 产业产学研网络中,创新主体间的合作日益紧密。浙江大学在该阶段中的核心地位有所弱化,但仍拥有不可撼动的网络位置。

稳定阶段(2014—2017年),整体网络所包含的节点数大幅增加,但增幅较上一阶段有所减缓,说明该网络逐渐趋于稳定状态。该阶段创新主体间的连线颜色最深,这说明该阶段网络中创新主体的合作最为密切,同时也体现该阶段网络侧重网络内部发展。

2.3.2 不同阶段各创新主体网络中心度分析

萌芽阶段,最大行动者的度数中心度达到了26,平均值为1.51,这体现了该网络中的权力和地位分配不均匀,极少一部分主体在网络中拥有绝大部分资源,而大部分创新主体拥有较少的资源。此外,最大行动者的中间中心度达到350,平均值仅为6.26,体现了浙江大学对网络资源、信息流动的控制能力非常强。然而,许多创新主体的中间中心度为零,使得产学研合作创新网络松散,大部分创新主体对网络中信息、资源的流动没有控制力。

发展阶段,浙江大学与其他创新主体合作共计97次,浙江工业大学与其他创新主体合作共计21次。且高校在合作次数排名前十的创新主体中占比60%,且合作次数排名前五的创新主体均为高校,这说明高校参与该阶段网络的数量虽比企业数量少得多,但高校在该阶段网络中处于较为核心的地位。另一方面,网络最大行动者的中间中心度达到了

10001,平均值为95.22,远大于萌芽阶段的6.26,这说明该阶段网络较前一阶段网络中的权力和地位分配较萌芽阶段均匀,但未能从根本上改变少数创新主体在网络中拥有较多资源,而绝大部分创新主体只拥有较少资源这一现状。

稳定阶段,浙江大学与其他创新主体合作共计137次,浙江工业大学与其他创新主体合作共29次,且在合作次数排名前列(合作次数>5次)的创新主体中高校占比72.73%,表明高校处于网络核心位置的状况没有改变。此外,稳定阶段网络最大行动者的中间中心度达到了32848.28,平均值为206.65,远大于前两阶段,说明稳定阶段创新网络日益趋于成熟,以高校为主导的网络模式得到固化。该网络模式与浙江企业的所有制结构有关,浙江省以民营企业为主。相较于对企业文化及品牌建设、企业资源配置效率等问题的重视程度,民营企业对技术创新的关注较少^[34-35],这是导致浙江省 ICT 产业产学研网络形成了以高校为主导的网络的一个主要原因。众所周知,浙江省只有浙江大学一所“985工程”建设高校,这也是形成浙江大学在该网络中一家独大的重要原因。

总的来说,该网络平均度数中心度和平均中间中心度随时间逐渐增大,而平均接近中心度随时间

表9 浙江省 ICT 产业不同时间段网络的度数中心度指标

	最小度数中心度	最大度数中心度	平均度数中心度
萌芽阶段	1	26	1.51
发展阶段	1	97	1.68
稳定阶段	1	137	1.75

表8 浙江省 ICT 产业产学研网络基本情况

	合作创新次数	节点数	平均度	密度
萌芽阶段	46	61	1.51	0.0251
发展阶段	194	231	1.68	0.0073
稳定阶段	1147	478	1.75	0.0101

表10 浙江省 ICT 产业不同时间段网络的中间中心度指标

	最小中间中心度	最大中间中心度	平均中间中心度
萌芽阶段	0	350	6.26
发展阶段	0	10001	95.22
稳定阶段	0	32848.28	206.65

表 11 浙江省 ICT 产业不同时间段网络的接近中心度指标

	最小接近中心度	最大接近中心度	平均接近中心度
萌芽阶段	0.0128	1	0.41
发展阶段	0.0013	1	0.29
稳定阶段	0.0005	1	0.27

逐步减小,表明浙江省 ICT 产业创新网络中各创新主体之间的联系日益密切,且网络中的资源逐渐从由浙江大学一家把控,转换成由多主体共同主导。

2.3.3 不同阶段网络凝聚子群分析

本文通过 k -核方法将各时间段浙江省 ICT 产业产学研网络中的创新主体划分凝聚子群。由于发展阶段和稳定阶段所含创新主体较多,故本文选取所含节点大于三个的凝聚子群进行分析。

萌芽阶段形成 5 个凝聚子群,其中最重要的一个是以浙江大学为中心的凝聚子群,其他凝聚子群都处于该阶段网络边缘;发展阶段有 19 个凝聚子群,体现 ICT 网络该阶段正处于大量外界主体涌入网络的阶段;稳定阶段划分出 17 个凝聚子群,说明该阶段网络中创新主体之间的合作正在逐步增多,各个凝聚子群内各创新主体间的联系也日益紧密。此外,浙江省 ICT 产业产学研网络逐步形成了以浙江大学、浙江工业大学、浙江理工大学、国网浙江省电力公司、国网浙江省电力公司电力科学研究院 5 个创新主体为中心位置的网络结构,且该网络结构逐步趋于稳定。

2.4 网络结构对创新绩效的影响

随着研究的深入,产学研合作创新网络的网络结构逐渐成为影响创新能力的关键因素^[36],故本文基于国家知识产权局 2006—2017 年 12 年的合作专利数据,以三年时间窗口构建产学研合作创新网络,来探究 ICT 产业合作创新网络的网络结构对创新绩效的影响。

2.4.1 影响分析的变量选择

本文以三年时间窗口构建产学研合作创新网络,并计算每个时间窗口的网络密度和网络中心性这两个网络结构指标,将其作为网络结构的代表性指标,探究网络结构对创新绩效的影响。此外,本文选取发明专利总量为因变量,网络密度、网络中心性为自变量,R&D 经费投入、R&D 人员投入、就业人员数为控制变量,以下是变量的具体选取方法。

1) 因变量

发明专利总量(件):发明专利指对产品、方法或者其改进所提出的新的技术方案,有别于实用新型专利和外观设计专利。由于本文在合作发明专利的基础上构建网络指标,且网络结构对创新绩效的作

用本身就具有滞后性^[14],故本文选取滞后一期的发明专利总量为因变量,记为 $TP(-1)$ 。

2) 自变量

网络密度:网络密度测量的是整个合作创新网络中实际存在的关系数与理论上应该存在的关系数之比,记为 D 。

网络中心性:代表了合作创新网络整体上的中心趋势程度,即为所有创新主体中心性的平均值。由于本文着重于关注交往活动^[37],故采用度数中心性的平均值来表示,记为 DC 。

3) 控制变量

R&D 经费投入:代表研发活动的资本投入。本文采用浙江省科技统计年鉴高技术产业部分的 ICT 产业每年投入的研发经费指标来衡量,并用 JF_i 表示第 i 年的 R&D 经费投入。

R&D 人员投入:代表研发活动的人员投入。本文采用浙江省科技统计年鉴高技术产业部分的 ICT 产业每年统计的研发人员总数来衡量,用 RY_i 表示第 i 年的 R&D 人员投入。

就业人员数:代表在从事劳动并取得劳动报酬或经营收入的全部劳动力。本文采用浙江省科技统计年鉴高技术产业部分的 ICT 产业每年统计的就业人员总数指标来衡量,用 EMP_i 表示第 i 年的就业人员数。

2.4.2 变量相关性检验

本文首先将因变量(发明专利总量)、自变量(ICT 产业产学研合作创新网络的网络密度、ICT 产业产学研合作创新网络的网络中心性)和控制变量(R&D 经费投入、R&D 人员投入、就业人员数)进行相关性检验,如表 12 所示。

表 12 变量相关性检验

	$TP(-1)$	D	DC	JF	RY	EMP
$TP(-1)$	1.0000					
D	-0.8281	1.0000				
DC	0.2925	-0.2887	1.0000			
JF	0.8782	-0.9686	0.4745	1.0000		
RY	0.7024	-0.8592	0.5240	0.9093	1.0000	
EMP	0.7749	-0.7568	0.6681	0.8671	0.7107	1.0000

由相关性检验可以看出,网络密度、R&D 经费投入、R&D 人员投入、就业人员数对创新绩效都有明显的相关性,其中,网络密度和 R&D 经费投入总数与创新绩效的联系较为密切。

2.4.3 标准化逐步回归参数估计结果

为消除量纲影响,本文将所有变量进行标准化处理。由于变量之间存在较强的相关性,本文选择逐步回归方法探究产学研合作创新网络的网络结构

对创新绩效的影响,表 13 是标准化逐步回归的参数估计结果。

由表 13 可知,网络密度对创新绩效存在正向促进作用,通过增加网络中创新主体之间的联系,让网络中的信息和知识得到快速有效的传播与分享,从而增加该网络的创新绩效;此外,产学研合作创新网络的网络中心性对创新绩效存在负向抑制作用,这说明增强网络的创新绩效,不应该只关注浙江大学这一核心创新主体在该网络中的发展壮大,而是应该着重于提升合作创新网络中各个创新主体之间的合作创新,使得合作创新网络均衡发展,从而增加该网络中信息和知识的多样性和全面性。综上所述,由网络密度和网络中心性所代表的 ICT 产业产学研合作创新网络的网络结构能影响滞后一期的创新绩效。

表 13 标准化逐步回归参数估计结果

TP	Coef.	Std. Err.	t	P> t
D	3.1567	0.3669	8.60	0.001
DC	-0.4068	0.0907	-4.48	0.011
JF	5.9964	0.5824	10.30	0.001
RY	-1.1551	0.1722	-6.71	0.003
EMP	-0.9427	0.1891	-4.98	0.008

3 研究结论与启示

3.1 结论

3.1.1 浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络呈核心-边缘化结构

浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络具有核心-边缘化结构。分为以浙江大学、浙江工业大学、浙江理工大学、国网浙江省电力公司、国网浙江省电力公司电力科学研究院 5 个创新主体为中心的核心区域,和以浙江理工大学为代表的,围绕在核心区域周围的创新主体组成的边缘区域。在该网络中,尤其以浙江大学为中心的凝聚子群在该创新网络中占据重要地位,这五个创新主体所形成的区域内各创新主体联系都较为稳定和频繁,往往能产生大量的合作创新,同时吸引外部个体参与的能力也较为强劲。而边缘区域的个体与核心区域的个体相互依存,其发展方向不能自主决定,往往取决于核心区域的发展。政府应增加对中心区域的创新投资并加强对其合作创新的支持力度,在巩固已有合作创新的基础上,尽可能快速地扩大与每一个中心所联系的关联圈。

3.1.2 浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络具有二步式螺旋式上升的演化特征

萌芽阶段,合作创新网络初步形成,网络密度非

常稀疏,网络包含的创新主体数量和创新主体间的合作频次都非常少。发展阶段,网络密度较前一阶段呈下降趋势,该阶段浙江省 ICT 产业以吸引大量外部创新主体加入为手段,通过扩大网络规模来扩大该网络的覆盖范围和影响力。创新主体数量的迅速增加,而网络中各创新主体之间的合作频次却没有相应地提升,导致网络密度骤降。稳定阶段,网络密度较前一阶段有所回升,因为该阶段在已有的网络基础上,更注重网络中创新主体合作频次的提升,使得网络中创新主体间的合作更为密切。

综上所述,浙江省 ICT 产业的合作创新网络演化特征呈二步式螺旋式上升。首先,合作创新网络以吸引外部创新主体加入为手段,通过扩大网络规模来扩大该网络的覆盖范围,从而增强其影响力;其次,基于网络中所涵盖一定量的创新主体,以提升网络中创新主体合作次数和深度来增强网络粘性,从而增强其影响力。

3.1.3 网络密度对创新绩效存在促进作用,网络中心性对创新绩效存在抑制作用

通过对 ICT 产业产学研合作创新网络的网络结构与创新绩效的实证分析,本文得出 ICT 产业产学研合作创新网络的网络密度对创新绩效存在正向促进作用,而 ICT 产业产学研合作创新网络的网络中心性对创新绩效存在负向抑制作用。

一方面,可以通过提升合作创新网络的网络密度来增加创新绩效的产生。ICT 产业产学研合作创新网络应该加强各个创新主体之间的合作,增加网络中信息和知识的快速传播与共享,从而加速该网络中合作创新的产生;另一方面,可以通过降低网络中心性来增加该网络创造的创新绩效。ICT 产业产学研合作创新网络中的创新主体不应出现一家独大的现象,应鼓励浙江大学起到合作创新的带头作用,带动该网络中的其他创新主体间的合作创新,达到网络的均衡发展,从而丰富合作创新网络中的信息和知识,提升网络中要素的复杂程度,使得网络中的资源更加多样化、全面化,让产学研合作创新网络得到进一步优化。

3.1.4 产学研合作创新网络对浙江省 ICT 产业的发展有推动作用

近 20 年来,浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络的整体网络密度都比较稀疏,网络中创新主体间已固化的合作创新较少,但就其平均度指标而言,该网络创新主体间的合作频率虽低但合作效率较高。这说明浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络发展先侧重于吸引外部企业进入,从而使创新主体数量增多,扩大网络整体规模,再侧重于增强创新主

体间的网络合作次数,从而稳定网络结构。

鉴于浙江省的高校分布情况,浙江省内只有浙江大学这一所全程(“985”工程和“211”工程建设高校),因此在浙江省 ICT 产业不同时段不同领域的网络中,浙江大学这一高校都处于中心位置或接近中心的位置。随着时间的推移,浙江大学在浙江省 ICT 产业整体网络中所占据的中心位置逐渐稳定,此外,以浙江大学为中心的凝聚子群所容纳的创新主体日益增多,规模逐步扩大,且该凝聚子群结构逐渐趋于稳定。因此在浙江省 ICT 产业中,浙江大学占据首要位置。从不同行业领域来看,浙江省 ICT 产业不同行业领域的合作创新网络中浙江大学这一创新主体均处于首要地位,体现了浙江大学在 ICT 产业的各个方面都拥有不可小觑的控制能力。当然,各行业领域的合作创新网络也有各自的特征。电信领域,其网络规模较小,网络联系也较为稀疏,应引进外部优秀创新主体,以期扩大网络规模,提升网络覆盖范围;消费电子领域,其网络规模较大,创新主体间合作比较密切,应改善网络结构,逐步由高校主导型网络转化为企业主导型网络;计算机、办公机器领域是三者中最范围最广泛的网络,但其网络密度最低,故应着重于提升创新主体间的合作次数,从而使网络中各创新主体有机地组合在一起,相互学习,合作创新。

3.2 启示

浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络呈现以企业为主体的特征,但是从网络的重要节点上看,浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络逐渐形成了以浙江大学、浙江工业大学、浙江理工大学、国网浙江省电力公司、国网浙江省电力公司电力科学研究院 5 个创新主体为中心的创新网络,并非高霞、陈凯华^[27]中所描述的有明显以企业为主体的网络特征。浙江以民营中小企业居多,ICT 行业中缺少华为、中兴这样的大型著名企业,故诸多企业不在本文的研究范围。民营中小企业大多将焦点集中在企业文化和品牌的建立与维护^[38],企业各利益相关者的资源配置,以及企业与政府之间的关系上^[33-34],相比之下,关注民营企业开放式创新的较少。浙江省大部分民营企业具备了一定的发展实力,但仍未针对企业自身特征进行合理的战略定位,并没有将创新放在企业发展的首要位置^[39],导致浙江省民营企业专利申请不活跃。这也侧面体现了浙江省 ICT 产业发展较为落后,浙江需重视构建以企业为主体的产学研合作创新网络,抓住 ICT 产业发展机遇,完成创新网络从高校主导模式到企业主导模式的转变。

参考文献

- [1] WANG Y, CHEN J. Pharmaceutical R&D-high global standards and China's countermeasures[J]. Research and Development Management, 2001, 1(3): 6-10.
- [2] 王毅,陈劲. 制药业研究开发——全球高标准以及我国的对策[J]. 研究与发展管理, 2001, 1(3): 6-10.
- [3] CHEN Y T, RONG K, LAN X, et al. Collaborative innovation network in China's wind turbine manufacturing industry[J]. International Journal of Technology Management, 2014, 65(1): 262-299.
- [4] 吴慧,顾晓敏. 产学研合作创新绩效的社会网络分析[J]. 科学学研究, 2017, 35(10): 1578-1586.
- [5] 胡海鹏,袁永. 基于行业视角的北京产学研合作创新网络空间特征分析[J]. 科技管理研究, 2018, 38(24): 79-86.
- [6] D'AMORE R, IORIO R, LABORY S. Research collaboration networks in biotechnology: exploring the trade-off between institutional and geographic distances[J]. Industry and Innovation, 2013, 20(3): 261-276.
- [7] 李海超,袁文蓉. 我国 ICT 产业成长能力评价研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(6): 119-125.
- [8] 付苗,张雷勇,冯锋. 产业技术创新战略联盟组织模式研究——以 TD 产业技术创新战略联盟为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(1): 31-38.
- [9] 申俊喜. 创新产学研合作视角下我国战略性新兴产业发展对策研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2012, 33(2): 37-43.
- [10] 刘小斌,罗建强,韩玉启. 产学研协同的技术创新扩散模式研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2008, 29(12): 48-52.
- [11] 方炜,牛婷婷. 产学研项目利益相关方关系网络演化动力研究[J]. 科学学研究, 2017, 35(5): 746-753.
- [12] CANTNER U, GRAF H. The network of innovators in Jena: an application of social network analysis[J]. Research Policy, 2006, 35(4): 463-480.
- [13] 袁剑锋,许治,翟毓. 中国产学研合作网络权重结构特征及演化研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2017, 38(2): 115-126.
- [14] 高霞,其格其,高群婷. 知识转移效果的结构性指标对企业创新绩效的影响[J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(5): 89-100.
- [15] 曹洁琼. 产学研合作模式对企业创新绩效的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- [16] 吴慧,顾晓敏. 产学研合作创新绩效的社会网络分析[J]. 科学学研究, 2017, 35(10): 1578-1586.
- [17] FLEMING L, KING C, JUDA A I. Small worlds and regional innovation[J]. Organization Science, 2007, 18(6): 938-953.
- [18] ZHANG G P, LÜ X F, DUAN H B. How do prolific inventors impact firm innovation in ICT: implication from patent co-inventing network[J]. Technology Analysis and Strategic Management, 2014, 26(9): 1091-1110.
- [19] SCHILING M A, PHELPS C C. Interfirm collaboration networks: the impact of large-scale network structure on firm innovation[J]. Management Science, 2007, 53(7): 1091-1110.

- 1113-1126.
- [20] 王海军,陈劲,成佳. 基于模块化视角的 ICT 企业专利合作网络研究:华为案例[J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(7): 74-87.
- [21] 马涛,郭进利. 基于加权超图的产学研合作申请专利超网络——以上海 ICT 产业为例[J]. 系统工程, 2018, 36(1): 140-152.
- [22] 其格其,高霞,曹洁琼. 我国 ICT 产业产学研合作创新网络结构对企业创新绩效的影响[J]. 科研管理, 2016, 37(增刊 1): 110-115.
- [23] 高霞. 基于专利的我国 ICT 产业产学研合作创新实证研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(增刊 2): 715-719.
- [24] CHESBROUGH H W. Open business models: how to thrive in the new innovation landscape[J]. Journal of Product Innovation Management, 2006, 17(4): 406-408.
- [25] ERNST H. Patent applications and subsequent changes of performance: evidence from time-series cross-section analyses on the firm level[J]. Research Policy, 2001, 30(1): 143-157.
- [26] OECD. Compendium of patent statistic[R]. Paris: OECD, 2010.
- [27] 高霞,陈凯华. 基于 SIPO 专利的产学研合作模式及其合作网络结构演化研究——以 ICT 产业为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37(11): 34-43.
- [28] 江诗松,李燕萍,龚丽敏. 中国产学研联结的发展历程、模式演化和经验教训[J]. 自然辩证法研究, 2014, 30(4): 48-55.
- [29] 杨珉,张家玥,张达敏. 复杂网络拓扑结构的网络模型研究综述[J]. 通信技术, 2014, 47(12): 1354-1359.
- [30] 赵延东,肖为群. 论创新型国家的社会结构基础——为创新积累社会资本[J]. 科学学研究, 2009, 27: 127-132.
- [31] 洪伟. 区域校企专利合作创新模式的变化——基于社会网络方法的分析[J]. 科学学研究, 2010, 28(1): 40-46.
- [32] 胡艳,时浩楠. 长三角城市群城市创新的空间关联分析——基于社会网络分析方法[J]. 上海经济研究, 2017(4): 87-97.
- [33] 刘军. 整体网络分析——UCINET 软件实用指南(第二版)[M]. 上海:格致出版社, 2014:19, 130, 154-240.
- [34] 邓建平,陈爱华,饶妙. 金融关联与高管薪酬业绩敏感性——基于我国民营企业的实证研究[J]. 财贸研究, 2018(10): 98-110.
- [35] 白红丽,程恩富. 我国民营企业员工分享选择的实证分析[J]. 东南学术, 2018(6): 110-117.
- [36] 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.
- [37] FREEMAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues[J]. Research Policy, 1991, 20(5): 499-514.
- [38] 王丹丹. 服务企业品牌忠诚的形成路径分析——对如家、浙商银行和小南国的纵向案例研究[J]. 管理评论, 2018, 30(6): 90-123.
- [39] 许琦晨. 对外直接投资对浙江省制造业跨国企业生产率的影响研究[D]. 杭州:浙江大学, 2018.

The Dynamic Evolution of ICT Industry-University-Research Collaboration Innovation Network of Zhejiang Province

Chen Yufen, Yao Tianjiao, Hu Sihui

(School of Statistics and Mathematics, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Promoting the innovation and development of the ICT industry is one of the most important measures for the “No. 1 Project” of the digital economy in Zhejiang Province. This paper uses social network analysis methods to quantitatively analyze the characteristics of the cooperative innovation network and its impact on innovation performance from different stages and different industrial fields. The research shows that the collaborative innovation network of ICT industry in Zhejiang province is a core-periphery structure with a two-step spiral rising evolution characteristics; Density has a positive effect on innovation performance, and centrality has an inhibitory effect on it; and the collaborative innovation network can promote the development of ICT industry in Zhejiang Province.

Keywords: social network analysis; industry-university-research; collaborative innovation network; patent analysis