

中国装备制造业产学研合作创新网络初探

王秋玉¹, 曾 刚¹, 吕国庆^{1,2}

(1. 华东师范大学中国现代城市研究中心, 上海 200062; 2. 吉森大学经济地理系, 德国 吉森 D-35390)

摘要: 产学研合作是区域创新的主要途径和重要来源。以中国装备制造产业为例, 基于中国知识产权局 1985-2012 年间的合作发明专利数据, 借助 SPSS、UCINET、ArcGIS 等定量分析工具, 对中国装备制造产业合作网络的创新主体结构、空间结构及其演变、创新合作的空间尺度的影响因素进行了分析。研究发现, 民营企业、高校在中国装备制造产业创新网络中的地位不断上升、数量不断增加, 且已经成为重要的创新源泉; 市域空间合作成为发达地区城市产学研创新合作最重要的空间单元, 国家空间是欠发达地区城市产学研创新合作的主要空间载体; 理工科高校等科技资源的空间集聚态势是导致创新网络层级特征的主要因子, 科技资源富集的行政中心如直辖市、省会城市等发达城市成为最重要的资源集聚地、创新源泉和创新合作对象。

关键词: 装备制造业; 产学研合作创新网络; 空间尺度; 科技资源; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201602006

1 引言

知识、网络、空间关系是经济地理学关注的热点词汇, 不少学者从产业集群与多维邻近性、跨国社区与技术守门员、全球网络与本地联系以及知识的类型与流动等侧面, 对创新及其网络特征进行了论述^[1]。随着全球化的不断深化, 创新对提升区域经济竞争力具有越来越重要的作用, 本地与全球两个空间尺度创新要素、网络之间的关系成为地理学者关注的科学问题^[2-4]。Scott、Cooke 等新区主义论者指出, 产业区、产业集群、创新型区域等经济活动空间形态受区域社会、政治和文化背景影响, 具有特定的地方网络范式^[5-6]; Coe 等全球生产网络论者指出, 地方性对创新具有阻滞效应, 只有通过外部进行知识传递、合作与学习, 才能促进创新的产生^[7-11]; 而 Bathelt 等关系经济论者则指出, 只有通过全球生产网络与地方网络互动^[12-13]、本地蜂鸣—全球通道的互通^[14], 才能推进持续高效的创新。然而, 驱动装备制造业合作网络创新的力量究竟来自于国外, 还是来自于本地是学术界尚待回答的问题。

此外, 现有研究成果主要分析了发达国家创新合作网络的特征与机理, 对发展中国家关注不足^[15]。2011 年中国装备制造业产值为 27.66 万亿元, 占全国工业总产值的比重高达 32.76%, 2013 年占全球装备制造业总值的比重超过 1/3, 位居世界首位。而中国的创新政策、创新主体等与德、美等发达国家存在着较大的不同, 中国装备制造业合作创新网络与欧美相比究竟有何特点? 内部作用机理有何异同? 同时, 改革开放 30 多年来, 大

收稿日期: 2015-06-02; 修订日期: 2015-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371147); 德国科学基金项目(LI981/8-1A0BJ: 595493) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41371147; German Science Foundation, No.595493]

作者简介: 王秋玉(1989-), 女, 河南周口人, 博士, 主要研究方向为区域创新与产业集群。E-mail: qiuzhiyu825@126.com

通讯作者: 曾刚(1961-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 主要从事产业集群与区域创新、生态文明与区域发展模式研究。E-mail: gzeng@re.ecnu.edu.cn

量外资、廉价劳动力和土地促进了中国的快速工业化。然而,由于劳动力、土地成本的大幅上升、资源环境约束逐渐显现,低成本的工业化难以为继,2015年3月13日中共中央、国务院适时发布了《关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》,更加重视产学研一体化和自主创新能力建设。作为提供技术装备的战略性产业,装备制造业创新水平的提高不仅对自身效率具有积极的影响,还能通过技术扩散,促进整个产业体系效率的提升。因此,归纳中国装备制造业的产学研创新网络特征、明确创新主体、摸清创新网络空间演化规律、确定主要影响因子及其作用机理十分重要。本文拟围绕这些问题开展研究,意在抛砖引玉。

2 文献综述

2.1 合作网络的创新主体

资源基础理论指出,企业是受到行政管理框架协调、有一定边界的资源集合体,内部资源以及知识和能力的积累是企业保持竞争优势的关键,而企业竞争优势在于其生产产品的异质性资源而非最终产品^[16-17]。但当企业在竞争中处于劣势时,需要通过不断向外合作获取新的核心资源,合作伙伴可以通过分担成本、共担风险和提供互补资源帮助企业提高竞争力^[18]。也就是说,合作创新是企业获得知识、弥补创新资源不足的有效途径。而社会网络结构对于信息和创新的扩散、技术和知识的交流非常重要^[19-20]。Jensen等则认为,企业与高校、研究机构等知识生产机构之间建立的基于R&D投资和人力资本的正式合作关系是创新的主要方式^[21]。Fitjar等进一步指出,与高校等研发机构合作产生的知识能够以编码化的形式进行传播,可以跨越更大的空间尺度,是企业创新的重要方式,而与供应商和竞争者的合作易受地理距离和认知距离的局限,有可能产生技术锁定,对创新的影响并不明显^[22-23]。在产学研创新网络中,科研机构肩负着创造、扩散知识与创新的任务,是本地和非本地知识溢出的关键来源,作为知识和技术网络的节点,是人才的集中地;企业作为知识溢出的主要受益者,接收网络中其他成员外溢的知识,通过实现创新产出带动整个网络创新能力的提高。对于知识密集型企业来说,大学和研究院所的集中分布地区无疑具有明显的区位优势^[24-26]。装备制造企业合作的动力往往来源于解决特定问题的需要,产品定制促进了供应商和用户之间的创新合作,企业与高校及研究院所的合作则是更高层级的合作创新,多涉及到新技术的首次产业化,能够提高整个产业的创新能力^[27-28]。

在创新网络中,不同国家创新主体并不完全相同。就装备制造业而言,美国装备制造业的创新主体是大型跨国公司;德国虽有西门子、博世等世界级巨头,但被称为“隐形冠军”的中小企业才是创新的主体。在一些专业机械领域,小型企业在世界市场的份额往往占有绝对优势地位^[29]。而关于中国装备制造业创新主体的问题,学者的认识各不相同。胡云飞等认为,中国国有大中型企业在参与市场竞争的同时还要承担一定的社会责任,企业缺乏适应市场进行改组、改制的动力和压力,创新主体是非国有的大型企业^[29];叶琴则指出,大型企业拥有较强的研发实力和声望,成为高校和科研机构最重要的合作伙伴,是创新的主体^[20];吕国庆等则认为产学研创新网络中中心度较高的成员多为高校^[30]。因此,需要进一步明晰中国装备制造业产学研合作创新网络的主体构成及其演变过程^[28]。

2.2 创新合作的空间尺度

产业集聚可以促进区域内企业、高校以及科研机构的合作,共同的社会、文化、制度背景可以增强相互信任,有利于当地创新网络的形成^[31]。但随着经济全球化的深入,商

品和技术得以跨越区域、国家和文化边界进行交换^[32],跨国公司为降低成本和开拓新市场在世界各地建立分支机构,将全球各地的产业集聚区连接起来,形成了跨界合作网络^[33]。

20世纪80年代以来,Scott等开始关注产业集群对技术创新和区域经济发展的重要推动作用,强调内生性因素、内部根植性、制度厚度对创新的决定性作用^[5],认为产业集群的竞争优势来自于本地知识流动、劳动力市场等外部效应^[34-36]。Ibrahim指出,地方知识资源和知识溢出是美国通信集群竞争力的主要来源^[37];而Dicken等学者则指出,局限于区域内部的创新合作会导致区域锁定,企业获取外界知识的能力以及当地与外界知识节点建立联系的能力才是决定产业集群能否持续创新的重要因素^[2]。Lucas等分析了加拿大6个区域的ICT产业后指出,产业集群的外部联系比内部联系更加重要,产业集群内公司的竞争力来自于全球通道的构建^[38];Huber认为英国剑桥信息技术集群竞争力并不是来自于本地知识溢出,而与国际人才汇集和剑桥品牌的全球影响力有关系^[39]。

Bathelt等则认为,通过跨国公司的本地化和本地企业的国际化,集群才能得到更好的发展,本地结网、跨区域联系是合作创新的关键^[40]。Sonderegger等指出,在不同发展阶段、不同空间尺度,产业集群创新合作方式不同,全球通道在产业集群演化的始末都具有重要作用,在产业集群发展的后期本地蜂鸣的作用更强^[41]。李二玲等对河南钢卷尺产业集群网络的形成和演化分析后指出,本地创新网络重要性随集群的发展有所降低,而全球供应链网络重要性则不断提升^[42]。张云伟对上海集成电路产业集群演化研究后发现,创新主要驱动要素逐渐由全球通道转向本地蜂鸣^[33]。

Asheim等认为,装备制造产业创新以综合性知识为基础,具有较强的空间情境性,重视面对面交流,地理邻近至关重要^[43]。回首改革开放以来的发展历程,中国装备制造业规模不断扩大、技术水平不断提高。然而,全球本地互动中哪一个空间尺度才是影响中国装备制造业合作创新的空间载体?不同发展阶段,合作创新空间载体一成不变吗?

2.3 创新网络的演化动力

地理邻近性、社会邻近性、认知邻近性是影响创新网络演化的重要因素^[4, 44-45]。地理邻近性促进了区内各种社会关系的形成,为具有相似特征的行为主体间知识流动创造了良好条件。20世纪初期,英国经济学家马歇尔指出,空间集聚产生的外部规模经济促进了企业间的知识外溢,“产业氛围”有利于产业区内企业的互动与知识共享;1986年,来自法国、意大利、瑞士等国的区域科学研究者组成的GREMI小组指出,地理集聚促进了企业的集体行动,而集体行动反过来又加快了企业间知识流动^[45];Hoekman等对欧洲知识生产网络分析后发现,地理邻近是节点形成知识网络的基础,也是知识网络演化的首要驱动因子^[46]。

社会邻近性有利于行为者之间信任感的建立,这种信任感会促进知识,特别是隐性知识的近距离与远距离的传递。企业在地理上的空间集聚为各种社会关系的形成提供了机会和可能,部分社会关系培育出信任关系,社会邻近开始发挥作用,成为企业获取网络外部知识的关键因素。Breschi等认为,人际社会网络是影响知识流动的重要原因^[47]。Owen-Smith等和Grabher分别对波士顿生物医药创新网络、伦敦Soho广告村和好莱坞电影娱乐产业进行实证研究后发现,网络创新绩效的提升不仅来源于本地互动,建立全球性战略伙伴也是影响网络绩效的主要途径^[48-49]。

认知邻近有利于相关企业采取集团行动、合作创新。Owen-Smith等强调技术守门员的“桥梁”作用,他们不仅能够寻找和吸收外部知识,还能为区域内部的企业处理和编译外部知识,有利于外部知识在区域内的扩散,但这也要求本地企业有足够认知能力接受这些知识^[48]。王秋玉等对东营石油装备业的研究则表明,本地认知能力相似的企业之

间存在着较多的合作创新关系^[50]。

创新是不同主体在不同空间尺度上联合开展科技研发与应用的过程,而建立合作网络是降低创新风险、提高创新绩效的重要方式之一。Glückler认为,区域创新网络演化受初始环境和后续事件的影响,同时也与网络主体所采取的战略有关^[51]。中国装备制造业创新网络的主体、互动合作机制、空间范围随时间的不同而有所差异,这正是本文着力研究的重点。

3 研究数据和方法

合作发明专利是指多个实体单位联合申请,并获得政府部门批准的发明专利,它能较好地刻画多个实体单位之间级别最高的科技创新合作水平。Hagedoorn等对影响创新的因子进行比较分析后指出,合作发明专利是探讨知识共享和创新合作最直接、最有效的方式^[52];Griliches和Suarez-Villa认为专利信息可以很好地表征创新产出和创新合作情况^[53-54];Huallachain等指出,联合申请发明专利正越来越多地作为关系数据被应用于科学研究,可以反映网络中相关节点基于创新活动所进行的合作^[55]。本文的合作发明专利数据来源于中国国家知识产权局专利检索与服务系统中的重点产业专利信息服务平台,并借助SPSS、UCINET、ArcGIS等定量分析工具对其进行计算分析。

3.1 研究数据

中国国家知识产权局(SIPO)建立于1985年,其数据库中的专利分为发明专利、实用新型和外观设计。与实用新型和外观设计专利相比,发明专利的科技创新水平较高,原创色彩浓厚^[56]。因此,本文的研究数据主要来源于国家知识产权局专利检索与服务系统中的重点产业专利信息服务平台(<http://www.chinaip.com.cn/>)提供的装备制造业合作发明专利数据。

由于在SIPO申请专利到获得批准需要18个月的时间,考虑到数据的完整性,研究区间设置为1985-2012年。研究的专利数据库中每一个专利至少有两个合作者。数据的筛选处理通过以下4个步骤进行:①每一个专利的合作发明者中,至少包括一个位于中国大陆的企业和一所大陆高校或研究所;②聚焦于不同主体之间的合作关系,删除了子公司与母公司之间、同一系统不同单位之间的合作专利;③满足前两个条件的专利总数为19046个。将这些专利的主体分为国有企业、民营企业、高校、研究所和中外合资企业5种类型。创新主体的基本信息来自注册记录,并通过网站查询进行二次确认;④在地理空间分析中,每一个主体归属于一个城市,市内合作是指与位于同一个城市内多主体之间的合作,省内合作是指发生在城市之外、本省之内的合作,国内合作是指发生在本省之外、本国之内的合作;北京、上海、天津和重庆是中国的4个直辖市,直辖市内的创新合作划入市内合作。

3.2 变量选取

回归分析:可以展示解释变量与被解释变量之间的相互关系和影响程度。笔者用回归分析方法厘清影响企业合作空间尺度的因素及其作用机制。

自变量:企业与其他主体合作发明专利的空间尺度。以企业所在城市为基准,笔者将市内、省内、国内作为自变量,1代表在该尺度内发生过一次创新合作,每个尺度用创新合作的总次数进行衡量。

企业特征:企业特征影响其创新决策、创新合作伙伴选择、创新合作方式和绩效表现^[57]。Balland等在2013年指出,企业在观察年份内参与合作创新的次数可以表示企业的

创新活跃程度和创新能级^[58]。

合作伙伴:企业是创新的主体,企业创新合作伙伴包括高校、研究所、国有企业、民营企业与合资企业,笔者用合作发明的专利数量来衡量企业与该类型主体的合作情况。

创新环境:由欧洲区域经济研究学派提出,是指区内创新主体、集体效率以及创新行为所产生的协同作用。国内知名创新研究专家、上海交通大学罗守贵教授等学者指出,人均GDP、高校数量、R&D占本地GDP比重等指标是衡量区域创新环境质量的重要指标^[59]。相关数据来源于《中国城市统计年鉴2013》、《中国科技统计年鉴2013》。

创新层级:中国高校、研究所等创新资源空间分布极不平衡^[60],对所在地企业创新活动的影响也很不相同。将参与合作发明专利数排名前30位的城市,按其重要程度分为直辖市、省会城市和重要城市,用来表征企业的合作空间尺度特征。

4 产学研合作创新网络的结构分析

1984年之前,中国没有建立系统的专利制度,仅出台了一些单一的发明和技术改进奖励政策措施^[61]。1984年在借鉴国外特别是德国经验的基础上,中国颁布了第一部专利法。从1985年开始,根据中国装备制造业产学研合作创新网络发展情况,可以分为以下3个阶段:第一阶段为起步阶段(1985-2000年)。1985年中国开始受理专利申请,并于1992年对专利法进行了第一次修订,加强了对专利申请人权益的保护。在此阶段,申请专利单位少,国有企业占申请单位总数的比重达46.07%,参与合作发明了79.35%的专利,居于绝对的垄断地位。专利批准总量小,年均增长仅为10%;第二阶段为稳步增长阶段(2001-2006年)。2000年8月25日,第九届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议通过了《关于修改<中华人民共和国专利法>的决定》,赋予了非国有企业与全民所有制、集体所有制企业同等的地位,以呼应中国改革并与国际接轨,为2001年中国加入世贸组织做准备^[62]。2001年,对中国高校专业设置进行了调整,加强了面向创新需求的高新技术类学科专业和应用型学科专业建设,旨在为创新提供必需的工程技术人才。受其影响,非国有单位占申请单位总数的比重从2001年的37.59%上升到2006年的52.86%,非国有企业的发明专利批准数超过了国有企业专利批准数,国有企业不再是多个单位联合申报专利的主体。中国发明专利批准量呈现出逐渐上升的趋势,发明专利数从2001年的244项增加到2006年的968项,年均增长率提高到38.69%;第三阶段为快速增长阶段(2007年起)。2006年,全国科学技术大会提出要加强自主创新、全面建设创新型国家,教育部、国家发展改革委下达了《2006年全国普通高等教育招生计划的通知》,要求高校成为区域创新网络的主角。同年,国务院印发《关于加快振兴装备制造业的若干意见》,为中国装备制造业创新发展创造了良好的制度环境,中国吸收的外来投资从2007年的747.68亿美元增加到2012年的1117.16亿美元,R&D投入从3710.2亿元增加到10298.4亿元,发明专利数共增加了14089项^[63]。高校一跃成为多个单位联合申报发明专利的主体,在该阶段,高校参与发明了87.88%的专利(图1)。

4.1 创新主体演变

1985年以来,中国装备制造业产学研合作创新主体结构发生了较大变化,“国退民进”趋势明显(图2)。从主体结构来看,在第一阶段,研究所和国有企业的数量分别高于高校和民营企业;在第二和第三阶段,企业的比例逐渐增加,且民营企业成为最重要的创新主体,在第三阶段占比甚至高达一半以上;高校和研究所的占比逐渐降低,占比小于50%,研究所下降幅度更加明显。2000年之后国有企业和民营企业的比例一直超过

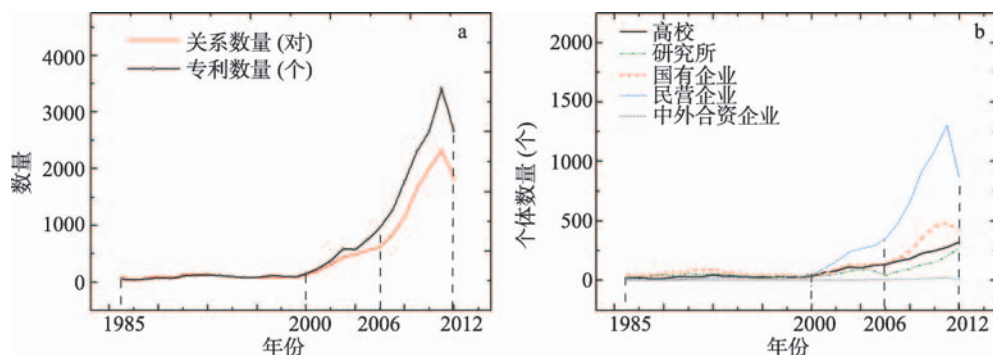


图1 1985-2012年中国装备制造产业产学研创新网络描述性统计分析

Fig. 1 Historical development of patents and inventors compositions in China, 1985-2012

50%，在2011年甚至高达78.44%，成为中国装备制造产业创新网络的主体，而合资企业的比例一直低于1%。

从创新主体合作网络演化情况来看（图3），在第一阶段，创新主体数量为1796个。根据其重要性排序，依次为国有企业、中科院部门以及位于北京和东北的高校，且均与钢铁、铝及化工等重工业相关。改革开放以来，为了促进科技的转移和扩散，中共中央、国务院启动了一系列改革计划，1987年将高科技企业从国有研究所和高校中剥离出来，北大方正脱离北京大学，清华紫光脱离清华大学，联想集团脱离中科院计算机研究所，1990年代进一步将中央各部委所属的242个应用型研究所直接划入相关国有企业^[63-64]，极大地提升了企业的自主创新能力，为发挥企业创新主体作用创造了良好的条件。

在第二阶段，创新主体数量增加到2276个。随着有关民营企业的种种障碍被清除，以及民营创新服务体系的建立，民营企业不仅成为很多产业的主导者，在创新方面也取得了巨大成功，研发投入和专利发明不断增加^[27]。装备工业网络中具有较强中心性的创新主体除了国有企业外，华为等少数民营企业也成为重要的创新主体。随着研究型院校的的建立以及企业研发对创新合作伙伴的需求不断提高，高校的地位不断提升，高校逐渐成为区域创新网络中的主角。但从地区分布来看，东北地区的东北大学、东北工学院的

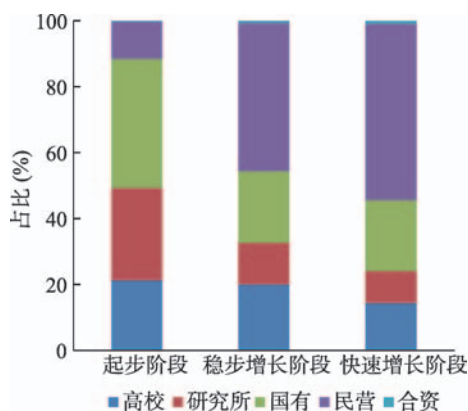


图2 1985-2012年中国装备制造产业产学研创新主体结构演变

Fig. 2 Historical changes of inventors compositions at three development stages in China, 1985-2012

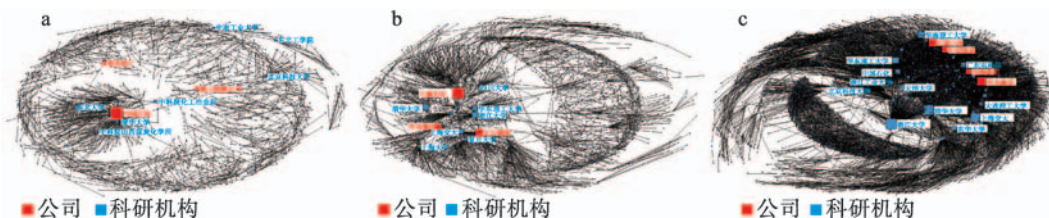


图3 中国装备制造产业产学研创新主体合作网络演化

Fig. 3 Historical evolution of co-inventor networks structures at three development stages in China

重要性下降, 而长江三角洲的复旦大学、浙江大学、上海交通大学重要性上升。

在第三阶段, 创新网络中主体数量高达7065个, 网络规模非常庞大, 创新主体之间合作密集。受惠于2006年的高校专业结构调整, 高校成为最重要的创新节点, 国有企业仅在矿产和能源等传统产业领域占据优势地位, 民营企业仍然受制于创新资本匮乏, 总体地位不高。

不同所有制企业选择合作对象的倾向性不同。大型国有企业受上级政府影响, 倾向于系统内的研究所合作, 而中小型民企则出于自身利益考量, 倾向于与高校合作^[65]。在国有企业和民营企业的创新合作网络中, 高校相对于研究所的重要性分别为3.98和4.58, 国有企业相对倾向于和研究所合作; 民营企业相对倾向于和高校合作(表1)。

4.2 创新主体合作的空间尺度

高科技园和经济开发区是中国企业融入创新网络的重要平台。由于装备制造业的特性, 导致其产学研创新网络呈现出独特的空间特征。下面将从市内、省内、国内、海外4个空间尺度出发, 对主体的创新合作空间网络进行分析。

不同时期主导的空间载体不完全相同。2000年之前, 市内、国内是最重要的合作空间, 省内合作较少发生, 海外合作基本可以忽略不计; 2000年之后, 按对创新合作的影响力大小排序, 依次为市内、国内、省内和海外(图4a)。此外, 创新合作的空间范围呈现先扩展、后稳定的态势。2000年之前, 创新合作者之间的平均距离总体上处于不断攀升状态; 2000年之后, 创新合作距离趋于稳定, 在426 km上下轻微浮动(图4b)。

不同创新主体偏向的空间载体不同。民营企业更倾向于与市内其他主体合作, 很少与省内其他主体开展合作; 而国有企业基于其强大实力, 更倾向于与国内其他主体进行创新合作; 很多高校研究经费来自于省级政府, 因而倾向于与省内企业开展合作; 而独立研究所基于距离衰减规律, 更偏向市内合作, 中科院以及中央部委、大型国企所属的研究所由于R&D资金主要来自中央, 更偏向于在国家层面上开展合作(图5)。

综上可知, 中国装备制造业产学研创新网络中, 不同空间尺度主导的创新主体各不相同, 同一创新主体在不同的空间尺度拥有不同的比较优势。R&D经费来源、主体的社会属性等在创新合作伙伴选择过程中发挥着重要作用。

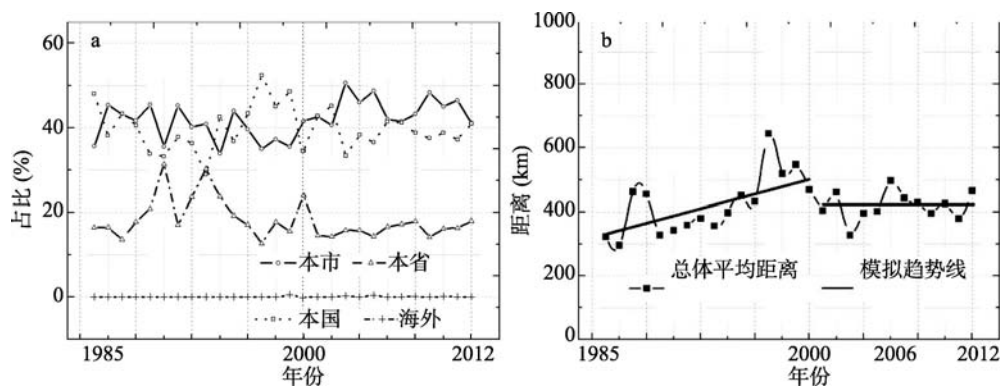


图4 1985-2012年创新合作空间结构和平均距离的时间演变

Fig. 4 Historical development of spatial structure and average geographical distance, 1985-2012

4.3 城市创新合作的空间结构

Andersson 等认为,中国国家创新系统根植于强势政府的土壤中,很多重要高校和研究机构位于首都北京以及上海、杭州、广州等直辖市和省会城市,行政中心城市也就成为创新合作主体的所在地^[66]。中国装备制造业产学研创新网络密度图显示,东部沿海城市在中国创新城市中具有引领地位^[67],北京始终处于创新网络的顶端,长三角和珠三角次之,上海、杭州、广州、南京等城市创新中心地位逐渐强化,“创新三角”态势初现(图 6b)。从发展演化来看,成渝城市群在装备制造业创新合作网络中的地位开始缓慢上升,“创新三角”有向“创新四边形”发展的趋势(图 6c)。

知识的外部性和流动性是创新合作的前提,不同创新主体相互作用形成的知识网络会提高创新源的创新能力,在空间上表现为城市创新网络。由于各个城市拥有的科研机构、R&D 投资能力、政策环境不完全相同,北京、上海创新条件最佳,广州、杭州等省会发达城市次之,其他城市较差,条件较差城市除了接受条件较好城市的知识、技术溢出之外,受创新成果的累积效应影响,还会主动寻求与条件较好的城市开展创新合作,借此提高自身创新能力,进而形成了以北京为中心的中国产学研创新网络层级式特征^[68-69]。

中国城市创新网络的层级特征鲜明。1986-2012 年期间,共有 323 个城市参与中国装备制造业的产学研创新合作,在发明专利数量上排名前 30 的城市所拥有的创新主体占创新主体总数的比例为 67.81%,占合作发明专利的比重高达 93.18%,是中国装备制造业创新的重要支点^[70](图 7a)。从空间分布来看,合作创新水平最高的前 30 名城市主要位于中国东部地区,北京、上海居于绝对优势地位。1986-2012 年,北京拥有 5311 个专利、1199 个创新主体;上海次之,拥有 3580 个专利、996 个创新主体;杭州、广州、南京、深圳紧跟其后(图 7a)。

在科学知识网络里具有结构洞位置的区域,不仅可以凭借网络中心性直接访问不同的知识库,还有能力通过不同渠道在区域内部传播知识进而促进学习,这些城市将信息

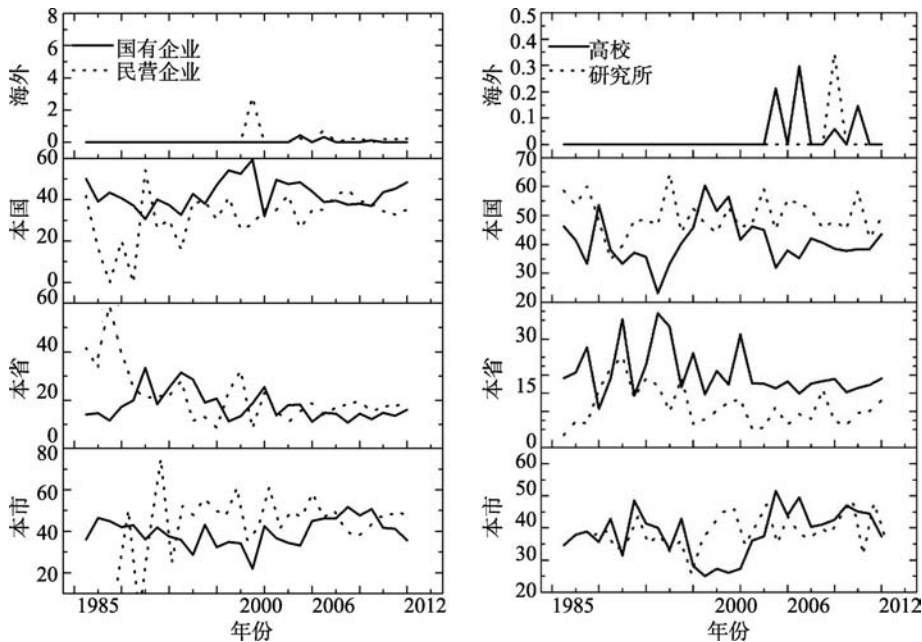


图5 不同主体创新空间尺度的对比

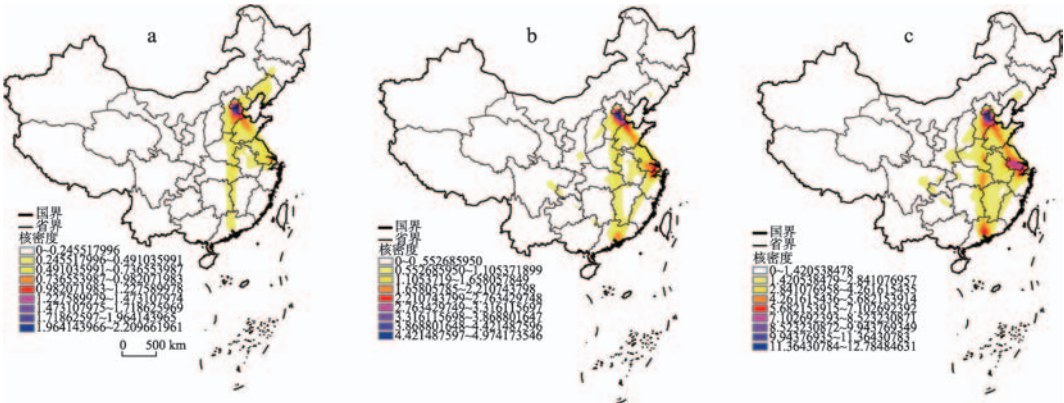
Fig. 5 Historical comparison of spatial structure between public sectors and firms

和知识转化为创新的能力较强，创新绩效更为显著。但是，缺乏有利网络位置的区域，获得最新知识的机会较少，学习能力较差，创新能级较低，创新收益少^[7]。从合作空间载体的结构来看，位居创新排名前30的城市偏向于市内、国内二个空间尺度的合作。而位居30名之外的城市则将国内视为最重要的合作载体，约占合作总数的一半左右，省内合作成为次优选择，市内合作所占比例很小（图7b）。

4.4 创新合作空间尺度的影响因子

创新合作空间尺度的影响因子与城市平均创新距离有关。运用最小二乘法，对中国装备制造业不同创新合作尺度的影响因子进行了多重模拟和计算，并对多重共线性、线性预测的非线性和重大异常值进行了分析，没有发现严重的异常情况，证明计算结果可信（表2）。多重模拟和计算表明，企业特征显著影响企业的创新空间载体，企业创新活跃程度在模型1中显著为正，在模型2中显著为负，说明创新能级较高的企业一般位于人力资源和科技资源丰富的城市，并倾向于与市内主体进行合作。

不同因子对不同水平城市创新合作的影响不同。在创新环境变量中，城市人均GDP



在模型1和模型3中显著为正,在模型2中显著为负,说明城市经济水平越高,企业倾向于在本市、国内二个空间载体开展创新合作;城市高校数量只在模型1中显著为正,说明了创新资源对企业具有很强的吸引力,高校越多,知识溢出随之也多,创新合作发生的频率也随之增加;R&D投入占GDP比重只在模型2中显著为正,说明省内R&D投入占GDP的比重越高,省政府对省内主体之间的创新合作引导力越强,对企业合作创新行为的影响就越大^[72]。Scherngell等指出,中国国家创新系统中行政壁垒现象突出^[73],各级政府的科技政策、R&D投资明显偏向行政区内的本地各主体之间的创新合作^[74]。

在主体构成中,高校、研究所、民营企业在3个模型中都显著正相关,并且在模型1中高校、研究所、民营的系数呈现从高到低的排列顺序,高校、研究所、民营企业都是创新主体,其重要性依次递减。此外,高校、研究所、国有企业、民营企业、合资企业等5类行为主体在模型1中都显著为正,说明了市内合作是其最重要的合作空间。

创新水平排名前30的城市性质不同,创新合作空间载体也不完全相同。位于不同区域的企业与不同类型城市的高校或研究所之间的合作,对于直辖市来说,在模型1和模型2中显著为负,在模型3中显著为正,说明北京、上海占据了创新网络的中心位置,对全国其他地区企业来此开展创新合作的吸引力强劲,区域外部的合作比例甚至高于内部合作;省会城市高校、研究所对省内企业的吸引力强度高于市内企业;重要城市在模型2中显著为正,在模型3中显著为负,说明重要城市的高校、研究所只能吸引省内企业前来进行创新合作,对省外企业的吸引力有限。与Andersson的分析结果基本一致^[66]。

5 结论和展望

5.1 结论

① 中国装备制造业创新核心主体经历了从国有企业、经民营企业,逐渐过渡到以高校为主的过程。高校和民营企业已经成为创新网络中重要的创新主体;② 市内是中国装备工业合作创新网络最重要的空间载体,城市创新资源多寡、地方政府的创新政策、R&D投入对创新合作网络建设具有重要影响;③ 1985年以来,中国装备制造业产学研合作创新网络先后经历了起步、稳步增长和快速增长3个阶段。从演变过程来看,创新主体的平均创新距离呈现先增加、后稳定,创新合作网络空间范畴呈现先扩张、后稳定的态势;④ 由于创新资源空间分布的不平衡,创新水平排名前30位的城市是中国装备制造创新合作网络的重要支点,以北京为中心的京津冀城市群、以上海为中心的长三角城市群、以广州为中心的珠三角城市群构成了中国“创新三角”。从发展趋势看,成渝城市群可能会加入创新支点系列,有望构成“创新四边形”。与美、德、日等发达国家的装备

表2 对不同创新合作尺度的回归分析

Tab. 2 Regression result of various innovation cooperation scales

创新空间		模型1 本市	模型2 本省	模型3 本国
企业特征	创新能级	0.083***	-0.068***	-0.001
	人均GDP	0.065***	-0.086***	0.046***
创新环境	高校数量	0.396***	-0.147***	-0.176***
	研发占比	-0.101***	0.244***	-0.191***
合作伙伴	高校	0.319***	0.612***	0.379***
	研究所	0.213***	0.299***	0.133***
	国有	0.116***	0.002	0.090***
	民营	0.210***	0.185***	0.081***
	合资	0.023*	0.010	0.001
城市的创新 层级	直辖市(4)	-0.042***	-0.109***	0.162***
	省会城市(14)	-0.077***	0.054***	0.008
	重要城市(12)	-0.006	0.029***	-0.034***
R^2		0.493	0.612	0.383
调整 R^2		0.492	0.611	0.382

注: ***: $P < 0.001$, **: $P < 0.01$, *: $P < 0.05$ 。

制造创新网络最重要的空间载体为国际、最重要的创新主体为企业不同, 中国最重要的空间载体为市内, 最重要的主体为高校。因此, 充分调动地方政府的积极性, 推进高校的创新改革对于提高装备工业网络的创新能力和绩效具有十分重要的作用。

5.2 展望

展望未来, 如何科学、准确地刻画中国装备制造业创新合作网络与欧美国家之间、装备制造业创新合作网络与其他制造业创新合作网络之间的异同, 如何挖掘中国装备制造业创新合作网络发展演化过程蕴藏的经济地理学理论基础和科学规律, 值得继续深化相关研究。

参考文献(References)

- [1] Bathelt H, Glückler J. The Relational Economy: Geographies of Knowing and Learning. Oxford University Press, 2011: 273-275.
- [2] Dicken P. Geographers and 'Globalization': (Yet) another missed boat? Transactions of the institute of British Geographers, 2004, 29(1): 5-26.
- [3] Bunnell T G, Coe N M. Spaces and scales of innovation. Progress in Human Geography, 2001, 25(4): 569-589.
- [4] Boschma R. Proximity and innovation: A critical assessment. Regional Studies, 2005, 39(1): 61-74.
- [5] Scott A J. A new map of Hollywood: The production and distribution of American motion pictures. Regional Studies, 2002, 36(9): 957-975.
- [6] Cooke P. The new wave of regional innovation networks: Analysis, characteristics and strategy. Small Business Economics, 1996, 8(2): 159-71.
- [7] Coe N M, Dicken P, Hess M. Global production networks: Realizing the potential. Social Science Electronic Publishing, 2008, 8(3): 271-295.
- [8] Coe N M, Henderson J. Globalizing regional development: A global production networks perspective. Transactions of the Institute of British Geographers, 2004, 29(4): 468-484.
- [9] Sturgeon T, Gereffi G, Humphrey J. The governance of global value chains. Review of International Political Economy, 2008, 12(1): 26.
- [10] Gereffi G, Humphrey J. The governance of global value chains: An analytical framework. Review of International Political, 2003, 12(1): 78-104.
- [11] Huggins R, Izushi H, Clifton N, et al. Sourcing knowledge for innovation the international dimension. Sourcing knowledge for innovation The international dimension-ResearchGate, 2010.
- [12] Bathelt H, Glückler J. Toward a relational economic geography. Journal of Economic Geography, 2003(2): 117-144.
- [13] Yeung H. Rethinking relational economic geography. Transactions of the Institute of British Geographers, 2005, 30(1): 37-51.
- [14] Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. Progress in Human Geography, 2005, 28(1): 31-56.
- [15] Bathelt H, Zeng G. Strong growth in weakly-developed networks: Producer-user interaction and knowledge brokers in the greater Shanghai chemical industry. Applied Geography, 2012, 32(1): 158-170.
- [16] Penrose E. The theory of growth of the firm. General Information, 1959, 29(96): 596.
- [17] Wernerfelt B. A resource-based view of the firm. Strategic Management Journal, 1984, 5(2): 171-180.
- [18] Luo Wei, Tang Yuanhu. The reason and motives for firms to participate in cooperative innovation. Studies in Science of Science, 2001, 19(3): 91-95. [罗伟, 唐元虎. 企业合作创新的原因与动机. 科学学研究, 2001, 19(3): 91-95.]
- [19] Asheim B, Coenen L, Vang J. Face-to-face, buzz, and knowledge bases: Sociospatial implications for learning, innovation, and innovation policy. Environment and Planning C Government and Policy, 2007, 25(5): 655-670.
- [20] Ye Qin. The choice of innovation partner in different firm's scale: An empirical analysis of Chinese equipment manufacturing enterprises [D]. Shanghai: East China Normal University, 2014. [叶琴. 不同规模企业合作创新伙伴选择研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.]
- [21] Jensen M, Johnson B, Lorenz E, et al. Forms of knowledge and modes of innovation. General Information, 2007, 36(5): 680-693.
- [22] Fitjar R D. Firm collaboration and modes of innovation in Norway. Research Policy, 2013, 42(1): 128-138.

- [23] Chen Wei, Zhang Yongchao, Tian Shihai. Empirical research on innovation networks consisting of Industry-University-Research Institute in regional equipment manufacturing industry: A perspective of network structure and network cluster. *China Soft Science*, 2012(2): 96-107. [陈伟, 张永超, 田世海. 区域装备制造业产学研合作创新网络的实证研究: 基于网络结构和网络聚类的视角. *中国软科学*, 2012(2): 96-107.]
- [24] Liu Yanhua, Li Xiubin. Geography in the research of national innovation systems. *Geographical Research*, 1998, 17(3): 2-5. [刘燕华, 李秀彬. 国家创新系统研究中地理学的视角. *地理研究*, 1998, 17(3): 2-5.]
- [25] Ponds R, Van Oort F, Frenken K. The geographical and institutional proximity of research collaboration. *Papers in Regional Science*, 2007, 86(3): 423-443.
- [26] Abramovsky L, Harrison R, Simpson H. University research and the location of business R&D. *Social Science Electronic Publishing*, 2007, 117(519): C114-C141.
- [27] Asheim B, Moodysson J, Coenen L. Explaining spatial patterns of innovation: Analytical and synthetic modes of knowledge creation in the Medicon Valley life-science cluster. *Environment and Planning A*, 2008, 40(5): 1040-1056.
- [28] Liefner I, Hennemann S, Xin L. Cooperation in the innovation process in developing countries: Empirical evidence from Zhongguancun, Beijing. *Environment and Planning A*, 2006, 38(1): 111-130.
- [29] Hu Yunfei. A comparative study of Chinese and German's equipment manufacturing industry [D]. Nanjing: Southeast University, 2010. [胡云飞. 中德装备制造业比较研究[D]. 南京: 东南大学, 2010.]
- [30] Lyu Guoqing, Zeng Gang, Guo Jinlong. Innovation network system of Industry- University- Research Institute of equipment manufacturing industry in the Changjiang River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(9): 1051-1059. [吕国庆, 曾刚, 郭金龙. 长三角装备制造业产学研创新网络体系的演化分析. *地理科学*, 2014, 24(9): 1051-1059.]
- [31] Fan C C, Scott A J. Industrial agglomeration and development: A survey of spatial economic issues in East Asia and a statistical analysis of Chinese regions. *Economic Geography*, 2003, 79(3): 295-319.
- [32] Bathelt H, Taylor M. Clusters, power and place: Inequality and local growth in time-space. *Geografiska Annaler*, 2002, 84(2): 93-109.
- [33] Zhang Yunwei. The study on cross-border network between industrial clusters: A case study of Zhangjiang and Hsinchu IC industrial clusters [D]. Shanghai: East China Normal University, 2013. [张云伟. 跨界产业集群之间合作网络研究. 上海: 华东师范大学, 2013.]
- [34] Malmberg A. Industrial geography: Agglomeration and local milieu. *Progress in Human Geography*, 1996, 20(3): 392-403.
- [35] Li Lin, Xiong Xuemei. Dynamic effect of geographic proximity on cluster innovation in perspective of industrial cluster's life cycle: A case study of Chinese automobile industry. *Geographical Research*, 2012, 31(11): 2017-2030. [李琳, 熊雪梅. 产业集群生命周期视角下的地理邻近对集群创新的动态影响: 基于对我国汽车产业集群的实证. *地理研究*, 2012, 31(11): 2017-2030.]
- [36] Li P F, Bathelt H, Wang J C. Network dynamics and cluster evolution: Changing trajectories of the aluminium extrusion industry in Dali, China. *Journal of Economic Geography*, 2011, 12(1): 1-29.
- [37] Ibrahim S E, Fallah M H, Reilly R R. Localized sources of knowledge and the effect of knowledge spillovers: An empirical study of inventors in the telecommunications industry. *Journal of Economic Geography*, 2009, 9(3): 405-431.
- [38] Lucas M, Sands A, Wolfe D A. Regional clusters in a global industry: ICT clusters in Canada. *European Planning Studies*, 2009, 7(2): 189-209.
- [39] Huber F. Do clusters really matter for innovation practices in information technology? Questioning the significance of technological knowledge spillovers. *Journal of Economic Geography*, 2012, 12(1): 107-126.
- [40] Bathelt H, Li P F. Global cluster networks-foreign direct investment flows from Canada to China. *Journal of Economic Geography*, 2014, 14(1): 45-71.
- [41] Sonderegger P, Täube F. Cluster life cycle and diaspora effects: Evidence from the Indian IT cluster in Bangalore. *Journal of International Management*, 2010, 16(4): 1-15.
- [42] Li Erling, Li Xiaojian. The evolution of networks in traditional manufacturing clusters of undeveloped rural areas: The case of steel measuring tape cluster in Nanzhuang Village, Yucheng County, Henan Province. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 738-750. [李二玲, 李小建. 欠发达农区传统制造业集群的网络演化分析: 以河南省虞城县南庄村钢卷尺产业集群为例. *地理研究*, 2009, 28(3): 738-750.]
- [43] Asheim B, Coenen L. Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters. *General Information*, 2005, 34(8): 1173-1190.
- [44] Knoblen J, Oerlemans L A G. Proximity and inter-organizational collaboration: A literature review. *International Journal of Management Reviews*, 2006(8): 71-89.
- [45] Wang Jici. *Innovative Space*. Beijing: Peking University Press, 2001. [王缉慈. 创新的空间. 北京: 北京大学出版社,

- 2001.]
- [46] Hoekman J, Frenken K, Oort F V. The geography of collaborative knowledge production in Europe. *The Annals of Regional Science*, 2009, 43(3): 721-738.
- [47] Breschi S, Lissoni F. Mobility of skilled workers and co-invention networks: An anatomy of localized knowledge flows. *Social Science Electronic Publishing*, 2009, 9(4): 439-468.
- [48] Owen-Smith J, Powell W W. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the Boston Biotechnology Community. *Organization Science*, 2004, 15(1): 5-21.
- [49] Grabher G. The project ecology of advertising: Tasks, talents and teams. *Regional Studies*, 2002, 36(3): 245-262.
- [50] Wang Qiuyu, Lyu Guoqing, Zeng Gang. Spatial analysis of innovation network about the endogenous industrial cluster-an analysis on Dongying. *Economic Geography*, 2015, 35(6): 102-108. [王秋玉, 吕国庆, 曾刚. 内生型产业集群创新网络的空间尺度分析: 以山东省东营市石油装备制造业为例. *经济地理*, 2015, 35(6): 102-108.]
- [51] Glückler J. Economic geography and the evolution of networks. *Journal of Economic Geography*, 2007, 7(5): 619-634.
- [52] Hagedoorn J, Cloodt M. Measuring innovative performance: Is there an advantage in using multiple indicators? *Research Policy*, 2003, 32(8): 1365-1379.
- [53] Griliches Z. Patent statistics as economic indicators: A survey. *Journal of Economic Literature*, 1990, 28 (4): 1661-1707.
- [54] Suarez-Villa L. Invention, inventive learning, and innovative capacity. *Behavioral Science*, 1990, 35(4): 290-310.
- [55] Huallachain B Ó, Lee D S. Urban centers and networks of co-invention in American biotechnology. *The Annals of Regional Science*, 2014, 52(3): 799-823.
- [56] Zhang G P, Guan J C, Liu X L. The impact of small world on patent productivity in China. *Scientometrics*, 2014, 98(2): 945-960.
- [57] Wang C C, Lin G C S. Dynamics of innovation in a globalizing China: Regional environment, inter-firm relations and firm attributes. *Journal of Economic Geography*, 2012, 13(3): 397-418.
- [58] Balland P A, Vaan M D, Boschma R. The dynamics of interfirm networks along the industry life cycle: The case of the global video game industry, 1987-2007. *Journal of Economic Geography*, 2013, 13(5): 741-765.
- [59] Luo Shougui, Zheng Feng. International comparison of regional knowledge competitiveness and empirical study on Shanghai municipality. *R&D Management*, 2008(6): 56-61. [罗守贵, 刘俊彦, 孙中峰. 区域知识竞争力的国际比较及上海的实证. *研究与发展管理*, 2008(6): 56-61.]
- [60] Abramovsky L, Simpson H. Geographic proximity and firm-university innovation linkages: Evidence from Great Britain. *Journal of Economic Geography*, 2011, 11(6): 949-977.
- [61] Ruttan V W. Induced technical and institutional change in tropical agriculture. *International Journal of Agricultural Resources Governance and Ecology*, 2007, 6(2): 222-239.
- [62] Li X. Behind the recent surge of Chinese patenting: An institutional view. *Research Policy*, 2012, 41(1): 236-249.
- [63] Hu A G Z, Jefferson G H. FDI impact and spillover: Evidence from China's electronic and textiles industries. *World Economy*, 2002, 25(8): 1063-1076.
- [64] Tian X. Chinese reform pushes R&D into market. *Nature*, 1999, 399: 191.
- [65] Hong W. Decline of the center: The decentralizing process of knowledge transfer of Chinese universities from 1985 to 2004. *Research Policy*, 2008, 37(4): 580-595.
- [66] Andersson D E, Gunessee S, Matthiessen C W, et al. The geography of Chinese science. *Environment and Planning A*, 2014, 46: 2950-2971.
- [67] Qian Qinglan, Chen Yingbiao. Regional classification of China's regional manufacturing industrial competitiveness. *Geographical Research*, 2006, 25(6): 1050-1062. [千庆兰, 陈颖彪. 中国地区制造业竞争力类型划分. *地理研究*, 2006, 25 (6): 1050-1062.]
- [68] Li Dandan, Wang Tao, Wei Yehua, et al. Spatial and temporal complexity of scientific knowledge network and technological knowledge network on China's urban scale. *Geographical Research*, 2015, 34(3): 525-540. [李丹丹, 汪涛, 魏也华, 等. 中国城市尺度科学知识网络与技术知识网络结构的时空复杂性. *地理研究*, 2015, 34(3): 525-540.]
- [69] Lyu Lachang, Li Yong. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(2): 177-190. [吕拉昌, 李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系. *地理学报*, 2010, 65(2): 177-190.]
- [70] Cheng Yeqing, Wang Zheyue, Ma Jing. Analyzing the space-time dynamics of innovation in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(12): 1779-1789. [程叶青, 王哲野, 马靖. 中国区域创新的时空动态分析. *地理学报*, 2014, 69(12): 1779-1789.]

- [71] Liefner I, Hennemann S. Structural holes and new dimensions of distance: The spatial configuration of the scientific knowledge network of China's optical technology sector. *Environment and Planning A*, 2011, 43(4): 810-829.
- [72] Lei X P, Zhao Z Y, Zhang X, et al. The inventive activities and collaboration pattern of university-industry-government in China based on patent analysis. *Scientometrics*, 2012, 90(1): 231-251.
- [73] Scherngell T, Hu Y J. Collaborative knowledge production in China: Regional evidence from a gravity model approach. *Regional Studies*, 2011, 45(6): 755-772.
- [74] Yoon J. Exploring regional innovation capacities of PR China: Toward the study of knowledge divide. Georgia Institute of Technology, 2011.

Structural evolution of innovation networks of China's equipment manufacturing industry

WANG Qiuyu¹, ZENG Gang¹, LYU Guoqing^{1,2}

(1. The Center for Modern Chinese City Studies, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Department of Economic Geography, Justus Liebig University Giessen, Giessen D-35390, Germany)

Abstract: Industry-university-research institute collaborative innovation process and its spatial structures attract the interest of researchers in many fields. With the rise of emerging economies and their technological upgrading, their spatial structure of innovation network is developing into an important research topic. And China, in particular, provides the opportunity to study the evolution of such network structures. With the help of some sophisticated data analysis software like SPSS, UCINET and ArcGIS, this paper discusses the above-mentioned issues based on graphical analysis and an empirical analysis of co-inventor networks of China's equipment manufacturing industry using patent data issued by the State Intellectual Property Office of P.R.China from 1985 to 2012. We reached three conclusions about the structural evolution of the industry- university- research institute collaborative innovation network of Chinese equipment manufacture industry. Firstly, our systematic examination has identified a rapid growth of patents and significant changes of actor composition from 1985 to 2012, which shows the rise of privately owned enterprises and universities around 2000, with universities standing out as the most significant and strongest actors in the process of building innovation networks, while state-owned enterprises only dominate some specific fields. Secondly, city-level is the major geographical scale of industry-university-research institute collaboration in developed cities; while undeveloped cities tend to cooperate with competent ones at provincial or national level. It is mainly because concentration of universities and firms with strong innovative ability makes it easy to find the perfect local partner, while weaker actors have to look for the best innovation partners across city boundaries. Last but not least, political decisions concerning R&D investment supported by provincial governments have a positive influence on interprovincial innovation activities. Meanwhile, the spatial political bias in China can lead to the hierarchical structure of Chinese innovation networks, which shows the significance of municipalities and provincial capital like Peking, Shanghai and Guangzhou.

Keywords: equipment manufacturing industry; industry- university- research institute innovation networks; spatial scales; innovative resources; China