

基于随机前沿的区域创新绩效研究： 创新网络结构视角

吴中超

(成都大学 商学院, 成都 610106)

摘要:本文基于创新网络结构视角,利用2008—2017年中国30个省份(西藏地区和港澳台地区因数据缺失略去)的统计数据,采用随机前沿分析方法探讨了创新网络结构因素对区域创新绩效的影响;并分析了创新环境基础设施对区域创新绩效的影响效应。实证结果表明网络开放性和网络密度均与创新绩效具有正向关系,网络规模和网络结构洞的影响效应不明显。创新环境因素对创新绩效具有重要影响,信息基础设施、产业结构特征等因素对创新绩效产生正向影响,政府支持力度与研发投入强度相关假设没有得到验证。

关键词:区域创新绩效;创新网络结构;产学研协同创新

中图分类号:F064.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)4—0120—12

当今,在一个日益受到创新驱动的经济中,知识已经成为国家和地区竞争力的关键因素。当代创新研究得出的核心发现之一表明创新主要来自企业之间以及企业与科学机构之间的互动;而且知识资源的互联性同时发生在不同的空间尺度上(cooke^[1])。简单地说,区域主要的创新动力来自于企业、高校、科研机构等各种异质性知识资源体的相互联系——形成区域产学研协同创新知识网络。区域产学研协同创新网络是一定地理范围内由政府、企业、大学、研究机构及各种中介组织等多种创新主体协同创新的组织形式,具有内部协作性、根植性、开放性和稳定性及其与环境的依存性等共同特征。这种区域知识网络可以促进特定区域各种异质性知识资源的优化配置并创造新知识,从而成为区域经济竞争力与发展潜力的重要相关因素,也是形成区位优势的关键因素。关于区域知识资源优化配置效率——区域创新绩效研究一直是区域创新系统研究的一项重要课题,该类研究可以为区域创新政策的判断、制定和修正提供科学依据。与此同时,关于区域创新和知识网络的辩论经常强调区域创新行动者——行业与高校等科研机构之间相互联系的强度等结构特征,认为这是影响区域创新能力中最相关的因素。因此深入研究区域产学研协同创新网络结构在产学研协同创新与区域创新绩效之间关系的作用就显得十分必要。

一、文献综述

目前,对产学研协同创新与区域创新绩效关系的研究主要集中在区域创新效率的影响因素、三重螺旋结构模型、技术生命周期的角度考察产学合作对区域创新产出的影响、产学研协同度对区域创新绩效的影响等方面。相比之下,只有少数研究对区域创新网络结构进行了一定分析(Kratke^[2]; Owen-Smith和Powell^[3])。从区域产学研协同创新网络结构视角分析产学研协同创新对区域创新绩效的研究还很少见。于明洁等^[4]认为区域创新效率是影响区域创新能力的关键因素,而区域创新网络结构直接影响了区域创新效率的高低,并对网络结构变量对创新绩效的影响进行了实证,不足之处在于该研究并没有将区域创新环境基础设施的影响作用纳入实证研究。刘丹和闫长乐^[5]对协同创新网络结构与机理进行了理论分析。马捷和陈威^[6]研究了欠发达地区产学研的区域创新网络结构。Eitan和Renana^[7]借用经济学中的产业组织领域研究市场结构对市场绩效的影响,认为社会创新网络的成长是由社会网络的结构决定的,因此网络结构特征应该纳入创新绩效增长的研究。以上近年来中外学者将创新网络结构与区域创新绩效联系起来所进行的探索性研究为本文提供了有意义的借鉴思路,本文在前人研究基础上,将区域创新环境基础设施变量与产学研协同创新网络结构

收稿日期:2020—01—17

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金“产学研协同创新与区域创新绩效研究:基于创新网络结构的视角”(18YJA630115);四川省社科“十三五”规划2019年度项目“四川省应用型高校产学研协同创新与区域产业对接机制研究”(SC19B007)

作者简介:吴中超(1972—),男,四川绵阳人,管理学博士,成都大学商学院副教授,研究方向:创新管理、产学研合作。

变量同时纳入实证研究。

本文以中国30个省份(西藏地区和港澳台地区因为数据缺失略去)的区域创新绩效为研究对象,运用各区域的科技统计数据从区域产学研协同创新网络结构特征角度,采用随机前沿分析方法,测算各区域的创新效率,并分析影响其技术效率的主要影响因素,最后给出研究结论与进一步研究思路,并对一些区域科技政策进行简单的探讨。

二、理论分析与研究假设

产学研协同创新是指行业企业、大学、科研院所3个基本主体分别投入各自优势资源与能力,在地方政府、科技服务中介机构、金融服务机构等政府与市场其他主体协同支撑下,共同进行以技术创新活动为主的全面协同创新行为^①。

“创新网络”由Freeman^[8]提出后,对创新网络相关研究日益流行。其中有关创新网络结构的研究取得不少进展(Granovetter^[9],Burt^[10],McEvily^[11]),区域创新网络结构能够显著影响区域创新能力的结论已得到一定认同^[4]。但是,区域产学研协同创新网络结构因素在区域科技基础设施等环境因素约束条件下对区域产学研协同创新水平影响的深入实证研究尚缺乏。

根据网络理论,网络结构特征可以从网络个体结点特征与网络整体特征两个方面进行刻画。目前有关区域创新网络结构特征的研究一般从网络规模、网络密度、网络中心势、网络中心度、网络开放性、网络结构洞和网络连接(网络强联系和弱联系)、网络集中度等方面进行描述(于明洁等^[4],张秀萍等^[12],Kratke^[13],Eisingerich等^[14])。本文认为根据区域产学研协同创新网络的含义,产学研协同创新网络结构特征可以从网络规模、网络开放性、网络结构洞、网络密度(网络联系强度)4个方面度量。本文从这4个方面研究区域产学研协同创新网络结构对区域创新绩效的影响效应。

(一)产学研协同创新网络结构

1. 网络规模

网络的两个整体基本特征是它们的大小和密度。网络的整体规模指的是网络中包含的全部行动者的数目,即节点(即参与者)的数量通常定义网络规模。网络的密度估计为观察到的数量与理论上可能的链路数量之比(给定节点数量 n)。在本文的讨论框架下区域创新网络规模对应于一个地区内可能建立知识交换关系的组织数量,包括该地区的政府、高等教育机构、产业企业的数量^②。网络规模指区域产学研协同创新网络各创新主体的数量多少,反映了协同创新网络的各节点基本构成。产学研协同创新网络的节点包括企业、政府、大学与研究机构、其他创新中介组织。通常来看,产学研协同创新网络规模越大,网络内各节点相互交流机会越多,产生协同创新的机会也越多,创新能力可能更强。

2. 网络开放性

开放性是产学研协同创新网络基本结构特征之一,协同创新网络本质上是一种开放式创新。相对于传统个体创新模式,网络的开放性使产学研协同创新网络中各异质性主体间相互开放,互换关键的异质性互补知识资源,从而引入外部的创新能力。同时对于区域而言,网络开放性也是指区域内产学研各主体与区域外的创新主体互换远距离知识与异质性资源的过程。Eisingerich等^[14]证明了网络开放性对集群性能的正向影响随着环境不确定性的增大而增大。通常来讲,区域产学研协同创新网络开放性程度越高,各创新主体越容易从网络系统内外获取互补性知识、信息与新技术等创新要素,提升自身的创新能力;同时客观上也实现了创新在区域范围内的扩散,从而增强区域创新能力,最终促进区域创新绩效的整体提升。

3. 网络结构洞

Burt^[10]认为结构洞是网络中两个行动者之间的非冗余联系。结构洞能为其占据者获取“信息利益”和“控制利益”提供机会,从而比网络中其他位置上的成员更具有竞争优势。结构洞代表由至少3个行动者之间关系构成的一种特殊结构,这种结构可能为中间人带来利益。因此,这种结构就会成为社会资本,其中间者扮演着中介人(broker)角色。例如,对区域产学研协同创新网络而言,如果行动者是高校,这种结构可以为企业声望的提高作出贡献。结构洞的存在界定了各种机会的大小,它与网络的密度、规模、等级度和中间

① 关于“产学研协同创新”的概念学者们有多种定义,但总体按照技术创新与非技术创新两个角度进行的界定。

② 实证分析时候需要进行一定的前提假设与限定条件。

性有关。结构洞的计算比较复杂,总的来说存在两类计算指标:第一类是 Burt 本人给出的结构洞指数,第二类是中间中心度指数;后一类包括针对整体网的中间中心度指标及其推广形式,以及 Everett 和 Borgatti^[15]给出的针对个体网数据的个体中间度指标。一般来讲,区域产学研协同创新网络结构洞越多,越有利于信息与知识在异质性创新主体之间流动,从而有利于协同创新活动产生,促进区域创新绩效提高。

4. 网络密度

网络密度也称网络联系强度,网络密度与其规模密切相关,因为随着节点数量的增加,实现所有理论上可能的组合的可能性通常会降低。这可以用单个节点启动和维护与其他节点的链接的能力受到限制来解释,尤其是当链接暗示某种社会关系时。因此,规模可能代表了最大的互动潜力,而密度则是信息、知识和创新在网络中传播速度的一般指标。Eisingerich 等^[14]借鉴社会网络理论,建立了区域集群绩效模型。绩效的区域集群是由网络强度和网络开放性支撑的,但这些因素对集群整体绩效的影响受环境不确定性的调节。其中网络强度对集群性能的正向影响随着环境不确定性的增大而减小。通常来讲,产学研协同创新网络密度越大,网络节点之间联系强度也越大,说明产学研各方主体之间开展协同创新的动机越强,互补性信息、知识资源等在异质性创新主体之间共享程度可能更高,有助于提高各方创新能力进而促进区域创新绩效的提升。

(二)区域创新环境基础设施

当今竞争优势的首要任务是创新。欧洲和美国率先采用了一种新的区域商业发展方式,即建设区域创新基础设施^[16]。区域创新基础设施是指促进区域创新行为、提高区域产学研创新绩效的环境因素,为区域创新活动开展提供良好平台,能够对区域创新水平的提升产生积极作用。主要包括经济增长水平、信息基础设施、研发投入强度、地理区位、政府支持强度、企业创新活力、市场开放程度和产业结构等方面因素。本文把这些因素归纳为经济环境基础设施、产学研各主体地位和社会文化环境 3 个方面。

1. 经济环境基础设施

区域创新水平的经济基础设施主要包括区域经济增长水平、信息基础设施和产业结构 3 个方面。其中经济增长水平决定了创新人才要素、资金要素、信息要素等流向,一般来说一个地区经济增长水平越高,该地区越能吸引创新人才、社会资本以及信息的汇聚,同时产学研各方主体的数量与质量也越高,所以经济增长水平往往与一个地区科技创新水平正相关。信息基础设施是区域技术创新和创新知识流动的载体,可以为一个地区的创新活动提供良好的平台。通常情况下,区域内信息基础设施越完善,越发达,越有利于该区域产学研协同创新活动,所以它也往往与一个地区科技创新水平正相关。国内有关研究也验证了这样结论^[17]。产业结构是反映了一个地区产业结构升级优化状况与现代化产业体系发展水平的一个指标,它也与区域创新水平具有相关性。一般讲,地区第三产业比重大的地区以及高技术产业比重大的地区反映了较高的地区创新水平。

2. 产学研各主体地位

产学研各主体地位主要包括研发投入强度、政府支持强度和企业创新活力 3 个方面。区域研发投入强度一般指该地区研发经费支出与地区生产总值之比。这一指标放映各地区对科技创新的投入力度与重视程度,理论上讲,这一指标越高该地区创新绩效也越高。政府支持强度反映区域产学研协同创新活动中地方政府的作用,一般用地区总的科技经费筹集金额中政府资助所占比重来衡量地方政府对创新活动的支持力度。依据三螺旋理论,区域创新活动离不开政府的支持,一方面高精尖技术发展与区域现代产业体系规划都离不开政府的指导,但同时政府的过度干预也可能降低高校等科研机构与企业直接开战创新活动的积极性,扭曲市场机制作用,所以政府支持强度可能具有“双刃剑”作用。企业创新活力反映一个区域市场主体企业作为产学研协同创新主体地位的作用,它以地区总的科技经费筹集金额中企业资金所占比重来衡量。一般讲,这一指标越高,企业主动参与产学研协同创新活动动机越强,越有利于一个区域的总体创新绩效产出。

3. 社会文化环境

社会文化环境包括地理区位、市场开放程度。地理区位可能对一个地区的创新能力及水平也会产生一定影响,进而产生差异化的区域创新绩效。这种影响可能是综合作用的结果,如发达地区相比落后地区有更好的创新传统,区域人才、资金、信息等创新要素禀赋,更先进的技术,更先进的商业系统与更高的科技成果转化效率等。市场开放程度反映了一个地区市场化水平以及区域的开放程度,这一指标越高,说明一个地区

越开放,市场化水平越高,有利于生产要素与创新要素的自由流动,也有利于知识在异质性创新主体之间的流动,进而促进协同创新活动,提高区域创新绩效。

(三)产学研协同创新网络结构下区域创新绩效的理论框架

通过前面的分析,本文认为区域产学研协同创新水平是影响区域创新绩效的重要影响因素,而产学研协同创新网络结构是反映与影响产学研协同创新水平的重要因素,借鉴产业组织理论中“结构-行为-绩效”分析范式,选取产学研创新网络结构指标作为区域创新绩效的结构影响因素。构建了产学研协同创新网络结构下区域创新绩效的一个理论分析框架(图1)。

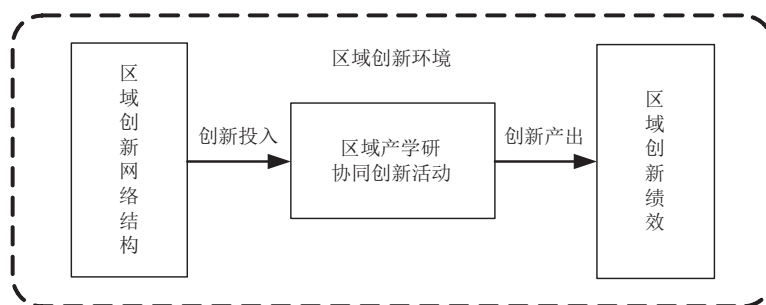


图1 产学研协同创新网络结构下区域创新绩效的一个分析框架

如图1所示,区域产学研协同创新活动具有网络属性特征,一个区域创新网络运行状态与水平如何,对区域创新绩效的驱动效应通过什么来反应?总结国内外学者的观点,产学研创新网络结构是一个较多讨论的视角。不同之处在于学者们对网络结构的讨论及实证效应仍有分歧与不同见解。另外在这个理论分析框架中,区域创新环境也是影响创新绩效的一个重要因素。区域创新环境是指创新基础设施,这类创新基础设施包括区域经济发展水平、研究与试验发展(R&D)经费投入强度、地区电信、互联网等信息化基础设施、区域人力资本质量、区域金融支持水平以及地理区位等因素。

(四)研究假设的提出

1. 产学研协同创新网络结构与区域创新绩效

基于上面的分析以及国内外相关研究成果,结合我国区域产学研协同创新网络结构的异质性与区域创新基础设施的不同特点,本文对影响区域创新绩效的产学研创新网络结构因素提出以下假设:

在区域产学研创新网络中,产学研协同创新网络规模将与区域创新绩效更高水平的技术性能相关。即网络规模越大,区域创新绩效越高(H1);

在区域产学研创新网络结构中,网络开放性将与区域更高水平的创新绩效技术性能相关。即网络开放性越高,区域创新绩效越高(H2);

在区域产学研创新网络结构中,网络结构洞的存在与区域更高水平的创新绩效技术性能相关。即区域产学研协同创新网络结构洞越多,区域创新绩效越高(H3);

在区域产学研创新网络中,产学研协同创新网络密度将与区域创新绩效更高水平的技术性能相关。即网络密度越大,区域创新绩效越高(H4)。

2. 区域创新环境基础设施与区域创新绩效

根据前面关于区域创新环境基础设施的理论分析以及国内外有关成果,本文将影响区域创新绩效的区域创新环境基础设施因素设定为控制变量。在本文主要考察产学研创新网络结构作为主要解释变量的同时,本文也将考察作为控制变量的创新环境基础设施对区域创新绩效的影响效应。根据前面的理论分析,本文对影响区域创新绩效的创新环境基础设施因素提出以下假设:

在区域产学研创新网络中,经济环境基础设施将与区域创新绩效的技术性能相关(H5);

区域经济增长水平越高,区域创新绩效越好(H5a);

信息基础设施越先进完善,区域创新绩效越好(H5b);

产业结构越倾向于现代产业体系的高新技术产业与服务业占比更大,区域创新绩效越好(H5c);

在区域产学研创新网络结构中,产学研各主体地位将与区域创新绩效技术性能相关(H6);

区域研发投入强度越大,区域创新绩效越好(H6a);

政府支持强度应该会出现门槛效应,即支持强度足够大,会对区域创新绩效产生正向作用,但如果过大可能会起到负面作用(H6b);

在区域产学研创新网络中,社会文化环境将与区域创新绩效的技术性能相关(H7);

市场开放程度越大,区域创新绩效越好(H8);

三、研究设计

(一) 样本与数据

本文以中国省份区域创新绩效为研究对象,采用 2008—2017 年我国 30 个省份(西藏地区和港澳台地区因统计数据不全舍去)有关创新指标统计数据进行区域创新绩效实证分析。具体而言,本文以 2008—2017 年为时间窗口,根据各区域的统计年鉴与科技统计年鉴数据,选择中国 30 个省份区域作为研究样本。本文构建了 30 个省份 10 年数据组成动态面板数据,总观测样本达 5400 个。有关专利授权数、R&D 人力资源和 R&D 财力资源数据来自《中国统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》,产学研协同创新网络结构变量数据来自各区域统计年鉴、《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》,创新环境基础设施变量数据来自各区域统计年鉴和各区域科技统计公报。数据处理使 Frontier4.1 和 EXCEL。

(二) 变量选择和定义

1. 被解释变量

如果把区域产学研协同创新网络系统看成是一个“投入-产出”系统,创新产出就是区域创新绩效,也是本文研究的被解释变量。长期以来,对区域创新绩效的研究结果尚未形成一种普遍接受的创新投入指标,但是在创新产出层面,专利是一个广泛为中外学者采用的指标。分析产学研协同创新对区域创新绩效技术性能的影响需要较长时间和多个区域的数据。而专利提供了多地区和较长时间的一致、具体和可比的数据。专利被广泛认为是国家、地区、公司和行业技术绩效的指标^[18]。由于这个原因,本文区域创新绩效这一被解释变量选择专利指标来衡量。从国外文献看,专利指标大多采用“专利申请数”和“专利授权数”作为创新绩效具体产出指标来测量(Acs 等^[19],David 和 Saeed^[20])。本文选用发明专利授权数作为各区域创新绩效的测度指标,因为专利授权数更代表绩效实际产出。

2. 解释变量

解释变量包括创新投入变量与产学研协同创新网络结构变量。其中创新投入方面,一般把 R&D 人力资源和 R&D 财力资源作为创新体系的投入资源^[21]。具体而言,国内外相关研究选择 R&D 经费支出和 R&D 人员全时当量两个指标作为创新投入变量。作为本研究重点关注的解释变量,根据前面的分析本文把产学研协同创新网络结构变量指标选择为网络规模、网络开放性、网络结构洞、网络密度(网络联系强度)四个方面。网络规模指标的选取国内外各有不同,本研究参考于明洁等^[4]选用指标。本文选用各区域高校数量、各区域研发机构个数和各区域高新技术企业数 3 个指标来反应各区域产学研协同创新网络规模。网络开放性选取方面,李习保^[22]采用地区的贸易专业化指数(TSI)来表示不同地区的对外开放性,衡量一个地区可以利用外部技术信息和知识的程度。本文选用各区域外商直接投资额(FDI)测度。参照于明洁等^[4]的指标选取,网络结构洞用各区域技术市场交易金额表征。网络密度选用各地区高等学校 R&D 经费外部支出(包括对其他研究机构和企业等研发经费支出)数据测度^③。相较以往研究,网络密度指标的选取是本研究的创新指标。

3. 控制变量

本文选用的控制变量是区域创新环境基础设施变量,包括区域经济增长水平、信息基础设施、产业结构、区域研发投入强度、政府支持强度、地理区域和市场开放程度共 6 个变量。其中区域经济增长水平选用地区人均 GDP 来度量。信息基础设施是区域科技创新与知识交换的载体,当代信息发展水平对区域创新影响越发重要,出于数据可得性角度本文参考文献^[23]采用地区邮电业务总量占 GDP 比重来测度区域信息基础设施水平,但与该文献对该指标理解正好相反。应该说当前信息社会下人们更多采用电脑、手机与移动互联网作为信息沟通的主要手段,信息手段的更新使得电脑、手机与移动互联网对传统信息沟通媒介的邮电业务产生了明显的“挤出效应”,即邮电业务量占 GDP 比重越高恰恰说明该地区信息基础设施水平可能越低,所以本文就选用该指标作为地区信息发展水平的反向指标。产业结构方面,与李婧等^[23]选取高技术产业规模以上企业增加值占全国比例作为衡量各省区产业结构的指标不同,本文产业结构用各区域第三产业占比数据表征。区域研发投入强度利用 R&D 经费占地区 GDP 比重来测度。政府支持强度以地区总的科技经费筹集金额中政府资助所占比重来衡量地方政府对创新活动的支持力度。市场开放程度变量根据左铠瑞和宫建

③ 企业产学研经费支出指标由于统计数据缺失太多不全本研究舍弃,各地区研究与开发机构 R&D 经费外部支出统计数据缺失海南、青海、西藏等省份数据也只有舍弃。

成^[24]将市场开放程度作为影响创新效率的环境因素,采用进出口总额占GDP的比重来度量。

(三)模型设定

1. 理论模型

效率评估方法主要分为非参数与参数方法,参数法一般采用随机前沿分析(SFA),非参数法一般采用数据包络分析(DEA)。非参数法基于前沿函数,利用线性规划如数据包络分析测定绩效(效率)单元的技术效率,无需设定具体函数形式,且对数据样本量要求不高,应用方便。缺点是效率单元测定结果离散度较大,由于掺杂随机误差项而导致效率评价存在偏差。SFA主要利用计量经济学方法对设定好的前沿生产函数中的未知参数进行估计后求出绩效(效率)单元的技术效率。SFA虽然需要预先设定前沿生产函数,但其优点是模型构建有经济理论基础支撑,可更深入地估计出各种外生变量对绩效单元的技术效率影响,对于政策制定、评价都有很好的参考价值。而且,在数据使用面板数据的前提下,SFA相比较非参数的数学规划方法,能够对无效率项和随机误差项进行准确区分,由此测算的技术效率值将会更加精准^[25]。考虑到本文的研究目的及数据类型,本文将采用SFA,以 Battese 和 Coelli^[26]提出的随机前沿模型作为基本模型构建区域产学研协同创新知识生产函数考察我国各区域区域创新效率,并分析各类绩效影响因素。

本文采用的随机前沿模型是由 Aigner 等^[27]以及 Meeusen 和 van den Broeck^[28]分别提出,后来经 Battese 和 Coelli^[26]提出的同时估计随机前沿生产函数和技术效率函数的面板数据扩展模型。模型的具体形式如下:

$$\ln Y_{it} = X_{it}\beta + (V_{it} - U_{it}); i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

$$m_{it} = Z_{it}\delta \quad (2)$$

其中: $\ln Y_{it}$ 是以对数形式表示的第*i*个区域产学研协同创新网络系统第*t*期的创新产出; X_{it} 是第*i*个区域产学研协同创新网络系统第*t*期的投入向量; β 是待估计参数向量; V_{it} 是独立于 U_{it} ,且服从正态分布、均值为0、方差为 σ_v^2 的表示统计噪声的对称随机误差项,即 V_{it} 服从 $N(0, \sigma_v^2)$ 。统计噪声既来源于所忽略的与 X_{it} 相关的变量,也来源于测量误差和函数形式选择所带来的近似误差。由于产出值以随机变量 $\exp(X_{it}\beta + V_{it})$ 为上限,所以式(1)定义的模型称为随机前沿生产函数。随机误差 V_{it} 可正可负,因此,随机前沿产出围绕着模型确定的部分 $\exp(X_{it}\beta)$ 变动。 U_{it} 表示与第*i*个区域产学研协同创新网络系统在第*t*期的技术无效有关的非负随机变量,且服从 $N(m_{it}, \sigma_u^2)$ 的正半截断分布。

随机前沿分析的主要目的是为了预测无效效应,最常用的产出导向的技术效率是可观测产出与相应随机前沿产出之比: $TE_{it} = Y_{it}/\exp(X_{it}\beta + V_{it}) = \exp(-U_{it})$ 表示技术无效性,测度相对前沿的技术效率水平。 TE 介于0~1,作为技术有效的测度指标。如果将区域产学研协同创新活动当成一种知识生产行为,那么区域创新绩效就可以看成知识研发的生产效率,可以选择 TE 作为衡量区域创新绩效的指标。

式(2)中 $m_{it} = Z_{it}\delta$,表示效率损失指数, Z_{it} 为影响区域产学研协同创新网络系统绩效的向量; δ 为待估的参数向量。该参数反映对应变量对效率的影响方向和影响程度。Battese 和 Corra^[29]建议令 $\gamma = \sigma_u^2/(\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$,那么 $\gamma \in (0, 1)$,当 $\gamma=0$ 的假设被接受时,意味着 $\sigma_u^2=0$,表明随机误差项 V_{it} 起到支配作用,系统不存在技术无效率。而当 γ 趋于1时,意味着前沿生产函数的误差主要来自技术效率的损失。

2. 实证模型

已有大量研究表明超越对数函数可以更好地对数据进行拟合,如 Altunbas 和 Chakravarty^[30]证明使用此函数可以进行很好的预测,特别是其能够有效处理非平衡的或者说异质类数据,并得到良好的结果;其次,超越对数函数可以反映出解释变量对解释变量的交互作用。考虑到本研究各类创新网络结构数据属于异质类数据,所以在随机前沿生产函数的具体形式上,本文采用的生产函数是超越对数生产函数,具体表达式如下:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln^2 K_{it} + \beta_4 \ln^2 L_{it} + \beta_5 \ln K_{it} \ln L_{it} + V_{it} - U_{it} \quad (3)$$

技术效率函数为以下形式:

$$\begin{aligned} m_{it} = & \delta_0 + \delta_1 college_{it} + \delta_2 rese arch_{it} + \delta_3 enterprise_{it} + \\ & \delta_4 FDI_{it} + \delta_5 technology + \delta_6 college.exp_{it} + \delta_7 GDP_{it} + \\ & \delta_8 ICT_{it} + \delta_9 IS_{it} + \delta_{10} RI_{it} + \delta_{11} GOV_{it} + \delta_{12} MAR_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

式(3)中: Y_{it} 表示区域创新绩效,用“专利授予数”作为各区域创新绩效的测度指标; K_{it} 表示区域产学研协同创新网络系统的R&D财力资源投入,用各地区R&D经费内部支出表征; L_{it} 表示区域产学研协同创新网络系统的R&D人力资源投入,用各地区R&D人员全时当量表征。

式(4)分别从区域创新环境基础设施和产学研协同创新网络结构两方面来考察区域创新绩效的影响因素。其中,产学研协同创新网络结构选用6个结构变量: $college$ 表示各区域高校数量; $research$ 表示各区域研发机构数量; $enterprise$ 各区域高新技术企业数。这三个变量都是表征产学研网络结构规模的变量。 FDI 是各区域外商直接投资额,用来表征网络开放度; $technology$ 是各区域技术市场交易金额,用来表征网络结构洞; $college.exp$ 是各区域高等学校R&D经费外部支出,这个变量表征网络密度。

区域创新环境基础设施选用6个变量: GDP 是表示各区域人均GDP,用来表征该地区经济发展水平; ICT 是地区邮电业务总量占GDP比重,用来表征该地区信息基础设施水平; IS 是各区域第三产业占比数据,用来表征该地区产业结构特征; RI 是各区域R&D经费占地区GDP比重,用来表征区域研发投入强度; GOV 是以地区总的科技经费筹集金额中政府资助所占比重来衡量地方政府对创新活动的支持力度; MRA 是采用各区域进出口总额占GDP的比重来度量一省对国际贸易和竞争的开放程度,此变量用来表征该地区市场开放程度。表1对技术效率函数中各解释变量作出了说明。

表1 影响区域产学研协同创新网络技术效率的各因素变量定义

变量	变量定义	备注
$college$	各区域高校数量	表征产学研网络结构规模
$research$	各区域研发机构数量	表征产学研网络结构规模
$enterprise$	各区域高新技术企业数	表征产学研网络结构规模
FDI	各区域外商直接投资额	表征网络开放度
$technology$	各区域技术市场交易金额	表征网络结构洞
$college.exp$	各区域高等学校R&D经费外部支出	表征网络密度
GDP	各区域人均GDP	表征该地区经济发展水平
ICT	各区域邮电业务总量占GDP比重	表征该地区信息基础设施水平
IS	各区域第三产业占比	表征该地区产业结构特征
RI	各区域R&D经费占地区GDP比重	表征区域研发投入强度
GOV	地区总的科技经费筹集金额中政府资助所占比重	表征政府对创新活动的支持力度
MRA	各区域进出口总额占GDP的比重	表征该地区市场开放程度

四、实证结果与分析

(一)变量的描述性统计

表2是对我国30个省份2008—2017年的样本进行的描述性统计结果。

(二)实证分析

在估计实证模型前,本文首先利用最大似然值检验方法对超越对数生产函数与Cobb-Douglas生产函数两种函数形式的优劣进行了统计检验。经过计算,虽然比检验的统计量LR为128.3,大于在 $\alpha=0.01$ 水平下的临界值57.7,因此拒绝原假设,说明超越对数生产函数模型的确能更好地拟合区域产学研协同创新过程中的投入-产出关系。

本文应用Frontier4.1对各省2008—2017年的创新数据进行实证分析,表3给出了超越对数形式随机前沿生产函数的最大似然估计结果。

1. 总体评价

从表3的结果可以看出,本研究的随机前沿生产函数中技术无效率方差与总方差之比 γ 在1%水平上显著,其值为0.5136836,说明各省区域产学研协同创新网络知识生产系统中的确存在非效率现象,效率损

表2 各变量的描述性统计结果

变量	观测值数量	均值	标准差	最小值	最大值
Y	300	36128	55684	228	332652
K	300	3599166	4388650	33479	23436283
L	300	105731	115817	1726	565287
$college/所$	300	86.1	44.4	9	356
$research/所$	300	109.3	58.56	16	379
$enterprise/家$	300	1782.6	4223.6	14	37033
$FDI/亿美元$	300	1234	1956	23	17622
$technology/万元$	300	2257862	5270203	5556	44868872
$college.exp/万元$	300	19304.3	35482.7	34	228940
$GDP/(亿元/万人)$	300	4.49	2.49	0.99	14.06
$ICT/\%$	300	0.05	0.03	0.01	0.16
$IS/\%$	300	44	9.6	28.1	80.6
$RI/\%$	300	1.5	1.1	0.23	6.08
$GOV/\%$	300	0.24	0.13	0.07	0.61
$MRA/\%$	300	0.31	0.37	0.02	1.71

失约为 50% 左右。生产函数部分的参数估计全部通过了 5% 水平上的显著性检验,无效率函数部分基本也都通过了相应的显著性检验。对数似然函数值 -96.777818, LR 统计量 128.2851,在 1% 水平上显著,说明了超越对数生产函数模型的选择与整体估计的有效性。中国各省区域产学研协同创新网络知识生产系统的平均技术效率为 0.64260260,说明该创新系统存在一定程度的技术非效率问题,同时也说明中国各区域存在较大的创新潜力,还有较大空间促进区域创新绩效的提升。

2. 影响因素分析及研究假设检验

从表 3 的技术非效率影响因素的估计系数结果,可以对引起区域产学研协同创新网络系统从其结构影响因素与创新基础设施控制变量两方面来进行分析。

首先从区域产学研协同创新网络结构变量(网络规模、网络开放性、网络结构洞、网络密度)四个方面分析。

网络规模的 3 个变量:首先是各区域高校数量, $\delta_1 = -0.0047$,表明各省区域高校数量与区域创新绩效存在正相关,但是正相关关系不是很强,实证结果一方面验证了网络规模的假设,即产学研协同创新网络规模将与区域创新绩效更高水平的技术性能相关。即网络规模越大,区域创新绩效越高;另一方面,区域高校规模对区域创新绩效的影响有限,可以通过扩大区域高校数量促进区域创新水平的提升,但高校在产学研协同中的内涵作用建设才应该是促进区域创新绩效的有效手段。其次是各区域研发机构数量, $\delta_2 = 0.0043$,表明各省区域研究机构数量与区域创新绩效存在负相关,但是负相关关系不是很强,实证结果表明现实中区域研究机构数量的增加不但没有提升区域创新绩效,反而有副作用,说明了我国区域研究机构在产学研协同创新方面发挥的作用很小,没有对区域创新绩效提高方面发挥应有作用,这方面有很大提高空间。第三个变量是各区域高新技术企业数, $\delta_3 = -0.00004$,表明各省高新技术企业数量与区域创新绩效存在正相关,但正相关关系不是很强,实证结果一方面验证了网络规模的假设;另一方面,区域高新技术企业数量对区域创新绩效的影响有限,可以通过增加高新技术企业数量促进区域创新水平的提升。

网络开放度的测度指标各区域外商直接投资额, $\delta_4 = -0.0001$,实证结果表明该指标与区域创新绩效存在正向关系,区域产学研协同创新网络系统的开放度越高,区域创新绩效越好。该结果一定程度上验证了相关假设。

网络结构洞的测度指标是各区域技术市场交易金额, $\delta_5 = 0.000000049$,实证结果表明该指标与区域创新绩效关系不明显。该结果没有验证本文关于创新结构洞的相关假设。本研究与国内已有某些研究^[4]结论不同,表明现实情况是我国各区域产学研创新网络系统中结构洞的“中介效应”不明显。

网络密度的测度指标是各区域高等学校 R&D 经费外部支出, $\delta_6 = -0.000007$,实证结果支持本文关于网络密度与区域创新绩效关系的假设,即产学研协同创新网络密度将与区域创新绩效更高水平的技术性能相关。网络密度越大,区域创新绩效越高。这一结果表明了产学研各方相互加强协同创新的重要性,此举措对促进区域创新绩效提升有明显的促进作用。

从区域创新环境基础设施等控制变量影响因素分析如下。

第一,地区经济发展水平用各区域人均 GDP 表征。 $\delta_7 = 0.06134$,实证结果表明区域经济发展水平与区域创新绩效负相关,否定了原研究假设,这与直观常识不太相符。这里面原因比较复杂,本文认为这可能一方面由于本文选取的创新绩效指标是专利而非直接反映经济发展的指标,各区域普遍存在科技向经济转化绩效水平偏低,即科技成果转化经济成果率低的现象;另外一方面也间接证明过去中国区域创新绩效的提升与

表 3 区域产学研协同创新网络随机前沿生产函数和效率方程估计结果

变量	估计系数	系数值	标准差	T
生产函数部分				
常数项	β_0	-9.7730***	1.0397	-9.3999
lnK	β_1	-1.7789**	0.7168	-2.4817
lnL	β_2	3.1347***	0.5527	5.6715
$\ln^2 K$	β_3	0.4170***	0.0745	5.5988
$\ln^2 L$	β_4	0.0986**	0.0478	2.0627
$\ln K \times \ln L$	β_5	-0.4840***	0.1074	-4.5071
无效率函数部分				
常数项	δ_0	1.2763***	0.2888	4.4187
college	δ_1	-0.0047***	0.0014	-3.4800
research	δ_2	0.0043***	0.0007	6.3600
enterprise	δ_3	-0.00004*	0.00002	-1.8792
FDI	δ_4	-0.0001**	0.00004	-2.3058
technology	δ_5	0.000000049***	0	3.3837
college.exp	δ_6	-0.000007***	0.000002	-2.9346
GDP	δ_7	0.06134**	0.0266	2.3024
ICT	δ_8	6.1013***	1.3193	4.6248
IS	δ_9	-0.0362***	0.0057	-6.3655
RI	δ_{10}	0.3487***	0.0962	3.6251
GOV	δ_{11}	-0.4030	0.2943	-1.3693
MRA	δ_{12}	-0.4417**	0.2004	-2.2046
其他统计信息				
σ^2		0.1307***	0.0149	8.7394
γ		0.5136836***	0.0722	7.1119
对数似然函数值		-96.777818		
LR 统计量		128.2851***		
平均技术效率		0.64260260		
样本容量		300		

注:*,**,***分别代表在 10%、5%、1% 水平上统计显著。

经济发展水平比较脱节,即间接证明了中国过去的经济增长更多来自非技术创新带来的粗放型规模增长,而非由技术创新带来的内涵式增长。过去多年经济发达地区由于仅仅依靠劳动力与资本红利而非技术创新就能大幅发展经济反过来给区域技术创新带来“抑制效应”。同时这一结果也给出经济落后区域发展经济指明了道路,即发挥“后发优势”,使技术创新成为该地区经济增长的主要推动力,使得区域经济增长与区域创新绩效真正实现正相关。

第二,地区信息基础设施水平用邮电业务总量占 GDP 比重表征, $\delta_8=6.1013$,实证结果表明该指标与区域创新绩效显著负相关,由于该指标是本研究选用的信息基础设施的反向指标,所以该实证结果表明地区信息基础设施水平与区域创新绩效正相关,验证了本文相关研究假设。

第三,该地区产业结构特征用各区域第三产业占比表征, $\delta_9=-0.0362$,实证结果表明区域第三产业占比与区域创新绩效显著正相关,验证了本文相关研究假设,即产业结构中现代产业体系的高新技术产业与服务业占比更大,区域创新绩效越好。

第四,区域研发投入强度用各区域 R&D 经费占地区 GDP 比重表征, $\delta_{10}=0.3487$,实证结果表明区域研发投入强度与区域创新绩效显著负相关,本文相关研究假设没有通过检验。这一实证结果表明现实中我国区域研发投入并没有取得预期效果,一方面可能是由于研发资金使用效率不高,存在较大浪费现象;另一方面本文研究创新绩效产出指标采用的是区域专利授权数,而我国产学研协同创新科技成果转化率低,研发经费并没有转化为实际创新成果,这也与我国实际情况相符合,更多的创新成果是以科研论文等“软形式”存在,而对专利等创新产出具有“挤出效应”。

第五,政府对创新活动的支持力度用地区总的科技经费筹集金额中政府资助所占比重表征, $\delta_{11}=-0.4030$,没有通过显著性检验,实证结果并没有验证研究假设。说明政府仅仅增加资金资助不能完全起到推动区域创新产出的结果,政府对创新活动的支持应花更多精力放在创造良好的制度环境以及出台更多支持性政策方面。

第六,地区市场开放程度用各区域进出口总额占 GDP 的比重表征, $\delta_{12}=-0.4417$,实证结果表明地区市场开放程度与区域创新绩效正相关。区域市场开放程度越高,越有利于知识传播与流动,越有利于产学研各方开展相互协同创新活动,促进区域创新绩效。本结果验证了相关研究假设。

3. 区域创新技术效率的测算及分析

根据实证结果对中国各省区域 2008—2017 年 10 年的区域创新绩效及各省绩效年均值具体列于表 4,并根据表 4 数据做出各年份全国平均创新绩效变化趋势如图 2 所示。从表 4 与图 2 可以看出,2008—2017 年,各省区域创新绩效虽有一定波动,但是各省份总体均表现出逐年上升的趋势,全国每年创新绩效平均值也是逐年上升,从 2008 年的 0.5010 上升到 2017 年 0.8090。说明近年我国产学研协同创新区域创新绩效上升很快,已经达到比较高的水平,但仍然有一定提升空间。

表 5 则列出中国各省区域历年平均创新绩效排名结果,从中可以看出江苏、浙江、海南和广东等东部沿海省份排名靠前,这些东部沿海省份区域创新绩效均已达到 0.8 以上,表现出较高的创新技术效率水平;而内蒙古、山西、吉林等中西部省份创新效率值均在 0.5 以下,说明这些省份区域创新绩效还有较大提升空间。值得注意的是,近年来一些西部省份(包括直辖市)如贵州、重庆、四川等省份的区域创新绩效得到较大提升,平均创新绩效均在 0.7 以上,

表 4 中国 2008—2017 年各省区域创新绩效结果

区域	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
北京	0.237	0.278	0.4295	0.3865	0.3957	0.7209	0.6835	0.6477	0.6074	0.6618
天津	0.3816	0.3934	0.4746	0.4007	0.4258	0.4376	0.4152	0.5415	0.6276	0.8104
河北	0.5003	0.4859	0.5863	0.5656	0.6098	0.6239	0.6192	0.7347	0.751	0.8308
山西	0.282	0.2897	0.3552	0.3604	0.4308	0.4624	0.4433	0.6638	0.7162	0.6896
内蒙古	0.3955	0.3272	0.3507	0.3236	0.331	0.3538	0.3585	0.4203	0.4447	0.561
辽宁	0.4328	0.4151	0.4962	0.4717	0.5037	0.5078	0.4873	0.6982	0.7328	0.7532
吉林	0.4279	0.3451	0.4347	0.4639	0.4526	0.4678	0.4841	0.5371	0.6084	0.7151
黑龙江	0.3488	0.2864	0.3966	0.5755	0.7075	0.7113	0.6717	0.7904	0.8411	0.9015
上海	0.7422	0.7476	0.885	0.7447	0.7422	0.6931	0.6649	0.7973	0.7342	0.8008
江苏	0.719	0.8113	0.894	0.9311	0.9344	0.9307	0.9392	0.9238	0.913	0.9644
浙江	0.8056	0.8278	0.9202	0.9341	0.914	0.8322	0.8666	0.939	0.9188	0.9544
安徽	0.4139	0.4774	0.7235	0.7696	0.7546	0.7083	0.7872	0.7405	0.7709	0.8279
福建	0.5751	0.5993	0.6797	0.6823	0.7098	0.7359	0.9169	0.8193	0.8374	0.8954
江西	0.3409	0.3636	0.4294	0.5037	0.5951	0.6177	0.6324	0.8171	0.8481	0.8553
山东	0.3879	0.4179	0.5224	0.5034	0.532	0.5167	0.5717	0.5749	0.6082	0.8453
河南	0.4399	0.3894	0.4744	0.4795	0.548	0.5538	0.5498	0.7188	0.7355	0.8466
湖北	0.4624	0.4082	0.5317	0.4788	0.5147	0.5383	0.5287	0.583	0.6509	0.7432
湖南	0.4684	0.4733	0.6292	0.6003	0.6394	0.6373	0.6204	0.6755	0.7013	0.793
广东	0.7511	0.785	0.8313	0.82	0.7961	0.8243	0.7933	0.8616	0.8806	0.9721
广西	0.5097	0.4439	0.4441	0.4592	0.5049	0.5717	0.619	0.7848	0.8043	0.7893
海南	0.7835	0.8464	0.8478	0.811	0.8206	0.8544	0.8842	0.9031	0.8761	0.8699
重庆	0.6	0.6194	0.7376	0.7868	0.8236	0.8634	0.8836	0.8989	0.8794	0.8476
四川	0.4564	0.5399	0.6844	0.6559	0.7708	0.8282	0.7762	0.8511	0.8603	0.8783
贵州	0.7009	0.6244	0.8181	0.794	0.883	0.8948	0.9077	0.917	0.8715	0.8497
云南	0.5055	0.5751	0.6322	0.6407	0.7114	0.7318	0.7735	0.7618	0.7592	0.7363
陕西	0.2784	0.3126	0.4426	0.4908	0.508	0.5761	0.5718	0.6894	0.8338	0.7905
甘肃	0.328	0.3063	0.3871	0.4915	0.5476	0.5999	0.6269	0.6881	0.7729	0.803
青海	0.537	0.4748	0.3211	0.4305	0.4187	0.3881	0.453	0.7517	0.7408	0.684
宁夏	0.6277	0.6723	0.7166	0.5079	0.5387	0.5981	0.6113	0.647	0.7161	0.7374
新疆	0.5917	0.529	0.5544	0.5716	0.6126	0.692	0.7493	0.862	0.826	0.8616
均值	0.501	0.5022	0.5877	0.5878	0.6226	0.6491	0.663	0.7413	0.7623	0.809

说明近年这些西部地区在产学研协同创新、创新基础设施及依靠科技创新促进产业升级等方面均取得很大进步,这给其他落后地区提供了宝贵的发展经验。另外四大直辖市中除了重庆、上海排名靠前以外,北京与天津均排名靠后,平均创新绩效均在0.5左右,低于全国平均值0.6426(表5),说明即使像北京、天津这样的创新资源聚集的地区,由于创新效率利用率低下、产学研协同创新不足等原因,仍然可能导致整体区域创新绩效较低。

五、结论及政策含义

本文研究基于异质性创新网络结构视角,假设区域产学研协同创新网络规模、网络开放性、网络结构洞、网络密度四个方面对区域创新效率产生影响,并在增加区域创新环境基础设施等诸多控制变量基础上通过对我国30个省份在区域创新绩效的表现进行分析,本文发现有证据表明,产学研协同创新网络规模对区域创新绩效影响并不明显。同样,网络结构洞的“中介效应”的研究假设也没有得到验证。与此同时,我们注意到网络开放性和网络密度与区域创新绩效关系的研究假设均得到验证。说明了区域产学研协同创新网络系统开放程度与产学研各方相互加强协同创新的重要性,在区域创新绩效方面发挥重要作用,它们均对区域创新绩效提升有明显促进作用。此外,本文也对区域创新环境因素对创新绩效的影响作用也进行了分析,发现地区信息基础设施水平、地区产业结构特征、地区市场开放程度等因素均对区域创新绩效产生正向影响,验证了研究假设。但政府对创新活动的支持力度与区域研发投入强度相关假设都没有得到验证。地区经济发展水平对区域创新绩效的假设被否定,间接验证了我国过去经济增长的“粗放性”,与科技创新关联度不高。

因此,这些发现可能对区域创新政策制定者和产学研各主体都有启示。对决策者来说,注重创造更先进的地区信息基础设施水平,促进地区产业结构优化升级,打造更开放的市场环境等更有利于产学研协同创新的区域创新环境是至关重要的,这一点可能促使他们制定包含当地科技创新绩效标准的相关科技政策。如何加强区域科技资金使用效率,使得创新投入与创新产出更高匹配,区域经济增长如何与技术创新更高关联是各地政府今后重点思考的问题。此外,本文的研究结果强烈表明,产学研协同创新网络结构因素的作用和影响具有重要意义。这为产学研各创新主体今后开展产学研创新活动给出了一定的指导方向,比如通过加强协同创新网络开放度与密度等创新网络结构优化措施促进区域创新绩效的提升。

当然,应该指出本文的研究由于实证方法、模型与测度指标选取、数据可得性等问题,仅仅通过验证本文有关研究假设得出提高区域创新绩效的结论还是具有一定局限性。未来的研究旨在进一步充实和细化目前的观察结果,可能会解决目前研究设计中隐含的几个限制。首先,在本研究中,由于随机前沿分析方法的限制,只选取专利授权数一个创新绩效指标为创新产出。未来的研究将会增加创新产出变量作进一步深入分析。同时,引入更多、更全面的产学研协同网络结构指标,可能会揭示本文的研究结果在多大程度上是可靠和结论性的。其次,由于数据的可得性,本文的研究选取区域科技统计年鉴中的有关数据替代现实中产学研协同创新指标数据可能导致研究实际低估或高估了创新绩效值,此外网络规模指标中企业数据和研究机构数据的缺失也是本研究的不足之处,今后如能收集到更符合实际的产学研协同创新数据将提高研究结论的

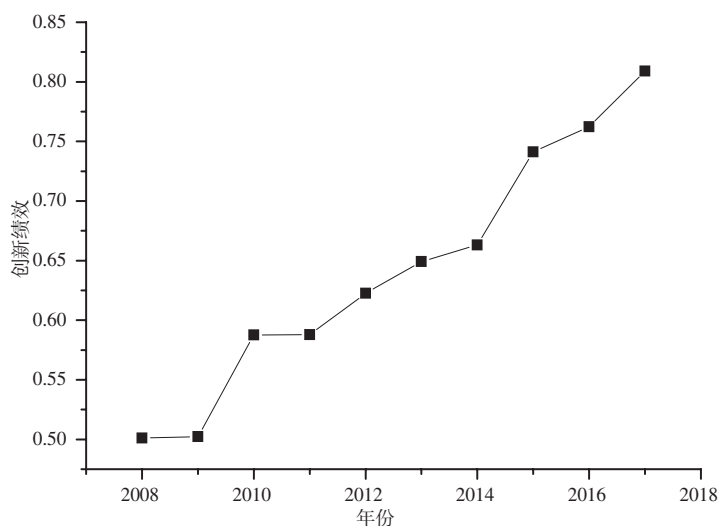


图2 各年份全国平均创新绩效变化趋势

表5 中国各省区域历年平均创新绩效排名结果

省份	平均绩效	排名	省份	平均绩效	排名
北京	0.5048	26	河南	0.5736	19
天津	0.4908	28	湖北	0.5440	24
河北	0.6308	14	湖南	0.6238	15
山西	0.4693	29	广东	0.8315	4
内蒙古	0.3866	30	广西	0.5931	18
辽宁	0.5499	21	海南	0.8497	3
吉林	0.4937	27	重庆	0.7940	6
黑龙江	0.6231	16	四川	0.7302	9
上海	0.7552	7	贵州	0.8261	5
江苏	0.8961	1	云南	0.6828	12
浙江	0.8913	2	陕西	0.5494	22
安徽	0.6974	10	甘肃	0.5551	20
福建	0.7451	8	青海	0.5200	25
江西	0.6003	17	宁夏	0.6373	13
山东	0.5480	23	新疆	0.6850	11

准确性。最后,未来的研究可能考虑产学研协同创新行为对区域创新绩效影响的“滞后效应”,以验证模型结果的稳健性。

参考文献

- [1] COOKE P. Regional innovation systems: General findings and some new evidence from biotechnology clusters[J]. The Journal of Technology Transfer, 2002(27): 133-145.
- [2] KRATKE S. Network analysis of production clusters: The potsdam/babelsberg film industry as an example[J]. European Planning Studies, 2002, 10(1): 27-54.
- [3] J OWEN-SMITH, W W. POWELL. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the boston biotechnology community[J]. Organization Science, 2004, 15(1): 5-21.
- [4] 于明洁, 郭鹏, 张果. 区域创新网络结构对区域创新效率的影响研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(8): 56-63.
- [5] 刘丹, 闫长乐. 协同创新网络结构与机理研究[J]. 管理世界, 2013(12): 1-4.
- [6] 马捷, 陈威. 欠发达地区官产学研的区域创新网络结构研究——基于府际协议的量化实证[J]. 电子科技大学学报(社科版), 2017, 19(4): 1-7.
- [7] EITAN M, RENANA P. The effect of social networks structure on innovation performance: A review and directions for research[J]. International Journal of Research in Marketing, 2019(36): 3-19.
- [8] FREMAN C. Networks of innovators: A synthesis of research issue[J]. Research Policy, 1991, 20(5): 499-514.
- [9] GRANOVETTER M. Economic action and social structure: The problem of embeddedness[J]. American Journal of Sociology, 1985, 91(3): 481-510.
- [10] BURT R S. Structure holes: The social structure of competition[M]. Boston: Harvard University Press, 1992.
- [11] MCEVILY B, ZAHEER A. Bridging ties: A source of firm heterogeneity in competitive capabilities[J]. Strategic Management Journal, 1999(20): 1133-1156.
- [12] 张秀萍, 卢小君, 黄晓颖. 基于三螺旋理论的区域协同创新网络结构分析[J]. 中国科技论坛, 2016(11): 82-88.
- [13] KRATKE S. Regional knowledge networks: A network analysis approach to the interlinking of knowledge resources[J]. European Urban and Regional Studies, 2010, 17(1): 83-97.
- [14] EISINGERICH A B, SIMON J. B, TRACEY P. How can clusters sustain performance? The role of network strength, network openness, and environmental uncertainty[J]. Research Policy, 2010, 39(2): 239-253.
- [15] EVERETT M, BORGATTI S. Ego network betweenness[J]. Social Networks, 2005, 27(1): 31-38.
- [16] PHILIP C. The new wave of regional innovation networks: Analysis, characteristics and strategy[J]. Small Business Economics, 1996, 8(2): 159-171.
- [17] 侯鹏, 刘思明, 建兰宁. 创新环境对中国区域创新能力的影响及地区差异研究[J]. 经济问题探索, 2014(11): 73-80.
- [18] GRILICHES Z. Patent statistics as economic indicators: A survey[J]. Journal of Economic Literature, 1990, 28(4): 1661-1707.
- [19] ACS Z J, ANSELIN L, ATTILA V. Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge[J]. Research Policy, 2002, 31(7): 1069-1085.
- [20] DAVID D, SAEED P. Region innovation systems: Current discourse and unresolved issues[J]. Technology in Society, 2005, 27(2): 133-153.
- [21] JAFFE A B. Real effects of academic research[J]. American Economic Review, 1989, 79(5): 957-970.
- [22] 李习保. 区域创新环境对创新活动效率影响的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2007(8): 13-24.
- [23] 李婧, 谭清美, 白俊红. 中国区域创新效率及其影响因素[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(6): 142-147.
- [24] 左铠瑞, 宫建成. 中国区域 R&D 效率变化测度及其影响因素研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37(4): 79-88.
- [25] 顾乃华, 毕斗斗, 任旺兵. 中国转型期生产性服务业发展与制造业竞争力关系研究——基于面板数据的实证分析[J]. 中国工业经济, 2006(9): 14-21.
- [26] BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic production frontier for panel data[J]. Empirical Economics, 1995, 20(11): 325-332.
- [27] AIGNER D J, LOVEL C A K, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. Journal of Econometrics, 1977, 6(1): 21-37.
- [28] MEEUSEN W, VAN DEN BROECK J. Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error[J]. International Economics Review, 1977, 18(2): 435-444.
- [29] BATTESE G E, CORRA G S. Estimation of a production frontier model: With application to the pastoral zone of eastern australia[J]. Australian Journal of Agricultural Economics, 1977(21): 169-179.
- [30] ALTUNBAS Y, CHAKRAVARTY S P. Frontier cost functions and bank efficiency[J]. Economics Letters, 2001, 72(2): 233-240.

Regional Collaborative Innovation Performance Based on Stochastic Frontier Analysis : Innovative Network Structure Perspective

Wu Zhongchao

(Business School of Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: Based on the perspective of innovation network structure, this paper uses the statistical data of 30 provinces in China from 2008 to 2017 and adopts the Stochastic frontier analysis (SFA) method to explore the influence of innovation network structure factors on regional innovation performance. The influence of innovation environment infrastructure on regional innovation performance is also analyzed. The empirical results show that both network openness and network density have a positive relationship with innovation performance, and the effect of network size and network structure hole is not obvious. Factors such as information infrastructure and industrial structure have a positive impact on innovation performance. The hypothesis that government support intensity is related to r&d investment intensity has not been verified.

Keywords: regional innovation performance; innovative network structure; industry-university-research collaborative innovation

(上接第 102 页)

Analysis of the Impact of Carbon Risk on Corporate Debt Cost Based on Media Attention : Empirical Evidence from A-share Listed Companies in China

Wang Xinyuan

(Hulunbuir University, Hulun Buir, 021008, Inner Mongolia, China)

Abstract: With the increasingly serious environmental problems today, the carbon emission behavior of enterprises is concerned by many stakeholders, especially when the mass media participate in the supervision team, it will bring huge risk pressure to enterprises. Based on China's A-share listed 76 companies of heavy polluting industry data from 2012 to 2016 as the research sample, empirically the media attention to the risk of carbon change on the influence of corporate debt financing costs, the results show that the risk of carbon increase will raise the cost of corporate debt, and media coverage of the situation and the positive relationship between the change of the debts of the enterprise cost, namely negative reports making due to increase the burden of debt costs rise, and vice versa, A further test the interaction effect of the two, find media weakens the carbon impact on the cost of debt risk, and negative reports contributed to this effect.

Keywords: carbon risk; media attention; positive news; negative news; debt cost