



异质性技术视角下 中国高技术制造业创新效率研究

肖仁桥, 陈忠卫, 钱丽

安徽财经大学工商管理学院, 安徽蚌埠 233030

摘要: 中国高技术制造业区域间创新水平存在差距, 且可分解为5大高技术行业。传统研究关注区域间效率差异, 并未考虑区域间技术异质性和区域内行业并联等特征, 整体提升产业创新效率有赖于区域技术差距缩小和各行业效率同步提升。

基于此, 探讨异质性技术视角下中国高技术制造业创新效率及其影响机制。考虑东、中、西部地区企业技术异质性, 利用共同前沿理论, 在共同前沿和群组前沿下构建并联网DEA模型, 测算分析2007年至2015年中国高技术制造业创新效率和区域间技术差距, 并对无效率值进行生产技术差距无效和管理无效分解以及行业无效率分解。从企业管理和创新环境方面, 对整体和分行业效率的影响因素进行实证分析。

研究表明, 中国高技术制造业创新效率偏低, 东、中、西部地区效率依次递减, 医疗设备制造业效率最高, 航空航天器制造业效率最低。东部与中、西部间的技术差距徘徊于0.300, 东部省份为高管理无效低技术差距无效型, 中、西部省份主要是低管理无效高技术差距无效型。通过行业无效率分解发现, 全国因电子及通信设备、航空航天器和医药制造业无效造成的损失较大。企业规模、创新氛围、政府支持对整体效率具有明显提升作用, 政府支持对创新效率的促进效应随企业规模的增大而减小, 各因素对分行业效率影响存在差异。

研究发现区域间技术差距明显, 各行业效率损失存在差异, 丰富了高技术制造业创新效率理论和实证研究成果; 深化了对高技术制造业创新无效率值分解的理论认识, 为寻找效率提升路径提供了理论基础和新的视角; 识别了整体和分行业创新效率的显著影响因素, 为中国高技术制造业区域发展战略布局以及制定行业差异化创新政策提供经验证据。

关键词: 异质性技术; 并联网DEA模型; 效率分解; 影响机制; 高技术制造业

中图分类号: F124.3

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2018.01.004

文章编号: 1672-0334(2018)01-0048-21

引言

高技术制造业不仅是中国经济发展的重要支柱, 当前世界各国都在人工智能、新能源、新材料、3D打印和医药制造等高新技术领域展开激烈竞争。近年来, 中国高技术制造业研发投入持续增加, 中国科

技统计年鉴数据显示, 2000年至2015年, 中国高技术制造业研发经费从111.041亿元人民币增至2 219.659亿元人民币, 年均增长22.1%。然而, 汤森路透公布的2016年全球创新企业百强名单, 中国内地仅华为一家公司上榜。中国内地代工型高科技产业基本采

收稿日期: 2017-05-18 **修返日期:** 2017-12-29

基金项目: 国家社会科学基金(14CGL065, 15CGL010); 安徽省自然科学基金(1708085QG170); 安徽省高校优秀青年人才基金(gxyqZD2016093)

作者简介: 肖仁桥, 管理学博士, 安徽财经大学工商管理学院副教授, 研究方向为技术创新管理等, 代表性学术成果为“中国高技术产业创新效率及其影响因素研究”, 发表在2012年第5期《管理科学》, E-mail: xrq0104@163.com
陈忠卫, 管理学博士, 安徽财经大学工商管理学院教授, 研究方向为创新与创业管理等, 代表性学术成果为“婚姻影响知识型员工的离职倾向吗? ——基于可雇佣性视角的案例研究”, 发表在2014年第2期《经济管理》, E-mail: czwancai@hotmail.com

钱丽, 安徽财经大学工商管理学院副教授, 研究方向为绿色经济等, 代表性学术成果为“碳排放约束下中国省际农业生产效率及其影响因素研究”, 发表在2013年第9期《经济理论与经济管理》, E-mail: littleqian6700@163.com

用国外成熟技术,自主知识产权匮乏,关键技术受制于人,明显缺乏国际竞争力^[1]。增加研发投入只是企业开展创新活动的必要条件,还需注重创新活动的产出和效率。

另外,中国区域高技术制造业发展不平衡,2017年2月工业和信息化部公布了中国内地第一批制造业单项冠军示范企业名单,共有39家东部地区企业入围,而中西部地区企业仅15家。各地区高技术制造业因经济基础和经营环境不同,以及长期以来形成的区域间技术壁垒,使他们在创新生产技术方面存在差异。若假定它们处于相同的技术前沿面,会因缺乏统一合适的比较标准,使研究结果平面且简单化。中国高技术行业种类较多,2015年电子及通信设备制造业新产品销售收入高达26 700.258亿元人民币,约占全国的65.9%,而航空航天器制造业新产品销售收入仅占3.4%(数据源自中国科技统计年鉴),各地区高技术产业的行业差异明显。为此,将区域间技术异质性和区域内行业并联等特征纳入统一框架,探索中国高技术制造业创新效率及其影响机制,分析制约地区效率提升的具体行业和因素,对于提升中国企业创新能力具有重要的理论和现实意义。

1 相关研究评述

1.1 高技术产业创新效率及其区域差异研究

创新绩效分为结果绩效和效率绩效,在结果绩效方面,学者们较多采用单指标(如专利数)进行分析^[2]。然而,使用专利数进行创新绩效测度存在一定缺陷,有些工艺创新不是专利等能反映的,部分企业并不愿意申请专利,因而更应关注技术的商业和社会价值^[3]。学者们逐渐采用探索性因子分析和综合评价方法进行创新绩效测度分析^[4-6]。吴伟伟等^[4]从技术绩效、市场绩效、财务绩效和消费者绩效4个方面对产品创新绩效进行衡量;TSENG et al.^[5]利用模糊数学和层次分析法构建台湾高技术制造业创新绩效模型,并进行实证测度和结果排序。从效率绩效视角出发,对区域高技术制造业创新绩效进行测度分析,有助于清晰了解产业创新过程,充分利用较为稀缺的创新资源,并可辅助改善技术创新活动。HASHIMOTO et al.^[7]运用数据包络分析(data envelopment analysis,DEA)模型对日本医药产业创新效率进行实证研究。考虑跨期技术前沿面的移动,桂黄宝^[8]选取DEA-Malmquist法测度分析中国区域高技术制造业全要素创新效率值,发现创新效率值与企业规模和劳动力正相关;熊婵等^[9]利用DEA模型,以研发人员、研发经费、广告投入等作为投入变量,销售额和品牌资产作为产出指标,测算中国区域高科技创业企业运营效率,发现存在明显的科研投入冗余。也有一部分学者从两阶段价值链视角对创新效率进行测度分析,GUAN et al.^[10]将创新活动分解为研发和成果商业化过程,利用两阶段DEA模型测度分析中国各省份高技术制造业创新效率值,并检验政府资

金对创新效率的影响,发现政府支持并未促进效率的提升;LIU et al.^[11]考虑两阶段间的关联性,利用两阶段关联型网络DEA模型对40个国家和地区的创新效率进行测度和比较分析。类似研究还包括WANG et al.^[12]、冯志军等^[13]和余泳泽^[14]。

1.2 异质性技术视角下产业创新效率研究

上述区域产业创新效率研究并未考虑中国东、中、西部地区企业间的技术差距。一般而言,只有处于技术相似的决策单元才能比较技术效率值。BATESE et al.^[15]利用随机前沿分析(stochastic frontier analysis,SFA)模型建立一个包络不同群组前沿的共同前沿生产函数,该方法既考虑了群组间技术水平异质性,又实现了群组间技术效率的可比性,但产出指标个数只能为1,在使用上受限。O'DONNELL et al.^[16]基于多投入、多产出的DEA模型构建共同前沿面,使共同前沿理论得到广泛运用,目前已被运用于环境效率^[17-18]和商业银行效率^[19]研究中,但在创新领域研究中并不多见。李新春等^[20]将中国高技术制造业分为东部高技术制造业等4个群组,首先利用SFA函数构建群组前沿测算在各自群组下的创新效率值,进而构建共同前沿测算各地区高技术产业创新效率值。但其产出指标仅为专利授权数,缺乏对市场导向性创新的分析。刘志迎等^[21]基于DEA方法构建群组前沿和共同前沿,对37个中国工业行业技术创新效率整体及分组实证测度,发现中国工业行业技术创新效率的整体水平偏低;沈能等^[22]基于异质性技术视角,将中国划分为东、中、西、东北4个群组,然后构建共同前沿进行区域环境创新效率分析。然而缺乏对高技术制造业创新效率的区域技术差距研究,有待进一步深入。

1.3 高技术制造业创新效率的行业差异及其并联特征

朱有为等^[23]基于1995年至2004年13个中国细分行业面板数据,利用SFA模型进行测算的结果表明,中国高技术制造业研发效率偏低(均值为0.258),计算机和电子通信设备制造业的效率最高,而医药制造业的效率较低,企业规模和市场竞争性对效率提升具有积极影响;肖文等^[24]基于政府支持和研发管理视角对中国工业企业创新效率及其影响因素进行分析,研究表明,36个中国工业行业效率值在0.500~0.600之间,企业研发管理有利于市场化导向创新效率的提升。上述研究基于单产出的SFA模型展开。而刘迎春^[25]基于多投入、多产出指标的DEA模型研究发现,2000年至2014年中国战略性新兴产业创新效率较高,各行业效率差异明显;谢子远等^[26]从产业集聚角度出发,在测算2000年至2012年20个中国工业行业创新效率值的基础上,分析产业集聚水平对效率的影响。由此可知,高技术制造业创新活动与所处地域以及行业特征均密切相关,需将高技术制造业的区域差异和行业特征纳入统一框架,分析效率低下的具体地区,进而确定该地区哪类行业引致效率低下。另外,已有研究将各行业创新活动看作相互独立的单元进行效率测度,事实上可将中国

各地区高技术制造业创新活动看作医药制造业等5个行业并行参与的过程,各行业之间存在一定的关联性^[27]。随着研究的深入,学者们开始利用并联网DEA模型测算效率值^[28-29]。在创新绩效领域,赵宏志等^[30]基于研发经费来源结构和执行主体异质性,将国家创新系统分为企业、高校和研究机构3个并行R&D子单元,对中美两国研发经费效率进行评价。但其研究对象不是高技术制造业。陈凯华等^[31]将高技术制造业看作电子通信和医药制造两个并联子系统进行效率分析,但未对无效率值进行分解。

1.4 简要评述

已有研究主要从区域或行业差异角度对高技术制造业创新效率进行测度比较,并分析企业规模和市场竞争力等因素的影响^[8,24]。然而,并未将区域间技术异质性和区域内行业并联纳入统一的研究框架。在对各自区域和行业差异研究中,少数研究从区域技术差距或行业技术异质性视角^[20-21,31]出发,对中国高技术制造业创新效率进行群组测算分析,但是他们的研究仅限于两种前沿下的效率测算,事实上,对高技术制造业各群组间的技术差距测算、无效率值分解等都还有待于进一步研究。另外,从行业并联角度出发,目前研究将高技术产业看作电子通信和医药制造产业两个并联子系统^[31],但未涵盖医药制造业、航空航天器制造业、电子及通信设备制造业、电子计算机及办公设备制造业和医疗设备及仪器仪表制造业5大行业,也未分析各行业对整体无效率的影响。对5大高技术行业创新效率的影响因素分析(创新环境和企业管理方面)尚不多见,较多研究是以整体产业角度进行影响因素分析。因此,本研究基于异质性技术视角,测量中国各省份5大高技术行业创新效率及其区域技术差距,并对无效率值进行分解,系统分析各行业效率的影响因素。

2 理论框架和研究模型

2.1 创新效率差异、技术差距理论及其影响机制分析

创新效率差异理论认为,高技术制造业因所在地区环境或行业特征不同,创新效率可能有所差异^[7,13]。中国区域经济发展不平衡,东部沿海地区高技术企业在地理位置、自然禀赋、人才支持和产业结构方面具有明显的优势,技术创新模式也由引进、消化、吸收、再创新逐步向原始创新和集成创新方式转变,产业支撑以技术和资本密集型企业为主^[20],科技成果转化市场也较为完善,创新效率相对较高。而中、西部地区企业仍然以技术引进和技术改造等为主要技术获取方式,劳动密集型企业占相当大的比例,使中、西部地区企业创新效率处于较低水平。同时,由于经济转型过程中的一些市场机制还不够完善,中国各省份经济发展处于较为激烈的竞争合作关系,导致区域间技术壁垒尚存,使企业创新的区域效率差异明显^[32]。从企业管理和创新环境角度看^[10,14,24],效率较高地区高技术制造业在企业规模^[14]、产权结构^[33]、知识产权保护^[34]和税收优惠政

策^[35]等方面具有明显优势,使区域效率差异明显。

技术差距理论认为,中国东、中、西部地区不同的区位优势、自然资源、人才储备和市场环境等因素对技术扩散速度具有显著影响,使各地区高技术企业可利用的技术集(自然资源、技术、资本、劳动力等要素的组合)有所差别,即各地区的生产技术前沿面是不同的^[16]。传统的效率研究假定各地区企业具有相同的生产技术前沿,隐含了不同地区面临同样的技术集,研究结论与实际存在一定偏差。如果各地区采取不同的生产技术前沿,则又导致地区间企业创新效率难以比较,缺乏一个共同标准^[15]。为了弥补上述缺陷,BATTESE et al.^[36]利用共同前沿生产函数,将共同前沿模型设定为包络所有不同技术水平生产者的随机前沿函数的边界,形成具有包络性质的共同前沿面,见图1。对于中国企业而言,共同前沿(全国)是群组前沿(如西部群组)的包络曲线,前者隐含了全国潜在的最优创新生产技术,而群组前沿仅表示特定区域(如西部地区高技术制造业)的最优创新生产水平。各地区企业在共同前沿下的效率值是以全国最优潜在技术为参照物,而群组前沿下的效率值则是以该省份企业所在的群组最优技术为标准而得到的结果。通过将共同前沿与群组前沿下的效率值相除,可得出各省份高技术企业与全国高技术企业在最优技术上的距离,称为技术落差比率(Tgr),东、中、西部地区企业 Tgr 之差又体现出各地区间的技术差距^[36]。根据技术差距视角下的效率分解理论,地区企业创新效率损失的原因有两部分^[37-38],一部分是由两种前沿之间的技术差距造成的,另一部分是由群组内决策单元自身管理失误和水平低下所致。

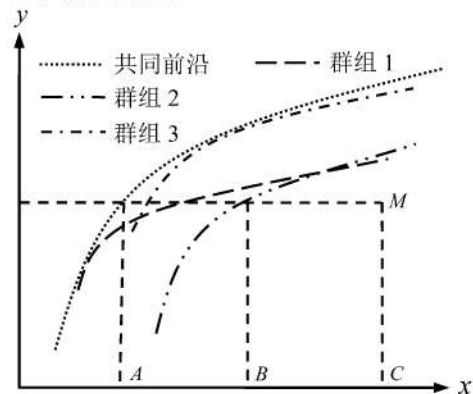


图1 共同前沿与群组前沿

Figure 1 Meta-frontier and Group Frontier

区域内不同高技术行业的集聚有利于异质性知识的溢出^[39],这种互补的知识对区域整体产业创新具有明显促进作用,且异质资源难以模仿,使企业具有竞争优势^[40]。产业关联是指区域内产业间以各种投入、产出品为纽带的技术经济关系,产业关联包括前向关联和后向关联^[26]。高技术行业间的产业关联性比传统行业间的关联性更高,通信设备制造业中的电子元器件制造业前向关联效应较强,为其他高

技术行业提供大量的中间投入品,而计算机及办公设备、电子及通信设备制造业后向关联较强,属于高中间需求型行业^[41]。区域高技术制造业上游供应商为下游企业提供零部件或信息服务,采购高质量的产品和服务以改进投入要素,是企业重要的创新方式之一^[42-43]。企业与下游用户联系,有利于了解下游用户的技术和产品需求,以更好地调整企业创新战略,并使下游用户竞争力得到提升^[44]。上、下游产业之间的垂直关联^[42]、战略联盟和产业融合^[43],影响着区域高技术产业的整体创新水平。企业技术创新是一个复杂的系统工程,包括许多相关联的子单元,这些单元要么串联(如科技研发和成果转化活动、行业之间的前向或后向关联等^[10,41]),要么并联(如多个创新主体^[30-31,45])。已有研究没有对系统内的创新组织进行细分,从而无法刻画出高技术分行业的效率或整体无效率来源^[31]。并联理论认为,中国高技术行业并存,区域高技术制造业可看作由医药制造业、航空航天器制造业、电子及通信设备制造业、电子计算机及办公设备制造业、医疗设备及仪器仪表制造业共同组成^[30-31,46]。各行业存在一定的差异性,不能将高技术行业简单看作独立单元进行效率分析,由于各创新主体的研发投入和产出构成了整个创新体系的投入和产出,从这个层面看,行业之间存在并联相关性^[30,46]。各创新主体在区域内形成了一个并联创新的关联网络结构,共同构成高技术制造业的技术前沿水平^[31]。

本研究主要从并联视角对高技术制造业创新效率进行分析,原因在于:①虽然部分行业存在前向关联和后向关联的串联特征,但就整个高技术制造业而言,这种串联特征并不十分明显。各高技术行业创新活动之间较多存在互相关联性,而并不具有显著的时序关系,更多体现为同时并行创新生产过程^[31,46]。②从上述并联特征分析发现,5大行业创新主体共同构成高技术制造业并行创新网络。另外,各行业特征、资金来源、管理制度存在差异(如航空航天器制造企业大多属于国企,在政策和金融支持方面具有明显优势),导致各行业对整体创新效率的影响可能有所差别,分析这些行业对高技术制造业整体创新效率的影响程度,寻找整体无效率的根源,

丰富高技术制造业并联创新和效率提升的理论研究。③各行业创新投入(产出)之和构成了高技术产业的投入(产出),这在一定程度上反映了各行业之间的相互作用关系^[30-31,45]。可将各行业共同的技术前沿水平(如各行业创新投入之和与产出之和)看作来自于前向和后向关联等作用的结果,但总体看,并联特征更加突出。

由于信息品化学制造业是近几年才发展起来的新兴行业,如照相、医用及投影用感光材料、冲洗套药的制造等,目前产值规模较小,且2015年才纳入国家高技术产业统计范畴。本研究主要考察过去10年中国高技术制造业创新效率的中长期动态变化及其影响因素,故未将信息品化学制造业纳入研究框架。图2给出中国高技术制造业的并联网络特征,从各行业看,医药制造业创新效率是该行业创新产出与投入之比,其他4个行业效率值类似。各省份高技术制造业创新整体效率值为5大行业创新总产出与总投入之比。根据高技术制造业创新系统的整体性和各行业的关联性,当各行业创新投入全部转化为产出,即资源得到充分利用时,系统整体效率达到最优,各子单元的松弛剩余值之和构成了并联创新系统整体无效率值^[46]。通过分析各子单元松弛剩余值占整体的比重,可判断效率损失的具体行业。

下面对创新效率的影响机制进行分析。影响创新效率的因素较多,国内外学者们主要从企业规模、市场竞争度和政府支持角度进行分析^[8,10,47],但缺乏对创新效率影响因素的系统分析。梳理已有研究发现,企业创新驱动可分为内部驱动和外部创新环境驱动^[10,14,24]。内部驱动方面,企业规模和技术水平^[14]、创新氛围和文化^[48]、产权结构^[24,33]等都构成了企业创新管理的微观基础。企业规模和产权结构则影响企业决策的关注主体和反应速度;创新氛围和文化体现了企业对技术创新活动的重视程度,包括主动追求合作创新的企业家精神及质量承诺的责任感等;外部创新环境驱动依赖于制度理论和产业集聚理论^[26];政府的财政拨款和税收优惠政策^[14,35]、不断完善和落实知识产权保护法^[34]、促进基础研究机构与企业的合作^[49-50]、提高地区人力资本水平^[51]等,为高技术企业创新活动的开展营造良



图2 行业差异视角下中国高技术制造业创新并联网络结构

Figure 2 Parallel Network Structure for High-tech Manufacturing Industry Innovation Based on Industry Differences in China

好的创新环境。

具体而言,在企业管理方面。①企业规模。余泳泽^[14]认为,规模较大的企业创新效率更高;SCHERER et al.^[47]认为,企业因规模变大、层级众多,易滋生管理官僚化,企业内耗也不断增加,从而造成效率损失。还有一种观点认为规模较大或较小企业效率比中等规模企业高。本研究认为,企业规模越大,企业有足够的资金从事研发活动,并可通过技术创新的规模效应回收研发成本,因而导致创新效率越高,创新效率与企业规模正相关。②创新氛围。创新需要一定的环境和氛围,ANDERSON et al.^[52]提出创新氛围包括参与安全性、创新支持等4个因素。良好的创新氛围有利于员工创造力的发挥,激励各行业的创新^[48]。本研究认为,创新效率与创新氛围正相关。③所有制结构。ZHANG et al.^[33]的研究表明,国有经济比重越大,企业创新效率越低;李政等^[53]发现国有企业本身不缺乏创新动力和效率,可通过机制体制改革实现效率提升。所有制结构的影响有待进一步检验。

在创新环境方面。①基础应用研究经费。R&D经费支出包括基础研究、应用研究和实验发展等支出,查阅资料发现,中国各地区基础和应用研究经费之和所占比重一般不超过30%,美国3种类型经费所占比例几乎相等,中国部分地区甚至低于10%,制约了原始性重大科研成果的产生。本研究认为创新效率与基础应用研究经费比重正相关。②政府支持。CZARNITZKI et al.^[54]发现,政府资助降低了企业研发成本和风险,从而有利于创新成果的产出;WALLSTEN^[55]则认为,政府资金支持对企业研发投入产生挤出效应;GUAN et al.^[10]的研究表明,中国高技术产业创新效率与政府资金负相关;余泳泽^[14]发现,政府资助有利于创新效率的提升。政府资助的影响还有待进一步检验。③知识产权保护。MASKUS^[34]认为,对知识产权进行保护,有利于外资入驻和技术溢出,促进本国企业创新能力提升。YANG et al.^[56]发现,软件等技术水平较高行业更加关注知识产权保护,而传统行业对知识产权保护并不敏感;刘思明等^[57]认为,知识产权保护不宜过紧或过松;胡凯等^[58]的研究表明,知识产权保护对中国企业技术创新具有积极影响。本研究认为,知识产权保护有利于中国高技术制造业创新效率的提升,且知识产权保护对不同行业的影响可能存在差异,尤其是计算机及办公设备等技术水平较高行业,知识产权保护的正向影响可能更为显著。④劳动者素质。劳动者是技术发明和传播的重要载体,提高劳动者素质有利于增强区域创新能力。本研究认为,中国高技术制造业创新效率与劳动者素质正相关。⑤金融环境。创新活动离不开金融机构的支持,银行和风险投资机构等对企业创新能力提升具有积极影响^[59-60]。但白俊红等^[61]的研究表明,由于银行等机构受地方政府的干预,更倾向于投资一些短平快、风险小的生产建设性项目。创新活动更多依赖自身资

金投入^[62],金融环境的影响还有待检验。本研究引用企业规模与政府支持的交互项,以期寻找政府支持促进创新效率提升的路径,相对规模较小企业而言,规模较大企业并不缺乏资金,政府资助可能产生挤出效应,为此,本研究认为企业规模在政府支持对创新效率促进过程中起负向调节作用。

2.2 研究模型

将中国高技术制造业分为东部、中部和西部3大群组,查阅资料发现,由于部分地区高技术行业布局不齐全,相关行业数据缺失,如西藏各行业创新投入产出数据缺失较为严重,海南仅有医药制造业相关数据,青海、宁夏、新疆缺少航空航天器制造业和计算机及办公设备制造业相关数据,故这些省份不在本研究范围之内。因此,东部群组包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东等10个省(市),中部群组包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南等8个省,西部群组包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃等8个省(区、市),以下统称为省份。本研究构建群组前沿,将东部、中部和西部3个群组下的各省份高技术制造业整体(称为评价单元)创新投入和产出数据分别归入各自技术集合,记为 T^q , q 为东、中、西部3个群组, $q=1,2,3$, $T^q=\{(x,y):x \geq 0,y \geq 0;x$ 在 q 群中能产出 $y\}$, x 为评价单元的创新投入指标值, y 为评价单元的创新产出指标值。本研究以1个省份高技术制造业的整体作为1个评价单元,9年共有234个评价单元。故第 q 个群组的生产可能集为 $P^q(x)$, $P^q(x)=\{y:(x,y) \in T^q\}$, $P^q(x)$ 的上界为 $\sup_x P^q(x)$, $\sup_x P^q(x)$ 为 q 群组前沿。进而,构建共同前沿。由于集合 T^q 均运行于同一技术集 T (包括全国26个省份高技术制造业)之下,故技术集 T 为东部技术集 T^1 、中部技术集 T^2 、西部技术集 T^3 的并集,即 $T=T^1 \cup T^2 \cup T^3$,此时 $P(x)=\{y:(x,y) \in T\}$, $P(x)$ 为生产可能集,其上界为中国各省份高技术制造业创新的共同前沿。

本研究利用并联网DEA模型构建群组、共同生产技术前沿面和距离函数。YANG et al.^[63]证明了并联网系统的整体效率与分行业效率之间的关系,段永瑞等^[64]和KAO^[46]测度分析并联网整体、分行业效率以及整体效率与分行业效率之间的加权和关系。在此基础上,本研究在共同前沿下,构建中国高技术制造业5大行业并联网创新系统的DEA效率测度模型。考虑高技术制造业创新系统的并联网结构和分行业之间的关联性,假设:①各分行业创新生产过程中,累计产出不得超过累计投入;②在各分行业创新过程中,同一要素(如R&D人员全时当量)的权重保持不变^[46]。如图2所示,本研究选定投入和产出指标个数均为3个,具体指标的选取依据见下文的变量说明部分。每个省份高技术制造业都由医药制造业等5个并联网分行业构成,分别用 $x_{i,j}^1, \dots, x_{i,j}^5$ 表示医药制造业、航空航天器制造业、电子及通信设备制造业、电子计算机及办公设备制造业、医疗设备及仪器仪表制造业的创新投入指标值, i 为创新投入指标, $i=1$,

2,3,j为评价单元, $j = 1, 2, \dots, k, \dots, 234$; 分别用 $y_{r,j}^1, \dots, y_{r,j}^5$ 表示5个高技术行业的创新产出指标值, r 为创新产出指标, $r = 1, 2, 3$ 。在共同前沿下, 第 k 个评价单元的整体效率为线性规划问题(1)式的最优值。当测算第 k 个评价单元创新效率值时, (2)式中仅需代入第 k 个评价单元投入指标值 $x_{i,k}$, (3)式和(4)式依次代入234个评价单元的创新投入和产出值, 所以(3)式和(4)式共包含 234×6 个不等式, 限于篇幅, 以 $j = 1, 2, 3, \dots, 234$ 的缩略形式表示。当计算另一个评价单元创新效率值时, 只需对(1)式和(2)式中的创新投入和产出值替换即可, (3)式和(4)式中的创新投入和产出值保持不变。

$$[D(x_{i,k}, y_{r,k})]^{-1} = TE(x_{i,k}, y_{r,k}) = \max \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k} \quad (1)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,j} - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,j} \leq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,j}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,j}^p \leq 0 \quad (4)$$

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, 3, i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$p = 1, 2, \dots, 5, (x_{i,j}, y_{r,j}) \in T \quad (6)$$

其中, $D(\cdot)$ 为共同前沿下中国第 k 个评价单元高技术制造业的距离函数, $x_{i,k}$ 为第 k 个评价单元第 i 个创新投入指标值, $y_{r,k}$ 为第 k 个评价单元第 r 个创新产出指标值, $TE(\cdot)$ 为该评价单元的创新效率值, u_r 为第 r 个创新产出指标的权重, v_i 为第 i 个创新投入指标的权重, $y_{r,j}$ 为第 j 个评价单元第 r 个创新产出指标值, $x_{i,j}$ 为第 j 个评价单元第 i 个创新投入指标值, $y_{r,j}^p$ 为 p 行业第 j 个评价单元第 r 个创新产出指标值, $x_{i,j}^p$ 为 p 行业第 j 个评价单元第 i 个创新投入指标值, $\varepsilon > 0$ 为非阿基米德无穷小量。 p 为高技术行业, $p = 1$ 时为医药制造业, $p = 2$ 时为航空航天器制造业, $p = 3$ 时为电子及通信设备制造业, $p = 4$ 时为电子计算机及办公设备制造业, $p = 5$ 时为医疗设备及仪器仪表制造业。(3)式表示各省份高技术制造业作为一个整体(不分行业)时, 投入和产出值应满足的前沿条件, (4)式表示医药制造业等5大行业分别应该满足的前沿条件。由于(3)式等于(4)式的 p 在5种取值下的不等式之和, 故可删除(3)式。为了测算分析共同前沿下各省份高技术制造业的整体效率和分行业效率值, 本研究对(1)式的约束条件进行变形, 通过增加松弛变量 s_k^p , 将不等式(4)式在第 k 个评价单元(令 $j = k$) 时的结果转换为等式, 得到改进后的模型, 即

$$D(x_{i,k}, y_{r,k})^{-1} = TE(x_{i,k}, y_{r,k}) = \max \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k} \quad (7)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^p + s_k^p = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,j}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,j}^p \leq 0 \quad (10)$$

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, 3, i = 1, 2, 3 \quad (11)$$

$$p = 1, 2, \dots, 5, (x_{i,j}, y_{r,j}) \in T \quad (12)$$

其中, s_k^p 为第 k 个省份第 p 个高技术制造业的无效率函数。引入变量 s_k , 令 $s_k = 1 - \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}$, (7)式的表达式也可表示为 $Nte_k = \min s_k$, Nte_k 为第 k 个省份高技术制造业整体无效率值, s_k 为第 k 个省份高技术制造业整体无效率函数。需要注意的是, 也可以将 s_k 看作一种整体松弛变量, 即是否将整体投入(此时为1)全部转化为产出 ($\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}$), 这里并联系系统的总产出(或总投入)等于各分行业产出(或投入)之和, 且 $\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k} = 1$ 。故

$$\begin{aligned} s_k &= 1 - \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k} = \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k} - \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k} \\ &= \sum_{i=1}^3 v_i (x_{i,k}^1 + x_{i,k}^2 + x_{i,k}^3 + x_{i,k}^4 + x_{i,k}^5) - \\ &\quad \sum_{r=1}^3 u_r (y_{r,k}^1 + y_{r,k}^2 + y_{r,k}^3 + y_{r,k}^4 + y_{r,k}^5) \\ &= (\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^1 - \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^1) + (\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^2 - \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^2) + \dots + \\ &\quad (\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^5 - \sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^5) \\ &= s_k^1 + s_k^2 + s_k^3 + s_k^4 + s_k^5 \end{aligned}$$

(该步由(9)式可知)

$$s_k = s_k^1 + s_k^2 + s_k^3 + s_k^4 + s_k^5 \quad (13)$$

(7)式可进一步化简为线性规划问题的形式, 即

$$Nte_k = \min s_k \quad (14)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k} = 1 \quad (15)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^p + s_k^p = 0 \quad (16)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,j}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,j}^p \leq 0 \quad (17)$$

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, 3, i = 1, 2, 3 \quad (18)$$

$$p = 1, 2, \dots, 5, (x_{i,j}, y_{r,j}) \in T \quad (19)$$

利用(14)式计算出整体无效率, 则整体效率为 $[D(x_{i,k}, y_{r,k})]^{-1} = TE(x_{i,k}, y_{r,k}) = 1 - Nte_k$ 。然后计算分行业效率值 TE_k^p , 因分行业效率值等于其产出与投入之比, 故

$$TE_k^p = \frac{\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^p}{\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^p} = 1 - \frac{s_k^p}{\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^p} \quad (20)$$

需要注意的是, $\sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^p \neq 1$, 因为 $\sum_{i=1}^3 v_i (x_{i,k}^1 + x_{i,k}^2 + x_{i,k}^3 + x_{i,k}^4 + x_{i,k}^5) = 1$, 所以, 严格来说, $0 < \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,k}^p < 1$ 。于是, 本研究可以将(14)式~(19)式求解得出的 s_k^p, v_i 值以及已知投入指标值 $x_{i,k}^p$ 均代入(21)式中, 即可计算出第 p 个分行业的效率值 TE_k^p 。这也体现了并联网络DEA模型“优先考虑评价单元整体效率最大”的整体性和关联性特征。

同理,可通过(21)式~(26)式分别求解在东部群组($q=1$)、中部群组($q=2$)和西部群组($q=3$)前沿下各省份高技术制造业效率值,即

$$Nte_k = \min s_k \quad (21)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^3 v_i x_{r,k} = 1 \quad (22)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,k}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{r,k}^p + s_k^p = 0 \quad (23)$$

$$\sum_{r=1}^3 u_r y_{r,j}^p - \sum_{i=1}^3 v_i x_{i,j}^p \leq 0 \quad (24)$$

$$u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon, r=1,2,3, i=1,2,3 \quad (25)$$

$$p=1, \dots, 5, (x_{i,k}, y_{r,k}) \in T^p, q=1,2,3 \quad (26)$$

需要注意的是,(21)式~(26)式只算出了群组前沿下并联系的整体无效率值,而整体及分行业效率值求解方法与共同前沿下做法类似。

技术落差比率(Tgr)越大,表明该群组的最优创新技术与全国潜在最佳技术间的差距越小。有

$$0 \leq Tgr^q(x,y) = \frac{D^q(x,y)}{D(x,y)} = \frac{TE(x,y)}{TE^q(x,y)} \leq 1 \quad (27)$$

其中, $Tgr^q(x,y)$ 为评价单元 (x,y) 所属第 q 个群组的技术落差比率, $D(x,y)$ 为共同前沿下评价单元 (x,y) 的距离函数, $D^q(x,y)$ 为第 q 个群组前沿下评价单元 (x,y) 的距离函数, $TE(x,y)$ 为共同前沿下评价单元 (x,y) 的创新效率值, $TE^q(x,y)$ 为第 q 个群组前沿下的创新效率值。根据技术差距理论分析,效率损失原因有两个^[37-38]:一是技术差距无效率,记为 $Tgri$,属于外源性障碍;二是管理无效率,记为 MI ,属于内生性阻力。分解公式为

$$\begin{aligned} Tei &= 1 - TE = Tgri + MI \\ Tgri &= TE^q(1 - Tgr^q) = TE^q - TE \\ MI &= 1 - TE^q \end{aligned} \quad (28)$$

$$q=1,2,3$$

根据行业无效率的理论分析^[44],并由(13)式,本研究可以利用 $\frac{s_k^p}{s_k}$ 反映制约中国各省份高技术制造业创新效率提升的具体行业。若 $\frac{s_k^2}{s_k}$ 在 $\frac{s_k^p}{s_k}$ 中取值最大,则表明该省份因航空航天器制造业所导致的地区整体无效率损失最为严重。

3 样本、变量和数据说明

根据2.2,本研究选取2007年至2015年中国26个省份高技术制造业5大行业为研究对象,数据源自历年《中国高技术产业统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》。对高技术制造业创新投入和产出指标界定如下。

(1)创新投入变量。一般从人力和资金投入角度进行衡量^[22,65-66]。在人力投入方面,本研究选取研发人员全时当量表示。在资金投入方面,选取R&D经费内部支出和引进消化吸收费用衡量,毕竟在中国、西部地区以及部分东部省份,引进、消化、吸

收、再创新仍然是其主要创新模式^[67],引进、消化、吸收、再创新费用等于技术改造费用、技术引进费用、消化吸收费用和购买中国技术费用等4项支出之和。整理数据发现,消化和吸收费用占引进、消化、吸收、再创新费用比率不高,需引起关注。由于研发投入转化为产出具有一定滞性,前期投入不仅对当期产出有显著影响,也会对后期的产出构成影响,故对R&D经费内部支出和引进、消化、吸收、再创新费用均采用存量指标,利用永续盘存法^[62,66]进行计算。基期为2000年,折旧率为15%,在计算各省份高技术制造业研发经费存量之前,选择李向东等^[68]提出的高技术制造业研发价格指数进行平减,即研发价格指数=固定资产价格指数 \times 46%+居民消费价格指数 \times 54%,以2000年为不变价格,各省份价格指数源自2008年至2016年《中国统计年鉴》。引进消化吸收费用存量的测度方法类似。

(2)创新产出指标。主要从科技产出和经济产出角度衡量^[24,69]。在科技产出方面,选取专利申请量测量,虽然部分专利短期内经济效益并不明显,甚至是沉睡专利,但从总体和长远看,专利的价值不容忽视,也是目前为止最能反映产业创新科技产出的指标之一,虽然有些专利申请并未授权,但由于前期已形成一定的技术知识积累等,对于发展中国家的产业发展而言,仍产生较为明显的经济和社会效益,事实上,专利申请量可看作创新产出的隐性指标。在经济产出方面,本研究选取新产品销售收入指标,这也是国际上的惯用指标,用工业品出厂价格指数进行平减,转换为2007年不变价。另外,有些小的技术发明和工艺改进,可以优化流程,产品质量和生产效率也得到大大提高,实现价值增值,而这不是专利和新产品所能反映的,因而还需增加总产值(或总收入、总利润)指标^[70]。基于数据的可获取性和指标间可能存在的重叠,采用主营业务收入测量,用工业品出厂价格指数进行平减,转换为2007年不变价。新产品销售收入和主营业务收入指标数据源自《中国高技术产业统计年鉴》,而工业品出厂价格指数源自《中国统计年鉴》。

DEA模型测算高技术制造业创新效率时,一般要求评价单元的投入和产出值均大于0,而考察期内少数省份指标数据为0,如2007年山西和内蒙古航空航天器制造业研发人员全时当量指标值为0。为此,利

用数据标准化处理公式 $\tilde{x}_n = 1 + 99 \times \frac{x_n - \min_n x_n}{\max_n x_n - \min_n x_n}$,将

中国各省份5大高技术行业创新原始数据进行标准化,转换为 $[1,100]$ 之间的数。 x_n 为根据要求从各种统计年鉴上收集的原始数据,经过上述公式的标准化处理,使处理后得到的数据 \tilde{x}_n 既达到DEA模型处理的要求,也蕴含了原始数据的基本信息。

(3)影响因素变量。企业管理方面。①企业规模($Scale$),用各地区高技术制造业主营业务收入与企业数比值的对数值表示,在测算之前,用工业品出厂

价格指数进行平减,转换为2007年不变价。② 创新氛围(*Inno*),有研发机构的企业越多,企业基于创新活动的竞争和合作越频繁,从而营造更好的创新氛围,学者们采用各地区有研发机构的企业数占总企业数的比重测量^[48]。由于创新氛围与企业研发创新活动高度相关,故本研究采用各地区高技术制造业有研发活动的企业数占有企业数的比重来表示。③ 所有制结构(*Owner*),用国有及国有控股企业主营业务收入占有主营业务收入比重来表示。创新环境方面。① 基础研究应用研究(*Resea*),用地区R&D经费内部支出中基础研究与应用研究之和所占比重来表示。② 政府支持(*Gouv*),用各地区高技术制造业R&D经费内部支出中政府资金所占比重表示。③ 知识产权保护(*IP*),用技术市场成交额占GDP的比重表示^[58]。④ 劳动者素质(*Labor*),用大专及以上学历人口数与15岁以上人口数的比值表示。⑤ 金融环境(*Finan*),用金融机构贷款余额占GDP比重表示^[71]。最后,引入企业规模与政府支持的交互项。

4 实证分析

4.1 共同前沿下中国高技术制造业创新效率差异分析

已有研究忽视了东、中、西部地区高技术制造业之间的技术差距,本研究基于共同前沿理论,根据东、中、西部地区的异质性,按省份分别构建东部、中部和西部群组前沿进行群组内测度分析,群组前沿是群组内评价单元能达到的最优创新生产水平;但这不利于群组间评价单元的比较,因此构建各群组的共同包络曲线,即共同前沿,代表全国各省份高技术制造业能达到的最优创新生产技术。根据上述共同前沿理论和并联网DEA模型((14)式~(26)式),利用Lingo 11编程测度2007年至2015年中国各省份高技术制造业创新效率值,同时将考虑和不考虑并联网(即传统CCR模型)的两种效率值进行对比(限于篇幅,群组前沿结果未列出)。结果见表1、图3和图4,表1中东、中、西部地区各行业效率值是在共同前沿下测算出来的,群组前沿下效率值是将群

组内评价单元进行比较得出,而共同前沿下效率值是在全国范围内进行测算比较得出。

若不考虑5大行业的并联网特征,测算各省份高技术制造业创新效率值,则效率值偏高(0.763),东、中、西部地区高技术制造业创新效率均值分别为0.820、0.724、0.733,这与已有学者的结论相似^[8,14],但可能存在效率值被夸大、与产业创新发展实际不吻合的可能。利用并联网DEA模型进行创新效率测算,结果发现,考察期内全国高技术制造业创新效率均值仅为0.469,东、中、西部地区效率均值依次递减,分别为0.484、0.465和0.455。各年份区域效率存在一定差异,而总体均值的差异并不明显,可能原因是2014年和2015年东部地区效率值明显偏低,从而拉低了考察期内东部地区效率均值,且2007年至2015年全国及三大地区效率值增减交替,但幅度不大(见图4)。本研究发现,考虑并联网结构的各省份效率值均不超过传统CCR模型效率值(见图3),且二者间的差距较为明显,如广东省在两种情形下的效率均值分别为0.959和0.554。考虑并联网结构的效率分析发现,广东省高技术制造业效率值仍有45.100%的提升空间。另外,对两种情形下的效率进行省际排名,发现存在些许排序变化,Pearson相关性检验表明,两种排序的正相关性高达0.893,且在1%的检验水平上显著,验证了本研究共同前沿下并联网模型效率测算结果的稳健性。

下面以并联网视角下高技术制造业创新效率排序结果进行分析,北京、天津、江苏、广东和安徽创新效率相对较高。图3中,北京、天津、江苏和广东是中国高技术制造业的聚集地,在人才支撑、经费投入、管理经验和制度安排上全国领先。由表1可知,2007年至2015年安徽省高技术制造业创新效率值从0.426增至0.675,尤其是电子及通信设备制造业效率值由0.393增至0.869,年均增幅高达10.428%,是该省效率提升的关键所在。陕西、福建、江苏、湖北、河北、黑龙江、安徽、江西等省份创新效率值处于全国较低水平,这些地区高技术制造业发展具有一定的

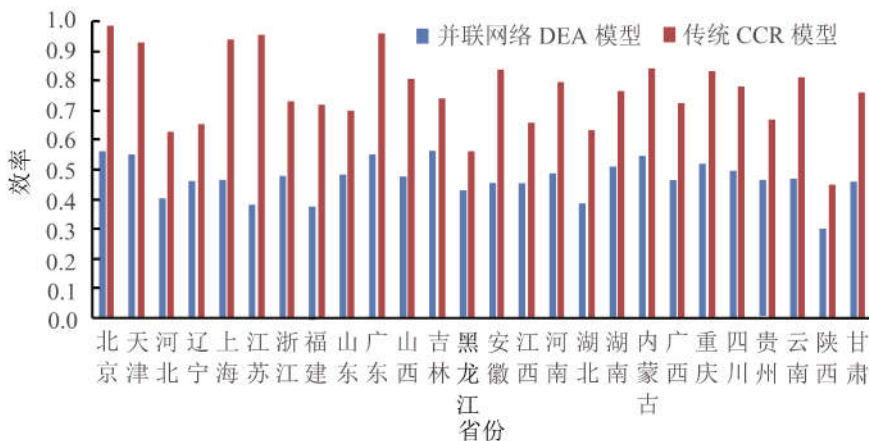


图3 中国各省份高技术制造业传统和并联网效率均值(2007年至2015年)
Figure 3 Traditional and Parallel Network Average Efficiency in the High-tech Manufacturing Industries for all Provinces in China (2007-2015)

表1 共同前沿下基于并联网模型的高技术制造业创新效率分解
 Table 1 Innovation Efficiency Decomposing for High-tech Manufacturing
 Industries Considering Parallel Network Model in Meta-frontier

地区	2007年						2015年						2007年~2015年均值					
	TE	TE ¹	TE ²	TE ³	TE ⁴	TE ⁵	TE	TE ¹	TE ²	TE ³	TE ⁴	TE ⁵	TE	TE ¹	TE ²	TE ³	TE ⁴	TE ⁵
北京	0.520	0.357	0.292	0.773	0.518	0.341	0.480	0.322	0.227	0.505	0.901	0.448	0.561	0.407	0.270	0.773	0.676	0.471
天津	0.514	0.416	0.468	0.656	0.425	0.448	0.458	0.343	0.483	0.534	0.419	0.414	0.553	0.593	0.500	0.604	0.445	0.507
河北	0.423	0.342	0.437	0.457	0.467	0.468	0.337	0.230	0.374	0.338	0.455	0.488	0.405	0.307	0.406	0.478	0.474	0.481
辽宁	0.369	0.477	0.269	0.294	0.498	0.455	0.358	0.377	0.258	0.378	0.430	0.505	0.467	0.437	0.472	0.504	0.463	0.471
上海	0.493	0.366	0.366	0.435	0.913	0.444	0.450	0.290	0.226	0.502	0.773	0.491	0.469	0.470	0.464	0.479	0.468	0.464
江苏	0.462	0.325	0.434	0.417	0.784	0.435	0.472	0.283	0.397	0.512	0.312	0.646	0.395	0.480	0.252	0.418	0.486	0.577
浙江	0.409	0.312	0.481	0.341	0.475	0.564	0.451	0.280	0.472	0.505	0.286	0.570	0.477	0.500	0.464	0.466	0.458	0.479
福建	0.417	0.417	0.464	0.323	0.531	0.456	0.405	0.386	0.492	0.429	0.307	0.514	0.377	0.369	0.277	0.460	0.449	0.457
山东	0.426	0.407	0.463	0.460	0.318	0.521	0.416	0.225	0.436	0.492	0.536	0.546	0.488	0.336	0.306	0.482	0.904	0.509
广东	0.647	0.458	0.393	0.660	0.685	0.775	0.443	0.314	0.397	0.449	0.378	0.595	0.554	0.338	0.461	0.559	0.621	0.728
山西	0.474	0.503	0.464	0.482	0.468	0.451	0.438	0.353	0.459	0.497	0.467	0.452	0.476	0.290	0.444	0.508	0.364	0.733
吉林	0.468	0.465	0.464	0.457	0.473	0.486	0.444	0.399	0.464	0.483	0.454	0.470	0.570	0.566	0.415	0.673	0.521	0.534
黑龙江	0.381	0.372	0.271	0.449	0.460	0.440	0.367	0.316	0.290	0.447	0.437	0.510	0.423	0.385	0.462	0.426	0.377	0.531
安徽	0.426	0.428	0.406	0.393	0.467	0.445	0.675	0.470	0.412	0.869	0.585	0.696	0.432	0.453	0.303	0.524	0.478	0.465
江西	0.381	0.444	0.257	0.391	0.462	0.448	0.476	0.402	0.381	0.567	0.478	0.577	0.440	0.342	0.458	0.471	0.445	0.600
河南	0.439	0.482	0.395	0.380	0.462	0.484	0.418	0.292	0.460	0.459	0.436	0.502	0.495	0.445	0.464	0.587	0.446	0.520
湖北	0.379	0.355	0.336	0.320	0.501	0.477	0.383	0.296	0.404	0.353	0.411	0.716	0.396	0.399	0.349	0.359	0.441	0.529
湖南	0.445	0.508	0.410	0.445	0.411	0.456	0.448	0.522	0.409	0.348	0.466	0.617	0.511	0.563	0.429	0.479	0.470	0.604
内蒙古	0.469	0.460	0.466	0.486	0.466	0.466	0.453	0.416	0.465	0.461	0.470	0.462	0.549	0.351	0.434	0.527	0.740	0.754
广西	0.452	0.455	0.466	0.409	0.466	0.469	0.451	0.353	0.467	0.469	0.480	0.532	0.466	0.430	0.467	0.467	0.490	0.491
重庆	0.429	0.415	0.459	0.448	0.448	0.389	0.592	0.439	0.463	0.736	0.596	0.705	0.523	0.478	0.458	0.553	0.609	0.529
四川	0.371	0.426	0.416	0.306	0.421	0.405	0.572	0.745	0.277	0.624	0.441	0.787	0.499	0.609	0.328	0.494	0.600	0.609
贵州	0.455	0.489	0.386	0.493	0.468	0.468	0.426	0.432	0.359	0.492	0.459	0.472	0.448	0.532	0.348	0.511	0.462	0.477
云南	0.496	0.604	0.468	0.465	0.468	0.470	0.438	0.382	0.465	0.468	0.452	0.467	0.470	0.494	0.467	0.464	0.459	0.465
陕西	0.294	0.455	0.152	0.313	0.458	0.422	0.264	0.334	0.163	0.344	0.461	0.357	0.302	0.435	0.167	0.385	0.465	0.411
甘肃	0.461	0.460	0.461	0.451	0.468	0.465	0.453	0.401	0.462	0.457	0.468	0.493	0.462	0.428	0.464	0.476	0.468	0.479
东部	0.468	0.388	0.407	0.482	0.561	0.491	0.427	0.305	0.376	0.464	0.480	0.522	0.484	0.383	0.399	0.525	0.553	0.589
中部	0.424	0.445	0.375	0.415	0.463	0.461	0.456	0.381	0.410	0.503	0.467	0.567	0.465	0.467	0.397	0.506	0.466	0.508
西部	0.428	0.470	0.409	0.421	0.458	0.444	0.456	0.438	0.390	0.506	0.478	0.534	0.455	0.484	0.395	0.479	0.503	0.491
全国	0.442	0.431	0.398	0.442	0.499	0.467	0.445	0.369	0.391	0.489	0.475	0.540	0.469	0.440	0.397	0.505	0.511	0.534

注:TE为5大行业高技术制造业创新效率值,TE¹为医药制造业创新效率值,TE²为航空航天器制造业创新效率值,TE³为电子及通信设备制造业创新效率值,TE⁴为电子计算机及办公设备制造业创新效率值,TE⁵为医疗设备及仪器仪表制造业创新效率值。

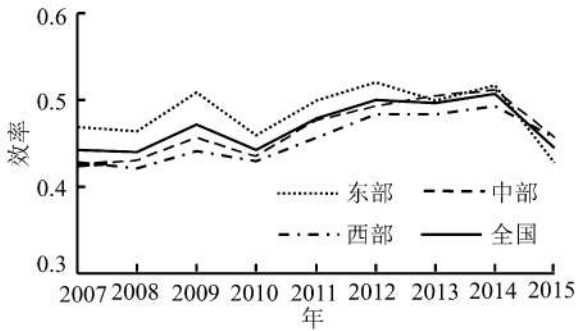


图4 全国及3大群组并联网效率变化趋势
Figure 4 Trend of Parallel Network Efficiency for Three Groups and Nationwide

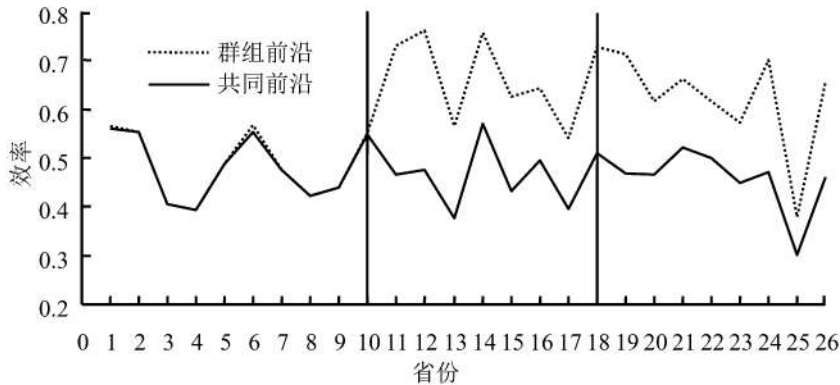
经济和技术基础,但是与北京和广东等东部发达省份相比,还存在一定的差距,产品竞争力不强,许多地区生产同质化的产品,创新资源利用效率低下。

2007年效率排名最高的省份依次是广东、北京、天津、云南、上海;2015年效率最高的5个省份为安徽、重庆、四川、北京、江西。效率改进最大的3个省份为安徽、四川和重庆,效率下降最为明显的省份为广东和河北。其中,广东省年均降幅为4.624%,北京、天津、上海、云南等省份高技术产业效率值也出现了一定程度的下降,需引起相关部门关注。由表1可知,从全国看,医疗设备及仪器仪表制造业效率均值最高,其次是电子计算机及办公设备制造业、电子及通信设备制造业和医药制造业,航空航天器制造业效率最低,可能由于军工产业受国际政治环境和涉密等因素影响,使该行业技术产业化水平不高,效率值处于较低水平。从区域看,东部地区在电子及通信设备制造业、电子计算机及办公设备制造业和医疗设备及仪器仪表制造业具有效率优势,中部地区效率值最高的是医疗设备及仪器仪表制造业,西部地区效率值最高的是电子计算机及办公设备制造业,但均低于东部地区相同行业效率值,而中、西部地区医药制造业比东部地区该行业效率均值高,具有一定优势。

分省份看,①在医药制造业,效率均值排名靠前的省份包括四川、天津、吉林、湖南和贵州等,天津涌现出天士力集团、权健科技等一批具有中医特色的研发型企业,研发人员和经费投入不多,但新产品销售收入处于全国较高水平,四川、湖南医药专利申请全国最多。效率排名靠后省份包括山西、河北、山东、广东和江西,山东和广东产出相对不足,山西、河北和江西则在规模和效率方面均有待改进。②航空航天器制造业,天津、辽宁、云南和广西等省份效率相对较高,陕西、江苏、北京、福建和安徽等省份则位居全国倒数5位,陕西研发投入居全国首位,但专利和新产品销售收入等产出不高。③电子及通信设备制造业,北京、吉林、天津、河南和广东创新效率相对较高,而湖北、陕西、江苏、黑龙江和福建效率排名靠后。北京市效率均值为0.773,2012年效率值甚至高达1;江苏省在引进、消化、吸收等费用支出方面全国最高,但在专利和新产品销售收入等产出指标上与广东省存在较大差距,效率值处于全国较低水平。④电子计算机及办公设备制造业,效率排名靠前的省份包括山东、内蒙古、北京、广东和重庆,而山西、黑龙江、湖北、天津和江西等省份效率值则处于较低水平。北京、山东和广东在该行业研发规模较大,产出和效率值处于全国领先水平;天津研发规模较大而专利产出不足,而湖北省新产品销售收入明显偏低。⑤医疗设备及仪器仪表制造业,内蒙古、山西、广东、四川、湖南创新效率相对较高,而陕西、福建、上海、云南和安徽效率排名靠后。四川、内蒙古、山西利用较少投入实现了较好的产出,陕西、上海研发规模居中,但专利申请数和新产品销售收入较低。

4.2 两种前沿下中国高技术制造业创新效率测度及技术差距分析

基于异质性技术视角,将全国省份分为东部、中部和西部3个群组,利用共同前沿理论和并联网DEA模型,在两种前沿下测算中国各省份高技术制造业整体及行业创新效率值以及技术落差比率,结果见图5。为了更好体现各群组前沿下效率值与共



注:横轴1~10代表东部10个省份高技术制造业,11~18代表中部8个省份高技术制造业,19~26代表西部8个省份高技术制造业。共同前沿下效率值是参考全国最优技术水平得出的,群组前沿下效率值仅代表该群组的最优水平。

图5 两种前沿下各省份高技术制造业创新效率均值(2007年至2015年)
Figure 5 Innovation Efficiency Average Value for High-tech Manufacturing Industries under Two Kinds of Frontiers for all Provinces in China (2007-2015)

同前沿下效率值的差异,图5按横轴3个部分(或称3个群组)进行呈现。限于篇幅,仅给出整体产业在两种前沿下的分析结果。

由图5可知,共同前沿下的效率值均不高于群组前沿下的效率值。以全国高技术制造业共同前沿为参照标准,2007年至2015年,中国高技术制造业创新效率均值仅为0.469(表1),效率值偏低,表明按共同前沿方法测算,全国高技术制造业研发投入削减53.100%后,也能实现当前的科技经济产出。如果能达到共同前沿省份的高技术产业创新水平,则中国高技术制造业创新效率的提升空间较大。若以群组前沿为基准,中国各省份高技术制造业创新效率均值可达0.582,明显高于共同前沿下的创新效率值(0.469),原因在于二者的比较标准不同。前者是以全国最优创新技术为参考标准,后者则是以群组潜在最优技术水平为参考。群组前沿最优技术低于共同前沿最优技术,因而各省份高技术制造业投入产出数据集与群组前沿的距离不大于其与共同前沿的距离,造成群组前沿下的效率值不低于共同前沿下的效率值。以西部群组的云南省为例,考察期内共同前沿下的效率均值为0.470,而群组前沿下的效率值则达到0.700(源于群组前沿下的效率结果,限于篇幅未列出),二者之间差异较大。这表明,如果采用全国最优创新生产技术,其创新资源节约和科技经济增长还有53%的改进空间,若以西部群组的潜在最优技术为参考,则效率提升空间仅为30%,这也体现出两种前沿之间的技术落差。

为了进一步验证两种前沿下创新效率的差异性,本研究根据(27)式,得出3大群组及各省份高技术产业的技术落差比率。然后,利用Kruskal-Wallis方法对区域技术落差比率进行检验,结果见表2。由表2可知,中国三大群组高技术制造业创新存在明显的技术落差,显著性水平为1%。平均而言,东部地区高技术制造业的创新生产技术水平显著高于中部和西部地区。东部地区技术落差比率均值为0.996,表明东部地区高技术制造业实现了全国最优创新技术水平的99.600%,而中部和西部地区技术落差比率均

表2 中国东、中、西部地区高技术制造业的技术落差比率及其群组差异性检验结果

区域	最大值	最小值	均值	标准差
东部	1	0.890	0.996	0.013
中部	0.863	0.598	0.698	0.062
西部	0.884	0.647	0.746	0.063
Kruskal-Wallis 检验	$\chi^2 = 11.692, p < 0.010$			

值分别为0.698和0.746,与全国最优水平有30.200%和25.400%的距离。另外,由图5可知,共同前沿下的效率值均不高于群组前沿下的效率值,且东部大多数省份高技术制造业在两种前沿下的效率值非常接近,预示着东部地区大多数省份高技术制造业创新水平高,基本代表着中国潜在最优创新技术水平。而中部和西部地区高技术制造业在两种前沿下的效率值差异明显,创新技术低于全国最优水平,具有较大的提升空间。

考察期内中国东部、中部和西部地区高技术制造业的技术落差比率结果见图6,从动态视角看,2007年至2015年东部地区Tgr均值徘徊于1,处于最优水平,且始终高于中部和西部地区,中部地区Tgr值由最初的0.665增至2015年的0.731,年均增幅为1.190%;西部地区总体徘徊于0.700~0.800之间。东部地区是中国企业技术创新的主要阵地,在研发资金支持、高端人才储备、市场开放度和制度安排等方面具有明显优势。另外,由于长期以来实行的区域不平衡发展战略,加上中部和西部自身区位优势不明显,且经济基础薄弱,导致其企业核心技术人才严重短缺,高技术制造业创新规模和产出偏低,还有较大的发展潜力。区域间技术差距结果见图7,2007年至2015年东-中、东-西间的技术差距一直徘徊于0.3上下,西-中地区间的技术差距基本位于0~0.1之间,技术水平呈现东、西、中依次递减的格局。考察期内东部与中部和西部地区间的技术差距长期存在,且未呈现缩小趋势,相关部门应给予高度重视。

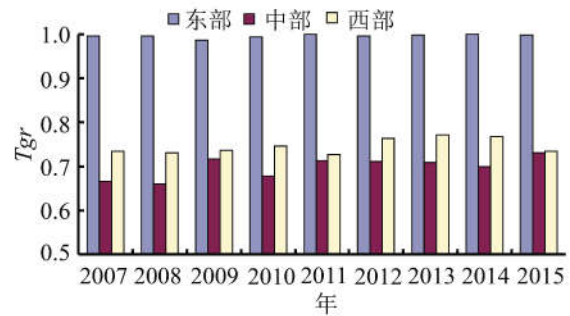


图6 中国3大群组高技术制造业的技术落差比率
Figure 6 Tgr of High-tech Manufacturing Industries in Three Groups of China

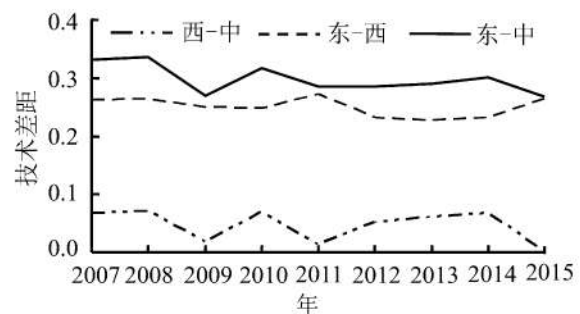


图7 中国3大群组高技术制造业间的技术差距
Figure 7 Technology Gap between High-tech Manufacturing Industries for Three Groups in China

4.3 中国高技术制造业创新无效率值的分解

为了确定效率损失的真实根源,本研究利用(32)式,将各省份无效率值从技术和管理两个维度进行分解。结果表明,共同前沿下2007年至2015年中国各省份高技术制造业创新无效率均值为0.530,其中,区域技术差距无效率值为0.112,约占21.092%;管理无效率值为0.418,占78.719%。东部地区Tgri占0.785%,MI占99.215%;中部地区Tgri占38.031%,MI占61.969%;西部地区Tgri占29.286%,MI占70.714%。东部地区无效率主要源自管理无效率,中部和西部地区无效率与Tgri和MI均有关。

下面继续寻找各省份高技术制造业创新效率提升的路径,本研究以全国高技术制造业Tgri和MI均值为界,将效率损失的特征归纳为4个方阵,见图8。由图8可知,①方阵1省份的MI低于全国平均水平,而Tgri高于全国平均水平,表明这些省份高技术制造业管理水平相对较高,但区域技术水平相对落后,需在继续保持管理效率优势的同时,提高区域技术水平。②方阵2省份的MI和Tgri均高于全国平均水平,这些省份高技术制造业需在缩小区域技术差距的同时,加强企业内部管理。③方阵3省份的MI和Tgri均低于全国平均水平,表明这些省份企业在技术和管理两方面发展态势良好,是中国高技术企业的标杆。④方阵4省份的Tgri低于全国平均水平,MI高于全国平均水平,意味着这些省份在技术水平上具有一定优势,但企业管理效率偏低,未来需更加关注企业管理,减少因管理决策失误而造成的损失。

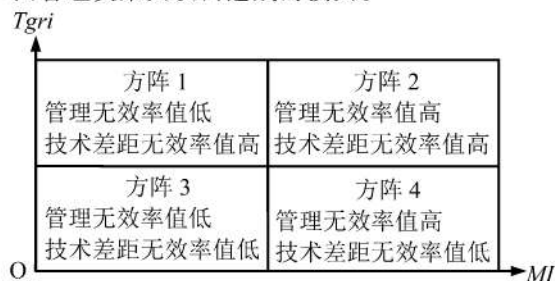


图8 中国各省份高技术制造业创新效率损失的二维分解

Figure 8 Two Dimensional Decomposition of Innovation Efficiency Loss for High-tech Manufacturing Industries for all Provinces in China

根据上述划分标准,将中国26个省份归入4个方阵,见表3,山西等12个省份属于第1方阵,这些省份来自于中部和西部地区,其主要制约因素是区域技术水平偏低,未来需加强与发达地区企业间的交流与合作。黑龙江、湖北、贵州3个省份属于第2方阵,这些省份MI和Tgri均高于平均水平,需内外兼修,在缩小区域技术差距的同时,提升企业内部管理水平。北京等11个省份属于第4方阵,主要来自东部地区,这些省份技术水平较高,继续提高企业管理水平是未来需关注的重点。最后,没有一个省份属于第3方阵,表明高技术制造业创新发展任重道远。

表3 中国各省份高技术制造业创新效率提升策略分类

Table 3 Promotion Strategy Classification for High-tech Manufacturing Industry Innovation Efficiency for all Provinces in China

方阵类型	地区
1 MI低 Tgri高	山西、内蒙古、吉林、安徽、江西、河南、湖南、广西、重庆、四川、云南、甘肃
2 MI高 Tgri高	黑龙江、湖北、贵州
3 MI低 Tgri低	无
4 MI高 Tgri低	北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、陕西

从行业角度出发,利用(13)式~(19)式 $\frac{s_k^n}{s_k}$ 确定各省份高技术制造业效率损失的原因,结果见表4。若松弛变量占比介于20%~40%之间,提升重要性记为▲;若占比介于40%~80%之间,记为▲▲;若占比超过80%,记为▲▲▲。由表4可知,全国因5大行业无效(指该行业的创新投入没有完全转化为产出,效率未达到最优值)所造成的效率损失依次为22.264%、21.509%、27.358%、14.528%和14.340%,医药制造业、航空航天器制造业和电子及通信设备制造业无效造成的损失较大。从分区域看,东部地区无效率损失主要源于电子及通信设备制造业,无效占比高达36.822%,其次是医药制造业。中部地区效率损失主要源于医药制造业和航空航天器制造业,其次是电子及通信设备制造业。西部地区高技术产业效率损失主要源于航空航天器制造业,其次是电子及通信设备和医药制造业。从各省份看,河北医药制造业无效率的贡献度高达40.504%。辽宁和陕西因航空航天器制造业无效率造成的损失占比高达43.802%和53.582%,需合理配置该行业人力和资金投入,实现资源的高效利用。上海、江苏、福建、广东、湖北和四川因电子及通信设备制造业无效率造成的损失都在40%以上,广东省该行业造成的无效率损失达80.931%,可能与广东省在该行业研发规模和产出居全国首位有关,且该行业产值在广东高技术制造业中占比极大。还有少数省份因计算机及办公设备制造业或医疗设备及仪器仪表制造业无效而造成效率损失,如福建因计算机及办公设备制造业无效造成的损失达28.250%,是该省份需提升的重点行业。

4.4 影响因素实证分析

根据前文影响机制分析,以共同前沿下各省份高技术制造业的创新效率为被解释变量、影响因素为解释变量,选取2009年至2015年各省份高技术制造业相关数据(因2007年和2008年有R&D活动的企业数等指标数据缺失,故未纳入该阶段研究中),构建面板回归模型为

$$TE_{g,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Scale_{g,t} + \alpha_2 Inno_{g,t} + \alpha_3 Owner_{g,t} +$$

表4 中国高技术制造业无效率值分解及提升重点(2007年至2015年)
Table 4 Inefficiency Decomposition and Promotion Emphasis
for High-tech Manufacturing Industry in China (2007-2015)

地区	整体效率	无效率值分解(松弛变量)					占比(松弛)/%					重点提升行业					
		s	s^1	s^2	s^3	s^4	s^5	$\frac{s^1}{s}$	$\frac{s^2}{s}$	$\frac{s^3}{s}$	$\frac{s^4}{s}$	$\frac{s^5}{s}$	1	2	3	4	5
北京	0.561	0.439	0.091	0.114	0.075	0.072	0.087	20.729	25.968	17.084	16.401	19.818	▲	▲			
天津	0.553	0.447	0.097	0.060	0.147	0.079	0.064	21.700	13.423	32.886	17.673	14.318	▲		▲		
河北	0.405	0.595	0.241	0.096	0.097	0.073	0.087	40.504	16.134	16.303	12.269	14.622	▲▲				
辽宁	0.395	0.605	0.083	0.265	0.140	0.057	0.060	13.719	43.802	23.140	9.421	9.917		▲▲	▲		
上海	0.488	0.512	0.105	0.081	0.255	0.011	0.060	20.508	15.820	49.805	2.148	11.719	▲		▲▲		
江苏	0.554	0.446	0.113	0.026	0.214	0.049	0.040	25.336	5.830	47.982	10.987	8.969	▲		▲▲		
浙江	0.476	0.524	0.161	0.033	0.185	0.099	0.046	30.725	6.298	35.305	18.893	8.779	▲		▲		
福建	0.423	0.577	0.079	0.046	0.239	0.163	0.050	13.692	7.972	41.421	28.250	8.666			▲▲	▲	
山东	0.440	0.560	0.187	0.033	0.181	0.113	0.045	33.393	5.893	32.321	20.179	8.036	▲		▲	▲	
广东	0.549	0.451	0.037	0.011	0.365	0.027	0.011	8.204	2.439	80.931	5.987	2.439			▲▲▲		
山西	0.467	0.533	0.132	0.098	0.096	0.099	0.109	24.765	18.386	18.011	18.574	20.450	▲				▲
吉林	0.477	0.523	0.142	0.091	0.103	0.094	0.093	27.151	17.400	19.694	17.973	17.782	▲				
黑龙江	0.377	0.623	0.153	0.230	0.077	0.076	0.086	24.559	36.918	12.360	12.199	13.804	▲	▲			
安徽	0.570	0.430	0.092	0.093	0.086	0.075	0.084	21.395	21.628	20.174	17.442	19.535	▲	▲	▲		
江西	0.432	0.568	0.118	0.193	0.095	0.071	0.091	20.775	33.979	16.725	12.500	16.021	▲	▲			
河南	0.495	0.505	0.143	0.098	0.090	0.075	0.098	28.317	19.406	17.822	14.851	19.406	▲				
湖北	0.396	0.604	0.127	0.103	0.251	0.064	0.060	21.026	17.053	41.556	10.596	9.934	▲		▲▲		
湖南	0.511	0.489	0.097	0.101	0.134	0.082	0.077	19.836	20.654	27.403	16.769	15.746		▲	▲		
内蒙古	0.469	0.531	0.116	0.105	0.102	0.104	0.105	21.846	19.774	19.209	19.586	19.774	▲				
广西	0.466	0.534	0.139	0.094	0.113	0.092	0.096	26.030	17.603	21.161	17.228	17.978	▲		▲		
重庆	0.523	0.477	0.132	0.083	0.084	0.068	0.111	27.673	17.400	17.610	14.256	23.270	▲				▲
四川	0.499	0.501	0.062	0.131	0.219	0.043	0.045	12.375	26.148	43.713	8.583	8.982		▲	▲▲		
贵州	0.448	0.552	0.084	0.211	0.094	0.081	0.081	15.217	38.225	17.029	14.674	14.674		▲			
云南	0.470	0.530	0.131	0.096	0.100	0.101	0.101	24.717	18.113	18.868	19.057	19.057	▲				
陕西	0.302	0.698	0.067	0.374	0.127	0.047	0.083	9.599	53.582	18.195	6.734	11.891		▲▲			
甘肃	0.462	0.538	0.129	0.102	0.110	0.099	0.098	23.978	18.959	20.446	18.401	18.216	▲		▲		
东部	0.484	0.516	0.119	0.077	0.190	0.074	0.055	23.062	14.922	36.822	14.341	10.659	▲		▲		
中部	0.466	0.534	0.126	0.126	0.117	0.080	0.087	23.596	23.596	21.910	14.981	16.292	▲	▲	▲		
西部	0.455	0.545	0.108	0.150	0.119	0.079	0.090	19.817	27.523	21.835	14.495	16.514		▲	▲		
全国	0.469	0.531	0.118	0.114	0.145	0.077	0.076	22.264	21.509	27.358	14.528	14.340	▲	▲	▲		

$$\alpha_4 Resea_{g,t} + \alpha_5 Govm_{g,t} + \alpha_6 IP_{g,t} + \alpha_7 Labor_{g,t} + \alpha_8 Finan_{g,t} + \alpha_9 Scale_{g,t} \cdot Govm_{g,t} + \varepsilon_{g,t} \quad (29)$$

其中, g 为省份, t 为年份, $TE_{g,t}$ 为2009年至2015年各省高技术制造业创新效率值, α_0 为常数项, $\alpha_1 \sim \alpha_9$ 为

待估系数, $\varepsilon_{g,t}$ 为随机误差项。回归结果见表5, 第2列给出面板固定效应下的回归结果, 第3列给出面板随机效应下的回归结果, 若效率值在 $[0, 1]$ 之间, 则采用面板Tobit模型较为合适^[14,62], 第4列给出面板随

机效应Tobit模型计量结果。回归结果表明,第2列~第4列结果无明显的差异。然而,以上估计过程可能存在内生性,主要原因有二。①模型估计中可能遗漏了影响创新效率的重要解释变量。②由于创新效率与企业规模、政府支持等变量高度相关,因变量可能与自变量互为因果关系,如企业规模会影响产业创新效率的增长,创新效率的差异也可能影响企业规模的变化。为了克服模型中存在的内生性问题,使结果更为稳健,本研究采用系统GMM模型进行估

计,该模型非常适合于横截面(各省份)较宽、年份较短且变量具有内生性的数据^[51,58]。将解释变量的一阶滞后项作为工具变量,利用动态系统GMM方法对模型进行检验,结果见表5最后1列。该列最后两行给出GMM估计的自回归(AR)和Sargan检验结果,检验值的伴随概率分别为0.606和0.912,均大于0.100,说明本研究工具变量的选择有效。与第2列面板固定效应回归结果相比,GMM估计中解释变量的影响程度和方向并未发生明显变化。下面以GMM估计结果为准进行解释。

由表5可知,滞后期效率值具有显著的正向影响,预示创新效率提升是一个长期积累的过程。企业规模对创新效率具有明显的促进作用,规模较大企业研发实力和竞争优势更强,创新效率更高,这与余泳泽^[14]的结论一致。创新氛围在10%的检验水平上与创新效率正相关,创新氛围越浓,企业间的竞争合作越激烈、频繁,企业创新产出和效率也高。政府支持对产业创新效率的提升具有积极影响,且在1%的检验水平上正相关。企业规模与政府支持的交互项对创新效率具有显著的负作用,政府支持对创新效率的积极影响随着企业规模的增大而减弱,大型企业往往不缺资金,政府资金反而对企业资金形成挤出效应,而中小企业创新创业的动力较强,往往急需政府的资金和政策支持。所有制结构、基础应用研究和知识产权保护对效率的影响不显著,正如李政等^[53]所言,国有企业并非天然的缺乏创新动力。另外,与西方发达国家相比,中国医药、电子、汽车制造企业技术水平相对较弱,知识产权保护越强,反而不利于技术吸收和效率提升^[57]。劳动者素质对创新效率起不显著的阻滞作用,这与李婉红^[72]的研究结论类似,但与桂黄宝^[8]的结论相反。一方面,本研究测量指标为大专及以上学历人口数占15岁以上人口数比重,桂黄宝^[8]是以地区高技术制造业就业劳动力的对数值来表示劳动力投入,本研究也以该指标并利用GMM模型进行重新估计,发现此时该指标与创新效率显著正相关,因而并不矛盾。部分地区大专及以上人数较多,但集中于大学和科研院所,在校大学生占主体,如北京市大专及以上人数最多,与广东存在明显差异,但北京高技术制造业创新效率值低于广东。另一方面,中国各地区人才分布不均衡,东部地区总体来看人才较为拥挤,中部和西部地区企业人才匮乏,创新产出也不高。金融环境对高技术制造业创新效率具有明显的负向影响,区域平均GDP金融机构贷款余额越高,高技术制造业创新效率越低,这与白俊红等^[61]和肖仁桥等^[62]的结论类似。地方政府倾向投资经济效果快、风险小的生产性项目(如基建和房地产),并通过干预金融部门的信贷决策为这些部门筹集资金,使创新水平高、创新风险大且收益获取时间较晚的创新性项目不受青睐^[61];另外,还可能与金融环境具有一定门槛效应有关^[71],从而得出“金融环境对高技术制造业创新效率的促进作用并未得到发挥”的结论。

**表5 中国高技术制造业
整体创新效率影响因素回归结果**
Table 5 Regression Results for Affecting
Factors for Total Innovation Efficiency
for High-tech Manufacturing Industries in China

变量	整体创新效率			
	面板固定效应	面板随机效应	面板Tobit	系统GMM
滞后期效率值				0.572*** (7.100)
企业规模	0.049*** (3.750)	0.048*** (3.880)	0.047*** (3.930)	0.065*** (5.250)
创新氛围	0.034 (0.780)	0.032 (0.810)	0.034 (0.880)	0.028* (1.710)
所有制结构	-0.151** (-2.010)	-0.128** (-1.990)	-0.127** (-2.070)	0.005 (0.935)
基础应用研究	-0.228* (-1.760)	-0.054 (-0.520)	-0.030 (-0.300)	0.088 (1.310)
政府支持	0.791 (0.172)	0.726 (1.290)	0.716 (1.290)	1.063*** (2.740)
知识产权保护	-0.027 (-0.030)	0.655 (1.090)	0.678 (1.200)	-0.121 (-0.260)
劳动者素质	-0.202 (-0.940)	-0.158 (-0.810)	-0.159 (-0.840)	-0.255 (-1.630)
金融环境	-0.022* (-1.050)	-0.015 (-0.790)	-0.014 (-0.710)	-0.021*** (-2.990)
企业规模·政府支持	-0.102* (-1.660)	-0.095 (-1.600)	-0.094 (-1.610)	-0.120*** (-2.940)
常数项	0.133 (0.980)	0.089 (0.710)	0.088 (0.720)	-0.399*** (-3.590)
模型检验值	F = 5.900***		Wald = 58.810***	Wald = 61.970*** AR(2) = 0.606
	R ² = 0.265		R ² = 0.250	Log likelihood = 269.005 Sargan 检验 = 0.912

注:第2列括号中的数据为t统计量,其他列括号中的数据为z统计量;***为1%的显著性水平,**为5%的显著性水平,*为10%的显著性水平;下同。

由于中国高技术各行业发展情况不同,对技术创新的重视程度也不同,为此,需要分行业考察企业特征和创新环境对创新效率的影响,分行业数据的动态面板回归结果见表6。

表6 分行业创新效率影响因素回归结果
Table 6 Regression Results for Affecting Factors for Innovation Efficiency for Sub-industry in China

变量	分行业创新效率(系统 GMM)				
	1	2	3	4	5
滞后期效率值	0.339*** (6.150)	0.272*** (6.200)	0.481*** (2.700)	0.849*** (15.180)	0.447*** (9.650)
企业规模	0.052** (2.010)	-0.003 (-1)	0.108*** (4.370)	0.032*** (3.900)	0.052*** (3.320)
创新氛围	0.048 (0.820)	0.001 (0.140)	0.084* (1.800)	-0.019 (-1.310)	0.187*** (7.380)
所有制结构	0.055 (0.470)	0.450 (0.600)	0.042 (0.220)	0.093 (1.140)	-0.217** (-2.390)
基础研究	0.494*** (3.030)	-0.219*** (-3.020)	0.257 (1.190)	-0.203 (-0.760)	-0.218 (-1.470)
政府支持	-3.509 (-1.160)	0.251*** (3.100)	2.641 (1.170)	-1.118 (-0.970)	0.783 (0.570)
知识产权保护	-0.176 (-0.200)	-1.019 (-1.460)	-2.095 (-1.090)	3.025** (2.170)	-0.367 (-0.430)
劳动者素质	-1.065** (-2.700)	-0.584*** (-6.060)	0.609 (0.890)	-1.343*** (-2.930)	0.140 (0.330)
金融环境	0.009 (0.700)	0.021** (2.370)	-0.075*** (-3.710)	0.022* (1.770)	-0.082*** (-3.980)
企业规模·政府支持	0.385 (1.170)	-0.028*** (-3.490)	-0.286 (-1.220)	0.105 (0.940)	-0.095 (-0.580)
常数项	-0.217 (-0.770)	0.423*** (12.520)	-0.854*** (-3.780)	-0.095 (-0.720)	-0.087 (-0.480)
AR(2)	0.136	0.372	0.755	0.662	0.992
Sargan 检验	0.999	0.700	0.860	0.997	0.953

由表6回归结果可知,企业规模对电子及通信设备制造业、计算机及办公设备制造业、医疗设备及仪器仪表制造业均具有明显的积极影响,对医药制造业的影响有所减弱,而航空航天器制造业效率则与企业规模不相关。对于电子及通信设备制造业等行业,由于研发投入较大,创新产品需要一定的规模效应^[14]。创新氛围对电子及通信设备制造业、医疗设备及仪器仪表制造业的效率具有积极影响,对其他行业影响不显著。虽然创新产出因创新氛围浓而有所增加,但企业也会竞相增加投入,若不能合理控制并利用创新资源,则效率提升并不明显。所有制结构对医疗设备及仪器仪表制造业效率提升具有显著负作用,对其他行业的影响并不显著。由于部分国有经济产权不够明晰,通过行政垄断即可获得较大

利润,使国有企业缺乏创新的动力。基础应用研究对医药制造业效率具有积极提升作用,对航空航天器制造业效率提升具有阻滞作用,对其他行业的影响不显著,可能与中国基础应用研究比重过低有关。政府支持对航空航天器制造业效率具有明显的积极影响,对其他行业效率的影响并不显著。对于航空航天器制造业而言,企业研发资金主要依赖于政府投资,对于其他行业而言,政府支持起辅助作用。知识产权保护在5%的水平上对计算机及办公设备制造业效率提升具有积极影响,但对其他行业存在并不显著的负作用,验证了YANG et al.^[56]的观点。对于技术水平较高的计算机及办公设备制造业,知识产权保护越强,创新效率越高。但对于电子及通信设备制造业而言,中小型企业难以支付高额专利费,高技术门槛可能会阻碍行业整体创新效率提升。劳动者素质对医药制造业、航空航天器制造业和计算机及办公设备制造业的效率提升起阻滞作用,原因与整体效率分析结果类似。金融环境对航空航天器制造业和计算机及办公设备制造业创新效率具有积极影响,对电子及通信设备制造业和医疗设备及仪器仪表制造业效率的提升具有阻滞作用,与前面论述类似,航空航天器制造业属于战略性国有企业,受地方政府影响,易获得金融机构支持^[60-61]。电子及通信设备制造业新产品销售收入均占高技术制造业60%以上,而这种高风险的创新性项目并不受银行等金融机构青睐。企业规模与政府支持的交互项在1%的水平上与航空航天器制造业创新效率显著负相关,表明企业规模在政府支持促进创新效率提升过程中起负向调节作用。该交互项对其他行业的作用并不明显,政府支持对创新效率的作用还存在一定争论^[10,14,24]。

5 讨论

本研究结果发现,中国高技术制造业创新效率偏低,还有53.100%的提升空间,东、中、西部地区效率依次递减,这与余泳泽^[14]和桂黄宝^[8]的结论类似。效率较高的东部企业基于创新活动的竞争与合作更为频繁,创新氛围较为浓烈,且通过增资扩股,技术创新的规模效应优势明显,具有国际领先研发技术和成熟管理经验。另外,东部地区民营企业较多,产权结构明晰,其创新动力和危机意识更强^[33,73],企业管理水平全国领先。创新环境方面,由于创新具有公共品属性,个体企业无法独占创新成果带来的全部收益,且创新风险大,企业并不愿从事技术创新活动^[74]。发达地区在企业所得税率、财政金融政策等方面向高技术制造业倾斜,降低了企业的融资成本和创新风险,且地区基础教育水平高、知识产权保护等法规意识较强^[57],为地区企业开展创新活动提供了制度保障,这可能是创新效率差异的主要原因。另外,本研究将区域产业创新系统内并联结构和运行机理纳入研究框架,实现了区域和行业要素的统一分析,医疗设备及仪器仪表制造业和

电子计算机及办公设备制造业效率相对较高,航空航天器制造业效率最低,这与朱有为等^[23]和冯志军等^[13]的结论类似。与航空航天器制造业相比,医疗设备及仪器仪表制造业和电子计算机及办公设备制造业不仅产业发展相对成熟,跨国企业的加入使市场竞争更加激烈,从而有效促进了行业创新效率提升,而航空航天器制造业是国有企业,由于其政治使命,技术的先进性更为重要,经济价值次之,可能是效率偏低的主要原因。

共同前沿下效率值均不超过群组前沿下效率值^[20,22],中国3大地区高技术制造业创新存在明显的技术落差,东-中、东-西间的技术差距一直徘徊于0.300左右。主要原因在于东、中、西部地区所面对的技术集存在明显差异^[16,20],东部地区高技术制造业创新基本代表全国最优创新水平,中部和西部地区高技术制造业创新技术与全国潜在最优技术水平还有一定的距离^[22]。从区域技术差距无效和管理无效两维度进行分解,发现东部地区高技术制造业创新无效率主要源自管理无效率,效率损失主要由企业自身管理失误和水平低下所致。而中部和西部地区高技术制造业创新无效率则与区域技术差距和管理无效均有关,两种前沿之间的技术差距所造成的外源性阻力以及企业管理的内生障碍是其效率损失的共同原因^[37-38]。需内外兼修,营造良好的创新环境,注重高技术企业创新文化建设以及管理制度的完善。行业无效率值分解表明,东部地区无效率损失主要源于电子及通信设备制造业,中部和西部地区高技术制造业创新无效率损失分别源于医药制造业和航空航天器制造业,这进一步拓展了刘志迎等^[21]和陈凯华等^[31]的研究。高技术制造业创新效率提升关键在于各行业创新投入是否能全部转化为产出,通过各行业资源要素的合理配置,实现高技术制造业整体创新效率的提升。

本研究还从企业管理和创新环境角度探讨高技术制造业整体及分行业效率的影响因素,结果表明企业规模、创新氛围、政府支持对整体效率具有明显提升作用,企业规模在政府支持对创新效率的促进效应中起负向调节作用,进一步延展了余泳泽^[14]、冯伟等^[48]和CZARNITZKI et al.^[54]的结论。规模较大企业研发实力和竞争优势更强,创新效率更高。创新氛围越浓,企业间的竞争合作越激烈、频繁,企业创新产出和创新效率也高。政府通过拨款和政策支持,对高技术制造业进行资助和扶持,引导银行和风险投资机构对其进行投资,降低了企业的创新风险。政府支持对创新效率的正效应随着企业规模的增大而减弱,预示着政府支持存在一定的边界条件,增加对中小规模企业的政府资助更有利于创新效率的提升。本研究还发现劳动者素质与创新效率负相关,但并不显著,与李婉红^[72]的结论类似,但与桂黄宝^[8]的研究结果正好相反。本研究利用桂黄宝^[8]的企业就业人数指标重新估计,发现此时劳动者素质与创新效率显著正相关。利用大专及以上学历占比

指标的研究中,部分地区大专及以上学历人数集中在大学和科研院所,与企业创新无明显关联。且中国人才分布不均衡,东部地区人才较为拥挤,而中部和西部地区人才匮乏,导致劳动者素质的积极效应并未充分发挥。各行业效率影响因素的显著性存在差异,政府支持对航空航天器制造业效率具有积极影响,国有经济比重越大,医疗设备及仪器仪表制造业效率越低。政府支持效应因行业性质和运营方式不同而异,国有企业并非天然缺乏创新能力,政府支持也不是可有可无^[53-54]。

6 结论

本研究基于异质性技术视角,利用共同前沿理论和并联网DEA模型测度分析中国高技术制造业创新效率和技术差距,并对无效率值进行分解,从企业特征和创新环境等方面实证分析整体及分行业效率的影响因素。研究结果表明,中国高技术制造业创新效率偏低,还有53.100%的提升空间。东、中、西部地区效率依次递减,医疗设备制造业效率最高,航空航天器制造业效率最低。东部与中部和西部间的技术差距徘徊于0.300,东部省份为高管理无效低技术差距无效型,中部和西部省份主要是低管理无效高技术差距无效型。行业无效率分解表明,东部地区无效率损失主要源于电子及通信设备制造业,中部和西部地区无效率损失分别源于医药制造业和航空航天器制造业。企业规模、创新氛围、政府支持对整体效率具有明显提升作用,企业规模在政府支持对创新效率的促进效应中起负向调节作用,各因素对分行业效率的影响存在差异。

6.1 理论贡献

本研究对于揭示高技术制造业区域间技术异质性以及区域内行业并联创新效率差异、分析各地区高技术制造业效率损失的根源和制约因素等具有重要理论贡献。①发现区域技术异质性对各省份高技术制造业创新效率具有重要影响。本研究从技术异质性角度出发,基于共同前沿理论^[20,36],将中国高技术制造业分为东、中、西部3个群组,在两种前沿下测算分析创新效率和区域间技术差距,并将区域高技术制造业无效率值从区域技术差距和企业管理无效两维度进行分解,有助于深刻认识创新效率差异及其形成原因,从异质性技术视角丰富了高技术制造业创新效率的理论研究。②从行业并联网视角,考虑各行业的关联性和5大行业的整体性^[31,46],分析各地区5大行业创新效率差异及其对整体效率损失的影响。本研究基于产业关联和并联网DEA理论^[43,46],探讨行业并联视角下各省份高技术整体及5大行业创新效率差异,并根据并联网无效率分解理论^[31,46],寻找导致并联网系统整体效率偏低的具体行业。不仅可通过产业关联和互动视角促进地区高技术制造业创新效率,还可甄别制约各省份高技术制造业效率提升的关键行业(如北京创新效率提升重点为医药制造业和航空航天器制造业),深化

了对各地区高技术制造业效率提升路径的理论认识。③从企业管理和创新环境两维度,系统分析和检验整体和分行业效率的内外在影响因素。本研究发现企业规模、创新氛围、政府支持等对整体效率具有明显提升作用,各因素对分行业效率影响存在差异。这不仅深化了对创新效率影响因素理论的认识,而且从内外部因素和行业差异视角拓展了效率影响因素的研究。

6.2 实践启示

(1)中国各区域、不同行业高技术制造业创新效率差异明显,全国各地区,尤其是陕西、湖北、辽宁、黑龙江等省份还有较大的发展潜力,各行业均存在不同程度的效率损失,尤其航空航天器制造业是未来效率提升的重点。两种效率省际排名(考虑和不考虑并联网络结构)的高度正相关性要求政府对中部和西部地区研发资金和人才引进等方面给予政策倾斜,缩小与东部沿海城市间的技术差距,通过加强区域间的合作交流和制度安排,逐渐消除区域间的技术壁垒。努力加快技术变革的步伐,加强高技术制造业园区(或区域内)上下游以及行业之间的技术和管理经验交流,鼓励从事跨行业技术联合攻关,实现产品的跨界创新(如人工智能在各行各业领域中的应用),形成区域产业集聚和协同创新溢出效应,从而提升中国高技术制造业整体创新水平。

(2)东部地区企业技术水平全国领先,未来需从企业内部管理出发,减少内生性障碍,跟踪国际前沿技术,推进本土化的现代企业管理制度建设,建立和完善科技成果转化平台及利益分配激励机制。东部地区效率损失主要源于电子及通信设备制造业和医药制造业,这些行业需根据区域特色和市场需求,开发出有竞争优势的产品,并适度控制投入规模。中部和西部地区需向发达地区或国家学习先进技术和管理经验,深入开展技术引进、消化、吸收、再创新活动。中部地区医药制造业需由仿制医药向自主研发转变,减少对低水平重复的改剂型药品投入,培养出类似辉瑞、诺华等国际制药巨头企业,实现技术创新的规模效应。西部地区航空航天器制造业需向上海飞机制造有限公司学习,在大飞机制造等领域实现自主知识产权。

(3)各地区需营造一种自由宽松、公平竞争的创新环境。国有企业需适度引入民营资本,深入推进国企股份制改造。对科技型民营中小企业给予政策和金融支持,解决融资成本高、创新风险大等问题。加大对产权的保护,尤其是技术含量较高的行业,完善技术市场交易环境,促进技术需求方与供给方之间的交流合作,对一些实力弱小但战略意义重大的本土产业给予政策保护。加大人才培养力度,关注学生的想象力、研究兴趣和批判思维的发展等。近年来中部和西部地区企业创新人才不断流出,而东部地区人才相对拥挤,需引导人才在区域间的共享与合作。需进一步增加基础研究投入,关注科学技术的市场价值,进行超前谋划和科学布局。

6.3 研究局限和展望

本研究仍存在一些局限性,未来需要进行拓展。①本研究以2007年至2015年中国各省份5大高技术制造业为研究对象,未来可以中国主要城市高技术产业为研究对象,或者以微观调研企业、上市公司数据为样本开展研究。②本研究按照传统划分标准,将中国高技术产业分为东部、中部和西部3大群组,未来可将东部群组继续细分为北、上、广、苏、浙组和其他两组,或者按照京津冀、长三角、一带一路等方式对区域群组进行再界定分析。③本研究并联DEA模型假设规模报酬不变,未来可分析报酬可变情形下高技术制造业创新效率值,将综合效率进一步分解为纯技术效率和规模效率。

参考文献:

- [1] 洪银兴. 科技创新体系的完善与协同发展探讨. *经济学动态*, 2016(2):4-9.
HONG Yinxing. Exploration into the perfection and synergetic development of scientific and technological innovation system. *Economic Perspectives*, 2016(2):4-9. (in Chinese)
- [2] JEONG Y, YOON B. Development of patent roadmap based on technology roadmap by analyzing patterns of patent development. *Technovation*, 2015, 39/40(SI):37-52.
- [3] 梅亮, 陈劲. 责任式创新: 源起、归因解析与理论框架. *管理世界*, 2015(8):39-57.
MEI Liang, CHEN Jin. The innovation of the way of responsibility: the root, the analysis of the cause, and the theoretic framework. *Management World*, 2015(8):39-57. (in Chinese)
- [4] 吴伟伟, 刘业鑫, 于渤. 技术管理与技术能力匹配对产品创新的内在影响机制. *管理科学*, 2017, 30(2):3-15.
WU Weiwei, LIU Yexin, YU Bo. The inner impact mechanism of the fit between technology management and technological capability on product innovation. *Journal of Management Science*, 2017, 30(2):3-15. (in Chinese)
- [5] TSENG F M, CHIU Y J, CHEN J S. Measuring business performance in the high-tech manufacturing industry: a case study of Taiwan's large-sized TFT-LCD panel companies. *Omega: The International Journal of Management Science*, 2009, 37(3):686-697.
- [6] 张振刚, 陈志明, 李云健. 开放式创新、吸收能力与创新绩效关系研究. *科研管理*, 2015, 36(3):49-56.
ZHANG Zhengang, CHEN Zhiming, LI Yunjian. A study on the relationship between open innovation, absorptive capacity and firm's innovation performance. *Science Research Management*, 2015, 36(3):49-56. (in Chinese)
- [7] HASHIMOTO A, HANEDA S. Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry. *Research Policy*, 2008, 37(10):1829-1836.
- [8] 桂黄宝. 我国高技术产业创新效率及其影响因素空间计量分析. *经济地理*, 2014, 34(6):100-107.
GUI Huangbao. Innovation efficiency and its influencing factors of China's high-tech industry based on the spatial econometric model. *Economic Geography*, 2014, 34(6):100-107. (in Chinese)

- [9] 熊婵,买忆媛,何晓斌,等. 基于DEA方法的中国高科技创业企业运营效率研究. *管理科学*, 2014, 27(2): 26-37.
XIONG Chan, MAI Yiyuan, HE Xiaobin, et al. A study on operational efficiency of hi-tech startups in China based on DEA methods. *Journal of Management Science*, 2014, 27(2): 26-37. (in Chinese)
- [10] GUAN J C, CHEN K H. Measuring the innovation production process: a cross-region empirical study of China's high-tech innovations. *Technovation*, 2010, 30(5/6): 348-358.
- [11] LIU J S, LU W M, HO M H. National characteristics: innovation systems from the process efficiency perspective. *R&D Management*, 2015, 45(4): 317-338.
- [12] WANG S, FAN J, ZHAO D T, et al. Regional innovation environment and innovation efficiency: the Chinese case. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2016, 28(4): 396-410.
- [13] 冯志军,陈伟. 中国高技术产业研发创新效率研究: 基于资源约束型两阶段DEA模型的新视角. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(5): 1202-1212.
FENG Zhijun, CHEN Wei. R&D innovation efficiency of Chinese high-tech industries: based on two-stage network DEA model with constrained resources. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2014, 34(5): 1202-1212. (in Chinese)
- [14] 余泳泽. 我国高技术产业技术创新效率及其影响因素研究: 基于价值链视角下的两阶段分析. *经济科学*, 2009(4): 62-74.
YU Yongze. The empirical research on technical innovation efficiency and its impacts of China's high-tech industry. *Economic Science*, 2009(4): 62-74. (in Chinese)
- [15] BATTESE G E, RAO D S P. Technology gap, efficiency, and a stochastic metafrontier function. *International Journal of Business and Economics*, 2002, 1(2): 87-93.
- [16] O'DONNELL L C J, RAO D S P, BATTESE G E. Meta frontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empirical Economics*, 2008, 34(2): 231-255.
- [17] HANG Y, SUN J, WANG Q, et al. Measuring energy inefficiency with undesirable outputs and technology heterogeneity in Chinese cities. *Economic Modelling*, 2015, 49: 46-52.
- [18] 汪克亮,孟祥瑞,杨宝臣,等. 技术异质下中国大气污染排放效率的区域差异与影响因素. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(1): 101-110.
WANG Kelian, MENG Xiangrui, YANG Baochen, et al. Regional differences and influencing factors of China's air pollution emission efficiency considering technological heterogeneity. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(1): 101-110. (in Chinese)
- [19] KONTOLAIMOU A, TSEKOURAS K. Are cooperatives the weakest link in European banking? A non-parametric meta-frontier approach. *Journal of Banking & Finance*, 2010, 34(8): 1946-1957.
- [20] 李新春,李胜文,张书军. 高技术与非高技术产业创新的单要素效率. *中国工业经济*, 2010(5): 68-77.
LI Xinchun, LI Shengwen, ZHANG Shujun. Single factor efficiency analysis in high-tech and non-high-tech industry innovative activities. *China Industrial Economics*, 2010(5): 68-77. (in Chinese)
- [21] 刘志迎,郭磊,周志翔. 基于共同边界模型的中国工业行业技术创新效率. *系统工程*, 2013, 31(6): 14-21.
LIU Zhiying, GUO Lei, ZHOU Zhixiang. The innovation efficiency of Chinese industries based on meta-frontier DEA model. *Systems Engineering*, 2013, 31(6): 14-21. (in Chinese)
- [22] 沈能,张路佳. 考虑技术异质性的中国省区环境创新效率评价. *科技进步与对策*, 2016, 33(13): 125-129.
SHEN Neng, ZHANG Lujia. Environmental efficiency evaluation account of technology heterogeneity. *Science & Technology Progress and Policy*, 2016, 33(13): 125-129. (in Chinese)
- [23] 朱有为,徐康宁. 中国高技术产业研发效率的实证研究. *中国工业经济*, 2006(11): 38-45.
ZHU Youwei, XU Kangning. The empirical research on R&D efficiency of Chinese high-tech industries. *China Industrial Economics*, 2006(11): 38-45. (in Chinese)
- [24] 肖文,林高榜. 政府支持、研发管理与技术创新效率: 基于中国工业行业的实证分析. *管理世界*, 2014(4): 71-80.
XIAO Wen, LIN Gaobang. The governmental support, the R&D management and the efficiency of technology innovation. *Management World*, 2014(4): 71-80. (in Chinese)
- [25] 刘迎春. 中国战略新兴产业技术创新效率实证研究: 基于DEA方法的分析. *宏观经济研究*, 2016(6): 43-48, 57.
LIU Yingchun. Empirical study on the technical innovation efficiency of strategic emerging industries in China: based on the analysis on method DEA. *Macroeconomics*, 2016(6): 43-48, 57. (in Chinese)
- [26] 谢子远,吴丽娟. 产业集聚水平与中国工业企业创新效率: 基于20个工业行业2000-2012年面板数据的实证研究. *科研管理*, 2017, 38(1): 91-99.
XIE Ziyuan, WU Lijuan. Industrial agglomeration level and innovation efficiency of industrial enterprises: an empirical study based on the panel data of 20 industries from the year 2000 to 2012. *Science Research Management*, 2017, 38(1): 91-99. (in Chinese)
- [27] SONG Y, LIU C L, LANGSTON C. Linkage measures of the construction sector using the hypothetical extraction method. *Construction Management and Economics*, 2006, 24(6): 579-589.
- [28] BI G B, DING J J, LUO Y, et al. Resource allocation and target setting for parallel production system based on DEA. *Applied Mathematical Modelling*, 2011, 35(9): 4270-4280.
- [29] 王有森,许皓. 基于数据包络分析的并行生产系统效率评价方法. *运筹学学报*, 2015, 19(4): 25-36.
WANG Yousen, XU Hao. Parallel production systems efficiency evaluation based on DEA. *Operations Research Transactions*, 2015, 19(4): 25-36. (in Chinese)
- [30] 赵宏志,刘凤朝,姜滨滨. 基于来源-执行的中美研发经费效率评价研究. *中国科技论坛*, 2014(12): 141-146.
ZHAO Hongzhi, LIU Fengchao, JIANG Binbin. Efficiency e-

- valuation of R&D expenditure of the USA and China based on source-perform. *Forum on Science and Technology in China*, 2014(12):141-146. (in Chinese)
- [31] 陈凯华, 官建成. 非同质平衡子系统整体效率的DEA测度与分解. *系统工程*, 2010, 28(1):58-63.
CHEN Kaihua, GUAN Jiancheng. DEA-based overall efficiency measurement and decomposition of heterogeneous and parallel subsystems. *Systems Engineering*, 2010, 28(1):58-63. (in Chinese)
- [32] 沈坤荣, 马俊. 中国经济增长的“俱乐部收敛”特征及其成因研究. *经济研究*, 2002, 37(1):33-39.
SHEN Kunrong, MA Jun. The characteristics of “club convergence” of China’s economic growth and its cause. *Economic Research Journal*, 2002, 37(1):33-39. (in Chinese)
- [33] ZHANG A M, ZHANG Y M, ZHAO R. A study of the R&D efficiency and productivity of Chinese firms. *Journal of Comparative Economics*, 2003, 31(3):444-464.
- [34] MASKUS K E. The role of intellectual property rights in encouraging foreign direct investment and technology transfer. *Duke Journal of Comparative and International Law*, 1998, 9(1):109-162.
- [35] CZARNITZKI D, LICHT G. Additionality of public R&D grants in a transition economy. *Economics of Transition*, 2006, 14(1):101-131.
- [36] BATTESE G E, RAO D S P, O’DONNELL L C J. A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies. *Journal of Productivity Analysis*, 2004, 21(1):91-103.
- [37] CHIU C R, LIOU J L, WU P I, et al. Decomposition of the environmental inefficiency of the meta-frontier with undesirable output. *Energy Economics*, 2012, 34(5):1392-1399.
- [38] 王群伟, 周鹏, 周德群. 生产技术异质性、二氧化碳排放与绩效损失: 基于共同前沿的国际比较. *科研管理*, 2014, 35(10):41-48.
WANG Qunwei, ZHOU Peng, ZHOU Dequn. Heterogeneity of production technology, carbon dioxide emission and performance loss: an international comparison based on meta-frontier. *Science Research Management*, 2014, 35(10):41-48. (in Chinese)
- [39] JACOBS J. *The economy of cities*. New York: Vintage, 1970:256-280.
- [40] 吕承超, 商圆月. 高技术产业集聚模式与创新产出的时空效应研究. *管理科学*, 2017, 30(2):64-79.
LYU Chengchao, SHANG Yuanyue. The time-space effect research of high-tech industrial agglomeration model and innovation output. *Journal of Management Science*, 2017, 30(2):64-79. (in Chinese)
- [41] 赵玉林, 魏芳. 高技术产业发展对经济增长带动作用的实证分析. *数量经济技术经济研究*, 2006, 23(6):44-54.
ZHAO Yulin, WEI Fang. Empirical analysis on the impetus function of high-tech industry development to the economic growth. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2006, 23(6):44-54. (in Chinese)
- [42] 吴利华, 纪静. 中美电子信息制造业产业环境比较分析: 基于关联产业的视角. *科学学研究*, 2014, 32(2):236-241.
- WU Lihua, JI Jing. Comparative analysis of industry environment between the electronic information manufacturing industry of China and America; analysis based on correlative industry. *Studies in Science of Science*, 2014, 32(2):236-241. (in Chinese)
- [43] HAUKNES J, KNELL M. Embodied knowledge and sectoral linkages: an input-output approach to the interaction of high- and low-tech industries. *Research Policy*, 2009, 38(3):459-469.
- [44] STREB J. Shaping the national system of inter-industry knowledge exchange: vertical integration, licensing and repeated knowledge transfer in the German plastics industry. *Research Policy*, 2003, 32(6):1125-1140.
- [45] 赵萌. 并联决策单元的动态DEA效率评价研究. *管理科学*, 2011, 24(1):90-97.
ZHAO Meng. Dynamic DEA efficiency evaluation for DMU with parallel structure. *Journal of Management Science*, 2011, 24(1):90-97. (in Chinese)
- [46] KAO C. Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 2009, 196(3):1107-1112.
- [47] SCHERER F M, ROSS D. *Industrial market structure and economic performance*. Boston: Houghton Mifflin Company Press, 1990:125-134.
- [48] 冯伟, 徐康宁, 邵军. 基于本土市场规模的产业创新机制及实证研究. *中国软科学*, 2014(1):55-67.
FENG Wei, XU Kangning, SHAO Jun. The mechanism analysis and empirical study of industrial innovation based on the home market scale. *China Soft Science*, 2014(1):55-67. (in Chinese)
- [49] GUAN J C, CHEN K H. Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 2012, 41(1):102-115.
- [50] 杨慧军, 杨建君. 外部搜寻、联结强度、吸收能力与创新绩效的关系. *管理科学*, 2016, 29(3):24-37.
YANG Huijun, YANG Jianjun. Research on the impact of external search, linking intensity and absorptive capacity on innovation performance. *Journal of Management Science*, 2016, 29(3):24-37. (in Chinese)
- [51] 白俊红, 王钺, 蒋伏心, 等. 研发要素流动、空间知识溢出与经济增长. *经济研究*, 2017, 52(7):109-123.
BAI Junhong, WANG Yue, JIANG Fuxin, et al. R&D element flow, spatial knowledge spillovers and economic growth. *Economic Research Journal*, 2017, 52(7):109-123. (in Chinese)
- [52] ANDERSON N R, WEST M A. The team climate inventory: development of the TCI and its applications in teambuilding for innovativeness. *European Journal of Work & Organizational Psychology*, 1996, 5(1):53-66.
- [53] 李政, 陆寅宏. 国有企业真的缺乏创新能力吗: 基于上市公司所有权性质与创新绩效的实证分析与比较. *经济理论与经济管理*, 2014(2):27-38.
LI Zheng, LU Yinong. Do state-owned enterprises really lack innovation capacity: a comparative analysis based on innovation performance of state-owned enterprises and private

- enterprises. *Economic Theory and Business Management*, 2014(2):27-38. (in Chinese)
- [54] CZARNITZKI D, HUSSINGER K. *The link between R&D subsidies, R&D spending and technological performance*. Berlin: ZEW Discussion Paper, 2004:4-56.
- [55] WALLSTEN S. The effects of government-industry R&D programs on private R&D: the case of the small business innovation research program. *The Rand Journal of Economics*, 2000,31(1):82-100.
- [56] YANG G F, MASKUS K E. Intellectual property rights, licensing and innovation in an endogenous product-cycle model. *Journal of International Economics*, 2001, 53(1):169-187.
- [57] 刘思明, 侯鹏, 赵彦云. 知识产权保护与中国工业创新能力:来自省级大中型工业企业面板数据的实证研究. *数量经济技术经济研究*, 2015,32(3):40-57.
LIU Siming, HOU Peng, ZHAO Yanyun. Protection of intellectual property right and innovation capacity of China's industry. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015,32(3):40-57. (in Chinese)
- [58] 胡凯, 吴清, 胡毓敏. 知识产权保护的技术创新效应:基于技术交易市场视角和省级面板数据的实证分析. *财经研究*, 2012,38(8):15-25.
HU Kai, WU Qing, HU Yumin. The effects of intellectual property rights protection on technology innovation: empirical analysis based on technology trading market and provincial panel data in China. *Journal of Finance and Economics*, 2012,38(8):15-25. (in Chinese)
- [59] COLOMBO M G, D'ADDA D, PIRELLI L H. The participation of new technology-based firms in EU-funded R&D partnerships: the role of venture capital. *Research Policy*, 2016, 45(2):361-375.
- [60] SULLIVAN M. Finance and innovation // FAGERBERG J, MOWERY D, NELSON R. *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 2006:240-265.
- [61] 白俊红, 卞元超. 要素市场扭曲与中国创新生产的效率损失. *中国工业经济*, 2016(11):39-55.
BAI Junhong, BIAN Yuanchao. Factor market distortion and the efficiency losses of Chinese innovative production. *China Industrial Economics*, 2016(11):39-55. (in Chinese)
- [62] 肖仁桥, 王宗军, 钱丽. 我国不同性质企业技术创新效率及其影响因素研究:基于两阶段价值链的视角. *管理工程学报*, 2015,29(2):190-201.
XIAO Renqiao, WANG Zongjun, QIAN Li. Research on Chinese enterprise's technology innovation efficiency and its influencing factors in different properties based on the angle of value chain in two stage. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2015,29(2):190-201. (in Chinese)
- [63] YANG Y, MA B, KOIKE M. Efficiency-measuring DEA model for production system with k independent subsystems. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 2000,43(3):343-354.
- [64] 段永瑞, 田澎, 张卫平. 具有独立子系统的DEA模型及其应用. *管理工程学报*, 2006,20(1):27-31.
DUAN Yongrui, TIAN Peng, ZHANG Weiping. DEA models with independent subsystems and their application. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2006,20(1):27-31. (in Chinese)
- [65] SPANOS Y E, VONORTAS N S, VOUDOURIS I. Antecedents of innovation impacts in publicly funded collaborative R&D projects. *Technovation*, 2015,36/37:53-64.
- [66] CHUN H, KIM J W, LEE J. How does information technology improve aggregate productivity? A new channel of productivity dispersion and reallocation. *Research Policy*, 2015, 44(5):999-1016.
- [67] 崔淼, 苏敬勤. 技术引进与自主创新的协同:理论和案例. *管理科学*, 2013,26(2):1-12.
CUI Miao, SU Jingqin. Synergy between technology introduction and independent innovation: theory and a case study. *Journal of Management Science*, 2013,26(2):1-12. (in Chinese)
- [68] 李向东, 李南, 白俊红, 等. 高技术产业研发创新效率分析. *中国软科学*, 2011(2):52-61.
LI Xiangdong, LI Nan, BAI Junhong, et al. Study on the R&D innovation efficiency of high-tech industry in China. *China Soft Science*, 2011(2):52-61. (in Chinese)
- [69] SHU C L, ZHOU K Z, XIAO Y Z, et al. How green management influences product innovation in China: the role of institutional benefits. *Journal of Business Ethics*, 2016,133(3):471-485.
- [70] 周亚虹, 贺小丹, 沈瑶. 中国工业企业自主创新的影响因素和产出绩效研究. *经济研究*, 2012,47(5):107-119.
ZHOU Yahong, HE Xiaodan, SHEN Yao. An evaluation of the efficiency of Chinese industry enterprises' innovation performance. *Economic Research Journal*, 2012,47(5):107-119. (in Chinese)
- [71] 周兵, 梁松, 邓庆宏. 金融环境视角下FDI流入与产业集聚效应的双门槛检验. *中国软科学*, 2014(1):148-159.
ZHOU Bing, LIANG Song, DENG Qinghong. Empirical test of two threshold effects in FDI inflows and industrial agglomeration from financial development perspective. *China Soft Science*, 2014(1):148-159. (in Chinese)
- [72] 李婉红. 中国省域工业绿色技术创新产出的时空演化及影响因素:基于30个省域数据的实证研究. *管理工程学报*, 2017,31(2):9-19.
LI Wanhong. Spatial-temporal evolution and factors of industrial green technological innovation output in China's provinces: an empirical study of 30 provinces' data. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017,31(2):9-19. (in Chinese)
- [73] 池仁勇. 企业技术创新效率及其影响因素研究. *数量经济技术经济研究*, 2003,20(6):105-108.
CHI Renyong. Research on enterprise's technology innovation efficiency and its influencing factors. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2003,20(6):105-108. (in Chinese)
- [74] NELSON R R. The simple economics of basic scientific research. *Journal of Political Economy*, 1959,67(3):297-306.

China's High-tech Manufacturing Industries' Innovation Efficiency: Technology Heterogeneity Perspective

XIAO Renqiao, CHEN Zhongwei, QIAN Li

School of Business Administration, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China

Abstract: In China, a gap between the regional innovation levels for high-tech industry exists and the high-tech industry is further divided into five sub-high-tech industries. Traditional studies focused on regional efficiency differences, yet without considering factors such as the heterogeneity of regional technology and the parallel production of industries. The overall improvement of industrial innovation efficiency depends on the reduction of regional technology gap and the increased efficiency of each industry. Based on this, this paper discusses the innovation efficiency and its influencing mechanism in high-tech industry of China from the perspective of technology heterogeneity. Then, a parallel network DEA model supported by the theory of meta-frontier and group frontier have been constructed to measure the China's high-tech industry innovation efficiency and technology gap among regions during the period from 2007 to 2015. The inefficiency is decomposed as production technology gap inefficiency, management inefficiency, and inefficiencies in five high-tech sub-industries. From the aspects of enterprise management and innovation environment, we analyze and test the influencing factors of the innovation efficiency in the five major industries.

The results show that: Chinese high-tech industry innovation efficiency is low, with efficiency decreasing along the eastern, central and western regions, while medical equipment & instrumentation manufacture efficiency is of the highest, and aerospace vehicle manufacture is of the lowest. The technology gap between the east and the Midwest is around 0.300. The eastern provinces are of the type of high *MI* low *Tgri*, while central and western provinces are of the type of low *MI* high *Tgri*. The inefficiency decomposition of industry implied that, the loss caused by innovation inefficiency in electronic communication equipment, aerospace vehicle and pharmaceutical manufacture in the country was significant. Enterprise scale is positively related to innovation efficiency, as the same as innovation atmosphere and government support. Enterprise scale plays a negative role in the relationship between government support and the efficiency of high-tech industries. The influence of each factor on the efficiency of the industry is different.

This study finds that the gap between regional technology is significant, and the efficiency loss of each industry is different. These findings enrich the theory & empirical study of innovation efficiency in high-tech industry. This paper also deepens the theoretical understanding on the decomposition of the innovation efficiency in high-tech industry, and provides a theoretical basis and new perspective for searching the path of efficiency improvement. This paper further identifies the significant factors that influence the innovation efficiency of the whole and the sub-industry, and provides empirical evidences for establishing the layout of regional development strategy and the policy for innovation in different industries.

Keywords: technology heterogeneity; parallel network DEA model; efficiency decomposition; affecting mechanism; high-tech manufacturing industries

Received Date: May 18th, 2017 **Accepted Date:** December 29th, 2017

Funded Project: Supported by the National Social Science Foundation of China(14CGL065, 15CGL010), the Anhui Natural Science Foundation(1708085QG170) and the Anhui Province Outstanding Young Talent Foundation(gxyqZD2016093)

Biography: XIAO Renqiao, doctor in management, is an associate professor in the School of Business Administration at Anhui University of Finance and Economics. His research interest focuses on technical innovation management. His representative paper titled "Research on the innovation efficiency and its affecting factors in China's high-tech industries" was published in the *Journal of Management Science* (Issue 5, 2012). E-mail: xrq0104@163.com

CHEN Zhongwei, doctor in management, is a professor in the School of Business Administration at Anhui University of Finance and Economics. His research interest focuses on innovation and entrepreneurship management. His representative paper titled "Does marriage affect the turnover intention of knowledge workers? ——Case study from the perspective of employability" was published in the *Journal of Economic Management* (Issue 2, 2014). E-mail: czwancai@hotmail.com

QIAN Li is an associate professor in the School of Business Administration at Anhui University of Finance and Economics. Her research interest focuses on green economy. Her representative paper titled "Research on China's provincial agricultural production efficiency and its influencing factors under the constraints of carbon dioxide emission" was published in the *Journal of Economic Theory and Economic Management* (Issue 9, 2013). E-mail: littleqian6700@163.com □