

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

刘迎春

内容提要 战略新兴产业技术创新过程可以划分为技术开发和技术成果产业化两个阶段,每个阶段的投入产出指标不同,体现不同的效率形态。本文利用2000—2014年中国战略新兴产业五大行业的投入产出数据,采用DEA方法,对该产业的技术开发和技术成果产业化两阶段技术创新效率进行实证研究。研究发现中国战略新兴产业技术开发平均创新效率较高,规模报酬递减,整体呈现U型形态;技术成果产业化平均创新效率较低,规模报酬递增,存在一定的提升空间。

关键词 战略新兴产业 创新效率 DEA模型

DOI:10.16304/j.cnki.11-3952/f.2016.06.004

一、引言

当今世界,高投入、高消耗、高污染的粗放式产业发展模式正受到有限资源、环境容量等因素的严重制约,世界经济模式正在由以资源耗能为特征的传统经济模式,向以科技创新驱动的内生增长式经济模式转变。发展具有高技术、高风险、低碳化及高研发水平特点的战略新兴产业将成为中国实现产业结构优化升级和经济可持续发展的必经之路。

2010年10月18日,国务院发布了《国务院

关于加快培养和发展战略性新兴产业的决定》,制定并提出一系列培育和促进战略新兴产业发展的规划,并圈定了新能源、节能环保、电动汽车、新材料、生物医药、信息通讯和高端装备制造业等七大领域,提出到2015年战略新兴产业增加值占到GDP的8%,2020年占比15%,2030年战略新兴产业的整体创新能力和产业发展水平达到世界先进水平。“十二五”规划更是强调了产业调整的主线为继续发展高新技术产业,特别是重点发展以高新技术产业环节为支撑的战略新兴产业,实现产业结构的根本性调节,进而实现发展方式的转变。该规划进一步明确了战略新兴产业在我国下一个发展阶段的突出地位,国家也越来越深刻地意识到发展战略新兴产业的核心部分——高技术产业创新能力的重要,本文用高技术产业的创新效率情况近似地代替战略新兴产业具有可行性。为促进高技术产业提高创新能力,国家不断加大投入力度,然而,高技术产业的发展不能仅仅局限于增加创新投入,有时候盲目地增加投入并不能有效地提升经济发展状况,产业创新效率的提高才是产业发展的根基。

创新是经济发展的核心力量,是把一种新的生产条件和生产要素的新结合引入生产体系而建立的一种新的生产函数。随着新技术革命的迅猛发展,创新进一步发展为技术创新,并越

来越把技术创新提高到了创新的主导地位。20世纪后期,以信息、生物等产业为代表的高技术产业不断崛起,各个国家开始重点发展高技术产业,随着产业的模式和产品技术的不断创新升级,诸多学者纷纷开始对高技术产业创新效率进行深入研究。朱有为和徐康宁(2006)利用随机前沿生产函数,研究发现中国高新技术产业的研发效率虽然整体较低,但却呈现出逐步上升的趋势。白俊红和江可申(2009)采用数据包络分析(DEA)方法,研究中国区域创新系统2004—2006年的创新效率,结果显示区域创新效率普遍偏低,科技创新资源投入相对过剩而并非不足,众多省份呈现规模报酬递减态势,创新效率的提高亟待加强。官建成和陈凯华(2009)将DEA方法的松弛测度模型和临界效率模型结合起来,测度中国高新技术产业创新活动的效率值,结果表明纯技术效率的逐步改善,提高了中国高新技术产业的创新效率。郑坚(2008)根据创新过程中投入和产出要素的形式不同,将产业的创新过程分为技术开发阶段和技术成果转化阶段,并使用2001—2005年的省级面板数据测算了两阶段的效率值。余泳泽(2009)利用松弛变量的DEA模型,对1995—2001年中国10个城市的两阶段创新效率及其影响因素进行了实证研究,发现两阶段的技术创新的平均效率都较低,都有进一步改善的空间。贾静雪(2012)运用扩展两阶段DEA模型,测算2002—2010年中国各省份两阶段创新效率和整体效率。

本文综合上述文献的研究成果,基于价值链视角,将战略新兴产业技术创新过程划分为技术开发和技术成果产业化两个阶段,按照投入产出分析的逻辑思路,利用2000—2014年中国战略新兴产业五大行业的投入产出数据,采用DEA方法,测算2000—2014年技术开发和技术成果产业化两阶段技术创新效率,并对该产业五大行业技术创新效率进行对比分析。

二、创新效率的评价方法

产业创新效率的评价方法主要有两类,一类是以随机前沿生产函数分析法(Stochastic Frontier Analysis, SFA)为代表的参数法,另一类是主要以数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)为代表的非参数法。与SFA等参数法相比,DEA方法优势在于不需要估计投入产出的生产函数、也不必事先确定各指标的权重、也不受投入和产出指标的量纲性影响等。由于高技术产业创新是一项具有多投入和多产出的复杂活动,很难确定其生产函数关系,因此本文选择采用DEA方法对高技术产业创新效率进行评价。

Charnes、Cooper和Rhodes(1978)首次提出数据包络分析方法(DEA)。该方法首先输入或输出不变的决策单元,然后使用线性规划与对偶转换决定相对有效的生产前沿面,最后通过比较决策单元偏离DEA前沿面的程度评价相对效率,该方法又被叫做规模报酬不变模型C²R(或CRS, Constant Return to Scale)。C²R模型无法判断决策单元的无效率到底是由规模报酬递增还是规模报酬递减引起的,Banker、Charnes和Cooper(1984)为克服C²R模型的这一缺点,在C²R模型的基础上,加入了限制条件 $\sum \lambda_j = 1$,把技术效率分解为纯技术效率和规模效率,可以具体分析技术无效率的来源,该模型被称为规模报酬可变模型BC²(或VRS, Variable Return to Scale)。本文选择BC²模型对高技术产业的技术创新效率进行测算。

具体模型如下:

$$\begin{aligned} \max h_j &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - c_j \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^m v_r x_{rj} &= 1 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{ij} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - c_j \leq 0$$

$$v_i, u_i \geq 0; i=(1, 2, \dots, m); r=(1, 2, \dots, s);$$

$$j=(1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

其中, j 表示第 j 个决策单元; h_j 表示第 j 个决策单元的相对效率值; x_{ij} 和 y_{ij} 分别表示第 j 个决策单元的输入和输出变量; v_i 和 u_i 分别为 x_{ij} 和 y_{ij} 的加权系数; 参数 c_j 用来衡量规模报酬效应: 当 $c_j^* < 0$ 时, 规模报酬递增; 当 $c_j^* = 0$ 时, 规模报酬不变; 当 $c_j^* > 0$ 时, 规模报酬递减。将模型(1)转换为对偶规划模型, 如(2)式所示:

$$\min [\theta_j - \varepsilon (\hat{e}^T s^- + e^T s^+)]$$

$$s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{j0} + s^- = \theta_j x_{j0}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{j0} - s^+ = y_{j0}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\hat{e} = (1, \dots, j)^T \in E_m; e = (1, \dots, j)^T \in E_s;$$

$$\lambda_j, s^+, s^- \geq 0 \quad (2)$$

在模型(2)中, θ_j 为决策单元的效率值; ε 为非阿基米德无穷小量, 是比任何大于 0 的数都小的正数, 以确保权重变量严格大于 0; s^+ 和 s^- 是松弛变量, 是相对于投入项与产出项的差额变数, 代表实际值与效率参考值之间的差异, 差额变数可用来明确投入项和产出项各自的改善空间; x_{j0} 和 y_{j0} 分别表示第 j 个决策单元效率有效时的输入变量与输出变量。则其解有如下三种情况:

- (1) 若 $\theta_j^* = 1$, 且 $s^+ = s^- = 0$, 则决策单元有效;
- (2) 若 $\theta_j^* = 1$, 且 $s^+ = s^- > 0$, 则决策单元弱有效;
- (3) 若 $\theta_j^* < 1$, 则决策单元无效。

三、行业选择、指标选取和数据来源

(一) 行业选择

本文根据《中国高技术产业统计年鉴》中对

高技术产业的分类, 结合中国现阶段的发展状况以及数据的可获得性, 最终选取高技术产业医药制造业、航空航天器行业、电子及通信设备业、电子计算机及办公设备业和医疗设备业五大行业数据进行实证研究。

(二) 指标选取

从投入角度, 效率是最优投入与实际投入的比值; 从产出角度, 效率是实际产出与最优产出的比值。创新效率则是创新行为的投入与产出的比值, 创新投入和创新产出指标的选取是创新效率测算的重要方面。

本文将技术创新分为两个阶段, 第一个阶段是技术开发阶段, 主要通过 R&D 资源的投入创造新技术, 研制出可供利用的新工艺和新产品, 最终以专利或非专利等技术形式作为技术开发阶段的产出。第二个阶段是技术成果产业化阶段, 是技术性产出转化为收益性产出和竞争性产出的过程, 是一种商业化、产业化的过程。

技术开发阶段 R&D 资源投入一般包括人员投入和资金投入, 本文选取 R&D 活动人员折合全时当量, 研发机构人员数量作为此阶段人员投入, 选取 R&D 经费内部支出作为此阶段的资金投入, 在此基础上, 本文还增加了上一年专利申请数作为该阶段的技术投入, 使技术开发阶段投入指标体系的构建更趋合理。技术开发阶段是技术创新活动的第一个阶段, 是技术创新过程的中间产出, 主要以专利和非专利技术形式体现。专利技术与技术创新关系密切, 标准客观, 变化缓慢, 且数据易于获得, 不失为作为测量技术创新产出的相当可靠的指标。非专利技术属于企业商业秘密, 数据无法度量, 因此本文略去不做考虑。在专利技术方面, 专利申请数与专利授权数在衡量企业技术创新成果时各有优缺点, 本文最终选取专利申请数作为技术开发阶段的产出指标。

技术开发阶段投入产出指标体系见表 1。

表1 技术开发阶段投入产出指标体系

投入指标	人员投入	R&D活动人员折合全时当量 研发机构人员数量
	资本投入	R&D经费内部支出
	技术投入	上一年专利申请数
产出指标	R&D成果	专利申请数

技术成果产业化过程既有技术投入也有资金和人员投入,而产出则是面向市场的新产品。本文选取技术开发阶段的专利申请数作为该阶段的技术投入,选取净从业人员年平均人数作为人员投入,新产品开发经费支出作为资金投入。技术成果产业化创新成果主要体现在收益性产出,本文选取新产品销售收入作为该阶段的产出指标。技术成果产业化阶段投入产出指标体系见表2。

表2 技术成果产业化阶段投入产出指标体系

投入指标	人员投入	净从业人员年平均数
	资本投入	新产品开发费用支出
	技术投入	专利申请数
产出指标	R&D成果	新产品销售收入

(三)数据来源

本文数据根据《中国高技术产业统计年鉴》中上述五大行业的统计数据整理得到。其中,除新产品销售收入的数据完整外,其他数据均有

不同程度的缺失,约占总样本数据的3%。考虑到缺失情况使得数据起伏变化较大,本文均以平均值补全。R&D经费内部支出和新产品开发费用支出指标使用永续盘存法进行存量转换,所得结果以2000年为基期,折旧率15%,净从业人员年平均数为减去科技活动人员后的从业人员年平均数。

四、实证结果与分析

基于价值链视角,将战略新兴产业技术创新过程划分为技术开发和技术成果产业化两个阶段,按照投入产出分析的逻辑思路,每个阶段选取不同的投入产出指标,采用DEA模型,测算2000—2014年中国战略新兴产业技术开发和技术成果产业化创新效率,并对该产业五大行业创新效率进行对比分析。

(一)战略新兴产业技术创新效率及变化趋势分析

从表3可以看出,2000—2014年中国战略新兴产业技术开发创新效率年平均值为0.6863,经历了先高后低、又由低到高的过程,整体呈现U型走势。其中,2000—2005年,技术开发创新效率稳定于0.7左右;2006—2009年,曲线处于U型下降区,虽然随着经济的增长,国家对战略新兴产业重视程度的提高,投入大量研究经费,但是创新成果的滞后性导致该时间段技术开发效

表3 中国战略新兴产业技术开发、技术成果产业化创新效率

年份	技术开发创新效率	产业化创新效率	年份	技术开发创新效率	产业化创新效率
2000	0.8543	0.3892	2008	0.7235	0.4276
2001	0.6542	0.3982	2009	0.6432	0.4568
2002	0.6638	0.2798	2010	0.7456	0.5233
2003	0.7289	0.5283	2011	0.7015	0.5416
2004	0.6543	0.4256	2012	0.7024	0.5231
2005	0.7012	0.3876	2013	0.6668	0.5333
2006	0.5528	0.3963	2014	0.6766	0.5476
2007	0.6031	0.5237	均值	0.6863	0.4588

率不升反降;2009年之后,投入和产出双向稳定增长,曲线处于U型上升期;近几年,可能由于过度注重投资规模忽视效率,导致技术开发效率小幅波动并出现下降趋势。

2000—2014年中国战略新兴产业技术成果产业化创新效率年平均值0.4588,整体较低。2007年以前,除少数年份外,产业化创新效率基本都在0.4以下,这表明,在产业化初级阶段,人员和资本的投资规模较小,初期产业化效率较低;2007—2009年,投入在不断增加,作为度量产业化效率的产出销售收入也经历着相似的增长,但由于增速的不稳定导致该时间段产业化效率呈震荡形态;2009年之后,产出大幅上升,产业化效率呈上升趋势,这说明经历了2007—2009年,技术、资金和人员投入比例已调整合理,产业化效率呈稳定增长态势。

技术开发创新效率和成果产业化创新效率变化趋势如图1所示。

(二)五大行业创新效率对比分析

由表4和表5可以看出,技术开发创新的平均效率较高,但规模报酬递减。高技术产业技术

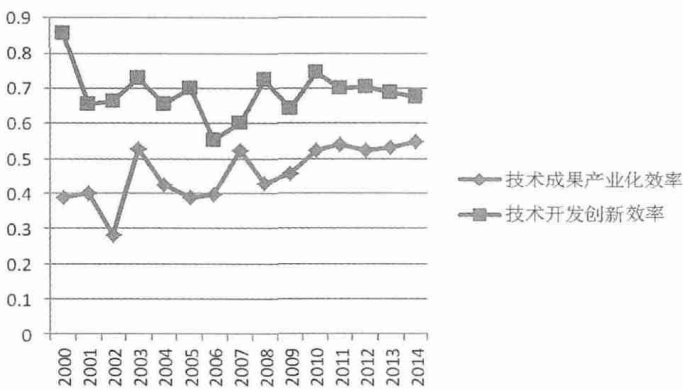


图1 战略新兴产业技术开发和产业化创新效率变化趋势图

开发创新能力虽然较高,但增加创新投入,专利申请数产出的增加反而会减少,不能单纯地通过增加投入来提高产业技术开发创新效率,而应该把重点放在科技创新上,只有提高创新能力,才能够使得专利数产出增加得更多,产业发展得更好。相对于技术开发创新效率,技术成果产业化平均创新效率较低,但规模报酬递增,说明高技术产业技术成果产业化创新效率存在一定的提升空间,而且可以通过增加投入来提升。

表4 五大行业技术开发创新效率

行业	技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
医药制造业	0.608	0.612	0.992	递减
航空航天器	0.339	0.57	0.524	递减
电子及通信设备	0.633	1	0.631	递减
计算机及办公设备	0.825	1	0.825	递减
医疗设备	1	1	1	不变

表5 五大行业技术成果产业化创新效率

行业	技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
医药制造业	0.269	0.326	0.768	递增
航空航天器	0.428	1	0.338	递增
电子及通信设备	0.674	1	0.592	递增
计算机及办公设备	1	1	1	不变
医疗设备	0.306	0.488	0.619	递增

绘制五大行业技术开发创新效率和成果产业化创新效率对比图,见图2。

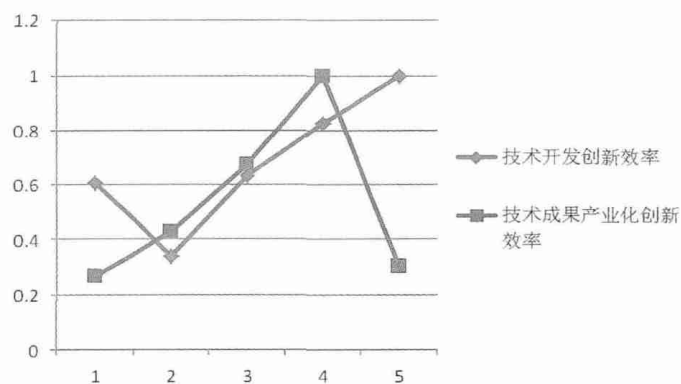


图2 五大行业技术开发和成果产业化创新效率对比图
注:1、2、3、4、5分别代表医药制造业、航空航天器业、电子及通信设备业、电子计算机及办公设备业和医疗设备业。

由图2可以看出,技术开发创新效率,医疗设备业最高,且规模报酬不变;计算机及办公设备业较好,技术开发能力较强,强于行业平均水平;航空航天器业最低,效率值仅为0.339,且规模报酬递减,该行业还不能单纯通过增加投入来提高技术开发创新效率,应把重点放在科技创新上。对于技术成果产业化创新效率,计算机及办公设备业最高,电子及通信设备业次之,这两个行业成果产业化能力较强;医药制造业和医疗仪器仪表业较差,但规模报酬递增,说明这两个行业技术成果产业化能力较弱,应重点加强,且可以通过增加创新投入来提高产业化产出。另外,航空航天器、电子通信设备、计算机办公设备三个行业技术开发创新效率略低于成果产业化创新效率,这三个行业技术开发创新能力相比成果产业化能力稍显不足;医药制造业和航天航空器业的创新效率低于行业平均水平,可以提高的空间仍旧很大,若想要继续提高战略新兴产业创新能力,可以把重点放在这两个行业上。

五、结论及政策建议

本文将战略新兴产业创新过程分为技术开发和技术成果产业化两个阶段,通过DEA模型对2000—2014年中国战略新兴产业五大行业两阶段的技术开发和技术成果产业化创新效率进行了测算,对其随时间变化趋势进行了动态分析,并对五大行业创新效率进行了对比分析,得到以下基本结论。

第一,技术开发阶段,效率较高,整体呈现U型走势。2000—2005年,技术开发效率稳定;2005—2009年,随着经济的增长,国家对高新技术产业重视程度提高,投入大量研究经费,但是可能由于人员、资本和技术投入增加量的不匹配,导致该阶段技术开发效率不升反降,处于U型下降区;2009年之后,投入和产出的双向增长,曲线处于上升形态;近几年,可能由于过度注重投资规模忽视效率,导致技术开发效率小幅波动并出现下降趋势。

第二,技术成果产业化创新效率整体较差,低于技术开发创新效率。2006年以前,处于产业化初级阶段,由于人员和资本的投资规模较小,初期产业化效率较低,且呈现震荡形态;2006—2009年,投入稳定增长,但产出停滞甚至微幅下降,产业化效率值下降;2009年以后,产出大幅上升,产业化呈现上升趋势。

第三,技术开发创新平均效率较高,规模报酬递减,技术成果产业化平均创新效率较低,规模报酬递增。高技术产业技术开发创新能力虽然较高,但增加创新投入,专利申请数产出的增加反而会减少,不能单纯地通过增加投入来提高产业技术开发创新效率,而应该把重点放在科技创新上;其中,航空航天器业技术开发创新最差,且规模报酬递减,应重点加强该行业的技术创新。相对于技术开发创新效率,技术成果产业化创新效率存在一定的上升(下转第57页)

②丁永健:《面向全球价值链的中国制造业升级》,科学出版社2007版。

③刘志彪:《全球价值链中我国外向型经济战略的提升——以长三角为例》,《中国经济问题》2007年第1期。

④马海燕、贺伟:《俘获型网络中的治理、绩效与升级》,《宏观经济研究》2013年第8期。

⑤潘豪:《价值链治理模式及其拓展研究》,《科技和产业》2010年第10期。

⑥王克岭、罗斌、吴东、董建新:《全球价值链治理模式演进的影响因素研究》,《产业经济研究》2013年第4期。

⑦吴建新、刘德学:《全球价值链治理理论综述》,《国际经贸探索》2007年第8期。

⑧张杰、刘志彪:《全球化背景下国家价值链的构建与中国企业升级》,《经济管理》2009年第2期。

⑨Altenburg, T., Governance patterns in value chains and their development impact. European Journal Of Development Research, Vol.18, No.4, 2006.

⑩Gereffi, G., International trade and industrial upgrading in the commodity chain. Journal Of International Economics, Vol.48, No.1, 1999.

⑪Gereffi, G. and Humphrey, J., The governance of global value chains: An analytic framework. IDS, 2003.

⑫Kaplinsky, R. and Morris, M., Governance matters in value chains. Developing Alternatives1, Vol.9, No.1, 2003.

(作者单位:东莞行政学院)

责任编辑 徐敬东

(上接第48页)空间,而且可以通过增加投入来提高;其中,医药制造业和医疗仪器仪表业较差,产业化能力较弱,应重点加强这两个行业。

综上所述,技术开发创新效率主要受技术进步的影响,技术进步在很大程度上对技术开发率的提升有促进作用,虽然不能忽略人员和资金的投入力度,但要注重投入要素的配比,不能过度地注重投资规模而忽视效率,过度投资已不能提高技术开发创新效率,反而会产生负影响;技术成果产业化受到技术影响外,在一定程度上受规模报酬的影响,扩大投资规模,提升空间很大。

参考文献:

①白俊红、江可申:《中国地区研发创新的相对效率与全要素生产率增长分解》,《数量经济技术经济研究》2009年第3期。

②官建成、陈凯华:《我国高技术产业技术创新效率的测度》,《数量经济技术经济研究》2009年第10期。

③贾静雪:《高技术产业技术创新效率的区域比较——基于链式网络DEA模型》,武汉理工大学硕士学位论文,2012年。

④余泳泽:《我国高技术产业技术创新效率及其影响因素研究——基于价值链视角下两阶段分析》,《经济科学》2009年第4期。

⑤郑坚:《高技术产业技术创新的边际收益特性及效率分析》,《科学学研究》2008年第10期。

⑥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年第11期。

⑦Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W. W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, Vol.30, 1984.

⑧Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal Of Operational Research, Vol.2, 1978.

(作者单位:东北财经大学数学学院)

责任编辑 希雨