

基于博弈交叉效率 DEA 模型的中国工业企业创新绩效测度

刘 涛^{1,2}, 金英淑^{1,2}, 杨金帅^{1,2}, 霍静娟³

(河南理工大学 1. 安全与应急管理研究中心; 2. 应急管理学院;
3. 物理与电子信息学院, 河南 焦作 454003)

摘要:利用改进的博弈交叉效率模型,测算了2012—2015年中国30个省区工业企业创新绩效的博弈结果,研究发现:中国工业企业创新绩效总体上处于中等水平,且呈现出先降后升的“V”型走势。中国工业企业创新绩效的区域差异明显,区域工业企业创新绩效总体上看呈现出“东部高、西部低、中部居中”的梯度走势。从各年份来看,东部呈现出持续下降然后强势复苏的走势,中部地区呈现忽高忽低的波浪形走势,西部地区则是持续下降然后缓慢复苏。东中西部地区工业企业创新绩效差异趋于收敛。各省区工业企业创新绩效的区域利用模式可划分为6类。各省区需依据其模式特点采取不同策略提升工业企业创新绩效水平。

关键词:工业企业;创新绩效;博弈交叉效率;DEA

中图分类号:F276.44 **文献标志码:**A **文章编号:**1671—1807(2017)09—0075—05

十八大以来中央屡次提出并强调实施创新驱动发展战略,明确坚持推动以科技创新为核心的全面创新,坚持企业在创新中的主体地位。不断提高企业创新绩效,是当前我国创新驱动战略重要内容之一。

目前理论界利用各种评价方法对工业企业创新绩效进行了大量研究,其中数据包络分析方法利用比较广泛。潘雄锋等利用改进的DEA模型对中国2010年工业企业技术创新效率进行了评价^[1]。肖仁桥等构建关联型网络DEA模型测算了环境约束下2001—2010年中国省际工业企业技术创新的整体与阶段效率^[2]。钱丽等利用传统DEA模型测度分析了2003—2010年各省份企业绿色科技研发、成果转化效率^[3]。李阳构建了C2GS2的传统DEA模型和网络DEA模型,对地区工业企业的技术创新效率进行测算分析^[4]。李伟采用超效率DEA模型对2013年中国31个省份工业企业的自主创新效率进行了测度^[5]。呼若青等运用EWM-Malmquist-LWM模型

对工业企业技术创新绩效进行综合评价^[6]。吴中伦采用DEA-SBM方法对我国工业企业产品创新效率进行了测算^[7]。罗利华等利用DEA-Malmquist指数模型对江苏省各地市大中型工业企业研发机构创新效率进行了测算分析^[8]。陈伟等利用CCR模型和Malmquist指数模型,从全国、东北地区、东北三省三个维度测算分析了我国大中型工业企业技术创新效率及其变动状况^[9]。韩儒眉等应用四阶段DEA模型对2014年全国地区工业企业绿色技术创新效率进行了实证分析^[10]。

以上研究得出了一些具有价值的结论,但是所使用的DEA模型基本都是基于“自评体系”展开,导致评价结果偏大,出现大量评价单元等于1的情况,主要原因在于未考虑评价单元之间的博弈关系,导致过分夸大自身效率,使得结论缺乏真实性。本文利用改进的博弈交叉效率模型,测算了2012—2015年中国30个省区(包括直辖市)工业企业创新绩效的博弈结

收稿日期:2017—05—10

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金项目(16YJA790026);河南省哲学社会科学规划项目(2017CJJ088);河南省教育厅人文社会科学研究一般项目(2017—ZZJH—190);河南省教育厅科学技术研究重点项目(13A630343);河南省高校基本科研业务费专项资金资助项目(SKJYB2017—16);河南理工大学青年骨干教师资助项目(2016XQG—27);河南理工大学博士基金项目(B2012—037)。

作者简介:刘涛(1983—),男,山东沂水人,河南理工大学应急管理学院,副教授,博士,研究方向:产业效率评价;金英淑(1972—),女,吉林延吉人,河南理工大学应急管理学院,副教授,博士,研究方向:公共管理;杨金帅(1997—),男,河南南阳人,河南理工大学应急管理学院,本科生,研究方向:产业效率评价;霍静娟(1981—),女,河北邯郸人,河南理工大学物理与电子信息学院,讲师,硕士,研究方向:DEA效率评价。

果,有效解决了已有研究的不足,得出的结论更具客观性,对于推动我国工业企业创新发展具有重大指导价值。

1 模型构建与指标选取

1.1 效率评价模型构建

博弈交叉效率是在解决传统 CCR 模型不能有效排序基础上,引入被评价单元之间的博弈关系,避免了交叉效率模型二次目标选择问题,放宽了传统模型严苛的假设条件,该模型更加贴近实际,是对传统效率测度思路的一种改进。

博弈交叉效率模型将被评价单元当做博弈的参与人,假设他们之间存在非合作博弈关系,并把这种关系反映到数学规划的约束条件中。假设参与人 DMU_d 的效率值为 α_d , 剩余参与人 DMU_j 在保持 DMU_d 的效率值不被降低的情况下来最大化自身的效率值^[11]。在此,定义 DMU_j 利用 DMU_d 的权重所获取的博弈交叉效率值为:

$$\alpha_{dj} = \sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d y_{rj} / \sum_{i=1}^m \omega_{ij}^d x_{ij} d, j = 1, \cdots, n$$

其中, μ_{rj}^d 和 ω_{ij}^d 是模型的可行权重。 α_{dj} 为 DMU_j 关于 DMU_d 的博弈交叉效率,可通过以下线性规划算得:

$$\begin{aligned} &Max \sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d y_{rj} \\ &s. t. \sum_{i=1}^m \omega_{ij}^d x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d y_{rj} \geq 0, j = 1, \cdots, n \\ &\sum_{i=1}^m \omega_{ij}^d x_{id} = 1 \\ &\alpha_d \times \sum_{i=1}^m \omega_{ij}^d x_{id} - \sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d y_{rj} \leq 0 \\ &\omega_{ij}^d \geq 0, i = 1, 2, \cdots, m \\ &\mu_{rj}^d \geq 0, r = 1, 2, \cdots, s \end{aligned}$$

其中 $\alpha_d \leq 1$ 为参数,其初始值为传统交叉效率值,后续取值可通过迭代算法求得。综上,定义 DMU_j 的博弈交叉效率值为:

$$\overline{\alpha_j} = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n \alpha_{dj}$$

本文利用博弈交叉效率模型对 2012—2015 年中国工业企业创新绩效进行评估。

1.2 评估指标与数据来源

目前理论界对工业企业创新绩效评价指标进行了较多研究,本文构建了“3 投入—3 产出”的工业企业创新绩效评价指标体系。投入指标一般包括人员投入和资本投入,其中 R&D 人员反映了工业企业创新绩效的人员投入状况,R&D 内部经费支出和新产

品开发经费反映了工业企业创新绩效的资本投入状况。产出指标包括物质产出和经济产出两个方面,其中,新产品开发项目数和有效发明专利数反映了工业企业创新绩效的物质产出状况,新产品开发销售收入反映了工业企业创新绩效的经济产出状况。本文主要评价规模以上工业企业,鉴于西藏工业创新投入产出过小,纳入评价会影响评价的有效性,故将其剔除,本文主要评价 30 个省区(包括直辖市)的工业企业创新绩效,评价区间为 2012—2015 年,各统计指标数据来源于历年《中国科技统计年鉴》。

表 1 中国工业企业创新绩效评价指标体系

指标类型	指标构成	指标性质
投入指标	R&D 人员(人)	人员投入
	R&D 内部经费支出(万元)	资本投入
	新产品开发经费(万元)	
产出指标	新产品开发项目数(件)	物质总量
	有效发明专利数(件)	
	新产品开发销售收入(万元)	经济总量

2 中国工业企业创新绩效的博弈分析

选取产出导向型博弈交叉效率模型,利用 Max-dea Pro6. 18 软件,测算了 2012—2015 年我国 30 个省区工业企业创新绩效的博弈状况。

2.1 中国工业企业创新绩效的变化趋势

首先,中国工业企业创新绩效总体上处于中等水平,且呈现出先降后升的“V”型走势。2012—2015 年间中国工业企业创新的总体绩效为 0. 746,与有效前沿面还有一定距离,表明我国工业企业创新资源的利用水平有待提高。2012 年工业企业创新的总体绩效为 0. 753,此后连续两年下降,到 2014 年降为 0. 722,2015 年上升为 0. 761,高于 2012 年。

其次,处于有效前沿面的省份总体上比较少,且有减少趋势,而远离前沿面的省份比较多。2012 年工业企业创新绩效等于 1 的省份有 2 个,此后三年都只有一个省份达到有效前沿面,只占 33. 33%,有近 66. 66%的省份处于无效状态,工业创新资源利用不充分。

2.2 中国工业企业创新绩效的区域差异

由表 2 可以看出,中国工业企业创新绩效的区域差异明显。2012—2015 年东中西部地区的博弈交叉效率值分别为 0. 831、0. 743 和 0. 670,区域工业企业创新绩效总体上看呈现出“东部高、西部低、中部居中”的梯度走势。从各年份来看,东部呈现出持续下降然后强势复苏的走势,2015 年的绩效值高于 2012

年,表明东部地区创新优势依然很明显,虽有下降但会强劲复苏。中部地区呈现忽高忽低的波浪形走势,但是各年份的绩效值都要高于 2012 年,其创新一直比较平稳。西部地区则是持续下降然后缓慢复苏,表明西部地区依然是创新的低洼地,需要各种政策的扶持。从区域绩效的极差来看,东部与中部和西部的差距都有所缩小,表明创新的区域差异趋于收敛。东部与中部地区的差异从 2012 年的 0.122 下降到 2015 年的 0.088,东部西部地区的差异从 2012 年的 0.126 下降到 2015 年的 0.161。

由表 3 可知,在东部地区的 11 个省份中,每年都有 1 个省区工业企业创新绩效达到有效前沿面,每年有 5 个省区工业企业创新绩效处于弱有效($0.9 < GCE < 1$),共占比 54.5%,表明这些省份工业企业创新绩效总体上是比较好的。这些省份相对比较稳定,主要包括北京、上海、浙江、广东、海南和天津 6 个省份。高无效型($0.7 < GCE < 0.9$)的省份有江苏,强无效型($GCE < 0.7$)的省份有 4 个,包括河北、辽宁、福建和山东。这些省区工业企业创新资源的利用不充分,表明这些省区创新能力亟待提高。

在中部地区的 8 个省份中,2012—2015 年间各省份工业企业创新绩效都没有达到有效前沿面。共有 3 个省份达到了弱有效($0.9 < GCE < 1$),分别为吉林、安徽和湖南,说明这几个省份工业企业创新绩效总体上还是比较高的,对于创新资源的利用相对要充分一些。而其他 5 省份则要差一些。其中绩效最高的是安徽省,该省工业企业创新绩效均值为 0.951,绩效值最低的是山西省,绩效值为 0.538,二者的差距很明显。

表 2 2012—2015 年中国 30 个省区工业企业创新绩效的
博弈交叉效率值(Game cross efficiency,简称 GCE)

DMU	2012	2013	2014	2015	均值
北京	0.996	0.982	0.981	0.987	0.986
天津	1	0.998	0.992	0.983	0.993
河北	0.684	0.652	0.653	0.64	0.657
辽宁	0.615	0.628	0.661	0.724	0.655
上海	0.937	0.939	0.962	0.911	0.937
江苏	0.787	0.765	0.825	0.83	0.801
浙江	0.977	0.986	0.997	1	0.99
福建	0.697	0.664	0.622	0.632	0.653
山东	0.692	0.679	0.679	0.676	0.681
广东	0.944	0.944	0.908	0.972	0.941
海南	0.998	1	1	0.996	0.998
东部均值	0.835	0.825	0.829	0.837	0.831
山西	0.506	0.541	0.472	0.651	0.538
吉林	0.998	0.985	0.953	0.806	0.932
黑龙江	0.616	0.544	0.499	0.555	0.552
安徽	0.94	0.916	0.958	0.994	0.951
江西	0.667	0.793	0.715	0.726	0.724
河南	0.617	0.804	0.767	0.772	0.736
湖北	0.647	0.708	0.726	0.744	0.705
湖南	0.855	0.961	0.981	0.972	0.941
中部均值	0.713	0.763	0.734	0.765	0.743
内蒙古	0.503	0.457	0.379	0.461	0.448
广西	0.801	0.901	0.787	0.945	0.856
重庆	0.921	0.944	0.993	0.951	0.952
四川	0.995	0.885	0.873	0.833	0.895
贵州	0.814	0.753	0.76	0.763	0.772
云南	0.742	0.681	0.61	0.73	0.689
陕西	0.762	0.547	0.523	0.522	0.581
甘肃	0.845	0.752	0.738	0.71	0.759
青海	0.3	0.269	0.209	0.352	0.277
宁夏	1	0.936	0.737	0.849	0.875
新疆	0.523	0.609	0.762	0.789	0.661
西部均值	0.708	0.664	0.622	0.69	0.67
均值	0.753	0.746	0.722	0.761	0.746
东—中差值	0.122	0.062	0.095	0.072	0.088
东—西差值	0.126	0.161	0.207	0.147	0.161

表 3 2012—2015 年中国 30 个省区工业企业创新绩效类型的分布状况

类型		高有效型 ($GCE=1$)	弱无效型 ($0.9 < GCE < 1$)	高无效型 ($0.7 < GCE < 0.9$)	强无效型 ($GCE < 0.7$)
2012		天津、宁夏	北京、上海、浙江、广东、海南、吉林、安徽、重庆、四川	江苏、湖南、广西、贵州、云南、陕西、甘肃	河北、辽宁、福建、山东、山西、黑龙江、江西、河南、湖北、内蒙古、青海、新疆
2013		海南	北京、上海、浙江、广东、天津、吉林、安徽、湖南、重庆、广西、宁夏	江苏、江西、河南、湖北、四川、贵州、甘肃	河北、辽宁、福建、山东、山西、黑龙江、内蒙古、云南、陕西、青海、新疆
2014		海南	北京、上海、浙江、广东、天津、吉林、安徽、湖南、重庆	江苏、江西、河南、湖北、广西、四川、贵州、甘肃、宁夏、新疆	河北、辽宁、福建、山东、山西、黑龙江、内蒙古、云南、陕西、青海
2015		浙江	北京、上海、广东、海南、天津、安徽、湖南、重庆、广西	辽宁、江苏、吉林、江西、河南、湖北、四川、贵州、云南、甘肃、宁夏、新疆	河北、福建、山东、山西、黑龙江、内蒙古、陕西、青海
区域 分布	东部	1,1,1,1	5,5,5,5	1,1,1,2	4,4,4,3
	中部	0	2,3,3,2	1,3,3,4	5,3,3,3
	西部	1,0,0,0	2,3,1,2	5,3,6,6	3,4,3,2

在西部地区的 11 个省份中,2012—2015 年间只有 2012 年的宁夏工业企业创新绩效曾达到有效前沿面,其他年份各省份都小于 1。工业企业创新绩效弱无效型($0.9 < GCE < 1$)的省份有 1 个,即重庆。可以看出,西部地区工业企业创新绩效较高的省份很少。高无效型($0.7 < GCE < 0.9$)的省份有 3 个,包括广西、四川和宁夏。强无效型($GCE < 0.7$)的省份有 7 个,包括内蒙古、贵州、云南、陕西、甘肃、青海和新疆。由此可见,西部地区高无效型和强无效型的省份占比 91%,反映出西部地区大多数省区的创新能力非常低。

2.3 中国工业企业创新绩效的利用模式分析

为了更清楚地划分中国工业企业创新绩效的区域利用模式,我们把 2015 年中国各省份工业企业创新绩效和 GDP 水平进行聚类分析,将各省区工业企业创新绩效的区域利用模式划分为如下 6 类,如表 4 所示。

第一类,高产出高效率模式。此类地区以广东、江苏、浙江、四川和湖南为代表,从 GDP 总量上看 5 个省区都排在全国前 10 名,GDP 都在 2.8 万亿元以上,从效率上看,其创新绩效都高于 0.8。该类地区工业企业创新绩效总体比较成熟,工业企业创新资源的管理方式和技术水平比较高。

第二类,高产出低效率模式。此类地区以山东、湖南、河北、湖北和辽宁为代表,从 GDP 总量上看 5 个省区都排在全国前 10 名,GDP 都在 2.8 万亿元以上,从效率上看,其创新绩效都小于 0.8。该类地区虽然实现了较高的产出水平,但是工业企业创新资源并未得到充分利用。

第三类,中产出高效率模式。此类地区以上海、北京、安徽、广西、天津和重庆为代表,从 GDP 总量上看 6 个省区都排在全国 10—20 名,GDP 都在 1.57~2.8 万亿元之间,从效率上看,其创新绩效都大于 0.8。该类地区工业企业创新模式相对合理,但是产出水平相对较低。

第四类,中产出低效率模式。此类地区以福建、陕西、内蒙古和江西为代表,从 GDP 总量上看 4 个省区都排在全国 10—20 名,GDP 都在 1.57~2.8 万亿元之间,从效率上看,其创新绩效都小于 0.8。该类地区工业企业创新模式相对比较粗放,创新资源投入很多,但是产出水平不高。

第五类,低产出高效率模式。此类地区以吉林、海南和宁夏为代表,从 GDP 总量上看 3 个省区都排在全国后 10 名,GDP 都低于 1.57 万亿元,从效率上看,其创新绩效都大于 0.8。该类地区是产值规模相

对较小的地区,以较小的投入得到较高的产出。

表 4 2015 年中国各地区工业企业创新绩效的利用模式

模式	地区	效率提升策略
高产出高效率	广东、江苏、浙江、四川、湖南	系统微调 提升效率
高产出低效率	山东、湖南、河北、湖北、辽宁	适度控制投入
中产出高效率	上海、北京、安徽、广西、天津、重庆	适当增加投入
中产出低效率	福建、陕西、内蒙古、江西	有效提高产出
低产出高效率	吉林、海南、宁夏	加大投入, 有效提高产出
低效率低产出	黑龙江、云南、山西、贵州、新疆、甘肃、青海	结构调整

第六类,低产出低效率模式。此类地区以黑龙江、云南、山西、贵州、新疆、甘肃和青海为代表,从 GDP 总量上看 7 个省区都排在全国后 10 名,GDP 都低于 1.57 万亿元,从效率上看,其创新绩效都小于 0.8。该类地区虽然投入了较多的创新资源,但是由于受制于区位优势、人才能力不足、产业结构调整滞后等原因,并未得到较高的产出水平。

3 结论及建议

本文利用改进的博弈交叉效率模型,测算了 2012—2015 年中国 30 个省区(包括直辖市)工业企业创新绩效的博弈结果,研究发现:①中国工业企业创新绩效总体上处于中等水平,且呈现出先降后升的“V”型走势。②中国工业企业创新绩效的区域差异明显。区域工业企业创新绩效总体上看呈现出“东部高、西部低、中部居中”的梯度走势。从各年份的走势看,东部呈现出持续下降然后强势复苏的走势,中部地区呈现忽高忽低的波浪形走势,西部地区则是持续下降然后缓慢复苏。③各省区工业企业创新绩效的区域利用模式可划分为 6 类。

基于此,本文提出如下建议:对于以广东、江苏、浙江、四川和湖南为代表的高产出高效率模式,需要对创新系统进行微调就可以实现创新资源的优化配置。对于以山东、湖南、河北、湖北和辽宁为代表的高产出低效率模式,需要适度控制工业企业创新资源的投入规模,进而提升绩效水平。对于以上海、北京、安徽、广西、天津和重庆为代表的中产出高效率模式,要在稳定效率基础上,适度增加投入规模,进而实现产出水平的进一步提升。对于以福建、陕西、内蒙古和江西为代表的中产出低效率模式,需要采取措施有效提高产出水平,一方面改进工业企业创新资源的管理

体制和利用方式,另一方面提高工业企业创新资源的技术水平。对于以吉林、海南和宁夏为代表的低产出高效率模式,需要加大投入,有效提高产出。对于黑龙江、云南、山西、贵州、新疆、甘肃和青海为代表的低产出低效率模式,需要给予创新政策支持,积极创造良好的环境,吸引更多优秀人才落地,推进创新能力的增进,提高创新的产出水平。

参考文献

[1] 潘雄锋,杨越. 剔除环境因素影响的工业企业技术创新效率评价研究[J]. 运筹与管理,2014(6):244—251.
[2] 肖仁桥,王宗军,钱丽. 环境约束下中国省际工业企业技术创新效率研究[J]. 管理评论,2014(6):56—66.
[3] 钱丽,肖仁桥,陈忠卫. 我国工业企业绿色技术创新效率及其区域差异研究——基于共同前沿理论和 DEA 模型[J]. 经济理论与经济管理,2015(1):26—43.
[4] 李阳. 基于网络 DEA 的地区工业企业技术创新效率研究[J]. 统计与决策,2015(23):85—89.

[5] 李伟. 中国工业企业自主创新效率测度与影响因素分析[J]. 调研世界,2016(5):35—40.
[6] 呼若青,杨朝均,杨红娟. 工业企业技术创新绩效评价及演进规律研究——产出一效率的双维视角[J]. 科技与经济,2016(4):32—36.
[7] 吴中伦. 中国工业企业产品创新效率的综合评价与分析[J]. 工业技术经济,2016(10):102—108.
[8] 罗利华,胡先杰. 大中型工业企业研发机构创新效率研究——基于城市视角的 DEA-Malmquist 指数分析[J]. 科技和产业,2016(6):93—96,106.
[9] 陈伟,景锐,张慧泉,等. 东北地区大中型工业企业技术创新效率评价——基于 DEA-Malmquist 指数方法[J]. 华东经济管理,2017(2):66—71.
[10] 韩霏眉,刘艳春. 我国工业企业绿色技术创新效率评价研究[J]. 技术经济与管理研究,2017(5):53—57.
[11] L LIANG, J WU, WD COOK, J ZHU. The DEA game cross-efficiency model and its Nash equilibrium[J]. Operations Research,2008,56(5):1278—1288.

The Performance Evaluation of Industrial Enterprises in China Based on the Game Cross Efficiency DEA Model

LIU Tao^{1,2}, JIN Ying-shu^{1,2}, YANG Jin-shuai^{1,2}, HUO Jing-juan³

(1. Research Center of Safety and Emergency Management; 2. Emergency Management School;
3. School of Physics & Electronic Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003, China)

Abstract: This paper uses improved game cross efficiency model to calculate the game results of industry innovation performance in China 30 provinces during 2012—2015. The study finds; innovation performance of industrial enterprises in China is overall in the middle level, and shows the "V" trend that rises after the first drop. Regional differences in innovation performance of industrial enterprises in China is obvious. On the whole, the innovation performance of regional industrial enterprises shows the gradient trend of "high in the East, low in the West and central in the middle". From the years of view, the eastern region shows a sustained decline and then a strong recovery trend, the central region shows a wave of high and low volatility trend, the western region shows downward trend and then slow recovery. Differences of industrial enterprises innovation performance between each region tend to converge. The regional utilization patterns of industrial enterprises innovation performance can be divided into 6 categories. According to its characteristics, each province should adopt different strategies to improve the level of innovation performance of industrial enterprises.

Key words: industrial enterprise; innovation performance; game cross efficiency; DEA