

基于两阶段DEA和灰关联的31个省份技术创新效率评价

肖美丹¹ 张文娟¹ 田志强²

(1. 河南农业大学信息与管理科学学院, 河南郑州 450000;

2. 河南农业大学科学技术处, 河南郑州 450000)

摘要: 首先将技术创新过程分为技术投入和成果转化两个阶段, 然后采用两阶段DEA模型对全国31个省份2013—2018年的面板数据进行效率分析, 最后采用灰色综合关联度的方法对其综合效率值的影响因素进行分析。分析结果表明, 31个省份技术创新总体效率值并不高, 第一阶段的平均效率值略高于第二阶段的平均效率值, 影响每个省份创新效率值的投入产出指标不一样, 提出要针对每个省份的不同影响指标采取不同的策略。

关键词: 技术创新; 两阶段DEA模型; 灰色综合关联度; 技术创新效率; 投入产出指标

中图分类号: C931

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2020.05.011

Evaluation of Technical Innovation Efficiency in 31 Provinces Based on Two-stage DEA and Grey Relation

XIAO Meidan¹, ZHANG Wenjuan¹, TIAN Zhigiang²

(1. College of Information and Management Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000;

2. Department of Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000)

Abstract: In this paper, the process of technical innovation is divided into two stages: technology input and achievement transformation. The efficiency of panel data of 31 provinces and cities in 2013 to 2018 is analyzed by using two-stage DEA model, and the influencing factors of comprehensive efficiency value are analyzed using grey comprehensive correlation degree method. The total efficiency value of technical innovation in 31 provinces and cities is not high, the average efficiency value in the first stage is slightly higher than the average efficiency value in the second stage, and the input-output indicators affecting the innovation efficiency value of each province and city are also different. Therefore, different strategies should be adopted according to the different impact indicators of each province and city. The results of the analysis can provide help for the future technological innovation progress of China's science and technology industry.

Keywords: technical innovation, two-stage DEA model, grey comprehensive correlation degree, technical innovation efficiency, input-output index

0 引言

现阶段我国技术创新能力取得了很大的提

升, 但是与发达国家相比还有一定的差距, 一些行业(部门)尚缺乏创新能力。“创新”一直是国内学者们热衷讨论的话题。对于它的研究主要

作者简介: 肖美丹(1977—), 女, 河南农业大学信息与管理科学学院教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 技术创新管理和供应链管理; 张文娟(1995—), 女, 河南农业大学信息与管理科学学院硕士研究生, 研究方向: 技术创新管理和供应链管理; 田志强(1976—), 男, 河南农业大学科学技术处助理研究员, 研究方向: 科技管理(通信作者)。

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目“物理-社会技术共演化视角的创业生态系统理论模式及其运行机制研究”(17YJC630117); 河南省哲学社会科学规划项目“基于物理-社会技术共演化的创业生态系统运行机制研究”(2017BJJ034); 2017年河南省青年骨干教师培养计划“创业生态系统理论模式研究”(2017GGJS038)。

收稿时间: 2020年4月23日。

集中在方法的运用^[1-10]和不同行业的创新^[11-13]两个方面。采用两阶段数据包络分析（DEA）模型评价技术创新效率不仅可以考虑初始投入和最终产出，而且还把中间过程纳入其中，但不能很好地反映创新各个阶段影响因素。而采用灰色综合关联度的方法可以对影响各省市综合效率值的投入产出指标进行排序，找出关键的影响因素，提升各省市的创新效率值。目前，对灰色综合关联在技术创新中的应用已有研究^[14-17]，但鲜有同时采用两阶段DEA模型和灰色综合关联这两种方法对技术创新效率进行评价。对此，本文拟在两阶段DEA模型的基础上，运用灰色综合关联度对我国31个省份的技术创新效率值的影响因素进行分析。

1 模型构建和指标体系选取

1.1 两阶段DEA模型

两阶段DEA模型把技术创新过程分为两个阶段：第一阶段是技术投入阶段，第二阶段为成果转化阶段。

两阶段DEA模型认为，决策单元DMU_j ($j=1,2,\dots,n$)除了最初投入 x_{ij} ($i=1,2,\dots,m$)和最终产出 y_{rj} ($r=1,2,\dots,s$)外，还存在着一个中间的变量 z_{dj} ($d=1,2,\dots,D$)。本文选择两阶段DEA模型中基于规模报酬不变的CCR模型和基于规模报酬可变的BCC模型^[2]。BCC模型的表达式是

$$\begin{aligned} \theta_j = \max & \left(\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \eta_j \right) \\ & \left(\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} + \eta_j^{(1)} \right) \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}, j=1,2,\dots,n \\ \text{s.t.} & \left(s \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \eta_j^{(2)} \right) \leq \sum_{d=1}^D w_d z_{dj}, j=1,2,\dots,n \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \\ & \eta_j = \eta_j^{(1)} + \eta_j^{(2)} \\ & w_d \geq 0, d=1,2,\dots,D; i=1,2,\dots,m \\ & u_r \geq 0, r=1,2,\dots,s, \eta_j^{(1)}, \eta_j^{(2)} \in R^1 \end{aligned} \quad (1)$$

当 $\eta_j = \eta_j^{(1)} = \eta_j^{(2)} = 0$ 时，模型（1）就变换为基于规模报酬不变的CCR模型。

1.2 灰色综合关联度

DEA模型测算投入与产出之间的效率，将综合效率值作为系统行为序列，技术创新过程中的投入和产出指标作为影响序列，计算这两个序列的关联程度，通过序列曲线的相似性来判断两者关系的密切程度。若两条曲线的相似程度越高，序列的相关性越大，两者的相互影响也就越大，反之亦然^[7]。具体表达式如下：

$$\rho_{oi} = \theta \varepsilon_{oi} + (1-\theta) \gamma_{oi}, \theta \in [0,1] \quad (2)$$

在式（2）中， ε_{oi} 表示绝对灰色关联度； γ_{oi} 表示相对灰色关联度； $0 \leq \theta \leq 1$ ，通常情况下取 $\theta = 0.5$ 。

1.3 指标体系和数据来源

31个省份创新过程的第一阶段为创新投入的技术转化阶段，在这个阶段国家和企业投入大量的人力、物力和财力等，从而得到科技成果。第二阶段则是成果转化阶段，在这个阶段企业需要将科技研发的科技成果进行转化，把科技成果转化成经济利益。通过对大量参考文献的梳理^[1-13]，确定两阶段技术创新的投入产出指标为：第一阶段的投入变量为研发（R&D）人员全时当量（ I_1 ）、R&D经费支出（ I_2 ），产出变量为专利申请数（ O_1 ）、发明专利数（ O_2 ）。第二阶段的投入变量即为第一阶段的产出变量，也就是第一阶段的产出变量专利申请数（ O_1 ）、发明专利数（ O_2 ）作为中间变量将技术投入阶段和成果转化阶段链接起来。第二阶段的最终产出变量为新产品销售收入（ O_3 ），以此衡量技术投入转化成经济利益的成果。本文选取国家统计局《中国统计年鉴》2013—2018年31省份科技创新的相关数据。其中，西藏2014年新产品销售收入数据缺失，采用灰色建模软件中的均值GM（1，1）模型进行模拟，得到西藏2014年新产品的销售收入为40310.125万元。对所选取的投入产出指标进行Pearson相关系数检验，其检验结果见表1。由表1可以看到，所选的指标之间的相关性较高，都可以通过1%的显著性相关检验。

值, 如表2所示。

2 技术创新综合效率值

运用两阶段DEA-CCR模型, 使用DEAP 2.1软件, 得出31省份科技行业技术创新综合效率

由表2可知: (1) 总体上各省技术创新效率的平均综合效率值为0.712, 说明技术创新效率不高, 有改进的空间, 空间为28.8%。(2) 北京、

表1 Pearson相关系数检验

变量	R&D人员全时当量 (I_1)	R&D经费支出 (I_2)	专利申请数 (O_1)	发明专利数 (O_2)
R&D人员全时当量 (I_1)	1.000			
R&D经费支出 (I_2)	0.965**	1.000		
专利申请数 (O_1)	0.955**	0.912**	1.000	
发明专利数 (O_2)	0.961**	0.921**	0.965**	1.000
新产品销售收入 (O_3)	0.922**	0.911**	0.958**	0.971**

注: **在0.01水平(单侧)上显著相关。

表2 2012—2017年31省份技术创新综合效率值

省份	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	平均值
北京	1.000	1.000	1.000	0.874	0.940	0.850	0.944
天津	0.820	1.000	0.855	0.715	0.702	0.690	0.797
河北	0.543	0.540	0.591	0.535	0.523	0.512	0.541
山西	0.407	0.448	0.373	0.365	0.461	0.484	0.423
内蒙古	0.315	0.291	0.265	0.247	0.273	0.428	0.303
辽宁	0.683	0.830	0.708	0.618	0.669	0.596	0.684
吉林	1.000	0.376	0.969	0.931	1.000	1.000	0.879
黑龙江	0.348	0.348	0.349	0.321	0.348	0.391	0.351
上海	1.000	1.000	1.000	0.707	0.886	0.860	0.909
江苏	0.798	0.733	0.834	0.738	0.758	0.655	0.753
浙江	0.976	0.872	1.000	0.972	0.960	0.833	0.936
安徽	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
福建	0.606	0.547	0.563	0.537	0.551	0.583	0.565
江西	0.603	0.686	0.744	0.622	0.908	0.898	0.744
山东	0.704	0.753	0.701	0.516	0.668	0.640	0.664
河南	0.471	0.464	0.707	0.691	0.593	0.549	0.579
湖北	0.620	0.669	0.699	0.620	0.688	0.656	0.659
湖南	0.900	0.936	0.975	0.918	0.882	0.717	0.888
广东	0.811	0.770	0.797	0.703	0.807	0.899	0.798
广西	0.702	0.921	0.803	0.935	1.000	1.000	0.894
海南	0.838	0.900	0.874	0.547	0.772	0.740	0.779
重庆	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.800	0.967
四川	0.785	0.752	0.763	0.820	0.720	0.731	0.762
贵州	0.843	0.739	0.848	0.689	0.581	0.701	0.734
云南	0.613	0.674	0.623	0.488	0.575	0.502	0.579
西藏	1.000	0.620	0.657	1.000	0.930	1.000	0.868
陕西	0.411	0.481	0.379	0.356	0.363	0.420	0.402
甘肃	0.680	0.643	0.718	0.520	0.412	0.602	0.596
青海	0.282	0.457	0.440	0.512	0.699	0.793	0.531
宁夏	0.696	0.853	0.635	0.694	0.682	0.623	0.697
新疆	0.759	0.919	1.000	0.721	0.765	0.956	0.853
平均值	0.717	0.717	0.738	0.675	0.713	0.713	0.712

上海、浙江、安徽、重庆的综合效率值较高，其中安徽的效率值为1，达到DEA规模有效，这5个省份的创新水平相对最优，占总体的16.13%。(3)天津、吉林、江苏等17个省份的综合效率值高于平均水平，占总体比重的53.13%。(4)河北、山西、内蒙古等14个省份的综合效率值低于平均水平，占总体比重的46.87%；山西、内蒙古、黑龙江和陕西4个省份的综合效率值低于0.5，创新水平较低。

由此可见，31个省份技术创新发展不均衡，地区差异较大，有较大的发展空间，尤其是西部

各省和东部沿海地区的发展存在较大的差距，因此在以后的发展过程中要加大对西部的投入产出力度。

3 两阶段技术创新效率值

31个省份技术研发阶段和成果转化阶段的创新效率如表3和表4所示。由表3和表4可知：第一阶段的创新效率总体平均值为0.576，北京、天津、上海等16个省份的创新效率值高于平均值，占总体比重的51.61%；第二阶段的创新效率总体值为0.307，北京、天津、河北、辽宁等15

表3 2012—2017年31省份技术研发阶段的创新效率值

省份	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	平均值
北京	1.000	1.000	1.000	0.869	0.784	0.815	0.911
天津	0.575	1.000	0.532	0.421	0.438	0.539	0.584
河北	0.374	0.370	0.313	0.278	0.318	0.343	0.333
山西	0.321	0.401	0.313	0.262	0.289	0.323	0.318
内蒙古	0.203	0.230	0.215	0.188	0.197	0.320	0.226
辽宁	0.507	0.578	0.488	0.400	0.394	0.444	0.469
吉林	0.320	0.303	0.258	0.180	0.226	0.318	0.268
黑龙江	0.343	0.348	0.349	0.321	0.348	0.378	0.348
上海	0.800	0.815	0.789	0.499	0.490	0.607	0.667
江苏	0.673	0.636	0.647	0.577	0.590	0.562	0.614
浙江	0.905	0.799	0.710	0.666	0.627	0.685	0.732
安徽	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
福建	0.485	0.500	0.495	0.533	0.551	0.583	0.525
江西	0.335	0.438	0.561	0.580	0.720	0.842	0.579
山东	0.450	0.484	0.456	0.377	0.402	0.505	0.446
河南	0.394	0.327	0.346	0.316	0.317	0.390	0.348
湖北	0.438	0.520	0.436	0.423	0.408	0.462	0.448
湖南	0.626	0.660	0.571	0.460	0.422	0.443	0.530
广东	0.787	0.770	0.788	0.565	0.686	0.881	0.746
广西	0.392	0.678	0.630	0.515	0.585	0.657	0.576
海南	0.732	0.900	0.874	0.451	0.717	0.638	0.719
重庆	0.821	0.872	0.698	0.952	0.738	0.599	0.780
四川	0.755	0.742	0.760	0.818	0.720	0.731	0.754
贵州	0.843	0.739	0.848	0.689	0.581	0.701	0.734
云南	0.571	0.674	0.595	0.486	0.575	0.502	0.567
西藏	1.000	0.620	0.433	1.000	0.819	0.673	0.758
陕西	0.402	0.481	0.377	0.354	0.359	0.405	0.396
甘肃	0.410	0.511	0.421	0.376	0.412	0.602	0.455
青海	0.282	0.457	0.440	0.512	0.699	0.793	0.531
宁夏	0.650	0.811	0.635	0.629	0.682	0.623	0.672
新疆	0.759	0.884	0.870	0.691	0.696	0.956	0.809
平均值	0.586	0.631	0.576	0.529	0.542	0.591	0.576

表4 2012—2017年31省市成果转化阶段的创新效率值

省份	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	平均值
北京	0.167	1.000	0.304	0.193	0.206	0.219	0.348
天津	0.357	0.237	0.510	0.380	0.346	0.333	0.361
河北	0.389	0.262	0.596	0.442	0.426	0.431	0.424
山西	0.278	0.156	0.328	0.276	0.344	0.420	0.300
内蒙古	0.358	0.176	0.360	0.278	0.265	0.309	0.291
辽宁	0.326	0.215	0.492	0.393	0.353	0.344	0.354
吉林	1.000	0.199	1.000	1.000	1.000	1.000	0.867
黑龙江	0.174	0.095	0.180	0.142	0.123	0.188	0.150
上海	0.311	0.185	0.449	0.372	0.377	0.381	0.346
江苏	0.267	0.163	0.372	0.253	0.255	0.277	0.265
浙江	0.366	0.272	0.618	0.472	0.497	0.430	0.443
安徽	0.191	0.111	0.212	0.140	0.149	0.174	0.163
福建	0.327	0.172	0.343	0.221	0.222	0.225	0.252
江西	0.472	0.277	0.439	0.352	0.427	0.433	0.400
山东	0.440	0.257	0.530	0.376	0.359	0.338	0.383
河南	0.307	0.314	0.642	0.476	0.442	0.409	0.432
湖北	0.321	0.209	0.513	0.355	0.347	0.353	0.350
湖南	0.315	0.228	0.542	0.438	0.452	0.420	0.399
广东	0.180	0.106	0.253	0.231	0.199	0.182	0.192
广西	0.416	0.203	0.398	0.383	0.360	0.432	0.365
海南	0.220	0.122	0.300	0.326	0.252	0.308	0.255
重庆	0.411	0.295	0.615	0.290	0.416	0.459	0.414
四川	0.202	0.120	0.219	0.154	0.160	0.158	0.169
贵州	0.140	0.067	0.144	0.113	0.134	0.118	0.119
云南	0.189	0.104	0.255	0.148	0.150	0.190	0.173
西藏	0.119	0.149	0.423	0.359	0.235	0.491	0.296
陕西	0.167	0.088	0.224	0.150	0.165	0.194	0.165
甘肃	0.456	0.266	0.582	0.355	0.167	0.146	0.329
青海	0.060	0.026	0.049	0.081	0.063	0.168	0.075
宁夏	0.207	0.141	0.235	0.214	0.117	0.177	0.182
新疆	0.305	0.176	0.378	0.271	0.273	0.182	0.264
平均值	0.304	0.206	0.403	0.311	0.299	0.319	0.307

个省份的创新效率值高于平均值，占总体比重的48.39%。从总体来看，第一阶段的创新效率值要高于第二阶段的创新效率值，说明我国在技术创新上，技术投入方面的配置效率要高于成果转化经济利益方面的配置效率。

效率值越接近于1，则创新效率越高。由表3可知：技术研发阶段的创新效率平均值为0.576，说明技术研发阶段投入与产出的配置效率水平不是很高。北京和安徽的创新效率值较高，这是因为北京是首都，经济发展水平和速度较高，人、财、物的投入相对比较合理；浙江、

安徽、北京、江苏等省份的创新效率值高于平均值，说明这些省份的技术研发效率比较高，在资源的投入与产出方面较为合理，在这些省份中大多为南方城市；河北、山西、辽宁等省份第一阶段的创新效率则低于平均值，尤其是内蒙古和吉林的效率值分别为0.266和0.268。创新效率较低的省份在今后的发展中要注意加大研发投入力度和资源的匹配度。

由表4可知，成果转化阶段的创新效率平均值为0.307，高于平均值和低于平均值的省市各占一半，但是高于平均值的省份的效率值并不是

很高，除了吉林的效率值为0.867外，其他综合效率值高于平均值的15个省份的效率值在0.5以下，这说明在第二阶段成果转化的过程中大多数省份在技术创新的初期重视技术投入而忽略了科技成果转化成为经济利益。只有在重视资源的投入和产出的同时重视经济利益的转化，才能更好地发挥科技创新的作用。

4 两阶段创新效率值对比

比较31个省份的技术投入和成果转化两个阶段的综合效率值可以发现各个省份自身存在的问题。为了保证本文的时效性，选取2017年的数据进行两阶段比较，具体的比较结果如表5所示。

由表5可以看出，有的省份第一阶段和第二阶段综合效率值和排名差异较大。北京、安徽、广东、四川、贵州、青海、新疆7个省份主要表现为第一阶段的排名和创新效率值较高，但第二阶段的排名特别不理想；河北、山西、吉林、河南、湖南、广西、重庆主要表现为第一阶段的排名不高但第二阶段成果转化排名则进入前列。由此可见，虽然第一阶段的技术投入是第二阶段成果转化的基础，但第一阶段效率和排名靠前，不一定代表后续的成果转化阶段的效率值高。因此，国家和地方政府在选择投入和成果转化时应按照各个城市的不同情况采取不同的措施。

5 技术创新效率影响因素

5.1 DEA-BCC模型的效率

由于各地区的政治、经济、文化和地理环境都不一样，各地区的科技创新效率也不尽相同，影响因素也不一样，技术创新效率与DEA-BCC模型（规模报酬可变的数据包络分析模型）中的纯技术效率和规模效率有很大的相关性。在综合效率、纯技术效率和规模效率之间的关系式是：综合效率=纯技术效率×规模效率。由此可以看出，纯技术效率和规模效率与综合效率之间成正比关系，两者中较大一方是导致综合效率值高的主要原因，反之两者中较低的一方则是导致综合

效率值低的主要因素。为了保证本文的时效性，选择2017年31个省份科技创新两阶段的相关数据作为研究对象进行创新效率评价，评价结果见表6。

由表6可以看出，第一阶段的综合效率平均值0.591，大于第二阶段的综合效率平均值0.319，说明31个省份较为重视技术投入阶段却忽视了成果转化阶段，未能很好地把在第一阶段的优势继续延续下去。而且从两个阶段的规模收益来看，第一阶段大部分省份呈现规模收益递增，与此相反，第二阶段则大部分省份所呈现的

表5 2017年31省份技术创新两阶段综合效率值比较

省份	第一阶段		第二阶段	
	效率值	排名	效率值	排名
北京	0.815	5	0.219	19
天津	0.539	19	0.333	14
河北	0.343	28	0.431	6
山西	0.323	29	0.420	8
内蒙古	0.320	30	0.309	15
辽宁	0.444	23	0.344	12
吉林	0.318	31	1.000	1
黑龙江	0.378	27	0.188	22
上海	0.607	14	0.381	10
江苏	0.562	18	0.277	17
浙江	0.685	9	0.430	7
安徽	1.000	1	0.174	25
福建	0.583	17	0.225	18
江西	0.842	4	0.433	4
山东	0.505	20	0.338	13
河南	0.390	26	0.409	9
湖北	0.462	22	0.353	11
湖南	0.443	24	0.420	8
广东	0.881	3	0.182	23
广西	0.657	11	0.432	5
海南	0.638	12	0.308	16
重庆	0.599	16	0.459	3
四川	0.731	7	0.158	27
贵州	0.701	8	0.118	29
云南	0.502	21	0.190	21
西藏	0.673	10	0.491	2
陕西	0.405	25	0.194	20
甘肃	0.602	15	0.146	28
青海	0.793	6	0.168	26
宁夏	0.623	13	0.177	24
新疆	0.956	2	0.182	23

表6 2017年31省份技术创新两阶段创新效率评价结果

省份	第一阶段				第二阶段			
	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
北京	0.815	0.817	0.998	irs	0.219	0.511	0.428	drs
天津	0.539	0.539	0.999	-	0.333	0.664	0.501	drs
河北	0.343	0.344	0.996	irs	0.431	0.826	0.522	drs
山西	0.323	0.324	0.996	irs	0.42	0.494	0.849	drs
内蒙古	0.32	0.326	0.98	irs	0.309	0.368	0.841	drs
辽宁	0.444	0.446	0.994	irs	0.344	0.685	0.502	drs
吉林	0.318	0.32	0.994	irs	1.000	1.000	1.000	-
黑龙江	0.378	0.38	0.995	irs	0.188	0.223	0.842	drs
上海	0.607	0.608	0.999	irs	0.381	0.983	0.387	drs
江苏	0.562	0.621	0.904	drs	0.277	1.000	0.277	drs
浙江	0.685	0.733	0.934	drs	0.43	1.000	0.43	drs
安徽	1.000	1.000	1.000	-	0.174	0.527	0.331	drs
福建	0.583	0.584	0.999	irs	0.225	0.478	0.471	drs
江西	0.842	0.844	0.997	irs	0.433	0.742	0.584	drs
山东	0.505	0.529	0.954	drs	0.338	1.000	0.338	drs
河南	0.39	0.391	1.000	-	0.409	0.894	0.457	drs
湖北	0.462	0.463	0.998	irs	0.353	0.851	0.415	drs
湖南	0.443	0.444	0.998	irs	0.42	1.000	0.42	drs
广东	0.881	1.000	0.881	drs	0.182	1.000	0.182	drs
广西	0.657	0.667	0.986	irs	0.432	0.629	0.687	drs
海南	0.638	0.652	0.979	irs	0.308	0.314	0.98	irs
重庆	0.599	0.601	0.997	irs	0.459	0.866	0.529	drs
四川	0.731	0.731	1.000	-	0.158	0.381	0.415	drs
贵州	0.701	0.702	0.998	irs	0.118	0.171	0.692	drs
云南	0.502	0.503	0.997	irs	0.19	0.241	0.786	drs
西藏	0.673	1.000	0.673	irs	0.491	1.000	0.491	irs
陕西	0.405	0.408	0.993	irs	0.194	0.36	0.538	drs
甘肃	0.602	0.617	0.975	irs	0.146	0.146	0.999	-
青海	0.793	0.883	0.899	irs	0.168	0.172	0.977	irs
宁夏	0.623	0.645	0.965	irs	0.177	0.177	0.998	-
新疆	0.956	0.98	0.975	irs	0.182	0.182	0.998	-
平均值	0.591	0.616	0.969	-	0.319	0.609	0.608	-

都是规模收益递减。因此，要加强对第二阶段规模效率的投入，从规模收益递减走向收益递增。

在第一阶段中，综合效率达到规模有效($\theta=1$)的省份只有安徽省，安徽不仅综合效率值为1，它的纯技术效率和规模效率也达到了规模有效。纯技术效率达到规模有效($\theta=1$)的省份有安徽、广东、西藏。分析其中的原因主要是：安徽省积极认真贯彻执行2017年发布的《安徽省落实全国科技创新大会精神近期若干重点任务

分工方案》，并且安徽省是长三角的重要组成部分，处于全国经济发展的战略要冲和国内几大经济板块的对接地带，导致安徽的效率值处于领先地位；广东省积极落实有关科技创新若干措施的通知，并且广东作为沿海城市，紧邻香港澳门，受到港澳先进技术的影响再加上国家对沿海开放城市的投资措施，致使广东的纯技术效率较高；西藏虽然位于西部地区，但纯技术效率值却达到了规模有效，这主要得益于近几年来国家大力实

施西部大开发战略，西藏地区发展水平较弱，创新投入的冗余少，没有出现大量的资源浪费现象，产出效率较高，极大地改善了西藏技术水平，致使西藏的纯技术效率值较高。达到规模有效的省份有安徽、河南、四川。这3个省份对于投入与产出之间的均衡相对比较合理，没有出现太多的冗余和资源浪费的现象。

在第二阶段中，综合效率达到规模有效的省份是吉林；纯技术效率达到规模有效的省份有吉林、江苏、浙江、山东、湖南、广东和西藏，占总体比重的22.6%；规模效率达到有效的省份是吉林。由此可以看出，吉林省不仅综合效率值为1，纯技术效率值和规模效率值都达到了规模有效。这是因为吉林大力推进“三个转化”全面加快创新发展，并且作为东北老工业基地，国家对吉林采取了“振兴东北老工业基地”的政策，投入大量的资金、时间和人力，因此具有技术投入和成果转化的基础。

从图1可以看出：第一阶段规模效率的值较高，大部分省市的规模效率值都在0.9以上，这表明在技术投入的过程中应对规模效率较低的省份如西藏加强规模投入，增加其规模效率；综合效率和纯技术效率的波动浮动较大，最高可达到1，最低只有0.3左右，说明省份之间的差距还是

比较明显的，需要均衡发展，缩小差距。同时，从图1可以看出来，导致第一级阶段综合效率值低的主要原因是纯技术值较低而不是规模效率所造成的。

从图2可以看出，在第二阶段的规模效率和纯技术效率的变动幅度较大，综合效率也在波动，但除吉林外，其他省份的综合效率都位于0.5以下，创新效率较低；综合效率值、规模效率值和纯技术效率值上升及下降的斜率类似，基本成正比关系，说明综合效率值的大小受到纯技术效率值和规模效率值的影响。全国技术效率评价的第一阶段和第二阶段之间是彼此相连的，不仅要重视第一阶段的技术投入，更要重视第二阶段的成果转化，因为只有实现其成果的转化，方能体现创新的价值。

5.2 灰色综合关联度的效率

为了进一步分析选取的指标对投入产出效率的影响程度，本文在DEA模型的基础上，引入灰色关联分析的方法，分析投入和产出指标对技术创新效率值的影响程度。本文将2012—2017年的综合效率值作为系统行为序列，专利申请数(O_1)、发明专利数(O_2)、新产品销售收入(O_3)、R&D人员全时当量(I_1)、R&D经费支出(I_2)为影响序列，选取 $\theta=0.5$ ，运用灰色建模软

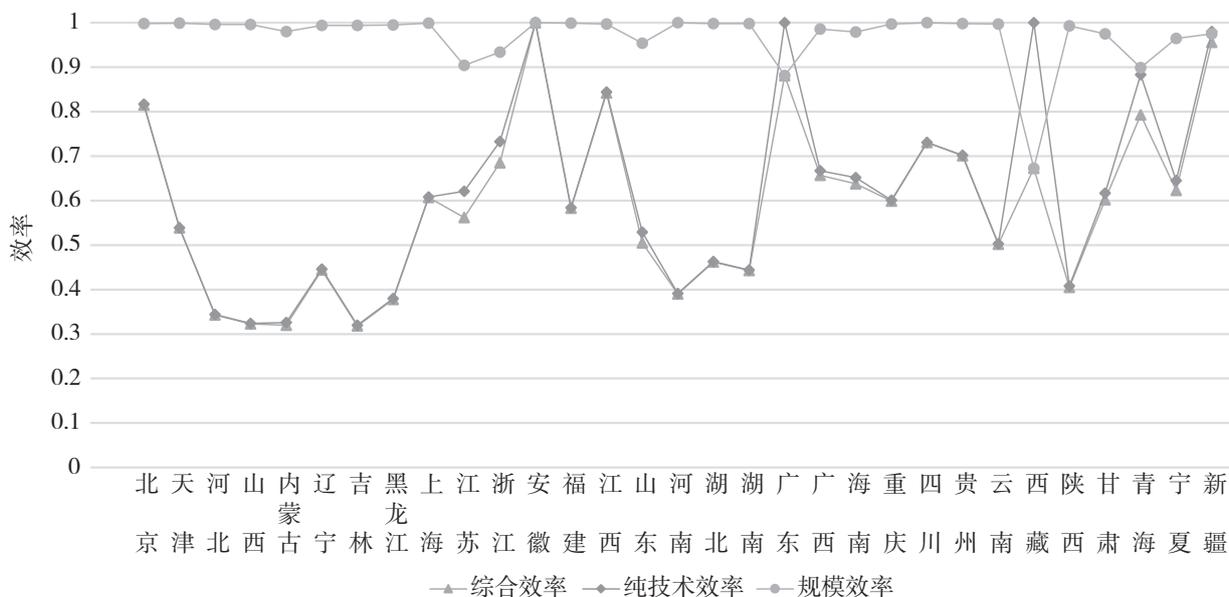


图1 2017年31省份投入阶段的效率

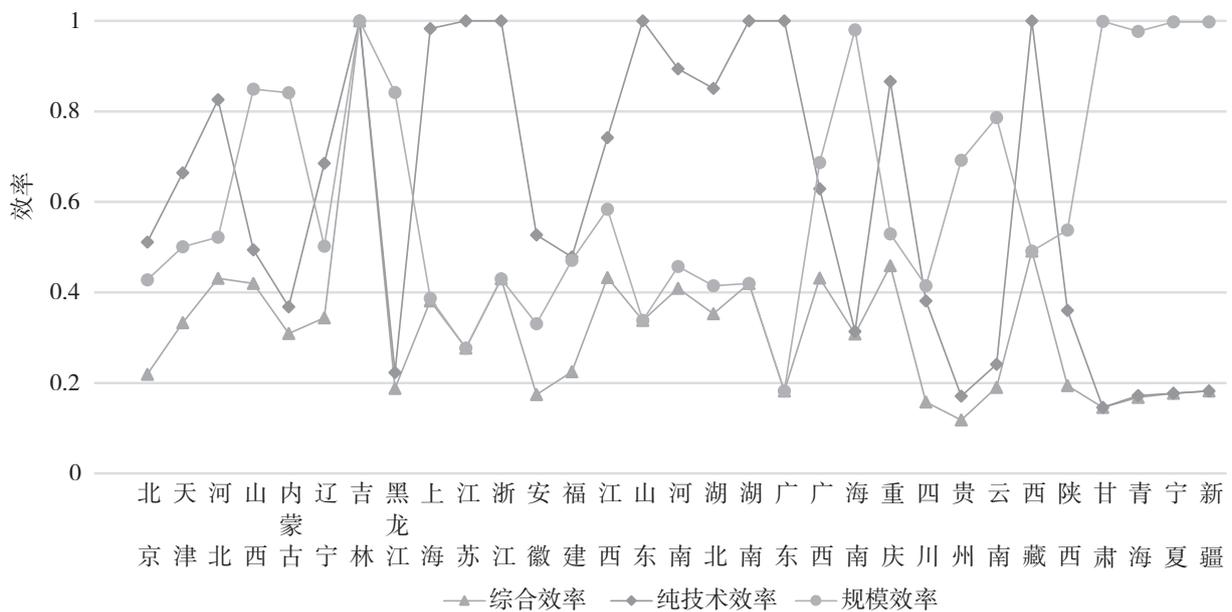


图2 2017年31省份成果转化阶段的效率

件得到如表7所示的结果。

从表7可以看出，河北、江苏、安徽等15个省份的综合效率值和R&D人员全时当量的关联度最高，受R&D人员全时当量影响较大，占总体比重48.39%。说明这15个省份要提高综合效率值，就要注重人员的投入，人员的投入相较于其他指标显得较为重要；天津、山西、辽宁和黑龙江4个省份对其效率值影响最大的是R&D经费支出，对这4个省份来说财力的投入比人力的投入更能提高技术创新效率值；浙江、湖南、西藏和青海4个省份受产出指标中的专利申请数影响较大，这4个省份的投入已经达到一定程度，再增加投入可能会出现盈余，因此在这个阶段要提高效率值就要对产出指标进行调整，使投入和产出达到一个较为均衡的状态；受发明专利数影响较大的省份只有北京，发明专利数和综合效率值的关联度高达0.75，相比于其他指标的关联度，发明专利数对北京的影响较大，可能是因为北京近几年对于科技创新等发明专利有很大的奖励政策和补贴政策，并出台了10项促进科技创新的政策，北京作为首都，国家的人力、物力、财力投入都优先给予，所以对投入指标的需求不是很大，反之对产出指标的要求比较多；内

蒙古、吉林、上海等7个省份受新产品销售收入这个产出指标影响较大，占总体比重的22.58%。

表7和表5也有相应的对照，如北京在第一阶段的排名和创新效率值较高，但在第二阶段的排名特别不理想，受到了产出指标的影响，所以要提高第二阶段的创新效率值就要对它的产出指标进行调整；河北主要表现为在第一阶段的排名不高但在第二阶段的成果转化排名则进入前列，根据综合效率值和投入产出之间的关联度计算结果，要提高河北省第一阶段的排名就要增加其对R&D人员全时当量的投入。

6 结论与建议

6.1 结论

本文运用两阶段DEA模型和灰色综合关联度的方法，基于科学技术创新的投入产出指标对31个省份的技术创新效率进行研究，测算31个省份技术创新效率，得出以下结论。

(1) 31个省份技术创新效率的平均综合效率值为0.712，高于平均综合效率值的有17个省份，占总体比重54.84%，说明我国科技行业技术创新效率普遍不高，有很大的改进空间，需要加强各方面的投入，注重资源的有效配置。

表 7 31 省市场技术创新投入产出效率关联度

省份	专利申请数 (O_1)	发明专利数 (O_2)	新产品销售 收入 (O_3)	R&D人员 全时当量 (I_1)	R&D经费 支出 (I_2)	最大值
北京	0.69	0.75	0.64	0.68	0.63	O_2
天津	0.59	0.58	0.60	0.59	0.75	I_2
河北	0.55	0.56	0.55	0.56	0.55	I_1
山西	0.64	0.64	0.66	0.72	0.73	I_2
内蒙古	0.57	0.58	0.65	0.62	0.62	O_3
辽宁	0.67	0.62	0.62	0.70	0.75	I_2
吉林	0.70	0.73	0.75	0.64	0.65	O_3
黑龙江	0.63	0.57	0.70	0.65	0.75	I_2
上海	0.63	0.69	0.72	0.71	0.65	O_3
江苏	0.59	0.57	0.59	0.61	0.59	I_1
浙江	0.64	0.58	0.55	0.59	0.57	O_1
安徽	0.54	0.52	0.54	0.57	0.54	I_1
福建	0.56	0.56	0.70	0.69	0.59	O_3
江西	0.54	0.56	0.60	0.69	0.62	I_1
山东	0.61	0.56	0.65	0.67	0.59	I_1
河南	0.72	0.65	0.58	0.74	0.67	I_1
湖北	0.59	0.57	0.57	0.66	0.58	I_1
湖南	0.62	0.59	0.55	0.60	0.55	O_1
广东	0.57	0.58	0.56	0.70	0.57	I_1
广西	0.64	0.62	0.72	0.59	0.67	O_3
海南	0.73	0.60	0.70	0.74	0.64	I_1
重庆	0.55	0.53	0.54	0.56	0.54	I_1
四川	0.56	0.54	0.57	0.61	0.55	I_1
贵州	0.62	0.62	0.72	0.66	0.61	O_3
云南	0.56	0.58	0.61	0.62	0.56	I_1
西藏	0.74	0.66	0.54	0.60	0.66	O_1
陕西	0.57	0.56	0.58	0.60	0.57	I_1
甘肃	0.61	0.63	0.71	0.71	0.63	O_3
青海	0.73	0.67	0.64	0.55	0.53	O_1
宁夏	0.55	0.55	0.57	0.57	0.56	I_1
新疆	0.62	0.56	0.59	0.72	0.64	I_1

(2) 将技术创新效率评价分成技术投入和成果转化两个阶段。第一阶段的创新效率总体平均值为 0.576，第二阶段的创新效率总体值为 0.307。第一阶段的创新效率值要高于第二阶段的创新效率值，说明我国在技术创新方面，技术投入方面的配置效率要高于把成果转化经济利益方面的配置效率。

(3) 每个省份的效率未能达到DEA有效的原因不尽相同，运用灰色综合关联度分析方法可以对每个省份的投入与产出指标做出一个简单地

排序，对影响综合效率值最大因素进行判断。

6.2 建议

(1) 加大科技创新资源的投入力度。从上面分析可知，河北、山西、内蒙古等省份低于平均综合效率值，依然有很大的进步空间，因此对低于平均综合效率值的省份应加强科技创新方面的投入，提升各个省份的创新管理水平，从而提高全国总的综合效率值，推动创新型国家的建设与发展。

(2) 注重两阶段中每个过程的投入，不要忽

视中间资源的投入。通过研究发现许多城市第一阶段效率高但第二阶段却不是很理想,还有的省份第二阶段创新效率高而第一阶段不理想,这都是因为在发展的过程中没有重视中间过程,没有看到两阶段之间的连接性,所以在今后的发展中要注重每一阶段的发展,把效率评价的两阶段衔接起来,不仅要重视研发投入,而且要重视成果的转化。

(3) 充分发挥发展速度较快省份的带动作用,注重各个省份的均衡发展。要发挥东部沿海发展速度较快的省份的带动作用,充分利用其资源优势,提高成果转化效率,把科技成果转化成经济利益。而对于一些资源贫瘠的省份,应该加强资源投入力度,推动其研发投入效率,促进全国各个省份的效率共同进步。

参考文献

- [1] 韩兵, 苏屹, 李彤, 等. 基于两阶段DEA的高新技术企业技术创新绩效研究[J]. 科研管理, 2018, 39(3): 11-19.
- [2] 宇文晶, 马丽华, 李海霞. 基于两阶段串联DEA的区域高技术产业创新效率及影响因素研究[J]. 研究与发展管理, 2015, 27(3): 137-146.
- [3] 包英群, 鲁若愚, 熊麟. 基于二阶段DEA模型中国平板显示产业创新效率研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37(9): 49-57.
- [4] 王亚英, 邓群钊. 基于投入产出视角的江西省技术创新绩效评价[J]. 科技管理研究, 2013, 33(1): 64-68.
- [5] 冯锋, 张雷勇, 高牟, 等. 两阶段链视角下科技投入产出链效率研究: 来自我国29个省市数据的实证[J]. 科学学与科学技术管理, 2011, 32(8): 33-38.
- [6] 吴士健, 张洁, 权英. 基于两阶段串联DEA模型的工业企业技术创新效率及影响因素[J]. 科技管理研究, 2018, 38(4): 181-189.
- [7] 吴旭晓. 基于超效率DEA视窗分析模型的区域农业发展效率研究: 以豫、鄂、湘、赣4省为例[J]. 开发研究, 2012(6): 58-61.
- [8] 黄晗, 朱宇兵. 广西技术创新产出能力影响因素的实证研究: 基于灰色关联分析模型[J]. 广西社会科学, 2013(6): 22-24.
- [9] 郭丹. 灰色关联分析在高新技术企业的适用性及应用[J]. 科学决策, 2010(4): 74-80.
- [10] 王霏, 纪延光, 聂锐. 基于灰色关联模型评价营销能力对中小企业技术创新的影响[J]. 中国管理科学, 2007, 15(z1): 656-660.
- [11] 江康奇, 李锦然. 房地产投资、金融发展与城市创新: 基于152个地级市面板数据的分析[J]. 金融与经济, 2019(7): 38-44.
- [12] 高秉元, 黄解宇. 公司资金管理与技术创新关系研究: 基于669家上市公司截面数据[J]. 运城学院学报, 2019, 37(3): 33-36.
- [13] BARROS C P, LIANG Q B, PEYPOCH N. The technical efficiency of US airlines[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2013(50): 139-148.
- [14] 张永安, 鲁明明. 创新驱动视角下企业创新效率及要素投入差异性研究: 基于新能源汽车上市企业的经验数据[J]. 工业技术经济, 2019, 38(11): 86-93.
- [15] 林卓, 郑丽霞, 曹玉婷, 等. 福建省创新型城市建设综合评价: 基于AHP-熵权的灰色关联分析[J]. 科技管理研究, 2019, 39(19): 115-123.
- [16] 张曼琳. 安徽省新经济发展及其创新驱动因素研究: 基于灰色关联度分析[J]. 西部金融, 2019(7): 80-85.
- [17] 张莉莉, 焦文献, 张佳田. 河南省城市科技创新能力综合评价: 基于超效率DEA和灰色关联分析法[J]. 河南科学, 2019, 37(3): 453-461.
- [11] 赵峰. 长三角地区技术转移服务模式的比较: 以上海、杭州、苏州为例的分析[J]. 经济管理, 2011, 33(2): 31-38.
- [12] 马勇, 盛垒, 陈可达. 欧盟成员国科技项目合作倾向分析: 以欧盟框架计划为例[J]. 科技进步与对策, 2013(15): 116-121.
- [13] 陈强, 鲍悦华, 李建昌. 德国国际科技合作及其对中国的启示[J]. 科技管理研究, 2013(23): 21-26.
- [14] 张娟, 刘威. 高校技术转移机构的演变过程及发展趋势[J]. 科技进步与对策, 2012(6): 147-150.
- [15] 朱平芳, 徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业R&D投入及其专利产出的影响: 上海市的实证研究[J]. 经济研究, 2003(6): 45-53, 94.