

# 基于两阶段DEA模型的我国医药制造业技术创新效率评价

徐玉萍<sup>1</sup>, 徐文<sup>2\*</sup> (1. 山东中医药大学药学院, 济南 250355; 2. 山东中医药大学管理学院, 济南 250355)

**摘要** 目的: 研究我国医药制造业的技术创新效率并分析影响技术创新效率的原因, 提出相对应的改进措施。方法: 选用两阶段数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 方法将技术创新过程分为技术研发和技术转化2个阶段, 测算我国医药制造业的技术创新效率值。结果: 我国医药制造业全国平均综合效率值以及四大经济区域的综合效率值在技术研发和技术转化阶段均未达到DEA有效状态, 综合效率的提升主要受纯技术效率的影响, 其次技术研发和技术转化阶段中全国仅有少数省份达到了DEA有效状态, 资源存在投入冗余和不足的现象。结论: 医药制造业应注重提高企业的管理水平和创新能力, 同时应根据不同地区不同省份的实际情况, 合理规划技术创新过程中资源的投入规模和投入方向, 有效提升行业技术创新效率。

**关键词:** 医药制造业; 两阶段数据包络分析; 技术研发; 技术转化; 创新效率

中图分类号: R95 文献标识码: A 文章编号: 1002-7777(2022)06-0603-08

doi:10.16153/j.1002-7777.2022.06.001

## Evaluation on Technological Innovation Efficiency of Pharmaceutical Manufacturing Industry in China Based on Two-stage DEA Model

Xu Yuping<sup>1</sup>, Xu Wen<sup>2\*</sup> (1. School of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China; 2. School of Management, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China)

**Abstract Objective:** To study the technological innovation efficiency of pharmaceutical manufacturing industry in China and analyze the reasons influencing the technological innovation efficiency, so as to put forward corresponding improvement measures. **Methods:** Two-stage data envelopment analysis (DEA) was used to divide the technological innovation process into two stages: technological research and development and technological transformation. The technological innovation efficiency of pharmaceutical manufacturing industry in China was calculated. **Results:** The national average overall efficiency value of medicine manufacturing industry in our country and comprehensive efficiency value of four economic regions in technology research and development and technical transformation stage failed to meet the DEA valid state. The improvement of comprehensive efficiency is mainly influenced by pure technical efficiency. In addition, only a few provinces reached the DEA valid

基金项目: 山东省中医药科技发展计划项目 (编号 2019-0006)

作者简介: 徐玉萍 Tel: 17854111013; E-mail: 1529822014@qq.com

通信作者: 徐文 Tel: 15665707600; E-mail: xuwen\_xw@sohu.com

state in technology research and development and technical transformation, and there were input redundant and insufficient resources. **Conclusion:** The pharmaceutical manufacturing industry should pay attention to improving the management level and innovation abilities of enterprises. Meanwhile, according to the actual situation of different regions and provinces, it is suggested to reasonably plan resource investment scale and direction in the process of technological innovation and effectively improve the efficiency of technological innovation in the industry.

**Keywords:** pharmaceutical manufacturing; two-stage DEA; technology research and development; technology transformation; innovation efficiency

## 1 引言

医药制造业属于典型的技术密集型产业,具有投入多、风险大、投资回报周期长等特点<sup>[1]</sup>。这些特点决定了医药制造业必须通过工艺、材料、设备等技术创新活动来提高自身竞争力抢占市场份额;同时,医药制造业又属于关系人类生命健康的特殊行业,面对疾病的发展变化,药品的研发和升级换代也必须加快,才能保障人类的生命健康。创新是医药行业的命脉,分析我国医药制造业的技术创新效率对促进我国医药行业健康发展具有重要意义。

## 2 文献回顾

技术创新是近几年居高不下的研究热点,章家清等<sup>[1]</sup>通过数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)对2013年我国各省医药制造业的技术创新效率进行了评价。郑庆华等<sup>[2]</sup>运用数据包络分析法、模糊综合评判法和层次分析法3种方法对2001-2012年我国医药制造业的技术创新效率进行了评价。陈恒等<sup>[3]</sup>运用DEA-Malmquist指数方法对医药企业技术创新效率进行了评价。熊阿珍等<sup>[4]</sup>运用DEA方法以深沪前15位上市公司为例,对我国制药企业技术创新效率进行了研究。孙俊玲等<sup>[5]</sup>运用DEA-Malmquist方法对国企高技术制造业技术创新效率进行了研究。张添等<sup>[6]</sup>运用主成分分析法和DEA模型对2007-2016年我国24个省(市)、自治区医疗器械产业创新系统效率进行了评价。目前,研究文献大多采用DEA模型或者DEA模型结合其他方法研究技术创新效率,运用多阶段DEA模型研究行业技术创新效率的文献较少,传统DEA模型将整个研发生产过程看作一个黑箱,缺乏对内部子过程的分析,因此得到的整体效率值可能会偏高;而多阶段DEA模型将整个研发过程分为多个子过

程,分别对其进行综合效率、纯技术效率以及规模效率的研究,更贴近生产实际,测度的结果也更为准确<sup>[7]</sup>。本文采用多阶段DEA模型中的两阶段DEA模型将技术创新过程分解为技术研发和技术转化2个阶段,测算我国医药制造业的技术创新效率值并分析影响技术创新效率的原因。

## 3 研究设计

### 3.1 数据来源与方法

数据主要来源于《中国高技术产业统计年鉴2015》《中国高技术产业统计年鉴2017》和《中国高技术产业统计年鉴2019》,其中西藏自治区由于部分数据缺失,不作为本文的研究对象。此外,考虑到医药制造业属于研发周期长的行业,本文采用FURMAN方法将研发阶段成果、补充指标和转化阶段成果均采用滞后期2年处理<sup>[8]</sup>,即投入指标选取2014年数据,第一阶段产出指标和补充指标选取2016年数据,第二阶段产出指标选取2018年数据。本文采用两阶段DEA模型,应用Deap2.1软件测度综合效率、纯技术效率以及规模效率,其中综合效率是纯技术效率和规模效率之积。效率是投入与产出的比值,一般效率值为1时,即认为效率达到了DEA有效或位于生产前沿面<sup>[9]</sup>。

### 3.2 指标选取

本文选取研究与试验发展(Research and Experimental Development, R&D)经费和R&D人员折合全时当量作为第一阶段的投入指标,专利申请数量、新产品开发项目数和有效发明专利数作为第一阶段的产出指标,同时和补充指标新产品开发经费、技术引进改造经费作为第二阶段的投入指标,新产品销售收入作为第二阶段的产出指标<sup>[10]</sup>,见表1。

表1 指标选取

一级指标	二级指标
一阶段投入指标	R&D 经费 / 万元
	R&D 人员折合全时当量 / 人年
一阶段产出指标	专利申请数量 / 项
	有效发明专利数 / 件
	新产品开发项目数 / 项
补充指标	新产品开发经费 / 万元
	技术引进改造经费 / 万元
二阶段产出指标	新产品销售收入 / 万元

## 4 实证结果

### 4.1 技术研发效率分析

技术研发阶段全国平均综合效率值0.658, 纯技术效率值0.769, 规模效率值0.865, 综合效率未位于生产前沿面上是由于纯技术效率和规模效率均未达到期望的水平, 纯技术效率还有接近23.1%的提升空间, 规模效率还有接近13.5%的上升空间, 见表2。

从区域角度来看, 技术研发阶段四大区域均未达到DEA有效状态。东部地区综合效率值0.565, 纯技术效率值0.828, 规模效率值0.710, 投入的资源在现有规模条件下未得到充分利用, 规模效率还有接近29%的提升空间, 纯技术效率还有接近17.2%的上升空间, 东部地区应侧重调整产业规模, 同时也要注意管理水平和创新研发能力的提升; 中部地区综合效率值0.654, 纯技术效率值0.707, 规模效率值0.900, 投入的资源在现有规模条件下得到较为充分的利用, 规模效率还有接近10%的提升空间, 纯技术效率还有接近29.3%的上升空间, 提高管理水平和创新能力是提高综合效率的关键; 东北地区综合效率值0.463, 纯技术效率值0.503, 规模效率值0.921, 规模效率还有接近7.9%的提升空间, 规模效率提升空间有限, 纯技术效率还有接近49.7%的提升空间, 侧重提高管理

水平和创新能力才是提高综合效率的关键; 西部地区的综合效率值0.799, 纯技术效率值0.821, 规模效率值为0.972, 在现有的规模条件下投入的资源得到了较为充分的利用, 综合效率值的提升主要受纯技术效率的影响, 侧重提高管理水平和创新能力才是关键<sup>[11-12]</sup>。

从省份角度来看, 全国仅有安徽、江西、四川、贵州、青海、新疆6个省份综合效率值为1, 达到了DEA有效状态, 其余省份均未达到DEA有效并呈规模报酬递减状态, 说明技术研发阶段各省份均存在资源冗余的现象。东部地区没有省份达到DEA有效状态, 北京、河北、上海主要受规模效率和纯技术效率的影响, 福建、海南主要受纯技术效率影响, 天津、江苏、浙江、山东、广东主要受规模效率的影响。中部地区仅有安徽、江西达到了DEA有效状态, 其余省份未达到DEA有效状态, 山西、湖南主要受纯技术效率影响, 河南、湖北受纯技术效率和规模效率影响都较大。西部地区四川、贵州、青海、新疆达到了DEA有效状态, 其余省份未达到DEA有效状态, 内蒙古、广西、重庆、云南、陕西、甘肃主要受纯技术效率影响, 宁夏主要受规模效率影响。东北地区辽宁、吉林、黑龙江主要受纯技术效率影响。

表2 我国主要省份医药制造业技术研发效率值

地区/省份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
东部地区				
北京	0.566	0.819	0.691	drs
天津	0.73	1	0.73	drs
河北	0.346	0.413	0.838	drs
上海	0.54	0.696	0.776	drs
江苏	0.485	1	0.485	drs
浙江	0.633	1	0.633	drs
福建	0.592	0.636	0.932	drs
山东	0.514	1	0.514	drs
广东	0.576	1	0.576	drs
海南	0.665	0.719	0.924	drs
平均值	0.565	0.828	0.710	
中部地区				
山西	0.546	0.601	0.909	drs
安徽	1	1	1	-
江西	1	1	1	-
河南	0.352	0.463	0.76	drs
湖北	0.41	0.557	0.736	drs
湖南	0.616	0.619	0.995	drs
平均值	0.654	0.707	0.900	
西部地区				
内蒙古	0.613	0.645	0.951	drs
广西	0.558	0.564	0.989	drs
重庆	0.759	0.822	0.923	drs
四川	1	1	1	-
贵州	1	1	1	-
云南	0.846	0.877	0.965	drs
陕西	0.587	0.636	0.922	drs

续表 2

地区 / 省份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
甘肃	0.518	0.524	0.989	drs
青海	1	1	1	-
宁夏	0.908	0.958	0.948	drs
新疆	1	1	1	-
平均值	0.799	0.821	0.972	
东北地区				
辽宁	0.388	0.42	0.924	drs
吉林	0.489	0.534	0.916	drs
黑龙江	0.511	0.555	0.922	drs
平均值	0.463	0.503	0.921	
全国平均值	0.658	0.769	0.865	

注：drs 表示递减。

#### 4.2 技术转化效率分析

技术转化阶段全国平均综合效率值0.734，纯技术效率值为0.815，规模效率值0.911，优于技术研发阶段的技术创新效率，未位于生产前沿面上的原因是由于纯技术效率和规模效率均未达到期望的水平，纯技术效率还有接近18.5%的上升空间，规模效率还有接近8.9%的上升空间，见表3。

从区域角度来看，技术转化阶段四大区域均未达到DEA有效状态。东部地区综合效率值0.762，纯技术效率值0.854，规模效率值0.905，说明现有资源在当前规模条件下得到了较为充分的利用，未位于生产前沿面的原因主要受纯技术效率的影响，纯技术效率还有接近14.6%的提升空间；中部地区综合效率值0.925，纯技术效率值0.926，规模效率值0.999，意味着在现有管理水平和规模条件下，所有资源都得到了较为充分的利用，已接近DEA有效状态；西部地区综合效率值0.643，纯技术效率值0.769，规模效率值0.864，纯技术效率还有接近23.1%的上升空间，规模效率还有接近13.6%的提升空间，西部地区应侧重调整产业规模，同时也要提高管理水平；东北地区综合效率值0.597，纯技术效率值0.636，规模效率值0.932，在

现有规模条件下，投入的资源得到了较为充分的利用，规模效率提升空间有限，纯技术效率还有36.4%的提升空间，侧重提高管理水平和创新能力才是提高综合效率的关键。

从省份角度来看，全国仅有河北、上海、江苏、山西、安徽、湖北、湖南、重庆、新疆9个省份综合效率值为1，达到了DEA有效状态，其余省份未达到DEA有效并分别呈规模报酬递减或规模报酬递增状态。北京、天津、浙江、山东、广东、江西、贵州、云南、辽宁9个省份呈规模报酬递减状态，存在资源冗余现象，这些省份大都分布在东部地区；福建、海南、河南、内蒙古、四川、陕西、甘肃、青海、宁夏、吉林、黑龙江11个省份呈规模报酬递增状态，存在资源不足的现象，这些省份大部分位于西部地区。东部地区仅有河北、上海、江苏达到了DEA有效状态，其余省份未达到DEA有效状态，北京、浙江、山东、广东主要受规模效率影响，天津、福建、海南主要受纯技术效率影响。中部地区山西、安徽、湖北、湖南达到了DEA有效状态，其余2个省份江西、河南未达到DEA有效状态主要受纯技术效率影响。西部地区重庆、新疆达到了DEA有效状态，其余省份未达到DEA有效状态，

内蒙古、青海主要受规模效率的影响,广西、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏主要受纯技术效率影响。东北地区辽宁、吉林、黑龙江主要受纯技术效率影响。

表3 我国主要省份医药制造业技术转化效率值

地区/省份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
东部地区				
北京	0.819	1	0.819	drs
天津	0.82	0.845	0.971	drs
河北	1	1	1	-
上海	1	1	1	-
江苏	1	1	1	-
浙江	0.822	1	0.822	drs
福建	0.428	0.439	0.974	irs
山东	0.739	0.985	0.75	drs
广东	0.718	1	0.718	drs
海南	0.272	0.274	0.992	irs
平均值	0.762	0.854	0.905	
中部地区				
山西	1	1	1	-
安徽	1	1	1	-
江西	0.651	0.652	0.999	drs
河南	0.898	0.901	0.997	irs
湖北	1	1	1	-
湖南	1	1	1	-
平均值	0.925	0.926	0.999	
西部地区				
内蒙古	0.776	1	0.776	irs
广西	0.635	0.635	1	-
重庆	1	1	1	-
四川	0.69	0.69	0.999	irs

续表 3

地区 / 省份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
贵州	0.81	0.813	0.997	drs
云南	0.364	0.398	0.914	drs
陕西	0.514	0.523	0.982	irs
甘肃	0.622	0.634	0.981	irs
青海	0.041	1	0.041	irs
宁夏	0.618	0.762	0.81	irs
新疆	1	1	1	-
平均值	0.643	0.769	0.864	
东北地区				
辽宁	0.72	0.788	0.914	drs
吉林	0.707	0.715	0.989	irs
黑龙江	0.363	0.406	0.893	irs
平均值	0.597	0.636	0.932	
全国平均值	0.734	0.815	0.911	

注：drs 表示递减；irs 表示递增。

## 5 结论与建议

本文将技术创新过程分为技术研发和技术转化2个阶段，运用两阶段DEA模型进行两阶段技术创新效率值的测算。研究表明，我国医药制造业全国平均综合效率在技术研发和技术转化阶段中均未达到DEA有效状态，技术创新效率的提升空间仍很大。具体从区域和省份角度来看，第一，我国医药制造业在东部、中部、西部及东北地区技术研发和技术转化阶段均未达到DEA有效状态，技术效率的提升主要受纯技术效率的影响，东北地区两阶段效率值的提升受纯技术效率的影响最大；第二，中部、东部和东北地区技术转化阶段效率值高于技术研发阶段，西部地区在技术转化阶段效率值低于技术研发阶段，说明中部、东部和东北地区整体效率主要受技术研发阶段的效率影响较大，西部地区主要受技术转化阶段的效率影响较大；第三，技术研发阶段全国仅有6个省份达到了DEA有效状态，技术转化阶段有9个省份达到了DEA有效状态，仅

有安徽和新疆在2个阶段都达到了DEA有效。技术研发阶段未达到DEA有效状态的省份大都存在资源冗余的现象，技术转化阶段东部地区的省份冗余现象较为严重，西部地区省份资源不足的现象较为严重，其他地区未达到DEA有效状态的省份也存在一定的冗余或不足。

针对以上结论，提出如下建议：第一，医药制造业可以通过加强人才引进，完善人才落户机制和福利政策，留住高水平管理人才，通过加强对外技术交流，如产学研合作、技术引进等方式提升企业的管理水平和创新能力，从而改善因纯技术效率不高导致整体效率不高的局面<sup>[13]</sup>；第二，中部、东部和东北地区应着重提高技术研发阶段的效率，即研发投入转化为科技成果的能力，西部地区应着重提高技术转化阶段的效率，即科技成果转化为经济效益的能力；第三，四大区域应抓住国家利好政策带来的发展机遇，通过建立“标杆省份”带动区域内其他省份的发展，对于发展速度较慢的西部和东

北地区,国家应给予较多的资源和政策倾斜<sup>[14-15]</sup>。同时,各区域应注重完善资源配置功能,应根据不同省份的实际发展情况,合理规划资源的投入规模和方向,避免存在资源冗余或不足的现象影响行业技术创新效率的提升。

#### 参考文献:

- [1] 章家清, 张学芬. 中国医药制造业技术创新能力实证研究[J]. 工业技术经济, 2015, 34(5): 41-48.
- [2] 郑庆华, 骆静. 医药企业技术创新效率评价[J]. 统计与决策, 2016(14): 178-181.
- [3] 陈恒, 何平, 徐睿妹, 等. 基于DEA-Malmquist指数的医药企业技术创新效率评价[J]. 科技管理研究, 2017, 37(9): 69-73.
- [4] 熊阿珍, 孟光兴. 基于DEA方法的制药企业技术创新效率研究——以深沪前15位上市公司为例[J]. 中国新药杂志, 2019, 28(14): 1675-1680.
- [5] 孙俊玲, 马立群. 基于DEA-Malmquist指数的国企高技术制造业技术创新效率及地域性差异研究[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2019, 21: 114-118.
- [6] 张添, 余伯阳. 我国战略性新兴产业创新系统效率评价研究——以医疗器械产业为例[J]. 江苏社会科学, 2019(3): 76-85.
- [7] 杨佳伟, 王美强, 李丹. 基于共享投入两阶段DEA模型的中国省际高技术产业研发创新效率评价[J]. 科技管理研究, 2017, 37(3): 84-90.
- [8] 邹鲜红. 我国医药制造业技术创新效率及其影响因素研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [9] 李小欢. 我国医药制造业技术创新绩效研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [10] 王素, 苏昱霖, 陈玉文. 我国东中西部地区医药制造业技术创新效率比较[J]. 医药导报, 2016, 35(11): 1276-1280.
- [11] 刘永松, 王婉楠, 王墨林. 基于两阶段网络DEA模型的国家创新效率研究——基于南亚、东南亚国家[J]. 云南财经大学学报, 2019, 35(6): 84-94.
- [12] 赖木蓝, 徐娜, 徐文, 等. 基于数据包络分析模型的我国2007-2016年医药制造业技术创新效率研究[J]. 医药导报, 2020, 39(11): 1576-1587.
- [13] 夏昉, 崔严尹, 李银清. 中国中药上市企业运行效率研究[J]. 中国药事, 2020, 34(4): 471-477.
- [14] 陈莹文, 王美强, 陈银银, 等. 基于改进两阶段DEA的中国高技术产业研发创新效率研究[J]. 软科学, 2018, 32(9): 14-18.
- [15] 吴栋栋. 基于改进两阶段DEA模型的区域绿色技术创新绩效评价研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.

(收稿日期 2021年1月2日 编辑 肖妍)