

基于 SFA 模型的辽宁省装备制造业技术创新效率及影响因素研究

赵 强, 赵丽霞

(沈阳理工大学 经济管理学院, 沈阳 110159)

摘要:装备制造业很大程度上影响着国民经济发展,掌握其技术创新效率有助于行业和创新地区的发展。基于辽宁省装备制造业最新数据,运用随机前沿法构建技术创新效率测算和影响因素模型并通过假设检验。研究表明:辽宁省装备制造业总体技术创新效率情况稳中趋好,其中 7 个行业效率差距较小,且变化幅度相对稳定;同时研发人员专业化程度、企业所有权结构、对外开放度对辽宁省装备制造业技术创新效率起主要促进作用。

关键词:SFA 模型;装备制造业;技术创新效率

中图分类号:F427 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)08-0045-05

装备制造业是工业的核心组成部分,支撑着国民经济发展,同时在科学技术转化为生产力方面扮演着重要角色。世界各国都高度重视装备制造业的发展,中国也不断出台装备制造业相关的政策,助力其发展。辽宁是新中国早期建立的重要老工业基地之一,工业基础雄厚,装备制造业也逐渐发展为当地的支柱性产业,其发展趋势直接影响当地经济,在经济高质量发展背景下,技术创新成为装备制造业的关注方向。

目前对于技术创新效率的研究主要侧重于研究内容和研究方法,研究内容集中于效率测度及影响因素研究,主流测度方法有数据包络分析(DEA)和随机前沿方法(SFA);研究对象多以某一产业、某一类企业或某一区域为主。屈国俊等利用三阶段 DEA 模型考察中国上市公司的技术创新效率^[1]。易明等基于 SFA 模型测算中国 2000—2015 年高新技术产业创新效率^[2]。胡立和等测算了长江经济带 11 个省市的技术创新效率,另外还采用实证方法对影响技术创新效率的 7 个环境变量进行分析^[3]。

装备制造业的概念来源于中国,所以国内对于装备制造业的研究成果有很多,大致研究方向有装备制造业转型升级、技术创新效率及影响因素等。潘秋晨构建中国装备制造业转型升级的指标体系,验证全球价值链嵌入对中国装备制造业转型升级

的影响^[4]。晁坤先利用产出距离函数的随机前沿分析法对装备制造业的技术创新效率分析,再分解为纯技术创新效率和规模效率继续研究^[5]。杨志波将区域创新能力、产业市场结构、所有权结构和对外开放度等列为影响中国装备制造业技术效率的因素^[6]。

查阅现有研究后发现,一方面创新投入对产出的时滞性影响在部分文献的实证过程中被忽视,另一方面对辽宁省装备制造业技术创新效率的影响因素少有研究。因此,采用随机前沿法,并对模型设定的合理性进行假设论证,还将投入对产出的时滞性考虑到模型中,以此实证分析辽宁省装备制造业技术创新效率及影响因素,希望能对辽宁省装备制造业今后发展有所帮助。

1 研究设计

SFA(stochastic frontier approach)即随机前沿方法,通过随机前沿生产函数进行效率估计。经过不同学者的研究,SFA 模型逐渐应用于各类决策单位效率的实证测量中,还能进一步对创新效率影响因素进行分析,一般形式表示为

$$Y_{it} = f(X_{it}, \beta) \exp(V_{it} - U_{it}), i = 1, 2, \dots, n; \\ t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

投入相同时,实际产出与完全有效产出的比值

收稿日期:2022-03-10

基金项目:2021 年度辽宁省社会科学规划基金(L21BGL048)。

作者简介:赵强(1971—),男(满族),辽宁沈阳人,沈阳理工大学经济管理学院,教授,管理科学与工程博士,研究方向为技术创新、产业集群;赵丽霞(1997—),女,山西阳泉人,沈阳理工大学经济管理学院,硕士研究生,研究方向为技术创新管理。

即为效率,计算公式为

$$TE_{it} = \frac{E(Y_{it} | U_{it}, X_{it}, t = 1, 2, \dots, T)}{E(Y_{it} | U_{it} = 0, X_{it}, t = 1, 2, \dots, T)} = \exp(-U_{it}) \quad (2)$$

1.1 模型设定

运用SFA方法分析技术创新效率及影响因素时,由生产函数和技术无效率函数两部分构成所需要的模型。

1.1.1 生产函数形式

目前柯布-道格拉斯(C-D)生产函数以及超越对数生产函数广泛应用于随机前沿分析研究,本文的随机前沿面生产函数形式选择超越对数生产函数,具体为

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \frac{1}{2} \beta_3 (\ln K_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_4 (\ln L_{it})^2 + \beta_5 \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_6 t + \frac{1}{2} \beta_7 t^2 + \beta_8 t (\ln K_{it}) + \beta_9 t (\ln L_{it}) + V_{it} - U_{it} \quad (3)$$

式中: i, t 分别表示具体行业和时间; Y_{it} 表示 i 行业在 t 年份的技术创新产出; K_{it}, L_{it} 分别表示 i 行业在 t 年份的技术创新资本投入和劳动投入,时间 t 还可以作为技术效率时间变化的标志; $\beta_0 \sim \beta_9$ 表示需要被估计的参数; $V_{it} - U_{it}$ 为函数中的随机扰动项; V_{it} 为随机误差项,服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$,与 V_{it} 相互独立; U_{it} 为技术无效率干扰项,服从截断正态分布。

1.1.2 技术无效率函数形式

1.1.1节中的 U_{it} 是反映技术效率损失的技术无效率干扰项,本节可以用来表示装备制造业受到的影响,所以需要进一步构造技术无效率项 U_{it} 的相关函数,以检验相关因素在其中所起的作用。借鉴以往研究^[7-9],将研发人员专业化程度(PDS)、政府支持力度(GI)、市场结构(MS)、企业所有权结构(OS)、对外开放度(open)列为影响因素进行分析。综上所述,技术无效率函数形式为

$$U_{it} = \delta_0 + \delta_1 PDS_{it} + \delta_2 GI_{it} + \delta_3 MS_{it} + \delta_4 OS_{it} + \delta_5 open_{it} \quad (4)$$

式中: δ 为技术创新效率影响因素的待估系数; U_{it} 为技术无效率干扰项,当 $\delta_i < 0$ 时,说明该影响因素对技术创新效率有正向作用,当 $\delta_i > 0$ 时,说明该因素对效率有反向作用。

1.2 变量说明与数据来源

在构建装备制造业技术创新效率体系时,考虑到技术创新涉及不断投入转化为产出,所以计划以投入和产出手建立测度指标。

1.2.1 变量说明

1)投入变量。生产函数中的投入变量涉及资本和劳动两个要素,现有研究常用R&D经费代表技术创新资本投入,R&D人员数代表技术创新劳动投入,故本文的资本、劳动投入指标分别为R&D经费内部支出、R&D人员全时当量,并对R&D资本存量进行转化,即 $K_{it} = (1 - \delta)K_{it-1} + I_{it-1}$,其中: K_{it} 表示第 i 个行业 t 时期的资本存量; δ 表示R&D资本折旧率,一般设定为15%; I_{it-1} 是第 i 个行业在第 $t-1$ 年的实际R&D经费内部支出,基期2012年的资本存量为 $K_{i1} = I_{i1} / (g_i + \delta)$, g_i 根据8个细分行业在样本期内的R&D经费内部支出年平均增长率来计算。

2)产出变量。目前学者在研究中常用于表示技术创新产出的指标有工业增加值、新产品销售收入和专利申请数等,本文中用专利申请数指标衡量。

3)影响因素变量。研发人员专业化程度(PDS),即各行业研发人员全时当量与行业从业人员的比值;政府支持力度(GI),各行业固定资产投资中的政府投入资金除以固定资产投资总额计算;市场结构(MS)用行业平均企业规模衡量,即各行业规模以上企业年平均从业人数与规模以上企业个数之比计算;企业所有权结构(OS),计算方法为国有企业资产总额与行业全部规模以上企业资产总额之比^[10];对外开放度(open),用外商投资占比表示,即装备制造业各行业固定资产投资中的利用外资资金除以固定资产投资总资金。

1.2.2 数据来源

按照国民经济行业分类,装备制造业包含金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、仪器仪表制造业和金属制品、机械和设备修理业8个细分行业。因此本文将这8个细分行业列为辽宁省装备制造业的研究对象,研究样本数据则来源于辽宁省规模以上装备制造业企业。

查阅历年相关官方数据后发现,2012年之前汽车制造业和铁路、船舶、航空航天和其他设备制造业同属于交通运输业,所以本文对于交通运输设备制造业的数据处理方式是将其拆分为汽车行业的数据合并归类计算。本文涉及的所有相关变量数据出自历年《辽宁省科技统计年鉴》及《辽宁省统计年鉴》。

1.3 假设检验与模型方程确定

1.3.1 假设检验

技术创新效率测算的准确性容易受随机前沿模型形式设定的影响,故为了确定本文模型设定的合理性,构造广义似然比检验统计量 $LR = -2[L(H_0) - L(H_1)]$ 进行检验,其中, $L(H_0)$ 为原假设对数似然函数值, $L(H_1)$ 为备择假设对数似然函数值。

1)生产函数设定检验,验证超越对数函数与 C-D生产函数相比,能更好地测算辽宁省装备制造业技术创新效率,于是提出假设 1。

$H_0:\beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0。$

若假设 1 检验结果为接受则选用 C-D 生产函数形式;反之拒绝原假设,则选择超越对数生产函

数形式。

2)模型适用性检验。若 $U_{it} = 0$ 则表明存在技术无效率项,故提出假设 2。

$H_0:\delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = 0。$

如果假设 2 成立,那么因为 U_{it} 不存在导致随机前沿模型不合理;反之不成立,则随机前沿模型适用。

3)时变性检验。提出假设 3。

$H_0:\beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0。$

如果假设 3 检验结果被接受,那么时变模型不合适;反之说明时间变动容易影响效率,则时变模型适用。

通过 Frontier 4.1 软件检验以上 3 个假设,结果见表 1。

表 1 随机前沿模型假设检验结果

假设	内容	$L(H_0)$	$L(H_1)$	LR	临界值	检验结果
假设 1	$H_0:\beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0$	-14.81	4.15	37.92	18.48	拒绝
假设 2	$H_0:\delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = 0$	-14.77	4.15	37.84	16.81	拒绝
假设 3	$H_0:\beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0$	-12.10	4.15	16.25	13.28	拒绝

注:临界值是在 1%显著性水平下的值。

表 1 中的结果显示,假设 1、假设 2 和假设 3 均被拒绝,那么拟采用的生产函数形式合理,技术无效率项存在,时变模型也合理,也就是设定的模型反映技术创新效率的准确性较高。

1.3.2 模型方程确定

考虑到将所需资源投入到创新系统后,需要一定时间周期进行转化,才能以产出的形式表现,所以实证研究在建立模型时需要注意时滞性问题。参考现有关于时滞期设定的研究后,本文选择滞后 1 年的方法设计模型。因此,随机前沿模型最终形式为

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it-1} + \beta_2 \ln L_{it-1} + \frac{1}{2} \beta_3 (\ln K_{it-1})^2 + \frac{1}{2} \beta_4 (\ln L_{it-1})^2 + \beta_5 \ln K_{it-1} \ln L_{it-1} + \beta_6 t + \frac{1}{2} \beta_7 t^2 + \beta_8 t (\ln K_{it-1}) + \beta_9 t (\ln L_{it-1}) + V_{it} - U_{it} \quad (5)$$
$$U_{it} = \delta_0 + \delta_1 PDS_{it} + \delta_2 GI_{it} + \delta_3 MS_{it} + \delta_4 OS_{it} + \delta_5 open_{it}, i = 1, 2, \dots, 8; t = 1, 2, \dots, 6 \quad (6)$$

2 实证结果

2.1 技术创新效率分析

借助 Frontier 4.1 软件进行测算,得到辽宁省装备制造业 8 个细分行业 2013—2018 年技术创新效率,结果见表 2。

表 2 2013—2018 年辽宁省装备制造业细分行业技术创新效率及排名

行业	2013	2014	2015	2016	2017	2018	均值	排名
金属制品业	0.59	0.86	0.68	0.66	0.76	0.84	0.73	7
通用设备制造业	0.83	0.70	0.51	0.69	0.85	0.98	0.76	6
专用设备制造业	0.98	0.92	0.95	0.78	0.76	0.84	0.87	1
交通运输设备制造业	0.67	0.97	0.91	0.73	0.70	0.98	0.83	3
电气机械及器材制造业	0.56	0.91	0.66	0.66	0.93	0.91	0.77	5
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	0.93	0.96	0.60	0.99	0.66	0.90	0.84	2
仪器仪表制造业	0.92	0.97	0.80	0.68	0.97	0.55	0.82	4
金属制品、机械和设备修理业	0.62	0.14	0.17	0.98	0.15	0.15	0.37	8
均值	0.76	0.80	0.66	0.77	0.72	0.77	0.75	

针对表 2 结果,可从装备制造业整体和行业两方面进行分析。从整体上看,2013—2018 年辽宁省

装备制造业技术创新效率总体均值为 0.75,计算期内只有 2015 年数据较其他年份偏低,说明辽宁省装

备制造业总体技术创新效率情况稳中趋好。

分行业来看,专用设备制造业技术创新效率最高,为 0.82,通信设备、计算机及其他电子设备制造业次之,金属制品、机械和设备修理业技术创新效率最低,仅为 0.37,还有很大的提升空间。除此之外,8 个细分行业中 6 个行业的技术创新效率高于整体均值,只有金属制品业和金属制品、机械和设备修理业效率在总体均值水平之下,但是金属制品业与总体均值相差不大。除金属制品、机械和设备修理业外,其余 7 个行业间的技术创新

效率差距较小。另外从各行业技术创新效率变化来看,金属制品、机械和设备修理业与其他行业相比变化幅度较大,其余行业变化幅度相对稳定,2016 年金属制品、机械和设备修理业效率最高,其原因可能在于 R&D 经费和 R&D 人员数投入与 2015 年差不多的情况下,专利申请数却比 2015 年多了 10 倍多。

2.2 影响因素分析

表 3 的模型估计结果显示 γ 值为 0.999,且通过 1%显著性水平检验,再次说明模型有效。

表 3 随机前沿模型估计结果

变量	系数估计值	t 检验	变量	系数估计值	t 检验
截距 β_0	6.755***	3.057	截距 δ_0	-6.276***	-10.720
$\ln K_{it-1}(\beta_1)$	-3.212 8***	-6.313	$PDS(\delta_1)$	-3.307***	-3.159
$\ln L_{it-1}(\beta_2)$	4.753***	5.592	$GI(\delta_2)$	1.606	1.604
$(\ln K_{it-1})^2(\beta_3/2)$	0.559***	5.216	$MS(\delta_3)$	0.019***	9.779
$(\ln L_{it-1})^2(\beta_4/2)$	0.607***	3.044	$OS(\delta_4)$	-6.611***	-6.432
$\ln K_{it-1} \ln L_{it-1}(\beta_5)$	-0.598***	-3.826	$open(\delta_5)$	-1.881**	-2.403
$t(\beta_6)$	-0.350**	-2.406	δ^2	0.904***	10.259
$t^2(\beta_7/2)$	0.089***	4.485	γ	0.999***	785.942
$t(\ln K_{it-1})(\beta_8)$	0.189***	4.860	对数似然函数值	4.154	
$t(\ln L_{it-1})(\beta_9)$	-0.315***	-4.091	LR	63.711	

注:***、**、* 分别代表在显著性水平为 1%、5%和 10%下通过检验。

通过 SFA 模型中技术无效率项 U_{it} 参数估计,进一步研究选择的因素如何影响辽宁省装备制造业技术创新效率。表 3 的结果表明:有 4 个影响因素通过了不同水平的显著性检验,分别是研发人员专业化程度、市场结构、企业所有权结构、对外开放度;有一个影响因素——政府支持力度,未通过显著性检验,也就意味着对于辽宁省装备制造业,技术创新效率受到当地政府支持力度的影响不大,而其他变量对其有显著影响,其中企业所有权结构影响最大,其次是研发人员专业化程度,然后是外资引进,最后是市场结构。

研发人员专业化程度的系数估计值为 -3.307,说明研发人员专业化程度这个因素正向影响辽宁省装备制造业技术创新效率,即在其他因素不变的情况下,研发人员专业化程度每提高 1%,装备制造业技术创新效率将提高 3.307。从事研发活动的人数增加,说明各行业人员素质在不断提高,技术创新效率的提高与其有着密切关联。市场结构的系数为正,表明行业平均企业规模与技术创新效率呈现负向关系,说明辽宁省装备制造业超过一定市场规模,规模效应逐渐消失,使得技术创新效率随之下降,需要淘汰行业内的落后企业。企业

所有权结构系数为 -6.611,意味着国有企业产权较大影响辽宁省装备制造业技术创新效率,在其他因素一定的情况下,装备制造业技术创新效率将随国有企业产权比重的增加而不断提高。一般认为国有企业产权比重较低会有利于技术创新效率提高,但是本文实证结果与常规认知相反,这是由于装备制造业通常具有投资金额大,依赖技术等要素的行业特性,从而对人财物的需求也较大,而国企拥有雄厚的资金实力,吸纳的就业人员素质较高,再加上国家对国企的政策扶持,这些都有利于国企在装备制造业不断进行多方面的创新,从而使得技术创新效率提高。对外开放度的参数估计值为负,说明其他因素不变,随着外商投资占比提高 1%,技术创新效率将提高 1.881。外商投资进入装备制造业,一方面可以增加资金筹资渠道,减轻资金压力,另一方面会带来先进的技术、管理经验、国际平台,一定程度上提高装备制造业技术创新水平,直接或间接带动产业创新效率。

3 结论与建议

以辽宁省装备制造业最新的面板数据为样本,采用 SFA 模型研究辽宁省装备制造业技术创新效率,并进一步分析了其影响因素,得出如下结

论:①从整体上看,除 2014 年技术创新效率与其他年份相比偏低,装备制造业总体技术创新效率情况良好;分行业看,6 个细分行业的技术创新效率高于整体值,除金属制品、机械和设备修理业外,其余 7 个行业间的效率差距不大,且变化幅度相对稳定。②影响因素方面,研发人员专业化程度、企业所有权结构、对外开放度与技术创新效率呈正相关关系,市场结构与技术创新效率则是负相关关系,而政府支持力度则没有通过显著性水平检验。

基于以上结论,对辽宁省装备制造业提出以下参考建议:

1)加大人才引进和培养力度。一方面建立产学研合作新机制,多方面提高装备制造业科研人员待遇,吸引人才进入装备制造业,同时对人才进行科学、合理安排;另一方面,企业可以考虑为在职员工搭建继续教育平台,为员工学习营造良好的氛围,从而保持员工创新能力。

2)不断提高国有企业的经营管理水平,避免出现盲目投资现象,重视国有企业改革,增强国有企业竞争力,以激发企业创新活力。

3)重视对外开放对技术创新效率的积极影响。企业自身进行技术创新的成本较高,可考虑通过引进外资拓宽筹资渠道,加强对外贸易和国外企业的

交流合作,借鉴国外技术创新路径,带动辽宁省装备制造业技术创新,继而提高技术创新效率。

参考文献

[1] 屈国俊,宋林,郭玉晶.中国上市公司技术创新效率研究:基于三阶段 DEA 方法[J].宏观经济研究,2018(6):97-106.

[2] 易明,彭甲超,吴超.基于 SFA 方法的中国高新技术产业创新效率研究[J].科研管理,2019,40(11):22-31.

[3] 胡立和,商勇,王欢芳.长江经济带技术创新效率评价及影响因素分析[J].湖南社会科学,2020(3):87-93.

[4] 潘秋晨.全球价值链嵌入对中国装备制造业转型升级的影响研究[J].世界经济研究,2019(9):78-96,135-136.

[5] 晁坤.基于 SFA 的装备制造业技术创新效率实证检验[J].统计与决策,2020,36(20):72-75.

[6] 杨志波.中国装备制造业技术效率影响因素及提升策略[J].区域经济评论,2018(3):42-49.

[7] 王江,陶磊.中国装备制造业技术创新效率及影响因素研究:基于研发与成果转化两个阶段的分析[J].商业研究,2017(12):175-180,192.

[8] 肖红.装备制造业技术创新效率的影响因素及创新驱动路径研究:以安徽省为例[J].黑龙江工业学院学报(综合版),2020,20(1):64-69.

[9] 王艳,龚新蜀,李津津.基于 SFA 模型的新疆装备制造业技术创新效率及影响因素分析[J].科技管理研究,2017,37(12):146-151.

[10] 郭文鸽.天津装备制造业技术效率测度及影响因素研究[D].天津:天津师范大学,2020.

Research on Technology Innovation Efficiency and Influencing Factors of Equipment Manufacturing Industry in Liaoning Province Based on SFA Model

ZHAO Qiang, ZHAO Lixia

(School of Economics and Management,Shenyang Ligong University,Shenyang 110159,China)

Abstract: The equipment manufacturing industry greatly affects the development of the national economy, and its technological innovation efficiency is conducive to the innovative development of the industry and the region. Based on the latest data of Liaoning equipment manufacturing industry, the stochastic frontier approach is used to construct a model of technological innovation efficiency measurement and influencing factors and passed the hypothesis test. The research shows that the overall technological innovation efficiency of Liaoning Equipment Manufacturing Industry is stable and improving, of which the efficiency gap between 7 industries is small, and the range of changes is relatively stable, while the degree of specialization of R&D personnel, the ownership structure of enterprises, and the degree of opening up play a major role in promoting the technological innovation efficiency of Liaoning equipment manufacturing industry.

Keywords: SFA model;equipment manufacturing industry;technological innovation efficiency