

【统计应用研究】

基于 Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 方法的 中国高端装备制造企业效率测度研究

刘 芳,王宇露

(上海电机学院 商学院,上海 201306)

摘要:采用 Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 方法对 2012—2015 年中国高端装备制造企业的效率进行测算,避免了传统 DEA 方法未考虑决策单元生产技术的行业差异、存在偏差等不足,研究结果表明:先进轨道交通设备、农机装备两个行业技平效高;高档数控机床和机器人、海洋工程装备及高技术船舶两个行业技劣效均;航空航天装备行业技平效均;电力装备、节能与新能源汽车两个行业技优效低。结合中国七大高端装备制造行业的实际情况,从微观企业、中观行业和宏观政府三个层面提出各行业增强技术水平和提高效率的建议。

关键词:Meta-Frontier;Bootstrap;DEA;高端装备制造;效率

中图分类号:C812 **文献标志码:**A **文章编号:**1007-3116(2017)06-0092-07

一、引言

高端装备制造业是以高新技术为引领、处于价值链高端和产业链核心环节、决定着整个产业链综合竞争力的战略性新兴产业,也是现代产业体系的脊梁,更是推动工业转型升级的引擎。大力培育发展高端装备制造业是实现“中国制造 2025”战略目标的重要途径,是实现从“中国制造”向“中国智造”转变的关键突破口,虽然中国装备制造业的经济总量已经跃居世界首位,但高端装备制造业贡献甚微。目前,中国部分高端装备制造业进入门槛不高,不少企业盲目投入和低水平重复建设,造成了部分新兴产业产能过剩,因而能够真正实现高端制造盈利的并不多。客观科学地评价高端装备制造企业的效率,在微观层面上有助于企业挖掘自身潜力和提高管理水平;在中观层面上有助于行业的转型升级和在国际竞争中提升话语权;在宏观层面上有助于资源优化配置和增强中国的综合国力。

目前,国内外关于中国高端装备制造企业效率

测度的研究尚属空白,评价高端装备制造企业的效率是亟待解决的问题。数据包络方法(DEA)是评价企业效率的主流方法之一,具有无需设定生产函数形式并能避免错误设定等优势,但传统的 DEA 方法又存在两方面的问题:第一,传统 DEA 方法使用相同的生产技术集评价全部决策单元的效率,评价结果未考虑决策单元的生产技术水平差异,无法反映决策单元在不同生产技术水平下的真实效率水平;第二,传统 DEA 方法没有考虑数据噪声、测量误差、偶然因素等随机误差的影响,忽视了效率估计的不确定性,易将实际中并非有效的决策单元识别为有效,导致在样本量较小的情况下效率值被高估。本文研究的高端装备制造业由多个子行业组成,生产技术水平存在行业差异。研究样本来自于 A 股上市公司,而 A 股上市公司中属于高端装备制造业的又非常有限。鉴于此,本文将传统 DEA 方法与 Meta-Frontier 模型和 Bootstrap 技术相结合,即采用 Meta-Frontier-Bootstrap-DEA (简称 MFBD) 集成方法来测度中国高端装备制造企业的效率,以期

收稿日期:2016-09-23;修复日期:2017-03-20

基金项目:上海高校人文社会科学重点研究基地“上海装备制造产业发展研究中心”项目《中国高端装备制造业上市公司竞争力评价研究》(B1022716034);上海电机学院应用经济学学科建设项目(16YSXK03)

作者简介:刘 芳,女,湖南岳阳人,经济学博士,讲师,研究方向:经济管理统计;
王宇露,男,湖南岳阳人,管理学博士,教授,研究方向:组织行为与战略。

得出更加科学合理的评价结果。与传统的 DEA 方法相比,本文的 MFBD 方法存在两方面的改进:第一,引入 Meta-Frontier 模型,既能测量共同前沿又能测量行业前沿,从而可评价各企业在特定的行业技术水平下的真实效率;第二,通过对来自于总体分布规律未知的初始小样本观测值进行重复多次的有放回再抽样,将多次再抽样的样本统计量的实证密度函数视为初始样本统计量实证密度函数的近似。据此,就可对初始样本统计量的偏误进行修正,解决了因样本量小导致的 DEA 测算结果被高估的问题。

二、模型理论与方法

(一) Meta-Frontier 模型

传统 DEA 方法分析技术效率存在比较基础不一致的弊端,为此 Battese 和 O'Donnell 等人提出了共同前沿生产函数(Meta-Frontier Function)分析框架,比较不同群组之间的技术效率^[1-2]。O'Donnell 主要以产出导向的距离函数定义技术效率和共同技术率(Meta-Technology Ratio, MTR),考虑本文后面将采用投入导向的 DEA 方法开展研究,因此改用投入导向的距离函数进行说明。

1. 共同前沿。假定 Y 为非负的 $M \times 1$ 的产出向量, X 为非负的 $N \times 1$ 的投入向量,定义所有决策单元的共同技术集合(Meta-Technology Set)为所有投入产出的技术可行组合集合,记为:

$$T = \{(X, Y) : X \geq 0; Y \geq 0; X \text{ 可以生产 } Y\} \quad (1)$$

对应的投入集合为:

$$Q(Y) = \{X : (X, Y) \in T\} \quad (2)$$

式(2)集合形成的边界即为共同前沿(Meta-Frontier)。为了评价决策单元的技术效率,可定义投入导向的距离函数为:

$$D(X, Y) = \inf_{\theta} \{\theta > 0; \theta X \in Q(Y)\} \quad (3)$$

式(3)中 θ 表示 X 至投入导向前沿的径向距离,当且仅当 $D(X, Y) = 1$ 时,投入产出组合 (X, Y) 相对于前沿是技术有效的。

2. 群组前沿。如果因为生产技术的异质性,决策单元可以划分为 K 个群组($K > 1$),假设资源、规划和其他环境约束使得各群组必须采用特定的技术集合进行生产,定义第 k 个群组的投入产出集为:

$$T^k = \{(X, Y) : X \geq 0; Y \geq 0; X \text{ 为第 } k \text{ 群组的决策单元用来生产 } Y\} \quad (4)$$

类似地,第 k 个群组的投入集合和投入导向的距离函数可定义为:

$$Q^k(Y) = \{X : (X, Y) \in T^k\}$$

$$(k = 1, 2, \dots, K) \quad (5)$$

$$D^k(X, Y) = \inf_{\theta} \{\theta > 0; \theta X \in Q^k(Y)\} \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad (6)$$

3. 技术效率和共同技术率。决策单元在共同前沿下的技术效率为:

$$TE = D(X, Y) \quad (7)$$

在第 k 个群组前沿下的技术效率为:

$$TE^k = D^k(X, Y) \quad (8)$$

对任何决策单元, $D(X, Y) \leq D^k(X, Y)$ 必然成立,定义投入导向的共同技术率为:

$$MTR^k(X, Y) = \frac{D(X, Y)}{D^k(X, Y)} = \frac{TE(X, Y)}{TE^k(X, Y)} \quad (9)$$

其中 $MTR^k(X, Y)$ 是衡量第 k 个群组投入水平接近共同前沿投入的程度,比率越大则第 k 个群组与共同前沿的技术水平差距越小,说明第 k 个群组的生产技术水平越高;反之,比率越小则第 k 个群组与共同前沿的技术差距越大,说明第 k 个群组的生产技术水平越低。由式(9)可得:

$$TE(X, Y) = TE^k(X, Y) \times MTR^k(X, Y) \quad (10)$$

由式(10)可知,决策单元的共同前沿技术效率可以分解为两个部分的乘积:一部分是决策单元所属群组前沿下的技术效率 $TE^k(X, Y)$,另一部分是决策单元所属群组的共同技术率 $MTR^k(X, Y)$ 。因此,共同前沿模型能够从决策单元自身与决策单元群组两个方面寻求提高决策单元技术效率的方法。

(二) Bootstrap-DEA 方法

估计共同前沿和群组前沿可以使用数据包络分析法(DEA)或随机前沿分析法(SFA),与 SFA 方法相比,DEA 方法属于非参数估计法,无需设定生产函数形式并能够避免错误设定问题。然而,传统的 DEA 方法却存在以下问题:其一,DEA 估计量只能被视为绝对效率估计的上限,致使实际的效率水平可能被 DEA 高估;其二,DEA 方法无法得到参数的统计性估计量,不能对参数的统计性质进行检验;其三,DEA 方法忽略了决策单元较少时存在的估计偏误。为了弥补传统 DEA 方法存在的不足,Simar 和 Wilson 提出了基于 Bootstrap 的 DEA 方法,对 DEA 测度效率的偏差进行了修正,并给出了效率估计的置信区间^[3-4]。

Bootstrap-DEA 方法具体算法如下:

第一步,对每一个决策单元 $DMU(X_i, Y_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$,第 i 个 DMU 的真实效率值为 θ_i ,采用传统 DEA 方法估计效率值为 $\hat{\theta}_i$ 。

第二步,基于 $\hat{\theta}_i$,使用 Bootstrap 方法生成数量

为 n 的随机效率值 $\theta_{1b}^*, \theta_{2b}^*, \dots, \theta_{nb}^*$, 其中 b 表示使用 Bootstrap 方法的第 b 次迭代, $b = 1, 2, \dots, B$ 。

第三步, 计算模拟样本 $X_{ib}^* = \frac{\hat{\theta}_i}{\theta_{ib}^*} \times X_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) (11)

第四步, 对每一个模拟样本, 利用 DEA 方法计算效率估计值 $\hat{\theta}_{ib}^*$, ($i = 1, 2, \dots, n$)。

第五步, 针对每一个 DMU(X_i, Y_i), $i = 1, 2, \dots, n$, 都重复第二步至第四步 B 次, 得到 B 个效率估计值 $\hat{\theta}_{ib}^*$, $b = 1, 2, \dots, B$ 。

Bootstrap 分布可以模拟原始样本估计量的分布, 修正 DEA 估计偏差为 $\text{Bias}(\hat{\theta}_i) = E(\theta_i^*) - \hat{\theta}_i$, 其中 θ_i^* 为 Bootstrap-DEA 方法得到的第 i 个 DMU 的效率值。

$$\text{Bias}(\hat{\theta}_i) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B (\hat{\theta}_{ib}^*) - \hat{\theta}_i \quad (12)$$

因此 Bootstrap-DEA 偏差修正后的效率值为:

$$\tilde{\theta}_i = \hat{\theta}_i - \text{Bias}(\hat{\theta}_i) = 2\hat{\theta}_i - \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{ib}^* \quad (13)$$

(三) 研究的其他设定

1. 使用基于投入导向的模型。DEA 模型可以基于投入导向或产出导向, 由于目前中国高端装备制造业存在产能结构性过剩的现象, 供给侧结构性改革是政府调控的主要方向, 因此本文主要关注各 DMU 的投入要素利用情况, 选择基于投入导向的模型更符合实际情况。

2. 使用可变规模报酬假定。DEA 方法要求事先设定经济系统的规模经济状况, 这是后续估计效率值的重要假设条件, 不同规模的经济假定(包括不变规模报酬 CRS 和可变规模报酬 VRS)得到估计结果存在差异。由于本文研究对象为微观层面的企业, 企业在调节投入量方面有较多的自主权, 因此选择使用可变规模报酬 VRS 假定更具有现实合理性。

综上所述, 本文首先在采用数据包络分析中基于投入导向和可变规模报酬(VRS)的 BCC 模型来估计决策单元的共同前沿与群组前沿技术效率; 然后运用 Bootstrap-DEA 方法来纠正估计效率的偏差, 得到更稳健的估计结果, 即采用 Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 集成方法进行计算。BCC 模型是一种较为成熟的 DEA 模型, 是对效率进行评估的常用工具^[5]。

三、样本选择与变量选取

(一) 样本选择

目前, 中国正处于“十三五”开局之年, 根据中国

实施制造强国战略第一个十年行动纲领《中国制造 2025》(国发(2015)28 号)的要求, 包括高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备这七个门类在内的十个优势和战略产业, 将成为今后大力发展的重点领域。笔者认为这七个门类均符合高端装备制造业的特点, 是富含多领域高精尖技术、设备复杂先进、产品功能巨大、并处于价值链高位和产业链核心部位的机械装备制造高端产业, 因此本文选择的样本企业由属于这七个门类的 A 股上市公司组成。

本文所使用的数据来自同花顺 IFIND, 在确定上市公司行业分类时结合各上市公司主营业务的介绍, 逐个核实与调整。截至 2015 年 12 月 31 日, A 股共有 197 家高端装备制造业上市公司, 本文遵循如下原则进行样本筛选: 第一, 剔除被证监会实施 ST、*ST、PT 处理的公司; 第二, 剔除由于资产重组不宜作为研究样本的公司。在剔除了存在上述情况的公司后, 为兼顾横向完整性与纵向可比性, 本文最终保留了 2012—2015 年连续 4 年数据无缺失值的 189 家公司, 其中高档数控机床和机器人 14 家、航空航天装备 22 家、海洋工程装备及高技术船舶 25 家、先进轨道交通装备 10 家、节能与新能源汽车 23 家、电力装备 92 家、农机装备 3 家。

(二) 变量选取

1. 投入变量。传统的新古典经济增长理论认为, 经济增长的投入要素主要为资本和劳动力。Romer 在 20 世纪 80 年代提出的新经济增长理论中指出, 增加研发投入可以促进技术进步并保持经济的持续增长^[6]。目前, 中国高端装备制造企业纷纷加大了研发方面的投入, 政府也制定了各种措施激励企业增加研发投入以提升自主创新能力和技术水平。鉴于此, 本文基于新经济增长理论, 选取资本、劳动力和研发投入作为投入变量。

资本投入: 对产出产生重要影响的不仅是当期的各种资本投入量, 还有以前积累下的资本存量。在行业研究和地区研究时, 国内外学者大多采用永续盘存法对资本存量进行估算, 由于本文的研究对象为上市公司, 可以直接采用财务报表中扣除了固定资产折旧的固定资产净值衡量企业的资本存量, 并使用以 2007 年为基期的固定资产投资价格指数调整为以 2007 年不变价表示的实际值。

劳动力投入: 本文延续了国内外大多数研究所采用的做法, 选取上市公司年末的员工人数作为劳

动力投入变量的替代变量。

研发投入:与资本投入类似,企业的研发行为本身是存在累积效用的,周亚虹等人考虑了累积的研发支出对企业生产的影响^[7],因此本文将累积的研发支出形成的研发资本存量作为研发投入的替代变量。研发资本存量的测算方法有 Goldsmith 方法、Griliches 方法、BEA 方法三种,有学者认为 BEA 方法更符合中国经济发展的实际情况,故本文也采纳 BEA 方法。在确定研发资本折旧率时,参考了王益烜和姜振茂等人的做法^[8-9],最终在测算时将研发资本折旧率定为 10%;在对研发资本存量进行不变价核算时采用了价格指数缩减法,利用工业生产者购进价格指数、人员工资指数、固定资产投资价格指数进行平均处理,计算研发投入价格指数,并使用以 2007 年为基期的研发投入价格指数进行价格调整。

2. 产出变量。本文使用营业收入衡量产出变量,并采用以 2007 年为基期的工业生产者出厂价格指数,将营业收入调整为以 2007 年不变价表示的实际值。虽然使用增加值衡量产出的做法非常普遍^[10-12],然而要使增加值成为在微观层面上可接受的分析工具,需要保证理论定义的恰当性与经验可测性一致,还需要满足几个很强但现实情况却很难符合的假定条件,故本文未使用增加值衡量产出。柳菽等人指出,在微观层面上只有总产值或销售收入才是企业开展生产经营决策时考虑的实在概念,增加值只不过是一个统计构造^[13];罗福凯等人在研究高端装备制造上市企业技术资本测度及收益时,也使用了营业收入作为产出变量的替代变量^[14]。

四、实证分析

(一) Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 计算步骤及检验

1. Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 计算步骤。

第一步,预备检验。DEA 分析要求数据符合等张性(Isotonicity)假定,即在各决策单元的投入增加时产出也会相应增加。本文通过计算资本投入、劳动力投入和研发投入三种投入变量与营业收入产出变量的相关系数来进行等张性检验,结果表明各项投入变量与产出变量之间均存在着显著的正相关关系,符合等张性假定的要求,满足 DEA 分析的基本条件。第二步,计算 Meta-Frontier-DEA 效率。基于投入导向和可变规模报酬 VRS 假定,分别计算出各企业的共同前沿技术效率和分行业的群组前沿技术效率。第三步,计算 Meta-Frontier-Bootstrap-

DEA 效率。本文采用 R 软件计算经 Bootstrap 方法纠偏后的效率值。一般而言,Bootstrap 迭代次数越多计算结果精确度越高,本文迭代次数分别取了 1 000 次、2 000 次、5 000 次,测算结果差异很小,表明该方法具有较高的稳健性,最终运算结果选取迭代 5 000 次。

2. 群组异质性检验。运用 Meta-Frontier 方法,需要对各行业的群组技术异质性进行检验,这一检验可以通过对共同前沿技术效率和群组前沿技术效率的差异进行检验来实现。共同前沿技术效率和群组前沿技术效率是配对样本数据,可根据配对样本数据差值的分布特征和偏斜情况来选择采用参数检验(如 t 检验)或非参数检验方法(如 Wilcoxon 符号秩检验、符号检验)。经 Shapiro-Wilk 正态性检验,两者的差值无论是未经 Bootstrap 纠偏的还是经过 Bootstrap 纠偏的, P 值均为 0.000 0,在 0.05 的显著性水平下不服从正态分布(见表 1),因此无法使用要求数据服从正态分布的参数检验方法,而需选择非参数检验方法进行检验。

表 1 共同前沿效率与群组前沿效率差值的

Shapiro-Wilk 正态性检验表

差值	偏度	统计量	自由度	P 值
共同前沿 DEA 效率— 群组前沿 DEA 效率	-0.716 4	0.867 9	756	0.000 0
共同前沿 BDEA 效率— 群组前沿 BDEA 效率	-0.716 2	0.868 2	756	0.000 0

注:Shapiro-Wilk 正态性检验的原假设为数据服从正态分布。

计算两组差值的偏度系数分别为 -0.716 4 和 -0.716 2,均为非对称分布(左偏),不满足 Wilcoxon 符号秩检验方法对数据差值服从对称分布的要求,因此本文采用符号检验法进行检验(结果见表 2),所得检验统计量分别为 -25.399 3 和 -27.459 1,相应的 P 值都是 0.000 0,并在 0.05 的显著性水平下拒绝共同前沿技术效率与群组前沿技术效率无差异的原假设。因此,高端装备制造企业确实存在行业生产技术的异质性。

表 2 共同前沿效率与群组前沿效率差值符号检验表

差值	统计量	样本量	P 值
共同前沿 DEA 效率— 群组前沿 DEA 效率	-25.399 3	756	0.000 0
共同前沿 BDEA 效率— 群组前沿 BDEA 效率	-27.459 1	756	0.000 0

注:符号检验的原假设为两组数据无显著差异。

3. Bootstrap 技术纠偏效果检验。为验证 Bootstrap 技术的纠偏效果,本文对 DEA 和 BDEA 两组

结果的差异进行检验。如表 3 所示,由于 DEA 效率与 Bootstrap-DEA 效率差值的 Shapiro-Wilk 正态性检验结果显示,共同前沿效率差值和群组前沿效率差值的 P 值分别为 0.000 2 和 0.001 1,并在 0.05 的显著性水平下均不服从正态分布,因此选取非参数检验方法进行差异检验。

表 3 DEA 效率与 Bootstrap-DEA 效率差值的 Shapiro-Wilk 正态性检验表

差值	偏度	统计量	自由度	P 值
共同前沿 DEA 效率— 共同前沿 BDEA 效率	0.017 9	0.991 3	756	0.000 2
群组前沿 DEA 效率— 群组前沿 BDEA 效率	0.121 4	0.992 9	756	0.001 1

注:Shapiro-Wilk 正态性检验的原假设为数据服从正态分布。
计算两组差值的偏度系数分别为 0.017 9 和 0.121 4,均为非对称分布(右偏),不满足 Wilcoxon 符号秩检验方法对数据差值服从对称分布的要求,因此采用符号检验法进行检验(结果见表 4),所得检验统计量分别为 -27.459 1 和 -27.386 3,相应的 P 值均为 0.000 0,并在 0.05 的显著性水平下拒

绝原假设,所以无论是共同前沿还是群组前沿的 DEA 效率与 Bootstrap-DEA 效率均存在显著差异。

表 4 DEA 效率与 Bootstrap-DEA 效率差值符号检验表

差值	统计量	样本量	P 值
共同前沿 DEA 效率— 共同前沿 BDEA 效率	-27.459 1	756	0.000 0
群组前沿 DEA 效率— 群组前沿 BDEA 效率	-27.386 3	756	0.000 0

注:符号检验的原假设为两组数据无显著差异。

由此可见,经 Bootstrap 技术纠偏后,共同前沿 DEA 效率和群组前沿 DEA 效率均显著地降低了,所以 Bootstrap-DEA 具有较好的纠偏效果,更适合后续的进一步分析。

(二) Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 效率测算结果

表 5 给出了采用 Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 方法计算的 2012—2015 年中国各高端装备制造行业企业效率的概况,从中不难看出中国高端装备制造行业企业效率整体偏低,正如群组异质性检验结果所示存在明显的行业差异。

表 5 中国各高端装备制造行业企业效率概况表

行业	指标	2012	2013	2014	2015	平均
高档数控机床和机器人	共同前沿 BDEA 效率	0.239 2	0.288 8	0.300 7	0.341 1	0.292 5
	群组前沿 BDEA 效率	0.909 0	0.954 8	0.888 5	0.847 6	0.900 0
	共同技术率	0.262 9	0.302 0	0.342 1	0.397 1	0.326 0
航空航天装备	共同前沿 BDEA 效率	0.392 6	0.389 1	0.407 6	0.400 6	0.397 5
	群组前沿 BDEA 效率	0.672 8	0.748 3	0.760 1	0.751 6	0.733 2
	共同技术率	0.540 9	0.509 5	0.505 3	0.508 8	0.516 1
海洋工程装备及高技术船舶	共同前沿 BDEA 效率	0.303 6	0.348 7	0.339 6	0.322 6	0.328 6
	群组前沿 BDEA 效率	0.808 5	0.815 0	0.847 1	0.729 0	0.799 9
	共同技术率	0.364 2	0.417 0	0.397 1	0.429 2	0.401 9
先进轨道交通装备	共同前沿 BDEA 效率	0.421 7	0.487 8	0.394 4	0.451 2	0.438 8
	群组前沿 BDEA 效率	0.962 7	0.950 3	0.923 1	0.910 2	0.936 6
	共同技术率	0.431 3	0.506 5	0.423 9	0.483 8	0.461 4
节能与新能源汽车	共同前沿 BDEA 效率	0.457 6	0.475 3	0.442 0	0.465 1	0.460 0
	群组前沿 BDEA 效率	0.608 4	0.565 7	0.541 0	0.587 8	0.575 7
	共同技术率	0.815 5	0.852 0	0.813 7	0.794 3	0.818 9
电力装备	共同前沿 BDEA 效率	0.367 6	0.467 8	0.448 4	0.437 6	0.430 4
	群组前沿 BDEA 效率	0.566 4	0.625 5	0.545 8	0.567 1	0.576 2
	共同技术率	0.632 0	0.723 8	0.836 2	0.753 7	0.736 4
农机装备	共同前沿 BDEA 效率	0.550 4	0.558 1	0.374 8	0.274 5	0.439 5
	群组前沿 BDEA 效率	0.948 0	0.930 7	0.973 6	0.925 3	0.944 4
	共同技术率	0.569 5	0.595 8	0.380 7	0.295 5	0.460 4

注:共同前沿 BDEA 效率等于群组前沿 BDEA 效率和共同技术率的乘积。

(三) 中国高端装备制造企业效率的行业比较

为了对中国高端装备制造企业效率行业差异进行比较分析,本文将各行业共同前沿 BDEA 效率分解为共同技术率和群组前沿 BDEA 效率,以各行业历年的共同技术率均值的上下四分位数为标准,将超过上四分位数的归为高技术组、低于下四分位数的归为低技术组、介于两者之间的归为中等技术组。

类似地,以各行业历年的群组前沿 BDEA 效率均值的上下四分位数为标准,将各行业划分为高效率、中等效率和低效率三种类别,由此组成技优效高、技优效均、技优效低,技平效高、技平效均、技平效低,技劣效高、技劣效均、技劣效低九种行业类别。

由图 1 可以看出,先进轨道交通设备、农机装备两个行业位于技平效高区域,是七大高端装备制造

行业中综合情况最好的行业;高档数控机床和机器人、海洋工程装备和高技术船舶两个行业位于技劣效均区域,其生产技术是制约效率提升的重要原因;航空航天装备位于技平效均区域,虽无短板但缺乏优势;电力装备、节能与新能源汽车两个行业位于技劣效低区域,行业效率低下成为制约效率提升的主要因素。

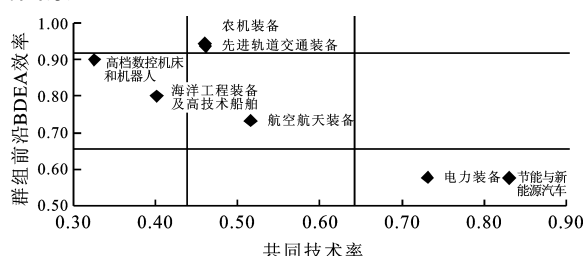


图1 中国各高端装备制造行业效率分类图
(2012—2015)

注:群组前沿 BDEA 效率和共同技术率为各行业 2012—2015 年的年平均值(具体数值见表 5 未列);垂直方向的两条直线对应的横坐标为各行业 2012—2015 年共同技术率均值上四分位数和下四分位数;水平方向的两条直线对应的纵坐标为 2012—2015 年各行业群组前沿 BDEA 效率均值上四分位数和下四分位数。

五、结论与建议

本文采用 Meta-Frontier-Bootstrap-DEA 技术对中国高端装备制造企业的效率进行了测算,计算结果通过了群组异质性检验和 Bootstrap 技术纠缠效果检验,能够反映企业在各自行业生产技术水平下的真实效率水平,且评价结果更加准确和稳健。根据本文测算的结果,中国高端装备制造企业的效率和技术水平还存在较大的提升空间,故结合中国七大高端装备制造行业的具体情况提出建议:

第一,高档数控机床和机器人制造业需要企业加强市场拓展、行业合力突破技术、政府推行应用示范。为改变高档数控机床和机器人“技劣效均”的现状,企业要以市场需求为导向,找准产品定位,注重市场细分,培育有影响力的自主品牌;行业可以构筑产业技术联盟,集中技术力量和资金,重点突破五轴联动以上高档数控系统和机床装备、六轴或以上高端工业机器人等高端产品的技术,以应对国外企业的技术封锁;政府可以推行国产数控系统和机器人的典型应用示范工程,出台推动国产数控系统和机器人技术走向应用的扶持政策。

第二,航空航天装备制造业需要企业积极参与项目对接、行业打造合作平台、政府集聚资源要素。为改变航空航天装备行业“技平效均”的现状,企业

需要牢牢抓住中国发展航空航天项目带来的机遇,积极参与到项目中,争取与项目对接,为航空航天项目提供配套产品;行业需要努力打造国内外航空航天企业交流合作的平台,营造良好的投资和行业发展环境;政府需要加快集聚航空航天发展的资源要素,加快低空空域改革,促进航空航天制造业发展的军转民过程。

第三,海洋工程装备及高技术船舶制造业需要企业加快转型升级、行业制定关键标准、政府有效集聚资源。为改变海洋工程装备及高技术船舶行业“技劣效均”的现状,企业需缩短新产品的更新换代周期,从产业链的中低端向附加值更高的核心高端转型;行业需加快海洋工程装备及高技术船舶领域核心关键标准的制定,实现与国际接轨;政府需加强顶层设计,引导人才、技术、资本的有效集聚,遏制盲目扩大产业规模、低水平重复建设和过度投资。

第四,先进轨道交通装备制造业需要企业强化高端技术、行业完善中国标准、政府保护知识产权。为改变先进轨道交通装备业“技平”的现状,企业需加强高端产品的技术水平,进一步提高产品性能;行业需完善专利的国际布局,规避专利风险,完善中国高铁标准,向世界推广中国标准;政府需加强知识产权保护,明确高校、企业和科研院所所在轨道交通装备基础研究、技术集成工程化研究等领域的分工。

第五,节能与新能源汽车制造业需要企业做好后端市场、行业重视安全问题、政府完善充电设施。为改变节能与新能源汽车业“效低”的现状,企业需要加快完善后端市场,如电池回收、操作维护、保养维修等,尽快寻找合适的盈利模式,避免过多的补贴依赖;行业需要建立新能源汽车操作规范、培养检测人才和普及检测装备、解决新能源汽车安全问题;政府需要将充电桩等配套设施建设纳入到城市规划中,跟进充电设施建设情况,探索多种模式共建充电设施,加速充电桩网络建设。

第六,电力装备制造业需要企业挖掘新增长点、行业推进制造转型、政府改善失衡局面。为改变电力装备制造业“效低”的现状,企业需要适应能源结构调整的大趋势,在高效清洁煤炭利用、重型燃机等领域挖掘新的盈利增长点;行业需要根据电力装备上下游配套关系,加快结构调整、企业联合和产业重组,向产业链的两端延伸,从生产型制造向服务型制造转变;政府需要大力推进分布式能源及智能电网建设,加快中国供电网络的铺设,逐步改善发电装备产业与输配电装备产业失衡的局面。

第七,农机装备制造业需要企业研发特色农机产品、行业搭建共享设计平台、政府倡导数字智能装备。为改变农机装备制造业“技平”的现状,企业需要紧贴市场实际需求,充分考虑农机装备易受田间作业条件限制和季节性的特点,致力于中国特色农机产品的研发;

行业需要加强行业技术标准体系、行业信息化数据服务系统、行业检验检测能力、产品数字化设计平台建设;政府需要推动数字化、智能化技术与农机装备的深度融合,促进农业生产的自动化、智能化、专业化,以提高农机装备的智能决策和精细作业能力。

参考文献:

- [1] Battese G E, Rao D S P, O'Donnell C J. A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies[J]. Journal of Productivity Analysis, 2004, 21(1).
- [2] O'Donnell C J, Rao D S P, Battese G E. Metafrontier Frameworks for the Study of Firm-Level Efficiencies and Technology Ratios[J]. Empirical Economics, 2008, 34(2).
- [3] Simar L, Wilson P W. Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models [J]. Management Science, 1998, 44(1).
- [4] Simar L, Wilson P W. A General Methodology for Bootstrapping in Non-Parametric Frontier Models[J]. Journal of Applied Statistics, 2000, 27(6).
- [5] 方国斌,马慧敏,宋国君. 中国交通运输能源效率及其影响因素分析——基于三阶段 DEA 和 GWR 方法[J]. 统计与信息论坛,2016(11).
- [6] Romer P M. Increasing Returns and Long-Run Growth[J]. Journal of Political Economy, 1986, 94(5).
- [7] 周亚虹,贺小丹,沈瑶. 中国工业企业自主创新的影响因素和产出绩效研究[J]. 经济研究,2012(5).
- [8] 王益烜,江永宏,柳楠,等. 将研发支出纳入 GDP 核算的思考[J]. 中国统计, 2014(2).
- [9] 姜振茂,汪伟. 折旧率不同对资本存量估算的影响[J]. 统计与信息论坛, 2017(1).
- [10] 叶锐,刘洋. 中国高技术产业行业效率测度与分解——基于共享投入关联 DEA 模型[J]. 西安财经学院学报, 2015(4).
- [11] Brandt L, Biesebroeck J V, Zhang Y. Creative Accounting or Creative Destruction? Firm-Level Productivity Growth in Chinese Manufacturing[J]. Journal of Development Economics, 2009(2).
- [12] Verschelde M, Dumont M, Rayp G, et al. Semiparametric Stochastic Metafrontier Efficiency of European Manufacturing Firms[J]. Journal of Productivity Analysis, 2016, 45(1).
- [13] 柳荻,尹恒. 企业全要素生产率估计新方法——全要素生产率估计的结构方法及其应用[J]. 经济学动态, 2015(7).
- [14] 罗福凯,于江,陈肖丹. 高端装备制造上市企业技术资本测度及收益分析[J]. 经济管理, 2013(11).

Research on Efficiency Measurement of China's High end Equipment Manufacturing Enterprise Based on Meta-Frontier-Bootstrap-DEA Method

LIU Fang, WANG Yu-lu

(Business School, Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The Meta-Frontier-Bootstrap-DEA method is used to calculate the efficiency of the high-end equipment manufacturing enterprise in China from the year of 2012 to 2015. The method can both avoid the ignorance of production technology industrial difference among the decision making units and the biasness of traditional DEA methods. Research results show that advanced trail transit equipment industry and farm machine equipment industry are medium in technology and high in efficiency, high grade CNC machine tools-robots industry and marine engineering-high technology ships industry are low in technology and medium in efficiency, aerospace equipment industry is both medium in technology and efficiency, electric power equipment industry and Energy saving-new energy vehicles industry are high in technology and low in efficiency. Regarding the actual situation of China's seven high-end equipment manufacturing industry, we give some suggestions on improving the level of technology and efficiency for each industry from three aspects of the micro enterprise, intermediate industry and macro government.

Key words: Meta-Frontier; Bootstrap; DEA; high end equipment manufacturing; efficiency

(责任编辑:郭诗梦)