

农业、工业、服务业环境效率虚拟标杆及应用研究

——基于中国省域数据的分析

刘殿国

海南大学经济学院, 海南 海口

收稿日期: 2022年11月23日; 录用日期: 2022年12月13日; 发布日期: 2022年12月27日

摘要

运用EBM模型作为标杆选择及投入冗余产出不足的测量模型, 运用基于多层统计模型建立的嵌入视角经济增长模型作为标杆值的调整模型, 将三次产业的虚拟标杆模型拓展成农业、工业、服务业环境效率虚拟标杆构模型。基于中国省域农业、工业以及服务业环境效率有关的投入产出数据, 构建了中国省域农业、工业以及服务业环境的虚拟标杆, 以安徽作为标杆的实施者向虚拟标杆学习, 得到安徽省农业、工业以及服务业环境协同发展的优化决策。因此, 所构建的农业、工业以及服务业环境虚拟标杆不仅能有助于标杆实施者的农业、工业以及服务业环境效率, 而且有可能推动标杆管理和环境效率研究的发展。

关键词

环境效率, 虚拟标杆, 超效EBM-Malmquist, 多层统计模型

Research on Virtual Benchmark and Application of Environmental Efficiency in Agriculture, Industry and Service Industry —Analysis Based on Provincial Data in China

Dianguo Liu

School of Economics, Hainan University, Haikou Hainan

Received: Nov. 23rd, 2022; accepted: Dec. 13th, 2022; published: Dec. 27th, 2022

Abstract

The EBM model is used as the benchmark selection and measurement model of insufficient input redundancy and output, and the embedded perspective economic growth model is used as the adjustment model of the benchmark value. The virtual benchmark model of the three industries is expanded into the virtual benchmark model of environmental efficiency of agriculture, industry and service industries. Based on the input-output data related to the environmental efficiency of China's provincial agriculture, industry and service industry, a virtual benchmark of China's provincial agriculture, industry and service industry environment is constructed. The implementers of the benchmark learn from the virtual benchmark, and obtain the optimal decision of the coordinated development of Anhui's agriculture, industry and service industry environment. Therefore, the virtual benchmarking of agriculture, industry and service industry environment constructed can not only help the environmental efficiency of agriculture, industry and service industry of the benchmark implementers, but also promote the development of benchmarking management and environmental efficiency research.

Keywords

Environmental Efficiency, Virtual Benchmarking, Super Efficiency EBM-Malmquist, Multilevel Statistical Mode

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

环境质量的水平不高仍然是困扰中国发展的突出问题之一，同时也凸显了中国生态文明建设的重要性、必要性、紧迫性与艰巨性。Chen *et al.*认为环境效率的定量分析，不仅是了解区域环境保护现状的重要前提，也是制定和调整相关政策的前提；而且环境效率的提高对于减少环境风险和生态稀缺程度至关重要[1]。尽管有些学者采用了不同形式的DEA模型研究不同区域或产业的环境效率，但因各区域自然条件和社会经济条件存在着较大的差异，且未能有效找出学习标杆，难以达到有效提升环境效率的目的。近年来，关于效率的研究逐渐出现了新的研究视角：为了明确效率提升的目标，科学地确定标杆并界定与标杆的效率差距，寻求实现这一目标的手段和工具，一些学者分别从建筑物的能源使用性能、医疗行业基准(标杆)等方面提出了基于标杆管理的效率评价方法[2] [3]。但是从现有研究看，目前还缺乏将标杆管理与环境效率提高结合的文献。本文将环境效率评价方法与标杆管理理论结合起来，旨在达到有效提升环境效率的目的。标杆管理理论已由标杆的内涵界定、标杆理论的形成、标杆理论的扩展与深化[4]发展到三次产业经济效率虚拟标杆。虚拟标杆是将构成整体不同部分(三次产业)的标杆，通过不同部分之间的关系整合成一个集各部分优势的整体，这个集各部分优势整体的效率高于现有每个部分(三次产业)的效率，并且这个整体每个组成部分的效率都可以在现有条件下通过挖潜实现，而这个的整体在现实中是不存在的，固称其为虚拟标杆[5]。其实，农业、工业的生产以及服务业的运营都会对环境产生一定的影响[6] [7] [8]。因此，提高环境效率不仅要关注农业、工业、服务业某个产业的环境效率提高，而且更要关注农业、工业、服务业环境效率的共同提高。另外，由于农业、工业、服务业之间具有一定的关联性[9] [10]。因此，在农业、工业、服务业环境效率提高的同时，还要兼顾其之间的关系。那么基于上述的情形，在

将标杆管理与环境效率结合时，需研究怎样基于农业、工业、服务业环境效率的标杆以及农业、工业、服务业之间的关联性，构建农业、工业、服务业的虚拟标杆？怎样依据虚拟标杆解决环境效率的提高？等问题无疑是一个值得研究的问题。

2. 农业、工业、服务业环境效率的虚拟标杆模型的构建

农业、工业、服务业环境效率虚拟标杆是要将农业、工业、服务业环境效率的优势(高效率)和谐地整合到一体。基于三次产业经济效率虚拟标杆的建立过程[5]，农业、工业、服务业环境效率虚拟标杆的建立过程也将涉及到效率的评价、投入冗余和产出不足以及相应数值的调整。具体过程如下：

2.1. 确定农业、工业、服务业环境效率标杆

2.1.1. 农业、工业、服务业环境效率测量可变规模的检验

对研究时段中每年研究区域内 n 个省的农业、工业、服务业环境效率投入和产出数据，分别运用 Tone 建立能成功地解决松弛变量的度量问题的 SBM (Slacks-Based Measure)模型[11]。依据测算结果确定农业、工业、服务业环境效率的决策单元(每个省是一个决策单元)是可变或不变规模的：如果 $\sum \lambda = 1$ ，则认为该决策单元为规模效益不变；如果 $\sum \lambda > 1$ 则认为该决策单元为规模效益递增；如果 $\sum \lambda < 1$ 则认为该 DMU 为规模效益递减。

2.1.2. 确定农业、工业、服务业环境效率标杆

已有的标杆选择文献大多采用 SBM 模型[12] [13]，而综合径向和非径向特点的 EBM 模型能有效解决 C^2R 模型和 SBM 模型测算效率分值得到的问题[14]。因此，本文采用 EBM 模型作为标杆选择模型。

对农业环境效率投入产出数据，运用适合分析农业环境效率的超效 EBM-Malmquist 模型[15]；对服务业环境投入产出数据，运用适合分析服务业环境效率的超效 EBM-Malmquist 模型[16]；依据农业、服务业环境效率规模可变和不变的具体情形，选择相应产业 1998~2019 年效率均值最大的某省产业作为标杆。

由于两阶段网络模型在测量工业效率时比单阶段更加精准[17]。因而，对工业环境投入产出数据，本文使用非径向、非导向的超效 EBM 网络模型。我们研究 30 个决策单元 $DMU_j (j=1, \dots, 30)$ 包含 K 个节点的效率($k=1, 2$)。第一阶段，观察数据为 $\{X_j^1 = (x_{j1}^1, \dots, x_{j3}^1) \in R_+^3\} (j=1, \dots, 30)$ (第 j 个决策单元在第 1 个节点 3 项投入资源)；2 种一般产出 $\{Y_j^1 = (y_{j1}^1, y_{j2}^1) \in R_+^2\}$ 和 2 种非期望产出 $B_j = (b_{j1}, b_{j2}) \in R_+^2 (j=1, \dots, 30)$ (第 j 个决策单元在第 1 个节点 2 项一般产出和 2 项非期望产出)；两阶段联接变量 $\{Z_j^{(1,2)} \in R_+^1\} (j=1, \dots, 30)$ (第 1 个节点到第 2 个节点中间产出的连接变量)；第二阶段，观察数据为 $\{X_j^2 = (x_{j1}^2, \dots, x_{j4}^2) \in R_+^4\} (j=1, \dots, 30)$ (第 j 个决策单元在第 2 个节点所投入的资源)， $\{Y_j^2 = (y_{j1}^2, \dots, y_{j3}^2) \in R_+^3\} (j=1, \dots, 30)$ (第 j 个决策单元在第 2 个节点的产出)。

假设待评价决策单元为 DMU_{j_0} ，基于超效 EBM [15] [16]和网络 DEA [17]的求解模型，则其对应的全局效率值可以通过求解非导向的超效率网络 EBM 以下模型得到：

$$\rho^* = \min \left(\omega^1 \frac{\theta^1 - \varepsilon_x \sum_{i=1}^3 \frac{W_i^1 S_i^1}{x_{j_0 i}^1}}{\varphi^1 + \varepsilon_y \sum_{r=1}^2 \frac{W_r^1 S_r^1}{y_{j_0 r}^1} + \varepsilon_b \sum_{p=2}^2 \frac{W_p^{1b} S_p^{1b}}{b_{j_0 p}}} + \omega^2 \frac{\theta^2 - \varepsilon_x \sum_{i=1}^4 \frac{W_i^2 S_i^2}{x_{j_0 i}^2}}{\varphi^2 + \varepsilon_y \sum_{r=1}^3 \frac{W_r^2 S_r^2}{y_{j_0 r}^2}} \right)$$

$$\text{s.t. } \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^{30} x_{ji}^k \lambda_j^k + S_j^{k-} = \theta^k X_{j_0}^k$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^{30} y_{jr}^k \lambda_j^k - S_r^{k+} = \varphi^k Y_{j_0}^k \\
& \sum_{p=1}^2 b_{jp} \lambda_j + S_p^{b-} = \varphi B_{j_0}, p=1,2 \\
& Z_j^{(1,2)} \lambda_j^1 = Z_j^{(1,2)} \lambda_j^2 \\
& \lambda_j \geq 0, S_i^-, S_r^+, S_p^{b-}
\end{aligned} \tag{1}$$

其中, $k=1$ 时, $i=1, 2, 3, r=1, 2, p=1, 2$; $k=2$ 时, $i=1, \dots, 4, r=1, 2, 3$ 。本研究借鉴李静等[17], 选择 LF 作为中间变量。式(1)中 ρ^* 为规模报酬不变情况下的最佳效率; θ 为径向部分的规划参数; ε_x 为关键参数, 满足 $0 \leq \varepsilon_x \leq 1$ 。 W_i^- 为投入指标的重要程度, 其满足 $\sum_{i=1}^3 W_i^- = 1$; x_{ik} 和 y_{rk} 分别为决策单元 k 的第 i 类投入和第 r 类产出; S_i^- 为投入要素 i 的松弛量; ε_y 为关键参数; ϕ 为产出扩大比; S_i^+ 为期望产出的松弛变量; S_p^{b-} 为 p 类非期望产出的松弛变量; W_1^+, W_p^{b-} 分别为两者的指标权重; b_{jp} 为决策单元 j 的第 p 类非期望产出; p 为非期望产出的数量; j 为决策单元; λ_j 为线性组合系数; j_0 表示当被评论决策单元为 DMU_{j_0} 时, 在剔除掉 DMU_{j_0} 的新的有效前沿面上 DMU_j 的超效率, $\sum_{k=1}^2 \omega^k = 1$; ω^k 是第 k 个节点的相对权重。依据农业、工业、服务业环境效率规模可变和不变的具体情形, 选择相应产业 1998~2019 年效率均值最大的某省产业作为标杆。

2.2. 农业、工业、服务业环境虚拟标杆的构造

2.2.1. 农业、工业、服务业的投入冗余和产出不足

分别对研究区域内各省的农业、工业、服务业环境效率 2019 年的投入产出数据, 运用超效率 EBM 模型, 将得到区域内各省农业、工业、服务业环境效率的投入冗余和产出不足数值。

2.2.2. 工业、服务业产出值调整

三次产业虚拟标杆是运用一般的经济增长模型对标杆值进行调整的, 如, 张洪波等[12]和刘殿国等[13]运用的是柯布 - 道格拉斯生产函数的面板数据模型对标杆值进行调整; 刘殿国等虽然将第一产业、第二产业看作是第三产业发展的背景变量, 运用多层统计模型对标杆值进行调整[5]; 但调整模型缺少嵌入性的影响分析, Granovetter 认为, “我们研究的组织及其行为受到社会关系的制约, 把它们作为独立的个体进行分析是一个严重的误解” [18]; 王海珍和刘殿国基于多层统计模型建立了社会嵌入视角的经济增长模型[19]; 刘殿国基于多层统计模型建立了制度嵌入视角的经济增长模型, 并实证分析了作为层二变量的市场化进程、对外开放、金融体系改革、城市化、产业结构对经济的影响, 得到了较为符合实际的结果 [20]。因此, 本文综合刘殿国等的作法[5] [20], 运用嵌入视角的经济增长模型作为标杆值调整模型; 其中, 以各省研究时间段的农业总产值均值、工业产值的均值作为层二的解释变量, 以市场化进程、对外开放、金融发展、城市化、产业结构调整作为层二控制变量。

1) 工业产业值调整。工业环境效率值最大省份的农业以农业环境效率值最大省份为标杆, 经学习将提高其农业环境效率值; 由于各产业间的相互影响, 因而农业产出值的提高也将带动工业产出值的提高。工业产出值增加通过多层统计模型得到: 以工业总产值的对数为层一被解释变量, 对数资本存量和就业人员的对数为层一的解释变量, 以农业总产值的对数为层二解释变量, 以市场化进程、对外开放、金融发展、城市化、产业结构调整作为层二控制变量。运行(2)、(3)式的模型将得到农业产值增加的百分率对工业的影响。农业产业产值增加的百分率为(产出不足数值/产值)*100%。

$$\text{层一模型: } \ln(GDP2_{jt}) = \beta_{0j} + \beta_{1j} \ln(K2_{jt}) + \beta_{2j} \ln(L2_{jt}) + e_{jt} \quad (2)$$

$$\text{层二模型: } \beta_{pj} = \gamma_{p0} + \gamma_{p1} M \ln(GDP1_{jt}) + \sum_{q=1}^5 \gamma_{pq} X_{qj} + u_{pj} \quad (3)$$

其中, 层一模型的被解释变量 $\ln(GDP2_{jt})$ 为第 j 省第 t 年工业总产值的对数, 层一模型的解释变量: $\ln(K2_{jt})$ 与 $\ln(L2_{jt})$ 分别为第 j 省第 t 年第三产业资本存量与劳动力人数的对数。层二模型的解释变量: $M \ln(GDP1_{jt})$ 为第 j 省农业增加值 t 年的对数平均值; 式中 $x_{qj}, q=1, 2, \dots, 5$ 分别表示第 j 个地区的市场化、开放、金融体系改革、城市化、产业结构。 r_{ij} 表示层一随机误差, u_{pj} 表示层二随机误差。

工业环境效率值最大省份的农业投入产出用投影值替代, 工业用调整后值替代(原值 + 调整值)构成了农业、工业环境效率虚拟标杆(第一阶段虚拟)。

2) 服务业产值调整。以服务业总产值的对数为被层一被解释变量, 以对数资本存量和就业人员的对数为层一解释变量, 以农业与工业总产值的对数为二层解释变量, 以市场化进程、对外开放、金融发展、城市化、产业结构调整作为层二的控制变量。运行(4)、(5)式的模型将得到农业和工业产值增加的百分率对服务业的影响。农业和工业产值增加的百分率为(产出不足数值/产值)*100%。

$$\text{层一模型: } \ln(GDP3_{jt}) = \beta_{0j} + \beta_{1j} \ln(K3_{jt}) + \beta_{2j} \ln(L3_{jt}) + e_{jt} \quad (4)$$

$$\text{层二模型: } \beta_{pj} = \gamma_{p0} + \sum_{s=1}^2 \gamma_{ps} M \ln(GDP_{sj}) + \sum_{q=1}^5 \gamma_{pq} X_{qj} + u_{0j} \quad (5)$$

其中, 层一模型的被解释变量 $\ln(GDP3_{jt})$ 为第 j 省第 t 年服务业总产值的对数。层一模型的解释变量 $\ln(K3_{jt})$ 与 $\ln(L3_{jt})$ 分别为第 j 省第 t 年服务业资本存量与劳动力人数的对数。层二模型的解释变量 $M \ln(GDP_{sj})$ 为第 j 省第二产业增加值的对数平均值, s 等于 1 是表示农业、 s 等于 2 是表示工业。

2.2.3. 农业、工业、服务业环境虚拟标杆的构成

服务业环境效率最高省份农业、工业投入产出的投影值(向第一阶段虚拟标杆投影)与调整后服务产业的投入产出的值就是虚拟标杆的农业、工业、服务业环境测算投入产出的数据(第二阶段虚拟标杆)。

3. 实证研究

依据二中虚拟标杆的构建步骤, 构建中国农业、工业、服务业环境效率的虚拟标杆, 并以安徽省农业、工业、服务业环境效率作为标杆的实施者。

3.1. 指标选择与数据来源

本文收集中国 30 个省市 1998 至 2019 年农业、工业以及服务业环境效率投入产出数据。其中农业环境效率投入产出指标选择和数据处理按王美和刘殿国的做法[15], 选择农林牧渔业从业人员(万人)、有效灌溉面积(千公顷)、农用化肥施用折纯量(万吨)、农业机械总动力(万千瓦)、农作物总播种面积(千公顷)作为投入指标; 选择 2000 年不变价格的农林牧渔业总产值(亿元)以及粮食产量(万吨)作为期望产出指标, 选择化学需氧量排放量(万吨)以及氮磷总排放量(万吨)作为非期望产出指标。相关数据来源《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》以及各个省份的统计年鉴。服务业环境效率投入产出指标选择和数据处理按刘殿国等的做法[16], 选择劳动力(万人), 资本投入(亿), 能源投入标准煤(万吨)作为投入指标; 选择 2000 年不变价格的第三产业产值(亿)作为期望产出指标, 选择二氧化碳和二氧化硫排放量作为非期望产出指标。相关数据来源于《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》以及各省级统计年鉴。工业环境效率投入产出指标选择和数据处理按照李静和倪冬雪[17]、马晓明等[21]的做法。第一阶段(经济生产环节)以工业劳动力人数(万人)、工业资本存量(亿)、工业能源消耗为投入(万吨), 产出则为工业总产值(亿)、废

固产生量(万吨)、工业废水排放量(万吨)和工业废气排放量(亿立方米),其中工业废水排放量和工业废气排放量作为非期望产出;第二阶段(污染治理环节)以废固产生量、废水和废气治理设施数(套)、废水和废气治理设施运行费用以及废水、废气和废固治理投资额(亿)为投入,产出则为废固综合利用量、空气质量指数和废水处理量。其中,废固产生量是两个阶段的连接变量,在第一阶段作为非期望产出,在第二阶段作为投入。其中,空气质量指数利用城市空气质量指标每立方米中二氧化流、二氧化氮、可吸入颗粒物(PM10)含量(毫克)倒数表示,数值越大效果越好;并用熵权法将三项指标合成一项废气治理排放效果综合指标。数据来源于中国统计年鉴主要城市空气质量指标(2003~2019年)。相关数据来源《中国工业统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国统计年鉴》。

工业、服务业产出值调整相关的层二变量中市场化进程、对外开放、金融发展、城市化、产业结构调整的选择、处理及数据来源,按刘殿国的做法[20]。

3.2. 结果分析

3.2.1. 不变规模与可变规模检验

对各省农业、工业、服务业环境投入产出 1998~2019 年的数据运用 EBM 模型,使用 MaxDEA6.2 软件对发展规模检验,得到部分是可变规模的、部分是不变规模的。因此有关结论将依据不变规模与可变规模的状态综合得到。

3.2.2. 计算效率值

对各省农业、工业、服务业环境投入产出数据运用不变规模超效 EBA-Malmquist 以及可变规模 Malmquist 模型,使用 MaxDEA6.2 软件分析得到各省农业、工业、服务业环境 1998~2019 的效率值。由效率值数据得上海市的农业不变与可变规模平均效率值最大,广东省的工业不变与可变规模平均效率值最大,上海市的服务业不变与可变规模平均效率值最大,依据产业标杆得选取标准,农业选择上海市为标杆,工业选广东省为标杆,服务业选上海市为标杆。另外,以安徽作为非标杆产业,下面研究中将给出非标杆产业向虚拟标杆学习得结果。由于篇幅所限表 1 只列出部分效率值。

Table 1. Agriculture, industry, service environment unchanged and variable scale efficiency values

表 1. 农业、工业、服务业环境不变与可变规模效率值

产业	省份	2008	2010	20012	2014	2016	2018	2019
农业不变	广东	0.7949	0.7177	0.7017	0.6850	0.7290	0.7110	0.7330
农业可变	广东	0.8129	0.7296	0.7154	0.6987	0.7412	0.7265	0.7476
农业不变	上海	1.0564	1.0576	1.0579	1.0590	1.0423	1.0272	1.0152
农业可变	上海	1.1217	1.1293	1.1294	1.1295	1.1152	1.0903	1.0729
农业不变	安徽	0.8096	0.8262	0.7558	0.7163	0.6849	0.6934	0.7705
农业可变	安徽	0.8695	0.8856	0.8123	0.7786	0.7463	0.7593	0.8142
工业不变	广东	1.0371	1.04399	1.0452	1.0605	1.0361	1.0551	1.0661
工业可变	广东	1.0833	1.1126	1.1083	1.1121	1.0994	1.1171	1.1216
工业不变	上海	0.6313	0.6232	0.7153	0.7117	0.7714	0.7613	0.8122
工业可变	上海	0.7054	0.6943	0.7735	0.7698	0.8156	0.8213	0.8765
工业不变	安徽	0.7540	0.7061	0.7909	0.72635	0.7341	0.6817	0.5964
工业可变	安徽	0.8245	0.8754	0.8543	0.7776	0.7943	0.7445	0.6627

Continued

服务不变	广东	1.0198	1.0059	1.0180	1.0159	1.0243	1.0011	0.9172
服务可变	广东	1.0436	1.0180	1.0462	1.0337	1.0541	1.0487	1.0225
服务不变	上海	1.0292	1.0238	1.0340	1.0223	1.0481	1.1495	1.0679
服务可变	上海	1.0361	1.0337	1.0580	1.0383	1.0575	1.0802	1.0606
服务不变	安徽	0.7646	0.7458	0.7206	0.5872	0.5603	0.5340	0.7044
服务可变	安徽	0.8036	0.8573	0.7714	0.6205	0.6198	0.6097	0.7590

3.2.3. 农业、工业的投入冗余产出不足及工业、服务业产值调整

1) 农业的投入冗余产出不足及工业产值调整。基于农业 2019 年数据, 分别运用可变与不变规模的 SBM 模型, 使用 MaxDEA6.2 软件分析得到结果, 由于篇幅所限表 2 只列出对构造虚拟标杆及应用有关的计算结果。

Table 2. Agricultural constant and variable-scale input redundancy and insufficient output
表 2. 农业不变与可变规模的投入冗余产出不足

省份特征	化肥	机械动力	播种面积	从业人员	灌溉面积	总产值	粮食
广东不变	-28.8187	-268.9752	-471.6661	-151.6383	0	234.4789	134.8446
广东可变	0	0	0	0	0	0	0
上海不变	0	0	0	0	0	0	0
上海可变	0	0	0	0	0	0	0
安徽不变	-30.9734	-613.5309	-848.1206	-132.4948	-437.7432	159.5704	390.6620
安徽可变	0	0	0	0	0	0	0

表 2 表明, 广东省农业中的化肥如果投入减少 $(28.8187 + 0)/2 = 14.4046$ 、机械动力投入减少 134.4876、播种面积减少 235.833、从业人员减少 75.8191、保持原有灌溉面积、总产值增加 117.2394、粮食增加 67.4223, 那么农业就达到了标杆水平。

2) 工业产值调整。基于各省工业相关的层一数据, 各省农业产值均值以及嵌入的变量数据。运用工业产业值的调整的(2)、(3)模型, 得到的结果见表 3。

Table 3. Industrial output adjustment model results

表 3. 工业产值调整模型结果

变量名	系数	标准误	T检验	自由度	P值
截距1, β_{0j}					
截距2, γ_{00}	5.0348	1.3217	3.809	23	0.001
NI , γ_{01}	0.4941	0.1405	3.515	23	0.002
$\ln K$ 斜率, β_{1j}					
截距2, γ_{10}	1.7940	1.2150	1.477	23	0.153
NI , γ_{11}	-0.0715	0.1286	-0.556	23	0.583
$\ln L$ 斜率, β_{2j}					
截距2, γ_{20}	0.3302	2.0551	0.161	23	0.874
NI , γ_{21}	0.0628	0.2194	0.287	23	0.777

由表 3 知, 只有农业对截距 1 的影响达到显著, 而对工业资本和劳动斜率的影响没达到显著; 研究应以显著影响为准, 将得到农业产值增加 1%, 工业产值将增加 0.4941%。由表 2 知, 广东农业以上海为标杆, 广东的农业产值将增加 $(234.4789 + 0)/2 = 117.2394$, 比广东 2019 年农业产值增加了 3.1575%。因此, 由广东农业产值增加将带动广东工业产值增加为 $0.4941 * 3.1575\% = 1.5601\%$ 。由此可得广东省 2019 年的工业产值将增加 $144295.10 * 1.5601\% = 2251.1478$ 。即, 如果广东省农业按照表 2 的技术指标改进, 广东省工业产值加上 2251.1478, 且工业的其它投入产出保持不变, 那么, 广东省的农业、工业就是各省的农业、工业标杆。

3) 工业的投入冗余产出不足及服务业产值的调整。在将广东省工业总产值增加 2251.1478 后, 以 30 个省市工业 2019 年的通入产出数据, 分别运用可变与不变规模的 SBM 模型, 使用 MaxDEA6.2 软件分析得到结果, 由于篇幅所限表 4 只列出对构造虚拟标杆及应用有关的计算结果。

Table 4. Industrial constant and variable-scale input redundancy output is insufficient

表 4. 工业不变与可变规模的投入冗余产出不足

省份特征	从业人员	资本	煤耗	总产值	废固	废气	废水
广东不变	0	0	0	0	0	0	0
广东可变	0	0	0	0	0	0	0
上海不变	-38.4506	0	-2449.4504	79.0001	-80.6466	-6031.0155	-6345.9860
上海可变	0	0	0	65.4740	0	0	0
安徽不变	-37.2816	-853.9552	-1107.9071	3967.2846	-1639.1332	-3663.3027	-5011.3107
安徽可变	-31.1814	-714.2305	-926.6307	3318.1561	-1370.9378	-3064.2415	-4191.3569

4) 服务业产值调整。基于各省工业相关的层一数据, 各省农业产值均值以及嵌入的变量数据。运用服务业产业值的调整的(4)、(5)模型, 得到的结果见表 5。

Table 5. Results of service industry value adjustment model

表 5. 服务业产业值调整模型结果

变量名	系数	标准误	T检验	自由度	P值
截距1, β_{0j}					
截距2, γ_{00}	-1.5314	0.7910	-1.936	22	0.065
NI, γ_{01}	0.4680	0.1098	4.259	22	0.000
GI, γ_{02}	0.5343	0.1370	3.898		0.001
lnK斜率, β_{1j}					
截距2, γ_{10}	1.7940	0.1486	2.795	22	0.011
NI, γ_{11}	-0.0301	0.0478	-0.630	22	0.534
GI, γ_{12}	0.0358	0.0411	0.873	22	0.391
lnL斜率, β_{2j}					
截距2, γ_{20}	-1.8101	1.2077	-1.499	22	0.148
NI, γ_{21}	0.2352	0.1548	1.519	22	0.143
GI, γ_{22}	-0.0423	0.1933	-0.219	22	0.829

由表 5 知, 只有农业、工业对截距 1 的影响达到显著, 而对服务业资本和劳动斜率的影响没达到显著; 研究应以显著影响为准, 将得到农业产值增加 1%, 服务业产值将增加 0.4680%; 工业产值增加 1%, 服务业产值将增加 0.5343%。由表 4 知, 上海工业以广东为标杆, 上海的工业产值将增加 $(79.0001 + 65.4740)/2 = 72.2370$, 比上海 2019 年工业产值增加了 0.1898%; 而上海农业本身就是标杆, 故向农业标杆学习对上海服务业影响调整值为 0。因此, 由上海农业、工业产值增加将带动上海服务业产值增加为 $0.5343 \times 0.1898\% = 0.1014\%$ 。由此可得上海市 2019 年的服务业产值将增加 $15729.57 \times 0.1014\% = 15.9497$ 。

3.2.4. 农业、工业、服务业环境虚拟标杆的构成

由于上海农业本身就是标杆, 如果上海工业按表 4 的技术指标改进, 上海的服务业产值加上 15.9497, 且服务业的其它投入产出指标不变, 那么调整后的上海市农业、工业、服务业就是各省农业、工业、服务业的标杆, 即虚拟标杆。虚拟标杆的技术指标见表 6。

Table 6. The input-output value of China's virtual benchmarking in agriculture, industry and services

表 6. 中国农业、工业、服务业虚拟标杆的投入产出值

农业	化肥	机械动力	播种面积	从业人员	灌溉面积	总产值	粮食
	4.6739	185.7785	261.3900	54.4930	190.7600	142.5480	95.8900
工业	从业人员	资本	煤耗	总产值	废固	废气	废水
	173.4647	5797.4630	5083.103	38114.647	1785.677	12000.49	30927.01
服务业	资本	从业人员	煤耗	总产值	二氧化硫	二氧化碳	
	51182.4664	999.7300	4577.6453	15815.5197	0.1112	6444.0209	

由虚拟标杆的构成知, 虽然上海市的农业、服务业环境效率是各省农业、服务业环境效率的标杆, 广东省的工业环境效率是各省工业环境效率的标杆, 但是, 上海市和广东省的农业、工业、服务业环境效率与虚拟标杆的技术指标还会有一定差距。即虚拟标杆的技术指标是集农业、工业、服务业环境效率标杆于一身的, 其技术指标高于所有省域农业、工业、服务业环境效率的技术指标。下面以安徽省作为标杆的实施者, 研究其农业、工业以及服务业的技术提高的可能性。

3.2.5. 安徽省农业、工业、服务业向虚拟标杆学习

将 2019 年上海市的工业、服务业环境效率投入产出值调整为虚拟标杆的工业、服务业环境效率投入产出值(由于上海市农业市标杆, 农业环境效率投入产出值不用调整), 其它省域的农业、工业、服务业环境效率投入产出值不变; 分别运用可变与不变规模的 SBM 模型, 使用 MaxDEA6.2 软件分析得到结果(可变与不变规模的均值), 见表 7。

Table 7. Anhui Province's agriculture, industry, and service industries learn from virtual benchmarks about the possible input-output difference

表 7. 安徽省农业、工业、服务业向虚拟标杆学习可能产生的投入产出差值

农业	化肥	机械动力	播种面积	从业人员	灌溉面积	总产值	粮食
	-15.4867	-306.765	-424.06	66.2474	-218.872.	79.7852	195.331
工业	从业人员	资本	煤耗	总产值	废固	废气	废水
	-34.2315	-784.093	-1017.27	3642.72	-1505.04	-3363.77	-4601.33
服务业	资本	从业人员	煤耗	总产值	二氧化硫	二氧化碳	
	-9660.18	-204.924	-229.715	921.0617	-0.09075	-260.203	

安徽省农业、工业、服务业环境效率对标虚拟标杆后, 农业环境效率投入量在比其 2019 年的化肥减少 9.866%、机械动力减少 4.613%、播种面积减少 4.829%、从业人员减少 4.919%、灌溉面积减少 4.778% 的情形下, 总产值将比 2019 增加 3.0066%、粮食增加 4.8182%; 工业环境效率投入量在比其 2019 年的从业人员减少 12.803%、资本减少 11.657%、煤耗减少 10.298% 的情形下, 总产值将比 2019 增加 12.3219%、废固产生量减少 9.082%、废气排放减少 9.382%、废水排放减少 8.336%; 服务业环境效率投入量在比其 2019 年的资本减少 12.101%、从业人员减少 11.538%、煤耗减少 9.938% 的情形下, 总产值将比 2019 增加 11.8437%、二氧化硫减少 11.963%、二氧化碳减少 10.216%。

4. 农业、工业、服务业环境效率标杆的发展经验分析

4.1. 技术视角经验分析

上海农业环境效率值较高主要是来自于农业技术进步除 2008 年略有降低之外, 一直保持较高的增长; 效率变化在 1999~2003、2008~2010、12~14、2018~2019 也有一定的增长。农业技术进步和效率的提高主要来源于: 一方面上, 上海制定了提高农业环境效率的地方性法规; 另一方面, 提供了有效的科技支撑(如, 不断加大农业科技资金投入, 尤其是支持与农业发展相关的大数据平台的建设)。在法规上出台了《关于印发上海市化肥和化学农药减量工作方案的通知》、《上海市 2016 年度商品有机肥推广和监管实施方案》、《上海市畜禽养殖管理办法》等; 科技方面的种植业和养殖业的实验室建设已达到了国家标准, 支持了《农用地管理信息系统》, 《浦东新区重大动物疫病预防和控制信息管理系统》等。

上海服务业环境效率值较高主要是来自于服务业技术进步在 2004~2013 保持较高的增长, 服务业效率变化在 2010~2018 也有一定增长。服务业技术进步和效率的提高主要来源于: 一方面上, 上海制定了提高服务业环境效率的地方性法规; 另一方面, 大力发展科技服务业。在法规上出台了《餐饮业油烟排放标准》、《上海市进一步鼓励国三柴油车提前报废补贴实施办法》等; 科技服务方面, 上海建立了生产力促进中心, 各类科技孵化器机构; 进一步发挥中介机构作用, 促进技术转化; 建立制造业和生产性服务业的融合互动机制。

广东省工业环境效率值较高主要是来自于工业技术进步除 2008 和 2012 略有降低之外, 一直保持较高的增长; 效率变化在 2003~2006、2010~2013 也有一定的增长。工业技术进步和效率的提高主要来源于: 一方面上, 广东省制定了提高工业环境效率的地方性法规; 另一方面, 大力发展高技术制造业。在法规上出台了《广东大气污染排放标准》、《广东省工业锅炉污染政治方案》等; 高技术制造业增加值有 2010 年的 4278 亿元增加到 2015 年的 7529.02 亿元, 提高了 1.8 倍。

4.2. 嵌入性视角经验分析

王美在论述农业环境效率的社会嵌入性基础上, 基于社会嵌入性理论以及农业环境效率影响因素理论, 以农业资源环境经济因素为层一变量, 以社会嵌入性因素为层二变量, 运用多层统计模型构建了社会嵌入性对农业环境效率影响的计量模型。运用中国省域农业环境效率投入产出的相关数据, 实证分析了社会嵌入性因素对农业环境效率的影响; 得到了资金关系嵌入, 受灾率、人均农业收入、城镇化率、家庭经营收入比为显著性直接影响因素; 认知嵌入、文化嵌入、政治嵌入等社会嵌入性因素为显著性间接影响因素[22]。邓诗雨在论述工业环境效率的社会嵌入性基础上, 基于社会嵌入性理论以及工业环境效率影响因素理论, 以工业资源环境经济因素为层一变量, 以社会嵌入性因素为层二变量, 运用多层统计模型构建了嵌入性视角工业环境效率影响因素的计量模型。运用中国省域工业环境效率投入产出的相关数据, 实证分析了社会嵌入性因素对工业环境效率的影响; 得到了工业科技创新、人均 GDP、人口密度、重工业比重、政治嵌入对工业环境效率有显著性的直接影响; 文化嵌入对工业环境效率有显著性的间接

影响；结构嵌入、关系嵌入、认知嵌入既有显著直接影响，又有显著间接影响[23]。张茜在论述服务业环境效率的制度嵌入性基础上，基于制度嵌入性理论以及服务业环境效率影响因素理论，以服务资源环境经济因素为层一变量，以制度嵌入性因素为层二变量，运用多层统计模型构建了制度嵌入性对服务业环境效率影响的计量模型。运用中国省域服务业环境效率投入产出的相关数据，实证分析了制度嵌入性因素对服务业环境效率的影响；人均 GDP、城市化、信息化程度、信任、行为规范和市场开放对服务业环境效率有显著的直接影响；行政化指数、市场化指数、市场开放三个指标对服务业环境效率有显著的间接影响；其中，市场开放既具有显著地直接影响又有间接影响[24]。

3.2.5 中，给出了安徽省农业、工业、服务业向虚拟标杆学习的技术指标。其欲实现技术指标还需将技术发展视角的农业、工业、服务业的产业层面经验以及嵌入性视角的社会与制度层面的经验与安徽省的实际深入结合起来。

5. 结论与建议

本文运用 EBM 模型作为标杆选择及投入冗余产出不足的测量模型，运用嵌入视角的经济增长模型作为标杆值的调整模型，将三次产业的虚拟标杆模型拓展成农业、工业、服务业环境效率虚拟标杆模型。基于中国省域农业、工业以及服务业环境效率有关的投入产出数据，实证分析了虚拟标杆的建立过程，并以安徽作为标杆的实施者，分析了其对标虚拟标杆的技术指标以及应学习的经验；得到了如下的结论。

- 1) 基于中国省域农业、工业、服务业环境效率投入产出的相关数据，运用 EBM 模型分析得到了农业、工业、服务业环境效率的各产业标杆；
- 2) 基于嵌入视角的经济增长模型调整了工业、服务业的产值；
- 3) 构建了中国省域农业、工业、服务业环境效率的虚拟标杆；
- 4) 给出了基于技术发展视角以及嵌入性视角下的提高农业、工业、服务业环境效率的经验分析；
- 5) 并以安徽作为标杆的实施者，运用 EBM 模型得到了其实施的技术指标，并给出了实现技术指标的产业、社会以及制度的相关经验。

基于虚拟标杆中上海市农业、服务业环境效率提高的经验、广东省工业环境效率提高的产业层面经验，结合嵌入视角下农业、工业、服务业环境效率提高的社会和制度层面经验。给出提高中国省域农业、工业、服务业环境效率的发展建议：

- 1) 各省要将提高农业、工业、服务业环境效率作为政府工作的重要目标之一；
- 2) 将农业、工业、服务业环境效率对标虚拟标杆，将会出现提高农业、工业、服务业环境效率协调发展的情形；
- 3) 将技术发展视角的农业、工业、服务业的产业层面经验以及嵌入性视角的社会与制度层面的经验与各省的实际深入结合起来。

基金项目

国家自然科学基金：区域农业、工业、服务业环境效率的虚拟标杆理论及应用研究——以中国省域农业、工业、服务业环境效率为例(71864010)。

参考文献

- [1] Chen, J.D., Song, M.L. and Xu, L. (2015) Evaluation of Environmental Efficiency in China Using Data Envelopment Analysis. *Ecological Indicators*, **52**, 577-583. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.008>
- [2] Chung, W. (2011) Review of Building Energy-Use Performance Benchmarking Methodologies. *Applied Energy*, **88**, 1470-1479. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.022>
- [3] Lai, M.C., Huang, H.C. and Wang, W.K. (2011) Designing a Knowledge-Based System for Benchmarking: A DEA

- Approach. *Knowledge-Based Systems*, **24**, 662-671. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2011.02.006>
- [4] 孔杰, 程寨华. 标杆管理理论述评[J]. 东北财经大学学报, 2004(2): 3-7.
- [5] 刘殿国, 傅国华, 王军. 区域分层虚拟标杆的建立及应用研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2013: 42-43.
- [6] 张可, 丰景春. 强可处置性视角下中国农业环境效率测度及其动态演进[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(1): 140-149.
- [7] 张子龙, 薛冰, 陈兴鹏. 中国工业环境效率及其空间差异的收敛性[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 30-38.
- [8] 庞瑞芝, 王亮. 服务业发展是绿色的吗?——基于服务业环境全要素效率分析[J]. 产业经济研究, 2016(4): 18-28.
- [9] 宋德勇, 姚洪斌, 郭涛. 工业与农业相互依存的内生增长模型——工业反哺农业的理论基础[J]. 经济学家, 2007(4): 88-96.
- [10] 苏立君. 服务业与工业产业关联的国际比较分析——基于劳动价值论和投入产出分析框架[J]. 经济学家, 2016(11): 97-104.
- [11] Tone, K. (2001) A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, **130**, 498-509. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00407-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5)
- [12] 张洪波, 刘殿国, 傅国华. 基于泛珠三角一、三产业虚拟标杆的海南优化决策研究[J]. 海南大学学报(人文社科版), 2012, 30(6): 104-111.
- [13] 刘殿国, 付邵武, 傅国华. 县域三次产业虚拟标杆的建立及应用研究——以海南省县域为例[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(2): 7-25.
- [14] Tone, K. and Tsutsui, M. (2010) An Epsilon-Based Measure of Efficiency in DEA—A Third Pole of Technical Efficiency. *European Journal of Operational Research*, **207**, 1554-1563. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.07.014>
- [15] 王美, 刘殿国. 中国省域农业环境效率测算及收敛性分析——基于非期望产出的超效率 EBM 模型[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(9): 20-27.
- [16] 刘殿国, 张茜, 傅国华. 服务业环境全要素生产率变动测算及收敛性研究——基于超效率 EBM-Malmquist 模型和南北区域分析[J/OL]. 海南大学学报(人文社会科学版). <https://doi.org/10.15886/j.cnki.hnus.202202.0169>, 2022-05-24.
- [17] 李静, 倪冬雪. 中国工业绿色生产与治理效率研究——基于两阶段 SBM 网络模型和全局 Malmquist 方法[J]. 产业经济研究, 2015(3): 42-53.
- [18] Granovetter, M. (1985) Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness. *American Journal of Sociology*, **91**, 481-510. <https://doi.org/10.1086/228311>
- [19] 王海珍, 刘殿国. 泛珠三角区域多层经济增长理论模型及应用研究——基于社会嵌入性视角的分析[J]. 统计与信息论坛, 2016, 31(10):35-41.
- [20] 刘殿国. 效率型经济增长模型及应用研究[M]. 北京: 新华出版社, 2022: 12-210.
- [21] 马晓明, 张灿, 熊思琴, 田聿申. 中国区域工业环境效率及其影响因素: 基于 Super-SBM 的实证分析[J]. 生态经济, 2018, 34(11): 96-102.
- [22] 王美. 嵌入性视角下农业环境效率的影响因素研究——多层统计模型的分析[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2021.
- [23] 邓诗雨. 中国省际工业环境效率影响因素的实证研究——基于社会嵌入视角和多层统计模型的分析[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2020.
- [24] 张茜. 制度嵌入对我国省际服务业环境效率的影响研究——基于多层统计模型的分析[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2022.