

中国制造业生产效率评价: 基于并联决策单元的动态 DEA 方法

赵 萌

(北京大学 经济学院博士后科研流动站, 北京 100871; 中国华融资产管理公司博士后科研工作站, 北京 100033)

摘 要 在已有的并联决策单元 DEA 效率评价方法的基础上加入时间维度, 推演出了具有并联决策单元内部结构的复杂系统动态 DEA 效率评价方法. 该方法克服了传统 DEA 效率评价方法无视系统内部结构、高估效率指数的缺陷, 并且可以考量决策单元及其内部各生产单位在一个时期内的效率变化, 从而有着更为现实的应用价值. 运用该方法对我国 8 个经济区域四大类制造业的测算结果显示: “十一五” 期间没有一个行业或地区的动态效率指数为 0, 这说明我国制造业的生产效率并没有达到最优; 低外向度产业的生产效率增长快于高外向度产业, 低劳动密集度行业的效率改进快于高劳动密集度的行业; 高外向度低劳动密集型产业依然是我国制造业效率改进的“短板”; 劳动密集型产业向中西部转移造成了南部沿海地区制造业生产效率改进的滞后和中西部地区劳动密集型行业的发展.

关键词 数据包络分析; 并联决策单元; 动态效率评价; 制造业; 区域差异

Chinese manufacturing production efficiency evaluation: Based on dynamic DEA efficiency evaluation for DMU with parallel structure

ZHAO Meng

(Postdoctoral Research Center, Economic Department of Peking University, Beijing 100871, China; Postdoctoral Research Work Station, China HuaRong Asset Management Corporation, Beijing 100033, China)

Abstract The parallel system with parallel structure is a typical complex system whose inside structure is combined with many parallel production units instead of the traditional “black box”. Integrating the time dimension with DEA efficiency evaluation method for DMU with parallel structure, the dynamic DEA efficiency evaluation index is demonstrated. This method has more practical foundation, because it avoids the defects of traditional DEA efficiency evaluation ignoring system inside structure and overestimating efficiency index and considerate the frequency change of parallel structure and unit in one period. By using this method to our country four broad categories manufacturing in the eight economic regions, the result shows: there is not a industry or region’s dynamic efficiency index is zero in the “11th five-year plan” period, this shows that our manufacturing sector productivity doesn’t achieve optimal, the low extroverted degree industries’ efficiency grows faster than high extroverted degree industries, low labor intensity industries efficiency improves faster than high labor intensity of industry, high extroverted degree of low labor-intensive industries is still the “short board” of Chinese manufacturing; Labor-intensive industries are transferred to the Midwest caused the lag of south coastal region manufacturing efficiency improvement and the development of the Midwest region labor-intensive industry.

Keywords data envelopment analysis (DEA); parallel structure; dynamic efficiency evaluation; manufacturing; regional differentiation

1 引言

DEA 方法作为生产系统效率评价的重要方法一直以来都是学术界所关注的研究对象. 传统的 DEA 模型在评价具有多个子系统的复杂系统相对有效性时, 通常将各个子系统看作一个整体, 这样得到的结果并不

收稿日期: 2010-04-19

资助项目: 广东省普通高校人文社会科学研究基金重点项目 (09JDXM79008)

作者简介: 赵萌 (1980-), 男, 河北丰宁人, 博士, 研究方向: 国际金融与投资银行等, E-mail: zhaom1980@163.com.

能全面地反映系统的效率,并且会高估效率指数^[1].针对传统 DEA 方法的这一不足,近年来关于 DEA 的研究开始关注具有复杂内部结构的生产系统的技术效率评价.其中以 Fare 和 Grosskopf 提出的 FG 网络 DEA 模型^[2],以及 Lewis 和 Sexton 提出的 LS 网络 DEA 模型最具代表性^[3],但这两个过于概念化的模型存在着应用上的困难.基于应用的复杂系统 DEA 方法的研究从所研究的系统内部构造来看集中于串联结构系统、并联结构系统两个方面.其中关于串联结构系统的研究更为集中,Chen 等把复杂系统整体效率作为多个串联决策单元的各个子系统效率的加和^[4-5],而毕功兵等则把复杂系统整体效率作为多个串联决策单元的各个子系统效率的乘积^[6-7],分别在各自的假设基础上研究了复杂系统的效率评价.对于并联决策单元组成的复杂系统的研究最为著名的是 Yang 和 Masayuki,该文提出了 YMK 模型^[1],并将并联系统的整体效率定义为 YMK 效率,证明了 YMK 效率与子系统效率的关系.但 YMK 模型所假设的不存在规模收益、系统之间不存在合作等假设前提在实际应用中存在着明显的局限,为此段永瑞等依据规模收益假设、组内合作假设与组间合作假设,提出了三种并联系统效率评价的 DEA 模型^[8].此外,Kao 将并联系统整体效率分解为子系统效率加权的形式^[9];杨锋等在研究了并联系统前沿生产能力的基础上^[10],提出了评价并联生产系统的乘数模型和包络模型.上述对并联决策单元 DEA 评价方法的研究只是停留在静态评价层面,而没有推广到动态,从实际情况来看,没有时间维度的度量很大程度上限制了效率评价的公平和客观性.特别是在我国当前的政治经济体制下,没有时间维度的效率评价极易造成生产管理者为了某一时点的高绩效而舍弃长远的发展.为此本文将在上述研究的基础上把多个并联决策单元组成的复杂系统 DEA 评价方法加入时间维度,从而使其更好的用于实际生产系统的效率评价.

改革开放以来,特别是 20 世纪 90 年代以来,我国的制造业得到了迅猛发展,中国已成为全球制造业的中心.纵观世界上主要新兴市场国家的发展历程,制造业的生产效率不但关系到国家经济的发展,而且与区域经济的发展更是紧密相依.改革开放过程中,我国东部沿海地区以低劳动力成本为优势,承接了大量海外劳动密集型的产业,从而带动了区域经济的高速发展,并进一步的在区域内形成了制造业产业的集聚.制造业的产业集聚在一定时期内可以降低生产成本,提供生产效率,形成规模优势.然而产业集聚到一定程度后将产生诸如非贸易品价格居高不下、环境污染等拥挤成本,从而使得产业的生产效率下降,于是就会形成促进产业外向转移的离心力^[11].我国发达地区的制造业已经历了近 30 年的高速发展,从当前的形势来看其政策优势、成本优势以及产业聚集所带来的规模优势正在衰减,而中西部地区的劳动力成本低,自然约束、社会约束较为宽松的产业发展利好条件正在凸显.此种情形下,如何科学合理的评价国内各经济区域内不同类型制造业的生产效率,关系到国家产业政策以及区域经济发展规划的科学制定,以及进一步参与全球产业分工与合作,走新型工业化道路的战略实施.本文剩余内容将在推演出具有并联决策单元内部结构复杂系统的动态 DEA 效率评价方法的基础上,对我国 8 个经济区域的四大类制造业的生产效率在“十一五”期间的演进状况进行解读.

2 复杂系统的描述及评价方法的推演

2.1 并联决策单元的描述

考虑图 1 所示的具有并联内部结构的决策单元,它由多个生产单位以并联形式组成.绩效评价一个最为关键的任务就是找出系统中相对效率较低的子系统,以通过技术创新或重新配置资源来增进效率.

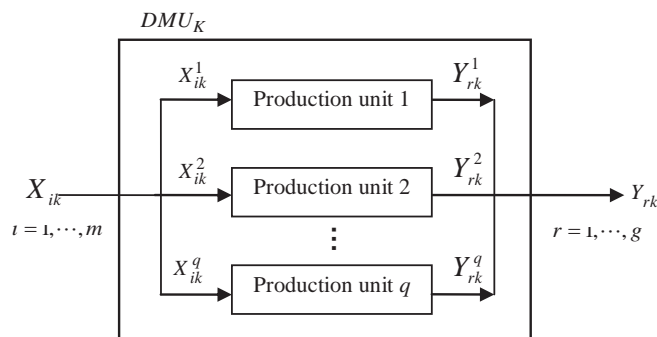


图 1 并联决策单元示意图

对于图 1 所示的决策单元, 传统的 DEA 效率评价方法把其视为一个“黑箱”, 假设每个决策单元有 m 种投入和 g 种产出, 则基于 Charnes, et al.(1978) 的第 j 个决策单元的 CCR 效率可表示为:

$$\begin{aligned} E_k &= \max \sum_{r=1}^g u_r y_{rk} \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \\ & \sum_{i=1}^g u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, g, i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (1)$$

u_r, v_i 分别代表投入产出的权重.

上述传统 DEA 效率评价方法将决策单元的各个子系统看作一个整体, 这样得到的结果并不能全面地反映系统的效率, 并且会高估效率指数^[4]. 现实情况中每个决策单元可进一步分解为一系列并联(平行)的子系统(生产单位). 假设每一个生产单位有着相同的 m 种投入和 g 种产出. 每个生产单位的投入(产出)总和组成了这个决策单元的总投入(产出). 这就构成了本文所要阐述的内部具有并联结构的决策单元, 如图 1 所示. 一个内部具有并联结构的决策单元 j , 它由 q 个独立的生产单位组成. $x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^q$ 分别表示每个独立生产单位的第 i 种投入的投入量, $y_{rj}^1, y_{rj}^2, \dots, y_{rj}^q$ 分别表示每个独立生产单位的第 r 种产销量. 每个生产单位的第 i 种投入的总和 $\sum_{p=1}^q x_{ij}^p$ 以及第 r 种产出的总和 $\sum_{p=1}^q y_{rj}^p$ 构成了决策单元的第 i 种投入和第 r 种产出. n 个上述的决策单元组成了一个复杂的大系统. 令 E_k 代表决策单元的有效率, 则决策单元的无效率 $1 - E_k$ 为 $1 - \sum_{i=1}^g u_r y_{rj}$, 于是第 j 个决策单元的效率评价问题可表示为:

$$\begin{aligned} \min & s_j \\ \text{s.t.} & s_j \geq 0 \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \\ & \sum_{r=1}^g u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + s_j = 0 \\ & \sum_{r=1}^g u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon, r = 1, 2, \dots, g, i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (2)$$

松弛变量 s_j 表示无效率得分. 图 1 的并联决策单元的技术效率得分可用如下模型 (3) 求解

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^g u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + s_j &= \sum_{r=1}^g u_r (y_{rj}^1 + y_{rj}^2 + \dots + y_{rj}^q) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^1 + x_{ij}^2 + \dots + x_{ij}^q) + s_j \\ &= \sum_{p=1}^q \left(\sum_{r=1}^g u_r y_{rj}^p - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^p \right) + s_j = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

x_{ij}^p 和 y_{rj}^p 分别表示 DMU_j 的第 p 个生产单位的投入和产出. 令 s_j^p 为第 p 个生产单位的松弛变量, 即无效率得分. 于是模型 (3) 的最后一个等式可表示为

$$\sum_{p=1}^q \left(\sum_{r=1}^g u_r y_{rj}^p - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^p + s_j^p \right) = 0 \quad (4)$$

进一步的可得出约束条件:

$$\sum_{r=1}^g u_r y_{rj}^p - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^p + s_j^p = 0, \quad p = 1, 2, \dots, q \quad (5)$$

由此可得到包含 p 个生产单位的第 j 个决策单元技术无效率的 DEA 测算模型为:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{p=1}^q s_j^p \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq 1 \\ & \quad \sum_{r=1}^g u_r y_{rj}^p - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^p + s_j^p = 0, p = 1, 2, \dots, q \\ & \quad \sum_{r=1}^g u_r y_{rj}^p - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^p \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6)$$

值得注意的是第 w 个生产单位的效率得分并不等于 $1 - s_k^w$, 原因是 $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^w \neq 1$, 要计算第 j 个决策单元的第 w 个生产单位的技术效率得分, 必须用 s_j^w 除以 $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^w$, 因此第 j 个决策单元的第 w 个生产单位的技术效率得分可表述为: $1 - s_j^w / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^w$. 并联单元的 DEA 模型与传统的 DEA 模型的最大区别在于, 传统 DEA 模型的约束条件只是对每个决策单元的约束, 而并联单元的 DEA 模型的约束则是对每个决策单元中的所有独立生产单位的约束之和. 因此模型 (6) 关于技术效率的测算精度不弱于模型 (2), 且效率得分不大于模型 (2).

2.2 并联决策单元的动态 DEA 模型

所谓的并联决策单元的动态 DEA 是在并联决策单元的 DEA 系统中加入时间向量, 其本质是一个三维的决策问题. 如果一个复杂系统包含 n 个如图 1 的并联决策单元, 每个决策单元又包含 q 个独立的生产单位, 每个生产单位使用同样的 m ($m = 1, 2, \dots, a, \dots, m$) 种投入物, 生产 g ($g = 1, 2, \dots, b, \dots, g$) 种产出, 则第 j 个决策单元的第 w 个生产单位在时点 t 的投入为 $x_{wj}^{(t)} = (x_{1wj}^{(t)} \cdots x_{iwj}^{(t)} \cdots x_{mwj}^{(t)})_{1 \times m}^T$, 第 j 个决策单元的总投入为 $X_j^{(t)} = \sum_{w=1}^q x_{wj}^{(t)}$. 第 j 个决策单元的第 w 个生产单位在时点 t 的产出为 $y_{wj}^{(t)} = (y_{1wj}^{(t)} \cdots y_{rwj}^{(t)} \cdots y_{gwj}^{(t)})_{1 \times g}^T$, 第 j 个决策单元的总产出为 $Y_j^{(t)} = \sum_{w=1}^q Y_{wj}^{(t)}$. 因此具有 n 个决策单元的复杂系统在第 t ($t = 1, 2, \dots, T$) 时段的投入向量 $X^{(t)}$ 和产出向量 $Y^{(t)}$ 可分别表示为:

$$\begin{aligned} X^{(t)} = (X^{t1}, X^{t2}, \dots, X^{tT}) &= \begin{pmatrix} X_{11}^{(t)} & X_{12}^{(t)} & \cdots & X_{1n}^{(t)} \\ X_{21}^{(t)} & X_{22}^{(t)} & \cdots & X_{2n}^{(t)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{q1}^{(t)} & X_{q2}^{(t)} & \cdots & X_{qn}^{(t)} \end{pmatrix}, \\ Y^{(t)} = (Y^{t1}, Y^{t2}, \dots, Y^{tT}) &= \begin{pmatrix} Y_{11}^{(t)} & Y_{12}^{(t)} & \cdots & Y_{1n}^{(t)} \\ Y_{21}^{(t)} & Y_{22}^{(t)} & \cdots & Y_{2n}^{(t)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{q1}^{(t)} & Y_{q2}^{(t)} & \cdots & Y_{qn}^{(t)} \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

2.2.1 决策单元的动态 DEA

定义时点 t 的生产可能性集合为:

$$P^t = \left\{ X^{(t)}, Y^{(t)} \mid Y^{(t)} \leq \sum_{j=1}^n u_j^{(t)} Y_j^{(t)}, X^{(t)} \leq \sum_{j=1}^n v_j^{(t)} X_j^{(t)}, u_j^{(t)} \geq 0, v_j^{(t)} \geq 0 \right\},$$

各个决策单元在各个时点的技术效率指数 $E_r^{(t)}$ 可通过下述模型求出, 即:

$$\begin{aligned} & \min E_r^{(t)} \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m v_j^t X_j^{(t)} \leq E_r^{(t)} X_r^{(t)} \\ & \quad \sum_{j=1}^g u_j^t Y_j^{(t)} \geq Y_r^{(t)}, j = 1, 2, \dots, n \\ & \quad u_j^t \geq 0, v_j^t \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (7)$$

每个决策单元在各个时点的效率构成了一个 T 维向量, 可以把该向量看作只有产出的新决策单元, 显然当决策单元在每个时期效率增加时, 其在整个时期的效率也相应的变大, 反之则相反. 由此, 由各个决策单元组成的新决策单元的效率评价是如下多目标的线性规划问题.

$$\begin{aligned} \max \quad & (Y_1, Y_2, \dots, Y_g) \\ \text{s.t.} \quad & Y \in \Theta \end{aligned}$$

Θ 为生产可能性集合 $\Theta = \{Y \leq \sum_{j=1}^n Y_j v_j | \sum_{j=1}^n v_j = 1\}$, 则 Y ($Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_g)$ 表示具有 g 种产出的产出向量) 为多目标线性规划最优解的充要条件是满足下述的线性规划:

$$\begin{aligned} \max \quad & \Gamma^T \cdot S_j = \eta_0 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n E_j^{(t)} v_j - S_j = E_0^{(t)} \\ & \sum_{j=1}^n v_j = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ & v_j \geq 0, S_j \geq 0 \end{aligned} \tag{8}$$

模型 (8) 中, 各个决策单元的效率 $E_j^{(t)} \leq 1, (t = 1, 2, \dots, T, j = 1, 2, \dots, n)$, $\Gamma = (1 \ 1 \ \dots \ 1)_{1 \times g}^T$, S_j 为松弛变量, 代表各个决策单元的技术效率与最优效率前沿面之间的距离, 因此根据 S_j 的大小可以进行动态综合效率的排序. η_0 的值为各年度 S_j 值之和, 可称之为动态综合效率评价指数, $\eta_0 = 0$ 表示该决策单元在动态生产前沿面上. η_0 值越大决策单元在整个时段的动态综合效率越低, 反之则相反.

2.2.2 决策单元的动态 DEA

定义时点 t 的第 w 个生产单位的生产可能性集合为:

$$P_w^t = \left\{ X_w^{(t)}, Y_w^{(t)} \mid Y_w^{(t)} \leq \sum_{j=1}^n \tau_{wj}^{(t)} y_{wj}^{(t)}, X_w^{(t)} \leq \sum_{j=1}^n \delta_{wj}^{(t)} x_{wj}^{(t)}, \tau_{wj}^{(t)} \geq 0, \delta_{wj}^{(t)} \geq 0 \right\},$$

则第 w 个生产单位在各个时点的技术效率指数 $e_r^{(t)}$ 可通过下述模型求出, 即:

$$\begin{aligned} \min \quad & e_r^{(t)} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \delta_{wj}^t x_{wj}^{(t)} \leq e_r^{(t)} X_{wr}^{(t)} \\ & \sum_{j=1}^n \tau_{wj}^{(t)} y_{wj}^{(t)} \geq Y_r^{(t)}, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ & \delta_{wj}^t \geq 0, \tau_{wj}^t \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{9}$$

假设第 j 个决策单元中第 w 个生产单位的效率为 $e_{wj}^{(t)} (t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, n), e_{wj}^{(t)} \leq 1$. 每个决策单元第 w 个生产单位的效率在各个时点的效率构成一个 T 维向量, 可以把该向量看作只有产出的新的生产单位. 于是, 由 $e_{wj}^{(t)}$ 组成的新生产单位的效率评价是如下的多目标线性规划问题:

$$\begin{aligned} \max \quad & (Y_{w1}, Y_{w2}, \dots, Y_{wg}) \\ \text{s.t.} \quad & Y_w \in \Phi \end{aligned}$$

生产可能性集合 $\Phi = \{Y_w \leq \sum_{j=1}^n Y_{wj} \tau_{wj} | \sum_{j=1}^n \tau_{wj} = 1\}$, 则 $Y_w = (Y_{w1}, Y_{w2}, \dots, Y_{wg})$ 为多目标线性规划最优解的充要条件是满足下述的线性规划:

$$\begin{aligned} \max \quad & \Gamma^T \cdot S_j^w = \mu_0 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n e_{wj}^{(t)} \tau_{wj} - S_j^w = e_{w0}^{(t)} \\ & \sum_{j=1}^n \tau_{wj} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ & \tau_{wj} \geq 0, S_j^w \geq 0 \end{aligned} \tag{10}$$

模型 (10) 中, S_j^w 为松弛变量, 它代表各个生产单位的技术效率与最优效率前沿面之间的距离, 因此根据 S_j^w 的大小可以进行动态综合效率的排序. μ_0 的值为各年度 S_j^w 值之和, 可称之为动态综合效率评价指数, $\mu_0 = 0$ 表示该生产单位在动态生产前沿面上. μ_0 值越大生产单位在整个时段的动态综合效率越低, 反之则相反.

3 中国的制造业生产效率: 基于模型的实例

3.1 生产单位、决策单元及投入、产出的界定

本文按照国家统计局行业分类标准, 把制造业分为 30 个子行业. 同时为了突出我国作为新兴市场国家其制造业发展的特点, 以及减少制造业系统内决策单元和生产单位的个数使我们的结果更加容易展现和阐述, 我们采用吴三忙、李善同^[11]的方法把全部制造业按照外向程度以及要素结构 (即各行业的劳动投入密集度情况) 分为了低外向度低劳动密集度、高外向度低劳动密集度、低外向度高劳动密集度、高外向度高劳动密集度等四类子行业. 具体而言, 各制造业的外向度的衡量公式为: $M_i = \frac{m_i/s_i}{m/s}$, 其中, m_i 为 i 行业出口交货值, s_i 为 i 行业销售产值, m 为全行业出口交货值, s 为全行业销售产值, 该指数越大表示该行业的外向度相对全行业的平均水平越高. 各制造业的劳动投入密度用劳动密度指数来衡量, 计算公式为: $I_i = \frac{l_i/v_i}{l/v}$, 其中 l_i 为 i 行业从业人数, v_i 为 i 行业增加值, l 为全行业从业人数, v 为全行业增加值, 该指数越大表示该行业的劳动密集度相对全行业的平均水平越高. 将外向度指数和劳动密集度指数都等于 1 作为分界点, 可以将制造业分为四种类型, 分类结果如表 1 所示.

表 1 制造业产业分类标准及结果

产业分类	行业名称
低外向度、低劳动密集度 ($M_i < 1, I_i < 1$)	饮料制造、烟草制品、石油加工、化学原料、医药制造业、 化学纤维制造业、黑色金属冶炼及压延加工、有色金属冶炼及压延加工、 交通运输设备、专用设备制造业、废弃资源和废旧材料回收加工
高外向度、低劳动密集度 ($M_i > 1, I_i < 1$)	电气机械、通信及电子设备、仪器仪表、通用设备制造业
低外向度、高劳动密集度 ($M_i < 1, I_i > 1$)	农副食品加工业、食品制造、纺织业、造纸业、 印刷业、非金属矿物制品、木材加工
高外向度、高劳动密集度 ($M_i > 1, I_i > 1$)	纺织服装鞋帽制造业、皮革毛皮、家具制造业、文体育、 橡胶制品业、塑料制品业、金属制品业、工艺品

同时本文按照国家“十一五”的区域经济规划方案, 把我国划分为八大经济区域, 以便考量不同区域内不同行业的生产绩效, 区域划分的具体结果如下: 东北地区 (辽宁、吉林、黑龙江); 北部沿海地区 (山东、河北、北京、天津); 西北地区 (甘肃、青海、宁夏、西藏、新疆); 黄河中游地区 (陕西、河南、山西、内蒙古); 西南地区 (广西、云南、贵州、四川、重庆); 长江中游地区 (湖南、湖北、江西、安徽); 东部沿海地区 (上海市和江苏省、浙江省); 南部沿海地区 (广东、福建、海南). 在选择行业的投入、产出指标时, 本文依据李春顶^[12]的做法用年度工业增加值表示行业的总产出. 用固定资产净值年平均余额表示当年资本投入, 用从业人员年平均人数表示当年劳动投入量. 在具体运用过程中, 我们对前两个数值进行了价格平减. 用以 2003 年为基期的工业品出厂价格指数对工业增加值进行了价格平减, 用以 2003 年为基期的固定资产投资价格指数对固定资产净值年平均余额进行了价格平减. 本文所考察的时段设定为整个“十一五”时期, 即 2006-2010 年, 其中 2010 年 11 月和 12 月两个月的统计数据我们通过以下方法推测. 首先, 我们分别计算了 2010 年前 10 个月与 2009 年前 10 个月相比上述三个指标的年度环比增长率 g_1 . 然后, 计算了 2009 年的 11 月份各项指标与 10 月份各项指标相比的环比增长率 g_2 , 以及 12 月份各项指标与 11 月份各项指标相比的环比增长率 g_3 . 最后, 我们分别用 $g_1 \times g_2$ 和 $g_1 \times g_3$ 作为 2010 年 11 月份和 2010 年 12 月份的各项指标的月度环比增长率, 在 2010 年 10 月份数据的基础上推算出了 2010 年 11 月和 2010 年 12 月的各项指标值. 采用同样的方法, 我们预测了 2010 年 11 月和 2010 年 12 月份的投入量. 在具体的效率评价过程中, 我们首先按照总体、分行业、分区域把我国制造业构造成了三个具有并联决策单元内部结构的复杂系统, 其一是制造业整体作为决策单元, 不同行业作为生产单位的复杂系统; 其二是不同类型的行业作为决策单元, 不同区域作为生产单位的复杂系统; 其三是不同区域作为决策单元, 不同产业作为生产单位的复杂系统. 然后, 我们分别对上述三个复杂系统进行了测试, 以求在整体上描述“十一五”期间我国不同类型制造业的生产效率变化的同时给出区域

之间的差别以及特点.

3.2 评价结果及含义

本文所用数据来源于《中国统计年鉴》和国家及各省统计局网站的月度数据发布. 把各单位、各年度的投入产出变量输入 lingo 程序, 首先, 计算得到了全国制造业总体及其分类行业的年度松弛变量 S^1, S^2, S^3, S^4 和 s^1, s^2, s^3, s^4 , 制造业总体及分类产业的动态 DEA 有效值 η^0 和 μ^0 , 以及各年度 DEA 有效值 E^1, E^2, E^3, E^4 和 e^1, e^2, e^3, e^4 , 具体结果见表 2.

表 2 制造业各分类行业基于并联决策单元动态 DEA 效率的评价结果

分类	各年松弛变量					动态 DEA 有效值		各年的 DEA 有效值				
制造业总体	0.511	0.300	0.355	0.423	0.325	1.914	0.489	0.700	0.645	0.577	0.675	
Industry1	0.148	0.104	0.097	0.112	0.095	1.396	0.852	0.896	0.903	0.888	0.905	
Industry2	0.139	0.064	0.091	0.097	0.089	2.286	0.861	0.936	0.909	0.903	0.911	
Industry3	0.127	0.076	0.095	0.109	0.087	1.882	0.873	0.924	0.905	0.891	0.913	
Industry4	0.097	0.056	0.072	0.105	0.054	1.971	0.903	0.944	0.928	0.895	0.946	

根据动态 DEA 理论, 对于一个 DMU 而言, 动态 DEA 有效值越小其效率越高, 反之则越低. 动态 DEA 有效值为 0 则 DMU 处于生产前沿面上. 表 2 显示, 2006-2008 年间我国制造业总体以及分类行业的动态 DEA 有效值均不为 0, 这说明我国制造业的生产效率并没有达到最优. 并联决策单元的动态 DEA 效率评价方法可以依据各行业的年度 DEA 有效值来判断它们在样本期间的效率改进状况. 以低外向度低劳动密集度行业为例, 2006-2010 年间其年度 DEA 有效值分别为: 0.852、0.896、0.903、0.888 和 0.905, 根据 DEA 方法的投影理论, 如果决策单元处于生产前沿面上, 各年度在产出保持不变的情况下, 可以分别减少投入 14.8%、10.4%、9.7%、11.2% 和 9.50%, 进一步可认为该行业年度平均效率改进为: $[(14.8\% - 10.4\%)/14.8\% + (10.4\% - 9.7\%)/10.4\% + (9.7\% - 11.2\%)/9.7\% + (11.2\% - 9.5\%)/11.2\%]/4 = 12.06\%$, 这意味着在 2006-2010 四个年度里我国低外向度低劳动密集度的制造行业距离有效前沿面的距离平均比上一年拉近 12.06%, 同理我们还可以考量不同区域内不同行业的效率改进情况. 基于表 2 的测算结果显示, 我国制造业在“十一五”期间其生产效率年平均向有效前沿面拉近 8.9%. 分行业来看, 低外向度低劳动密集度行业效率提升最快, 年平均向有效前沿面拉近 12.06%; 其次是低外向度高劳动密集度行业年平均向有效前沿面拉近 6.8%; 再次是高外向度高劳动密集度行业年平均向有效前沿面拉近 5.48%, 排在最后的是高外向度低劳动密集度行业年平均向有效前沿面拉近 4.47%. 以上结果反映了, 我国制造业在“十一五”期间总体效率的改进并不是非常明显. 低外向度行业生产效率的快速提升反映出了国内市场需求迅速壮大的迅速壮大, 而高外向度产业的效率改进排名落后, 说明在改革开放 30 年里支撑我国经济高增长的依靠廉价劳动力发展起来高外向度产业已经显现出了发展的瓶颈; 而代表一国工业发展水平和国际竞争力的高外向度低劳动密集型行业的效率改进排名最后, 说明了虽然我国在“十一五”期间大力倡导提升制造业自主创新能力和科技含量, 但总体效果并不明显, 电气机械、通信及电子设备、通用设备等行业依然是我国制造业发展的“短板”.

以不同类型的行业作为决策单元, 不同经济区域作为生产单位的生产效率测算结果见表 3. 以不同类型的行业作为决策单元, 不同经济区域作为生产单位的生产效率测算结果见表 3. 表 3 显示, “十一五”期间没有一个行业一个区域的动态 DEA 有效值为 0, 这表明即使在细分行业的基础上进行区域的细分, 我国制造业也没有达到生产效率最优. 由于各行业的年度松弛变量 S 等于各行业各区域年度松弛变量 s 之和, 于是我们由此可以观察到年度各行业内部按区域划分的动态效率, 表 3 的结果显示东部沿海地区、南部沿海地区以及北部沿海地区等发达地区的四个行业类型的绝对生产效率基本上均处于领先地位. 但中西部地区在分类行业的绝对效率上并没有一致的规律, 这也反映了我国中西部制造业的发展受自然资源的禀赋限制较大, 区域内部的各行业生产有效率和无效率基本上来源于自然禀赋的富足和匮乏. 以不同类型的行业作为决策单元, 不同区域作为生产单位进行的测算结果和以制造业整体作为决策单元, 不同行业作为生产单位的测算结果相同, 均显示出行业效率改进排名由高到低为: 低外向度低劳动密集度行业, 低外向度高劳动密集度行业, 高外向度高劳动密集度行业, 高外向度低劳动密集度行业.

表 3 制造业各分类行业基于并联决策单元动态 DEA 效率的评价结果

分类	各年松弛变量					动态 DEA 有效值		各年的 DEA 有效值				
Industry1	0.468	0.35	0.239	0.325	0.267	1.649	0.532	0.650	0.761	0.675	0.733	
东北地区	0.043	0.021	0.017	0.031	0.014	0.993	0.957	0.979	0.983	0.969	0.986	
北部沿海地区	0.096	0.065	0.038	0.054	0.042	0.864	0.904	0.935	0.962	0.946	0.958	
西北地区	0.023	0.020	0.013	0.019	0.016	1.765	0.977	0.98	0.987	0.981	0.984	
黄河中游地区	0.092	0.086	0.067	0.092	0.076	1.798	0.908	0.914	0.933	0.908	0.924	
西南地区	0.049	0.023	0.012	0.008	0.017	1.696	0.951	0.977	0.988	0.992	0.983	
长江中游地区	0.039	0.035	0.017	0.028	0.021	1.610	0.961	0.965	0.983	0.972	0.979	
东部沿海地区	0.049	0.042	0.026	0.033	0.029	1.038	0.951	0.958	0.974	0.967	0.971	
南部沿海地区	0.077	0.058	0.049	0.060	0.052	1.115	0.923	0.942	0.951	0.940	0.948	
Industry2	0.415	0.59	0.441	0.597	0.198	2.241	0.585	0.410	0.559	0.403	0.802	
东北地区	0.040	0.079	0.060	0.065	0.009	1.827	0.960	0.921	0.940	0.935	0.991	
北部沿海地区	0.049	0.073	0.074	0.087	0.011	1.716	0.951	0.927	0.926	0.913	0.989	
西北地区	0.054	0.094	0.075	0.088	0.022	2.195	0.946	0.906	0.925	0.912	0.978	
黄河中游地区	0.058	0.087	0.052	0.091	0.043	2.455	0.942	0.913	0.948	0.909	0.957	
西南地区	0.058	0.062	0.062	0.083	0.046	2.039	0.942	0.938	0.938	0.917	0.954	
长江中游地区	0.046	0.068	0.048	0.069	0.024	2.392	0.954	0.932	0.952	0.931	0.976	
东部沿海地区	0.042	0.043	0.031	0.049	0.019	1.267	0.958	0.957	0.969	0.951	0.981	
南部沿海地区	0.068	0.084	0.039	0.065	0.024	1.589	0.932	0.916	0.961	0.935	0.976	
Industry3	0.483	0.429	0.263	0.399	0.285	1.859	0.517	0.571	0.737	0.601	0.715	
东北地区	0.049	0.047	0.035	0.060	0.029	1.912	0.951	0.953	0.965	0.940	0.971	
北部沿海地区	0.038	0.032	0.017	0.035	0.014	1.728	0.962	0.968	0.983	0.965	0.986	
西北地区	0.074	0.063	0.033	0.057	0.049	1.964	0.926	0.937	0.967	0.943	0.951	
黄河中游地区	0.035	0.027	0.013	0.024	0.011	1.190	0.965	0.973	0.987	0.976	0.989	
西南地区	0.046	0.037	0.029	0.034	0.029	1.308	0.954	0.963	0.971	0.966	0.971	
长江中游地区	0.054	0.064	0.033	0.048	0.029	1.532	0.946	0.936	0.967	0.952	0.971	
东部沿海地区	0.077	0.043	0.029	0.038	0.042	1.383	0.923	0.957	0.971	0.962	0.958	
南部沿海地区	0.11	0.116	0.074	0.103	0.082	1.668	0.89	0.884	0.926	0.897	0.918	
Industry4	0.365	0.47	0.398	0.574	0.138	1.945	0.635	0.53	0.602	0.426	0.862	
东北地区	0.068	0.068	0.039	0.087	0.012	1.905	0.932	0.932	0.961	0.913	0.988	
北部沿海地区	0.029	0.046	0.038	0.046	0.014	1.716	0.971	0.954	0.962	0.954	0.986	
西北地区	0.044	0.059	0.075	0.068	0.029	1.968	0.956	0.941	0.925	0.932	0.971	
黄河中游地区	0.039	0.057	0.064	0.073	0.009	1.569	0.961	0.943	0.936	0.927	0.991	
西南地区	0.042	0.038	0.031	0.047	0.023	0.769	0.958	0.962	0.969	0.953	0.977	
长江中游地区	0.062	0.064	0.052	0.074	0.035	0.809	0.938	0.936	0.948	0.926	0.965	
东部沿海地区	0.041	0.062	0.06	0.107	0.007	2.363	0.959	0.938	0.94	0.893	0.993	
南部沿海地区	0.040	0.076	0.039	0.072	0.009	2.142	0.960	0.924	0.961	0.928	0.991	

表 4 各行业按区域划分的动态效率排名

产业	排名							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Industry 1	北部沿海	东北地区	东部沿海	南部沿海	长江中游	西南地区	西北地区	黄河中游
Industry 2	东部沿海	南部沿海	北部沿海	东北地区	西南地区	西北地区	长江中游	黄河中游
Industry 3	黄河中游	西南地区	东部沿海	长江中游	北部沿海	南部沿海	东北地区	西北地区
Industry 4	西南地区	长江中游	黄河中游	北部沿海	东北地区	西北沿海	东部沿海	南部沿海

此外,如同上文所述,依据各区域不同行业的年度松弛变量 S 的变化可以判断它们在样本期间的效率改进状况.表 4 给出了不同行业的区域效率改进排名,从具体结果中可以看出:其一,低外向度低劳动密集度和高外向度低劳动密集度两个类型行业的效率改进基本遵循着由沿海地区 - 中西部地区,由发达地区 - 次发达地区依次递减的态势.这也反映出了国内发达地区在科技含量要求较高的低劳动密集型行业上较其它地

区占据优势. 而在高劳动密集型行业里西南地区、长江中游地区的生产效率改进较其它地区更为明显, 这说明了近年来靠近东部沿海地区的长江中游地区以及靠近南部沿海的地区的西南地区依托自身的劳动力成本优势积极的承接了来自东南沿海地区的高劳动密集型产业的转移. 从外向程度的视角来看, 沿海发达地区的科技含量较高的低劳动密集型高外向度行业的效率增进速度快于其它地区, 而科技含量较低的高劳动密集型高外向度行业则逊于西南地区、长江中游地区等次发达地区.

如同上文考虑不同行业内不同区域的生产效率改进情况, 我们还可以考量不同区域内不同行业的生产效率改进状况, (此种情形, 即把某一地区作为一个决策单元, 区域内不同行业作为一个生产单位. 由于篇幅限制, 文中没有具体列出测算的直接结果, 有兴趣的读者可向笔者索取.) 根据不同区域以及不同区域内不同行业的年度 DEA 有效值, 我们对不同区域及区域内各类行业的效率改进速度进行了排名, 结果见表 5.

表 5 各区域及其内部按行业划分的效率年度改进排名

区域	排名				
	区域排名	区域内部各行业年度环比增长速度排名			
东北地区	4	Industry 1	Industry 4	Industry 2	Industry 3
北部沿海地区	2	Industry 2	Industry 1	Industry 4	Industry 3
西北地区	7	Industry 1	Industry 4	Industry 3	Industry 2
黄河中游地区	8	Industry 3	Industry 4	Industry 1	Industry 2
西南地区	3	Industry 4	Industry 3	Industry 1	Industry 2
长江中游地区	6	Industry 4	Industry 3	Industry 1	Industry 2
东部沿海地区	1	Industry 1	Industry 2	Industry 4	Industry 3
南部沿海地区	5	Industry 3	Industry 2	Industry 4	Industry 1

从表 5 的结果中我们可以看到: 低外向度低劳动密集度行业在东北地区、西北地区、东南沿海地区以及北部沿海地区内部排名靠前, 而高外向度低劳动密集度行业则在西北地区、西南地区等四个地区内排名最后, 这些也进一步的印证了上文的结论即低外向度低劳动密集度行业是“十一五”期间效率改进最快的行业, 而高外向度低劳动密集度行业则是效率改进最慢的行业. 此外表 5 的结论也反映出了西南地区、长江中游地区以及黄河中游地区的高外向度高劳动密集度行业在“十一五”期间生产效率的快速增长. 从区域整体排名中我们可以看到, 东部沿海地区和北部沿海地区排名靠前, 而西北地区、黄河中游地区排名比较靠后. 值得注意的是南部沿海地区的排名仅列第五位, 高外向度产业一直以来都是南部沿海地区的制造业支柱, 但近年来由于劳动力成本的增加以及全球金融危机的影响使得这些行业的发展较为缓慢, 一些劳动密集型行业已向中西部地区转移, 而南部沿海地区的自然禀赋优势相比其它地区又不明显, 所以造成了该地区的制造业在“十一五”期间生产效率的增长排名较为靠后, 南部沿海地区一边面临着海外市场的竞争压力, 一边又面临着国内中西部地区的竞争压力, 因此该区域制造业的发展面临着困境. 此外, 西南地区在区域整体排名中进入前三, 具体来看依托其劳动力成本的优势西南地区劳动密集型行业的生产效率增长较快, 而其自然禀赋以及旧有的工业基础使得其低劳动密集度产业在“十一五”期间生产效率的也得到了有效提升.

4 结论

本文提出了具有并联决策单元内部结构的复杂生产系统的动态 DEA 效率评价方法, 并以我国制造业为例, 具体地演示了此种评价方法. 与传统的 DEA 效率评价模型相比并联决策单元的动态 DEA 模型具有以下几方面的优势: 其一, 突破了传统 DEA 模型无视生产系统内部组织结构的限制, 传统 DEA 模型的约束条件只是对每个决策单元的约束, 而并联单元的 DEA 模型的约束则是对每个决策单元中所有独立生产单位的约束之和. 其二, 加入时间维度的模型, 可以在一个较长时期内考量系统的生产效率及内部生产单位的效率变动, 从而有着更为现实的应用基础. 总体来看, 基于并联决策单元动态 DEA 效率评价方法的技术效率测算精度要强于传统的 DEA 方法, 而效率得分要小于传统的 DEA 效率评价方法. 基于不同经济区域制造业的应用表明: “十一五”期间没有一个行业或地区的动态效率指数为 0, 这说明我国制造业的生产效率并没有达到最优; 低外向度产业的生产效率增长快于高外向度产业, 低劳动密集度行业的生产效率改进快于高劳动密集度的行业; 高外向度低劳动密集度行业依然是我国制造业效率改进的“短板”; 劳动密集型产业向中西部转移造成了南部沿海地区制造业生产效率改进的滞后和西南地区劳动密集型行业的发展.

具有并联决策单元内部结构的复杂生产系统的动态 DEA 效率评价方法,突破了传统 DEA 模型无视生产系统内部组织结构的限制,并且可以在一个较长时期内考量系统的生产效率及内部生产单位的效率变动,从而有着更为现实的应用基础. 本文虽然推导了此种方法并给出了具体的算例,然而并没有对决策单元内部生产单位之间的关系(是竞争还是合作或是两者共存)进行进一步的演绎. 此外,现实情况中决策单元内部生产单位之间的关系并非都是并联的,也可能是串联或是并联与串联共存的,这些更为复杂情形的存在使得本文的应用存在着不足,对于这些问题的解决也需要学者们的继续关注.

参考文献

- [1] Yang Y S, Ma B J, Masayuki K. Efficiency measuring DEA model for production system with k independent subsystems[J]. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 2000, 43(3): 343-354.
- [2] Fare R, Grosskopf S. Network DEA[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2000, 34(1): 35-491.
- [3] Lewis H F, Sexton T R. Network DEA: Efficiency analysis of organizations with complex internal structure[J]. *Computers and Operations Research*, 2004, 31(8): 1365-1410.
- [4] Chen Y, Liang L, Yang F. A DEA game model approach to supply chain efficiency[J]. *Annals of Operations Research*, 2006, 145(1): 5-131.
- [5] Liang L, Yang F, Cook W D, et al. DEA models for supply chain efficiency evaluation[J]. *Annals of Operations Research*, 2006, 145(1): 35-491.
- [6] 毕功兵, 梁樾, 杨锋. 两阶段生产系统的 DEA 效率评价模型 [J]. *中国管理科学*, 2007, 15(2): 92-96.
Bi G B, Liang L, Yang F. A DEA-based efficiency-measuring model for a two-stage production system[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2007, 15(2): 92-96.
- [7] 毕功兵, 梁樾, 杨锋. 资源约束型两阶段生产系统的 DEA 效率评价模型 [J]. *中国管理科学*, 2009, 17(2): 71-75.
Bi G B, Liang L, Yang F. A DEA-based efficiency-measuring model for two-stage production systems with constrained resources[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2009, 17(2): 71-75.
- [8] 段永瑞, 田澎, 张卫平. 具有独立子系统的 DEA 模型及其应用 [J]. *管理工程学报*, 2006, 20(1): 27-31.
Duan Y R, Tian P, Zhang W P. DEA models with independent subsystems and their application[J]. *Journal of Engineering Management*, 2006, 20(1): 27-31.
- [9] Kao C. Efficiency measurement for parallel production systems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 196(8): 1107-1112.
- [10] 杨锋, 梁樾, 凌六一, 等. 并联结构决策单元的 DEA 效率评价研究 [J]. *中国管理科学*, 2009, 17(6): 157-162.
Yang F, Liang L, Ling L Y, et al. DEA efficiency evaluating models for DMUs with parallel structure[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2009, 17(6): 157-162.
- [11] 吴三忙, 李善同. 中国制造业地理集聚的时空演变特征分析: 1980-2008[J]. *财经研究*, 2010, 36(10): 4-14.
Wu S M, Li S T. Empirical analysis of space-time evolution of geographic agglomeration of Chinese manufacturing based on the data from 1980 to 2008[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2010, 36(10): 4-14.
- [12] 李春顶. 中国制造业行业生产率的变动及影响因素 —— 基于 DEA 技术的 1998-2007 年行业面板数据分析 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2009(12): 58-69.
Li C D. Chinese manufactory industries' productivity change and influence factor[J]. *The Journal of Quantitative and Technical Economics*, 2009(12): 58-69.