

文章编号: 1000-5862(2017)05-0531-07

# 基于 DEA-Malmquist 的 工业绿色全要素生产率测算及分析 ——以湖北省为例

张 虎 宫舒文

(中南财经政法大学统计与数学学院 湖北 武汉 430073)

摘要: 采用 DEA 模型的 Malmquist 指数方法测度了 2000—2013 年湖北省工业绿色全要素生产率. 结果表明: 湖北省工业绿色全要素生产率处于缓慢增长状态, 其增长率约为 6.7%, 且主要是工业绿色技术进步推动. 然后选取 2000—2013 年的统计数据, 基于 VAR 模型运用广义脉冲响应函数和方差分解分析了湖北省工业绿色 TFP 的主要影响因素. 结果表明: 城市化率对工业绿色 TFP 增长短期具有显著作用, 长期趋于稳定; 产业结构及科研创新对于工业绿色 TFP 增长短期促进作用较弱, 但从长期来看二者是工业绿色发展和转型的重要驱动力.

关键词: DEA-Malmquist; 工业绿色 TFP; 向量自回归

中图分类号: F 224 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.05.16

## 0 引言

十八届五中全会提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念, 工业发展同时也更加注重绿色发展战略. 工业经济发展一直是湖北省经济社会的重要组成部分, 工业占整个国民经济的 40% 左右, 近几年我国经济发展逐渐进入“新常态”, 经济增长从高速增长转为中高速增长, 在这种背景下同样对工业经济发展提出了挑战, 如何在新常态的经济形势下提升和改善工业绿色发展至关重要. 然而, 工业发展是国民经济的重要推动力, 同时也是资源消耗高、环境影响大的产业, 这种高投入、高排放、低产出的粗放型增长模式在一定程度上制约了工业经济的可持续发展. 因此工业绿色发展是学术研究和政策制定的重要课题. 所谓工业绿色发展是指将工业发展的规模和速度限定在资源承载和环境容量的承受范围之内, 最大化资源利用效率, 使资源和环境与工业发展之间达到和谐统一, 最终实现工业乃至整个国民经济的可持续发展<sup>[1]</sup>. 工业全要素生产率(Total Factor Productivity, TFP)作为分析工业经济增长源泉的重要工具, 体现了一个经济体的

工业经济增长方式和其能否实现可持续发展的重要指标, 对于其研究日益完善<sup>[2-3]</sup>, 在新常态经济的今天研究工业绿色全要素生产率具有更重要的现实意义<sup>[4-5]</sup>. 基于此, 本文主要解决 2 个问题: 如何测算工业绿色全要素生产率及工业绿色全要素生产率有哪些影响因素. 围绕这 2 个问题我国部分学者已经进行了研究和探索.

工业绿色全要素生产率作为 TFP 的一个重要分支, 其方法大致相同. 对于全要素生产率的研究从对象和方法上已经比较成熟, 一般研究的经济体主要涉及宏观和微观 2 个层面, 但所用的测度方法却大不相同. 在微观企业层面, 鲁晓东等<sup>[6]</sup>对工业企业微观数据利用索洛残差法、OP 及 LP 测算了 1999—2007 工业企业全要素生产率; 杨汝岱<sup>[7]</sup>同样利用 OP 和 LP 对制造业企业微观数据进行了研究. 然而, 对于宏观层面, 比如经济部门或者特定行业的总量, 全要素生产率的测算方法差异较大, 目前相关研究使用最多的是随机前沿面法(SFA)和数据包络分析法(DEA) 2 种. 王志刚等<sup>[8]</sup>采用随机前沿面方法对改革开放以来中国全要素生产率进行了测算, 得出全要素生产率增长率主要由技术进步率决定; 万兴<sup>[9]</sup>、全炯振<sup>[10]</sup>均采用 SFA 分析方法分别测算

收稿日期: 2017-01-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(2015B1303)和湖北省统计科研计划(ETK16-10)资助项目.

作者简介: 张 虎(1963-)男, 湖北随州人, 教授, 博士生导师, 主要从事金融计量方面的研究. E-mail: zhh11497@sina.com

了制造业和农业的全要素生产率.对于数据包络分析方法使用亦是如此,刘秉镰等<sup>[11]</sup>采用基于 DEA 模型的 Malmquist 指数方法测算了 1990—2006 年中国全要素生产率;李丹<sup>[12]</sup>采用同样的方法分别测算了我国制造业及农业的全要素生产率.而魏下海等<sup>[13]</sup>采用省级面板数据,对随机前沿面和数据包络分析测算的经济全要素生产率进行了对比,结果发现 2 者差别不大,但数据包络分析的结果与中国各地区经济发展更加契合.由此发现不同 TFP 测算方法适用于不同场合,本文在研究工业绿色 TFP 时沿用 DEA 方法进行测算.

对于工业绿色 TFP 的测算只是能够清楚了解工业行业发展的整体情况,但是要了解工业绿色转型的驱动力以及如何真正的推动工业绿色转型,就需要采用科学的方法对其影响因素进行分析.一些学者由于研究角度和对象的不同而得到了不同的工业绿色 TFP 影响因素.万伦来等<sup>[14]</sup>发现 R&D 对工业绿色 TFP 的提高具有显著作用;李玲<sup>[15]</sup>、李斌等<sup>[16]</sup>发现环境规制是工业绿色 TFP 提高的重要门槛;王兵等<sup>[17]</sup>得出城镇化发展能够显著提升绿色发展效率;彭星等<sup>[18]</sup>通过研究我国工业经济增长方式,发现贸易开放对我国全要素生产率增长具有积极的影响.然而,从工业绿色 TFP 的影响因素分析来看,国内学者大多采用的是静态面板分析方法.根据已有文献并结合目前国内经济形势和湖北省发展状况,本文采用动态 VAR 模型探究城市化率、产业结构及科技创新对湖北省工业绿色发展效率的影响.

## 1 工业绿色全要素生产率的测算

### 1.1 研究方法及评价体系

已经阐述了随机前沿分析(SFA)和数据包络分析(DEA)2种方法在宏观层面对于测算工业绿色全要素生产率的联系与区别,因此本文采用 A. Charnes 等<sup>[19]</sup>提出的 DEA 模型的 Malmquist 指数方法对工业绿色全要素生产率进行测算.按照规模报酬是否变化分为规模报酬不变的 CCR 和规模报酬变化的 BCC 2 种基本模型.一般 VRS-DEA 的 CCR 模型为

$$T_{CCR} = \left\{ (X, Y) \mid X \geq \sum_{i=1}^n \lambda_i X_i, Y \leq \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \right\}. \quad (1)$$

目前广泛使用的 Malmquist 生产率指数是基于 DEA 模型提出的,它的核心思想是使用距离函数的比率来计算投入产出效率. R. Fare 等<sup>[20]</sup>将 DEA 与 Malmquist 结合,将 TFP 指数分解成技术效率和技术进步变动.与传统的 DEA 模型相比, Malmquist 指数法将技术进步进行了剥离<sup>[21]</sup>.其计算公式为

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \cdot \left\{ \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \cdot \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

其中 Malmquist 指数分解为技术效率的变化和技术进步的变化. $x^t, x^{t+1}$  分别表示时期  $t$  和时期  $t+1$  的工业投入向量; $y^t, y^{t+1}$  分别表示时期  $t$  和时期  $t+1$  的工业产出向量. $D(x^t, y^t), D(x^{t+1}, y^{t+1})$  分别表示时期  $t$  和时期  $t+1$  的经济体到技术前沿的距离.(2) 式可以计算出 Malmquist TFP 指数.

把湖北省 2000 以来每年的工业经济发展状况看作是独立的决策单元(DMU),采用 DEA-Malmquist 时序方法测算湖北省各年度的工业绿色全要素生产率.对于湖北省工业绿色 TFP 的测算遵循大多数已有文献,计算过程中所涉及的数据均来自于《湖北省统计年鉴》,测算过程中涉及的产出和投入变量解释如下:

1) 选取湖北省的工业增加值作为工业发展的产出指标,为了统一标准,使用工业增加值指数进行平减,得到以 2000 年为基期的工业增加值的不变价格;

2) 绿色 TFP 需要考虑到经济、环境与资源的和谐统一,因此评价指标的选取既要考虑到经济要素投入,又要兼顾到环境及资源的投入.借鉴相关学者的研究,能源投入用工业能源消耗总量表示;环境污染用工业废水排放量、工业废气排放量及工业固体废物排放 3 个指标来衡量.根据传统的 TFP 指标并借鉴该方法,将环境污染这一“非合意产出”与资源消耗作为投入项.

工业绿色全要素生产率的评价指标体系如表 1 所示.

### 1.2 测算结果分析

本文利用 DEAP2.1 软件对湖北省 2000—2013 年工业绿色 TFP 和传统 TFP 进行了计算,并对工业绿色全要素生产率进行了解.表 2 展示了湖北省 2000—2013 年工业绿色全要素生产率及其分解情况.

表 1 湖北省工业绿色全要素生产率评价体系

变量		指标
投入变量	人力投入	工业企业职工人数/万人
	资本投入	工业固定资产投资/万元
	能源投入	工业能源消耗总量/万吨标准煤
	环境投入	工业废水排放量/万吨 工业废气排放量/亿 Nm <sup>3</sup> 工业固体废物排放/万吨
产出变量	经济产出	工业总产值不变价格/亿元

表 2 湖北省 2000—2013 年工业绿色全要素生产率指数及其分解

年份	工业绿色 TFP	工业绿色 techch	工业绿色 effch	工业传统 TFP	绿色 TFP 变动
2000	1.102	1.076	1.024	1.124	0.102
2001	1.040	1.040	1.000	1.072	0.040
2002	0.780	0.780	1.000	0.780	-0.220
2003	1.200	1.070	1.121	1.537	0.120
2004	1.090	1.049	1.039	1.086	0.090
2005	1.115	1.131	0.986	1.107	0.115
2006	1.130	1.122	1.007	1.078	0.130
2007	1.089	1.089	1.000	1.003	0.089
2008	1.041	0.980	1.062	1.017	0.041
2009	1.100	1.051	1.047	1.221	0.100
2010	1.013	1.010	1.003	1.258	0.013
2011	1.169	1.169	1.000	1.058	0.169
2012	1.049	1.037	1.012	0.970	0.049
2013	1.014	1.006	1.008	1.001	0.014
平均	1.067	1.049	1.017	1.082	0.067

注:根据 DEA-Malmquise 指数计算知工业绿色 TFP = 工业绿色 techch × 工业绿色 effch,其中工业绿色 techch 代表工业绿色技术进步,工业绿色 effch 代表工业绿色技术效率。

从表 2 的结果可以看出,无论是工业绿色 TFP 还是传统 TFP 计算的 Malmquist 指数均大约为 1,这表明湖北省工业 TFP 整体处于增长的态势,但是增长的幅度并不大;从表 2 还可以看出工业 TFP 处于波动状态,近几年工业绿色 TFP 增长率有明显下降趋势,资本和人力投入量起重要作用,工业经济的发展仍主要依赖要素驱动。从增长率来看,绿色 TFP 的平均增长水平为 6.7%,而在不考虑资源和环境约束下的传统 TFP 为 8.2%,高于绿色 TFP。这个结果与大多数学者的研究结果是一致的<sup>[22]</sup>。这说明在不考虑环境、资源约束的情况下,工业 TFP 并不能很好地反映其对工业经济的拉动作用,结果会被高估。从工业绿色 TFP 的增长来源的分解来看,工业绿色 TFP 的变动和增长主要来自于工业绿色的技术进步,其贡献水平达到 4.9%,其中有些年份也表现为技术倒退的现象,2002 年的技术进步指数只有 0.78。因此在发展工业绿色转型的过程中,应该从传统的要素投资驱动向技术驱动转变,注重工业绿色

TFP 的提升。

## 2 工业绿色 TFP 的影响因素分析

### 2.1 模型设定与指标说明

传统的回归方法存在 2 个缺陷:1) 传统的回归分析是一种静态的线性回归,并不能很好地分析变量之间的动态关系;2) 简单回归分析中的解释变量都是严格外生的,较难解决内生性带来的参数估计问题。因而采用 VAR 模型来研究工业绿色全要素生产率的影响因素,这样能够将研究变量看成一个内在系统来处理,解决内生性带来的估计误差。另一方面,VAR 模型将系统内变量的滞后项引入方程内,模型不需要过于依赖严格的经济理论,在很大程度上可以去除不必要的控制变量,这样一个较小规模的 VAR 模型就能缓解大规模的联立方程构建带来的估计误差。本文构建的向量自回归(Vector Autoregression,VAR)模型为

$$y_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j y_{t-j} + f_t + u_t,$$

其中  $y_t = [T_{FPt}, U_{RBt}, I_{St}, R_{Dt}]$  是一个包含 4 个变量的向量  $t$  代表时期  $j$  表示滞后期  $u_t$  表示随机扰动项. 具体而言, 考虑到本文主要分析城市化率、产业结构及科技创新对于湖北省工业绿色发展效率的影响, 所以解释变量为城市化率 ( $U_{RB}$ )、产业结构 ( $I_S$ )、科技创新 ( $R_D$ ) 及其滞后项、工业绿色 TFP 的滞后项; 解释变量为绿色全要素生产率 ( $T_{FP}$ ) 具体计量模型为

$$T_{FPt} = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i T_{FPt-i} + \sum_{i=1}^p \delta_i I_{St-i} + \sum_{i=1}^p \varphi_i U_{RBt-i} + \sum_{i=1}^p \lambda_i R_{Dt-i} \varepsilon_t.$$

本文以湖北省为研究对象, 运用 VAR 模型分析城市化率、产业结构、科技创新对工业经济发展质量和发展速度的影响. 根据湖北省统计局数据的可得

性、统计口径一致性和可靠性原则, 选取 2000—2013 年的时序数据进行分析和研究. 为了更加全面地反映工业发展状况, 本文测算了湖北省工业经济绿色发展效率, 因此采用超效率 DEA 方法测算得出的绿色发展效率值代表, 用  $T_{FP}$  表示. 通常以“城镇人口占城市总人口的比例”衡量城市化率 ( $U_{RB}$ ). 为了较好地反映产业升级与优化的变动, 采用第 3 产业增加值与名义 GDP 的比值来反映湖北省的产业结构 ( $I_S$ ). 由于并不是所有的工业企业都具有科技活动, 为了保持数据的一致性和较好地反映工业部门的科技活动, 采用大中型企业的研发和发展经费支出与工业增加值的比值来衡量工业部门的科技创新能力, 用  $R_D$  表示. 表 3 对上述指标进行了简单的统计性描述.

表 3 变量统计性描述

变量	含义	平均值	最大值	最小值	标准误差
工业绿色 TFP ( $T_{FP}$ )	绿色全要素生产率	1.062	1.200	0.780	0.097
城市化率 ( $U_{RB}$ )	城镇常住人口/总人口	0.465	0.557	0.402	0.052
产业结构 ( $I_S$ )	第 3 产业产值/名义 GDP	0.401	0.426	0.369	0.017
科研创新 ( $R_D$ )	研发与发展经费支出/工业增加值	0.017	0.027	0.010	0.006

2.2 单位根及协整检验

经济时间序列的数据往往是非平稳的. 如果基于稳定假设对非平稳时间序列进行回归, 可能会产生伪回归的问题, 因此在构建模型之前需要进行单

位根检验. 选用 ADF 单位根检验方法对工业绿色 TFP、城市化率、产业结构及科研创新变量的时间序列进行平稳性检验, 检验结果统计如表 4 所示.

表 4 ADF 单位根检验

变量	ADF 检验值	1% 临界值	5% 临界值	10% 临界值	P 值	结论
$T_{FP}$	-0.029 9	-2.771 9	-1.974 0	-1.602 9	0.652 7	不平稳
$U_{RB}$	-0.963 0	-4.800 0	-3.791 2	-3.342 3	0.916 3	不平稳
$I_S$	-2.812 8	-4.886 4	-3.828 9	-3.363 0	0.218 2	不平稳
$R_D$	-2.558 2	-4.800 0	-3.791 2	-3.342 3	0.300 5	不平稳
$D(T_{FP})$	-6.397 7	-4.057 9	-3.119 9	-2.701 1	0.000 2	平稳
$D(U_{RB})$	-3.281 7	-4.057 9	-3.119 9	-2.701 1	0.062 4	平稳
$D(I_S)$	-2.420 3	-2.755 0	-1.971 0	-1.603 7	0.020 1	平稳
$D(R_D)$	-4.297 5	-4.057 9	-3.120 0	-2.701 1	0.006 6	平稳

表 4 的结果显示各个序列在 1%、5%、10% 的显著性水平下都是非平稳的, 但 1 阶差分后各个序列都是平稳的, 即各个序列是  $I(1)$  单整序列, 符合

协整的条件. 在进行协整检验之前, 使用滞后长度准则来确定建立 VAR 模型的最佳滞后期是 2. 在此基础上, 采用 Johansen 检验, 检验结果如表 5 所示.

表 5 Johansen 协整性检验

协整变量个数	特征值	似然比统计量	显著性水平 5% 的临界值	P 值
无	0.998 18	114.107 20	47.856 13	0.000 0
至多 1 个	0.669 87	32.093 44	29.797 07	0.026 7
至多 2 个	0.639 86	17.685 90	15.494 71	0.023 0
至多 3 个	0.287 66	4.409 58	3.841 47	0.035 7

表 5 给出了无约束情形下的协整秩检验结果, 检验结果表明在 5% 显著水平下存在 4 个协整关

系, 即 4 者之间具有同样的变化趋势, 所以城市化率、产业结构及科技创新与工业绿色 TFP 存在长期

均衡的关系.

### 2.3 脉冲响应函数及方差分解

在协整的基础上构建了一个 VAR(2) 的模型, 由于 VAR 模型自身的参数估计过于复杂, 且 VAR 模型在经济分析中并不着重经济变量数值回归之间的影响分析, 而是着重于分析来自误差项中的冲击

对经济系统的影响, 以检验冲击的效果. 而脉冲响应函数旨在用来研究当变量之间受到某种冲击时其对系统产生的动态影响. 因此, 当对工业绿色 TFP 的影响因素进行分析时, 应主要研究工业绿色 TFP 对来自产业结构、城市化率、科研创新及自身一个标准差冲击的反应(见图 1).

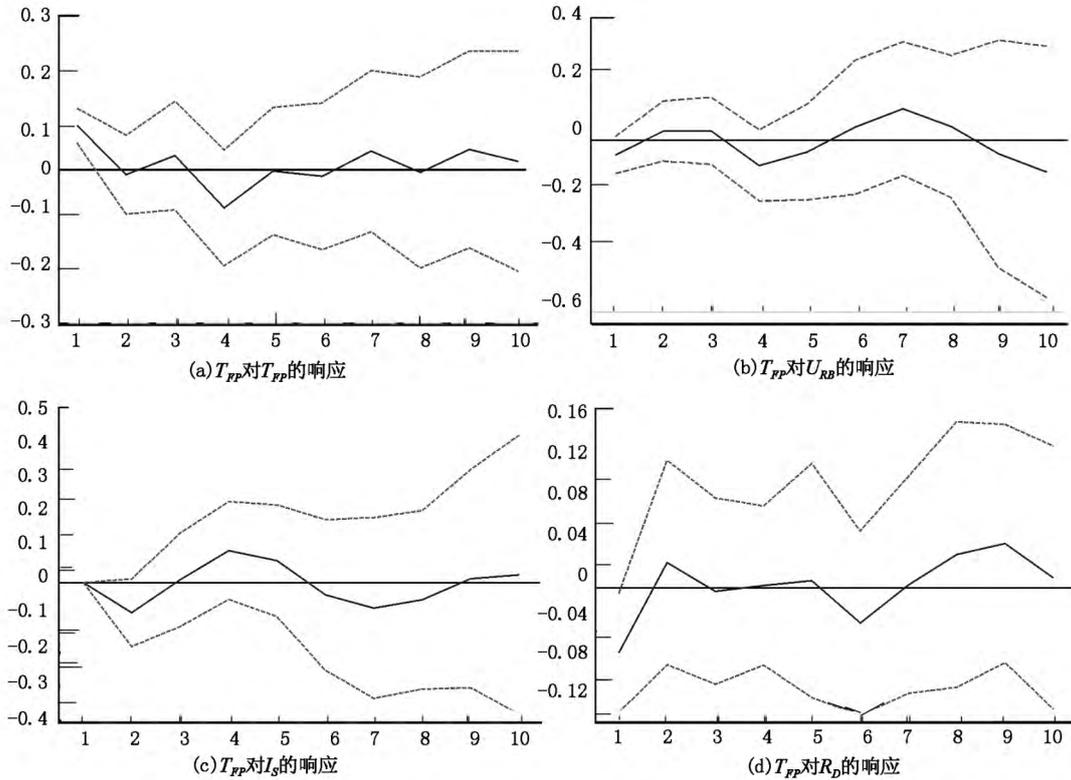


图 1 湖北省工业 TFP 的脉冲响应函数图

从图 1 可以看出, 给自身一个正向冲击工业绿色 TFP 呈现周期性的变动趋势, 且这种冲击并不明显且也不可控, 这说明仅靠自身的推动并不是工业绿色发展和转型的源泉. 给城市化率当期一个正向冲击工业绿色 TFP 呈现先增后降的趋势, 在第 7 期时冲击作用达到最大. 这说明城市化发展进程中, 传统的城市化发展对工业绿色发展和转型的推动作用刚开始并不明显, 随着时间推移这种作用达到最大, 但是随着时间推移这种冲击只会达到一个瓶颈并趋于稳定甚至呈现下降态势. 给产业结构一个正向冲击, 工业绿色全要素生产率前 2 期达到负向最大, 产业结构升级和优化对工业行业发展有一定的负面冲击和挑战, 但是之后工业绿色 TFP 会逐渐提升并达到稳定. 这说明产业结构对于工业绿色发展和转型的促进作用不是立竿见影的, 需要一定的时间去消化和适应. 给科技创新一个标准差大小的冲击, 工业绿色 TFP 在前 5 期的变化都不明显, 短期影响并不显著, 但是长期对工业绿色 TFP 的影响是显著的,

这说明科技创新对工业绿色发展和转型具有滞后效应. 科技创新对于工业企业来说, 短期需要大量的研发和发展资金的投入, 资金要素的投入对于工业绿色 TFP 的影响并不大, 只有长期“投入-产出”达到一定程度才能转化为工业绿色 TFP 的增长, 才能真正地促进工业绿色发展和转型, 因此科技创新对于湖北省工业绿色转型至关重要.

为进一步分析产业结构、城市化率、科研创新对工业绿色 TFP 的贡献程度, 本文将通过方差分解进一步深入探析各种冲击的重要性. 方差分解的结果如表 6 所示.

由表 6 可看出, 湖北省工业绿色 TFP 的变化受自身扰动项的冲击呈现逐渐递减的趋势, 从初始的 100% 递减到 51.29%. 而其他所有的经济变量的扰动项对工业绿色 TFP 增长的作用都呈递增趋势, 其中城市化率的贡献在短期内表现明显, 在第 5 期开始达到 20% 以上, 但随着时间的增长这种贡献会逐渐下降. 其次是产业结构在第 10 期达到 16% 作用,

而科研创新的影响却是长期的,短期来看并不明显,在前2期都只有1.2%左右,在第10期达到10.5%,这与脉冲响应的结果是一致的。科研创新的促进作用具有滞后性,但从长期来看是最重要的且呈现递增趋势。由此说明,城市化发展在初期为工业

绿色发展和转型提供了经济环境,具有明显的促进作用,但是这种作用会逐渐减弱,所以城市化发展也应该向新型城镇化发展迈进,而产业结构优化调整需要慢慢适应和推进,更重要的是注重科技创新对工业绿色发展的潜在推动力。

表6 工业绿色 TFP 方差分解表

时期	S. E.	$T_{FP}$	$U_{RB}$	$I_S$	$R_D$
1	0.114 718	100.000 0	0.000 00	0.000 000	0.000 000
2	0.121 295	92.006 36	4.205 24	2.557 579	1.230 815
3	0.128 111	82.626 83	10.690 25	5.408 907	1.274 008
4	0.169 984	71.836 40	17.949 78	7.050 535	3.163 277
5	0.174 558	62.614 66	21.361 03	11.712 796	4.311 518
6	0.182 676	54.784 46	25.507 82	13.138 292	6.569 429
7	0.212 977	53.64 797	22.965 76	15.949 495	7.436 772
8	0.219 864	54.571 69	23.510 08	13.507 597	8.410 632
9	0.231 592	52.793 96	22.478 98	15.104 120	9.622 944
10	0.254 816	51.291 00	21.919 53	16.229 030	10.560 446

### 3 结论及建议

本文选取湖北省2000—2013年时序数据,采用超效率DEA-Malmquist计算和分析了湖北省工业绿色全要素生产率的变动情况;在此基础上根据VAR模型采用脉冲响应函数和方差分解分析了城市化率、产业结构以及科技创新对工业绿色TFP之间的动态关系,结论如下:

1) 使用DEA-Malmquist计算得到湖北省工业绿色全要素生产率的平均增长率为6.7%,而不考虑环境与资源的传统工业全要素生产率为8.2%。这说明不考虑资源环境因素会高估全要素生产率,从而对工业绿色发展质量做出较为乐观的判断,因此在对工业绿色发展进行测量时考虑环境与资源的约束会使测算结果更加科学;同样从对工业绿色TFP增长的分解来看,技术进步是工业绿色全要素生产率增长的内在动力和源泉,湖北省工业绿色可持续发展和转型必须要注重科学技术的发展;

2) 使用VAR模型分析了城市化率、产业结构及科技创新对于工业绿色发展TFP的动态影响,从短期来看城市化发展为工业绿色发展提供了良好的经济环境,对工业绿色TFP具有显著的促进作用;从长期来看,产业结构优化和升级、科技进步与创新对工业绿色发展具有明显的作用。

针对以上结论,本文提出以下建议:

1) 继续深化和推进中国工业绿色转型的政策

措施,中国工业“绿色制造”的道路任重而道远。湖北省的工业经济发展一直处于领先地位,在经济新常态下工业经济发展速度虽然有所放慢,但更应该注意工业发展过程中“投入-产出”提升工业绿色发展质量,注意技术进步和创新,减少工业发展过程中的环境污染,尽量以最少的要素投入得到最大的工业经济收益,提升工业绿色全要素生产率。从短期看,随着城市化的不断推进,新型城镇化建设势在必行,必须使城市发展与工业绿色发展协调发展,才能使得城市化发展真正地促进工业绿色发展和转型;

2) 明确产业结构优化、升级和创新驱动是工业绿色发展的重要驱动力,但同时必须认清产业结构升级、优化在短期内对传统工业发展的冲击,以及工业科研创新在短期内需要的资金和人力要素的投入,这些驱动力在短期内可能对工业绿色发展作用并不是十分明显,需要一个适应的过程,但从长远看,产业结构优化和科研创新对工业绿色发展意义重大。

### 4 参考文献

- [1] 袁建明,朱丽丽.工业行业绿色发展效率测度[C]//第十届中国管理学年会论文集,合肥:中国管理现代化研究会,2015.
- [2] 董桂才,朱晨.中国工业全要素生产率增长行业差异及其影响因素研究:基于增长核算法2位数编码工业行业面板数据的实证分析[J].中央财经大学学报,2013,1(11):62-68.
- [3] 江飞涛,武鹏,李晓萍.中国工业经济增长动力机制转

- 换 [J]. 中国工业经济 2014(5):5-17.
- [4] 李鹏飞. 经济新常态下的中国工业“第三届中国工业发展论坛”综述 [J]. 中国工业经济 2015(1):45-51.
- [5] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 中国工业绿色转型研究 [J]. 中国工业经济 2011(4):5-14.
- [6] 鲁晓东,连玉君. 中国工业企业全要素生产率估计:1999—2007 [J]. 经济学:季刊 2012,11(2):541-558.
- [7] 杨汝岱. 中国制造业企业全要素生产率研究 [J]. 经济研究 2015(2):61-74.
- [8] 王志刚,龚六堂,陈玉宇. 地区间生产效率与全要素生产率增长率分解(1978—2003) [J]. 中国社会科学,2006(2):55-66.
- [9] 万兴,范金,胡汉辉. 江苏制造业 TFP 增长、技术进步及效率变动分析:基于 SFA 和 DEA 方法的比较 [J]. 系统管理学报 2007,16(5):465-471.
- [10] 全炯振. 中国农业全要素生产率增长的实证分析(1978—2007年):基于随机前沿分析(SFA)方法 [J]. 中国农村经济 2009(9):36-47.
- [11] 刘秉镰,李清彬. 中国城市全要素生产率的动态实证分析(1990—2006):基于 DEA 模型的 Malmquist 指数方法 [J]. 南开经济研究 2009(3):139-152.
- [12] 李丹,胡小娟. 中国制造业企业相对效率和全要素生产率增长研究:基于 1999—2005 年行业数据的实证分析 [J]. 数量经济技术经济研究 2008,25(7):31-41.
- [13] 魏下海,余玲铮. 中国全要素生产率变动的再测算与适用性研究:基于数据包络分析与随机前沿分析方法的比较 [J]. 华中农业大学学报:社会科学版 2011(3):76-83.
- [14] 万伦来,朱琴. R&D 投入对工业绿色全要素生产率增长的影响:来自中国工业 1999—2010 年的经验数据 [J]. 经济学动态 2013(9):20-26.
- [15] 李玲,陶锋. 中国制造业最优环境规制强度的选择:基于绿色全要素生产率的视角 [J]. 中国工业经济 2012(5):70-82.
- [16] 李斌,彭星,欧阳铭珂. 环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变:基于 36 个工业行业数据的实证研究 [J]. 中国工业经济 2013(4):56-68.
- [17] 王兵,唐文狮,吴延瑞,等. 城镇化提高中国绿色发展效率了吗? [J]. 经济评论 2014(4):38-49.
- [18] 彭星,李斌. 贸易开放、FDI 与中国工业绿色转型:基于动态面板门限模型的实证研究 [J]. 国际贸易问题,2015(1):166-176.
- [19] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429-444.
- [20] Färe R, Grosskopf S, Roos P. On two definitions of productivity [J]. Economics Letters, 1996, 53(3):269-274.
- [21] 陈梅,赵炜涛,邱雪雅. 中国 2 型社会试验区生态效率对比研究 [J]. 科技进步与对策 2015,32(22):39-45.
- [22] 杨文举. 基于 DEA 的绿色经济增长核算:以中国地区工业为例 [J]. 数量经济技术经济研究 2011,28(1):19-34.

## The Measurement and Analysis of Industrial Green Total Factor Productivity Based on DEA-Malmquist Model

——Taking Hubei Province as An Example

ZHANG Hu, GONG Shuwen

(School of Statistics and Mathematics Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan Hubei 430073, China)

**Abstract:** By using the DEA-Malmquist index method, the green total factor productivity of Hubei province industrial is measured among 2000 and 2013. The results show that the total factor productivity of green industry in slow growth of Hubei Province and the growth rate is about 6.7%, and a major source of green industrial TFP growth is technological progress. Based on the VAR model, the statistical data of 2000—2013 years is selected and the main influence factors of Hubei industrial green TFP analyzed by using generalized impulse response function and variance decomposition. The results show that the urbanization rate has a significant influence on the green industry TFP growth in the short term and tends to be stable, the promoting effect of industrial structure and innovation on research on industrial green industry TFP growth in the short term is weak, but from a long-term point of view, the two are both the important driving force of green industrial development and transformation. Hubei province green industrial development has long way to go, and finally some suggestions are put forward.

**Key words:** DEA-Malmquist; industrial green TFP; vector autoregression

(责任编辑:曾剑锋)