

环境约束下中国工业行业全要素生产率变动测算

张建华, 笪凤媛, 吴军

(华中科技大学经济学院, 湖北 武汉)

摘要: 本文将环境因素纳入 TFP 分析框架, 测算分析了 2003 年以来我国 37 个工业行业在不考虑环境因素及分别控制工业 COD、SO₂ 和 CO₂ 排放四种情形下的 TFP 增长及其成分。结果显示: 考察期内大部分工业行业 TFP 保持了 10% 以内的年增长, 而有色金属矿采选业、有色金属冶炼及压延加工业、木材加工及木竹藤棕草制品业年均 TFP 增长在四种情形下均超过 10%; 工业行业平均意义而言, TFP 年均增长由快到慢依次为控制 CO₂、不考虑环境、控制 SO₂ 和控制 COD 排放情形; 考察期内传统 TFP 呈下降趋势, 环境约束下 TFP 则先降后升并于 2007 年整体超越传统 TFP; 四种情形下 TFP 增长皆主要归因于前沿技术进步, 且行业技术进步呈逐年上升趋势, 而行业间技术差距自 2005 年起日益拉大。

关键词: 环境约束; 工业行业; Malmquist 指数; Malmquist-Luenberger 指数

中图分类号: F404.3

文献标识码: A

一、引言

目前我国正处于工业化加速发展的重要阶段, 工业占我国 GDP 比重的 43%, 是我国经济的主导(李毅中, 2010)。2009 年《工业化蓝皮书》也指出, 我国已进入工业化的中期后半阶段, 随着我国工业化进程的不断深入和重化工业化的发展, 在今后较长一段时间内, 工业部门仍将是拉动我国经济增长的重要力量。然而, 我国经济增长主要依靠工业行业的要素大量投入而非全要素生产率(TFP)的提升(吴敬琏, 2005; 林毅夫等, 2007), 粗放型的增长方式导致我国工业能源消耗占到全社会能源消耗总量的 70% 以上, 是耗费能源和资源最主要的产业。据统计, 2007 年我国工业 SO₂ 排放达 2140 万吨, 占总排放量的 86.7%; 工业废水中 COD 排放量为 511.1 万吨, 占总排放量的 83.9%; 一次能源消费总量达到 26.5 亿吨标准煤, 比 2003 年增长 51%; 我国已有 1/3 的河流和 1/4 近岸海域遭到严重污染, 接连发生的太湖蓝藻大面积爆发、盐城水污染等环境污染事件也给我们敲响了警钟。国家发改委主任张平(2009)在“十二五”规划编制工作电视电话会议上指出, 通过节能减排, 发展绿色经济和低碳经济, 增强我国可持续发展能力是“十二五”规划战略重点之一。因此, 弄清环境约束下我国工业行业的 TFP 增长, 对于突破资源环境约束, 促进经济持续健康发展具有十分重要的现实意义。

已有关于我国工业行业 TFP 的研究主要集中于对工业行业传统 TFP 的测算, 并依据实证测度的结果对传统 TFP 进行分解, 比较分析行业间的 TFP 差异及其动态变化特征。如郑玉歆(1993)采用收入份额法对 1980~1990 我国制造业分行业 TFP 进行了分析。曾立生(1993)运用投入产出法对 1981~1983 年我国 34 个部门 TFP 变化进行了估算。郑京海等(2002)采用 DEA 方法,

对 1980~1994 年我国机械、纺织、轻工业和重工业的 TFP 进行了测算。樊潇彦 (2004)、李小平和朱钟棣 (2005)、陈勇和李小平 (2006) 则沿袭传统的计量经济学方法, 利用面板数据对工业行业 TFP 进行研究。涂正革和肖耿 (2005) 在 1995~2002 年我国大中型工业企业数据基础上利用随机前沿生产模型研究了 37 个两位数工业行业的 TFP 增长, 并将其分解为前沿技术进步、相对前沿技术效率的变化、配置效率以及规模经济性四大因素。李胜文和李大胜 (2008) 利用 1986~2005 年我国 34 个工业细分行业面板数据, 运用随机前沿生产函数测算了工业及其细分行业的 TFP 增长率。李刚 (2010) 则具体研究了 2002~2008 年江苏省 65 个市县工业行业 TFP 指数。

然而, 上述关于我国工业行业传统 TFP 的研究均局限于只考虑既定投入下的工业产出增加, 而忽略了工业污染对我国工业行业 TFP 的影响。在环境管制情形下, 一部分生产要素要投入到对生产过程中所产生的污染进行治理, 所以会减少相应的工业产出 (Jin Cao, 2007)。因此, 传统工业行业 TFP 测算会扭曲对经济绩效的正确评价, 从而会误导政策建议 (Hailu and Veeman, 2000; 王兵等, 2008)。Chung et al. (1997) 在测度瑞典纸浆厂生产率时创新性提出了方向性距离函数和 Malmquist-Luenberger 生产率指数 (以下简称 ML 指数), 该指数综合考虑了产出增加和污染减少, 将“好”产出 (一般用 GDP 表示) 和“坏”产出 (环境污染) 很好的纳入了统一的分析框架, 进而可以评价环境约束下的经济综合效率。近年来, 国内外学者逐渐尝试借鉴 ML 指数测算我国全国或地区省份层面的工业 TFP 指数 (Fare, 2001、2004、2007; Kumar, 2006; 王兵等, 2008; 胡鞍钢等, 2008; 涂正革和肖耿, 2008, 2009; 杨俊和邵汉华, 2009; 吴军, 2009), 但迄今对我国环境约束下具体工业行业层面上的 TFP 研究尚为空白。

本文在考虑环境因素的前提下, 基于“绿色生产率”^①视角, 以我国 37 个工业行业的投入产出数据为基础, 测算并比较分析了 2003~2007 年我国工业行业在考虑环境因素和不考虑环境因素时的 TFP 增长, 并将其分解为技术进步指数和效率改进指数, 进而准确评价我国工业行业的经济发展绩效。旨在为我国产业结构优化调整, 转变经济发展方式, 走新型工业化发展道路提供较为合理的理论依据。

二、模型及数据说明

本文欲考察 2003~2007 年间我国 37 个工业行业在考虑和不考虑环境约束时的 TFP 变动。TFP 的测度基于产出导向型 DEA 模型, 在不考虑环境因素时的 TFP 为 Malmquist 指数 (以下简称 M 指数), 而环境约束下的 TFP 为 Malmquist-Luenberger 指数。由于 M 指数可视为 ML 指数的特例 ($g=(y,0)$), 故在下面的模型介绍部分以 ML 指数介绍为主。

^① 1998 年联合国环境署第五次国际清洁生产高级研讨会上发布的《国际清洁生产宣言》中首次提出“绿色生产率” (green productivity, GP) 的概念。亚洲生产率组织给生产率的定义是“为了实现社会经济发展而提高生产率和环境绩效的战略, 通过应用适当的技术、生产过程和管理技术, 生产具有环保功能的产品和服务, 能够提高收益率的生产率” (Shireman W. K., 2000)。由于 Malmquist-Luenberger 生产率指数同时反映了产出增加和污染减少时的生产率增长, 本文认为它是一种较好的绿色生产率指数。

(一) 基本模型

ML 指数计算的基本思路为，首先通过 DEA 技术构造出某经济体的生产可能性边界，再利用“方向性距离函数”计算出经济体中每个生产决策单元与生产可能性边界的距离，最后基于两期的方向性距离函数计算出此期间的 ML 指数。

1. 环境技术

经济活动往往会伴随污染物的产生，环境技术反映了一种同时包括“好”产出和“坏”产出的特殊投入产出技术结构，它可以表示为以下产出集合的形式 (Fare et al., 2007):

$$P(x) = \{(y, b): x \text{ 能生产出 } (y, b)\}, x \in R_+^N \quad (1)$$

$P(x)$ 为投入 $x \in R_+^N$ 所能生产的“好”产出 $y \in R_+^M$ 和“坏”产出 $b \in R_+^L$ 的所有可能性集合。

并且，一个良好定义的环境技术需要满足以下假设：(1) “坏”产出是联合弱可处置的 (weakly disposable): 如果 $(y, b) \in P(x)$ 且 $0 \leq \theta \leq 1$, 那么 $(\theta y, \theta b) \in P(x)$ 。该假设表明减少非合意产品是有代价的，即在既定投入下，“好”产出的减少仅在“坏”产出同时减少时才有可能，这保证了生产可能性边界的凸性；(2) “好”产出和“坏”产出是“零和的” (null-joint): 如果 $(y, b) \in P(x)$ 且 $b=0$, 那么 $y=0$ 。此假设表明仅在“好”产出为零的前提下，“坏”产出才可能为零，即如果存在正的“好”产出，必然会伴随产生“坏”产出。该假设保证了生产可能性边界经过原点；(3) 投入要素 x 和“好”产出 y 是强可处置的 (strong/free disposable): 如果 $x_1 \geq x_2$, 那么 $P(x_1) \supseteq P(x_2)$; 如果 $(y_1, b) \in P(x)$ 且 $y_1 \geq y_2$, 那么 $(y_2, b) \in P(x)$ 。如图 1 所示， $P(x)$ 实际上给出了既定投入 x 下两种产出 (y, b) 的生产可能性边界，即一定投入下的最大“好”产出、最小“坏”产出的集合。

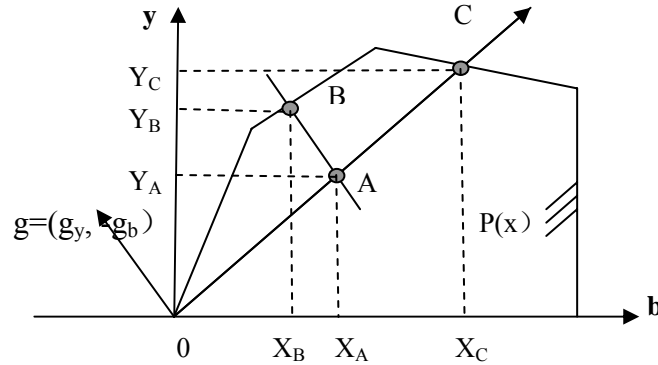


图 1 生产可能性边界和距离函数

2. 方向性距离函数 (Directional distance functions, DDF)

在生产可能性边界的基础上,我们就可以通过 DDF 来计算出每个生产决策单元离生产可能性边界的距离,即相对效率。DDF 的具体形式为:

$$\overline{D}_0(x, y, b; g) = \sup \{ \beta : (y, b) + \beta g \in P(x) \} \quad (2)$$

上 (2) 式中, $g = (g_y, -g_b)$ 为产出扩张的方向向量, 方向向量 g 的选取反映了人们对“好”产

出和“坏”产出进行取舍的不同效用偏好。贫穷地区生存需要远高于环境保护，因此可能忽略污染排放；而在发达地区人们更加重视生活质量，污染排放得到严格控制，故 g_y 比 g_b 大的多。本文假定 $g = (y, -b)$ ，即“好”产出和“坏”产出在其原有存量基础上成比例增减。

DDF 表示在既定投入向量 x 下，沿着方向向量 g ，产出向量 (y, b) 所能扩张的最大倍数 β 。DDF 的值越小表明生产越接近生产可能性边界，生产的效率就越高，等于 0 时表明生产决策单元已处于生产可能性边界之上，生产是完全有效率的。^①

图 1 反映了在既定投入 x 下两种产出 (y, b) 的生产过程。方向性距离函数将生产决策单元 A 沿着方向向量 g 扩展到生产可能性边界上的 B 点，此时“好”产出是增加的，同时“坏”产出是减少的，生产决策单元 A 离生产可能性边界的距离为 $\beta = 1 - X_B/X_A = Y_B/Y_A - 1$ 。如果存在两种以上的产出，我们就无法给出以上简单形式的表达式，此时 (2) 式可转换成以下线性规划问题 (Fare et al., 1994):

$$\begin{aligned} \bar{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t) &= \max \beta \\ \text{s.t. } \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{km}^t &\geq (1 + \beta) y_{km}^t; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{ki}^t = (1 + \beta) b_{ki}^t; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t \leq x_{kn}^t; \lambda_k^t \geq 0 \\ m &= 1, \dots, M; i = 1, \dots, I; n = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (3)$$

3. Malmquist-Luenberger 生产率指数

在 DDF 的基础上可以定义 t 到 t+1 期间的 ML 指数 (Chung et al., 1997):

$$ML_t^{t+1} = \left[\frac{1 + \bar{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \bar{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \times \frac{1 + \bar{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \bar{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

ML 指数还可以分解为效率改进指数 (EFFCH) 和技术进步指数 (TECH) 两个部分:

$$ML_t^{t+1} = EFFCH_t^{t+1} \times TECH_t^{t+1} \quad (5)$$

$$EFFCH_t^{t+1} = \frac{1 + \bar{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \bar{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \quad (6)$$

$$TECH_t^{t+1} = \left[\frac{1 + \bar{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + \bar{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)} \times \frac{1 + \bar{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})}{1 + \bar{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

ML 、 $EFFCH$ 和 $TECH$ 大于 (小于) 零则分别表示生产率增长 (下降)、效率改善 (恶化) 和前沿技术进步 (退步)。ML 指数的计算涉及四种类型的方向性距离函数，其中， $\bar{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)$ 、 $\bar{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)$ 分别表示 t 和 t+1 期当期距离函数，

^① DDF 反映了生产决策单元的环境技术效率 (ETE): $ETE = 1 / (1 + \beta)$, $ETE \in [0, 1]$ 。若 $ETE=1$ 表明生产完全有效率，若 ETE 为 0 表明生产完全无效率。

$\vec{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})$ 测度的是基于 $t+1$ 期技术的 t 期的距离函数，

$\vec{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})$ 表示的是基于 t 期技术的 $t+1$ 期的距离函数。

(二) 变量选取及数据说明

假定我国区域经济活动可以概念化为三种投入（资本 K 、劳动力 L 、中间投入品 I ）、一种“好”产出（工业总产值 Y ）和三种“坏”产出（ COD 、 SO_2 、 CO_2 ）的生产技术，并以各工业行业投入产出数据为基础进行 TFP 测算。所有数据均来自于考察期内历年《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》及《中国工业经济统计年鉴》，各行业投入产出变量的具体统计性描述见表 1。现将本文所使用的数据作简要说明：

1. 投入指标。

本文选取“固定资产年均余额”（ K ，亿元）、“年均就业人数”（ L ，万人）及“工业中间投入”（ I ，亿元）为投入指标。其中工业中间投入=工业总产值-工业增加值+应交增值税。由于没有工业分行业的固定资产价格指数的官方权威数据，本文采用各行业出厂价格指数平减历年固定资产年均余额及中间品投入。

2. 产出指标。

为考察环境约束下的经济效率，本文将产出分为“好”产出和“坏”产出。其中，“好”产出以经济增长的指标来衡量，具体选取各行业的工业总产值指标。考虑到价格因素，使用各行业的工业品出厂价格指数将当年的总产值平减，使其成为 2003 年不变价。“坏”产出则以环境污染物的排放量来衡量，对于如何全面和科学的表达一国、地区或行业的环境污染整体水平，现有的国内外研究尚未给出公认的标准，均普遍采用具体的污染指标。鉴于污染物的同质性和行业可比性的考虑，本文选取工业废水排放中的 COD （万吨）、工业 SO_2 排放量（万吨）和工业 CO_2 排放（万吨）三个指标来反映我国工业行业的“坏”产出。

由于历年环境统计年鉴缺少 CO_2 数据，本文借鉴节能与环保杂志社（2006）的处理方法，即： CO_2 排放量 = 含碳能源消费量 × 碳折算系数 × CO_2 气化系数。含碳能源指煤炭、石油和天然气等在消费过程中会释放出 CO_2 的能源，本文用各工业行业能源消费总量（万吨标准煤）代替，数据来自历年《国家统计年鉴》。碳折算系数有三种口径，分别为国家发改委能源研究所——0.67，日本能源经济研究所（IEE）——0.68，美国能源部二氧化碳信息分析中心（CDIAC）——0.69。本文采用第一种口径。 CO_2 气化系数指碳完全氧化为二氧化碳之后与之前的质量之比，它是一个标准量 3.67。

3. 工业行业及时间段的选取。

根据最新《国民经济行业分类与代码》（GB/T4754 -2002），工业分为 38 个行业大类。为保持数据统计口径的一致性和连续性，本文选取了除去“废弃资源和废旧材料回收加工业”之外的 37 个工业行业，并将研究时间段定为 2003~2007 年。

表1 2003~2007年我国37个工业行业投入产出变量统计性描述

变 量	观察数	均 值	标准差	最小值	最大值
工业总产值（亿元）	185	6364.63	6944.82	272.64	45965.37
工业品出厂价格指数（2003=1）	185	1.12	0.20	0.85	1.95
固定资产净值年均余额（亿元）	185	2176.00	3176.90	119.03	23175.06
年均就业人数（万人）	185	183.54	145.98	14.49	626.26
工业废水排放中 COD（吨）	185	4762.37	5500.17	208.98	37183.16
工业 SO ₂ 排放（万吨）	185	119886.67	273655.63	782.00	1596590.80
工业 CO ₂ 排放（万吨）	185	49.25	177.15	0.03	1204.10

资料来源：根据 2001~2008 年历年《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国工业经济统计年鉴》以及中国资讯行数据库整理而得。

三、结果与分析

本文首先通过 DEAP2.1 和 Matlab7.0 软件分别测算 2003~2007 年我国 37 个工业细分行业在以下四种情形假定下的年均 TFP 指数（表 2），并将其分解为技术进步指数（TECH）和效率改进指数（EFFCH），以下给出了在四种情形假定下的实证结果及具体分析。

表2 四种情形假定的说明

四种情形假定	投入	产出
情形 1	K、L、I	Y
情形 2	K、L、I	Y、COD
情形 3	K、L、I	Y、SO ₂
情形 4	K、L、I	Y、CO ₂

注：表中 K、L、I、Y 分别表示样本期间各工业行业的固定资产净值年均余额、年均就业人数、工业中间品和工业总产值。

(一) 工业行业 TFP 增长的总体特征及趋势分析

表3 2003~2007年我国工业年均TFP指数及其分解

情形	TFP 指数	TECH	EFFCH
情形 1	1.0600	1.0700	0.9910
情形 2	1.0475	1.0603	0.9884
情形 3	1.0554	1.0602	0.9964
情形 4	1.0658	1.0687	0.9980

从表 3 可知，总体而言，样本期间四种情形假定下我国工业年均 TFP 均有 6% 左右的增长，并且 TFP 增长主要源自于前沿技术进步，即技术领先行业的科技带动，而行业间的 TFP 增长差距正逐渐拉大，表现为表 5 中的技术进步指数大于 1 和效率改进指数小于 1。相比于不考虑环境因素情形（情形 1），控制 CO₂ 排放（情形 4）时的工业年均 TFP 增长率较高，而控制 COD 排放（情形 2）和 SO₂ 排放（情形 3）时的工业年均 TFP 增长率较低，且控制 SO₂ 排放（情形 3）时的工业年均 TFP 增长率为四种情形下最低。其中，控制 CO₂ 排放时的 TFP 增长高出控制 COD 排放时近 2 个百分点，表明我国工业部门在控制 CO₂ 排放的综合技术进步要高于控制 COD 排放时的技术进步水平，这也反映出“温室效应”的严重危害性和全球尤其是我国对发展低碳经济的高度重视。这里需要指出的是，我国是淡水资源严重缺乏的国家，目前西南地区的持续干旱灾害给中国敲响了警钟，因此，在响应国际气候峰会的行动、大力发展低碳经济的同时，也不可忽视改善水体污染（如控制 COD 排放）的综合技术进步。

为了更好地研究样本期间我国工业 TFP 变动趋势，我们将 2003~2007 我国历年工业行业平均 TFP 指数变动趋势描绘成图 3，图 4 和图 5 分别为相应分解的技术进步指数和效率改进指数变动趋势图。由图 4 可以看出，2003~2007 年期间我国工业传统 TFP 的平均增长率（情形 1）一直呈下降态势，从 2004 年的 11% 下降到 2007 年的 4%。而考虑环境约束时工业 TFP 增长呈现出先降后升的特点，这与近年来我国环保力度的加强不无关系，而这种上升态势是否长期存在则有待以后相关数据的进一步验证。此外，从四种情形的对比来看，2004 年四种情形下的工业 TFP 增长率差异明显，之后传统工业 TFP 与考虑环境约束下工业 TFP 差距逐渐缩小，2007 年三种环境约束

情形下的工业 TFP 增长均已超过传统情形，显示出我国工业经济正朝着资源节约型和环境友好型的方向迈进。

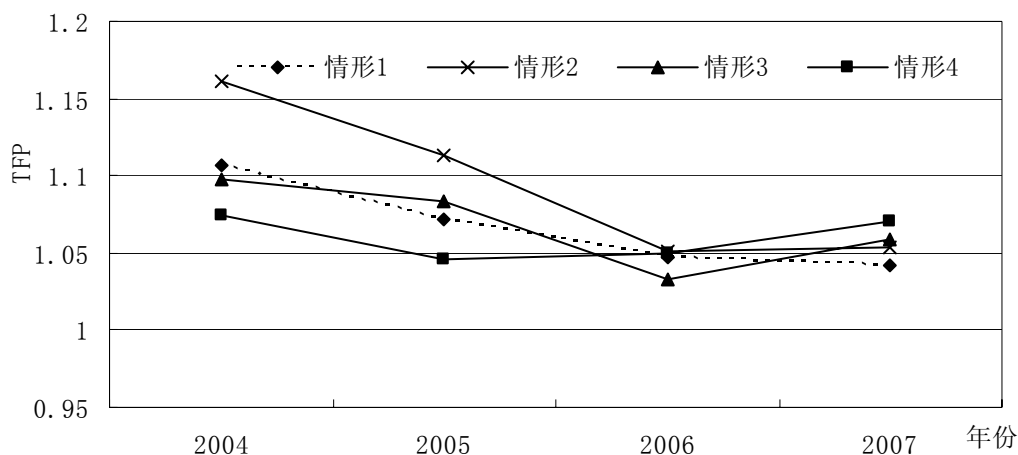


图 3 2003~2007 我国工业行业平均 TFP 变化趋势图

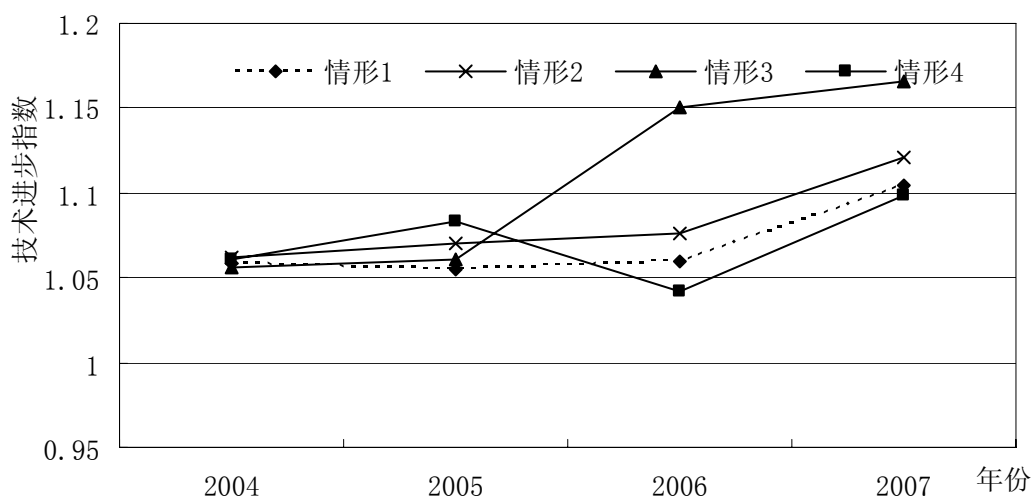


图 4 2003~2007 我国工业行业平均技术进步指数变化趋势图

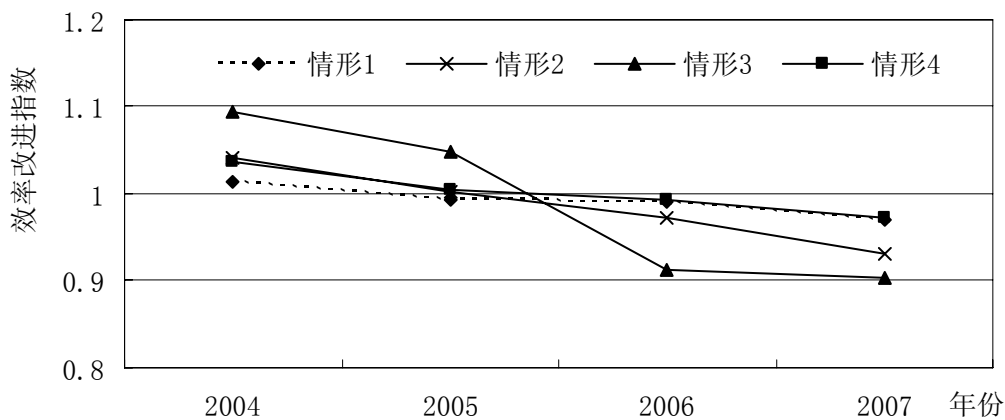


图 5 2003~2007 我国工业行业平均效率改进指数变化趋势图

从 TFP 指数的组成成分来看，样本期间四种情形下的我国工业行业平均技术进步率（图 4）总体而言均呈现上升趋势，而对应的平均效率改进率（图 5）则呈现下降趋势，并且自 2005 年起开始小于 1，即出现负增长，这表明我国工业 TFP 增长主要源自于领先行业的技术进步，工业行业间的技术差距正在日益扩大。

（二）工业行业 TFP 增长的行业差异分析

表 4 给出了四种情形下年均 TFP 增长最快和最慢的 5 个工业行业。从表 3 可以看出，无论是否考虑环境约束，有色金属矿采选业（I4）、有色金属冶炼及压延加工业（I26）和木材加工及木竹藤棕草制品业（I13）的 TFP 增长均表现突出，说明这三个行业在产出快速增长的同时，在控制污染排放的综合技术进步较快，行业呈现很好的发展前景。而传统 TFP 表现较好的烟草制品业（I9）和化学纤维制造业（I21）在考虑其污染排放时的 TFP 指数排名显著下降，这表明两个行业在产出较快增长的同时控制污染治理的综合技术进步较慢。此外，对于黑色金属冶炼及压延加工业（I25）和非金属矿采选业（I15）行业虽然在传统 TFP 的测算结果未有非常突出表现（分别列第 8 和第 7 位），但是在环境约束下尤其是在控制大气污染排放时显示出了较快的 TFP 增长，说明这两个行业采取了有效的环境管制措施，应采取积极措施鼓励其发展。而电力、热力的生产和供应业（I35）、造纸及纸制品业（I15）两个行业无论是否考虑环境因素 TFP 表现均较差，前者甚至已出现 TFP 的负增长。

表4 2003~2007年我国工业行业年均TFP增长最快和最慢的5个行业

	情形 1		情形 2		情形 3		情形 4	
	行业 代码	TFP 指数	行业 代码	TFP 指数	行业 代码	TFP 指数	行业 代码	TFP 指数
年均 TFP 增长 最快的 5 个行业	I26	1.157	I4	1.151	I4	1.230	I26	1.253
	I4	1.141	I26	1.136	I25	1.131	I4	1.194
	I13	1.109	I29	1.115	I5	1.124	I19	1.180
	I9	1.106	I13	1.114	I13	1.115	I25	1.153
	I21	1.106	I3	1.081	I26	1.115	I5	1.132
年均 TFP 增长 最慢的 5 个行业	I35	0.972	I23	0.972	I35	0.993	I35	0.964
	I16	1.007	I14	0.991	I23	0.998	I2	1.001
	I15	1.010	I36	0.999	I32	1.002	I34	1.010
	I37	1.010	I32	1.000	I2	1.012	I32	1.013
	I24	1.017	I15	1.038	I15	1.014	I37	1.013

图 6 是根据表 3 行业测算结果绘制而成的工业行业平均 TFP 指数雷达图，该图更为直观的显示了行业间 TFP 差异。总体而言，2003~2007 年间工业行业年均 TFP 在四种情形下基本上均呈

现正增长，且大部分 TFP 指数处于[1, 1.1]之间，也就是说，样本期间绝大部分工业行业的年均 TFP 保持了10%以内的正增长。其中，有色金属矿采选业(I14)，木材加工及木竹藤棕草制品业(I13)，有色金属冶炼及压延加工业 (I26) 三个行业的 TFP 增长尤为突出，它们在四种情形下的年均 TFP 增长皆超过 10%。同时应注意的是，皮革毛皮羽毛（绒）及其制品业（I12）和石油加工、炼焦及核燃料加工业（I18）的年均 TFP 指数在不考虑环境因素情形均高于环境约束情形，而煤炭开采和洗选业（I1）、化学原料及化学制品制造业（I19）和水的生产和供应业（I37）环境约束下的 TFP 增长要高于不考虑环境因素情形。

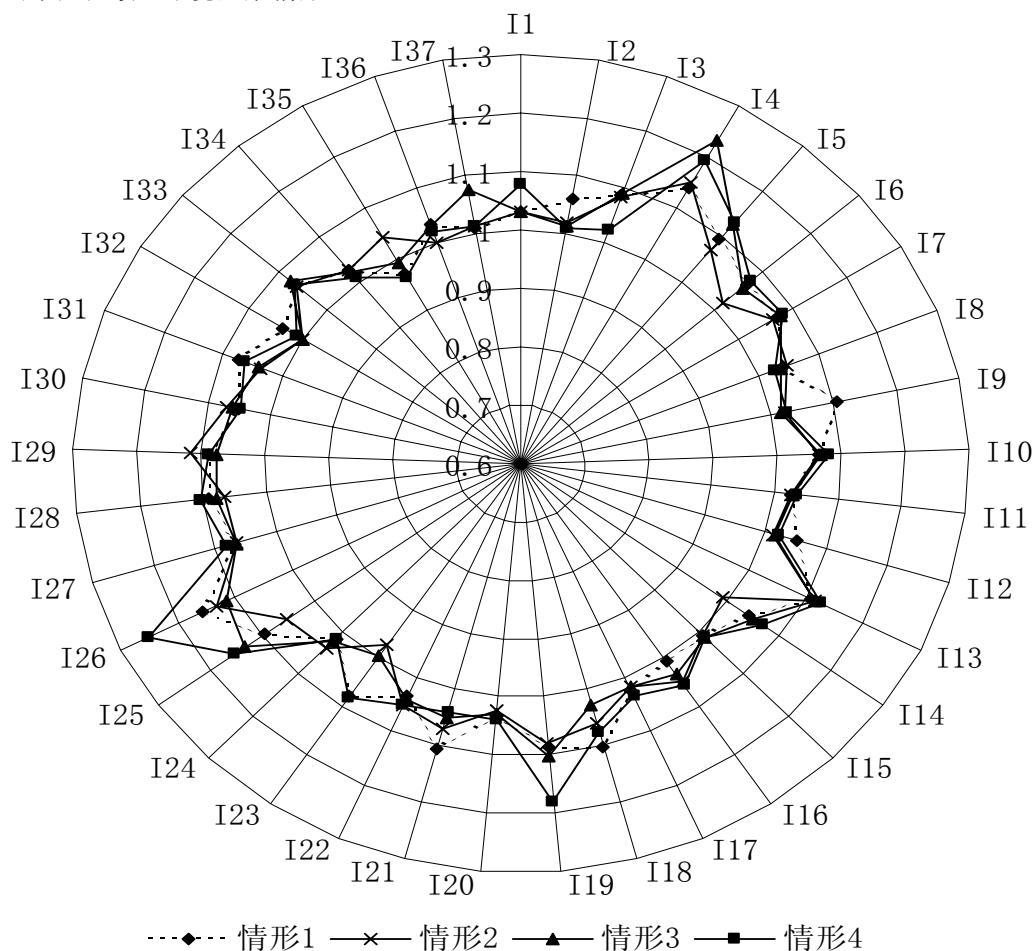


图 6 2003~2007 年我国工业行业四种情形下的年均 TFP 指数雷达图

四、结 论

本文基于产出导向型的 DEA 方法及方向性距离函数的分析框架，探讨了我国 37 个工业行业在不考虑及考虑环境约束条件时 TFP 指数，得出的主要结论与启示如下：

（一）考察期间绝大部分工业行业 TFP 保持了 10% 以内的正的年均增长。其中，有色金属矿采选业、木材加工及木竹藤棕草制品业、有色金属冶炼及压延加工业三个行业的 TFP 增长尤为突出，它们在四种情形下的年均 TFP 增长率皆超过 10%，而电力、热力的生产和供应业、造纸及纸制品业两个行业无论是否考虑环境因素 TFP 表现均较差，前者甚至已出现 TFP 的负增长。同时应注意的是，皮革毛皮羽毛（绒）及其制品业和石油加工、炼焦及核燃料加工业在不考虑环境因素时年均 TFP 增长均高于环境约束情形，而煤炭开采和洗选业、化学原料及化学制品制造业和水的生产和供应业在环境约束下的 TFP 增长要高于不考虑环境因素情形。

（二）总体而言，不考虑环境因素、控制 COD、SO₂、CO₂ 排放四种情形在考察期内的工业平均 TFP 分别达到 6%、4.75%、5.54% 和 6.58%。四种情形下工业行业平均 TFP 增长均主要归因于行业技术进步，且考察期内技术进步率呈上升趋势，而效率改进率则呈下降趋势且于 2005 年开始出现负增长，表明我国工业 TFP 增长主要源自于领先行业的技术进步带动，而工业行业间的技术差距正在日益扩大。从工业平均 TFP 的变动趋势来看，工业传统 TFP 增长率一直呈下降态势，而环境约束情形下的工业 TFP 增长率呈先降后升特征，并于 2007 超过传统 TFP，这主要得益于近年来我国环保力度的加强，同时也表明了我国绿色经济正步入良性发展的轨道。

（三）四种情形下的工业行业 TFP 的对比分析表明，控制 CO₂ 排放情形下的年均 TFP 增长最快，高于年均 TFP 最慢的控制 COD 排放情形将近 2 个百分点。这显示出我国工业部门在控制 CO₂ 排放时的综合技术进步要快于控制 COD 情形，同时也反映出“温室效应”的严重危害性和全球尤其是我国发展低碳经济的决心。由于我国是淡水资源严重缺乏的国家，目前西南地区的持续干旱灾害给中国敲响了警钟，因此，在响应国际气候峰会的行动、大力发展“低碳经济”的同时，也不可忽视改善水体污染（如控制 COD 排放）的综合技术进步。

参考文献

- [1] Chung, Y.H., Fare, R., Grosskopf, S., Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J], *Journal of Environmental Management*, 1997, 51, pp. 229-240.
- [2] Coelli, T., Rao, P., Battase, E., *An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis*[M], Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [3] Coelli, T., Rao, P., O' Donnell, C.J. and Battase, E., *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*[M], Springer, 2005.
- [4] Fare, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., *Production Frontiers*[M], Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [5] Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z., Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries[J], *American Economic Reviews*, 1994, (1), pp. 66-83.
- [6] Fare, R., Grosskopf, S., Pasurka, C., Accounting for Air Pollution Emissions in Measures of State Manufacturing Productivity Growth[J], *Journal of Political Economy*, 2001, 91, pp. 654-674.
- [7] Fare, R., Grosskopf, S., and Hernandez-Sancho, F., 2004: Environmental Performance: An Index Number Approach[J], *Resource and Energy Economics*, 2004, 26, pp. 343-352.
- [8] Fare, R., Grosskopf, S., Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation: Comment[J], *European Journal of Operational Research*, 2004, 157, pp. 242-245.
- [9] Fare, R., Grosskopf, S., Pasurka, C.A., Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions[J], *Energy*, 2007, 32, pp. 1055-1066.
- [10] Hailu, A., Veeman, T.S., Non-parametric Productivity Analysis with Undesirable Outputs: An Application to the Canadian Pulp and Paper industry[J], *American Journal of Agricultural Economics*, 2001, 83, pp. 605-616.
- [11] Jin Cao, Measuring Green Productivity Growth for China's Manufacturing Sectors: 1991-2000[J], *Asian Economic Journal*, 2007, 21(4), pp. 425-451.
- [12] Kumar, S., Environmentally Sensitive Productivity Growth: A Global Analysis using Malmquist-Luenberger Index[J], *Ecological Economics*, 2006, 56, pp. 280-293.
- [13] 陈勇、李小平. 中国工业行业的面板数据构造及资本深化评估: 1985-2003[J]. 数量经济技术经济研究, 2006, (10).
- [14] 樊潇彦. 中国工业资本收益率的测算与地区、行业结构分析[J]. 世界经济, 2004, (5).
- [15] 胡鞍钢、郑京海、高宇宁等. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999~2005) [J]. 经济学(季刊), 2008, (3).
- [16] 李胜文、李大胜. 中国工业全要素生产率的波动 1986~2005: 基于细分行业的三投入随机前沿生产

- 函数分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (5).
- [17] 李小平、朱钟棣. 中国工业行业的全要素生产率测算—基于分行业面板数据的研究[J]. 管理世界, 2005, (4).
- [18] 林毅夫、苏剑. 论我国经济增长方式的转换[J]. 管理世界, 2007, (11).
- [19] 涂正革、肖耿. 中国的工业生产力革命: 用随机前沿生产模型对中国大中型工业企业全要素生产率增长的分解及分析[J]. 经济研究, 2005, (3).
- [20] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. 经济研究, 2008, (2).
- [21] 王兵、吴延瑞、严鹏飞. 环境管制与全要素生产率增长: APEC的实证研究[J]. 经济研究, 2008, (5).
- [22] 吴敬琏. 中国增长模式抉择[M]. 上海远东出版社, 2005.
- [23] 吴军. 环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009, (11).
- [24] 吴军、笪凤媛、张建华. 环境管制与中国区域生产率增长[J]. 统计研究, 2010, (1).
- [25] 杨俊、邵汉华. 环境约束下的中国工业增长状况研究—基于 Malmquist-Luenberger 指数的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009, (9).
- [26] 曾立生. 中国全要素生产率的因素分析[J]. 载李京文主编. 中国生产率变动趋势之研究[C]. 北京: 社会科学出版社, 1993.
- [27] 郑京海、刘小玄、Arne Bigsten. 1980~1994 期间中国国有企业的效率、技术进步和最佳实践[J]. 经济学季刊, 2002, (2).
- [28] 郑玉歆. 80 年代中国制造业生产与变动及其来源[J]. 载郑玉歆、罗斯基主编. 体制转换中的中国工业生产率[C]. 北京: 社会科学文献出版社, 1993.

TFP Growth Accounting across China's Industrial Economy under Environmental Restraints

Jianhua Zhang, Da Fengyuan, Jun Wu

Abstract: Considering the environmental factors, this article measures and analyses TFP growth and its components of 37 industries in China. The major conclusions are as follows: Most industrial sectors have experienced an annual TFP growth within 10%; Average annual growth of TFP ranged from fast to slow are control of CO₂, without regard to the environment, control of SO₂ and COD emission. The traditional TFP growth have been declining, while first down then up in the cases under three environmental constraints; Industrial TFP growth mainly result from technical progress, which was increasing year by year, while inter-industry technology gap was widening since 2005.

KeyWords: Environmental Restraints; Industrial sectors; Malmquist Index ;Malmquist-Luenberger Index

收稿日期: 2010-05-11;

作者简介: 张建华、笪风媛、吴军, 华中科技大学经济学院。