

doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2015.03.032

全要素生产率分析新方法:Färe-Primont 指数

黄 祎¹, 孙广生¹, 黄金枝²

(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 哈尔滨工程大学 经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 针对全要素生产率现有分析方法中存在的问题, 基于全要素生产率的定义, 引入 Färe-Primont 指数, 并对其性质和分解进行了介绍. 首先, 以距离函数为加总函数构造出 Färe-Primont 指数, 并证明该指数满足乘法完备性和传递性; 其次, 结合相关效率概念的经济学内涵, 将 Färe-Primont 指数完全分解为技术进步、技术效率变化、规模效率变化与剩余混合效率变化的乘积; 最后, 利用该指数对我国 29 个省区 2001 年~2010 年的全要素生产率进行了实证分析.

关键词: 全要素生产率; 加总函数; 技术效率; 规模效率; 剩余混合效率

中图分类号: F 061.2

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)03-0448-05

New Method for Total Factor Productivity Analysis: Färe-Primont Index

HUANG Yi¹, SUN Guang-sheng¹, HUANG Jin-zhi²

(1. School of Business & Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China. Corresponding author: HUANG Yi, E-mail: yhuang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: To overcome the shortcomings of Malmquist index, Färe-Primont index was introduced on the basis of the total factor productivity definition. The properties and decomposition of total factor productivity were also discussed. Firstly, Färe-Primont index was developed with distance function as the aggregate function, and this index also exhibited multiplicative completeness and satisfied transitivity test. Then, with the economic connotations of related efficiencies, Färe-Primont index was decomposed into the product of technology progress, technical efficiency change, scale efficiency change and residual mix efficiency change completely. Finally, the total factor productivities of 29 provinces in China from 2001 to 2010 were studied empirically by using Färe-Primont index.

Key words: total factor productivity; aggregate function; technical efficiency; scale efficiency; residual mix efficiency

全要素生产率(total factor productivity, TFP)作为衡量(加总后)单位投入所带来的总产量的指标, 具有促进经济实现长期增长的效应, 是经济增长的核心.

TFP 的重要性使其成为经济增长研究领域的重要问题. 国内外研究者们为更准确地估算 TFP 展开了大量的研究. 现有的 TFP 估算方法研究主要有增长核算法、随机前沿分析以及数据包络分

析(data envelopment analysis, DEA). 其中, DEA 由于具有不需要对生产函数形式以及误差项分布做先验假设等优势, 在近年来的研究中受到广泛关注, 尤其是以其为基础的 Malmquist 生产率指数(下称 M 指数)^[1-3].

然而, 学术界对 M 指数仍存在许多争议. 首先, M 指数对技术的要求过于苛刻, 它要求技术是逆位似的且规模报酬不变, 否则其对生产率变

收稿日期: 2014-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71173034, 71271064, 71303037); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N130406009); 黑龙江省自然科学基金资助项目(G201201); 哈尔滨工程大学基础研究基金资助项目(HEUFT12002).

作者简介: 黄 祎(1981-), 男, 福建邵武人, 东北大学讲师, 博士.

化的测度存在系统偏差^[4]. 其次, M 指数不具有乘法完备性, 因而不能彻底地分解为技术进步及多项效率变动之积^[5]. 最后, M 指数不满足跨期比较时尤为重要的传递性^[6], 即若 t 到 $t+1$ 期及 $t+1$ 到 $t+2$ 期的 M 指数分别为 $\text{MTFP}(t, t+1)$ 及 $\text{MTFP}(t+1, t+2)$, 则 $\text{MTFP}(t, t+2) \neq \text{MTFP}(t, t+1) \times \text{MTFP}(t+1, t+2)$, 因而不相邻两期的生产率之间不可比. 为了克服 M 指数的不足, 本文引入一个新的基于 DEA 的 TFP 指数: Färe - Primont 生产率指数(下称 FP 指数), 以对全要素生产率指数进行更加合理有效的诊断分析.

1 FP 指数及其分解

众所周知, 当决策单元(decision making unit, DMU)用一种投入要素生产一种产品时, 可以简单地用产出与投入之比来定义该 DMU 的生产率. 而当 DMU 使用多种投入生产多种产品时, 生产率的定义则要复杂一些. 这时, 通常用加总产出(aggregate output)与加总投入(aggregate input)之比来表示生产率, 并称之为全要素生产率. 顾名思义, TFP 将生产过程所使用的多种要素均考虑在计算过程中. 本文将基于这种 TFP 定义来展开, 且为了行文简洁, 在研究 TFP 变动(即 TFP 指数)的过程中, 仅对同一 DMU 不同时期的 TFP 进行对比分析.

假设以 N 个 DMU 共 T 期的数据为研究对象, 其中每个评价单元以 K 种投入, 生产出 J 种产品. 本文分别用向量 $\mathbf{x}_t = (x_{t1}, \dots, x_{tK})$ 和 $\mathbf{q}_t = (q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tJ})$ 表示第 i 个评价单元(DMU _{i})第 t 期的投入产出向量. 那么, 根据前文中 TFP 的定义, 可以得到 DMU _{i} 第 t 期 TFP 的表达式:

$$\text{TFP}_t = \frac{Q_t}{X_t} \quad (1)$$

其中: $Q_t \equiv Q(\mathbf{q}_t)$ 是产出加总函数; $X_t \equiv X(\mathbf{x}_t)$ 是投入加总函数, 且 $Q(\cdot)$ 和 $X(\cdot)$ 均为非负、非递减且线性齐次的函数.

DMU _{i} 第 t 期与第 s 期的 TFP 之比就可以写成:

$$\text{TFP}_{s,t} \equiv \frac{\text{TFP}_t}{\text{TFP}_s} = \frac{Q_t/X_t}{Q_s/X_s} = \frac{Q_{s,t}}{X_{s,t}} \quad (2)$$

其中, $Q_{s,t} \equiv Q_t/Q_s$, $X_{s,t} \equiv X_t/X_s$ 分别表示 DMU _{i} 从 s 期到 t 期的加总产出和加总投入的数量变化, 即加总产出指数和加总投入指数. 式(2)表明, TFP 变动可以表示成加总产出指数与加总投入指数之比. 根据文献[7]给出的定义, 可以写成式(2)的 TFP 指数被称为具有乘法完备性

(multiplicative completeness). 经证明, 具有乘法完备性的 TFP 指数可以彻底地分解为技术进步及多项效率变动的乘积, 且分解过程中不需要对技术、企业行为及市场结构进行任何假设^[7-9].

事实上, 通过选择不同形式的加总函数 $Q(\cdot)$ 与 $X(\cdot)$, 可以得到多个具有乘法完备性的 TFP 指数. 常见的 Laspeyres, Pasche, Fisher 以及 Trönqvist 等指数均具乘法完备性, 但使用最为广泛的 M 指数却因不能表示成式(2)的形式而遗憾地不在其列. 需要指出的是, 尽管 Laspeyres 等指数也具乘法完备性, 但其计算过程需要获得投入要素及产品的价格信息, 而有些价格信息往往较难获得, 甚至不存在(如污染物的价格). 因此, 本文选择仅获得投入产出数量信息就可以进行相关分析的 FP 指数来进行研究.

1.1 FP 指数

为构造 FP 指数, 本文选择如下加总函数:

$$t \text{ 期产出加总函数: } Q(\mathbf{q}_t) = D_0^0(\mathbf{x}_0, \mathbf{q}_t) = \min_{\lambda, \theta} \{ \lambda^{-1} : \lambda \mathbf{q}_t \leq Q\theta; X\theta \leq \mathbf{x}_0; \theta' \mathbf{1} = 1; \theta \geq \mathbf{0} \};$$

$$s \text{ 期产出加总函数: } Q(\mathbf{q}_s) = D_0^0(\mathbf{x}_0, \mathbf{q}_s) = \min_{\lambda, \theta} \{ \lambda^{-1} : \lambda \mathbf{q}_s \leq Q\theta; X\theta \leq \mathbf{x}_0; \theta' \mathbf{1} = 1; \theta \geq \mathbf{0} \};$$

$$t \text{ 期投入加总函数: } X(\mathbf{x}_t) = D_1^0(\mathbf{x}_t, \mathbf{q}_0) = \min_{\rho, \theta} \{ \rho : \mathbf{q}_0 \leq Q\theta; X\theta \leq \rho \mathbf{x}_t; \theta' \mathbf{1} = 1; \theta \geq \mathbf{0} \};$$

$$s \text{ 期投入加总函数: } X(\mathbf{x}_s) = D_1^0(\mathbf{x}_s, \mathbf{q}_0) = \min_{\rho, \theta} \{ \rho : \mathbf{q}_0 \leq Q\theta; X\theta \leq \rho \mathbf{x}_s; \theta' \mathbf{1} = 1; \theta \geq \mathbf{0} \}.$$

其中: t_0 表示事先确定的参考期为 t_0 期; \mathbf{x}_0 和 \mathbf{q}_0 为 t_0 期 DMU _{i} 的投入产出向量, 且均为有限非零向量; Q 代表 $J \times N$ 的 t_0 期观测产出矩阵; X 为 $K \times N$ 的 t_0 期观测投入矩阵; $\mathbf{1}$ 是 $N \times 1$ 的单位向量; θ 则为 $N \times 1$ 的决策向量, 且 $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_N) \geq \mathbf{0}$ 表示 $\exists n \in (1, \dots, N)$ 使 $\theta_n > 0$. 由上述加总函数就可以得到 FP 指数^[10]:

$$\text{TFPI}_{s,t}^{\text{FP}} = \frac{Q(\mathbf{q}_t)/X(\mathbf{x}_t)}{Q(\mathbf{q}_s)/X(\mathbf{x}_s)} = \frac{Q_{s,t}}{X_{s,t}} = \frac{D_0^0(\mathbf{x}_0, \mathbf{q}_t) D_1^0(\mathbf{x}_s, \mathbf{q}_0)}{D_0^0(\mathbf{x}_0, \mathbf{q}_s) D_1^0(\mathbf{x}_t, \mathbf{q}_0)} \quad (3)$$

按照前述定义, FP 指数显然具有乘法完备性. 因此, 可以将 FP 指数彻底地分解为技术进步及多项效率变动的乘积, 且分解过程中不需要对技术、企业行为及市场结构进行任何假设. 同时, 还容易验证 FP 指数具有传递性, 这就为评价单元任意两期生产率的比较提供了极大的方便.

1.2 FP 指数的分解

为了实现对 FP 指数的分解, 本文首先需要在加总投入产出框架下, 给出下列相关的效率概

念(由于篇幅受限,下文将只讨论面向投入的情形,面向产出的结论可以通过类似过程得出).

1.2.1 技术效率(technical efficiency)

本文首先考虑一种简单的情形,即某一企业 A 以 $x_t = (x_{1t}, x_{2t})$ 为投入进行生产,获得产出 $q_t = (q_{1t}, q_{2t})$. 为方便起见,假定投入及产出加总函数分别为 $X(x_t) = \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t}$ 和 $Q(q_t) = \alpha_1 q_{1t} + \alpha_2 q_{2t}$. 首先,本文在投入空间中绘出 A 所在位置(见图 1).

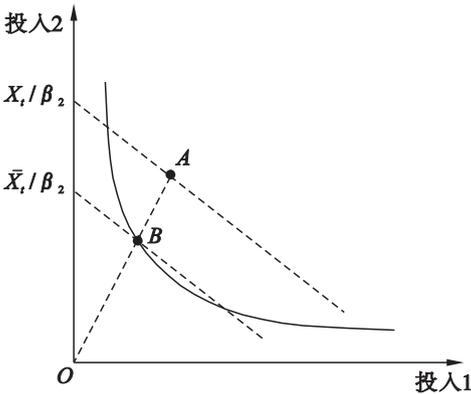


图 1 双投入企业的面向投入技术效率示意图
Fig. 1 Input-oriented technical efficiency for a two-input firm

图 1 中过 A 点的虚线为等投入线,线上每一点均与 A 有相等的加总投入 X_t . 过 B 点曲线上的任意一点代表产出与 A 同为 q_t 的投入组合. 在产出 q_t 固定且投入混合比例保持不变(即 x_{1t} 与 x_{2t} 的数量之比不变)的约束下,企业 A 可以通过投影到 B 点来实现将加总投入从原先的 X_t 最小化到 B 点的加总投入 \bar{X}_t . 而此时,线段 OB 与 OA 的长度之比,就是文献[11]中定义的面向投入的技术效率(input-oriented technical efficiency, ITE),即 $ITE = \|OB\| / \|OA\| = \bar{X}_t / X_t$.

当投入产出向量的维度扩大时,图 1 所示的投入空间不再适用,此时可以选择在加总投入产出空间来对问题进行描述,如图 2 所示.

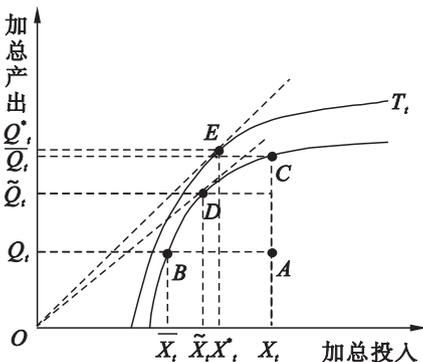


图 2 多投入多产出企业的效率示意图
Fig. 2 Efficiencies for a multi-input multi-output firm

图 2 中 A 点所代表企业的投入和产出向量分别为 $x_t = (x_{1t}, \dots, x_{kt})$ 和 $q_t = (q_{1t}, q_{2t}, \dots, q_{lt})$, 且加总投入及产出为 X_t 和 Q_t . 过点 B, C 的曲线代表混合比例约束生产前沿(mix-restricted production frontier), 其与横轴所包围的部分称为混合比例约束生产可能集(mix-restricted production possibilities set). 由于该定义完全是在数量框架下讨论投入要素间以及产出间的数量搭配,未考虑投入产出的价格因素,故称为“混合比例约束生产可能集”而非“配置比例约束生产可能集”. 该生产可能集仅包含那些投入和产出向量分别可以写成 x_t 倍数和 q_t 倍数的企业,即对于任一企业 $H(x_t^H, q_t^H)$, 如果 $x_t^H = \omega x_t$ ($\omega \geq 0$) 且 $q_t^H = \nu q_t$ ($\nu \geq 0$), 则企业 H 位于混合约束生产可能集内. 因此,图 2 中的混合比例约束生产可能集及其前沿,仅对企业 A 以及与 A 具有相同投入混合比例和产出混合比例的企业有意义,而任何投入或产出混合比例与 A 不同的企业需要参考另一个混合比例约束前沿来进行相关分析.

由于混合比例约束生产前沿保持投入及产出混合比例均固定不变,因此可以将其与传统的单投入单产生产前沿同等对待. 故图 2 中 A 点面向投入的技术效率为

$$ITE_t = \frac{\bar{X}_t}{X_t} = \frac{Q_t / X_t}{Q_t / \bar{X}_t} = D_t^I(x_t, q_t) = \min_{\rho, \theta} \{ \rho \cdot q_t \leq \theta Q_t; X_t \leq \rho x_t; \theta \cdot 1 = 1; \theta \geq 0 \} \quad (4)$$

显然,面向投入的技术效率可以通过观测点 A 与参考点 B 的 TFP 之比,或相应射线斜率之比来进行估算,即

$$ITE_t = \frac{Q_t / X_t}{Q_t / \bar{X}_t} = \frac{OA \text{ 斜率}}{OB \text{ 斜率}}$$

1.2.2 规模效率(scale efficiency, SE)

通过对技术效率的分析可以获知,技术效率的改善意味着 TFP 有所增长. 但图 2 同时表明,尽管通过改善技术效率本文将企业从 A 点移动到 B 点,但仍未使其实现 TFP 最大化. 企业 A 可以通过在混合比例约束生产可能集中,向图 2 中的 D 点移动来实现自身 TFP 的最大化. 本文将 D 这样的点称为混合比例不变下的最佳规模点.

B 和 D 点位于同一混合比例约束生产前沿上,因此均为技术有效且投入及产出混合比例均相同,故二者之间 TFP 差距的根源在于彼此投入产出规模的不同,或者说是投入产出的规模效应导致了 TFP 的差距. 因此,将 B 点与 D 点的 TFP 之比称为面向投入的规模效率(input-oriented scale efficiency, ISE), 即

$$ISE_t = \frac{Q_t/\bar{X}_t}{\tilde{Q}_t/\bar{X}_t} = \frac{OB \text{ 斜率}}{OD \text{ 斜率}} \quad (5)$$

式中 \tilde{Q}_t 和 \bar{X}_t 分别表示 D 点的加总产出与加总投入, 且 $\tilde{Q}_t = \tilde{\lambda}_t Q_t, \bar{X}_t = \tilde{\rho}_t X_t$, 其中, $(\tilde{\lambda}_t, \tilde{\rho}_t) = \arg \max_{\lambda > 0, \rho > 0} \{ \lambda/\rho : (\rho x_t, \lambda q_t) \in T^t \}$.

1.2.3 剩余混合效率 (residual mix efficiency, RME)

到目前为止本文的讨论都是在混合比例约束生产可能集中进行的, 考察的是投入及产出混合比例不变情况下的纯粹的技术效率和规模效率. 下面, 将通过放松混合比例约束继续展开讨论, 以研究投入及产出混合比例的变化对生产率的影响.

毫无疑问, 放松混合比例约束之后将使得生产可能集向外扩张成无混合比例约束生产可能集, 而其边界可以称为无混合比例约束生产前沿. 显然, 混合比例约束生产前沿被无混合比例约束生产前沿包围着 (如图 2 所示), 其中过 E 点的曲线 T_t 即为无混合比例约束生产前沿.

从图 2 中可以看出, 通过技术效率及规模效率的改善, 企业 A 在混合比例约束生产可能集中实现了 TFP 最大化 (移动到了 D 点). 一旦混合比例约束被放松, 企业 A 的 TFP 还可以继续提升, 一直移动到无混合比例约束生产前沿上的 TFP 最大点 E . 图 2 中 D 点是混合比例约束前沿上的最优点, 而 E 点是无混合比例约束前沿上的最优点. 从根本上来说, 促使企业 A 从 D 点向 E 点变动的显然是投入及产出混合比例发生的变化, 因而本文将 D 点与 E 点 TFP 之比称为剩余混合效率:

$$RME_t = \frac{\tilde{Q}_t/\bar{X}_t}{Q_t^*/X_t^*} = \frac{OD \text{ 斜率}}{OE \text{ 斜率}} \quad (6)$$

$Q_t^* = Q(q_t^*)$ 和 $X_t^* = X(x_t^*)$ 分别为点 E 的加总产出及加总投入, 而其产出投入向量的 q_t^* 和 x_t^* 满足 $(x_t^*, q_t^*) = \arg \max_{x > 0, q > 0} \{ Q(q)/X(x) : (x, q) \in T^t \}$.

同时, 本文将 E 点的 TFP 记为

$$TFP_t^* = Q_t^*/X_t^*.$$

1.2.4 TFP 效率 (TFP efficiency, TFPE)

将评价单元实际的 TFP 与使用现有技术所能获得的最大 TFP 之比定义为 TFP 效率 (TFPE). 由前文可知, 对于企业 A 而言, 所能获得的最大 TFP 就是 E 点的全要素生产率 TFP_t^* , 因此, 可以给出如下 TFPE 的计算公式:

$$TFPE_t = \frac{TFP_t}{TFP_t^*} = \frac{Q_t/X_t}{Q_t^*/X_t^*} \quad (7)$$

由此, 可以对 TFPE 作如下分解:

$$TFPE_t = \frac{Q_t/X_t}{Q_t^*/X_t^*} = \left(\frac{Q_t/X_t}{\tilde{Q}_t/\bar{X}_t} \right) \left(\frac{\tilde{Q}_t/\bar{X}_t}{\tilde{Q}_t^*/\bar{X}_t^*} \right) \left(\frac{\tilde{Q}_t^*/\bar{X}_t^*}{Q_t^*/X_t^*} \right) = ITE_t \times ISE_t \times RME_t.$$

故由式 (7) $TFP_t = TFP_t^* \times TFPE_t =$

$$TFP_t^* \times ITE_t \times ISE_t \times RME_t. \quad (8)$$

进一步地, 可以将 FP 指数写成如下形式:

$$TFPI_{s,t}^{FP} \equiv \frac{TFP_t}{TFP_s} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{TFPE_t}{TFPE_s} \right) = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{ITE_t}{ITE_s} \right) \left(\frac{ISE_t}{ISE_s} \right) \left(\frac{RME_t}{RME_s} \right). \quad (9)$$

式 (9) 等式右侧的第一项为 t 期和 s 期技术条件下, TFP 的两个最大可能值之比, 因此可以视为两期的技术变化, 即技术进步^[11]; 第二项为 t 期和 s 期的面向产出的技术效率之比, 即面向产出的技术效率变化; 第三项为两期的面向产出的规模效率之比, 即面向产出的规模效率变化; 最后一项是两期剩余混合效率之比, 即混合效率变化.

2 实证分析

本文以 2001 ~ 2010 年我国 29 个省市 GDP 为产出, 资本存量和劳动力人数为投入 (将重庆并入四川省, 并剔除了西藏自治区), 利用前面的理论结果对我国全要素生产率变动情况进行分析 (见表 1). 数据的选取过程可参见文献 [12].

表 1 2001 ~ 2010 年我国 TFP 指数及其分解结果 (TFP₂₀₀₁ = 1)

Table 1 TFP and its components of 2001 ~ 2010 in China (TFP₂₀₀₁ = 1)

年份	TFP 指数	技术进步	技术效率变化	规模效率变化	混合效率变化
2001	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
2002	1.034 3	1.063 8	0.979 8	1.002 6	0.989 6
2003	1.069 8	1.143 4	0.962 6	1.005 7	0.966 5
2004	1.108 5	1.217 4	0.946 8	1.002 8	0.958 9
2005	1.124 6	1.217 4	0.942 4	1.002 1	0.978 2
2006	1.141 4	1.217 4	0.945 6	1.003 2	0.988 3
2007	1.161 5	1.217 4	0.950 4	1.014 3	0.989 8
2008	1.160 5	1.217 4	0.949 6	1.014 4	0.989 5
2009	1.150 1	1.217 4	0.929 4	1.006 6	1.009 8
2010	1.141 5	1.217 4	0.924 2	1.006 6	1.007 8

注: 表中各年的结果为当年 29 个省市结果的几何均值.

利用 DPIN3.0 软件对式 (9) 的分解结果进行估算, 计算结果见表 1. 在具体估算过程中, 本文假设技术不发生倒退且技术在地区间是可获得

的。从表 1 中的计算结果可以看出,2001 ~ 2010 年间,我国的 TFP 年均增长率为 1.48% (从 1.000 0 增长到 1.141 5)。这一结果在已有相关研究中,尤其是在利用 M 指数进行的研究中处于中等水平,在一定程度上说明了 FP 指数的稳定性。从整体上来看,TFP 指数呈现先上升后下降的情况,2001 ~ 2004 年间的增长速度最快,随后增速有所下降但仍保持增长态势。2007 年,我国的 TFP 指数达到最大值后,转而开始出现缓慢下降的现象。

从各分解项的情况来看,只有 2001 ~ 2004 年间出现技术进步,此后的若干年技术均未发生变化。与其余三个分解项技术相比,技术进步是 TFP 指数增长的主要驱动力,这一结果与文献[13 - 14]的研究结果一致;技术效率在期初和期末均出现下滑,且在整个考察期内始终小于 1。也就是说,2001 ~ 2010 年间技术效率是阻碍我国 TFP 指数增长的主要因素;规模效率变化始终略大于 1,变化较小,且对 TFP 变化的影响也不大;混合效率变化的结果是以往 TFP 研究中没有的,它反映了投入及产出混合比例的优化过程。考察期内,我国的混合效率均值经历了先下降后上升的过程,对 TFP 指数的作用也从期初的阻碍作用变为期末的促进作用。这说明从数量框架下来看,我国在资源混合比例优化上取得了一定的成绩。

3 结 论

1) 这十年间,我国的 TFP 整体上缓慢上升,但从 2007 年开始呈现出缓慢下降趋势。

2) 技术进步对 TFP 增长的贡献最大,而技术效率则起到了阻碍作用。这说明以往只重视技术进步而忽略了生产效率。因此,不能只片面地引进先进技术,而更应该加强技术的消化吸收,辅以资源的合理配置,才能避免造成资源的浪费。

参考文献:

- [1] Fare R, Grosskopf S, Norris M, et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries [J]. *American Economic Review*, 1994, 84 (1): 66 - 83.
- [2] Balk B M. Scale efficiency and productivity change [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2001, 15 (3): 159 - 183.
- [3] Guo Q W, Zhao Z Y, Jia J X. Analysis on total factor productivity of Chinese provincial economy [J]. *Frontiers of Economics in China*, 2006, 1 (3): 449 - 464.
- [4] Grifell T E, Lovell C K. A note on the malmquist productivity index [J]. *Economics Letters*, 1995, 47 (2): 169 - 175.
- [5] O' donnell C J. Measuring and decomposing agricultural productivity and profitability change [J]. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2010, 54 (4): 527 - 560.
- [6] Collio T J, Rao D S P, O' donnell C J, et al. An introduction to efficiency and productivity analysis [M]. 2nd ed. New York: Springer, 2005: 73 - 74.
- [7] O' donnell C J. An aggregate quantity-price framework for measuring and Decomposing productivity and profitability change [R]. Brisbane: University of Queensland: Centre for Efficiency and Productivity Analysis, 2008.
- [8] O' donnell C J. An aggregate quantity framework for measuring and decomposing productivity change [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2012, 38 (3): 255 - 272.
- [9] O' donnell C J. Nonparametric estimates of the components of productivity and profitability change in U. S. agriculture [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2012, 94 (4): 873 - 890.
- [10] O' donnell C J. Econometric estimation of distance functions and associated measures of productivity and efficiency change [R]. Brisbane: University of Queensland: Center for Efficiency and Productivity Analysis, 2011.
- [11] Farrell M J. The measurement of productivity efficiency [J]. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 1957, 120 (3): 253 - 290.
- [12] 孙广生, 黄祎, 田海峰, 等. 全要素生产率、投入替代与地区间的能源效率 [J]. *经济研究*, 2012, 47 (9): 99 - 112. (Sun Guang-sheng, Huang Yi, Tian Hai-feng, et al. Total factor productivity, inputs substitution and regional energy [J]. *Economic Research Journal*, 2012, 47 (9): 99 - 112.)
- [13] 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. (Wang Zhi-gang, Gong Liu-tang, Chen Yu-yu. China ' s regional differences in technical efficiency and the decomposition of total factor productivity growth (1978 - 2003) [J]. *Social Science in China*, 2006 (2): 55 - 66.)
- [14] 郑兵云, 陈圻. 转型期中国工业全要素生产率与效率——基于细分行业的随机前沿模型分析 [J]. *数理统计与管理*, 2010, 29 (3): 480 - 489. (Zheng Bing-yun, Chen Qi. Total factor productivity and efficiency of industrial growth in the transition of China [J]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2010, 29 (3): 480 - 489.)