生产前沿面移动的非参数研究

孙 巍

(吉林大学数量经济研究中心，吉林 长春 130012)

摘 要：本文分析了生产前沿面在静态条件下的效率状态和动态条件下的技术水平与技术效率状态的变化，并将生产率指数理论与基于生产前沿面的非参数方法结合起来，利用曼奎斯特生产率指数建立了全要素生产率的非参数测度模型，并从技术进步率和生产资源配置效率变化率两个方面实现了全要素生产率的非参数分解，构成了比较完整的全要素生产率非参数测度与分解方法体系。在此基础上对工业生产率增长进行了实证测算，验证了方法的可行性与实用性。

关键词：生产前沿面；非参数模型；全要素生产率；生产率指数

中图分类号：F224.0　　**文献标识码**：**A**

1 引 言

1.1 生产前沿面：静态与动态

在生产理论中采用生产函数描述生产技术关系，即特定生产技术条件下各种生产要素投入的配合可能生产的最大产出。这就是说，对于给定的生产要素和产出品价格，要求选择要素投入的最优组合(也就是投入成本最小化组合)和产出品的最优组合(亦即产出收益最大化组合)，要求选择适度的经济规模，要求生产调控过程中对投入品和产出品具有强处置能力，要求生产技术水平和经营管理水平充分发挥，以最大可能的劳动生产率组织生产。这种定义可以理解为一种理论上的假定，在此基础上采用生产函数进行经济理论的分析。这种理论假定有其合理性，以盈利为目的的厂商追求的就是利润最大化，应该追求这种最优生产状态。这种理论生产函数所描述的生产可能性边界称为生产前沿面(*Production frontier*)[0]。

但是，实际的生产过程并不全是在最优状态下进行，即使对经营绩效优异的企业这种最优生产状态也是一种短期的动态的概念。在生产函数的测算中，直接使用实际要素投入和产出数据进行生产函数的常规拟合，所得到的生产函数反映的只是一定投入要素组合与平均产出量之间的关系，这种平均意义下的生产函数有悖于生产函数的理论前提。针对这种情况，70 年代以后开始了描述有效生产前沿面的生产函数的研究。为了与平均生产函数相区别，把这种描述生产前沿面的生产函数称为前沿生产函数或边界生产函数*(Frontier production function)*[0]。

生产函数的经验研究中，如果需要通过函数估计一组生产要素投入一般情况下可以获得的产出水平，应用平均生产函数是合适的。但是，如果需要研究一组要素投入所对应的最优生产状态，则要通过前沿生产函数的估算才有可能实现。对于平均生产函数，实际产出量可以在其上方，也可以在其下方；而对于前沿生产函数，所有实际产出量都只能在其下方或在生产前沿面边界上，不可能在其上方。

在特定技术水平下，即在特定的静态生产前沿面条件下，实际生产状态与生产前沿面状态总是存在差距的，这种差距所反映的是生产的有效性程度，即实际生产资源配置状态与理想资源配置状态的差距，称为生产资源配置效率 [0]。

在多时期的动态生产条件下，不仅生产资源配置状态要发生变化，技术水平也要发生变化，亦即有技术进步发生，所以此时生产前沿面要发生移动[0]。本文对这种生产前沿面移动的理论内涵及其测度做进一步的研究。

1.2 关于参数方法和非参数方法

生产前沿面一般采用生产函数进行描述。生产函数法以某一种具体生产函数形式为基础，通过一系列假定来保证函数模型的适应性和有效性，进而实现模型参数的估计和生产前沿面的定量描述，所以函数法也可以称为一种典型的参数方法。相对来讲函数法易于应用，但由于受到函数形式本身的限制，在应用时必须要加上竞争性均衡、规模收益不变和中性技术进步等假定条件，但是由于参数研究方法的制约，难于避免以下四个方面的主要问题：

(1) 在技术水平不发生变化的静态条件下，由于参数函数形式的限制，一般都难于实现要素利用效率、规模经济性、投入产出组合效率和要素可处置性等资源配置状态的合理描述，只能通过一系列假定条件和数据预处理来实现生产前沿面在特定意义下的测度与解释，加上函数形式的不同，难以得到资源配置状态变化的具有可比性的一致性描述[0]。

(2) 由于技术水平的变化本质上是对原有技术描述的推翻，参数方法不得不使用中性技术进步的假定作为变化前后生产函数形式上联系的纽带，这既会造成技术进步率测度的偏差，也无法体现生产前沿面移动带来的生产资源配置效率变化和技术变化的一致性描述[0]。

(3) 生产资源配置效率的改善和技术的进步应表现为投入节约和产出扩张两个不同的方面，而只有在规模收益不变条件下两者之间才能保证局部的一致性[00]。目前参数方法一般无法对两种情况加以区别。

(4) 参数方法难于处理多产出问题。

基于动态生产前沿面的生产资源配置效率变化和技术进步率变化的非参数方法，既能保证不受具体函数形式的制约，去掉由于参数方法限制而必须附带的一系列假定条件，又能利用以数据包络分析方法为代表的非参数方法近年来取得的一系列新进展，在取消参数方法使用时技术进步中性假定制约的同时，实现比较完整意义上生产资源配置效率变化和技术水平变化的一致性定量描述与分解。因此，非参数方法的发展为动态生产前沿面理论及其实证性的应用研究奠定了方法论基础。

真正意义上的生产前沿面研究始于 1957 年经济学家 Michaell Farrell 进行的开创性研究工作。*Farrell* 原始模型是生产前沿面实证性研究的雏形。目前，生产前沿面研究成果非常丰富，从研究方法方面来看形成了两个大的分支：参数方法(*Parametric estimation method*)和非参数方法(*Non-parametric estimation method*)。前沿生产函数研究的参数方法是沿袭了传统的生产函数估计思想，首先根据需要确定或构造一种具体的生产函数形式，然后通过适当的方法估计位于生产前沿面上的函数参数，从而完成描述生产前沿面的前沿生产函数的构造。生产前沿面研究的非参数方法摒弃了参数方法研究中函数形式需要事先假定、参数估计的有效性和合理性需要检验等多方面问题，不去寻求生产前沿面的具体函数形式，而是通过所观测的大量实际生产点数据基于一定的生产有效性标准找出位于生产前沿包络面上的相对有效点。伴随理论与方法研究的逐步深入，生产前沿面研究的参数方法和非参数方法在生产领域的实证分析中得到了越来越广泛的应用。

非参数方法在经济学理论的应用中，通过引入集合论描述方法，赋予了非参数模型特定的理论内涵，初步形成了一整套全新的生产理论的非参数数理描述体系，从而使得生产前沿面在静态和动态意义下的实证性研究提供了可能。

2 特定技术水平的静态生产前沿面描述及其生产资源配置效率的分解

设有 $k=1,\cdots,K$ 个生产厂商通过 $n=1,\cdots,N$ 种投入生产 $m=1,\cdots,M$ 种产出，投入参量 x_{kn} 表

示第 k 个生产者第 n 种投入的数量，产出参量表示第 k 个生产者第 m 种产出的数量。为方便描述，可以用投入矩阵 **N** 和产出矩阵 **M** 来简化模型描述。

$$\mathbf{N}=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{K1} & \cdots & x_{KN} \end{bmatrix},\quad \mathbf{M}=\begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{K1} & \cdots & u_{KM} \end{bmatrix}$$

生产资源配置效率的改进可以表现为投入节约和产出扩张两个方面，即基于投入的和基于产出的生产资源配置效率。本文这里以基于投入到生产资源配置效率为重点介绍其分解体系。

2.1 基于投入的生产集合描述及其效率测度

这里假定产出是不变的，仅考虑投入的可节约性，即基于投入的效率测度。在规模收益不变(CRS)且投入自由处置(Strong Disposability)条件下，投入要素的集合描述为(简称为(*C*，*S*)投入集)

$L(u|C,S)=\{x:u\le z\mathbf{M},z\mathbf{N}\le x,z\in R_+^K\},u\in R_+^M$ 。

用 (x^k,u^k) 表示第 *k* 个厂商的投入产出向量，则基于(*C*，*S*)投入的技术效率函数为

$F_i(u^k,x^k|C,S)=\min\{\lambda:\lambda x^k\in L(u^k|C,S)\},k=1,\cdots,K$

$F_i(u^k,x^k|C,S)$ 是在满足(*C*，*S*)情况下度量生产 u^k 所投入 x^k 的效率，它表示在投入集 $L(u^k|C,S)$ 中 x^k 向生产前沿面的最大可行压缩的比率。

进一步增强技术集的约束，要求规模收益可变(Variable returns to scale，*V*)且投入的强可处置性(Strong disposability，*S*)。此时的投入集称为(*V*，*S*)投入集，表示为

$L(u|V,S)=\{x:u\le z\mathbf{M},z\mathbf{N}\le x,z\in R_+^K,\sum_{k=1}^K z_k=1\},u\in R_+^M$ 。

通过约束条件的比较可以发现，(*V*，*S*)投入集是(*C*，*S*)投入集的子集，即

$L(u|V,S)\subseteq L(u|C,S)$ 。

基于(*V*，*S*)投入集的技术效率函数为

$F_i(u^k,x^k|V,S)=\min\{\lambda:\lambda x^k\in L(u^k|V,S)\},k=1,\cdots,K$

上述两种投入集及其技术效率函数的差异反映的是特定技术水平下，规模经济性的好坏所造成的效率损失——规模效率。基于投入的规模效率可以理解为某一生产点与规模有效点比较规模经济性的发挥程度。即 $S_i(u^k,x^k)=F_i(u^k,x^k|C,S)/F_i(u^k,x^k|V,S),k=1,\cdots,K$

再考虑投入要素的可处置性变化。假定规模收益可变(Variable returns to scale，*V*)，研究投入的强可处置性(Strong disposability，*S*)的效率测度。此时的投入集称为(*V*，*S*)投入集，表示为

$L(u|V,S)=\{x:u\le z\mathbf{M},z\mathbf{N}\le x,z\in R_+^K,\sum_{k=1}^K z_k=1\},u\in R_+^M$ 。

基于(*V*，*S*)投入集的技术效率函数为 $F_i(u^k,x^k|V,S)=\min\{\lambda:\lambda x^k\in L(u^k|V,S)\},k=1,\cdots,K$

如果所有投入都是弱处置的，则规模收益可变的弱处置投入集(即(*V*，*W*)投入集)为

$$L(u|V,W)=\{x: u\le z\mathbf{M}, z\mathbf{N}=\sigma x, 0<\sigma\le 1, z\in R_{+}^{K}, \sum_{k=1}^{K} z_k = 1\}, u\in R_{+}^{M}\text{。}$$

基于(*V*，*W*)投入集的投入效率函数为：

$$F_i(u^k, x^k|V,W)=\min\{\lambda:\lambda x^k\in L(u^k|V,W)\}, k=1,\cdots,K$$

生产要素处置能力的强弱体现了一个生产部门配置生产资源合理性程度的高低，当投入要素处于弱处置状态时，会产生由于部分或全部要素的过剩而导致的要素闲置，甚至造成由于要素拥挤而形成的生产过程阻塞。存在要素拥挤的投入效率与剔除要素拥挤现象后的投入效率的比值称为投入可处置度，即 $C_i(u^k,x^k)=F_i(u^k,x^k|V,S)/F_i(u^k,x^k|V,W), k=1,\cdots,K$

2.2 基于投入的生产资源配置效率分解的图示分析

采用两种投入的等产量线给出基于投入的生产资源配置效率分解的分段线性模型的图示(图 1)。图中生产投入的观测点为 *V*，具有投入强可处置性和规模收益不变的有效等产量线为 $L^{CS}(u)$，具有投入强可处置性但规模收益可变的等产量线为 $L^{VS}(u)$，具有投入弱可处置性的后弯等产量线为 $L^{VW}(u)$。

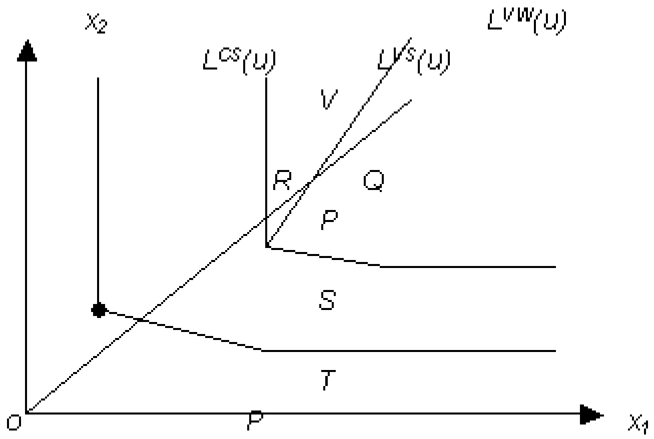

图 1 投入资源配置综合效率分解图示

首先考虑规模收益性变化而其它条件不变的情形，由于允许规模收益性变化生产点由规模收益可变的 *R* 点移动到规模收益不变的 *S* 点，两个生产点之间存在的差距表现为规模经济性差异所导致的效率损失，即投入规模效率。

如果仅考虑要素可处置性变化而保持其它条件不变，则此时由于投入要素拥挤现象造成的效率损失为 *QR* 段，要素拥挤的典型特征是伴随某一种投入要素的增加产出反而降低，即投入可处置度。

最后如果假定投入规模收益性不变，投入要素可处置性不变，则此时的存在的效率损失为 *VQ* 段，这是排除了规模经济性、要素组合有效性和要素可处置性之后遗留的单纯的生产技术和管理技术水平发挥程度所反映的效率损失，称之为纯技术效率。

图 1 可以认为是基于投入的生产资源配置效率分解的最直观图示。需要说明的是，图中的等产量线与一般文献中的有所不同，图中的等产量线 $L^{CS}(u)$、$L^{VS}(u)$、$L^{VW}(u)$表示在同一产出下由于资源配置效率的提高实现了要素资源的节约，从而导致等产量线的下降。

3 生产前沿面移动的非参数描述

在多时期的动态条件下，不仅生产资源配置效率要发生变化，技术水平也要发生变化，亦即要

有技术进步发生。我们一般采用生产率来描述这两方面的综合变化。亦即，TFP 的增长应该包含要素资源配置效率的变化和技术水平变化两个方面。生产率指数有多种形式，其中目前被广泛使用的典型的生产率指数是曼奎斯特指数〔*Malmquist Index Number*〕[0]。曼奎斯特生产率指数是在距离函数的基础上定义的，因而和法雷尔(*Farrell*)效率理论有着密切联系。

谢泼德(*R.W. Shephard*)提出的投入与产出距离函数(Distance Function)是以基于生产前沿面思想的生产技术集合论描述为基础的，它可以用来建立多产出多投入的技术描述形式，并可以转化成比较方便的参数模型和非参数模型，因而在近年来得到了长足的发展和大量应用。本文给出基于生产前沿面的曼奎斯特生产率指数的非参数模型。

3.1 生产前沿面移动情况下的全要素生产率非参数模型

用向量 *N* 表示投入向量 $x=(x_1,\cdots,x_N)$，向量 *M* 表示产出向量 $u=(u_1,\cdots,u_M)$，技术集 $GR=\{(x,u):x\in R_+^N,u\in R_+^M\}$。对于所有投入向量，用 *P(x)* 表示可行产出集，$P(x)=\{u:(x,u)\in GR\}$。在每一个特定时期 $t=1,2,\cdots,T$，生产技术集 GR^t 由所有可行的投入产出向量组成的，即 $GR^t=\{(x^t,u^t):x^t\text{可以生产}u^t\}$。对于时间 t，有 $x^t\in R_+^{N_t}$ 和 $u^t\in R_+^{M_t}$，其中定义投入集 $N=\max_t\{N_t\}$，产出集 $M=\max_t\{M_t\}$。在每一个时期所观测的决策单元为 $k=1,2,\cdots,K$，假定 $K=\max_t\{K_t\}$。上述假定可以保证如果 $M_t\neq M_{t+1}$、$N_t\neq N_{t+1}$，通过加入 0 元素使 $M_t=M_{t+1}$、$N_t=N_{t+1}$。

由于谢泼德定义的距离函数是所对应的法雷尔技术效率函数的倒数，所以可以将生产率指数的距离函数描述转化为效率函数描述。据此转化的效率函数描述的定义式为：

$$M^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^t,x^t\right)=\left[\frac{F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)}\cdot\frac{F_i^t\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^t\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

其中，四个技术效率函数的非参数模型为：

$$F_i^t\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)=\min\left\{\lambda:\lambda x^t\in L^t\left(u^t\middle|C,S\right)\right\},$$

$$F_i^t\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)=\min\left\{\lambda:\lambda x^{t+1}\in L^t\left(u^{t+1}\middle|C,S\right)\right\},$$

$$F_i^{t+1}\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)=\min\left\{\lambda:\lambda x^t\in L^{t+1}\left(u^t\middle|C,S\right)\right\},$$

$$F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)=\min\left\{\lambda:\lambda x^{t+1}\in L^{t+1}\left(u^{t+1}\middle|C,S\right)\right\},$$

对于每一决策单元 *k*，两时期交叉的技术效率由于不必保证 $x^{t+1}\in L^t(u^{t+1}|C,S)$ 和 $x^t\in L^{t+1}(u^t|C,S)$，其线性规划解可以大于 1。

3.2 基于动态生产前沿面的曼奎斯特生产率指数的基本分解

式(1－1)的基于(C，S)曼奎斯特生产率指数模型可以分解为如下形式

$$M^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=\frac{F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t}\left(u^{t},x^{t}\middle|C,S\right)}\cdot\left[\frac{F_i^{t}\left(u^{t},x^{t}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^{t},x^{t}\middle|C,S\right)}\cdot\frac{F_i^{t}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

括号外面是两个时期资源配置效率的比值，与技术水平的变化无关，只表示两个时期生产资源配置效率水平的变化率。括号中两个比率的平方根可以看作是在 t+1 和 t 时期之间用两个比率的几何平均数表示的技术水平变化率。根据上述分解我们可以给出下面两个定义。

定义一：在规模收益恒定且要素自由处置(C，S)条件下，基于投入(即投入可压缩)的技术水平变化率(或技术进步率)为

$$TC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=\left[\frac{F_i^{t}\left(u^{t},x^{t}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^{t},x^{t}\middle|C,S\right)}\cdot\frac{F_i^{t}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

定义二：在规模收益恒定且要素自由处置(C，S)条件下，基于投入的资源配置效率变化率为

$$AC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=\frac{F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t}\left(u^{t},x^{t}\middle|C,S\right)} \tag{4}$$

由于上述技术进步率和生产资源配置效率变化率公式中使用的技术效率函数都有对应的非参数可测算模型，因此可以采用基于生产前沿面的非参数方法进行测度。至此我们完成了基于生产前沿面的全要素生产率的非参数基本分解。

3.3 基于动态生产前沿面的资源配置效率变化率的进一步分解

由于规模收益恒定且因素自由处置(C，S)条件下的生产资源配置效率可以分解为纯技术效率、规模效率和要素可处置度，即 $F_i^t(u^t,x^t|C,S)=F_i^t(u^t,x^t|V,W)\cdot S_i^t(u^t,x^t)\cdot C_i^t(u^t,x^t)$，与此相对应，基于(C，S)投入的资源配置效率变化率可以进一步分解为纯技术效率变化率 $PC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)$、规模效率变化率 $SC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)$ 和要素可处置度变化率 $CC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)$的乘积。

$$AC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=PC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)\cdot SC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)\cdot CC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right),$$

其中，$$PC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=\frac{F_i^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1}\middle|V,W\right)}{F_i^{t}\left(u^{t},x^{t}\middle|V,W\right)}, \tag{5}$$

$$SC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=\frac{S_i^{t+1}(u^{t+1},x^{t+1})}{S_i^{t}(u^{t},x^{t})}, \tag{6}$$

$$CC^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)=\frac{C_i^{t+1}(u^{t+1},x^{t+1})}{C_i^{t}(u^{t},x^{t})}。 \tag{7}$$

上式表明，资源配置效率的改善和技术水平的提高是提高全要素生产率的源泉，而资源配置效率水平又由纯技术效率、规模效率和要素可处置度决定。当生产率指数 $M^{t+1}\left(u^{t+1},x^{t+1},u^{t},x^{t}\right)>1$ 时，

综合生产率水平提高。构成曼奎斯特生产率指数的四个变化率具有类似的特性，即当某一变化比率大于 1 时，表明其是生产率提高的源泉，反之则是导致生产率降低的根源。

3.4 基于动态生产前沿面的技术进步率的进一步分解

多时期的技术进步意味着技术的变化，亦即描述每个时期的函数要发生变化。技术进步改变了厂商的生产技术状态，也打破了基于特定技术水平的生产与供给理论的传统框架体系。为了保证两个时期能使用同一个函数形式，参数方法必须附带函数齐次性要求的规模收益不变假定、技术进步时只有参数变化而函数形式不发生变化的技术进步中性假定等等，所得到的生产率测算结果也必然要限定在上述意义下。而非参数方法由于没有函数形式的制约，不必附带这些假定条件，不仅可以测算中性技术进步率，而且可以测算非中性技术进步率。

(1) 希克斯中性技术进步率的非参数模型

在经济增长理论中，中性技术进步主要有希克斯中性、哈落德中性和索洛中性三种定义，其中希克斯中性是最常用的基本的中性技术进步定义形式。希克斯中性技术进步是指，对于任意给定的不变投入要素组合比率，技术进步前后的要素边际替代率不变。此时的技术进步仅由产出水平决定，因而希克斯中性技术进步也称为产出增长型技术进步。

下面给出同样以生产集合论描述方法得到的希克斯中性技术进步的非参数模型。由于产出距离函数的集合论定义形式可以描述多产出情形。为了反映技术进步的产出替代关系，与投入中性技术进步的经济意义相类似，引申出希克斯产出中性技术进步的概念。

定义：对于规模收益不变(CRS)的技术，如果

$$NTC=\frac{F_i^t\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)} \tag{8}$$

则称此时技术进步呈现投入产出联合希克斯中性(简称为联合中性)。

(2)非中性技术进步率的非参数模型

当不能保证中性技术进步时，必须考虑投入与产出非中性变化的各种可能性。首先考虑产出非中性的技术进步问题。

定义：在规模收益不变条件下，产出非中性技术进步率为

$$OBTC=\left[\frac{F_i^t\left(x^{t+1},u^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(x^{t+1},u^{t+1}\middle|C,S\right)}\cdot\frac{F_i^{t+1}\left(x^{t+1},u^t\middle|C,S\right)}{F_i^t\left(x^{t+1},u^t\middle|C,S\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

其中，$F_i^t\left(u^t,x^{t+1}\middle|C,S\right)=\min\left\{\lambda:\lambda x^{t+1}\in L^t\left(u^t\middle|C,S\right)\right\}$，

$F_i^{t+1}\left(u^t,x^{t+1}\middle|C,S\right)=\min\left\{\lambda:\lambda x^{t+1}\in L^{t+1}\left(u^t\middle|C,S\right)\right\}$，

类似于产出非中性技术进步，投入非中性技术进步率可以定义为

定义：在规模收益不变条件下，投入非中性技术进步率为

$$IBTC=\left[\frac{F_i^t\left(u^t,x^{t+1}\middle|C,S\right)}{F_i^{t+1}\left(u^t,x^{t+1}\middle|C,S\right)}\cdot\frac{F_i^{t+1}\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)}{F_i^t\left(u^t,x^t\middle|C,S\right)}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

无论采用投入距离函数、产出距离函数还是法雷尔投入效率函数，都可以得到相同的结果，即

$$TC = NTC \cdot OBTC \cdot IBTC$$

4　生产前沿面移动的应用研究

选择全国 30 个省(市、区)规模以上独立核算工业 1993 年、1996 年、1999 年底的统计数据，利用文献[7]中的数据平减方法进行了处理，采用曼奎斯特生产率指数的非参数分解方法进行了测算，然后按中国经济学界常用的东中西部划分方法进行了整理，结果如表 1 所示。需要说明的是，由于生产率增长理论内涵及其测算方法的不同，所得到的测算结果和同类研究结果有些差异，同时，由于本论文只选取了一个工业增加值产出指标，因而不存在产出非中性的情况。

下面对表 1 的计算结果进行具体分析。

表 1、独立核算工业生产率增长的非参数分解[12]

地区		工业增加值年均增长率	生产率指数	资源配置效率变化率	其中			技术进步率	其中	
					纯技术效率变化率	规模效率变化率	要素可处置度变化率		投入非中性技术进步率	中性技术进步率
东部	92-95	12.00%	0.5502	0.8469893	0.9949849	0.9584212	0.6569928	0.8957601	1.2124427	0.5426477
	95-98	11.33%	1.1321	1.055494	1.0193139	1.005728	1.0707878	1.0452826	1.1419336	0.9428335
中部	92-95	7.67%	0.7368	0.9276705	1.0965553	0.9993836	0.7995389	0.8548347	1.1228149	0.715197
	95-98	7.33%	1.1098	1.0075875	0.9273252	1.0129957	1.1046089	1.0956606	1.1808351	0.9374461
西部	92-95	8.33%	0.7014	0.8791156	1.0104213	1.0069311	0.7969044	0.8682287	1.1862082	0.6750209
	95-98	5.33%	1.1734	0.957622	0.947845	1.0034409	1.2228858	1.0187843	1.1450846	1.0878442

1. 从工业增加值年均增长率看，92—95 年间工业的增长明显块于 96 年以后的增长，东部的工业增长明显高于中西部；

2. 92—95 年间东中西部的生产率指数都小于 1，说明全国工业在这一期间总体上呈现明显的粗放型增长特征，而 95—98 年间生产率指数都大于 1，说明软着陆和其他相关宏观经济政策的调整取得成效，工业经济表现出一致性的集约型增长特征，开始呈现出粗放型增长向集约型增长的转变；

3. 92—95 年间东中西部生产率增长的降低表现为一致性的技术进步率和资源配置效率变化率同时降低，说明这一期间粗放性增长格局的形成不是由于资源配置不合理或技术水平下降的单一原因造成的，而是两方面共同作用的结果；

4. 92—95 年间生产资源配置效率的降低主要表现为由于固定资产投资过快、流动资金周转不灵造成的生产要素资源的可处置能力的下降，95—98 年生产要素可处置度的提高是生产资源配置效率提高的主要原因；

5. 两个时期技术的变化都呈现非中性的特征，一方面中性技术变化呈降低趋势，另一方面非中性技术进步非常迅速。说明工业增长过程中伴随要素密集性特征的变革工业产业结构逐步向高度化发展。

应用研究表明，基于生产前沿面的 Malmquist 生产率指数的非参数测度与分解方法可以比较好的揭示经济增长的特征及其内在原因。

5 结论

综上，本文得到如下结论：

1. 在静态生产前沿面条件下，没有技术进步发生。如果假定产出不发生变化，厂商没有达到生产可能性边界(即生产前沿面)可能存在的投入效率损失包括规模经济性、生产要素可处置性和纯技术效率损失三个方面(这里没有考虑价格因素)。

2. 在动态生产前沿面条件下，生产前沿面的移动意味着技术进步的发生。此时生产的无效性体现为生产率的损失，包括技术水平的变化和生产资源配置效率的变化。为了便于和一般参数方法研究技术进步问题时中性技术进步假定相对应，本文给出了投入产出联合中性技术进步率、投入非中性技术进步率和产出非中性技术进步率的技术水平变化率分解。

3. 通过引入 Malmquist 生产率指数，可以实现动态生产前沿面的非参数测度与分解。通过实证研究验证了基于非参数动态生产前沿面的生产率测度与分解的合理性和实用性。

参考文献

[1] Aigner, D. J. And D. S. Chu, On estimating the industry production function, American Economic Review, 58, 1968, 826-839.

[2] Caves, D.W., L.R. Christensen, and W.E. Diewert (1982), "The Economic Theory of Index Numbers of the Measurement of Input, Output and Productivity," Econometrica 50:6 (November), 1393-1414.

[3] Seiford, L. M. and R. M. Thrall, Recent Development In DEA: The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis, in A. Y. Lewin and C. A. K. Lovell, eds., 1990.

[4] 张国初，前沿生产函数、要素使用效率和全要素生产率[J],数量经济技术经济研究, 1996(9)：27--33.

[5] 李京文，钟学义. 中国生产率分析前沿[M]. 北京：社会科学文献出版社, 1998.

[6] 孙巍. 基于非参数投入前沿面的 Malmquist 生产率指数研究[J]. 中国管理科学, 2000(1)：22-26.

[7] 孙巍. 基于产出的生产规模效率及其测度方法研究[J]. 数量经济技术经济研究, 1999(7)：49-52.

[8] 孙巍. 生产投入可处置性测度理论及其非参数方法的应用研究[J]. 数量经济技术经济研究, 1999(2)：40-42.

[9] 孙巍. 生产资源配置效率——生产前沿面理论及其应用[M]. 北京：社会科学文献出版社, 2000(6).

[10] 孙巍，杨庆芳，杨树绘. 产出资源配置效率的参数测度与非参数测度及其比较分析[J]. 系统工程理论与实践, 2000(6): 118-122.

[11] 孙巍，张屹山. 全要素生产率的非参数测度与分解研究[C]. 21 世纪数量经济学(第一卷)，北京：中国统计出版社, 2000.

[12] 孙巍，叶正波. 转轨时期中国工业的效率与生产率——动态非参数生产前沿面理论及其应用[J]. 中国管理科学, 2002(4)：1-6.

The Non-parametric Models of Dynamic Production Frontiers

SUN Wei

(School of Business administration, Jilin University, Changchun, Jilin, 130012)

Abstract: According to productivity index number theory and non-parametric approaches of production frontiers, the non-parametric model of total factor productivity (TFP) of Malmquist index number is established by introducing Distance function. TFP is decomposed non-parametrically into the rate of technical progress and the changing rate of production resource allocation efficiency basically and the further concrete decompositions are put forward. The empirical investigation verifies the feasibility and the utility of the non-parametric approaches of TFP measurement and decompositions.

Key words: Production frontier； non-parametric mode；TFP； productivity index number

收稿日期：2003-05-10;

基金项目：国家自然科学基金资助项目(70172035)和教育部规划项目(01JA790061)

作者简介：孙巍(1963—)，男，吉林大学商学院工商管理研究所所长，教授。研究方向：企业效率理论。

[1] 原始数据来源：1993 年、1996 年、1999 年《中国统计年鉴》，中国统计出版社。
[2] 表中计算结果采用本课题组开发的软件《Frontiers 1.01》计算得到。中部、东部和西部的效率值是处理后的平均值。