

文章编号:1000-6788(2006)06-0030-05

基于非参数-参数法的一致 Malmquist 生产率指数

康梅,冯英俊

(哈尔滨工业大学管理学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: Malmquist 生产率指数的计算结果依赖于参考的生产可能集,其原因是其分解的前沿面技术变化依赖于使用的投入产出数据.针对 Malmquist 生产率指数计算中存在的这些问题,将生产可能集推广为一致生产可能集,利用非参数、参数相结合的方法给出一种一致 Malmquist 生产率指数.该指数的计算结果不依赖于参考的生产可能集,且能系统反映出分析期内生产前沿面的移动,同时满足相邻 Malmquist 生产率指数不满足的指数检验-循环检验.

关键词: 产出距离函数;Malmquist 生产率指数;数据包络分析

中图分类号: F224.0

文献标识码: A

A Consistent Malmquist Productivity Index Based on Nonparametric-parametric Approach

KANG Mei, FENG Ying-jun

(School of Economics and Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Malmquist productivity index is not consistent when refer to difference production technology, the reason of which is technical change, one component of Malmquist index corresponding to shifts at the frontier level, varies with different input-output datum. To overcome this shortcoming in the estimation of Malmquist productivity index, this paper extend production technology to consistent production technology, under which a consistent Malmquist productivity index is presented based on nonparametric-parametric approach. In addition to offering a consistent estimation for Malmquist productivity index, the method presented here can also capture the movement of the production frontier systematically and satisfy circular test-one index test that can't be satisfied by adjacent Malmquist productivity index.

Key words: output distance function; Malmquist productivity index; data envelopment analysis

1 引言

Malmquist 生产率指数是 Caves, Christensen 和 Diewert (1982) 在扩展了 Malmquist 思想的基础上引入的, 该指数能反映评价单元前后期生产率的变化, 且可将其分解为前沿面技术的变化和相对于前沿面技术效率的变化, 但以前期生产可能集为参考的 Malmquist 生产率指数往往与以后期生产可能集为参考的 Malmquist 生产率指数不一致, 前沿技术变化也会由于使用不同的投入产出数据而得到不同结果. 为克服这一局限, Färe, Grosskopf, Lindgren 和 Roos (1989) 计算了 Caves 等人定义的两个 Malmquist 生产率指数的几何平均, 称为相邻 (adjacent) Malmquist 生产率指数, 后来 Berg, Forsund 和 Jansen (1992) 引入一种以一个固定期生产可能集为参考集的基期 Malmquist 生产率指数, 这两种扩展的 Malmquist 生产率指数避免了 Malmquist 生产率指数计算中参考的生产可能集的选择问题, 但没能从根本上解决上述问题, 且基期 Malmquist 生产率指数的计算结果往往由于基期的选择不同而不同. 本文利用非参数、参数相结合的方法给出 Malmquist 生产率指数的一致估计, 它能克服上述存在的问题, 且满足相邻 Malmquist 生产率指数不满足的指数检验-循环检验.

2 基于产出的 Malmquist 生产率指数

假设 t 期 ($t = 1 \dots T$) 将投入 $X^t = (x_1^t, \dots, x_K^t)$ R_+^K 转换成产出 $Y^t = (y_1^t, \dots, y_M^t)$ R_+^M 的生产技术

收稿日期: 2005-06-20

资助项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (70131010)

作者简介: 康梅 (1970 -), 女, 山东人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为生产率分析、绩效评价.

(production technology 或称生产可能集) S^t 为:

$$S^t = \{ (X^t, Y^t) : X^t \text{ 可以生产 } Y^t \}. \quad (1)$$

S^t 包含 t 期观察的投入产出数据, 满足凸性 (convexity)、产出的强可处理性 (strong disposability of output) 等公理, t 期产出距离函数定义为:

$$D_0^t(X^t, Y^t) = \inf \{ \lambda : (X^t, Y^t/\lambda) \in S^t \} = (\sup \{ \lambda : (X^t, Y^t) \in \lambda S^t \})^{-1}. \quad (2)$$

注意到 $D_0^t(X^t, Y^t) = 1$ 当且仅当 $(X^t, Y^t) \in S^t$, $D_0^t(X^t, Y^t) = 1$ 当且仅当 (X^t, Y^t) 位于 S^t 的生产前沿面上. 不难证明 $(X^t, Y^t/D_0^t(X^t, Y^t))$ 落在 S^t 的生产前沿面上, 称为 (X^t, Y^t) 在 S^t 生产前沿面上的投影, $D_0^t(X^t, Y^t)$ 反映 (X^t, Y^t) 与 S^t 前沿面的距离, 也称为技术效率. 跨期产出距离函数的定义是:

$$D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1}) = \inf \{ \lambda : (X^{t+1}, Y^{t+1}/\lambda) \in S^t \}. \quad (3)$$

t 期至 $t+1$ 期 (以 S^t 为参考集) 基于产出距离函数的 Malmquist 生产率指数定义为:

$$M_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)}. \quad (4)$$

(4) 式进一步分解为:

$$\begin{aligned} M_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) &= \frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \cdot \frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \\ &= TE(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) \cdot T(X^{t+1}, Y^{t+1}), \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $TE(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t)$ 是技术效率的变化, $T(X^{t+1}, Y^{t+1})$ 是用 $t+1$ 期投入产出数据 (X^{t+1}, Y^{t+1}) 测得的技术的变化, 它反映前沿面技术的移动. 以 S^{t+1} 为参考集的 Malmquist 生产率指数 $M_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t)$ 及其分解式为:

$$\begin{aligned} M_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) &= \frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} = \frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \cdot \frac{D_0^t(X^t, Y^t)}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \\ &= TE(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) \cdot T(X^t, Y^t), \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $T(X^t, Y^t)$ 是使用 t 期投入产出数据 (X^t, Y^t) 测得的 t 至 $t+1$ 期前沿面技术的变化. 一般情况下 $T(X^t, Y^t) \neq T(X^{t+1}, Y^{t+1})$, 在多评价单元同时评价时, $T(X^t, Y^t)$ 会由于使用不同评价单元 t 或 $t+1$ 期的投入产出数据而得到不同的结果, (5) 式和 (6) 式的几何平均即是相邻 Malmquist 生产率指数, 这是目前我们常用的方法^[4~6]. Malmquist 生产率指数的计算有参数法^[7], 最常用是非参数前沿方法 (数据包络分析法)^[6]. 假设有 $i = 1 \dots n$ 个评价单元, i 企业在 t 期使用 K 种投入 x_k^{it} ($k = 1 \dots K$) 生产 M 种产出 y_m^{it} ($m = 1 \dots M$), 非参数前沿方法确定的 t 期生产可能集可由这些观测数据构造 (不假设规模收益不变):

$$S^t = \{ (X^t, Y^t) : \sum_{i=1}^n \lambda_i x_k^{it} = x_k^t, k = 1 \dots K, \sum_{i=1}^n \lambda_i y_m^{it} = y_m^t, m = 1 \dots M, \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \lambda_i \geq 0, i = 1 \dots n \}. \quad (7)$$

相应的各单元产出距离函数和跨期产出距离函数是下面 BCC 模型的解:

$$\begin{aligned} (D_0^t(X^{i_0^t}, Y^{i_0^t}))^{-1} &= \max_{i_0} \lambda_{i_0} \\ \text{s. t. } &\sum_{i=1}^n \lambda_i x_k^{it} = x_k^{i_0^t}, k = 1 \dots K \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i y_m^{it} = y_m^{i_0^t}, m = 1 \dots M \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{aligned} \quad (8)$$

$$(D_0^t(X^{i_0^{t+1}}, Y^{i_0^{t+1}}))^{-1} = \max_{i_0} \lambda_{i_0}$$

$$\begin{aligned} \text{s. t. } &\sum_{i=1}^n \lambda_i x_k^{it} = x_k^{i_0^{t+1}}, k = 1 \dots K \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i y_m^{it} = y_m^{i_0^{t+1}}, m = 1 \dots M \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n i_t = 1 \tag{9}$$

$$i_t = 0, i = 1 \dots n$$

其中 $i_0 \in \{1, 2, \dots, n\}$ 是被评价的单元.

3 基于非参数 - 参数法的一致 Malmquist 生产率指数

比较(5)、(6)式可见, $M_0^t(t^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t)$ 与 $M_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t)$ 的差别只在于 $T(X^t, Y^t)$ $T(X^{t+1}, Y^{t+1})$, 而从实际意义来看, t 至 $t+1$ 期前沿面的变化对不同的评价单元是一致的, 如果能得到对不同评价单元和前后期数据一致的前沿面技术变化, Malmquist 生产率指数计算中不一致的问题就可以解决. 从当前生产率、效率测量方法的发展来看, 当实际情况存在时变效率, 非白噪声误差时, 随着模型复杂性的引入, 多数估计表现出明显的脱离实际, 而混合效果估计和 DEA 方法表现最好^[8]. DEA 方法能识别出生产的前沿面位置, 但它的一个不足之处是不能给出前沿面生产函数的形状和弹性, 为此文[9]在综合了非参数、参数前沿面方法的基础上, 给出了能识别出观测点集边界形状的新方法 - 非参数前沿面的参数估计方法. 下面我们在一致生产可能集的基础上, 利用这种方法来识别前沿面技术的变化.

由(1)式定义的生产可能集在实际应用中会产生难以解释的结果(为此文[6]在建立 S^t 时把上期前沿面上的点也包括进来以防止技术退步情况), 事实上任何在前期能实现的投入产出技术转换, 在后期也能实现, 即满足 $S^1 \subseteq S^2 \subseteq \dots \subseteq S^T$, 我们称满足这样条件的生产可能集在分析期内是一致的. 一致生产可能集的建立可采用非参数数据包络分析方法(DEA), 具体做法为:

$t=1$ 时, 直接利用该时期的投入产出数据按照(7)式建立生产可能集 S^1 , 按照(8)式求出该期实际投入产出数据在 S^1 前沿面上的投影; 从 $t=2$ 开始, 依次将上期实际投入产出数据在上期生产可能集前沿面上的投影也作为下期生产可能集的观测点, 与下期实际投入产出数据一起按照公式(7)建立下期生产可能集, 同时由(8)式求得各期实际投入产出数据在当期一致生产可能集前沿面上的投影.

设有 n 个评价单元, i 单元在 t 期 ($t=1 \dots T$) 的投入是资金和劳动力, 记为 $X_{it} = (K_{it}, L_{it})$, 产出是总产值或增加值记为 Y_{it} . 按照上述方法, 建立一致生产可能集 $S^1 \subseteq S^2 \subseteq \dots \subseteq S^T$, 同时得到各期实际投入产出数据在当期一致生产可能集前沿面上的投影:

$$F^t = \{ (K_{it}, L_{it}, Y_{it}) : i_t = 1/D_0^t(X_{it}, Y_{it}), i = 1 \dots n \}, t = 1 \dots T.$$

C-D 生产函数对由 DEA 得到的非参数生产前沿面具有很好的拟合性质, 设前沿面生产函数的表达式为: $Y_t = A_t K_t L_t, t=1 \dots T$, 利用年哑变量和非参数生产前沿面上的点集 $F = \{ F^t : t=1 \dots T \}$ 可估计出 A_t 及 $A_t, t=1 \dots T$. 忽略拟合误差, 得到各评价单元各期的实际生产函数:

$$Y_{it} = D_0^t(X_{it}, Y_{it}) A_t K_{it} L_{it}, i = 1, 2 \dots n, t = 1, 2 \dots T. \tag{10}$$

命题 1 $M_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it}) = \frac{D_0^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1})}{D_0^t(X_{it}, Y_{it})} \cdot \frac{A_{t+1}}{A_t}$ (11)

证明 由跨期产出距离函数的定义(3), $(K_{it+1}, L_{it+1}, Y_{it+1}/D_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1}))$ 落在 t 期生产可能集 S^t 的前沿面上, 忽略拟合误差, $(K_{it+1}, L_{it+1}, Y_{it+1}/D_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1}))$ 满足 t 期前沿面生产函数表达式: $Y_t = A_t K_t L_t$, 即有:

$$\frac{Y_{it+1}}{D_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1})} = A_t K_{it+1} L_{it+1}, \text{ 从而有} \tag{12}$$

$$Y_{it+1} = D_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1}) A_t K_{it+1} L_{it+1}$$

由(10)式有:

$$Y_{it+1} = D_0^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1}) \cdot A_{t+1} K_{it+1} L_{it+1} \tag{13}$$

$$Y_{it} = D_0^t(X_{it}, Y_{it}) \cdot A_t K_{it} L_{it} \tag{14}$$

联合(12)(13)(14)有:

$$M_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it}) = \frac{D_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1})}{D_0^t(X_{it}, Y_{it})} = \frac{D_0^t(X_{it+1}, Y_{it+1}) \cdot A_t}{D_0^t(X_{it}, Y_{it}) \cdot A_t} = \frac{D_0^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1}) \cdot A_{t+1}}{D_0^t(X_{it}, Y_{it}) A_t}$$

一致 Malmquist 生产率指数具有如下性质

性质 1 1) $T(X_{it}, Y_{it}) = T(X_{it+1}, Y_{it+1}) = A_{t+1}/A_t$, 任意 $i = 1 \dots n$

$$2) M_O^t(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it}) = M_O^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it})$$

证明 根据(5)式和命题 1 证明中的(12)、(13)式可知,由 i 单元 $t+1$ 期数据测得的 t 至 $t+1$ 期前沿

面技术变化为: $T(X_{it+1}, Y_{it+1}) = \frac{D_O^t(X_{it+1}, Y_{it+1})}{D_O^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1})} = \frac{A_{t+1}}{A_t}$; 同理可证: $T(X_{it}, Y_{it}) = \frac{D_O^t(X_{it}, Y_{it})}{D_O^{t+1}(X_{it}, Y_{it})} = \frac{A_{t+1}}{A_t}$. 由(5)、(6)式及性质 1) 可知性质 2) 成立.

由性质 1 的 2) 知,一致 Malmquist 生产率指数不依赖于参考的生产可能集,以下记:

$$M_O(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it}) = M_O^t(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it}) = M_O^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it})$$

定义 如果 t 至 $t+1$ 期的指数与 $t+1$ 至 $t+2$ 期的指数之积等于 t 至 $t+2$ 期的指数,则称该指数满足循环检验(Circular Test)

常用的相邻 Malmquist 生产率指数不满足循环检验,基期 Malmquist 生产率指数满足循环检验,但其结果依赖于基期的选择,我们证明一致 Malmquist 生产率指数满足循环检验.

性质 2 一致 Malmquist 生产率指数 $M_O(X_{t+1}, Y_{t+1}, X_t, Y_t)$ 满足循环检验,即:

$$M_O(X_{t+1}, Y_{t+1}, X_t, Y_t) \cdot M_O(X_{t+2}, Y_{t+2}, X_{t+1}, Y_{t+1}) = M_O(X_{t+2}, Y_{t+2}, X_t, Y_t)$$

证明 我们以 i 单元为例证明,由命题 1 有:

$$\begin{aligned} & M_O(X_{it+1}, Y_{it+1}, X_{it}, Y_{it}) \cdot M_O(X_{it+2}, Y_{it+2}, X_{it+1}, Y_{it+1}) \\ &= \frac{D_O^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1})}{D_O^t(X_{it}, Y_{it})} \cdot \frac{A_{t+1}}{A_t} \cdot \frac{D_O^{t+2}(X_{it+2}, Y_{it+2})}{D_O^{t+1}(X_{it+1}, Y_{it+1})} \cdot \frac{A_{t+2}}{A_{t+1}} = \frac{D_O^{t+2}(X_{it+2}, Y_{it+2})}{D_O^t(X_{it}, Y_{it})} \cdot \frac{A_{t+2}}{A_t} \end{aligned}$$

另一方面,由跨期产出距离函数知 $(K_{it+2}, L_{it+2}, Y_{it+2}/D_O^t(X_{it+2}, Y_{it+2}))$ 落在生产可能集 S^t 的前沿面上,于是有: $Y_{it+2} = D_O^t(X_{it+2}, Y_{it+2}) A_t K_{it+2} L_{it+2}$, 同理有: $Y_{it+2} = D_O^{t+2}(X_{it+2}, Y_{it+2}) A_{t+2} K_{it+2} L_{it+2}$.

比较两式得到: $D_O^t(X_{it+2}, Y_{it+2}) A_t = D_O^{t+2}(X_{it+2}, Y_{it+2}) A_{t+2}$, 于是有:

$$M_O(X_{it+2}, Y_{it+2}, X_{it}, Y_{it}) = \frac{D_O^t(X_{it+2}, Y_{it+2})}{D_O^t(X_{it}, Y_{it})} = \frac{D_O^t(X_{it+2}, Y_{it+2}) \cdot A_t}{D_O^t(X_{it}, Y_{it}) \cdot A_t} = \frac{D_O^{t+2}(X_{it+2}, Y_{it+2}) \cdot A_{t+2}}{D_O^t(X_{it}, Y_{it}) \cdot A_t}$$

4 应用实例

利用上述方法,我们对 1998~2003 年东部地区 11 个省(海南除外)和中部地区 9 个省进行了分析,全部数据取自中国经济统计数据查询与辅助决策系统网站,投入采用固定资产净值年平均余额和年末在岗职工人数,产出采用工业增加值.由 Malmquist 生产率指数的一致估计方法我们得到 1998~2003 年前沿面生产函数:

$$Y_t = A_t K_t L_t, \quad t = 1 \dots T, \quad \text{其中} \quad \alpha = 0.4201, \quad \beta = 0.7184,$$

$$A_1 = 0.8749, A_2 = 1.0278, A_3 = 1.2220, A_4 = 1.3219, A_5 = 1.4636, A_6 = 1.8261.$$

其调整后的 R^2 值是 89.42%,各参数的显著性都在 97%以上.在用 C-D 生产函数拟合由 DEA 得到的非参数生产前沿面时,为避免投入要素的共线性造成的参数估计的不稳定,我们对 C-D 生产函数的对数形式进行衡等变形,以 $\ln(K/L)$ 和 $\ln L$ 为自变量进行估计,这种方法会使模型的拟合优度降低,部分点的误差增大,但能得到符合实际情况的稳定的参数估计.按照式(11)我们计算了各单元各期的 Malmquist 生产率指数 M_O^t ,考虑到前沿面生产函数对非参数生产前沿面上点集 F 的拟合误差,我们在估计出前沿面生产函数的表达式后,由(10)式重新计算了评价单元相对于前沿面生产函数的产出距离函数,得到误差修正后的产出距离函数 D_O^t ,Malmquist 生产率指数 M_O^t ,结果发现 D_O^t 与 D_O^t 差别不大, D_O^t 与 D_O^t 的差别主要表现在前沿面上的几个点, M_O^t 与 M_O^t 的差别更小,这说明从整体上看拟合误差对评价结果影响不是很大.

因为辽宁和广西的工业发展远没有东部地区其它省市发达,我们将这两个省放在中部地区参与排序.从非参数距离函数的计算结果我们发现,东部地区的北京、天津、上海和山东在分析期内始终位于生产可能集的前沿面上,即产出距离函数为 1,数据包络分析识别不出它们的差别,在用前沿生产函数的表达式修正了产出距离函数后,它们之间的差别才反映出来,从表 1 中 D_O 值可见,北京和上海的技术效率较前沿面上的其它地区更好.从东部地区的排序(按 M_O^t)看,技术效率和 Malmquist 生产率指数都较高的地区

是北京、天津和上海,次之是江苏、山东、河北和广东,浙江和福建的 Malmquist 生产率指数最低;从中部地区的排序看,吉林、黑龙江、内蒙、辽宁和江西的 Malmquist 生产率指数较高,山西、湖南、安徽、河南、广西和湖北的 Malmquist 生产率指数较低。

表 1 各地区 1998~2003 年平均的产出距离函数与 Malmquist 生产率指数

地区(东部)	产出距离函数 (技术效率)		Malmquist 生产率指数		地区(中部)	产出距离函数 (技术效率)		Malmquist 生产率指数	
	D_o	D_o	M_o	M_o		D_o	D_o	M_o	M_o
天津	1.000	0.860	1.160	1.194	吉林	0.723	0.815	1.290	1.266
北京	1.000	1.291	1.160	1.179	黑龙江	0.998	1.165	1.162	1.229
江苏	0.869	0.773	1.170	1.136	内蒙	0.985	0.801	1.162	1.196
上海	1.000	1.143	1.160	1.132	辽宁	0.665	0.646	1.182	1.191
山东	0.988	0.809	1.160	1.124	江西	0.933	0.666	1.222	1.173
河北	0.717	0.780	1.099	1.116	山西	0.445	0.537	1.164	1.157
广东	0.996	0.825	1.155	1.085	湖南	0.684	0.762	1.084	1.142
浙江	0.661	0.739	1.098	1.065	安徽	0.708	0.776	1.087	1.140
福建	0.859	0.990	1.063	1.060	河南	0.759	0.696	1.112	1.127
					广西	0.996	0.826	1.167	1.125
					湖北	0.781	0.875	1.072	1.085

5 结论

本文在一致生产可能集的基础上,利用能反映出生产前沿面形状的非参数和参数相结合的方法来识别 Malmquist 生产率指数计算中生产前沿面的移动,给出 Malmquist 生产率指数的一致估计,该估计不依赖于生产可能集的选择,能给出分析期生产前沿面移动的表达式,同时满足相邻 Malmquist 生产率指数不满足的循环检验。

参考文献:

- [1] Caves D W, Christensen L R, Diewert W E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity[J]. *Econometrica*, 1982, 50(6): 1393 - 1414.
- [2] Färe R, Grosskopf S, Lindgren B, Roos P. Productivity developments in Swedish hospitals: A malmquist output index approach[A]. Discussion paper 89 - 3, Department of Economics, Southern Illinois University, Carbondale. Forthcoming in A. Charnes, w. w. Cooper, A. Y. Lewin and L. M. Seiford(eds.), *Kluwer Academic Publishers*, 1989.
- [3] Berg S A, Førsund F R and Jansen E S. Malmquist indices of productivity growth during the deregulation of Norwegian banking, 1980 - 89[J]. *Scandinavian Journal of Economics (Supplement)*, 1992: 211 - 228.
- [4] 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, 8(1): 22 - 26.
Wei Sun. Malmquist productivity index based on the input oriented non-parametric frontiers[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2000, 8(1): 22 - 26.
- [5] 孟令杰, 顾焕章. 度量生产率变化的非参数方法[J]. *数量经济技术经济研究*, 2001, 2: 49 - 51.
Meng Lingjie, Gu Huanzhang. A non-parametric method for measuring productivity change[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2001, 2: 49 - 51.
- [6] Jinghai Zheng, Xiaoxuan Liu, Arne Bigsten. Efficiency, technical progress, and practice in Chinese state enterprises (1980 - 1994) [J]. *Journal of Comparative Economics*, 2003, 31: 134 - 152.
- [7] Hugo J F, Emili GT, Sergio P. A parametric distance function approach for malmquist productivity index estimation[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2001, 15: 79 - 94.
- [8] Jeffrey H D, Gary K. Current developments in productivity and efficiency measurement[J]. *Journal of Econometrics*, 2005, 126: 233 - 240.
- [9] Jean-Pierre Florens, Jépolid Simar. Parametric approximations of nonparametric frontiers[J]. *Journal of Econometrics*, 2005, 124: 91 - 116.
- [10] Rikard A. Measurement of productivity changes: two Malmquist index approaches[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2001, 16: 107 - 128.