

要素替代弹性估计方法的比较与改进^①

封永刚¹ 蒋雨彤²

(1. 中国社会科学院人口与劳动经济研究所; 2. 西南财经大学经济学院)

研究目标: 筛选出要素替代弹性的最优估计方法, 并对其进行改进, 实现要素替代弹性由静态估计到动态估计的跨越。**研究方法:** 从可扩展性、参数识别的全面性及可靠性三个维度, 对三种估计方法的优缺点进行比较分析; 以估计 1978~2017 年中国的要素替代弹性为例, 通过实证检验完成最优估计方法的判定, 并借鉴数据包络分析的窗式移动思想, 进行最优方法的动态改进。**研究发现:** 最优一阶条件法和 Kmenta 级数展开法存在可扩展性较差、参数识别不全面、多重共线性严重、估计结论前后矛盾等问题; 标准化供给面系统方法的灵活性、准确性与可靠性更高, 在动态改进后仍然能够实现要素替代弹性的有效估计。**研究创新:** 在完全与非完全竞争市场假设、技术进步率不变与可变框架下, 对要素替代弹性估计方法的优缺点进行全面的实证检验, 并创新性地提出一种窗式动态估计的改进思路, 解决要素替代弹性的动态估计难题。**研究价值:** 消除现有研究的要素替代弹性估计争论, 促进要素替代弹性的准确识别, 为要素替代弹性的经济意义分析提供坚实保障。

关键词 替代弹性 估计方法 动态估计

中图分类号 F062.4 **文献标识码** A

引 言

长期以来, 以新古典增长为代表的主流经济学理论, 均习惯性地忽视了要素替代弹性在经济增长过程中蕴含的经济意义和扮演的重要角色^②, 以上做法的出发点源自简化框架和降低分析难度。但随着研究的推进, 特别是随着老龄化社会的到来, 资本与劳动要素的真实替代关系愈加受到学界的关注。现阶段的资本与劳动之间究竟是呈现总替代关系, 还是总互补关系? 决定了未来的经济增长能否继续通过增加资本投入, 替代成本不断上升的劳动要素。而只有对要素替代弹性进行准确的估计, 才能回答上述问题, 并选取适合的应对策略。此外, 最新的内生增长研究也揭露了要素替代弹性具有促进经济增长、调节要素增强型技术进步率转变、决定要素收入份额变动方向的三大重要经济角色 (Acemoglu, 2002; 白重恩等, 2008; Klump 等, 2012; Karabarbounis 和 Neiman, 2014; Schlicht, 2016; 杜

^① 本文获得中国社会科学院博士后创新项目 (ZBH20191020)、中国博士后科学基金面上资助项目 (2018M641580)、中国博士后科学基金特别资助项目 (2020T130715) 的资助。感谢编辑部和匿名审稿人的意见与建议, 文责自负。

^② 新古典增长理论的盛行让学者们习惯性地忽略掉这个被“单位化”处理的经济参数, 却鲜有研究对上述预设方式的合理性及其潜在问题进行全面分析。

玖月, 2016; De La Grandville, 2017; Growiec, 2018)。对于中国这样的发展中国家来说, 上述经济角色的分析能够为理解中国经济增长的动态变化提供新的切入视角, 但与此同时, 若想推动要素替代弹性经济角色的分析得以顺利开展, 仍然需要依赖于要素替代弹性的准确识别。

通过文献梳理可知, 现阶段的要素替代弹性实证研究大多集中于要素替代弹性的评测方面, 而对于要素替代弹性经济角色的分析尚停留在理论阶段, 仍缺乏实证检验。具体来看, 可以将要素替代弹性的估计研究划分为两类: 一是以测算生产要素替代关系为主的专门研究, 可以进一步划分为宏观层面资本—劳动的要素替代弹性研究 (Antràs, 2004; León-Ledesma 等, 2010; 陈晓玲和连玉君, 2012; 郝枫和盛卫燕, 2014) 和微观行业层面资本与技能、非技能劳动力的要素替代弹性研究 (Blankenau 和 Cassou, 2011; Fadinger 和 Mayr, 2014; 雷钦礼和王阳, 2017; 高健和油永华, 2019)。二是对生产函数进行估计时顺带对要素替代弹性进行识别的间接研究 (Klump 等, 2007; Sato 和 Morita, 2009; 雷钦礼, 2013)。而进一步对上述文献进行分析可以发现, 现有的要素替代弹性估计研究并不完善, 尚存在以下三类问题: 一是要素替代弹性定义存在部分偏误。郝枫 (2015)、封永刚等 (2017) 曾分别对超越对数 (translog) 函数和要素增强型 CES 生产函数相关研究中的要素替代弹性定义进行系统梳理, 均发现要素替代弹性存在较为严重的错误定义现象, 并证明错误定义会严重影响估计结果。二是即便对同一研究对象进行要素替代弹性估计, 不同的定义方式及估计方法测算出的结果存在大相径庭甚至相互矛盾的现象。Klump (2012) 发现, 虽然 OECD 等发达经济体的要素替代弹性估计研究已十分丰富, 但究竟资本与劳动之间是总替代还是总互补关系仍无定论。封永刚等 (2017) 在对中国宏观要素替代弹性评估文献进行梳理时发现, 现有研究对于中国要素替代弹性究竟处于“1 以上”还是“1 以下”仍存争议。三是要素替代弹性估计受到方法所限仍以静态识别为主。一方面, 可变要素替代弹性 (VES) 生产函数和超越对数函数虽然能够实现要素替代弹性的动态识别, 但前者需要施加严格的变化形式假定, 后者表层参数与深层参数的复杂关系限制了有效性估计 (郝枫和盛卫燕, 2014); 另一方面, 如若简单的对静态估计方法施以动态改进, 又将会回到诸多方法的估计结论不一致且无法进行取舍的恶性循环中。总而言之, 现阶段要素替代弹性研究似乎深陷于持续评估的泥潭之中难以拔出, 尚缺乏一个定义清晰、理论完善和实证准确可靠的分析框架来消除现有争论, 并为相关研究的进一步拓展奠定基础 and 指明方向。

基于此, 本文首先系统梳理不同类型要素替代弹性的定义差别与内在联系, 明确各类型要素替代弹性的适用场景, 促进要素替代弹性的正确定义与使用。其次, 本研究将基于可扩展性、参数识别的全面性及可靠性三个维度, 从原理上对三种要素替代弹性估计方法的优缺点进行比较分析, 并以中国 1978~2017 年的要素替代弹性估计为例, 通过实证分析对三种估计方法的优缺点进行检验, 以确定要素替代弹性的最优估计方法。再次, 本文将尝试探寻国内外相关要素替代弹性估计结论纷繁众多且无法统一的原因, 明确估计的注意事项, 提出评价估计结果优劣的依据。最后, 本文将创新性地提出一种窗式估计思路, 对最优估计方法进行改进, 以实现要素替代弹性由静态估计向动态估计的跨越。

一、要素替代弹性的定义梳理

1. 要素替代弹性的四种基本类型

要素替代弹性是衡量要素之间替代关系和强度的关键指标, 以有效 (effective) 要素投

入边际技术替代率百分比变化导致的有效要素投入比率百分比变化来度量。从类型上可划分为 Hicks 中性型、Solow 中性型、Harrod 中性型和要素增强 (Factor Augmenting) 型四类, 其中要素增强型为要素替代弹性的一般形式, 保留最为原始和完整的定义, 其余三种类型均是在其基础上添加假设约束条件所得到, 要素增强型替代弹性 (σ_{Factor}) 可以写成:

$$\sigma_{Factor} \in [0, +\infty] = -\frac{f'(k)[f(k) - kf'(k)]}{kf(k)f'(k)} = \frac{d\ln(\Gamma^K K / \Gamma^N N)}{d\ln(\Gamma^K p^N / \Gamma^N p^K)} \quad (1)$$

式 (1) 中, K 和 N 为资本和劳动投入, p^K 和 p^N 为资本和劳动的价格, $k = \Gamma^K K / \Gamma^N N$ 。突破中性技术进步假设之后, 技术进步参数 (要素增强系数) 将从函数最前端还原至具体的生产要素前面, 代表资本和劳动拥有与之匹配的技术进步指标 (Γ^i , $i = K, N$), 此时提升每种要素的技术水平, 相当于隐性地增加了该种要素的投入量, 以此发挥出要素增强的作用。因此有效要素投入可以写成 $\Gamma^i \times i$, $i = K, N$, 表示投入变量既包含要素的物量投入, 也囊括技术水平的隐性加成作用。

其他三类要素替代弹性则是在式 (1) 的基础上分别施加假设约束条件, 其中 Hicks 中性型 (σ_{Hicks}) 假定资本与劳动增强型技术进步率相等 ($\dot{\Gamma}_i^K / \Gamma_i^K = \dot{\Gamma}_i^N / \Gamma_i^N > 0$, $\Gamma_i^K = \Gamma_i^N$); Solow 中性型 (σ_{Solow}) 仅假定存在资本增强型技术进步^① ($\dot{\Gamma}_i^K / \Gamma_i^K > 0$, $\dot{\Gamma}_i^N / \Gamma_i^N = 0$, $\Gamma_i^N = 1$); Harrod 中性型 (σ_{Harrod}) 仅假定存在劳动增强型技术进步^② ($\dot{\Gamma}_i^N / \Gamma_i^N > 0$, $\dot{\Gamma}_i^K / \Gamma_i^K = 0$, $\Gamma_i^K = 1$)。三类要素替代弹性的具体形式如式 (2) 所示:

$$\begin{aligned} \sigma_{Hicks} \in [0, +\infty] &= \frac{d\ln(K/N)}{d\ln(p^N/p^K)} \\ \sigma_{Solow} \in [0, +\infty] &= \frac{d\ln(\Gamma^K K / N)}{d\ln(\Gamma^K p^N / p^K)} \\ \sigma_{Harrod} \in [0, +\infty] &= \frac{d\ln(K / \Gamma^N N)}{d\ln(p^N / \Gamma^N p^K)} \end{aligned} \quad (2)$$

对于式 (1) 和式 (2) 来说, $\sigma > 1$ 时, 资本和劳动的有效投入为总替代 (Gross Substitutes) 关系; $\sigma < 1$ 时, 资本和劳动的有效投入为总互补 (Gross Complements) 关系。

2. 不同类型要素替代弹性的适用场景

从理论上来看, σ_{Hicks} 、 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 分别与新古典增长理论中三种理想的经济增长状态相对应, 适用于进行新古典增长状态下的要素替代弹性分析; 而 σ_{Factor} 所包含的约束限制最少, 灵活度最高, 能够对内生增长状态下的要素替代弹性进行分析。从目前各类型要素替代弹性的应用范围来看, 由于宏观经济分析领域新古典增长分析框架的使用频率最高, 应用范围最广, 大部分研究均采用 σ_{Hicks} 的定义方式, 以贴合柯布一道格拉斯 (C-D) 生产函数定义下的经济增长状态。但随着内生增长理论对技术进步非中性性质的揭示, 越来越多的研究开始使用要素增强型 CES 生产函数来定义经济增长系统。但可惜的是, 部分研究在更换了底层生产函数之后, 对要素替代弹性的认知却未能同步更新, 仍然沿用 σ_{Hicks} 的定义方式 (Lcón-Ledesma 等, 2010, 2015; 雷钦礼, 2013; 陆雪琴和章上峰, 2013; Mućk, 2017), 造成了要素替代弹性的错误定义和使用, 反映现有研究对要素替代弹性的定义与类型划分尚

① 可以简称为 Solow 中性技术进步状态。

② 可以简称为 Harrod 中性技术进步状态。

存在诸多模糊之处，亟待进行系统的梳理和详细说明。

3. 不同类型要素替代弹性的内在联系

为了厘清不同的定义方式是否会导致要素替代弹性的估计结果存在矛盾，可以对上述四类要素替代弹性的定义进行展开分析，以揭示不同类型要素替代弹性之间的关联性。首先，对式（1）进行展开可以得到：

$$\begin{aligned} & \text{Hicks 中性型} \\ & \text{替代弹性} \\ \sigma_{Factor} \in [0, +\infty] &= \frac{d\ln(\Gamma^K K / \Gamma^N N)}{d\ln(\Gamma^K p^N / \Gamma^N p^K)} = \frac{d\ln(K/N) + d\ln(\Gamma^K / \Gamma^N)}{d\ln(p^N / p^K) + d\ln(\Gamma^K / \Gamma^N)} \quad (3) \end{aligned}$$

如式（3）所示， σ_{Factor} 等同于在 σ_{Hicks} 的分母和分子上同时加上资本与劳动增强型技术进步率的差值 $d\ln(\Gamma^K / \Gamma^N)$ ，同理可证 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 等同于在 σ_{Hicks} 的分母和分子上分别加上 $d\ln(\Gamma^K / 1)$ 或 $d\ln(1 / \Gamma^N)$ 。根据分数的基础数学性质可知，无论 Hicks 中性型替代弹性是真分数 ($\sigma_{Hicks} < 1$) 还是假分数 ($\sigma_{Hicks} > 1$)，分子分母同时加上一个正值或负值并不能改变其总替代或总互补的性质。具体来看： $\sigma_{Hicks} < 1$ 时，分子、分母同时加上一个正值，相应得到的 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 和 σ_{Factor} 将大于 σ_{Hicks} ；分子、分母同时加上一个负值，相应得到的 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 和 σ_{Factor} 将小于 σ_{Hicks} 。而 $\sigma_{Hicks} > 1$ 时，分子、分母同时加上一个正值或负值的结论则与之相反。由此，本文认为不同类型要素替代弹性存在如下内在关系：不同的技术进步设定方式决定了要素替代弹性定义的差别，但各类型替代弹性将会始终保持一致的替代性质（总替代或总互补），并不随着技术进步设定方式的变化发生改变；资本与劳动技术水平提升速度之差决定了 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 和 σ_{Factor} 在保持相同替代性质的状态下，偏离 σ_{Hicks} 的程度。

二、要素替代弹性估计方法的原理说明与优缺点比较

1. 要素替代弹性估计方法的原理说明

要素替代弹性的估计方法可以划分为间接和直接估计两种，前者以最优一阶条件法和 Kmenta 级数展开法为主要代表，后者以标准化供给面系统方法为代表，但三种估计方法均以如式（4）所示的要素增强型 CES 生产函数为基础：

$$Y = \left\{ \alpha (\Gamma^K K)^{\frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}}} + \beta (\Gamma^N N)^{\frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}}} \right\}^{\frac{\sigma_{Factor}}{\sigma_{Factor}-1}} \quad (4)$$

式（4）中 α 和 β 均为要素分配参数，其余各项参数的含义与式（1）相同。为了规避 α 和 β 无实际经济意义的问题，De La Grandville（1989，2017）提出并强调了对式（4）进行标准化（Normalization）的重要性：为分配参数赋予经济意义，并减少两个待估参数。在标准化基准点为 $t=t_0$ 时，标准化处理之后的式（4）可以写成：

$$Y = Y_0 \left\{ \pi_0 \left(\frac{\Gamma^K K}{\Gamma_0^K K_0} \right)^{\frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}}} + (1 - \pi_0) \left(\frac{\Gamma^N N}{\Gamma_0^N N_0} \right)^{\frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}}} \right\}^{\frac{\sigma_{Factor}}{\sigma_{Factor}-1}} \quad (5)$$

式（5）中的 π_0 为标准化基准点的资本收入份额，同理 Y_0 、 K_0 、 N_0 、 Γ_0^K 和 Γ_0^N 分别为各变量在标准化基准点的取值。以式（5）为基础，三种方法的估计原理分别为：

（1）最优一阶条件法。该方法主要是对如式（5）所示的要素增强型 CES 生产函数求资本和劳动最优一阶条件，并在取对数之后将劳动与资本的最优一阶条件方程相减得到，以获取可供估计的简单线性化方程。以 σ_{Factor} 为例，其估计方程为：

$$\ln\left(\frac{K}{N}\right) = \sigma_{Factor} \ln\left(\frac{p^N}{p^K}\right) + (1 - \sigma_{Factor}) \ln\left(\frac{\Gamma^N/\Gamma_0^N}{\Gamma^K/\Gamma_0^K}\right) + \sigma_{Factor} \ln\left(\frac{\pi_0}{1 - \pi_0}\right) + (\sigma_{Factor} - 1) \ln\left(\frac{N_0}{K_0}\right) \quad (6)$$

一直以来, 最优一阶条件法均在完全竞争市场假设下进行估计, 直到 Klump 等 (2007, 2012)、León-Ledesma 等 (2010) 提出了将其向非完全竞争市场假设进行扩展的改进思路, 在两种市场假设下, 要素价格的计算方式有所差别^①。对式 (6) 进行估计时, 既可以对要素增强系数 ($\Gamma^i, i=K, N$) 的函数形式进行预设, 也可以按照索罗余值的处理方式, 不对其进行估计。通常 $\Gamma^i, i=K, N$ 的预设方式存在要素增强型技术进步率不变和可变两种框架, 其中可变框架是由 Box-Cox (Box 和 Cox, 1964) 转换得到:

$$\text{技术进步率不变框架: } \Gamma^i = e^{\gamma^i}, i = K, N, t \geq 0 \quad (7)$$

$$\text{技术进步率可变框架: } \Gamma^i = e^{\lambda^i \left[\frac{t^{\lambda^i} - 1}{\lambda^i} \right]}, i = K, N$$

式 (7) 中的 $\gamma^i, i=K, N$ 为要素增强型技术进步速率指标, $\lambda^i, i=K, N$ 为要素增强型技术进步曲率指标。在不变框架下, $\gamma^i, i=K, N$ 就是要素增强型技术进步率, 表明 Γ^i 以 γ^i 的不变速度进行增长。但由式 (6) 的函数形式可知, 若将可变框架引入其中, 则会打破式 (6) 的线性化形式, 将造成无法从估计结果中分离 γ^i 和 λ^i 的严重问题, 此时估计结果的经济意义大打折扣。为保持最优一阶条件法的线性化形式, 仅能将式 (7) 中不变框架下的 $\Gamma^i, i=K, N$ 定义带入式 (6) 中, 可以得到:

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{K}{N}\right) &= \sigma_{Factor} \ln\left(\frac{p^N}{p^K}\right) + (1 - \sigma_{Factor})(t - t_0)(\gamma^N - \gamma^K) \\ &+ \sigma_{Factor} \ln\left(\frac{\pi_0}{1 - \pi_0}\right) + (\sigma_{Factor} - 1) \ln\left(\frac{N_0}{K_0}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

通过估计式 (8) 方能实现对 σ_{Factor} 的估计, 而 σ_{Hicks} 、 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 则可以通过修改式 (8) 中 $\gamma^i, i=K, N$ 的假设约束条件得到相应的估计方程。具体来看, σ_{Hicks} 状态下 $\gamma^K = \gamma^N = \gamma^A$, γ^A 为 Hicks 中性技术进步率; σ_{Solow} 状态下 $\gamma^K > 0, \gamma^N = 0$; σ_{Harrod} 状态下 $\gamma^N > 0, \gamma^K = 0$ 。

(2) Kmenta 级数展开法。相对于最优一阶条件法而言, Kmenta (1967) 通过对要素增强型 CES 生产函数在要素替代弹性等于 1 之处进行泰勒级数展开, 可以得到另一种便于估计且与原函数关系更为密切的线性化方程, 但此时仍然需要对要素增强系数 ($\Gamma^i, i=K, N$) 的函数形式施以不变框架的设定, 否则无法保持线性化形式并进行实证估计:

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{Y/Y_0}{N/N_0}\right) &= \pi_0 \ln\left(\frac{K/K_0}{N/N_0}\right) + \frac{(\sigma_{Factor} - 1)\pi_0(1 - \pi_0)}{2\sigma_{Factor}} \left[\ln\left(\frac{K/K_0}{N/N_0}\right) \right]^2 \\ &+ [\pi_0 \gamma^K + (1 - \pi_0) \gamma^N](t - t_0) + \frac{(\sigma_{Factor} - 1)\pi_0(1 - \pi_0)}{2\sigma_{Factor}} [\gamma^K - \gamma^N]^2 (t - t_0)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

对式 (9) 进行回归仅能得到混合经济参数的估计值, 可以将其称作表层估计参数, 而 σ_{Factor} 的估计值仅能从表层估计参数中整理得到。同理, σ_{Hicks} 、 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 则同样可以通过对式 (9) 中的 γ^K 和 γ^N 添加假设约束条件, 得到相应的估计方程。

(3) 标准化供给面系统方法。相对于前两种估计方法而言, Klump 等 (2007, 2012)

^① 见变量定义的元素价格衡量部分。

构建的标准化供给面系统方法可以凭借非线性技术对如式(5)所示的原函数进行直接估计,避免线性简化处理可能导致的估计有效性降低等问题。此外,出于增加估计自由度以及提高参数识别有效性的考虑,该方法还将资本和劳动的要素需求函数一并引入估计系统,与式(5)共同构成三方方程标准化供给面系统:

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{Y}{Y_0}\right) &= \frac{\sigma_{Factor}}{\sigma_{Factor}-1} \left\{ \pi_0 \left(\frac{\Gamma^K K}{\Gamma_0^K K_0}\right)^{\frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}}} + (1-\pi_0) \left(\frac{\Gamma^N N}{\Gamma_0^N N_0}\right)^{\frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}}} \right\} \\ \ln p^K &= \ln\left(\frac{\pi_0}{1+\mu} \frac{Y_0}{K_0}\right) + \frac{1}{\sigma_{Factor}} \ln\left(\frac{Y/Y_0}{K/K_0}\right) + \frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}} \ln\left(\frac{\Gamma^K}{\Gamma_0^K}\right) \\ \ln p^N &= \ln\left(\frac{1-\pi_0}{1+\mu} \frac{Y_0}{N_0}\right) + \frac{1}{\sigma_{Factor}} \ln\left(\frac{Y/Y_0}{N/N_0}\right) + \frac{\sigma_{Factor}-1}{\sigma_{Factor}} \ln\left(\frac{\Gamma^N}{\Gamma_0^N}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)的 μ 为价格加成,用于刻画非完全/完全竞争市场状态^①,其核算方程为: $\mu = [Y - (Kp^K + Np^N)] / (Kp^K + Np^N)$,式(10)在 $\mu=0$ 时即恢复为经典完全竞争市场假设下的估计方程,在 $\mu \neq 0$ 时则化身为非完全竞争市场假设下的估计方程。标准化供给面系统方法能够任意采用式(7)的不变或可变框架定义要素增强系数($\Gamma^i, i=K, N$),拥有更强的可扩展性。基于此,可以构建三方方程供给面系统,然后使用非线性似不相关(NLSUR)方法即可对 σ_{Factor} 进行识别, σ_{Hicks} 、 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 的估计则可以通过修改不变或可变框架下,式(10)中 $\Gamma^i, i=K, N$ 的假设约束条件,从而得到相应的估计方程。

2. 要素替代弹性估计方法的优缺点比较

(1) 要素替代弹性估计方法优缺点的评价维度。为全面展示三种估计方法的优势与不足,本文拟从以下三个维度展开比较分析:一是可扩展性,二是参数识别的全面性,三是可靠性。具体来看:可扩展性的评价可以从要素增强型技术进步率不变或可变框架的灵活运用能力、完全或非完全竞争市场假设的可嵌入性、数据要求三个方面进行考察;参数识别的全面性可以从要素替代弹性的识别能力、要素增强型技术进步率的识别能力两个方面^②进行判断;估计方法的可靠性可以从是否对原函数进行估计、是否存在严重的多重共线性问题两个方面进行总结。

(2) 最优一阶条件法易于操作,但在可扩展性、参数识别的全面性和可靠性上均有不足。由表1可知,首先,从可扩展性来看,最优一阶条件法在数据支持的情况下,可以在完全或非完全竞争市场假设下进行要素替代弹性的直接估计,其估计过程简洁且便于操作,这是该方法最为突出的优点;但也需注意到,该方法原则上必须对要素增强型技术进步率施以恒定不变的假设,一旦将式(7)的可变框架引入式(6),则会导致要素增强型技术进步率指标($\gamma^i, i=K, N$)与曲率指标($\lambda^i, i=K, N$)的识别共同失效。

其次,从参数识别的全面性来看,该方法一方面可以实现要素替代弹性的直接估计;但另一方面,即便对要素增强型技术进步率做出恒定不变的限制,也无法在估计四类要素替代弹性时,保证要素增强型技术进步率均能够得以全面性的识别:在估计 σ_{Hicks} 时,由于 $\gamma^K = \gamma^N = \gamma^A$,式(8)的 $(1-\sigma_{Hicks})(t-t_0)(\gamma^N - \gamma^K)$ 将被消去,无法估计得到Hicks中性技术进步率(γ^A);在估计 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 时,可以估计得到 $-\gamma^K(1-\sigma_{Solow})$ 和 $\gamma^N(1-\sigma_{Harrod})$,

① 两种市场假设下要素价格的计算方式同样有所差别。

② 参数的全面性识别关乎该方法是否能够准确地评估生产要素的替代关系强弱,以及能否对要素替代弹性的经济角色进行分析。

在分别得到 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 估计值后，通过整理可以间接计算得到 Solow 中性技术进步率 (γ^K) 和 Harrod 中性技术进步率 (γ^N)，但遗憾的是，此时无法判断 γ^K 和 γ^N 的显著性；在估计 σ_{Factor} 时，可以估计得到 $(\gamma^N - \gamma^K)(1 - \sigma_{Factor})$ ，在得到 σ_{Factor} 的估计值后，通过整理可以计算得到劳动与资本增强型技术进步率的差值 ($\gamma^N - \gamma^K$)，此时 $\gamma^N - \gamma^K$ 的显著性也无从判断；也就是说，最优一阶条件法仅在估计 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 时，才能具备全面评价生产要素的替代关系，分析要素替代弹性经济角色的能力，而在估计 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 时，会造成部分的要素替代弹性的经济角色分析失效问题。

最后，从可靠性来看，最优一阶条件法并非是对原函数进行估计，其线性简化过程可能造成估计偏差；如若以式 (8) 为基础，通过添加约束条件，对 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 、 σ_{Factor} 进行估计，方程中的时期趋势项 $(t - t_0)$ 可能与要素价格存在共同趋势的多重共线性问题，可能造成或加重估计结果的非有效问题。总之，最优一阶条件法的优缺点均十分突出，但考虑到该方法诞生之时，非线性估计技术并不发达，作为一种次优选择，最优一阶条件法的简单线性方程形式，长期以来为要素替代弹性的估计做出了巨大贡献。

(3) Kmenta 级数展开法在可扩展性、参数识别的全面性及可靠性方面均处于劣势地位。由表 1 可知，首先，从可扩展性来看，非标准化形式 Kmenta 级数展开法对数据的要求较低，仅需将要素投入带入方程便能实现要素替代弹性的识别，这是该方法最为核心的优点，但上述优点在对 Kmenta 级数展开法进行标准化处理之后便荡然无存。如对式 (9) 所示的标准化形式方程进行估计，仍需获取到要素价格数据，并对完全或非完全竞争市场假设进行选择，从而确定基准点资本收入份额 (π_0) 的取值。因此在使用 Kmenta 级数展开法时，需要对是否进行标准化处理做出取舍；而 Kmenta 级数展开法仅能在要素增强型技术进步率不变框架下进行估计，说明其可扩展性同样不强。

其次，从参数识别的全面性来看，若对式 (9) 的待估参数进行如下提取：

$$\begin{aligned} a &= \frac{(\sigma_{Factor} - 1)\pi_0(1 - \pi_0)}{2\sigma_{Factor}} & b &= [\pi_0\gamma^K + (1 - \pi_0)\gamma^N] \\ c &= \frac{(\sigma_{Factor} - 1)\pi_0(1 - \pi_0)}{2\sigma_{Factor}}[\gamma^K - \gamma^N]^2 \end{aligned} \quad (11)$$

可以发现，Kmenta 级数展开法仅能对表层参数 a 、 b 、 c 进行估计，将四类要素替代弹性的要素增强系数 (Γ^i , $i=K, N$) 约束条件带入式 (11) 之后可知，各类要素替代弹性的识别均需从 a 中求解得到，本质上属于间接识别，无法判断要素替代弹性的显著性；在估计 σ_{Hicks} 、 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 时，可以从表层参数 a 、 b 、 c 的估计结果中，通过计算间接得到 Hicks 中性技术进步率 (γ^A)、Solow 中性技术进步率 (γ^K) 和 Harrod 中性技术进步率 (γ^N)；在估计 σ_{Factor} 时，根据式 (9) 和式 (11) 可知， γ^N 的解并不唯一 (γ^K 的情况同理可证)，存在严重的弱识别问题，不能对 γ^K 和 γ^N 进行直接估计或间接计算：

$$\begin{aligned} \gamma^K < \gamma^N : \gamma^N &= b + \pi_0 \sqrt{\frac{c}{a}} \& \gamma^N &= b - (1 - \pi_0) \sqrt{\frac{c}{a}} \\ \gamma^K > \gamma^N : \gamma^N &= b - \pi_0 \sqrt{\frac{c}{a}} \& \gamma^N &= b + (1 - \pi_0) \sqrt{\frac{c}{a}} \end{aligned} \quad (12)$$

也就是说，Kmenta 级数展开法的要素替代弹性仅能间接识别，加上其在估计 σ_{Factor} 时存在的要素增强型技术进步率弱识别问题，本文认为从参数识别的全面性维度来看，Kmenta

级数展开法弱于最优一阶条件法，上述缺陷的存在也会对评价生产要素的替代关系，以及分析要素替代弹性的经济角色造成负面影响。最后，从可靠性来看，据郝枫（2015）的研究可知，即便式（9）的线性简化处理保留了更多的原函数信息，但其本身泰勒级数展开的过程会产生一些平方项，隐含着加重多重共线性问题的风险，这也对要素替代弹性估计结果的可靠性造成了严重影响。总之，Kmenta 级数展开法在三个评价维度上均处于明显的劣势地位。

（4）标准化供给面系统方法的可扩展性、参数识别的全面性及可靠性最高。由表 1 可知，首先，从可扩展性来看，即便标准化供给面系统方法对要素投入与要素价格数据拥有较高要求，但该方法可以在完全或非完全竞争市场假设以及要素增强型技术进步率不变或可变框架中自由切换，拥有更强的可扩展性和灵活性，能够在较少的假设约束条件下完成要素替代弹性的估计。其次，从参数识别的全面性来看，非线性计量技术的发展，促使要素替代弹性的识别由单方程识别向多方程系统估计的跨越性进步，为要素替代弹性及 γ^i 、 λ^i 等经济参数指标的全面直接估计创造了有利条件。因此要素增强型 CES 生产函数所有参数的自由识别，使得评价生产要素替代关系的强弱，分析要素替代弹性的三大经济角色成为可能。最后，从可靠性来看，标准化供给面系统方法完全保留了原函数的信息，并且三方方程的系统估计能够增加自由度，系统估计比单方程估计的有效性更高，具有最高的可靠性。毫无疑问，凭借上述三方面的优势，将标准化供给面系统方法定义为要素替代弹性的最优估计方法毫不为过。

三、要素替代弹性最优估计方法的实证检验：以中国要素替代弹性估计为例

1. 变量定义与数据来源

本文以估计 1978~2017 年中国的要素替代弹性为例，通过实证检验进一步对三种估计方法进行比较分析，一方面可以判断原理上最优的标准化供给面系统方法，是否也同样在实践运用中拥有最为出色的表现；另一方面也能够明确最优一阶条件法和 Kmenta 级数展开法的缺陷，究竟能在多大程度上造成估计结果的偏差。在正式进行实证检验之前，本文将对三种估计方法所需使用的变量及其定义方式与数据来源进行说明。

（1）变量定义。由表 1 以及式（8）~式（10）可知，使用三种估计方法对中国要素替代弹性进行识别，需要获得中国宏观经济层面的产出、要素投入、要素价格与价格加成四类变量，各变量的定义如下：

①经济产出。本文使用收入法口径核算的中国国内生产总值 GDP（亿元）来衡量经济产出，但为了回避生产税净额的要素收入类别划分问题，参考 León-Ledesma 等（2010）的建议^①，从 GDP 中剔除生产税净额部分。此外，由于全国层面的收入法核算数据无法获取，中国经济产出数据使用 31 个省份的劳动者报酬、固定资产折旧和营业盈余（均按省级 GDP 平减指数调整为不变价数据）加总得到。

②资本投入与价格。资本投入使用永续盘存法核算的资本存量（亿元）来衡量，为了与经济产出的口径相匹配，同样使用省级层面平减后的资本存量加总得到。其中永续盘存法的基期资本存量按照陈昌兵（2014）的做法，使用资本—产出比计算得到；资本投资使用固定资本形成额来衡量；资本折旧按照徐现祥等（2007）的方法，使用收入法 GDP 核算中固定资产折旧来衡量，以体现折旧率的动态变化。资本价格在两种市场假设下的核算方式有所区

^① León-Ledesma 等（2010）认为从要素收入角度，难以将生产税净额划归到资本或劳动收入部分，建议使用 GDP 减去生产税净额来衡量经济产出。

表 1 要素替代弹性估计方法的优缺点比较

估计方法	1. 可扩展性		2. 参数识别的全面性			3. 可靠性
	要素增强型技术进步率不变或可变框架的应用	完全或非完全竞争市场假设的可嵌入性	数据要求	要素替代弹性的识别能力	要素增强型技术进步率的识别能力	
最优一阶条件法	仅不变框架	完全或非完全竞争市场均可	经济产出、要素投入、要素价格与价格加成	直接识别	①估计 σ_{Licks} 时, 不能识别得到 Hicks 中性技术进步率; ②估计 σ_{Subac} 和 $\sigma_{Lkarned}$ 时, 可以间接计算得到资本与劳动增强型技术进步率; ③估计 σ_{Factor} 时, 可以间接计算得到劳动与资本增强型技术进步率的差值	可靠性较差: ①并非估计原函数; ②估计 σ_{Subac} 、 $\sigma_{Lkarned}$ 、 σ_{Factor} 时, 时间趋势项加入可能加重多重共线性问题
Kmenta 级数展开法	仅不变框架	①非标准化形式下, 无需设定; ②标准化形式下完全或非完全竞争市场均可	经济产出、要素投入、要素价格与价格加成 (价格和价格加成仅在标准化形式下需要)	间接识别 (需要从估计结果中进一步计算得到)	①估计 σ_{Hicks} 、 σ_{Subac} 、 $\sigma_{Lkarned}$ 时, 可以直接分别识别得到 Hicks 中性技术进步率、资本与劳动增强型技术进步率; ②估计 σ_{Factor} 时, 无法识别资本与劳动增强型技术进步率 (存在弱识别问题, 无唯一解)	可靠性较差: ①并非估计原函数; ②估计 σ_{Subac} 、 $\sigma_{Lkarned}$ 、 σ_{Factor} 时, 时间趋势平方项的加入可能加重多重共线性问题
标准化供给面系统方法	不变或可变框架均可	完全或非完全竞争市场均可	经济产出、要素投入、要素价格与价格加成	直接识别	能够直接识别得到资本与劳动增强型技术进步率	可靠性较强: ①直接估计原函数; ②二方程的系统估计能够增加自由度, 提高参数识别有效性

资料来源: 根据最优一阶条件法、Kmenta 级数展开法和标准化供给面系统方法的估计原理整理得到。

别,完全竞争市场假设下可参照白重恩和钱震杰(2009)的做法,将省级层面平减后的固定资产折旧和营业盈余加总得到资本成本,再将其除以资本投入可以计算得到资本价格(%);非完全竞争市场下,按照Klump等(2007,2012)的要求,应使用非营利性(non-profit)资本收入计算资本成本,因此本文使用省级层面平减后的固定资产折旧加总得到资本成本,再将其除以资本投入可以计算得到资本价格(%).

③劳动投入与价格。劳动投入使用省级层面从业人员数量(亿人)加总得到。劳动价格(元/人)由平减后的劳动者报酬加总得到劳动成本总额,除以劳动投入计算得到。

④价格加成。完全竞争市场假设下价格加成(%)的取值为0,非完全竞争市场假设下可以使用营业盈余/(经济产出一营业盈余)计算得到。

出于尽可能全面利用数据信息的考虑,本文三种估计方法标准化基准点的取值如下: $Y_0 = \xi \bar{Y}$, $K_0 = \bar{K}$, $N_0 = \bar{N}$, $\pi_0 = \bar{\pi}$, $t_0 = \bar{t}$,其中 ξ 为规模因子, \bar{Y} , \bar{K} , \bar{N} 为相应变量的几何平均值, $\bar{\pi}$ 和 \bar{t} 为相应变量的算数平均值。

(2)数据来源。本文考察的时期为1978~2017年,由于现有统计资料中均未列出全国层面的收入法GDP核算情况,通过31个省份的核算数据加总可以得到全国总体的经济产出、资本投入、劳动者报酬、固定资产折旧、营业盈余情况。本文在对上述变量进行加总前也使用31个省份的1978年为基期的GDP平减指数(GDP平减指数=名义价GDP/不变价GDP)将其调整为不变价(见表2)。资本价格、劳动价格数据使用平减后的全国加总资本收入和劳动收入分别除以资本投入和劳动投入得到。论文相关数据来源于《中国国内生产总值核算历史资料(1952~1995)、(1952~2004)》^①《中国统计年鉴》以及31个省份地方统计年鉴^②。

表2 变量名称及描述性统计

变量	符号	单位	均值	标准差	最小值	最大值
经济产出	Y	亿元	41773.970	45620.866	3024.904	158453.736
劳动投入	N	亿人	6.394	1.311	3.996	8.325
资本投入	K	亿元	120142.961	171558.353	7727.031	652409.744
劳动价格	p^N	元/人	3056.905	2912.729	435.655	10467.450
资本价格(完全竞争市场)	p^K	%	20.838	4.879	10.930	29.354
资本价格(非完全竞争市场)		%	7.056	2.054	3.850	10.163
价格加成 (非完全竞争市场)	μ	%	40.459	5.141	32.571	52.076

注:资本价格在完全和非完全竞争市场假设下的核算口径有所区别;价格加成仅在非完全竞争市场假设中得以存在。

资料来源:根据《中国国内生产总值核算历史资料(1952~1995)、(1952~2004)》《中国统计年鉴》以及省级统计年鉴整理或计算得到。

① 由于国家统计局曾对1993~2004年的GDP数据进行了系统修订。本文收入法GDP数据中1978~1992年数据来源于《中国国内生产总值核算历史资料(1952~1995)》,1993~2004年数据来源于《中国国内生产总值核算历史资料(1952~2004)》。

② 2016年国家统计局更改了固定资本形成额的核算口径,但是各省份对历史数据的修订进度不一。为了保持数据口径的一致,本文1978~2015年的数据仍然使用旧版核算方式下的公开数据,2016~2017年使用新核算方法的数据。

2. 三种估计方法的实证结果比较

由式 (1) 和式 (3) 可知, 一方面, σ_{Factor} 是 σ_{Hicks} 、 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 的一般化形式, 另一方面, σ_{Hicks} 决定了 σ_{Solow} 、 σ_{Harrod} 、 σ_{Factor} 三类要素替代弹性的总替代或总互补性质。考虑到 σ_{Solow} 和 σ_{Harrod} 的单要素增强型技术进步假设过于严苛且应用范围较窄, 本文仅以中国 1978~2017 年的 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 估计为例, 对三种估计方法的优缺点进行实证检验。

(1) 最优一阶条件法的不同类型要素替代弹性估计结果存在相互矛盾的问题。由表 3 可知, 在完全和非完全竞争市场假设下, 1978~2017 年中国 σ_{Hicks} 的估计结果分别为 1.081 和 1.124, 均指向总替代性质, 且通过了 1% 的显著性检验; σ_{Factor} 的估计结果分别为 0.946 和 0.773, 均指向总互补性质, 也通过了 1% 的显著性检验。上述前后矛盾的估计结果, 严重背离了不同类型要素替代弹性拥有相同替代性质的定理。为了探寻上述问题的产生, 是否源于 σ_{Factor} 的估计方程中添加了时间趋势项 ($t-t_0$), 加重了多重共线性问题, 本文分别对 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 的估计方程进行了方差膨胀系数 (VIF) 检验, 并在表 3 中汇报了检验结果。在添加了 $t-t_0$ 之后, σ_{Factor} 在完全和非完全竞争市场假设下的 VIF 检验平均值急剧上升至 14.220 和 8.427, 呈现严重的多重共线性问题, 这与前文对最优一阶条件法估计原理的优缺点分析时作出的判断一致, $t-t_0$ 的加入造成了估计结果可靠性的降低。此外, 在对 σ_{Hicks} 进行估计时, 无法直接估计或间接计算得到 Hicks 中性技术进步率 (γ^A); 在对 σ_{Factor} 进行估计时, 可知两种市场假设下 $(\gamma^N - \gamma^K)(1-\sigma)$ 的估计值分别为 0.014 和 0.034, 进而可以推导出劳动与资本增强型技术进步率的差值 $(\gamma^N - \gamma^K)$ 分别为 0.259 和 0.150, 得到了劳动增强型技术进步率更快的结论。可惜的是, 最优一阶条件法无法明确 γ^A 、 γ^N 和 γ^K 各是多少, 这将对分析要素替代弹性的经济角色造成影响。

表 3 最优一阶条件法的估计结果参数

	Hicks 中性型		要素增强型	
	完全竞争市场	非完全竞争市场	完全竞争市场	非完全竞争市场
σ	1.081*** (0.012)	1.124*** (0.021)	0.946*** (0.057)	0.773*** (0.036)
$(\gamma^N - \gamma^K)(1-\sigma)$	—	—	0.014** (0.006)	0.034*** (0.004)
常数项	-1.017*** (0.106)	-2.641*** (0.215)	0.228 (0.528)	0.294 (0.302)
R ²	0.993	0.983	0.995	0.996
调整后的 R ²	0.993	0.983	0.994	0.996
F 检验值	7679	2934	6423	8849
F 检验的 p 值	0.000	0.000	0.000	0.000
VIF 检验值 (平均)	1.000	1.000	14.220	8.427

注: 括号内数值为估计系数的稳健标准误。***、**、* 分别表示估计系数在 1%、5%、10% 的水平下显著。规模因子 ξ 无法直接估计得到。

资料来源: 将相关变量代入式 (8) 后, 通过计量估计得到。

(2) Kmenta 级数展开法的多重共线性问题, 同样造成了相互矛盾的估计结果。表 4 分别展示了 Kmenta 级数展开法下, 1978~2017 年中国 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 的估计结果^①, 与最优一阶条件法的估计结果类似, 在完全或非完全竞争市场假设下, σ_{Hicks} 分别为 1.322 和 1.579, 均指向总替代性质; σ_{Factor} 分别为 0.598 和 0.497, 均指向总互补性质, 两种要素替代弹性的估计结果相互矛盾, 同样背离了不同类型要素替代弹性拥有相同替代性质的定理。按照相同的分析思路, 本文对 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 的估计方程进行比对, 发现 σ_{Factor} 的估计方程比 σ_{Hicks} 多了一项 $(t-t_0)^2$, 该平方项可能与 $(t-t_0)$ 以及 $\ln [(K/K_0) / (N/N_0)]$ 存在多重共线性问题, 进一步结合 VIF 检验结果可知, σ_{Factor} 估计方程的 VIF 平均值为 4.843, 明显高于 σ_{Hicks} 的 1.198, 证明了多重共线性问题是导致两种要素替代弹性估计结论相互矛盾的重要原因。此外, 可以从 σ_{Hicks} 的估计结果中, 对中国 1978~2017 年的 Hicks 中性技术进步率 (γ^A) 进行间接计算; 但却不能根据 σ_{Factor} 的估计结果, 分别对中国 1978~2017 年的资本和劳动增强型技术进步率 (γ^K 和 γ^N) 进行识别。本文的实证检验结果证明, 无论是最优一阶条件法, 还是 Kmenta 级数展开法, 均无法对 σ_{Factor} 进行准确的估计。

表 4 Kmenta 级数展开法的估计结果

参 数	Hicks 中性型		要素增强型	
<i>a</i>	0.030*** (0.008)		-0.082*** (0.011)	
<i>b</i>	0.086*** (0.001)		0.091*** (0.001)	
<i>c</i>	—		0.001*** (0.000)	
常数项	-0.043*** (0.014)		-0.053*** (0.008)	
R ²	0.995		0.999	
调整后的 R ²	0.995		0.999	
F 检验值	3386		16468	
F 检验的 p 值	0.000		0.000	
VIF 检验值 (平均)	1.198		4.843	
σ	完全竞争市场	非完全竞争市场	完全竞争市场	非完全竞争市场
	1.322	1.579	0.598	0.497

注: *a*、*b* 和 *c* 的定义见式 (11)。括号内数值为估计系数的稳健标准误。***、**、* 分别表示估计系数在 1%、5%、10% 的水平下显著。规模因子 ξ 无法直接估计得到。

资料来源: 将相关变量代入式 (9) 后, 通过计量估计得到。

(3) 标准化供给面系统方法的估计结果最为准确和可靠, 参数的识别最为全面。通过前文对三种估计方法原理的优缺点分析可知, 相对于最优一阶条件法和 Kmenta 级数展开法而言, 标准化供给面系统方法的可扩展性更强, 能够同时嵌入要素增强型技术进步率不变和可

① 该方法在两种市场假设下的估计方程一样, 但 π_0 的差别导致要素替代弹性的估计结果不同。

变框架,且参数能够得到全面的直接估计。基于此,本文在完全与非完全竞争市场假设、技术进步率不变与可变框架下,分别使用标准化供给面系统方法,通过估计得到四种情景下的 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 。由表5可知,在 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 的识别方面,四种情景下两类要素替代弹性估计结果均指向总替代性质,并均通过了1%水平的显著性检验,符合不同类型要素替代弹性拥有相同替代性质的定理。一方面再次证明了最优一阶条件法和Kmenta级数展开法能够较为准确地识别 σ_{Hicks} ,但存在 σ_{Factor} 估计失效的问题;另一方面也清晰地体现了非线性系统估计技术的优势,展现了直接估计方法的可靠性。此外,由表5中其他参数的估计结果可知,直接估计方法能够实现三种技术进步速率指标(γ^A 、 γ^K 与 γ^N)以及三种技术进步曲率指标(λ^A 、 λ^K 与 λ^N)的深层参数的全面直接估计,同时每个参数都带有显著性检验,再次证明了直接估计方法在参数全面识别方面的优势。

3. 最优估计方法的判断与总结

(1) 要素替代弹性的直接估计优于间接估计。根据表3~表5的实证估计结果可知,三种估计方法在识别 σ_{Hicks} 时,尚能取得一致的估计结果。但在进一步识别 σ_{Factor} 时,间接估计方法的估计方程中一旦加入潜存多重共线性风险的估计项,待估系数得以增加,估计结果失效的问题立刻显现,而直接估计方法能够在估计不同类型的要素替代弹性时,保持一致的可靠性和准确度。本文认为 σ_{Factor} 作为要素替代弹性的一般化形式,其能否获得正确估计,是判断某一估计方法优劣的重要标准。由此,本文认为无论是从估计原理出发,还是从实证检验效果来看,间接估计方法都不是估计要素替代弹性的最优方法,标准化供给面系统方法凭借着非线性估计技术,在完全或非完全竞争市场假设、要素增强型技术进步率不变或可变框架的嵌入方面具有更高的灵活性,也在要素替代弹性准确估计方面拥有更高的可靠性。

(2) 应在多种市场和技术进步率设定方式下,进行多种估计方法的稳健性检验。基于前文对三种估计方法优缺点的原理分析和实证检验,本文认为现有研究对同一地区的要素替代弹性无法进行一致估计的原因有两个方面:一是长期以来,间接估计方法都是识别要素替代弹性的唯一方法,其本身缺陷导致在估计不同类型要素替代弹性时,可能得到相互矛盾的估计结果,而直接估计方法尚未得到广泛的应用;二是多数研究往往只针对一种具体的要素替代弹性类型进行估计,但对不同类型要素替代弹性之间的关系鲜有讨论,事实上不同类型的要素替代弹性不可能存在替代性质的矛盾,这一定理可以成为要素替代弹性估计可靠性的检验原则。因此本文建议在进行要素替代弹性估计时,可以尝试在完全与非完全竞争市场假设、技术进步率不变与可变框架下,使用多种估计方法进行综合估计,并以多种类型要素替代弹性的估计结果不存在矛盾为判断标准,优先采纳标准化供给面系统方法的估计结果,以保障估计结果的稳健性。此外,在对要素替代弹性进行估计的同时也会对其他参数进行识别,若要素增强型技术进步率参数出现了如封永刚等(2017)发现的技术退步现象($\gamma^i < 0$, $i=K, N$),应对此时的要素替代弹性估计结果保持充分怀疑,并进一步通过稳健性检验进行问题排除。

(3) 要素替代弹性估计争论的消除有利于其三大经济角色分析的展开。仍然以中国为例,目前对于中国要素替代弹性的争论大致可以划分为两类:一是戴天仕和徐现祥(2010)、雷钦礼(2013)、郝枫和盛卫燕(2014)等学者认为中国资本与劳动存在总互补关系;二是郑猛(2016)、封永刚等(2017)、陈登科和陈诗一(2018)等学者则识别得到中国资本与劳动存在总替代关系。本文的实证结果对两种观点均进行了重复,并认为前者主要是由间接估计方法的缺陷所导致,事实上本文1978~2017年中国的要素替代弹性估计结果更加支持第

表 5 标准化供给面系统方法的估计结果

参 数	Hicks 中性型				要素增强型			
	完全竞争市场- 不变框架模型 (1)	非完全竞争市场+ 不变框架模型 (2)	完全竞争市场+ 可变框架模型 (3)	非完全竞争市场+ 可变框架模型 (4)	完全竞争市场+ 不变框架模型 (5)	非完全竞争市场+ 不变框架模型 (6)	完全竞争市场+ 可变框架模型 (7)	非完全竞争市场+ 可变框架模型 (8)
ξ	0.973*** (0.012)	0.978*** (0.007)	1.038*** (0.011)	0.978*** (0.009)	0.981*** (0.011)	0.959*** (0.008)	1.040*** (0.012)	0.969*** (0.010)
σ	1.082*** (0.005)	1.1543*** (0.017)	1.092*** (0.008)	1.156*** (0.017)	1.120*** (0.004)	1.073*** (0.009)	1.082*** (0.008)	1.068*** (0.006)
γ^K					0.034*** (0.005)	0.170*** (0.027)	0.047*** (0.008)	0.179*** (0.021)
λ^K					1.000 (设定值)	1.000 (设定值)	0.685** (0.313)	0.667*** (0.152)
γ^N					0.050*** (0.003)	0.040*** (0.006)	0.035*** (0.006)	0.037*** (0.005)
λ^N					1.000 (设定值)	1.000 (设定值)	0.632*** (0.225)	1.325*** (0.210)
γ^A	0.043*** (0.001)	0.067*** (0.001)	0.040*** (0.001)	0.067*** (0.001)				
λ^A	1.000 (设定值)	1.000 (设定值)	0.673*** (0.043)	0.999*** (0.031)				
方程 1 的 R ²	0.996	0.998	0.998	0.998	0.996	0.998	0.998	0.998
方程 2 的 R ²	0.959	0.869	0.959	0.869	0.955	0.895	0.960	0.913
方程 3 的 R ²	0.998	0.999	0.998	0.999	0.998	0.999	0.998	0.999
Log Det 检验值	-22.104	-21.332	-23.284	-21.286	-22.221	-21.719	-23.278	-22.379
Log Likelihood 检验值	-612.352	-596.902	-635.947	-595.993	-614.700	-604.652	-635.833	-617.846

注：括号内数值为估计系数的稳健标准误。***、**、* 分别表示估计系数在 1%、5%、10% 的水平下显著。 γ^A 与 λ^A 分别为 Hicks 中性技术进步假设下的技术进步速率参数与技术进步速率指标。

资料来源：将相关变量代入式 (10) 后，通过计量估计得到。

二种观点。基于此, 本文认为可以将上述要素替代弹性估计结果的判断标准, 推广至其他国家的研究之中, 对过往的研究结论进行核查, 探寻不同的要素替代弹性结果是否同样是受到定义不清或估计方法能力不足的影响。由此, 通过对三种估计方法优缺点进行原理分析和实证检验, 为消除要素替代弹性估计争论进行了铺垫。在准确和可靠地识别要素替代弹性之后, 可以进一步对生产要素的真实替代关系进行准确评估, 并进一步展开要素替代弹性三大经济角色的分析, 受篇幅所限, 本文不一一展开, 仍然以表 5 的标准化供给面系统估计结果为例, 进行简要的说明。

考虑到非完全竞争市场与要素增强型技术进步率可变框架下的估计结果最为贴近现实, 在此以表 5 中模型 (8) 的估计结果为依据, 展示如何对要素替代弹性的经济意义和角色进行分析。首先, 1978~2017 年中国 σ_{Factor} 的估计值为 1.068, 呈现总替代性质, 与改革开放以来中国先以大量劳动投入替换资本, 后以资本替换逐渐稀缺的劳动的现实情况相符, 两种生产要素存在较强的替代关系。其次, 从 Klump 等 (2012)、De La Grandville (2017) 认为要素替代弹性是内生经济增长的引擎角度出发, 根据国家统计局发布的《新中国成立 70 周年经济社会发展成就系列报告》^① 显示, 1979~2018 年中国经济年均增长率为 9.4%, 中国的高要素替代弹性恰好与长时期的高速增长状态相互印证。再次, 从 Acemoglu (2002)、Schlicht (2016)、Growiec (2018) 认为要素替代弹性是要素增强型技术进步率的调节器角度出发, 资本深化在总替代关系下应诱致使得资本增强型技术进步率更高, 模型 (8) 中的 γ^N 估计值为 0.179, 高于 γ^N 的 0.037, 也对上述理论判断进行了印证, 说明中国经济增长的技术进步路径符合内生增长理论下的理想状态, 也进一步否定了本文最优一阶条件法估计结果中, 劳动增强型技术进步率更快的结论。最后, 从白重恩等 (2008)、Karabarbounis 和 Neiman (2014)、杜玖月 (2016) 认为要素替代弹性是要素收入份额变动的调节器角度出发, 资本深化在总替代关系下应导致劳动收入份额趋于下降, 资本收入份额趋于上升, 收入分配趋于恶化, 那么中国的要素替代弹性的总替代特征便能够对劳动收入份额下降进行解释, 现阶段黄先海和徐圣 (2009)、陈登科和陈诗一 (2018) 等国内学者从不同角度探寻中国的劳动收入份额下降的原因, 却没有将要素替代弹性的作用纳入进来, 这也将为未来的收入分配研究提供一个新的切入角度。

四、要素替代弹性估计方法的改进：一个窗式动态估计思路

1. 窗式动态估计思路的概念设计

由于 CES 生产函数本身蕴含着要素替代弹性恒定不变的假设, 前文介绍的三种估计方法均是对静态要素替代弹性进行识别。考虑到要素替代弹性恒定不变的刚性假设同样有可能导致学术研究脱离经济增长实际的问题, 学界也在不断做出突破静态估计限制的尝试, 努力实现要素替代弹性的动态估计。郝枫和盛卫燕 (2014) 基于混合最优一阶条件的线性化方程, 利用面板数据的变系数模型实现最优一阶条件法下的要素替代弹性动态估计。郝枫 (2015)、张月玲和林锋 (2017) 则在 Kmenta 级数展开法的基础之上, 进一步将其拓展为超越对数生产函数的形式, 利用超越对数生产函数产出弹性随要素投入而变化的特征, 实现要素替代弹性动态估计。但通过前文分析可知, 如若两种间接估计方法在静态状态下都无法保证要素替代弹性的准确估计, 那么在其基础上进行的动态拓展的有效性也难以保证。

^① http://www.stats.gov.cn/ztc/zthd/bwxcxjism/70znxc/201907/t20190701_1673373.html.

基于此，本文认为应从要素替代弹性的最优估计方法——标准化供给面系统方法之中找寻突破点，但如式（10）所示的三方程非线性系统难以按照间接估计方法的拓展思路进行改进，需要另辟蹊径找寻解决办法。因此，本文参照数据包络分析（DEA）方法的窗式移动思想，构建如图1所示的要素替代弹性窗式动态估计思路。假定时期长度为 n ，若我们截取宽度为 w 的样本进行估计，则相应构成单个估计窗口（如图1中的窗口1所示），在窗口移动步伐设定为1的情况下，此时一共可以从总时期中截取出 $n-w+1$ 个窗口，对每个窗口进行估计，则可以估计出 $n-w+1$ 个要素替代弹性及其余各项经济参数的变化趋势。在现阶段的非线性估计技术下，本文认为这是实现要素替代弹性动态估计的唯一可行也是最优方法。

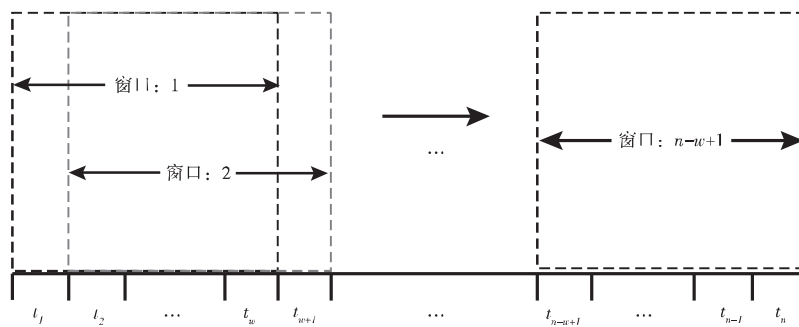


图1 要素替代弹性的窗式动态估计思路

资料来源：参照数据包络分析（DEA）方法的窗式移动思想设计得到。

2. 要素替代弹性窗式动态估计的实证检验

本文仍然以中国1978~2017年的经验数据为例，对上述窗式动态估计思路进行实证检验。考虑到时间序列估计所需的最小样本量问题，并尽可能地拆解出足够多的估计窗口，本文最终以25年为窗口宽度，共构建出16个估计窗口，窗式动态估计结果如图2所示^①。

（1）窗式动态估计思路能够有效识别出要素替代弹性的动态变化。图2展示了 σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 分别在完全或非完全竞争市场假设，以及要素增强型技术进步率不变或可变框架4种情景下的窗式动态估计结果，发现8种设定方式下的要素替代弹性在1978~2017年的16个窗口内均呈现出总替代性质， σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 之间的性质保持一致，说明窗式动态估计思路依然能够保持标准化供给面系统方法的识别优势，同时也侧面证明了前文标准化供给面系统估计结果的稳健性。仍然以假设约束条件最少的非完全竞争市场与要素增强型技术进步率可变框架下的估计结果为分析依据，从要素替代弹性的变化趋势来看， σ_{Hicks} 在考察期内由1.510下降至1.044， σ_{Factor} 则由1.218下降至1.064，均说明中国资本—劳动替代强度趋于减弱，这与郝枫和盛卫燕（2014）基于最优一阶条件法和变系数面板数据模型测算的结论截然相反，但考虑到最优一阶条件法在要素替代弹性识别方面具有的不足，我们认为本文的估计结果更接近要素替代弹性的真实状态。

（2）要素替代弹性的动态变化中蕴含着更为丰富的经济含义。仍然可以从要素替代弹性的动态估计结果中，明确生产要素替代关系的演进趋势，并进一步展开要素替代弹性经济角

^① 受篇幅所限， σ_{Hicks} 和 σ_{Factor} 在四种情景下的详细估计结果未能全部列出，如有需要可联系作者。

色的转变。首先，中国要素替代弹性在 1978~2017 年呈现的下降趋势，说明近期使用资本去替代劳动的难度愈加增大，中国生产要素的关系呈现出由总替代向总互补过渡的趋势。其次，要素替代弹性的下降可以为解释中国经济减速提供新的研究视角，中国经济增速在 2012 年之后便告别了两位数的高速增长状态，而从要素替代弹性的下降趋势中，可以尝试从要素替代弹性的经济增长引擎动力减弱的角度，对中国经济减速的原因进行分析。再次，中国要素替代弹性下降可能致使其对要素增强型技术进步率的调节作用变小，从窗式动态估计结果可知，仍然以假设约束条件最少的非完全竞争市场与可变框架下的估计结果为分析依据，在第一个窗口状态下， $\sigma_{Hicks} > \sigma_{Factor}$ ，结合式 (3) 可知，此时必然是资本增强型技术进步率大幅超过劳动增强型技术进步率，才会导致上述要素替代弹性关系的产生；而最后一个窗口状态下， $\sigma_{Hicks} < \sigma_{Factor}$ ，说明两种要素增强型技术进步率的差距得到了弥合。最后，随着中国要素替代弹性完成由总替代向总互补的过渡，劳动收入份额的下降趋势可能在要素替代弹性下降过程中得以缓和，收入分配状态可能得以改善。当然，要素替代弹性动态变化的经济意义绝非上述简要分析所能涵盖，每个角色都值得作为一项独立的研究课题继续予以探索和分析，这也是本研究未来主要的拓展方向。

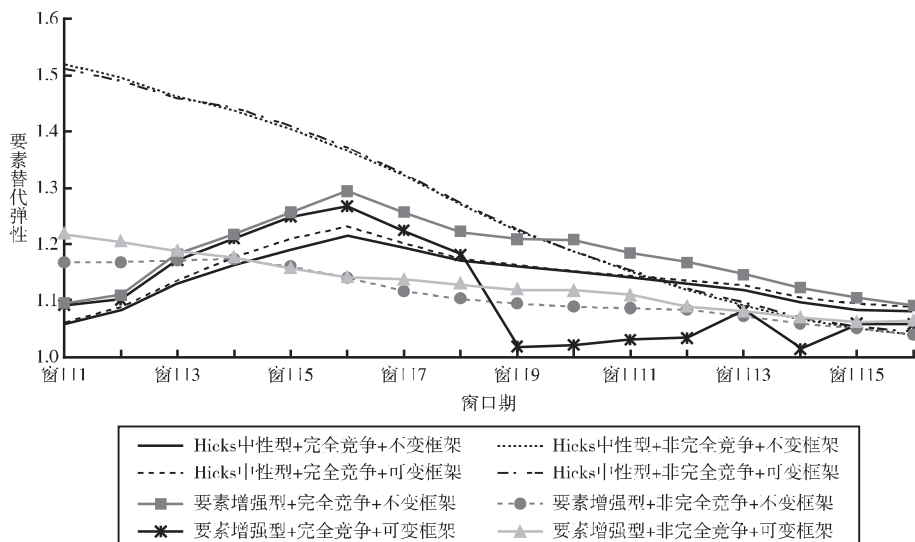


图 2 中国要素替代弹性的动态估计结果

资料来源：将相关变量代入式 (10) 后，通过窗式动态估计得到。

五、结 论

要素替代弹性不仅是衡量生产要素替代关系的重要指标，也在促进经济增长、调节要素增强型技术进步率转变、决定要素收入份额变动方向方面扮演着的重要经济角色。但可惜的是，现有国内研究对要素替代弹性的定义与类型划分还存在诸多模糊之处，而如何准确和可靠地对其进行识别也仍未达成共识，最终造成了诸多研究在同一研究对象的情况下，却得到相互排斥的要素替代弹性估计结论的尴尬状态，并阻碍了要素替代弹性三大经济角色的进一步研究。基于此，本文重新从要素替代弹性的定义出发，对四类要素替代弹性的差异与联系进行系统梳理。随后，在全面介绍了三种要素替代弹性估计方法的识别原理之后，本文从可

扩展性、参数识别的全面性及可靠性三个维度,对三种估计方法的优缺点进行对比分析,并以估计1978~2017年中国的要素替代弹性为例,对上述优缺点进行实证检验,以保障筛选出的最优估计方法在原理和实证应用两方面均具有绝对优势。最后,本文提出一种窗式动态估计思路,对最优估计方法进行改进,以实现要素替代弹性由静态估计向动态估计的进化。总之,期望通过本研究,促进消除现有研究的要素替代弹性估计争论,推动要素替代弹性的准确识别,为要素替代弹性的经济意义分析提供坚实保障。

本文的研究发现在于:第一,要素增强型替代弹性的假设约束条件最少,是要素替代弹性的一般化形式,Hicks中性型、Solow中性型、Harrod中性型三类要素替代弹性均是在要素增强型的基础上,对技术进步的形式添加约束条件衍生而成,但作为最理想的定义方式,其应用范围却十分受限,国内外部分研究甚至在未对技术进步形式做出探讨的情况下,便直接将要素替代弹性定义为Hicks中性型的形式,导致要素替代弹性的定义错误问题愈加普遍。第二,理论上四类要素替代弹性天然并不存在替代性质相互矛盾的可能性,而学界相关估计结果争论的产生正是由于估计方法不同所导致。第三,以最优一阶条件法和Kmenta级数展开法为代表的间接估计方法,存在可扩展性有限、参数难以全面识别的不足,且其本身存在的多重共线性问题将导致使用间接方法对不同类型要素替代弹性进行估计时,可能会得到相互矛盾的估计结果;而以标准化供给面系统方法为代表的直接估计方法,凭借着更强的可扩展性和更全面的参数识别能力,能够准确和可靠地完成要素替代弹性的估计,成为最优估计方法。第四,本文提出的窗式动态估计思路,能够有效地对标准化供给面系统方法进行动态改进,实现要素替代弹性由静态估计向动态估计的进化,从而为评估生产要素替代关系的演变,分析要素替代弹性经济角色的转变提供可能。

基于上述结论,本文为未来要素替代弹性相关研究提出以下建议:一是应根据研究的实际需求,确定是否要对技术进步的形式做出限定,进而选择适合的要素替代弹性定义进行研究,避免出现定义错误的问题;二是在进行要素替代弹性估计时,应在多种市场假设和技术进步率设定方式下,进行多种估计方法的稳健性检验,并以多种类型要素替代弹性的估计结果不存在矛盾为判断标准,优先采纳标准化供给面系统方法的可靠估计结果,以保障估计结果的准确性;三是建议使用本文构建的动态估计方法,对要素替代弹性本身及其三大经济角色的变化做出更多探索,得到更为丰富的研究结论。

参 考 文 献

- [1] Acemoglu D., 2002, *Directed Technical Change* [J], *Review of Economic Studies*, 69 (4), 781~809.
- [2] Antràs P., 2004, *Is the US Aggregate Production Function Cobb-Douglas? New Estimates of the Elasticity of Substitution* [J], *Contributions to Macroeconomics*, 4 (1), 1~34.
- [3] Blankenau W. F., Cassou S. P., 2011, *Industry Estimates of the Elasticity of Substitution and the Rate of Biased Technological Change between Skilled and Unskilled Labour* [J], *Applied Economics*, 43 (23), 3129~3142.
- [4] Box G. E., Cox D. R., 1964, *An Analysis of Transformations* [J], *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 26 (2), 211~252.
- [5] De La Grandville O., 2017, *Economic Growth: A Unified Approach (2nd edition)* [M], Cambridge University Press.
- [6] Fadinger H., Mayr K., 2014, *Skill-Biased Technological Change, Unemployment, and Brain*

- Drain [J], Journal of the European Economic Association, 12 (2), 397~431.
- [7] Growiec J., 2018, *Factor-Specific Technology Choice* [J], Journal of Mathematical Economics, 77 (C), 1~14.
- [8] Hardy G. H., Littlewood J. E., Pólya G., 1952, *Inequalities* [M], Cambridge University Press.
- [9] Karabarbounis L., Neiman B., 2014, *The Global Decline of the Labor Share* [J], The Quarterly Journal of Economics, 129 (1), 61~103.
- [10] Klump R., McAdam P., Willman A., 2007, *Factor Substitution and Factor-Augmenting Technical Progress in the United States: A Normalized Supply-Side System Approach* [J], Review of Economics and Statistics, 89 (1), 183~192.
- [11] Klump R., McAdam P., Willman A., 2012, *The Normalized CES Production Function: Theory and Empirics* [J], Journal of Economic Surveys, 26 (5), 769~799.
- [12] Kmenta J., 1967, *On Estimation of the CES Production Function* [J], International Economic Review, 8 (2), 180~189.
- [13] León-Ledesma M. A., McAdam P., Willman A., 2010, *Identifying the Elasticity of Substitution with Biased Technical Change* [J], The American Economic Review, 100 (4), 1330~1357.
- [14] Muck J., 2017, *Elasticity of Substitution between Labor and Capital: Robust Evidence from Developed Economies* [R], NBP Working Paper, No. 271.
- [15] Sato R., Morita T., 2009, *Quantity or Quality: The Impact of Labour Saving Innovation on US and Japanese Growth Rates, 1960~2004* [J], Japanese Economic Review, 60 (4), 407~434.
- [16] Schlicht E., 2016, *Directed Technical Change and Capital Deepening: A Reconsideration of Kaldor's Technical Progress Function* [J], Metroeconomica, 67 (1), 119~151.
- [17] 白重恩、钱震杰、武康平：《中国工业部门要素分配份额决定因素研究》[J]，《经济研究》2008年第8期。
- [18] 白重恩、钱震杰：《我国资本收入份额影响因素及变化原因分析——基于省际面板数据的研究》[J]，《清华大学学报（哲学社会科学版）》2009年第4期。
- [19] 陈昌兵：《可变折旧率估计及资本存量测算》[J]，《经济研究》2014年第12期。
- [20] 陈登科、陈诗一：《资本劳动相对价格、替代弹性与劳动收入份额》[J]，《世界经济》2018年第12期。
- [21] 陈晓玲、连玉君：《资本—劳动替代弹性与地区经济增长——德拉格兰德维尔假说的检验》[J]，《经济学（季刊）》2013年第1期。
- [22] 戴天仕、徐现祥：《中国的技术进步方向》[J]，《世界经济》2010年第11期。
- [23] 杜玖月：《劳动要素份额决定——一个综合理论模型》[J]，《经济科学》2016年第6期。
- [24] 封永刚、蒋雨彤、彭珏：《中国经济增长动力分解：有偏技术进步与要素投入增长》[J]，《数量经济技术经济研究》2017年第9期。
- [25] 高健、油永华：《中国制造业要素替代弹性的分配效应分析：替代弹性对劳动收入份额和技能溢价的影响》[J]，《劳动经济评论》2019年第1期。
- [26] 郝枫：《超越对数函数要素替代弹性公式修正与估计方法比较》[J]，《数量经济技术经济研究》2015年第4期。
- [27] 郝枫、盛卫燕：《中国要素替代弹性估计》[J]，《统计研究》2014年第7期。
- [28] 黄先海、徐圣：《中国劳动收入比重下降成因分析——基于劳动节约型技术进步的视角》[J]，《经济研究》2009年第7期。
- [29] 雷钦礼：《偏向性技术进步的测算与分析》[J]，《统计研究》2013年第4期。
- [30] 雷钦礼、王阳：《中国技能溢价、要素替代与效率水平变化的估计与分析》[J]，《统计研究》2017年第10期。
- [31] 陆雪琴、章上峰：《技术进步偏向定义及其测度》[J]，《数量经济技术经济研究》2013年第8期。

[32] 徐现祥、周吉梅、舒元：《中国省区三次产业资本存量估计》[J]，《统计研究》2007年第5期。

[33] 郑猛：《有偏技术进步下要素替代增长效应研究》[J]，《数量经济技术经济研究》2016年第11期。

[34] 张月玲、林锋：《中国区域要素替代弹性变迁及其增长效应——基于异质劳动视角的随机前沿生产函数分析》[J]，《财经研究》2017年第6期。

Comparison and Improvement of Estimating Methods of Elasticity of Factor Substitution

Feng Yonggang¹ Jiang Yutong²

- (1. The Institute of Population and Labor Economics, Chinese Academy of Social Sciences;
2. School of Economics, Southwest University of Finance and Economics)

Research Objectives: To screen out the optimal estimation method of elasticity of factor substitution and make an improvement to the optimal method to realize the leap from static estimation to dynamic estimation of elasticity of factor substitution. **Research Methods:** This paper compares and analyzes the advantages and disadvantages of the three estimation methods from the perspectives of scalability, comprehensiveness of parameter identification and reliability; then, we make the judgment of the optimal estimation method through empirical testing by taking the estimation of China's elasticity of factor substitution in 1978~2017 as an example, and put forward an idea of window movement from data envelopment analysis to achieve the dynamic improvement of the optimal method. **Research Findings:** The optimal first-order condition method and Kmenta series expansion method have the problems of poor scalability, incomplete identification of parameters, serious multicollinearity, and contradictory results; normalized supply-side system approach has higher flexibility, accuracy and reliability of estimation, and it can still achieve the effective estimation of elasticity of factor substitution after dynamic improvement. **Research Innovations:** Under the combination conditions of perfect or imperfectly competitive markets and constant or variable rate of technical progress, we conduct a comprehensive empirical test on the advantages and disadvantages of the estimation methods, and then we innovatively propose an improvement idea of window-style dynamic estimation to solve the problem of dynamic estimation of elasticity of factor substitution. **Research Value:** This paper helps to eliminate the disagreements in the estimation on elasticity of factor substitution in existing researches, clarifies the accurate identification of elasticity of factor substitution, and promotes the correct analysis of the economic meaning of elasticity of factor substitution.

Key Words: Elasticity of Substitution; Estimation Methods; Dynamic Estimation

JEL Classification: C51; C52; O11

(责任编辑：陈星星)