

# 有偏技术进步、要素替代与中国制造业成本 ——基于 30 个行业面板数据的研究

郑 猛, 杨先明, 李 波

(云南大学 发展研究院, 云南 昆明 650091)

**摘 要:** 随着中国制造业劳动工资和能源价格不断上涨, 过去依靠成本优势获得的竞争力正在逐渐减弱。基于要素替代的框架构建了包含中性和有偏技术进步的 KLEM 超越对数成本函数模型, 利用中国制造业 30 个行业 2001-2010 年数据进行分析后发现: 第一, 总体上除劳动和能源互补以及能源与中间品关系不确定外, 其余各要素均呈替代关系; 第二, 不同来源的技术进步对成本的节约效应不同; 第三, 中国制造业的确存在技术偏向, 其中 R&D 更倾向于资本增强型和偏向型技术进步, 而 FDI 更倾向于能源、劳动增强型和偏向型技术进步。

**关 键 词:** 有偏技术进步; 要素替代; 制造业成本; KLEM; 超越对数成本函数

**中图分类号:** F260 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0892 (2015) 02-0085-12

DOI:10.13676/j.cnki.cn36-1030/f.2015.02.009

## 一、引言

当前, 中国制造业面临着来自外部和内部的双重压力, 这不仅抑制中国制造业的自身发展, 还会使中国从“制造大国”向“制造强国”的转变举步维艰。外部方面, 美国在金融危机之后实施了包括“出口倍增计划”和“再工业化”战略等一系列措施, 其制造业也因此逐步走出危机的“阴影”, 实现了再次复苏, 这无疑给正处转型时期的中国制造业带来沉重的打击。内部方面, 近年来劳动、能源等要素价格的逐渐上涨为制造业生产成本所带来的压力也在与日俱增, 这在一定程度上显现出中国制造业过去依靠廉价成本优势保持的竞争力正在逐渐丧失。

从要素构成看, 制造业成本主要包括资本、劳动、能源以及中间品投入四个部分。其中任何一种要素价格的相对变化不仅会影响自身需求的改变, 而且还会导致其他生产要素相对投入份额的变化, 即要素相对价格的变化直接引起相对份额的变化, 这主要体现在要素替代弹性的大小上。因而, 厘清各个要素之间在生产中的关系将为制造业企业节约生产成本提供新的思路。另一方面, 技术进步所致

收稿日期: 2014-10-26

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目“基于能力构建的我国自主创新型技术赶超问题研究”(13YGA790135); 教育部人文社会科学研究青年基金项目“贸易便利化对经济增长和企业绩效的影响研究——以中国-东盟自贸区为例”(14YJC790059); 2014 年度云南省教育厅科学研究基金研究生项目“如何减少中国制造业中资源环境的约束? ——基于要素替代关系的研究”(2014J007)

作者简介: 郑 猛, 云南大学博士研究生, 主要从事资源经济与社会可持续发展研究, 联系方式 zhengmeng29@126.com; 杨先明, 云南大学教授, 博士生导师, 主要从事发展经济学研究; 李 波, 云南大学博士研究生, 主要从事国际贸易研究。

要素生产率的改进同样可以抵消要素成本上升对竞争力的不利影响（许召元和胡翠，2014）。<sup>[1]</sup>可见，从要素替代和技术进步的角度探讨中国制造业成本对促进中国制造业进一步发展和转型大有裨益。因此，我们分析有偏技术进步下各要素的相互关系，探讨不同来源技术进步对要素生产效率的不同影响，并由此探寻一条能够抵消和规避成本上升风险的合理路径，最终为中国制造业未来长期可持续增长提供建议。

本文其余部分的结构安排如下：第二部分是文献评述；第三部分为模型框架和方法选取；第四部分对样本数据进行了说明和处理；第五部分是计量模型的参数估计和结果分析；最后一部分是本文的主要结论及启示。

## 二、文献评述

技术进步与要素替代最早是由 Hicks (1963) 在其著作《工资理论》中提出：“替代弹性指要素投入比的变化率与其相对价格变化率的比值，它反映了要素相对价格变化对投入比例的影响。并且生产要素相对价格的变化本身就是激发技术发明的动力，也就是对特定类型技术发明——偏向于节约使用已经变得相对昂贵要素的技术发明的激发动力”。<sup>[2]</sup>其中他将技术进步划分为资本节约型、劳动节约型以及希克斯中性技术进步；并同时提出可通过资本 - 劳动替代弹性分析经济增长过程中各要素份额的相对变化。

在内生增长理论中，技术进步相对于有效劳均资本存量对经济长期增长的影响更为重要。在现实经济增长过程中，技术进步既不是外生的，也不是希克斯中性的，而是分别作用于生产过程中所使用的投入和资本装备投入之中（雷钦礼，2013）。<sup>[3]</sup>其中既有劳动增强型的技术进步，也有资本增强型的技术进步，并且二者的进步速度通常不相等。Acemoglu (2002) 通过构建一个简单的分析框架对有偏技术进步做了进一步明确，他认为主要包括价格和市场规效应两种力量影响技术进步的偏向，前者引导技术进步偏向于相对稀缺的生产要素，而后者则引导技术进步偏向于相对丰裕的生产要素，两种效应的共同作用形成了技术进步的整体偏向，不同要素间的替代弹性通过决定技术进步与要素价格间相对供给的变化进而决定上述两种效应的大小。<sup>[4]</sup>Klump 等 (2007) 以美国作为研究样本利用供给面系统法对标准化 CES 生产函数进行估计后认为，1953-1998 年期间美国劳动增强型技术进步占主导地位。<sup>[5]</sup>Sato 和 Morita (2009) 对美国和日本进行比较后发现，1960-2004 年期间两国技术均偏向于资本。<sup>[6]</sup>近几年国内学者的研究成果颇丰，其中黄先海和徐圣 (2009) 认为劳动节约型技术进步是劳动收入份额下降的重要原因；<sup>[7]</sup>戴天仕和徐现祥 (2010)、宋冬林等 (2010) 的结果一致，即中国技术进步大致偏向资本；<sup>[8-9]</sup>陈晓玲和连玉君 (2012) 进一步对中国各地区进行分析后得出大部分省份的技术进步呈现资本偏向型的结论。<sup>[10]</sup>陆雪琴和章上峰 (2013) 考察了希克斯和哈罗德偏向型技术进步，其结论是中国的技术进步大体上都是偏向资本的。<sup>[11]</sup>

对于要素替代弹性的研究基于生产函数（或成本函数）的确定。当要素替代弹性大于 1 时，两种要素间的关系为替代关系，反之当小于 1 时则表现为互补关系。新古典增长理论大都选用 C-D 生产函数，但考虑到 C-D 函数前提是要素替代弹性为 1，Arrow 等 (1961) 建立了不变替代弹性生产函数 (CES)，并证明当要素替代弹性为 0 或者 1 时，相对应的生产函数可以转变为新古典增长理论中常见的 Leontief 生产函数和 C-D 生产函数。<sup>[12]</sup>随后 Christensen 等 (1973) 提出超越对数生产函数，其优点主要在于弥补了 CES 替代弹性不变的不足，进而实现了由静态比较分析向动态比较分析的转变。<sup>[13]</sup>Hudson 和 Jorgenson (1974)、Berndt 和 Wood (1975)、Field 和 Grebenstein (1980) 将要素价格以及能源、中间品引入模型，建立超越对数 KLEM 函数，其研究表明资本和能源存在很强的互补关系。<sup>[14-16]</sup>

而 Griffin 和 Gregory (1976) 对意大利制造业的研究则显示能源与资本是替代关系。<sup>[17]</sup>Ma 等 (2008) 研究了中国经济的要素替代, 结果表明能源对资本和劳动是替代的。<sup>[18]</sup>国内作者关于要素之间相互关系的研究主要集中在 2000 年以后, 陈晓玲和连玉君 (2012) 通过估算中国 1978-2008 年各省区的要素替代弹性后发现, 东部地区的资本 - 劳动关系大多表现出替代关系, 而中西部地区的资本 - 劳动关系则大多为互补关系;<sup>[19]</sup>钟世川 (2014) 在 CES 生产函数下采用 Kmenta 近似估计方法对改革开放后中国工业各行业要素替代弹性进行估算后发现, 大多数行业的结果处于 (0, 1) 区间, 即要素间呈现互补关系;<sup>[19]</sup>但王班班和齐绍洲 (2014) 对中国工业行业的研究结果却表明要素间均呈现替代关系。<sup>[20]</sup>

通过对已有文献的回顾可以看出, 关于要素之间的替代关系无论是理论研究还是经验研究, 国内外学者研究成果相对较多。针对生产要素间的关系以及关系的大小, 目前存在较大争议。即使在同样的生产技术条件下, 关于要素间是替代还是互补关系, 得到的结果也是有差异的。导致存在上述研究差异的原因可能在于要素缺失、技术进步假设以及模型形式设定等因素的影响。

三、理论模型框架及方法选取

新古典增长理论论证了资本积累在经济增长中的作用, 并将长期经济增长归结于外生的技术进步。而内生增长理论将技术进步由外生变量变为内生变量, 并认为经济的长期持续增长依赖于技术进步的提高, 即技术进步是经济增长的核心。但是大多数文献采取希克斯中性技术进步的假设, 认为技术进步尽管会提高各种要素在生产过程中的效率, 但是这种影响是无差异的, 即不会引起各种要素之间的投入比例发生变化。但技术进步是有偏的而非中性, 即技术进步不仅会影响要素的生产效率, 而且由于对各个要素的影响程度不同, 从而使得要素之间的投入比例也发生相应变化。按照 Acemoglu (2002) 对技术进步定义的进一步阐述, 技术进步根据要素生产效率以及要素替代弹性可以分为四类 (见表 1)。<sup>[4]</sup>

表 1 技术进步类型划分

	替代关系	互补关系
劳动边际生产率大于资本	劳动增强、劳动偏向	劳动增强、资本偏向
资本边际生产率大于劳动	资本增强、资本偏向	资本增强、劳动偏向

基于以上分析, 本文将技术进步 (其中包括无偏技术进步和有偏技术进步两部分) 引入包括资本  $K$ 、劳动  $L$ 、能源  $E$  以及中间品  $M$  的成本函数中, 得到成本函数:

$$C=C(Y, P_K, P_L, P_E, P_M, A)$$
 (1)

式 (1) 中,  $C$  表示生产总成本,  $Y$  表示产出水平,  $P_K$ 、 $P_L$ 、 $P_E$  以及  $P_M$  分别表示资本投入、劳动力投入、能源投入以及中间品投入的价格,  $A$  表示技术进步。与生产函数的性质相对应, 上述成本函数是各个要素投入价格的非递减函数和拟凹函数。为了实现对要素之间替代关系的研究, 必须将成本方程设定为一个特别形式。C-D 函数、CES 函数以及超越对数函数都满足上述要求, 本文之所以使用超越对数函数, 原因在于超越对数成本函数模型是一种易于估计和包容性很强的变弹性函数模型, 它在结构上属于平方反应面模型, 可以较好地研究函数中各投入要素需求和价格的相互影响, 并且超越对数成本函数不仅弥补了 C-D 函数替代弹性为 1 的假定, 同时也弥补了 CES 函数不变替代弹性的

由于技术进步不仅来源于本国 R&D 活动, 而且对于中等收入国家而言, 引进和模仿同样是实现技术进步的重要因素, 而外商直接投资的技术溢出效应是国外技术向国内扩散的重要渠道, 因此本文将 R&D 和 FDI 两者用来衡量技术进步, 这与王班班和齐绍洲 (2014) 的做法基本一致。<sup>[20]</sup>

缺陷，进而实现了动态比较分析。超越对数成本函数的具体形式设定如式 (2)。

$$\ln C = \ln \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \beta_i \ln P_i + \frac{1}{2} \gamma_{ii} (\ln P_i)^2 + \gamma_{ij} \ln P_i \times \ln P_j + \eta_n \ln A_n + \theta_{ni} \ln A_n \times \ln P_i \quad (2)$$

其中  $i, j = K, L, E, M$  且  $i \neq j$ ,  $n = R\&D, FDI$ 。变量  $A$  一方面包括中性技术进步，主要表现为由于存在技术进步，各要素生产率提高，进而成本支出减少或者产量增加，但是各要素生产率提高程度相同，即不会产生相对效率的变化。基于此，各要素投入份额也不会发生变化，这主要由向量中的单独变量体现；另一方面还包括有偏技术进步，主要表现在技术进步不仅改变各要素生产效率，而且导致效率变化程度的相对变化，进而引起各要素投入份额的变化，最终影响成本，这主要由向量与各要素价格的交叉乘积项体现。

假定要素市场是完全竞争的，那么投入要素价格是固定不变的。接下来在给定产出水平下，我们要求使成本最小的投入需求，对成本函数做一阶微分并根据谢泼德引理 (Shephard's Lemma) 得到关于各要素投入份额的方程，如式 (3) 所示。

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial C}{\partial P_i} \times \frac{P_i}{C} = X_i \times \frac{P_i}{C} = S_i = \beta_i + \gamma_{ii} \ln P_i + \gamma_{ij} \ln P_j + \theta_{ni} \ln A_n \quad (3)$$

式 (3) 中， $X_i = \frac{\partial C}{\partial P_i}$ ,  $i = K, L, E, M$ ,  $C = \sum_i (P_i \times X_i)$ ,  $S_i$  表示某种要素的成本份额。根据 Hamermesh (1993) 对 1965-1990 年西方主流经济学杂志有关要素替代方面文章的研究，发现 AES (Allen Partial Elasticizes of Substitution) 被广泛地应用于多要素替代的实证研究，<sup>[21]</sup>并且 Thompson 和 Taylor (1995) 认为近 20 年以来几乎所有对于要素替代的研究都建立在 AES 的基础之上。<sup>[22]</sup>故借鉴 Uzawa (1962) 的方法将要素和的 Allen 偏替代弹性表示为下列形式：<sup>[23]</sup>

$$AES_{ij} = \frac{C C^{ij}}{C^i C^j} \quad (4)$$

其中， $C^i = \frac{\partial C}{\partial P_i}$ 、 $C^j = \frac{\partial C}{\partial P_j}$ 、 $C^{ij} = \frac{\partial^2 C}{\partial P_i \partial P_j}$ 。

进一步通过式 (2) 推导得到：

$$AES_{ii} = \frac{\gamma_{ii} + S_i^2 - S_i}{S_i^2}, \quad i = K, L, E, M \quad (5)$$

$$AES_{ij} = \frac{\gamma_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j}, \quad i, j = K, L, E, M \text{ 且 } i \neq j \quad (6)$$

由此可见，AES 并非固定不变，而是决定于参数和成本份额，并且，

$$AES_{ij} = AES_{ji}, \quad i, j = K, L, E, M \quad (7)$$

除了 AES，常用的要素替代弹性还包括交叉价格弹性 (cross-price elasticity) 即要素  $i$  的投入变化对要素  $j$  价格变化的反应程度，表示两种要素间的绝对替代，计算公式可以表示为：

$$CPE_{ij} = \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln P_j} \Rightarrow CPE_{ij} = S_j AES_{ij} \quad (8)$$

其中  $CPE_{ij} = S_j AES_{ij} \neq CPE_{ji} = S_i AES_{ij}$  ( $S_j = S_i$  除外)

由于 AES 无法对其经济意义进行明确解释，也不能充分解释两种要素之间的替代率 (Blackorby 和 Russell, 1981)，<sup>[24]</sup>同时考虑到交叉价格弹性 (CPE) 只是简单地描述了一种要素需求的变化对另一种要素价格变化的反应程度——要素之间的绝对替代率，而不能解释两种要素之间的相对替代率 (净



替代率)——要素投入比例的变化对相对价格变化的反应程度。也就是说,即使能源与资本之间存在绝对互补关系,当能源价格上升导致资本总量需求减少时,并不能等同于单位投入的资本数量相对于能源数量下降,反而可能存在上升的现象。其原因在于能源与资本在宏观层面与微观层面之间所表现的矛盾关系——微观层面的互补关系并不表现在宏观层面。当能源价格提高时,由于技术等影响因素限制,微观层面的资本能源投入比例在短期内难以调整,因此能源需求减少就会导致单位资本需求的减少。但是在宏观层面,能源价格上升使得社会需求偏向资本或劳动密集型的产品,能源密集型产业的产出下降,能源投入降低超过了资本需求的减少,从而在宏观层面导致能源与资本之间呈现替代关系(鲁成军和周端明,2008)。<sup>[25]</sup>鉴于上述矛盾,本文将在以上两种要素替代弹性的基础上对要素间相互关系的计算进行改进,通过 CPE 进一步推算出 Morishima 替代弹性 (MES Morishima Elasticity of Substitution)。首先运用谢泼德引理,可以得到:

$$\ln(X_i/X_j) = \ln[C^i(p,y)/C^j(p,y)] \quad (9)$$

式(9)中,  $C^i(p,y)$  和  $C^j(p,y)$  分别表示成本函数对  $p_i$  和  $p_j$  的一阶偏导,根据 Blackorby 和 Russell (1981、1989) 对两要素成本函数的扩展以及成本函数关于投入要素价格的线性齐次特征,<sup>[24 27]</sup>多要素成本函数可以写成以下形式:

$$C(p,y) = p_i \times \hat{C}(p^i/p_i, y) \quad (10)$$

式(10)中,  $p^i$  表示价格向量中排除  $p_i$  后其余各要素价格向量,在此基础上根据式(9)和式(10)将 Hicks 边际替代率和两种以上投入要素替代率进行整合得到 MES, 即:

$$\begin{aligned} MES_{ij} &= \frac{\partial \ln(X_i/X_j)}{\partial \ln(p_i/p_j)} = - \frac{\partial \ln(C^i/C^j)}{\partial \ln(p_i/p_j)} = \frac{p_i \times C^{ji}}{C^j} - \frac{p_i \times C^{ii}}{C^i} \\ &= \frac{\partial \ln C^j}{\partial \ln p_i} - \frac{\partial \ln C^i}{\partial \ln p_i} = \frac{\partial \ln X_j}{\partial \ln p_i} - \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln p_i} = CPE_{ji} - CPE_{ii} \end{aligned} \quad (11)$$

式(11)中,  $CPE_{ji}$  代表要素之间的交叉价格弹性,表示要素  $j$  需求变化对要素  $i$  价格变化的敏感程度;  $CPE_{ii}$  代表要素  $i$  的自价格需求弹性。所以两种投入要素  $i$  对  $j$  的 MES 可以表示为  $j$  要素对  $i$  要素的交叉价格弹性与要素  $i$  自价格弹性的差值,其含义可以理解为当其他要素价格固定不变时,由于  $p_i$  发生变化而导致的要素  $i$  与要素  $j$  的相对价格变化对两种要素相对投入比例的影响程度。从式(11)可以看出, MES 并非像 AES 一样具有对称性,而  $MES_{ij}$  与  $MES_{ji}$  在一般情况下并不相等,并且 MES 可计算出替代弹性的大小以及能够提供更完整的信息,因此能够区别和验证要素之间在宏观层面和微观层面——绝对替代率和相对替代率的关系(樊茂清等,2009)。<sup>[28]</sup>表 2 列出了不同取值情形的 CPE 和 MES。

随着技术进步在经济增长中的作用越来越明显,并且要素替代为 1 以及中性技术进步的假设已经与现实极为不符。有偏技术进步将对生产中各个要素的生产效率起到不同影响,进而引起要素间投入比例的变化,衡量技术进步对要素投入相对比例变化的公式如下:

$$\frac{\partial \ln(X_i/X_j)}{\partial \ln A_n} = \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln A_n} - \frac{\partial \ln X_j}{\partial \ln A_n} = \frac{\partial S_i}{\partial \ln A_n} \times \frac{1}{S_i} - \frac{\partial S_j}{\partial \ln A_n} \times \frac{1}{S_j} = \frac{\theta_{ni}}{S_i} - \frac{\theta_{nj}}{S_j} \quad (12)$$

MES 最早由 Morishima (1967) 提出的,用于估计两种投入要素比例变化对相对价格变化的反应程度。与 AES 和 CPE 仅仅考虑要素的替代弹性相比, MES 除了能够更为准确地描述要素相对比例的变化外,还包括了要素收入效应。<sup>[29]</sup>

Blackorby C. 和 Russell R. (1981) 在文中提出定理 1: 当生产(或者成本)函数属于某种特定形式(比如 CES 或者 C-D 函数)或者仅仅存在两种投入要素时,两种  $MES_{ij}$  与  $MES_{ji}$  相等,即存在对称性。<sup>[24]</sup>

表 2 CPE 和 MES 的不同取值情形及结果

情形	CPE	MES	结果
1	小于 0	小于 0	要素呈现互补关系
2	小于 0	大于 0	相对替代但绝对互补
3	大于 0	大于 0	要素呈现替代关系

注：由于 AES 和 CPE 符号相同，故 CPE>0 或 <0 可以判定要素的绝对替代率。  
资料来源：鲁成军和周端明. 中国工业部门的能源替代研究——基于对 Allen 替代弹性模型的修正[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (5): 第 33 页.<sup>[25]</sup>

为了计算出上述指标，需要将式（3）的各个要素份额方程联立，并将式（2）成本函数纳入方程组，将上述方程组加入随机干扰项后估算方程组中各个待估参数的大小，进而按照式（5）-（11）最终得到要素替代弹性。由于本文所需要估计的并非单方程而是一组联立方程组，所以如 OLS、2SLS 等估计方法一般来说不是很有效。三阶段最小二乘法（3SLS）是同时估计联立方程系统的全部结构方程的系统估计方法，是似不相关回归方法（SUR）的二阶段最小二乘法。当方程右边变量与误差项相关，并且残差存在异方差和同期相关时，3SLS 相对于 2SLS 是一种更有效的方法，原因在于它考虑了方程之间的相关关系。但是考虑到待估方程组残差是否存在同期相关并不能确定，而似不相关回归（SUR）可以解决上述问题，其原因在于 SUR 模型的基本假设是各方程的扰动项之间存在同期相关，并且通过 Breusch 和 Pagan（1980）使用的 LM 统计量对其进行检验，可以得到方程组间扰动项是否存在同期相关，<sup>[29]</sup>因此本文使用的估计方法为 SUR，这与国内外学者所运用的方法基本一致，并且可以得到与 3SLS 一样的结果。但是需要强调的是，由于联立方程组中的每一个份额方程只描述总体的一部分，所有各份额方程的和等于 1，即任意一个要素的份额方程都可以用其他方程来表示，并且每个方程的随机干扰项之和为 0，即随机干扰项的协方差矩阵是奇异非对角的，为了防止随机干扰项的非正规化（singular and nondiagonal）情况出现以避免出现不可识别的问题，我们要放弃一个要素的份额方程，本文去除的是中间品成本份额方程。

四、数据来源与数据处理

本文采用年度数据，样本区间定为 2001-2010 年，选取中国制造业 30 个行业的面板数据作为研究样本进行回归分析，所涉及的样本数据包括全社会规模以上工业企业的数据，同时以 2000 年价格为基期进行平减，中国制造业总成本等于各个行业 4 种要素投入总成本之和，其中各个投入要素的相关数据来源及处理如下。

（一）资本投入与资本价格

各个行业历年资本投入的数据采用各行业资本存量，而针对资本存量的计算通常采用永续盘存法（PIM），其计算公式为：

$$K_{it}=K_{it-1}(1-\delta)+I_{it}$$

其中， $K_{it}$  为  $i$  行业  $t$  年的资本存量， $\delta$  为上一年度的资本折旧率， $I_{it}$  为  $t$  年资本投入。

之所以样本区间设定到 2010 年，其原因在于规模以上工业企业在 2010 年之前是指年主营业务收入在 500 万元及以上的法人工业企业，而自 2011 年开始至今的统计口径变为年主营业务收入在 2000 万元及以上的法人工业企业，前后统计口径存在较大差异。因此我们认为将样本区间设定到 2010 年是合理的。

由于制造业分类中最后两个类别工艺品及其他制造业、废弃资源和废旧材料回收加工业部分年份数据缺失，使得最终样本容量为 288。

因此,采用永续盘存法计算资本投入涉及初始资本存量、当年资本投入和折旧率。本文样本期的初始资本存量为 2000 年资本存量,鉴于数据的可得性,本文采用陈诗一(2011)测算的 2000 年资本存量通过平减作为初始的资本存量,并且考虑到不同行业不同时间折旧率的不同,<sup>[30]</sup>将《中国工业经济统计年鉴》中不同行业的本年折旧与固定资产原值(或原价)之比作为折旧率;而当年资本投入则以《中国统计年鉴》各个行业的固定资产投资代替。资本价格指数以《中国统计年鉴》的固定资产投资价格指数为基础,以行业每年的固定资产投资占比作为权重进行加权平减求得各个行业每年的固定资产投资价格指数。

## (二) 劳动投入与劳动价格

本文首先采用《中国工业经济统计年鉴》中各个行业平均从业人员数作为劳动投入数量,然后以《中国劳动统计年鉴》中城镇单位就业人员的平均工资为基础,通过 CPI 数据平减得到 2000 年为基期的工资即平均实际工资,最后根据劳动投入数量和平均实际工资计算总劳动投入额。劳动价格指数则使用上述 2000 年为基期的平均实际工资计算。

## (三) 能源投入与能源价格

能源投入量以历年《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》中各个行业能源消费总量(万吨标准煤)为基础,把《国际统计年鉴》相应年份中澳大利亚原煤价格换算成标准煤价格,并且按照《世界银行数据库》中美元与人民币的兑换汇率进行换算,同时结合各个行业出厂品价格指数进行扩展,最后通过价格和消费量的乘积得到各行业以 2000 年为基期的历年能源总投入。能源价格指数为各个行业出厂品价格指数以 2000 年为基期进行平减后的最终指数。

## (四) 中间投入与中间投入品价格

各个行业的中间投入等于《中国工业经济统计年鉴》中各个行业的工业总产值与工业增加值之差,然后加上相应的应交增值税。由于 2008 年以后《中国工业经济统计年鉴》不再统计各个行业的工业增加值,所以本文采用国家统计局月度数据中的每年年底分行业工业增加值累计增长率推算 2008 年以后的工业增加值,然后通过 CPI 平减换算得到 2000 年为基期的数据。此外,中间品总投入还应减去能源总投入。中间投入品价格指数以《中国统计年鉴》中的原材料购进价格指数为基准,以各个行业中间投入占比为权重,从而计算出各个行业的原材料购进价格指数,以此作为中间投入品价格。

## (五) 研究、试验发展与外商直接投资

研究、试验发展(R&D)采用各行业研究与试验发展内部支出经费占当年产值的比重来衡量,其数据来源于《中国科技统计年鉴》;外商直接投资(FDI)采用港澳台资本与外商资本之和占实收资本的比重来计算,其数据来源于《中国工业经济统计年鉴》。

# 五、结果分析

按照本文第四部分阐述的方法,对资本、劳动、能源成本份额方程以及总成本方程进行系统估计,总成本方程(2)和各要素成本份额方程(3)的估计结果分别如表 3 和表 4 所示。

从检验结果来看,本文估计的系统方程组整体上通过了显著性检验。B-P 检验结果强烈拒绝原假

---

这一算法根据《中国统计年鉴》指标解释中关于制造业增加值的算法推导而来。

之所以将港澳台资本考虑进来,是因为中国制造业统计数据中并未包含港澳台部分,因此港澳台资本同样可以看作外部资本投入,并且某些行业实收资本中港澳台资本投入量的占比远远高于外商资本投入,例如纺织服装、鞋、帽制造业行业。当然,其他大部分行业两者占比的差距也并不是很大。

设，表明各方程扰动项之间的确存在同期相关，由此可以认为相对于单个方程进行 OLS 检验而言，本文选取 SUR 估计方法更加合理，能够大大提高系统估计的效率。进一步从变量回归结果来看，内部 R&D 投入支出系数显著为正，这在一定程度上反映出中国制造业 R&D 投入并没有实现对总成本的减少，反而增加了总成本支出，其原因可能是随着中国制造业内部 R&D 不断增加投入，势必会增加其同期成本支出，但是来源于 R&D 的技术进步更加偏向于劳动增强型，而同期劳动效率提高的回报效用存在滞后，并且尽管中国制造业科研创新投入较大但质量不高，研发能力较低，创新产出较少，创新绩效较小，即同期 R&D 投入并没有被其提高的要素效率所抵消。外商直接投资（FDI）则表现出与 R&D 相反的结果，其系数显著为负，即 FDI 不断增加会减少中国制造业总成本，FDI 主要通过提高要素生产率节约成本，这反映出同期 FDI 技术溢出效应较 R&D 在影响总成本方面更加明显。总成本方程中最后一列  $\ln R\&D \times \ln P_K$  等交叉项系数则反映的是有偏技术进步通过对不同投入要素比例的变化对总成本的影响，其中来源于 R&D 的有偏技术进步更多的是通过减少能源、劳动投入比例降低总成本，但同时增加了资本投入比例，而来源于 FDI 的有偏技术进步则主要通过减少资本投入比例进而实现对总成本的降低。由此可见，不同来源的中性技术进步以及来源于内源型创新和外源型引进两种有偏技术进步对中国制造业总成本均产生了不同影响。

表 3 总成本方程估计结果

变量		变量		变量	
$\ln Y$	1.006*** (0.010)	$\ln P_K \times \ln P_L$	0.007 (0.019)	$\ln R\&D \times \ln P_K$	0.069*** (0.008)
$\ln P_K$	0.408*** (0.096)	$\ln P_K \times \ln P_E$	0.062*** (0.0084)	$\ln R\&D \times \ln P_L$	-0.007** (0.003)
$\ln P_L$	-0.229*** (0.039)	$\ln P_K \times \ln P_M$	0.136*** (0.040)	$\ln R\&D \times \ln P_E$	-0.002** (0.001)
$\ln P_E$	0.106* (0.056)	$\ln P_L \times \ln P_E$	-0.014*** (0.003)	$\ln R\&D \times \ln P_M$	-0.045 (0.031)
$\ln P_M$	-1.039*** (0.172)	$\ln P_L \times \ln P_M$	0.0003 (0.013)	$\ln FDI \times \ln P_K$	-0.104*** (0.006)
<u>-0.294</u> $\ln p_K^2$	-0.147** (0.069)	$\ln P_E \times \ln P_M$	-0.010* (0.005)	$\ln FDI \times \ln P_L$	0.014*** (0.002)
<u>-0.0004</u> $\ln p_L^2$	-0.0002 (0.010)	$\ln R\&D$	0.077*** (0.016)	$\ln FDI \times \ln P_E$	-0.002*** (0.001)
<u>0.032</u> $\ln p_E^2$	0.016*** (0.006)	$\ln FDI$	-0.134*** (0.012)	$\ln FDI \times \ln P_M$	0.031 (0.034)
<u>0.038</u> $\ln p_M^2$	0.019 (0.064)	_cons	0.471*** (0.121)		
obs	288	Parms	25	RMSE	0.1990056
R-sq	0.9563	chi <sup>2</sup>	3509.27	P	0.00
B-P	287.563				

注：表中括号内数值表示标准差；\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平；总成本方程中各要素价格平方项前系数应为实际估计值的两倍，变量左边表格中下划线数值为其实际值；表中最后一行 Breusch-Pagan test 检验的原假设是各方程扰动项之间无同期相关。

根据表 4 相应估计系数的大小，首先按照式（5）、（6）、（8）以及式（11）逐步计算出要素间 AES、CPE 并由此得到最终反映要素间关系的 MES 替代弹性（在此只列出制造业要素关系的最终结

为了验证 R&D 和 FDI 对总成本的影响是否存在滞后，本文还将上述两者的滞后一期变量引入模型进行回归，其结果显示 R&D 滞后一期对成本的影响显著为负，而 FDI 滞后一期对成本的影响不显著，这与本文提出的解释一致。



果)；其次将相应系数代入式 (12) 分别得到  $R\&D$  和  $FDI$  两种技术进步途径进而得到技术进步对要素投入相对比例的影响；最后根据表 1 的划分方法最终确定中国制造业有偏技术进步的类型。具体结果如表 5 所示。

表 5 结果主要反映了三方面事实。其一，根据替代弹性数据显示，中国制造业 2001-2010 年期间要素间关系总体呈现替代关系，但劳动和能源之间却呈现互补关系。不同于其他要素组合，能源和中间品两者间关系并不一致，主要表现在当能源相对价格提高时，中间品投入比

例的相对变化将减少，而当中间品相对价格提高时，能源投入比例的相对变化却增加。本文认为出现上述矛盾的原因是由于中间品投入是去掉资本、劳动以及能源要素后的其他生产要素集合，所包含的种类繁多，由此导致中间品投入集合中复杂的要素分类与能源的相似程度存在较大差异，其中一些例如钢铁等能源性质的中间品投入与能源相似度较高，而一些如棉纱等却与能源相似度较低，进而导致中间品与能源的相似程度（即要素替代关系）无法确定。其二是不同来源技术进步的要​​素偏向有着明显不同的区别。其中  $R\&D$  投入的增加可以使劳动相对于其他要素投入比例下降，能源相对于资本和中间品投入比例下降，以及中间品相对于资本投入比例下降，这说明中国制造业各行业的来源于  $R\&D$  的技术进步主要减少了劳动要素的相对投入比例，其次是能源和中间品，而增加了资本相对于其他要素的相对比例；而  $FDI$  则表现出明显不同的结果，主要表现在随着  $FDI$  投入的增加，资本相对于其他三个要素投入比例在不断下降，能源相对于劳动和中间品投入比例也在下降，中间品较劳动投入比例呈现下降趋势，与  $R\&D$  投入不同， $FDI$  投入集中于减少资本的相对投入，而更多的是增加其

表 4 各要素成本份额方程估计结果

	$S_K$	$S_L$	$S_E$
$\ln P_K$	-0.147** (0.069)	0.007 (0.019)	0.062*** (0.008)
$\ln P_L$	0.007 (0.019)	-0.0002 (0.010)	-0.014*** (0.003)
$\ln P_E$	0.062*** (0.008)	-0.014*** (0.003)	0.016*** (0.006)
$\ln P_M$	0.136*** (0.040)	0.0003 (0.013)	-0.010* (0.005)
$\ln R\&D$	0.06*** (0.008)	-0.007** (0.003)	-0.002** (0.001)
$\ln FDI$	-0.104*** (0.006)	0.014 (0.002)	-0.002 (0.001)
Obs	288	288	288
Parms	6	6	6
RMSE	0.1002689	0.0169913	0.0097657
R-Sq	0.5619	0.3552	0.3709
Chi <sup>2</sup>	461.93	67.36	113.99
P	0.00	0.00	0.00

注：表中括号内数值表示标准差；\*\*\*、\*\*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平。

鉴于本文涉及 10 年 30 个行业，并且 MES 替代弹性具有非对称特点，所罗列的结果较多，因此本文不在此将结果列出，如需请联系作者索要。

有偏技术进步可分为要素增强型技术进步和要素偏向型技术进步，前者通过要素相对效率水平的变化进行界定，例如当技术进步导致资本要素生产效率高于其他要素时，则可认为技术进步属于资本增强型；后者通过生产中使用的要素偏向（要素投入相对比例的变化）进行界定，例如当技术进步导致资本需求大于其他要素时，可以认为技术进步属于资本偏向型。当然要素替代弹性在其中同样起到关键的判定作用，具体见表 1。

中间品投入是一定期限内所有常驻单位在生产或提供货物与服务活动过程中，消耗和转换的所有非固定资产的货物和服务的价值，是继续投入生产过程的初级产品和工业再制品，是经过一些制造或加工过程，但还没有达到最终产品阶段的产品。

他三要素的投入比例。其三是基于上述结果得到了中国制造业技术进步的要 素偏向类型，这不仅可以反映出技术进步更加偏向于使用何种要素，同时能够反映技术进步对提高各要素相对生产效率的不同作用程度。中国制造业内部  $R\&D$  投入在提高资本生产效率和中间品效率方面作用的程度更高，即资本、中间品较劳动和能源要素而言的净技术进步率为正；而  $FDI$  投入则更加倾向于提高能源生产效率，基本不涉及资本效率的提高。总体上来看，中国制造业内部  $R\&D$  产生的技术进步对于提高各个投入要素的效率大小顺序为：资本 > 中间品 > 劳动 > 能源，而  $FDI$  产生的技术进步对要素生产效率的影响大小与  $R\&D$  正好相反：能源 > 劳动 > 中间品 > 资本。

表 5 中国制造业要素关系及技术进步的要素偏向

中国制造业要素关系											
$MES_{KL}$	$MES_{KE}$	$MES_{KM}$	$MES_{LE}$	$MES_{LM}$	$MES_{EM}$	$MES_{LK}$	$MES_{EK}$	$MES_{MK}$	$MES_{KL}$	$MES_{ML}$	$MES_{ME}$
替代	替代	替代	替代	互补	替代	替代	替代	替代	互补	替代	替代
$R\&D$ 对任意两要素投入比例的影响弹性											
$(K, L)$		$(K, E)$		$(K, M)$		$(L, E)$		$(L, M)$		$(E, M)$	
节约劳动		节约能源		节约中间品		节约劳动		节约劳动		节约能源	
$FDI$ 对任意两要素投入比例的影响弹性											
$(K, L)$		$(K, E)$		$(K, M)$		$(L, E)$		$(L, M)$		$(E, M)$	
节约资本		节约资本		节约资本		节约能源		节约中间品		节约能源	
中国制造业技术进步的要素偏向 ( $R\&D$ )											
$(K, L)$		$(K, E)$		$(K, M)$		$(L, E)$		$(L, M)$		$(E, M)$	
资本增强		资本增强		资本增强		劳动		中间品增强		中间品增强	
资本偏向		资本偏向		中间品增强		能源偏向		中间品增强		中间品偏向	
中国制造业技术进步的要素偏向 ( $FDI$ )											
$(K, L)$		$(K, E)$		$(K, M)$		$(L, E)$		$(L, M)$		$(E, M)$	
劳动增强		能源增强		中间品增强		能源增强		劳动增强		能源增强	
劳动偏向		能源偏向		中间品偏向		能源偏向		劳动偏向		中间品偏向	

注： 上表仅代表 2001 - 2010 年期间中国整体制造业的结果，并非所有行业每一年都一样； 要素关系的判定标准： 为如果  $MES$  大于 0，则认为两者存在替代关系，反之为互补关系；  $R\&D$  和  $FDI$  对要素投入比例影响的判定标准为： 如果弹性大于 0，则认为将会提高前者相对于后者的投入比例，因此应判定为偏向前者，反之偏向后者； 根据式 (12) 可以看出， $R\&D$  和  $FDI$  对  $K/L$  和  $L/K$  的影响弹性互为相反数，但结果相同，因此本文以  $(K, L)$  作为结果列出； 由于能源和中间品两种要素间关系不统一，故上表最后一列关于中国制造业技术进步的要 素偏向无法获得，但是按照已知结果进一步推导便可得到，例如对于  $R\&D$  投入而言，综合  $(L, E)$  和  $(L, M)$  结果可以得出中间品效率 > 劳动效率 > 能源效率，所以  $(E, M)$  的结果为中间品增强型技术进步，同理可以得到  $FDI$  一栏中  $(E, M)$  的结果； 下划线表示根据上述第五点的推导结果。

六、主要结论及启示

本文将有偏技术进步引入要素替代弹性的研究框架内，通过建立包括资本、劳动、能源以及中间品四个投入要素的超越对数成本，计算出各个投入要素间的关系以及不同来源的技术进步对各个要素投入相对比例的变化，在此基础上推导出有偏技术进步对总成本以及各投入要素的偏向影响，其主要结论如下。

第一，中国制造业在 2001 - 2010 年间要素间的关系主要表现为替代关系，但是劳动和能源之间呈现

互补关系；而能源与中间品的关系不能确定，这主要表现为相对价格的变化对相对投入比例的变化不同。

第二，当技术进步同比例影响各个生产要素效率和投入时（即中性技术进步），不同来源的技术进步对总成本节约的效应不同，其中中国制造业同期 *R&D*（内源型技术进步）投入会增加总成本投入，对成本的节约效应存在滞后；*FDI*（外源型技术进步）同期节约成本效应明显，但滞后期效果不显著。

第三，有偏技术进步包括要素增强型技术进步和要素偏向型技术进步，其中 *R&D* 投入主要实现对资本和中间品要素效率的提高，进而提高了资本、中间品相对其他要素投入的比例，使得技术进步更加偏向于资本和中间品；而引进 *FDI* 带来的技术进步主要使中国制造业能源、劳动要素效率得到相对快速的提高，并增加了上述两要素的相对需求，对其他要素尤其是资本效率的影响相对较小。

近些年无论是哪种密集型行业，通过提高生产效率抵消和规避要素成本上升风险的能力日趋下降，进而对中国制造业国际竞争力产生不利影响。因此，中国应实行开放发展战略、加快资本替代，不断提升资本技术密集型行业发展基础条件，努力实现由劳动能源密集型行业向资本技术密集型行业转变，并通过政策诱导进一步加强技术创新、模仿和制度创新，充分发挥 *R&D* 和 *FDI* 的节约成本效应和技术进步偏向，即中国应在内部自主创新不断提高资本效率的同时，通过 *FDI* 的外溢效应更多吸收和模仿外部先进技术，提高劳动和能源效率，使中国制造业的竞争力继续维持并不断提高。

#### 参考文献：

- [1]许召元, 胡 翠. 成本上升的产业竞争力效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2014, (8): 39-54.
- [2]Hicks J.. Theory of Wages (Second Edition) [M]. London: Macmillan, 1963.
- [3]雷钦礼. 偏向性技术进步的测算与分析[J]. 统计研究, 2013, (4): 83-91.
- [4]Acemoglu D.. Directed technical change[J]. The Review of Economic Studies, 2002, 69(4): 781-809.
- [5]Klump R., McAdam P., Willman A.. Factor Substitution and Factor-Augmenting Technical Progress in the United States: a Normalized Supply-side System Approach[J]. The Review of Economics and Statistics, 2007, 89(1): 183-192.
- [6]Sato R., Morita T.. Quantity or Ality: the Impact of Labour Saving Innovation on US and Japanese Growth Rates, 1960-2004[J]. Japanese Economic Review, 2009, 60(4): 407-434.
- [7]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, (7): 34-44.
- [8]戴天仕, 徐现祥. 中国的技术进步方向[J]. 世界经济, 2010, (11): 54-70.
- [9]宋冬林, 王林辉, 董直庆. 技能偏向型技术进步存在吗?——来自中国的经验证据[J]. 经济研究, 2010, (5): 68-81.
- [10]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), 2012, 12(1): 93-118.
- [11]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, (8): 20-34.
- [12]Arrow K. J., Chenery H. B., Minhas B. S., Solow R. M.. Capital-labor Substitution and Economic Efficiency[J]. The Review of Economics and Statistics, 1961, 43(3): 225-250.
- [13]Christensen L. R., Jorgenson D. W., Lau L. J.. Transcendental Logarithmic Production Frontiers[J]. The Review of Economics and Statistics, 1973, 55(1): 28-45.
- [14]Hudson E. A., Jorgenson D. W.. US Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000[J]. The Bell Journal of Economics and Management Science, 1974, 5(2): 461-514.
- [15]Berndt E. R., Wood D. O.. Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy[J]. The Review of Economics and Statistics, 1975, 57(3): 259-268.
- [16]Field B. C., Grebenstein C.. Capital-energy Substitution in US Manufacturing[J]. The Review of Economics and Statistics, 1980, 62(2): 207-212.
- [17]Griffin J. M., Gregory P. R.. An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses[J]. The American Economic Review, 1976, 66(5): 845-857.

- [18]Ma H., Oxley L., Gibson J., Kim B.. China's Energy Economy: Technical Change, Factor Demand and Interfactor/Interfuel Substitution[J]. Energy Economics, 2008, 30(5): 2167-2183.
- [19]钟世川. 要素替代弹性, 技术进步偏向与我国工业行业经济增长[J]. 当代经济科学, 2014, (1): 74-81.
- [20]王班班, 齐绍洲. 有偏技术进步, 要素替代与中国工业能源强度[J]. 经济研究, 2014, (2): 115-127.
- [21]Hamermesh D. S.. Labor Demand[M]. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1993.
- [22]Thompson P., Taylor T. G.. The Capital-Energy Substitutability Debate: A New Look[J]. The Review of Economics and Statistics, 1995, 77(3): 565-569.
- [23]Uzawa H.. Production Functions with Constant Elasticities of Substitution [J]. The Review of Economic Studies, 1962, 29(4): 291-299.
- [24]Blackorby C., Russell R. R.. The Morishima Elasticity of Substitution; Symmetry, Constancy, Eeparability, and Its Relationship to the Hicks and Allen Elasticities[J]. The Review of Economic Studies, 1981, 48(1): 147-158.
- [25]鲁成军, 周端明. 中国工业部门的能源替代研究——基于对 Allen 替代弹性模型的修正[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, (5): 30-40.
- [26]Morishima M.. A Few Suggestion on the Theory of Elasticity[J]. Keiza Hyorom (Economic Review), 1967, (16): 145-150.
- [27]Blackorby C., Russell R. R.. Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand up? (A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticities)[J]. The American Economic Review, 1989, 79(4): 882-888.
- [28]樊茂清, 任若恩, 陈高才. 技术变化、要素替代和贸易对能源强度影响的实证研究[J]. 经济学 (季刊), 2009, (10): 237-257.
- [29]Breusch T. S., Pagan A. R.. The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics[J]. The Review of Economic Studies, 1980, 47(1): 239-253.
- [30]陈诗一. 中国工业分行业统计数据估算: 1980-2008 [J]. 经济学(季刊), 2011, (3): 735-775.

### Biased Technological Progress, Factor Substitution and China's Manufacturing Industry Costs: An Analysis Based on Panel Data from 30 Industries

ZHENG Meng, YANG Xian-ming, LI Bo  
(Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract :** With the rising of wages and energy prices, China's manufacturing industry is losing its competitiveness once gained from its cost advantages. This paper makes an analysis of the data of China's 30 manufacturing industries from 2001 to 2010 by constructing a KLEM translog cost function model containing the neutral and biased technological progresses on the basis of the framework of the factor substitution. The results are as follows. Firstly, all the factors present a substitutive relation in general, except that the relationship between labor and energy complementation and the relationship between energy and intermediates are uncertain. Secondly, technical progresses from different sources have different effects on cost savings. Thirdly, there does exist technical bias in China's manufacturing industry, among which R&D is more inclined to technical progresses of capital-enhancement mode and capital-biased mode, whereas FDI is more inclined to technical progresses of energy or labor-enhanced mode and energy or labor-biased mode.

**Key words :** biased technological progress; factor substitution; manufacturing industry costs; KLEM; translog cost function

责任编辑: 李 有