

# 技术进步与要素收入分配\*

李 荻\*\*

(北京大学中国经济研究中心)

**内容摘要:** 本文在一般的新古典总量生产函数的基本假设下,从要素收入分配的角度,将常见的几种外生非体现型技术进步,包括希克斯技术进步、哈罗德技术进步和索罗技术进步纳入一个统一的框架进行研究,并在动态技术进步过程中给出了这几种常见的技术进步及其更为细致的子类型之间的相互关系。

**关键词:** 技术进步 要素替代弹性 哈罗德技术进步分解

## 一、引言

人们对于技术进步的兴趣最终根源于对经济增长的关注。从古典经济学时代,经济学一致秉承着一个传统,即将经济中的产出以及产出的增长归结于某几种“要素”的投入或作用。随着经济现实的不断演变,这些要素的集合不断扩展,从最初简单的土地、劳动和资本,扩展到了包括技术、企业管理等在内的更为广泛的空间。就上个世纪后半段全球经济增长状况以及众多学者对这段时间内经济增长的总结来看,在这些被归入经济增长动力的因素中,最为引人注目,而且也是研究得最多的就是技术进步了。

对技术进步以及技术进步对经济增长的作用的描述和研究,其实很早就开始了,其中比较有代表性的是熊彼特(Schumpeter, J. A.)关于“创新”的论点。但是真正的对技术进步进行比较系统化的研究还是在新古典的增长理论诞生之后。随着索罗的经典论文的发表,在新古典增长模式的框架下,技术进步以一种更为明确而且可以度量的方式被定义和描述,方便了人们对其进行更为深入和细致的研究。简单的说,在这个增长模式中,产出是各种可以度量的要素投入(包括劳动和资本等)的结果,而产出的增长可以多于这些要素投入增长的总和,其剩余就体现了技术进步。或者说技术进步就是这样一种因素,它使得同样多的投入可以获得更多的产出。

根据人们关心的侧重点不同,人们可以从不同的角度来处理技术进步。在这个层次上,一种典型的技术进步就是外生的非体现型技术进步,在很多的现代新古典经济增长理论中都有这种技术进步的表现(Solow, R. M., 1956等),这种类型的技术进步被视为是一个外生的过程,独立于其他的生产投入要素,技术的变更并不体现在要素本身。与之相对应的,就有内生的技术进步,比如卡尔多(Kaldor, N., 1957)的“技术进步函数”以及更为有名的阿罗的“干中学”(Arrow, K. J., 1962),还有宇泽宏文的“两部门增长模型”(Uzawa, Hirofumi, 1963)等。此外还有体现型的技术进步,研究资本或者更为具体的将机器所体现的技术进步的影响(Solow, R. M., 1960; Phelps, E. S., 1962)。在本文中,我们将目光仅仅限于外生的

---

\* 这篇文章最初是我在北京大学经济学院三年级本科课程“发展经济学”上的一个课题讨论稿,后在该课程任课老师叶静怡教授的指导和帮助下进行了更为深入地研究。在2001年参加北京大学中国经济研究中心第二届“中国经济学优秀大学生夏令营”时,本文的初稿作为讨论稿参加了当时的讨论,从很多老师和同学处得到了很多有益的建议。之后经过在北京大学中国经济研究中心一年的系统学习和思考,最终形成目前这篇论文。感谢其中帮助我的叶教授和其他老师、同学。当然文章的所有问题和责任由我一人承担。

\*\* 作者的联系方式为:北京大学中国经济研究中心,100871。电话:010-51604665。Email: [lidi@pku.edu.cn](mailto:lidi@pku.edu.cn)。

非体现型技术进步类型上,所作的研究和分析也是对这种类型技术进步的更为深刻的描述<sup>1</sup>。

与我们的研究紧密相关的另外一个主题是关于外生技术进步的分类的研究。虽然大量和系统地研究技术进步是在新古典增长理论发展之后,但是对于外生技术进步分类的争论却早在 20 世纪 30 年代就开始了。最早对这个问题进行研究的是希克斯 (Hicks, J. R.), 在 1932 年的《工资理论》中,他提出了著名的希克斯技术进步分类标准。此后,哈罗德和索罗也相继提出了相应的哈罗德技术进步和索罗技术进步分类标准。此后对外生非体现型技术进步的分类研究基本上都是沿着这种思路来进行的。

围绕着同样的主题,就相关的方面,有很多的经济学家作出了很多努力和研究。其中包括琼·罗宾逊夫人 (Robinson, J., 1938), 麦卡锡<sup>2</sup>, 哈恩和马修斯<sup>3</sup>等。萨托和贝克曼<sup>4</sup>更是从不同的角度研究和中性技术进步相对应的生产函数形式和特征<sup>5</sup>。宇泽宏文还严格证明了一个按照新古典模式增长的经济要存在稳定的均衡状态,其外生的技术进步类型必须是哈罗德中性的技术进步 (Uzawa, Hirofumi, 1961)。

但是,这些文献几乎都是将包括希克斯技术进步、哈罗德技术进步和索罗技术进步在内的几种技术进步类型当作孤立的定义和标准进行研究,即使有的文献也将他们进行对比 (海韦尔·琼斯<sup>6</sup>, 哈恩和马修斯等), 但并没有仔细考虑它们之间的内在联系,更多的关注了定义之间的区别。这种处理容易造成一种错误的印象,似乎在一个技术进步过程中,只可能存在其中一种定义的技术进步类型。其实,从后文中我们可以看到,这些表面上看起来不相关的定义或者标准并不是排他性的,他们之所以存在区别仅仅是因为观察的角度不同 (或者对技术进步描述的限制条件不同) 而已。当我们根据宇泽的推论假设一个经济增长过程的技术进步满足哈罗德中性时,并不能排除这个技术进步的过程中会含有 (比如说) 希克斯劳动偏向性的因素,这在后文中我们会仔细讨论。

现有文献的另外一个问题是过多地关注“中性”,在中性的定义下,至少有某一个变量在经济增长和技术进步的过程中是不变或者不受影响的。例如,萨托和贝克曼就长篇累牍地讨论了各种中性技术进步的生产函数形式。这本身可以理解,一方面从经济学两大方法论之一的“均衡”概念就可以看出,一种过程中的平衡和相对稳定的状态在经济学中的地位。另外一方面,或许宇泽的结论加强了人们对中性技术进步的关心程度。但是,非中性的技术进步本身的意义也是很重大的,宇泽的结论并不构成在事实上不存在非中性技术进步的证据,而且在下文的分析中,我们可以看到,即使在哈罗德中性的稳态过程中,也可能存在着希克斯非中性技术进步的影子。

因此,本文将主要解决以上的一些问题。这篇分析的主要特征是:(1)、仅仅采用新古典总量生产函数的基本假设进行推导和分析,并不依赖于具体或特殊的函数形式,其结果具有很强的普遍性;(2)、要素收入分配的角度将希克斯技术进步、哈罗德技术进步和索罗技术进步整合在一个统一的理论框架内进行分析<sup>7</sup>,进而得以分析它们之间的相互关系;(3)、在动态技术进步过程中分解哈罗德技术进步,从而完整地得到各种技术进步之间的内在关系;(4)、突破中性技术进步的范围,广泛研究非中性的技术进步。

---

<sup>1</sup> 虽然看来后面的两种技术进步的表述较第一种 (外生非体现型) 更为合理,但是这并不表明外生的非体现型技术进步的研究没有意义。在很多情况下,对经济增长的研究本身并不侧重于到底技术进步的具体形态或者技术进步的产生方式有什么样的作用,而更为关心在给定技术进步过程的增长过程中,其它要素如何影响经济增长。这种情况下,技术进步往往被设定为我们在这一研究的外生过程。

<sup>2</sup> 文章见罗伯特·索罗的《经济增长因素分析》。

<sup>3</sup> 同注释 2。

<sup>4</sup> 同注释 2。

<sup>5</sup> 谢为安提供了与希克斯中性、哈罗德中性和索罗中性技术进步相适应的生产函数形式证明。

<sup>6</sup> 中译本《现代经济增长理论导引》。

<sup>7</sup> 因为索罗型的技术进步与哈罗德技术进步具有完全的对称性,因此在本文实际的说明中,只详细地分析了哈罗德技术进步。

文章的安排如下：在接下来的第二部分中，我将首先介绍基本的假设，在所建立的新古典模式中简要描述希克斯技术进步、哈罗德技术进步和索罗技术进步，并证明这三种技术进步类型具有统一的定义基础，从而在这个统一的定义基础上定义技术进步。第三部分将从第二部分构建起来的定义出发，利用要素替代弹性进行分析，给出一个大致地几种技术进步关系的描述。一个完整的技术进步过程动态分解将在第四部分中进行详细论证和分析，进而完整地给出各种技术进步之间的内在关系。最后，在第五部分中，我将进行一定的总结，并提出研究深入和扩展的方向和可能性。

## 二、外生技术进步的一个统一框架

假设经济总产出满足新古典的总量生产函数形式，而且整个经济的投入抽象为劳动和资本两种要素，此外，产出还受外生的技术进步的影响。用  $K$  表示资本存量， $L$  表示劳动力数量，并假设劳动供给无弹性，因而  $L$  可以代表劳动的要素投入。技术进步过程  $A(t)$  为一个单调递增的过程。这样总产量  $Y$  可以表示成

$$Y(t) = \tilde{F}(K(t), L(t), A(t)). \quad (1)$$

其中  $\tilde{F}(\cdot)$  为总量生产函数。

既然  $A(t)$  是时间  $t$  的一个单调过程，我们不妨仅仅使用  $t$  来代表技术进步因素。所以等式(1)可以简单地改写为

$$Y(t) = F(K(t), L(t), t). \quad (2)$$

这一转换并不是表明时间就是技术进步，只不过是一种为了简化而进行的等价处理<sup>8</sup>。显然，函数  $F(\cdot)$  应该具有同  $\tilde{F}(\cdot)$  相同的性质。

假设总量生产函数对资本、劳动和技术（或时间）都是二阶连续可导的。而且生产函数对其每一项因素都是严格增函数<sup>9</sup>，同时对任何一项因素都表现出边际产出递减的特性。即

$$F_x > 0, F_{xx} < 0, \text{ 其中 } x = K, L, t.$$

另外假设稻田（Inada）条件成立，也就是

$$F_x \Big|_{x=0, z \neq x} = +\infty, F_x \Big|_{x=\infty, z \neq x} = 0, \text{ 其中 } x, z = K, L, t.$$

进而，再假设在任意技术水平或者时点上，总量生产函数对资本和劳动规模报酬不变，即

$$\forall h > 0, F(hK, hL, t) = hF(K, L, t).^{10} \quad (3)$$

在这样的假设下，可以将生产函数写成集约形式

$$y = \frac{Y}{L} = f(k, t) = F\left(\frac{K}{L}, 1, t\right), k = \frac{K}{L}.^{11} \quad (4)$$

<sup>8</sup> 注意，这之所以是等价转换是基于技术进步的特性——外生性和非体现型。这使得我们能够抛开资本和劳动等要素，仅仅通过时间来刻画技术进步。外生性使得技术过程给定或者已知，所以可以通过类似反函数的方式用时间间接表现技术的作用，而这正是作为内生变量的劳动和资本路径所不能做到的。另外，如果技术进步存在体现型问题，则不可能做这样的等价转换。

<sup>9</sup> 生产函数对  $t$  表现出单调递增的特性本身也是技术进步的表现，因为在给定资本和劳动投入的条件下，随着时间的推移（要素没有变化），产出却增加了。

<sup>10</sup> 为了简便起见，下文中经常将  $K(t)$  和  $L(t)$  简写为  $K$  和  $L$ ，但应该注意它们都是时间的路径。

很显然，集约形式的生产函数  $f$  具有如下的性质：

$$\begin{aligned} f_x > 0, f_{xx} < 0, x = k, t \\ f_x \Big|_{x=0, z \neq x} = +\infty, f_x \Big|_{x=\infty, z \neq x} = 0. \end{aligned}$$

此外，我们只考虑在竞争性的市场环境中的增长问题。也就是说，要素的价格根据其自身的边际产出来制定。用  $r$  和  $w$  分别表示资本的价格（利率）和劳动的价格（工资率），则有克拉克法则成立：

$$r(t) = F_K(K, L, t), w(t) = F_L(K, L, t).$$

根据线性齐次函数（规模报酬不变）的性质和克拉克法则，有

$$Y(t) = r(t)K + w(t)L. \quad (5)$$

在集约形式下，很容易证明

$$r(t) = f_k(k, t), w(t) = f(k, t) - r(t)k.$$

在进行了以上的铺垫之后，让我们正式将注意力转移到外生技术进步的分类问题上来。正如上文曾经提到过的，这个问题最早是由希克斯在 1932 年的《工资理论》中提出的。希克斯将技术进步类型的标准定义为：给定要素密集度（资本劳动比）不变，在技术进步前后，①、如果要素边际技术替代率增大，则技术进步为劳动节约型（或者资本偏向型）的；②、如果要素边际技术替代率减小，则技术进步为资本节约型（或者劳动偏向型）的；③、如果要素边际技术替代率不变，则技术进步为中性的。

也就是说，如果将要素边际技术替代率表示为  $p(t) = \frac{F_K}{F_L} = \frac{r}{w}$ ，考察的限制为要素密

集度不变，即  $k$  给定，则  $\dot{p} = \frac{dp}{dt} > 0$  说明技术进步是资本偏向型的，如果  $\dot{p} < 0$ ，说明技术

进步为劳动偏向型的，而如果  $\dot{p} = 0$ ，那么技术进步为中性的。

对于这样的定义，哈罗德在他的《动态经济学》一书中提出了强烈的批评。他批评了希克斯所沿袭的新古典经济理论的传统——将要素的供给认定为无弹性的。他提到：“希克斯先生似乎并未去解决究竟应把要素的供给弹性设想成一个什么状态的问题，但是，在假设供给是绝对无弹性这一点上，毋论他是否被认为是追随庇古教授，但其立场都同样是不能令人满意的。”<sup>12</sup>此外，他认为希克斯的定义使得这种技术进步严重地依赖于技术本身之外的环境，特别是各种弹性，他提到：“希克斯的定义使得技术发明的中性依各种弹性为转移，即依其他行业的资本与劳动之间的替代弹性为转移，以及依整个经济中对于在不同程度上使用这些技术发明的其他产品的需求弹性为转移。这样技术发明的中性，便依与技术本身所固有的特性完全无关的环境为转移。”<sup>13</sup>最后，哈罗德对希克斯定义批评地最为深刻的是希克斯所运用的静态的分析方法，他提出：“对于一次性的技术发明（静态分析）虽然是完全适用的，但对于随时间推移而连绵不断的新发明的流，却是不适用的。”<sup>14</sup>哈罗德的批评在之后的分析中可以完整地表现出来。

<sup>11</sup> 同样为了简便，将  $k(t)$  写成  $k$ 。

<sup>12</sup> pp65，哈罗德《动态经济学》中译本。

<sup>13</sup> pp64，哈罗德《动态经济学》中译本。

<sup>14</sup> pp65，哈罗德《动态经济学》中译本。

针对希克斯的定义存在的这些问题，哈罗德提出了他认为更为合理的技术进步分类标准：“把中性的技术发明的流定义为一个要求资本增长率与它所产生的收入增长率相等的技术发明，似乎是最简单不过的事了。如果技术发明的流要求资本以较大的速率增长，那么，它便是节约劳动的或者费资本的；反之亦然。利息率被假设是恒定不变的，因为它比假设利息率是变动的要更简单些。”<sup>15</sup>

不过他这个原始定义与现今经济学中使用的哈罗德技术进步分类定义并不相同，事实上刚好相反。哈罗德的原始定义的限制是固定利率或者或资本的边际产出，而现代定义固定的是资本产出比。我们的讨论就是基于现代通行的哈罗德技术进步分类标准，而不是他原有的定义。

现行的哈罗德技术进步定义为：给定资本产出比不变，在技术进步前后，①、如果资本的边际产出提高了，则技术进步为资本偏向型（劳动节约型）的；②、如果资本的边际产出减小了，则技术进步为劳动偏向型（资本节约型）的；③、如果资本的边际产出不变，则技术进步为中性的。

将资本产出比表示为  $v(t) = \frac{K}{Y} = \frac{k}{y}$ ，在  $v$  给定的限制下考察，如果  $\frac{dr}{dt} > 0$ ，则技术进步为哈罗德资本偏向型的；如果  $\frac{dr}{dt} < 0$ ，则技术进步为哈罗德劳动偏向型的；如果  $\frac{dr}{dt} = 0$ ，则技术进步为哈罗德中性的。

与哈罗德的定义相平行，索罗也提出了一套对技术进步进行分类的标准，被称为索罗技术进步：在劳动产出比不变的限制下，在技术进步前后，①、如果劳动的边际产出提高了，则技术进步为劳动偏向型（资本节约型）的；②、如果劳动的边际产出减小了，则技术进步为资本偏向型（劳动节约型）的；③、如果劳动的边际产出不变，则技术进步为中性的。

如果将劳动产出比表示为  $g(t) = \frac{L}{Y} = \frac{1}{y}$ ，在  $g$  给定的限制下，如果  $\frac{dw}{dt} > 0$ ，则技术进步为劳动偏向型的，如果  $\frac{dw}{dt} < 0$ ，则技术进步为资本偏向型的，如果  $\frac{dw}{dt} = 0$ ，则技术进步为中性的。很明显，索罗的定义和哈罗德的定义构成了完全的镜像关系，因此没有必要同时讨论这两种技术进步分类标准。在之后的分析中，我们只将注意力集中在希克斯的定义和哈罗德的定义上，而不再考虑索罗的定义。

只要对以上的几个定义进行简单的分析，我们不难发现，其实它们不过是对同样一个问题，在不同的限制（观察角度）下，对技术进步进行的不同的描述。定理 1 将它们统一到要素收入分配这个框架内。

**定理 1. 无论是希克斯技术进步，哈罗德技术进步还是索罗技术进步，在各自给定的限制下，其考察目标的变化都等价于要素收入分配比例的变化。**

**证明：**由等式(5)可以看出，产出完全由劳动和资本两种要素进行分配。定义劳动的收入比例

为  $\alpha_L(t) = \frac{w(t)L}{Y(t)}$ ，资本的收入比例为  $\alpha_K(t) = \frac{r(t)K}{Y(t)}$ 。自然地，

$$\alpha_L + \alpha_K = 1. \quad (6)$$

<sup>15</sup> pp66-67, 哈罗德《动态经济学》中译本。

再定义要素收入分配比率为  $\varphi(t) = \frac{\alpha_K(t)}{\alpha_L(t)}$ ，显然有  $\varphi = \frac{rK}{wL} = pk$ 。

为了以后的证明方便，先做一些约定，用  $x$  表示任意变量，则  $\hat{x} = \frac{\dot{x}}{x} = \frac{dx/dt}{x}$ ，即  $x$  的瞬时变化率。则根据等式(6)，并注意到这些变量都为非负变量，很容易证明

$$\text{sgn}(\hat{\varphi}) = \text{sgn}(\hat{\alpha}_K) = -\text{sgn}(\hat{\alpha}_L) = \text{sgn}(\dot{\varphi}) = \text{sgn}(\dot{\alpha}_K) = -\text{sgn}(\dot{\alpha}_L) \quad (7)$$

①、希克斯定义下的等价性。

在希克斯的定义中，固定的是要素密集度或者资本劳动比  $k$ ，即  $\dot{k} = \hat{k} = 0$ 。由要素收入分配比率的定义和引申， $\hat{\varphi} = \hat{p} + \hat{k}$ 。在希克斯定义的限制下， $\hat{\varphi}|_{\hat{k}=0} = \hat{p}$ 。这说明在希克斯限制下，要素边际技术替代率的变化方向与要素收入分配比率的变化方向一致，从而证明了希克斯定义下的等价性。

②、哈罗德定义下的等价性和索罗定义下的等价性。

由资本收入比例的定义， $\alpha_K = rv$ ，进而  $\hat{\alpha}_K = \hat{r} + \hat{v}$ 。而在哈罗德定义的限制下， $\hat{v} = 0$ ，所以  $\hat{\alpha}_K|_{\hat{v}=0} = \hat{r}$ 。再根据等式系(7)，我们可以肯定，在哈罗德定义的限制下，资本边际产出的变化方向等价于要素收入分配比率的变化方向，从而证明了哈罗德定义下的等价性。显然，索罗定义下的等价性可以类似得到。Q. E. D.

从定理 1 的表述中我们可以直观地看出，其实这三种技术进步的分类标准在本质上具有相同的基础，其实，它们都根本上反映了技术进步中要素收入分配的变化方向，只不过考察的角度各异，限制条件不同，因而产生了不同的表现形式。定理 1 也使得我们能够在一个更为一般的框架内定义技术进步的分类标准，将以上的三种类型涵盖在内。

**定义 1.** 给定某种限制  $q$ ，在技术进步前后，如果要素收入分配比率提高（资本收入份额提高），即  $\text{sgn}(\hat{\varphi})|_q > 0$ ，则技术进步为资本偏向型（劳动节约型）的；如果要素收入分配比率下降（劳动收入份额提高），即  $\text{sgn}(\hat{\varphi})|_q < 0$ ，则技术进步为劳动偏向型（资本节约型）的；如果要素收入分配比率不变，即  $\text{sgn}(\hat{\varphi})|_q = 0$ ，则技术进步为中性的。

显然，定义 1 给出了一个更为一般的定义，不妨将其称为希克斯技术进步定义体系<sup>16</sup>。在这个框架内，希克斯技术进步、哈罗德技术进步和索罗技术进步都只是一个特例而已。以后所有的分析都将基于这个定义进行。

### 三、希克斯技术进步和哈罗德技术进步的初步关系

在这一个部分，我们先通过一个形象的表述来了解希克斯技术进步和哈罗德技术进步的关系，图 1 就直观地反映了这种关系。

<sup>16</sup> 因为所有这三种定义，包括其变形，都是在希克斯定义的思路发展出来的。

图 1 描绘了时间点  $t$  和  $t'$  的时的以人均量衡量的生产函数。显然，技术进步使得生产函数由  $f(k, t)$  上升到  $f(k, t')$ 。由于哈罗德定义限制为固定的资本产出比  $v$ ，在这个技术进步过程中，在任意给定的资本产出比  $v$  所决定的路径上，哈罗德型的技术进步表现为类似由  $A$  到  $C$  的过程。相应的，由于希克斯定义限制为固定的资本劳动比  $k$ ，所以在任意的人均资本存量水平上，希克斯型的技术进步表现为类似于  $A$  到  $B$  的垂直跳升过程。

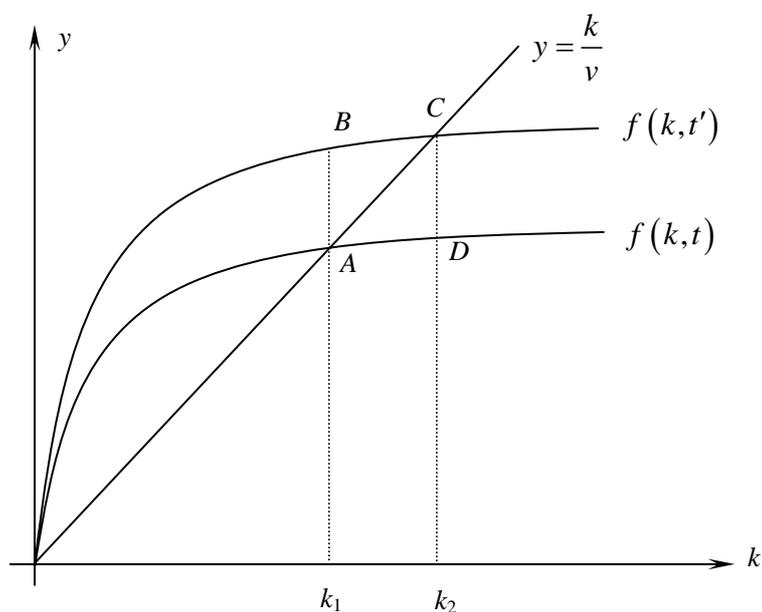


图 1. 技术进步中的生产函数

为了构建比较两种技术进步过程的基础，不失一般性，随意选择一个资本产出比  $v$ ，其决定的哈罗德路径为  $A$  到  $C$ ，则  $A$  点成为一个考察技术进步的起点。从希克斯定义的角度看，技术进步体现为  $A$  到  $B$  的过程。要比较这两个过程的关系，就是要考察两个过程终点之间的差异，也就是  $B$  点和  $C$  点之间的关系，这就把问题归结到了技术进步后新的生产函数的特征上了。之后我们可以看到，只要生产函数具有稳定的要素替代弹性，则完全可能在这两个终点之间建立起某种稳定的关系来，也就把希克斯技术进步过程同哈罗德技术进步过程给联系起来。

很明显，在同一条生产函数上的  $B$  点和  $C$  点，唯一的不同就是所具有的要素密集度不同。要考察这两点之间要素收入分配比率的差异，进而得到两种技术进步的关系，就归结到研究在同一条生产函数上，由于要素密集度变化导致的要素收入分配比率的变化。

**定理 2. 要素边际技术替代率为要素密集度的单调递减函数，即对  $p = p(k)$ ，有**

$$p'(k) < 0.$$

**证明：** 对于任意给定的技术水平，由等式(5)，  $y = f(k, t) = w + rk$ ，或者  $r = f_k = \frac{f}{\frac{1}{p} + k}$

进而

$$f = f_k \left( \frac{1}{p} + k \right). \quad (8)$$

在(8)两边对  $k$  求导并整理得到

$$\frac{dp}{dk} = p^2 \frac{f_{kk}}{f_k} \left( \frac{1}{p} + k \right) < 0.$$

说明劳动和资本之间存在替代关系。Q. E. D.

从定理 2 可以看出，在同一技术水平下（即同一生产函数上），劳动和资本的替代关系体现为人均资本存量和要素相对价格（资本与劳动的边际技术替代率）之间此消彼长的关系。将这种关系表现在图 2 中。

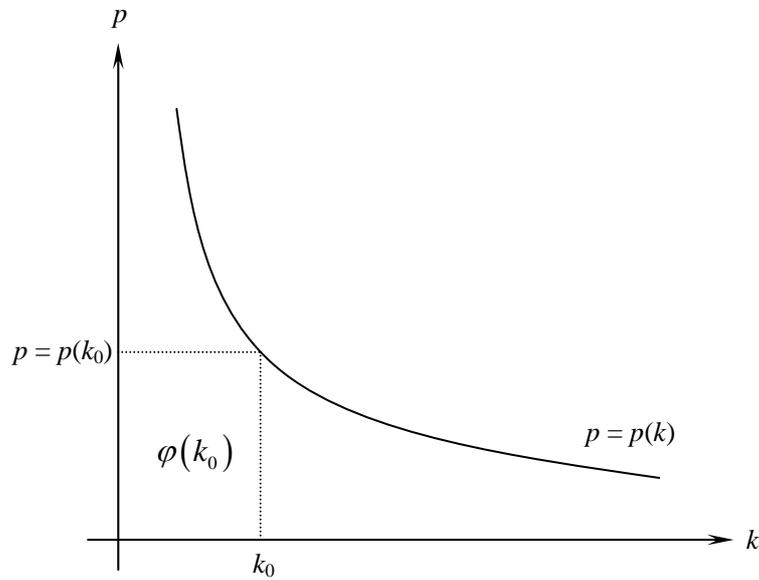


图 2. 要素边际技术替代率与要素密集度

**定理 3.** 在一定的技术水平下，如果要素替代弹性大于（小于）1，则随着资本劳动比的增加，要素收入分配比率上升（下降）；如果要素替代弹性等于 1，则要素收入分配比率不受资本劳动比的影响。

**证明：** 从图 2 可以看出，在给定的技术水平的同一条生产函数上，任意资本劳动比水平上的要素收入分配比率可以用图 2 中要素边际技术替代率曲线下，资本劳动比和要素边际技术替代率围成的面积来表示。

$$\varphi(k) = p(k)k.$$

因此

$$\frac{d\varphi}{dk} = p + k \frac{dp}{dk}. \quad (9)$$

定义要素替代弹性为  $\sigma = -\frac{dk}{dp} \frac{p}{k}$ ，则(9)式可以改写为

$$\frac{d\varphi}{dk} = p \left( 1 - \frac{1}{\sigma} \right). \quad (10)$$

因为  $p > 0$ ，所以生产函数要素替代弹性的状况完全刻画了同一条生产函数上（即一定技术水平下）资本劳动比对要素收入分配比率的影响。等式(10)表明， $\frac{d\varphi}{dk}$  大于零，小于零和等于零，分别等价于要素替代弹性大于 1，小于 1 和等于 1。Q. E. D.

由此可见，如果要素替代弹性较大，则人均资本上升将使分配向着有利于资本的方向发展，如果替代弹性较小，则人均资本上升将使得分配朝着有利于劳动的方向发展，而如果替代是等弹性的，则人均资本的上升不会影响收入分配格局。

这样，类似于  $B$  和  $C$  点之类的希克斯技术进步终点和哈罗德技术进步终点之间的联系便可以通过要素替代弹性建立起来了。只要在给定的技术水平下，生产函数所决定的要素替代弹性是稳定的<sup>17</sup>，那么，就有可能直接在希克斯技术进步和哈罗德技术进步之间建立起稳定的联系。

不失一般性，可以通过图 1 中代表性的考察点  $A$ 、 $B$  和  $C$  来说明这个问题。

1. 生产函数的要素替代弹性较大，即  $\sigma > 1$ 。

- 1) 如果从希克斯技术进步定义的角度看，发生了资本偏向型的技术进步，则从  $A$  点到  $B$  点，要素分配比率提高， $\varphi_B > \varphi_A$ ；又因为生产函数具有较大弹性，从  $B$  点到  $C$  点，要素分配比例进一步提高，即  $\varphi_C > \varphi_B > \varphi_A$ ，所以从哈罗德技术进步的定义看，技术进步是哈罗德资本偏向型的。
- 2) 类似，已知发生了希克斯中性技术进步，则  $\varphi_B = \varphi_A$ ，而高替代弹性使得  $\varphi_C > \varphi_B$ ，所以  $\varphi_C > \varphi_A$ ，技术进步从哈罗德定义角度是资本偏向型的。
- 3) 如果发生了希克斯劳动偏向型的技术进步，则  $\varphi_B < \varphi_A$ ，又  $\varphi_C > \varphi_B$ ，如果没有进一步的信息，很难判断在哈罗德定义上发生了何种技术进步。
- 4) 给定哈罗德路径上发生了资本偏向型的技术进步， $\varphi_C > \varphi_A$ ，又因为  $\sigma > 1$ ，所以  $\varphi_C > \varphi_B$ ，不能确定在希克斯路径上发生的技术进步类型。
- 5) 给定哈罗德路径上的劳动偏向型或者中性技术进步， $\varphi_C \leq \varphi_A$ ，同时  $\varphi_C > \varphi_B$ ，所以  $\varphi_A \geq \varphi_C > \varphi_B$ ，可以推断在希克斯路径上发生了劳动偏向型的技术进步。

2. 生产函数的要素替代弹性较小，即  $\sigma < 1$ 。

- 1) 给定希克斯路径上的资本偏向型技术进步， $\varphi_B > \varphi_A$ ，同时由于  $\sigma < 1$ ， $\varphi_B > \varphi_C$ ，所以不能判断在哈罗德路径上发生的技术进步类型。

<sup>17</sup> 在这里，要素替代弹性稳定是指在给定的技术水平下，在观察区域内，要么要素替代都是有弹性的（弹性大于 1），要么要素替代都是没有弹性的（弹性小于 1），要么要素替代是等弹性的（弹性等于 1）。这并不要求对于所有的资本劳动比，要素替代弹性恒定不变。

- 2) 给定希克斯路径上的劳动偏向型或者中性技术进步,  $\varphi_B \leq \varphi_A$ , 同时  $\varphi_B > \varphi_C$ , 所以  $\varphi_C < \varphi_A$ , 在哈罗德路径上发生了劳动偏向型的技术进步。
- 3) 如果哈罗德路径上发生了资本偏向型或者中性技术进步,  $\varphi_C \geq \varphi_A$ , 另外  $\varphi_B > \varphi_C$ , 所以  $\varphi_B > \varphi_A$ , 在希克斯路径上发生了资本偏向型的技术进步。
- 4) 如果在哈罗德路径上发生了劳动偏向型的技术进步,  $\varphi_C < \varphi_A$ , 但是  $\varphi_B > \varphi_C$ , 无法判断具体的希克斯技术进步类型。
3. 生产函数的要素替代是等弹性的, 即  $\sigma = 1$ 。

- >
- 1) 给定希克斯路径的任意一种技术进步,  $\varphi_B = \varphi_A$ , 由于  $\sigma = 1$ ,  $\varphi_B = \varphi_C$ , 所以
- <
- >
- $\varphi_C = \varphi_A$ , 在哈罗德路径上发生同样类型的技术进步。
- <
- 2) 给定哈罗德路径上的任意技术进步, 根据同样的道理, 在希克斯路径上也发生同样类型的技术进步。

可以将以上的一系列关系通过表 1 完整地表现出来。表中 HiK、HiL 和 HiN 分别代表希克斯资本偏向型、劳动偏向型和中性技术进步; HaK、HaL 和 HaN 分别表示哈罗德资本偏向型、劳动偏向型和中性技术进步。符号“\”表示无法判断。

表 1. 希克斯技术进步与哈罗德技术进步关系表

	$\sigma > 1$	$\sigma = 1$	$\sigma < 1$
HiK $\Rightarrow$	HaK	HaK	\
HiN $\Rightarrow$	HaK	HaN	HaL
HiL $\Rightarrow$	\	HaL	HaL
HaK $\Rightarrow$	\	HiK	HiK
HaN $\Rightarrow$	HiL	HiN	HiK
HaL $\Rightarrow$	HiL	HiL	\

表 1 反映了不同的要素替代弹性下, 希克斯技术进步和哈罗德技术进步关系的大致轮廓, 但是这并不是这两种技术进步之间全部的联系。在下面这一部分, 我们将通过对技术进步过程的动态分解和分析来完整地反映这种关系。

#### 四、技术进步间的完整关系

为了揭示它们之间完整的关系, 让我们仔细分析一下技术进步的过程。希克斯技术进步的限制或者观察视角是固定的资本劳动比, 这说明发生技术进步时, 劳动和资本的配置没有随着技术进步的实现进行调整, 这就反映了哈罗德对希克斯定义的两个批评, 一方面, 要素供给的决定无弹性使得这种调整无法实现, 另一方面这种分析根本上忽视或者排除了一个动

态的调整过程，也就是哈罗德所批评的静态分析方法。事实上，当一个技术进步实现后，人均产出的变化，要素相对价格的变化等也会随之在一个动态的过程中出现并发生相互作用，这种作用的一个结果会表现为人均资本的变化（一般是增长）。在这样一个过程中，希克斯的过程可能仅仅出现在技术冲击的一瞬间，当要素配置还无法及时对变化作出反应的时候，此时，仅仅是技术的变化推动产出的增长。相比之下，哈罗德描述的过程更为合理，这也就是为什么它定义的技术进步更能够与现代动态的增长理论相契合的原因。而哈罗德定义固定的资本产出比也是有原因的，这一设定来自于固定的边际消费倾向的设定。

这样说来，其实可以把希克斯技术进步过程看作是哈罗德技术进步过程的一个组成部分。用图 1 来说明，当一个技术冲击在时刻  $t$  发生，技术进步过程从  $t$  持续到  $t'$ 。在  $t$  时刻，由于要素密集度没有能够及时对技术冲击作出反应，因此要素密集度没有发生变化，技术进步使得生产函数由原来的  $f(k,t)$  上升到  $f(k,t')$ ，人均产出在人均资本没有变化的情况下增加了，这是希克斯技术进步过程。但是随着经济对技术冲击进行调整，而且如果经济增长最终将保持资本和产出的稳定比例（也就是满足哈罗德限制条件），则在新的技术水平下，人均资本存量将会增加直到恢复原来的资本产出比。

因此，我们可以将一个哈罗德技术进步过程分解成为两个阶段：第一个阶段是在技术冲击的瞬间进行的希克斯技术进步过程，表示为 HiP；第二个阶段表现为经济对技术冲击的调整，人均资本增加以恢复资本产出比，并将这个阶段称为技术深化过程，表示为 TeP。在图 1 中，A 点到 B 点的过程是 HiP，而从 B 点到 C 点的过程就是 TeP。一个哈罗德技术进步过程表示为 HaP，则其分解可以用图 3 表示。

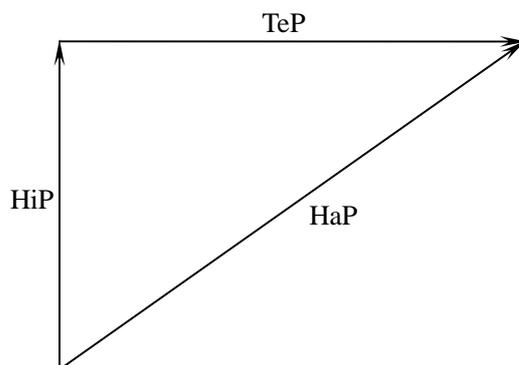


图 3. 哈罗德技术进步分解

从这样的角度再看上一个部分对希克斯技术进步过程和哈罗德技术进步过程的讨论就可以很明白地发现，一个哈罗德技术进步对要素收入分配的影响是由一个希克斯技术进步对要素收入分配的影响和一个技术深化过程对要素收入分配的影响综合决定的。而在技术深化过程中，决定性的影响因素就是要素的替代弹性。

对哈罗德技术进步分解可以进行更为深入的讨论和说明，相应的关系和变化过程可以通过图 4 清楚地反映出来。当一个技术进步出现时，在短期或者瞬间，人均资本没有进行调整，这时候有两个变量出现了变化：一个是要素的边际生产力发生了变化，从图 1 中可以看到，当生产函数由  $f(k,t)$  上升到  $f(k,t')$  后，在新的生产函数上，对应于  $k_1$  生产点 B 的斜率可能与 A 点的斜率不同<sup>18</sup>，而这个斜率就是资本的边际产出。要素边际产出的变化导致要素相

<sup>18</sup> 至于具体斜率如何变化取决于发生了何种类型的希克斯技术进步。如果是希克斯资本偏向型技术进步，则斜率增大，如果是希克斯劳动偏向型技术进步，则斜率减小，如果是希克斯中性技术进步，则斜率不变。

对价格的变化, 相对价格的变化在要素密集度不变的情况下就直接导致了要素收入分配比率的变化, 这个过程就是 HiP 中要素收入分配变化的过程。在另外一个方面, 在这个瞬间, 人均产出增加了, 在哈罗德限制——不变的资本产出比——的条件下, 要素投入比例 (人均资本存量) 增加, 同时在要素替代弹性作用下, 要素相对价格也变化以对人均资本存量的增加做出反应; 与此同时, HiP 中要素相对价格的变动在这个阶段同时也通过要素替代弹性的作用对人均资本存量的变动造成影响。这样, 人均资本存量和要素相对价格之间的相互反应和作用就形成了技术深化过程, 并构成了要素收入分配变化的另外一个动因。希克斯效应和技术深化效应最终形成了哈罗德过程并决定了要素收入分配比率的变化。

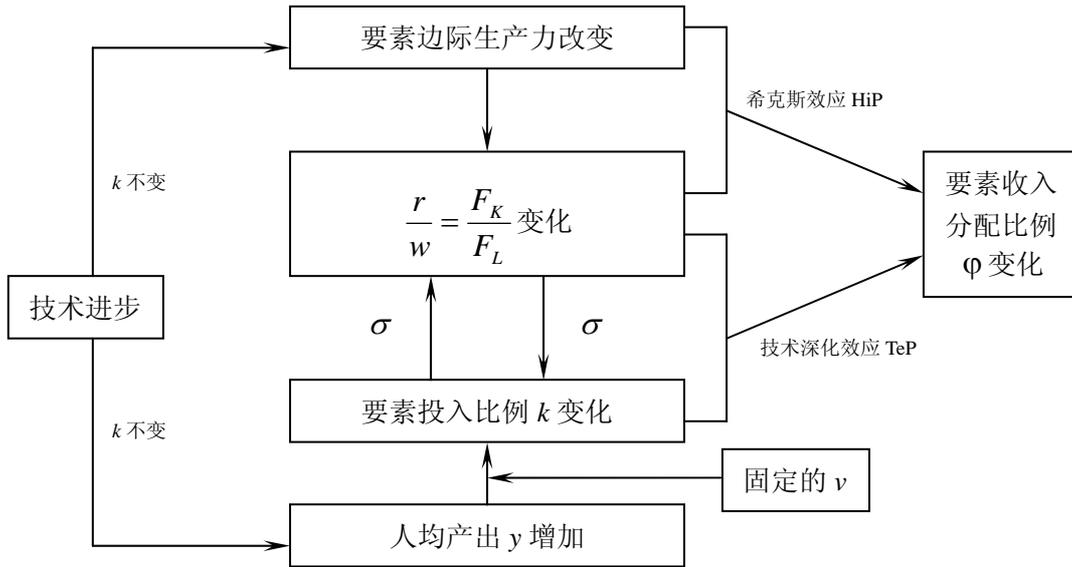


图 4. 哈罗德技术进步过程中的各种因素与变化

以下我将定量地表现出这个完整的过程。首先考虑要素没有进行调整时的希克斯技术进步过程。由等式(5), 等价的有

$$F = F_L L + F_K K.$$

进而

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial F_L}{\partial t} L + \frac{\partial F_K}{\partial t} K. \quad 19$$

在等式两边同时除以  $F$  得到

$$\frac{\partial F / \partial t}{F} = \frac{\partial F_L / \partial t}{F_L} \frac{F_L L}{F} + \frac{\partial F_K / \partial t}{F_K} \frac{F_K L}{F}.$$

记  $J = \frac{\partial F / \partial t}{F}$ ,  $H_L = \frac{\partial F_L / \partial t}{F_L}$ ,  $H_K = \frac{\partial F_K / \partial t}{F_K}$ , 则

$$J = \alpha_L H_L + \alpha_K H_K. \quad (11)$$

<sup>19</sup> 注意, 这个式子求的是对时间  $t$  的偏导数。从式子左边可以看出, 产出同时是资本、劳动和时间的函数, 而资本和劳动又都是时间路径, 因此时间同时在两个层次上影响产出。对时间的偏导本身说明只考虑时间变化对产出的直接的影响, 不考虑通过劳动和资本传导产生的间接影响, 因此在求偏导时劳动和资本是给定的, 因此在等式右边也不必求劳动和资本对时间的导数。之所以右边的边际产出项需要对时间求偏导, 是因为它们都在第一个层次上受到时间或者技术的直接影响。

注意到,  $J$  是单纯由于技术的原因导致的产出的变化, 而  $H_L$  和  $H_K$  则分别是单纯由于技术变动而导致的劳动和资本边际产出的变化。同时  $\alpha_L + \alpha_K = 1$ , 因此, (11)式表明希克斯技术进步过程中, 产出的变动是资本边际产出的变动和劳动边际产出的变动的加权平均, 它反映了希克斯技术进步的密集程度, 从  $J$  和  $H_L$  及  $H_K$  的比较可以看出技术进步更偏向资本还是劳动。

进一步定义  $B_L = H_L - J, B_K = H_K - J$ , 它们分别表现了  $H_L$  和  $H_K$  对均值的偏离程度。根据等式(11), 很容易得到

$$J = \alpha_L (B_L + J) + \alpha_K (B_K + J).$$

所以

$$\alpha_L B_L + \alpha_K B_K = 0. \quad (12)$$

等式(12)表明  $B_L$  和  $B_K$  具有相反的符号。

再定义  $B = B_K - B_L = H_K - H_L$ , 则  $B$  完全反映了希克斯技术进步过程中要素分配比例的变动方向。在希克斯过程中, 人均资本存量不变, 要素收入分配比率的变动决定于要素相对价格的变动, 而要素相对价格就是资本与劳动边际产出之比。根据  $B$  的定义, 它代表资本边际产出的增加与劳动边际产出的增加的差额, 如果  $B$  大于零, 说明资本边际产出的增加高于劳动边际产出的增加 (或者资本边际产出的减少小于劳动边际产出的减少), 因而资本相对于劳动变得更贵, 所以在人均资本不变的前提下, 资本的收入份额提高了; 相反, 如果  $B$  小于零, 则资本的收入份额减少了。为此, 可以把  $B$  称为希克斯技术进步因子。并且, 根据等式(12), 可以证明

$$\text{sgn}(B) = \text{sgn}(B_K) = -\text{sgn}(B_L) \quad (13)$$

接下来说明技术进步过程中要素收入分配比率变动的动态方程。

已知  $\varphi(t) = \frac{K}{L} \frac{F_K}{F_L} = k \frac{F_K}{F_L}$ , 因此

$$\hat{\varphi}(t) = \hat{k} + \hat{F}_K - \hat{F}_L. \quad (14)$$

为了方便以后的分析, 首先证明一个定理。

**定理 4. 资本边际产出的资本弹性等于资本边际产出的劳动弹性; 劳动边际产出的劳动弹性等于劳动边际产出的资本弹性。**

**证明:** 由  $F = F_L L + F_K K$ , 分别在等式两边对劳动求偏导数得到

$$F_L = F_L + F_{LL} L + F_{KL} K.$$

或者

$$-F_{LL} L = F_{KL} K = F_{LK} K.$$

在等式两边同时除以劳动的边际产出, 可以得到

$$-\frac{F_{LL}L}{F_L} = \frac{F_{LK}K}{F_L}. \quad (15)$$

记  $\varepsilon_{LL} = -\frac{F_{LL}L}{F_L}$ ,  $\varepsilon_{LK} = \frac{F_{LK}K}{F_L}$ , 即分别为劳动边际产出的劳动弹性和资本弹性, 显然

$\varepsilon_{LL} = \varepsilon_{LK}$ 。同理, 如果  $\varepsilon_{KK} = -\frac{F_{KK}K}{F_K}$ ,  $\varepsilon_{KL} = \frac{F_{KL}L}{F_K}$ , 即资本边际产出的资本弹性和劳动弹

性, 同样有  $\varepsilon_{KK} = \varepsilon_{KL}$ 。Q. E. D.

接着等式(14)分析。

$$\begin{aligned} \hat{F}_K &= \frac{dF_K/dt}{F_K} \\ &= \frac{F_{KL}L}{F_K} \frac{\dot{L}}{L} + \frac{F_{KK}K}{F_K} \frac{\dot{K}}{K} + \frac{\partial F_K/\partial t}{F_K} \\ &= \varepsilon_{KL} \hat{L} - \varepsilon_{KK} \hat{K} + H_K \\ &= -\varepsilon_{KK} \hat{k} + H_K. \end{aligned} \quad (16)$$

同样可得

$$\hat{F}_L = \frac{dF_L/dt}{F_L} = \varepsilon_{LL} \hat{k} + H_L. \quad (17)$$

将(16)和(17)式代入(14), 并考虑  $B$  的定义, 可得

$$\hat{\phi} = [1 - (\varepsilon_{KK} + \varepsilon_{LL})] \hat{k} + B. \quad (18)$$

可以证明, 弹性和  $(\varepsilon_{KK} + \varepsilon_{LL})$  恰好等于要素替代弹性的倒数。

**定理 5.** 资本边际产出的资本弹性与劳动边际产出的劳动弹性之和, 等于要素替代弹性的倒数。

**证明:**  $\frac{1}{\sigma} = -\frac{dp}{dk} \frac{k}{p} = -\frac{dp}{dk} \frac{KF_L}{LF_K}$ , 需要求解  $\frac{dp}{dk}$ 。

已知

$$k = \frac{K}{L}. \quad (19)$$

另外在给定的技术水平下, 等产量曲线为

$$\bar{Y} = F(K, L, \bar{t}). \quad (20)$$

在给定的技术水平  $\bar{t}$  下，对等式(19)和(20)进行全微分可得<sup>20</sup>

$$\begin{pmatrix} L & -K \\ F_K & F_L \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} dK \\ dL \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L^2 dk \\ 0 \end{pmatrix}.$$

这个系统的解为

$$\begin{pmatrix} \frac{dK}{dk} \\ \frac{dL}{dk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{L^2 F_L}{F_K K + F_L L} \\ -\frac{L^2 F_K}{F_K K + F_L L} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_L L \\ -\frac{\alpha_K L^2}{K} \end{pmatrix}.$$

则在给定的技术水平下，

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dk} &= \frac{\partial p}{\partial K} \frac{dK}{dk} + \frac{\partial p}{\partial L} \frac{dL}{dk} \\ &= \frac{F_{KK} F_L - F_{LK} F_K}{F_L^2} \frac{dK}{dk} + \frac{F_{KL} F_L - F_{LL} F_K}{F_L^2} \frac{dL}{dk} \\ &= \frac{F_{KK} F_L - F_{LK} F_K}{F_L^2} \alpha_L L - \frac{F_{KL} F_L - F_{LL} F_K}{F_L^2} \frac{\alpha_K L^2}{K}. \end{aligned} \quad (21)$$

将(21)代入  $\frac{1}{\sigma}$  的分解式得到

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sigma} &= -\frac{dp}{dk} \frac{KF_L}{LF_K} \\ &= \alpha_L \varepsilon_{KK} + \alpha_L \varepsilon_{LK} + \alpha_K \varepsilon_{KL} + \alpha_K \varepsilon_{LL} \\ &= (\alpha_L + \alpha_K) (\varepsilon_{LL} + \varepsilon_{KK}) \\ &= \varepsilon_{LL} + \varepsilon_{KK}. \end{aligned} \quad (22)$$

由此证明了定理 5。Q. E. D.

运用定理 5 和等式(18)，可以将技术进步过程中要素收入分配比率的变化率进一步写为

$$\hat{\phi}(t) = \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right) \hat{k} + B. \quad (23)$$

等式(23)自然地将采用要素收入分配比率定义的技术进步分解成了两个过程，上文已经分析了第二个部分，即希克斯技术进步因子。而第一部分就是技术深化过程的作用，反映了在要素替代弹性的作用下，技术深化过程中人均资本存量变动对要素收入分配比例的影响。

不过要注意的是，等式(23)并没有像它的第二部分——希克斯技术进步因子——那样是对希克斯过程的专属表述，相反，这是一个更为广义的技术进步对要素收入分配影响的决定式，不受希克斯、哈罗德或者索罗所提出的观察限制的约束，也不一定受我在第二部分中的技术进步定义的限制，因为它可以在没有任何观察约束的条件下判断收入分配的变化。我所定义的技术进步，或者更为具体的哈罗德技术进步是在这个广义的表述下进行一定约束得到的特殊的例子，自然应该符合这个等式所表述的规律。

作为这个等式的应用，可以用它来验证一下第三部分中所做的对希克斯技术进步和哈罗德技术进步的关系对比。举一个例子，当要素替代弹性大于 1 时，在希克斯方向上发生了资

<sup>20</sup> 注意，对要素替代弹性的研究必须是对给定技术水平下生产函数的研究，因此在求导的过程中不必对时间再进行微分。

本偏向型的技术进步，即  $B > 0$ ，加上技术深化过程中  $\hat{k} > 0$  和  $\left(1 - \frac{1}{\sigma}\right) > 0$ ，总体上，在固

定资本产出比的约束下， $\hat{\phi}|_v > 0$ ，因此在哈罗德路径上也发生了资本偏向型的技术进步。

此外，如果希克斯路径发生的是劳动偏向型技术进步，以至于  $B < 0$ ，那么到底发生何种哈罗德技术进步可以通过定量分析，对比相应(23)式前后两个部分的大小来确定，由此以来，表 1 中不能确定的部分也就可以确定了。

## 五、总结

本文重新研究了外生的非体现型的几种技术进步之间的关系，在分析中，最为关键的一点是对一般的希克斯定义体系的建立，正是在这个定义的基础上，之后的所有分析才得以进行。而这样的定义本身正体现了这些技术进步分类背后所隐藏的东西。正如海韦尔·琼斯在《现代经济增长理论导引》中所评价的：“总的来讲，对技术进步分类的企图，是来自于对技术进步影响收入在资本和劳动之间分配的兴趣。”<sup>21</sup>

在这个一般定义的基础上，通过给定技术水平下的要素替代弹性的研究，基本上勾勒了希克斯技术进步和哈罗德技术进步之间的大致关系，并展现出了一个哈罗德技术进步动态过程的特征。对这个特征的分析的一个自然结果就是哈罗德技术进步的分解，从中可以发现，实际上希克斯技术进步过程仅仅是动态的哈罗德技术进步，或者其他更为一般的动态技术进步的一个部分，它在要素没有及时对技术冲击作出反应的瞬间发生作用，而当技术冲击的影响开始扩展时，要素替代弹性将引导技术深化的过程。整个的技术进步（包括技术进步的分解，以及要素收入分配比率的变动），可以通过一个简洁的规律等式——等式(23)——来表现出来。

应该说，其实从收入分配的角度来看，这些外生的技术进步在内在逻辑上都是一致的，所不同的仅仅是观察的角度不一样。很多情况下，不应该将它们刻意割裂开来考察，构建一个能够统一研究它们的平台可能会带来更多的信息。

当然，这篇研究仍然在这个领域遗留了很多的问题，这些问题都是可以进一步探索的。比如说虽然定义了一个一般的技术进步分类标准，但是主要讨论的限制还是局限于现有的希克斯、哈罗德和索罗提出的标准，研究的关系也还是这些技术进步之间的关系，对于其他的更为一般的限制并没有涉及。另外，如果抛开对观察限制的依赖，是否能够在进一步发掘出更多更一般的结论，也是值得研究的。其他的，比如在不确定性的生产函数环境中，如何表述这些问题，同样值得考虑。总之，虽然这些生产函数相关的课题在很多年前已经有很多大家进行了分析，而且乍一看来这些问题都不是什么前沿，但是对理论的分析和研究并不是决定于这些方面，我想只要是能够使我们对现有理论理解得更清楚，这样的研究也是有意义的。

---

<sup>21</sup> pp193, 海韦尔·琼斯《现代经济增长理论导引》。

## 参考文献：

- [1]. Arrow, K J. "The Economic Implications of Learning by Doing." *Review of Economic Studies*, 1962, 29 (3), 155-173.
- [2]. Hicks, J. R. *The Theory of Wages*. London: Macmillan & Co. Ltd., 1963.
- [3]. Kaldor, N. "A Model of Economic Growth." *Economic Journal*, 1957, 67 (2), 591-624.
- [4]. Phelps, E. S. "The New View of Investment: A Neo-classical Analysis." *Quarterly Journal of Economics*, 1962, 76 (4), 548-567.
- [5]. Robinson, J. "The Classification of Investment." *Review of Economic Studies*, 1938, 5 139-142.
- [6]. Schumpeter, J. A. *Capitalism, Socialism and Democracy*. London: Allen and Unwin, 1952.
- [7]. Solow, R. M. "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics*, 1956, 70 (1), 65-94.
- [8]. Solow, R. M. "Investment and Technical Progress," in Arrow, K., Karlin, S., and Suppes, P., *Mathematical Methods in the Social Sciences*. Stanford Press, 1960, 89-104.
- [9]. Uzawa, Hirofumi. "Neutral Investment and the Stability of Growth Equilibrium." *Review of Economic Studies*, 1961, 28 117-124.
- [10]. Uzawa, Hirofumi. "On a Two-Sector Model of Economic Growth II." *Review of Economic Studies*, 1963, 30 (2), 105-118.
- [11]. F.H.哈恩, R.C.O.马休斯. "经济增长理论：一份研究报告（节译）"（收于）罗伯特·M·索罗, 《经济增长因素分析》. 北京：商务印书馆, 1991年, 283-319.
- [12]. 海韦尔·G·琼斯. 《现代经济增长理论导引》. 北京：商务印书馆, 1994年.
- [13]. 罗伊·哈罗德. 《动态经济学》. 北京：商务印书馆, 1981年.
- [14]. 米切尔·D·麦卡锡. "不变替代弹性生产函数中的体现型和非体现型技术进步"（收于）罗伯特·M·索罗, 《经济增长因素分析》. 北京：商务印书馆, 1991年, 262-269.
- [15]. R. 萨托, M. 贝克曼. "中性创新和生产函数"（收于）罗伯特·M·索罗, 《经济增长因素分析》. 北京：商务印书馆, 1991年, 270-282.