□ 李长风

中性技术进步与技术进步类型研究

技术进步是推动经济增长的主要因素之一。对它的研究在当代经济增长模型中占重要地位。然而，对技术进步作用程度如何准确测定的问题，实践中一直未能很好解决，计算结果往往失真，缺乏地区间，国际间的可比性。本文试图从技术进步测定的理论基础——中性技术进步理论入手，在对技术进步类型划分的基础上，根据不同的技术进步类型来测度技术进步作用的大小。

一、技术进步与技术进步率

按一般广泛使用的方法，技术进步是作为新古典生产函数的一个影响因素出现的。假定存在两种基本的生产要素：资本 K 和劳动 L。产出 Y 由生产函数

$$Y(t)=F(L(t),K(t),A(t)) \tag{1}$$

给出。其中 Y(t)，K(t)，L(t)是时间 t 的函数简记为 Y，K，L。A(t)为技术进步因子，代表技术进步因素。技术进步作用的大小通常用技术进步率 m 表示。m 值用间接计算的方法由索洛增长率方程得到。对(1)式求全导数

$$\frac{dY}{dt}=\frac{\partial F}{\partial L}\cdot\frac{dL}{dt}+\frac{\partial F}{\partial K}\cdot\frac{dk}{dt}+\frac{\partial F}{\partial A(t)}\cdot\frac{d(A(t))}{dt} \tag{2}$$

对(2)式两端同除以产出 Y，并将时间离散化，($dt=\triangle t=1, dY=\triangle Y, dK=\triangle K, dL=\triangle L$)，则有：

$$\frac{1}{Y}\cdot\frac{dy}{d_t}=\frac{L}{Y}\cdot\frac{\partial Y}{\partial L}\cdot\frac{1}{L}\quad\frac{dl}{dt}+\frac{K}{Y}\cdot\frac{\partial Y}{\partial K}\cdot\frac{1}{K}\quad\frac{dk}{dt}+\frac{1}{Y}\cdot\left(\frac{\partial Y}{\partial A(t)}\cdot\frac{dA(t)}{dt}\right) \tag{3}$$

即：

$$\frac{\triangle Y}{Y}=\left(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L}\right)\cdot\frac{\triangle L}{L}+\left(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K}\right)\cdot\frac{\triangle K}{K}+\left(\frac{\partial Y}{\partial A(t)}\cdot\frac{\triangle A(t)}{Y}\right) \tag{4}$$

或者：

产出增长率＝产出的劳动弹性×劳动投入增长率＋产出的资本弹性×资本投入的增长率＋m　　(5)

式中技术进步率 $m=\frac{\partial Y}{\partial A(t)}\cdot\frac{\triangle A(t)}{Y}$。这就是索洛增长率方程。

索洛增长率方程揭示了产出增长率$\frac{\triangle Y}{Y}$(经济增长率)由三项组成。方程右边二项反映了由生产要素投入增加带来的产出增长，它是各种生产要素投入增长率$\frac{\triangle L}{L}$和$\frac{\triangle K}{K}$的加权和，权数就是各要素的弹性。第三项 m 反映了独立生产要素之外的技术进步因素带来的产出增长。

这一部分产出增长不通过要素投入的增加来实现，而是教育水平、人员素质、经营管理效率的提高以及应用新技术、新工艺等等体现技术进步因素的综合作用结果。技术进步率：

$$m=\frac{\triangle Y}{Y}-(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L}\cdot\frac{\triangle L}{L}+\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K}\cdot\frac{\triangle K}{K}) \tag{6}$$

即：技术进步率＝产出增长率－(要素投入增长率加权和)　(7)

这里采用的是间接计算技术进步率 m 的方法。所谓间接计算，就是通过逐一削除可直接计量的各生产要素投入对产出的作用，把最终得到的余项作为技术进步作用大小的度量，又称为余项法。

对于 C－D 生产函数 $Y=A(t)L^{\alpha}K^{\beta}$，劳动弹性和资本弹性分别为 α 和 β，故有：

$$m=\frac{\triangle Y}{Y}-(\alpha\cdot\frac{\triangle L}{L}+\beta\frac{\triangle K}{K}) \tag{8}$$

进一步地，可计算各投入要素和技术进步的贡献率，以反映它们各自对产出增长的贡献程度。其中技术进步贡献率是一个广泛用于国际比较的指标。对于 C－D 生产函数：

劳动贡献率：$E_L=(\alpha\cdot\frac{\triangle L}{L}/\frac{\triangle Y}{Y})\times100\%$

资本贡献率：$E_K=(\beta\cdot\frac{\triangle K}{K}/\frac{\triangle Y}{Y})\times100\%$

技术进步贡献率：$E_A=(m/\frac{\triangle Y}{Y})\times100\%$

由(8)式，有：$E_A=1-E_L-E_K$　(9)

或者，$E_A+E_L+E_K=1$　(10)

从理论上说，只要统计数据准确可靠，能对非技术进步因素作比较客观的剔除，所得余项 m 就是一个恰当地反映技术进步作用大小的指标。

二、中性技术进步

索洛增长率方程把经济增长中生产要素投入数量增加的因素与技术进步因素相区别，定量分析经济增长中外延因素和内涵因素的作用大小。对揭示经济增长的来源、方式具有重要意义。成为定量评价技术进步对经济增长作用的重要基础。但是，上述余项法所要求的“对非技术进步因素作客观的剔除”，在理论上必须依赖于中性技术进步这一假设。

现实的技术进步因素往往与投入要素(L 和 K)粘附、渗透在一起。社会再生产并不存在外延的(要素增加的)或内涵的(技术进步的)纯粹形式。例如，效率更高的新设备的引进、更有效的管理方法的采用、技能水平更高的劳动力的投入，都不仅仅是要素投入的纯粹的量的增加，同时也意味着技术进步。因此，要按照余项法的要求作“客观的剔除”，首先要做的工作是将技术进步对产出的影响独立化，或者说，投入要素的数量变化对产出的影响中性化。“把技术进步看作某种按照外在给定比率发生作用的，可以使任何生产要素组合下的产出随时间增加的因素，进而在概念上，它的影响可以从资本积累的影响中分离出来”。因此，中性技术进步是指这样一种技术进步：技术进步的结果使得在生产要素某个给定组合比例下的产出增加。由于要素组合比例不变，这种产出的增加被看作单纯由技术进步带来的，是技术进步所形成的生产要素质量和效率提高的结果，并且独立于生产要素的数量变化，因而是可以测度的。所谓技术进步中性，也就是技术进步对产出影响的独立化。

中性技术进步的概念，源于测定技术进步在经济增长中的作用程度的客观实际需要。最早

是由希克斯于1932年在他的《工资理论》一书中提出来的，他把技术进步分为节用资本的技术进步、节用劳动的技术进步和中性技术进步三种类型。希克斯用要素边际替代率(要素边际产出之比)在技术进步前后(以下标0和1加以区别)变动与否来定义中性和非中性的技术进步，认为凡是提高资本边际产出对劳动边际产出比率的技术进步$\{(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_1>(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_0\}$是节用劳动的技术进步，降低资本边际产出对劳动边际产出比率的技术进步$\{(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_1<(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_0\}$是节用资本的技术进步，使这一比率保持不变的技术进步$\{(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_1=(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_0\}$是中性的技术进步。

中性技术进步理论是技术进步可测度的基础。要没有发生技术进步的场合，索洛增长率方程可以写成：

$$\frac{\triangle Y}{Y}=(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K})\frac{\triangle K}{K}+(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L})\cdot\frac{\triangle L}{L} \tag{11}$$

这意味着当K,L增长时($\frac{\triangle K}{K}>0,\frac{\triangle L}{L}>0$)，产出Y会分别以不变的比例$(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K})$和$(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L})$增长。即K和L的增长对产出增长所作贡献的相对份额$(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K})/(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L})$不变。如果发生了技术进步，并且是希克斯中性技术进步，由希克斯中性定义：技术进步前后要素边际产出之比没有变化。即：

$$(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_0=(\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L})_1 \tag{12}$$

设技术进步前后以同样的要素组合比例进行生产$\frac{K_0}{L_0}=\frac{K_1}{L_1}$，则(12)式可以写成：

$$(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K})_0/(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L})_0=(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K})_1/(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L})_1 \tag{13}$$

即技术进步前后，K和L对Y的增长所作贡献的相对份额仍然保持不变。技术进步对K和L的贡献相对份额没有影响，于是技术进步对产出的作用就可以表示为一个独立的增量m。因此在希克斯中性技术进步条件下，索洛增长率方程形式如(6)式。

在C—D生产函数中：

资本弹性$\beta=\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K}$；劳动弹性$\alpha=\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial L}{L}$

索洛增长率方程形式如(8)式。此时希克斯中性定义可表述为：在$(\frac{K}{L})_0=(\frac{K}{L})_1$条件下，$(\frac{\beta}{\alpha})_0=(\frac{\beta}{\alpha})_1$。推广到一般(n期)：

在$(\frac{K}{L})_0=(\frac{K}{L})_1=\cdots=(\frac{K}{L})_n$条件下的技术进步，如果始终有：

$$(\frac{\beta}{\alpha})_0=(\frac{\beta}{\alpha})_1=\cdots=(\frac{\beta}{\alpha})_n$$

称为希克斯中性技术进步。希克斯中性表明：要素弹性之比$\frac{\beta}{\alpha}$(边际产出之比)是要素组合$\frac{K}{L}$的函数：

$$\frac{\beta}{\alpha}=f(\frac{K}{L}) \tag{14}$$

希克斯中性是技术进步作用独立化的一个充分条件。

三、中性技术进步与技术进步类型

技术进步中性条件，可以由边际产出之比($\frac{\partial Y}{\partial K}/\frac{\partial Y}{\partial L}$)出发加以定义，这就是希克斯中性条件。按照边际生产力理论，产品的价值是由劳动和资本共同创造的，工资和利润来自劳动和资本各自对产品价值的边际贡献。在完全竞争条件下，工资率和利润率的大小分别由劳动的边际产出和资本的边际产出决定。技术进步提高劳动的边际产出，从而也是提高工资率的因素；技术进步提高了资本的边际产出，从而也是提高利润率的因素。因此，技术进步作用独立化的充分条件——技术进步中性，也可以从资本的边际产出(利润率)，或者从劳动的边际产出(工资率)出发加以定义。可以证明，不同的技术进步中性定义形成不同的技术进步类型。技术进步类型的区别体现在生产函数方程基本形式的差异上。

表1　不同的中性技术进步与技术进步类型

技术进步类型	中性技术进步定义	生产函数的基本形式
产出增长型	(1)希克斯中性：$r/w=f_1(x)$ (2)反希克斯中性 $w/r=f_2(y)$	$Y=A(t)F(K,L)$ $g(\frac{K}{L})+L/Y=A(t)$
要素扩张型	(3)哈罗德中性：$r=f_3(y)$ (4)索洛中性：$w=f_4(z)$ (5)双要素扩张型中性：(略)	$Y=F(K,A(t)L)$ $Y=F(A(t)K,L)$ $Y=F(A(t)K,A(t)B(t)L)$
产出附加型	(6)劳动附加型中性：$r=f_6(k)$ (7)资本附加型中性：$w=f_7(x)$	$Y=A(t)L+F(K,L)$ $Y=A(t)\cdot K+F(K,L)$
要素附加型	(8)劳动组合型中性：$w=f8(y)$ (9)资本组合型中性：$r=f9(z)$	$Y=F(K,L+A(t)\cdot K)$ $Y=F(L,K+A(t)L)$

表1中各变量符号含义如下：(1)资本产出率：$y=Y/K$；(2)要素组合比例Ⅰ：资本劳动比 $k=K/L$；(3)要素组合比例Ⅱ：劳动资本比 $x=L/K$，($k=\frac{1}{x}$)；(4)人均产出：$z=Y/L=y/x$；(5)工资率 w(=劳动的边际产出)：$w=\partial Y/\partial L$；(6)利润率 r(=资本的边际产出)：$r=\partial Y/\partial K$；(7)要素边际替代率：r/w；(8)$F(\cdot)$和 $f_i(\cdot)$分别为函数符号。

从数学形式上看：中性技术进步定义与生产函数基本形式之间是偏微分方程与通解的关系。技术进步因子 $A(t)$往往是积分常数。从经济意义上看，不同的中性定义反映了不同类型的技术进步。各地区，各国别技术进步的特点，作用方式都不尽相同，应该有区别地进行技术进步作用程度测定。比如索洛增长率就是满足希克斯中性定义的，如果不考虑技术进步的实际作用方式，不加区别地套用，可能导致本文开头提到的技术进步率 m 的计算结果失真，以及缺乏国际间可比性的问题。因此需要根据不同情况对技术进步率 m 的计算公式加以修正。对几种常见类型，可得如下结果(见表2)。

表 2　不同类型的技术进步率 m

技术进步中性	生产函数的基本形式	技术进步率 m
(1)希克斯中性	$Y=A(t)F(K,L)$	$m=\frac{\triangle Y}{Y}-e_K\frac{\triangle K}{K}-e_L\frac{\triangle L}{L}$
(2)哈罗德中性	$Y=F(K,A(t)\cdot L)$	$m=(\frac{\triangle Y}{Y}-e_K\frac{\triangle K}{K}-e_{AL}\frac{\triangle L}{L})/e_{AL}$
(3)索洛中性	$Y=F(A(t)K,L)$	$m=(\frac{\triangle Y}{Y}-e_{AK}\frac{\triangle K}{K}-e_L\frac{\triangle L}{L})/e_{AK}$
(4)双要素扩张型中性	$Y=F(A(t)K,A(t)B(t)L)$	$m=(\frac{\triangle Y}{Y}-e_{AK}\frac{\triangle K}{K}-e_{AL}\frac{\triangle L}{L})/(e_{AK}+e_{AL})$
(5)劳动附加型中性	$Y=A(t)L+F(K,L)$	$m=\frac{\triangle Y}{Y}-(e_L+1)\frac{\triangle L}{L}-e_K\frac{\triangle K}{K}$
(6)资本附加型中性	$Y=A(t)\cdot K+F(K,L)$	$m=\frac{\triangle Y}{Y}-(e_K+1)\frac{\triangle K}{K}-e_L\frac{\triangle L}{L}$

表 2 中，e_L，e_K，e_{AL}，e_{AK}分别表示不同的弹性。　劳动弹性：$e_L=\frac{\partial Y}{\partial L}\frac{L}{Y}$；资本弹性：$e_K=\frac{\partial Y}{\partial K}\frac{K}{Y}$

含技术进步的劳动弹性：$e_{AL}=\frac{\partial Y}{\partial(A(t)L)}\frac{A(t)\cdot L}{Y}$

含技术进步的资本弹性：$e_{AK}=\frac{\partial Y}{\partial(A(t)K)}\cdot\frac{A(t)\cdot K}{Y}$

以哈罗德中性技术进步为例，对生产函数 $Y=F(K,A(t)L)$ 求全导数：

$$\frac{dY}{dt}=\frac{\partial Y}{\partial K}\frac{dK}{dt}+\frac{\partial Y}{\partial(AL)}(\frac{\partial(AL)}{\partial A}\frac{dA}{dt}+\frac{\partial(AL)}{\partial L}\frac{dL}{dt})$$
$$=\frac{\partial Y}{\partial K}\cdot\frac{dK}{dt}+\frac{\partial Y}{\partial(AL)}(L\cdot\frac{dA}{dt}+A\cdot\frac{dL}{dt})$$

将时间离散化，并取 $dt=\triangle t=1$，

$$\frac{\triangle Y}{Y}=(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial K}{K})\cdot\frac{\triangle K}{K}+(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial(AL)}{AL})\frac{\triangle A}{A}+(\frac{\partial Y}{Y}/\frac{\partial(AL)}{AL})\frac{\triangle L}{L}$$

技术进步率：

$$m=\frac{\triangle A}{A}=(\frac{\triangle Y}{Y}-e_{AK}\frac{\triangle K}{K}-e_{AL}\frac{\triangle L}{L})/e_{AL}$$

对上述各种不同类型的技术进步可作以下分析：

(1)希克斯中性。定义为：当资本劳动比$\frac{K}{L}$一定时，技术进步前后的资本对劳动的边际替代率 r/w 也一定。即 r/w 是资本劳动比$\frac{K}{L}$的函数。$r/w=f_1(x)$。如前所述。希克斯中性意味着在同样的要素组合比例下，技术进步使得资本和劳动的边际产出同比例地提高。

(2)哈罗德中性。定义为，当技术进步前后资本产出率$\frac{Y}{K}$一定时，资本的边际产出 $r=\frac{\partial Y}{\partial K}$一定。即 r 是 y 的函数，$r=f_3(y)$。

例如在技术进步前的生产函数中，人均产出 Y_0/L_0，资本劳动比 K_0/L_0，在技术进步后分别为 $Y_1/L_1=\lambda_1(\frac{Y_0}{L_0})$，$\frac{K_1}{L_1}=\lambda_2(\frac{K_0}{L_0})\lambda_1$，$\lambda_2$ 是大于 0 的常数。由哈罗德中性定义。应该在$\frac{Y_1}{K_1}=\frac{Y_0}{K_0}$条

件下，有 $r_0=r_1$。$\frac{Y_1}{K_1}=\frac{Y_0}{K_0}$ 等价于 $\lambda_1(\frac{Y_0}{L_0})/\lambda_2(\frac{K_0}{L_0})=Y_0/K_0$

于是 $\lambda_1=\lambda_2$。这表明，哈罗德中性假定在技术进步后的生产出数中，人均产出 $\frac{Y}{L}$ 与人均占有资本 $\frac{K}{L}$ 同比例增加而资本边际产出不变（$r_1=r_0$）。这种技术进步并未影响资本边际产出，只是使每单位劳动装备了更多的资本而提高了效率，此时劳动投入增长，产出增长。因此哈罗德中性技术进步对产出增长的作用同劳动人口增加对产出作用完全相同，又称为纯粹的扩大劳动的技术进步。

(3)索洛中性。定义为：若技术进步前后人均产出 $\frac{Y}{L}$ 保持一定，则劳动的边际产出 $w=\frac{2Y}{2L}$ 一定。即 w 是 z 的函数，$w=f_4(z)$。与上面分析相类似。资本产出 $\frac{Y_0}{K_0}$ 和劳动资本比 $\frac{L_0}{K_0}$ 在技术进步后增长变化为 $\frac{Y_1}{K_1}=\lambda_1'(\frac{Y_0}{K_0})$，$\frac{L_1}{K_1}=\lambda_2'(\frac{L_0}{K_0})$，$\lambda_1'$，$\lambda_2'$ 是大于 0 的常数。由索洛中性定义：在 $\frac{Y_1}{L_1}=\frac{Y_0}{L_0}$ 时，有 $w_0=w_1$。$\frac{Y_1}{L_1}=\frac{Y_0}{L_0}$ 等价于 $\lambda_1'\frac{Y_0}{K_0})/\lambda_2(\frac{L_0}{K_0})=Y_0/L_0$

于是 $\lambda_1'=\lambda_2'$。这表明技术进步后资本产出 $\frac{Y}{K}$ 增长与人均资本 $\frac{K}{L}$ 的倒数 L/K 同比例变化而劳动边际产出不变（$w_0=w_1$）。索洛中性技术进步并未影响劳动的边际产出，而是使得单位资本的效率提高，因此索洛中性技术进步对产出增长的作用，同资本增加对产出所起的作用相同，所以又可称为纯粹的扩大资本的技术进步。

(4)双要素扩张型中性。这个中性定义稍有些不同，它是从要素收入份额与要素替代弹性的关系出发加以定义的。如果要素收入份额一定，则替代弹性也一定。即替代弹性是要素收入份额的函数。

这个定义实际上是哈罗德中性（定义中为劳动要素收入份额）或索洛中性（定义中为资本要素收入份额）与希克斯中性的组合。生产函数的一般形式为：

$$Y=F(A(t)L,A(t)B(t)K)$$

其中包括了著名固定替代弹性 CES 生产函数。

我们在这里感兴趣的是关于技术进步的测定（见表 2(4)）。

(5)劳动附加型中性。定义为，技术进步前后，如果资本劳动组合比例 $\frac{K}{L}$ 一定，则资本的边际产出 r 一定。即 r 是 k 的函数。$r=f_6(k)$。

这种技术进步主要体现为劳动力素质、技能、劳动熟练程度的提高，技术进步对产出的作用表现为：产出增长成为与劳动就业人口成比例的附加额形式。生产函数的基本形式为：

$$Y=A(t)L+F(K,L)$$

(6)资本附加型中性。定义为，技术进步前后，如果劳动资本组合比例($\frac{L}{K}$)一定，则劳动的边际产出 w（工资率）一定。即 w 是 x 的函数，$w=f_7(x)$。与劳动附加型相对应，此时技术进步主要体现为资本存量的改造、挖潜，效益提高。技术进步对产出的作用表现为：产出增长成为与资本存量成比例的附加额形式。生产函数的基本形式为：

$$Y=A(t)K+F(K,L)$$

（下转第 50 页）