

人力资本、技术进步与内生经济增长

杨立岩 王新丽*

摘要 在内生增长理论中,卢卡斯认为人力资本积累是经济增长的原动力,罗默则认为技术进步是经济增长的源泉。本文构建了一个内生增长模型,以解释人力资本积累和技术进步共同推动经济增长的机制。

关键词 人力资本,技术进步,经济增长

一、引言

时间序列数据显示,美国、英国、德国、日本等工业化国家的人均实际收入在20世纪有明显的长期增长趋势(Jones, 1998, p. 57)。新古典增长理论(Solow, 1956)将经济增长的源泉归因于外生的技术进步,20世纪80年代诞生的内生增长理论则致力于从经济系统本身探求经济增长的原因。在这方面做出突出贡献的经济学家是卢卡斯(Lucas, 1988)和罗默(Romer, 1990),卢卡斯认为人力资本投资行为是经济增长的原动力,罗默则认为是内生的技术进步导致了经济的长远增长。

卢卡斯假设经济中的主体拥有的劳动有两种用途,既可以在最终产品部门直接从事最终产品的生产;也可以在人力资本开发部门从事人力资本开发,开发出来的人力资本可以提高从事最终产品生产的劳动的生产力,从而推动经济的长远增长。罗默认为,技术进步即由R&D所引致的资本设备多样化。

在罗默的模型中存在着两类主体,一类主体是非熟练工人,拥有的生产要素是劳动,可以用于最终产品的生产;另一类主体是科研人员,拥有的生产要素是人力资本,既可以用于最终产品的生产,也可以从事R&D活动。整个经济体的运作机制是这样的:一部分研究人员从事R&D活动,生产成果是一些资本设备的新设计方案;这些新设计方案一旦为下游的资本设备生产商所掌握,就可以以固定的比例将最终产品转化为新资本设备,这些资本设备可以直接投入最终产品部门的生产,设计方案种类的总和就是新古典增长

* 杨立岩,清华大学经济管理学院经济系和山东大学经济研究中心;王新丽,中国社会科学院研究生院。
通信作者及地址:杨立岩,清华大学12号楼103房间,100084;电话:(010)62775658;E-mail:yly02@mails.tsinghua.edu.cn。作者感谢两位匿名审稿人的有益评论,在论文中已经采纳了他们的许多建议。当然,论文的错误和缺点作者自负。

理论中的技术；最终产品部门利用劳动、人力资本和资本设备生产出最终产品。这样，依赖于研究人员的 R&D 活动，新的资本设备就会不断出现，以减缓物质资本总量的边际递减速度，从而推动整个经济的增长。

但是，无论是卢卡斯模型还是罗默模型，都存在一些缺陷：

第一，卢卡斯只考虑了人力资本投资在经济增长中的作用，没有考虑 R&D 活动对经济增长的贡献。增长统计表明，R&D 和人力资本投资在经济增长中都具有重要作用，例如，丹尼森和美国劳工部对美国 1948—1994 年实际 GDP 增长的研究表明¹，在这 47 年中，美国实际 GDP 的年均增长率为 3.4%，其中人力资本投资²的贡献为 0.4%，占 12%；R&D 的贡献为 0.2%，占 6%，所以 R&D 对经济增长的作用不可忽视。

第二，至于罗默模型，虽然考虑了人力资本的因素，并且推导的结论也表明长远经济增长率依赖于经济体中的人力资本存量，但是罗默将人力资本存量设定为一个外生的固定常数（即经济体中科研人员的数量），没有将人力资本内生化的，这是一个缺陷，有待于进一步改进。因为，既然人力资本在经济增长中发挥着如此巨大的作用，整个经济体必然要求人们进行人力资本开发，从而使得人力资本具有长远的增长趋势。

第三，在罗默模型中，R&D 部门的生产函数具有规模效应，这与实证结果不符。即：罗默将 R&D 部门的生产函数³设为 $\dot{A} = \delta H_A A$ （其中 A 表示技术， H_A 表示从事 R&D 活动的研究人员数量， δ 为一大于零的常数），此生产函数形式蕴涵着技术进步率 \dot{A}/A 和从事技术开发的科研人员数量 H_A 成正比，美国的数据却显示，1950 年到 1988 年间从事 R&D 的科学家或者工程师的数量上升了五倍之多，而用 TFP 增长率表示的技术进步率却保持不变甚至有所下降（Jones, 1995）。然而，在罗默模型中，规模效应对于长远的增长起着至关重要的作用，在文章中罗默自己也提到：“ A （在生产函数中）的线性使得长远增长成为可能，在此意义上，长远的增长更像是模型的假设而不是模型的结论”（Romer, 1990, p. S84）。由此，琼斯将函数形式⁴修正为 $\dot{A} = \delta H_A A^\phi h_A^{\lambda-1}$ ，其中 $\delta > 0$, $0 < \lambda \leq 1$, $0 < \phi < 1$ 。变量 h_A 体现了在 R&D 部门中由于重复劳动所带来的负外部性，在均衡时 $h_A = H_A$ 。这个生产函数要

¹ 转引自 Samuelson 和 William D. Nordhaus (1998), p. 533。

² 原文中运用的变量是教育，由于教育是人力资本投资的主要方式之一，并且在实证中也经常运用教育支出作为人力资本的量化指标，所以在此我们大致可以将教育的贡献等同于人力资本投资的贡献。

³ 本文中，符号 \dot{z} 表示变量 z 对时间 t 的导数。

⁴ 严格说来，琼斯在文章中使用的投入是劳动 L_A ，而不是人力资本 H_A 。

求 H_A 保持长远的增长, 技术 A 才有长远增长。不过, 在琼斯构建的模型中, 认为 H_A 的增长趋势来源于外生的人口增长率, 并且在此基础上提出了半内生增长的概念, 认为长远的经济增长最终依赖于人口的增长率。

本文构建了一个同时内生 R&D 和人力资本的经济增长模型, 克服了卢卡斯模型和罗默模型中的缺陷, 认为经济增长是由技术进步和人力资本积累共同推动的。与琼斯模型一样, 我们设定的 R&D 部门的生产函数也没有规模效应, 不过, 我们使用了卢卡斯的人力资本积累机制以替代琼斯模型中的外生人口增长机制, 使得经济增长完全内生, 不再具有外生的性质。

二、模型框架

我们分析一个封闭分散的经济, 其中包括四个部门: 最终产品部门、资本设备部门、R&D 部门和人力资本开发部门。在整个经济体中, 在区间 $[0, 1]$ 上存在着无数个同质的个体。经济体中的每个个体既是生产者又是消费者。最终产品部门是完全竞争的, 存在着无数个同质的最终产品生产商, 生产一种产品, 其数量用 Y 表示。在资本设备部门中, 在区间 $[0, A]$ 上存在着无数个同质的资本设备生产商, 第 i 个代表性资本设备生产商生产资本设备 x_i 。R&D 部门和人力资本开发部门, 即现实中的研发产业和教育产业, 为了分析的简化, 我们假设在这两个部门从事生产的主体是经济中的个体, 而不是企业。R&D 部门的产出是新的资本设备种类 \dot{A} , 或者说是一种新的资本设备设计方案, 人力资本开发部门的产出是人力资本增量 \dot{H} 。整个经济体系的运作过程可以用图 1 来表示。

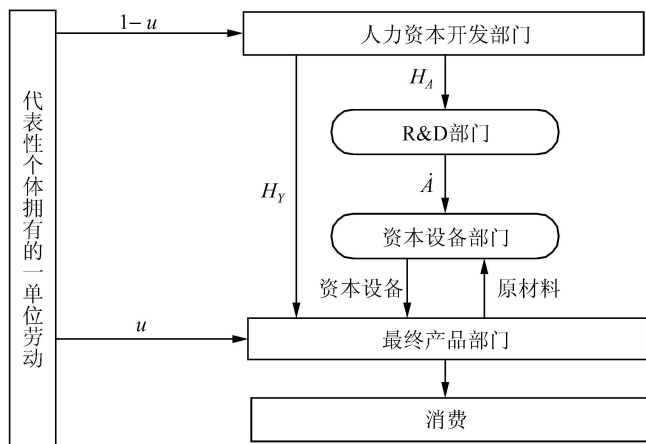


图 1 经济体系运作机制

每个代表性个体拥有一单位劳动⁵,这一单位有两种用途:第一, u 部分直接从事最终产品部门的生产;第二, $1-u$ 部分投入到人力资本开发部门,进行人力资本的积累。 $1-u$ 部分劳动开发的人力资本也有两种用途⁶, H_Y 部分直接进入最终产品部门的生产,这一点在卢卡斯模型中有所体现, H_A 部分则是先进入R&D部门,生产资本设计方案 \dot{A} ,资本设备部门利用资本设计方案生产出资本设备,然后资本设备再进入最终产品部门的生产,这一点在罗默模型中有所体现。

可以看出,卢卡斯主要描述了两个机制:(1) u 单位的劳动→最终产品部门;(2) $1-u$ 单位的劳动→人力资本开发部门生产出 H_Y 的人力资本→最终产品部门。罗默主要描述了另外两个增长机制:(1) H_Y 单位的人力资本→最终产品部门;(2) H_A 单位的人力资本→R&D部门生产出资本设计方案 \dot{A} →资本设备部门利用资本设计方案 \dot{A} 生产出资本设备→最终产品部门。图1表明,通过将卢卡斯模型和罗默模型进行有机的结合,可以达到人力资本和R&D同时内生化的目的。下面我们讨论各个部门的技术和消费者的偏好。

三、技术与偏好

(一)最终产品部门

最终产品部门中代表性厂商的生产函数⁷为

$$Y = u^{\alpha} H_Y^{\beta} \int_0^A x_i^{1-\alpha-\beta} di, \quad (1)$$

其中, $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$ 。 Y 、 u 、 H_Y 和 x_i 分别表示最终产品的数量、从事最终产品生产的劳动比例、人力资本数量以及第 i 种资本设备的数量。

将一单位最终产品的价格 P_Y 标准化为1。那么,代表性厂商的决策规划为

⁵ 内生增长理论为了反映近几十年发达国家的人口停滞甚至呈现负增长的现实,在模型的设计上皆假设劳动总量固定,且单位化为一(赖景昌 2001 第348页)。

⁶ 人力资本即人们通过劳动学会的各种技能,但是各种技能的用途是不一样的,有的技能学来是专门用于从事产品生产的,即 H_Y (可以简单地与管理才能相对应),有的技能学来是专门用于开发新设备的,即 H_A (可以简单地与科研才能相对应)。

⁷ 关于人力资本在最终产品部门生产函数中的处理方式,卢卡斯和罗默采用了两种不同的思路。卢卡斯将生产函数设为 $Y = AK^{\alpha}(uhN)^{1-\alpha}$ 的形式,其中 $0 < \beta < 1$, $\gamma > 0$ 。 Y 、 A 、 K 、 h 、 h_a 和 N 分别表示最终产品数量、技术、物质资本数量、人力资本数量、人均人力资本数量和人口数量。卢卡斯认为人力资本的作用是将劳动转化为有效劳动,有效劳动才是生产函数中的生产要素,人们接受教育只是在训练一种思维方法,使自己变得更有创造性,有效劳动与未接受教育以前的劳动相比,从事什么工作都具有更高的生产率。罗默将生产函数设为(1)式的形式。罗默认为人力资本和劳动在生产函数中是两种不同的生产要素,人力资本是人们开发并掌握的各种技能(主要是经营管理技能)和机器等物质资本在生产函数中的作用是一样的。本文采用了罗默的处理方式。

$$\text{Max}_{u, H_Y, \{x_i\}} u^\alpha H_Y^\beta \int_0^A x_i^{1-\alpha-\beta} di - \omega u - P_H H_Y - \int_0^A p_i x_i di, \quad (2)$$

其中, ω 为劳动工资, P_H 为人力资本的价格, p_i 为第 i 种资本设备的租赁价格。由于最终产品部门为完全竞争的, 所以该厂商将所有的要素价格都视为外生给定的值。由 (2) 式的一阶条件得到

$$\omega = \alpha u^{\alpha-1} H_Y^\beta \int_0^A x_i^{1-\alpha-\beta} di, \quad (3)$$

$$P_H = \beta u^\alpha H_Y^{\beta-1} \int_0^A x_i^{1-\alpha-\beta} di, \quad (4)$$

$$p_i = (1 - \alpha - \beta) u^\alpha H_Y^\beta x_i^{-\alpha-\beta}, \quad (5)$$

其中, (5) 式即第 i 种资本设备的反需求函数: $p_i = p_i(x_i)$

(二) 资本设备部门

在这个部门中, 在区间 $[0, A]$ 上分布着无数个资本设备生产商, 每个厂商只生产一种资本设备, 且每种资本设备之间两两不同, 可以认为代表性资本设备生产商 i 只生产第 i 种资本设备。依据罗默的假设, 设定资本设备部门中厂商的生产函数是线性的,

$$x_i = y_i, \quad (6)$$

其中, x_i 表示生产的第 i 种资本设备的数量, y_i 表示为生产第 i 种资本设备所投入的最终产品数量。可以将 y_i 理解为一种原材料投入: 第 i 种资本设计方案一旦为某一个资本设备生产商所掌握, 该资本设备生产商就可以将一单位的最终产品作为原材料生产出一单位的第 i 种资本设备。当然, 在整个经济中, 只有购买了资本设计方案的厂商才能够做到这一点。假设所有资本设备的折旧率都为零。因此, 如果用 K 表示经济中的物质资本存量, 则 $K = \int_0^A x_i di$ 。

资本设备生产商 i 的可变成本是 rx_i , 其中 r 是实际利率, 资本设备生产商 i 视 r 为既定。由 (5) 式可以看出, 资本设备生产商 i 面对的需求函数是向下倾斜的, 所以他具有垄断势力。其生产决策规划为

$$\text{Max}_{x_i} (1 - \alpha - \beta) u^\alpha H_Y^\beta x_i^{1-\alpha-\beta} - rx_i, \quad (7)$$

(7) 式的一阶条件为:

$$(1 - \alpha - \beta) u^\alpha H_Y^\beta x_i^{-\alpha-\beta} - r = 0. \quad (8)$$

将(8)式的解记为 \bar{x}_i 。结合(5)式和(8)式,资本设备的均衡租赁价格为:

$$p_i = \frac{r}{1 - \alpha - \beta} \quad (9)$$

在每个时点上,资本设备生产商的垄断利润为 $\pi_i(t) = \frac{(\alpha + \beta)r}{1 - \alpha - \beta} \bar{x}_i(t)$ 。由于有无数个资本设备生产商竞相购买一个资本设备设计方案,所以,垄断利润会完全转化为资本设计方案价格 $P_A^i(t)$,即 $P_A^i(t)$ 等于未来期间中的垄断利润的折现价格: $P_A^i(t) = \int_t^{\infty} e^{-\int_t^{\tau} r(s) ds} \pi_i(\tau) d\tau$ 。由对称性可知,对于任意的 $i \in [0, A]$ $j \in [0, A]$ $\bar{x}_i(t) = \bar{x}_j(t)$ 成立,都记为 $\bar{x}(t)$ 。因此, $\pi_i(t) = \pi_j(t)$, $P_A^i(t) = P_A^j(t)$, 分别记为 $\pi(t)$ 和 $P_A(t)$ 。在平衡增长路径上,实际利率 r 为常数,所以,

$$P_A(t) = \int_t^{\infty} e^{-r(\tau-t)} \frac{(\alpha + \beta)r}{1 - \alpha - \beta} \bar{x}(\tau) d\tau \quad (10)$$

(三) R&D 部门

根据琼斯(Jones, 1995)对罗默模型(Romer, 1990)的改进,我们将代表性个体从事 R&D 的生产函数形式设定为:

$$\dot{A} = \delta H_A A^\phi h_A^{\lambda-1} \quad (11)$$

其中, $\delta > 0$, $0 < \lambda \leq 1$, $0 < \phi < 1$ 。 H_A 为代表性个体投入到 R&D 活动中的人力资本数量。 h_A 是投入到 R&D 活动中的人均人力资本数量,是一个反映负外部性的变量, $\lambda < 1$ (从而 $\lambda - 1 < 0$) 表示人力资本的重复投入所带来的生产率的降低。由代表性个体的同质性假设可知,在均衡时 $h_A = H_A$ 。 A 在(11)式中是一个表示正外部性的变量,表示技术存量越大,人们越有经验,可以参考的 R&D 方面的资料也越多,从而提高 R&D 活动的生产率。代表性个体在做决策时,视 A 和 h_A 为既定值。 δ 是一个生产率参数, δ 越大,生产率越高。此外, δ 还具有概率的含义,即投入一定量的人力资本,未必一定能够生产出新的资本设备设计方案,所以要求 $\delta > 0$ 。

在 R&D 部门中,均衡条件要求人力资本的边际产出等于人力资本价格 P_H , 即

$$P_H = \delta A^\phi h_A^{\lambda-1} P_A \quad (12)$$

(四) 人力资本开发部门

根据卢卡斯 (Lucas, 1988) 对人力资本投资函数的设定, 我们将代表性个体从事人力资本开发的生产函数形式⁸ 设定为

$$\dot{H} = B(1-u)h, \quad (13)$$

其中, $B > 0$, 是一个生产率参数。 \dot{H} 表示代表性个体进行人力资本开发的生产成果。 h 是人均拥有的人力资本存量, 在人力资本生产函数中是一个表示正外部性的变量, 表明人均人力资本存量越大, 代表性个体投入的劳动的生产率越高, 因为人均人力资本存量在一定程度上反映了一个社会的综合素质, 社会综合素质的提高会降低人们在学习交往等方面的障碍, 从而会提高生产率。代表性个体在做决策时, 视 h 之为既定值。同样, 由同质性假设得知, 在均衡状态下, $H = h$ 。

在人力资本开发部门中, 均衡条件要求劳动的边际产出等于工资 ω , 即

$$\omega = BhP_H. \quad (14)$$

(五) 偏好

假设代表性个体的目标函数为 $\int_0^{\infty} \frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt$, 其中 $\sigma \geq 0$, $\rho > 0$ 。 $1/\sigma$ 为跨期替代弹性, ρ 为时间偏好率, c 为消费。在平衡增长路径上, 通过通常的推导, 可以求得

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{r - \rho}{\sigma}. \quad (15)$$

四、平衡增长路径

(一) 均衡条件

在平衡增长路径上, 均衡数量序列 $\{c(t), u(t), H_Y(t), H_A(t), \bar{x}(t), Y(t), A(t), H(t)\}_0^{\infty}$ 和均衡价格序列 $\{P_Y(t) = 1, p_i(t) = r/(1 - \alpha - \beta)\}$,

⁸ 卢卡斯在文章中对为什么采用线性的函数形式做过说明。我们也可以采用类似琼斯 (Jones, 1995) 对 R&D 生产函数的讨论来解释 (13) 式: 人力资本是靠人们投入时间学习 (即人力资本开发) 积累的, 从而在最简单的情况下, 人力资本的积累量 \dot{H} 等于从事学习的时间 $1-u$ 和学习的生产率 \bar{B} 的乘积, 即 $\dot{H} = \bar{B}(1-u)$; 同时, 如正文中所说, 学习的生产率 \bar{B} 和人均拥有的人力资本存量 h 成正比, 如果令 $\bar{B} = Bh$, 代入即得到 (13) 式。

$P_A(t), P_H(t), w(t), r(t)$ 要满足下列两组条件：

1. 效用和利润最大化

(1) 消费者效用最大化。消费者的财富由拥有的劳动、人力资本和物质资本的价值等因素决定。给定利率和消费品(即最终产品)的价格, 消费序列 $\{c(t)\}_0^\infty$ 使得消费者在财富约束下实现效用最大化。

(2) 最终产品生产商利润最大化。给定最终产品的价格、劳动工资、人力资本的价格以及资本设备的租赁价格, 最终产品生产商的投入选择 $\{u(t), H_Y(t), \bar{x}(t); i \in [0, A]\}_0^\infty$ 使之实现利润最大化。

(3) 资本设备生产商利润最大化。给定实际利率和对资本设备的需求曲线, 资本设备生产商的决策 $\{p_i(t), \bar{x}_i(t); i \in [0, A]\}_0^\infty$ 使之实现利润最大化。

(4) R&D生产者利润最大化。给定人力资本的价格和专利设备的价格, R&D生产者投入 R&D 活动的人力资本 $\{H_A(t)\}_0^\infty$ 使之实现利润最大化。

(5) 人力资本开发者利润最大化。给定劳动工资和人力资本的价格, 人力资本开发者进行人力资本积累的劳动量 $\{1 - u(t)\}_0^\infty$ 使之实现利润最大化。

2. 市场出清

(1) 劳动市场。最终产品部门和人力资本开发部门需要的劳动量等于代表性个体的劳动禀赋 1。

(2) 人力资本市场。最终产品部门和 R&D 开发部门需要的人力资本数量等于人力资本开发部门开发的人力资本的累积数量, 即 $H_Y + H_A = H$ 。

(3) 产品市场。最终产品部门生产的产品等于消费加投资, 即 $Y = c + \dot{K}$ 。

(4) 专利市场。给定利率, 专利的价格等于资本设备生产商以后各期的利润流的折现和。

(二) 稳态经济增长率

在平衡增长路径上, 通过推导⁹(见附录), 求得消费增长率 g_c 。

$$g_c = g_A + \Lambda g_H, \quad (16)$$

其中, $\Lambda = \beta / (\alpha + \beta)$ 。(16)式说明, 经济增长率等于技术进步率与人力资本增长率的一定比例之和, 即经济增长既依赖于技术进步, 也依赖于人力资本的积累。这不同于卢卡斯模型和罗默模型, 如引言中所说, 前者认为经济增长是由人力资本积累推动的, 而后者则强调技术进步是经济增长的源泉。

⁹ 在本文中, 符号 g_z 表示变量 z 的增长率。

为了简化求解过程，我们设定¹⁰ $\alpha - B\beta = 0$ ，可以求得消费增长率 g_c 、投入到最终产品部门的劳动数量 u 以及最终产品部门使用的人力资本比例 H_Y/H 的均衡解（见附录），

$$g_c = \frac{[\lambda/(1-\phi) + \Lambda] \lambda B \Delta - (1-\phi)\rho}{\lambda(\sigma + \Delta) + \Lambda(1-\phi)(\sigma - 1)}, \quad (17)$$

$$u = \frac{H_Y}{H} = \frac{\lambda\sigma + (1-\phi)(\sigma - 1)\Lambda + (1-\phi)\rho/B}{\lambda(\sigma + \Delta) + (1-\phi)(\sigma - 1)\Lambda}, \quad (18)$$

其中， $\Delta = (\alpha + \beta)(1 - \alpha - \beta) / \beta$ 。

（三）比较静态分析

为了看清技术参数 ϕ 、 λ 和 B 以及偏好参数 ρ 对经济增长率和决策变量均衡值的影响，我们进一步假设 $\sigma = 1$ ，即消费者的效用函数具有对数形式。由（17）式和（18）式分别得到：

$$g_c = \frac{[\lambda/(1-\phi) + \Lambda] B \Delta - (1-\phi)\rho/\lambda}{1 + \Delta}, \quad (19)$$

$$u = \frac{H_Y}{H} = \frac{1 + (1-\phi)\rho/\lambda B}{1 + \Delta}. \quad (20)$$

由（19）式和（20）式可知，如果 ϕ 变大，即技术存量对 R&D 部门生产率的正外部性作用增加的话，则经济增长率会提高，代表性个体配置在最终产品部门的劳动比例和人力资本比例都会降低，分别流向了人力资本开发部门和 R&D 部门。同样， λ 和 B 变大也有相同的效果，即 R&D 部门人力资本重复劳动的负外部性降低和人力资本开发部门劳动的生产率提高，都会促进经济的增长¹¹。相反， ρ 变大，即消费者更加看重眼前消费的话，经济增长率会降低，配置在最终产品部门的劳动比例和人力资本比例会增加。

由（19）式，如果 $\phi = 1$ ，则 $g = \infty$ ，表明经济会爆炸式增长。 $\phi = 1$ ，说明 R&D 具有规模效应，这也是罗默（Romer，1990）最初的假定。这一点可

¹⁰ 根据巴罗和萨拉·伊·马丁（Barro and Sala-i-Martin，1995）的设定，在美国经济中，狭义的资本收入（即物质资本）在国民收入中所占的比例为 0.30，即 $1 - \alpha - \beta = 0.30$ 。广义的资本收入（即物质资本和人力资本之和）在国民收入中所占的比例为 0.75，即 $1 - \alpha = 0.75$ ，由此可推知 $\alpha = 0.25$ 和 $\beta = 0.45$ 。此外，巴罗和萨拉·伊·马丁设定 B 为 0.10 左右，所以在美国经济中， $\alpha - B\beta$ 的值在 0.20 左右。但是，为了得到显示解以使得比较静态分析简化，我们仍然设定 $\alpha - B\beta = 0$ 。同样的做法参见谢丹阳（Danyang Xie，1992）：为了求得显示解，谢丹阳设定 $\sigma = 1 - \alpha - \beta$ ，但是在一般情况下 $\sigma > 1 > 1 - \alpha - \beta$ 。实际上，对附录中（A22）式全微分能够得到未做假定的比较静态分析结果，不过在这种情况下，推导结果相当繁琐，且经济含义不明显，所以我们未采用这种做法。

¹¹ 如果我们将人力资本开发部门简单地设定为教育部门，则 B 的大小反映了教育制度的效率， B 越大，教育制度的效率越高。此外，由于我们在做比较静态分析时，要求 $\alpha - B\beta = 0$ ，所以在这种约束下，参数 B 的变动不再是独立的，在 B 变动时，技术参数 α 或者 β 必须同时变化，以满足 $\alpha - B\beta = 0$ 的条件。

以这样理解：在罗默模型中，由于假设人力资本存量是一个外生给定的常数，因此，只有在规模效应假设下经济才会有长远增长，这时，经济的长远增长率是和人力资本存量而非人力资本增长率成正比的，一个经济体拥有越多的人力资本存量，经济的增长速度会越快，而在我们的模型中，人力资本已经内生，在平衡增长路径上人力资本是在不断增加的，所以长远增长率也不再是一个常数。不过，正如琼斯（Jones，1995）指出的，实证经验很难支持规模效应的假设，R&D部门更多的呈现出规模收益递减的特征，所以 $0 < \phi < 1$ ，这正是我们模型的假设。这时，参数 ϕ 将 R&D 部门的技术开发与人力资本开发部门的人力资本积累联系起来， ϕ 越大，投资于 R&D 部门的人力资本 H_A 具有越高的生产率，从而会提高技术进步率，促进经济增长。

五、结论与政策建议

综上所述，本文构建了一个同时内生人力资本和技术进步的经济增长模型，以克服罗默模型和卢卡斯模型中的缺陷。通过研究我们发现，R&D 和人力资本投资在经济增长中都扮演着重要的角色，经济的长远增长率最终依赖于技术进步与人力资本的积累两个因素。

在罗默模型（Romer，1990）中，R&D 部门生产函数中的技术要素具有正外部性，导致分散经济下的经济增长方式不是帕累托最优的，所以罗默建议政府支持 R&D 活动以促进经济增长。同样，在卢卡斯（Lucas，1988）构建的模型中，最终产品部门的生产函数中人力资本也具有正外部性，这隐含着政府可以通过促进人力资本投资的方式加速经济增长。在我们的模型中，R&D 部门和人力资本开发部门的生产函数中都具有正外部性的要素，即（11）式中的变量 A 和（13）式中的变量 h ，因此，政府可以在这两个部门中都有所作为，采取某些机制来促进经济的增长。

不过，政府干预可能会影响到人力资本开发部门的技术参数 B 。参数 B 反映的是人力资本开发部门的生产效率，由于教育是人力资本投资的主要方式之一，所以， B 的数值与教育制度关系密切。政府干预可能会影响到整个教育制度的运作效率，从而会改变技术参数 B 的大小¹²。如果政府干预使 B 变小，则由（19）式，经济的长远增长率会降低，这会使得整个经济在向新均衡状态过渡期间人力资本和劳动向最终产品部门转移（参考（20）式），从而带来短期的人均产出增加，然而接下来的将是长期的缓慢增长。反之，如

¹² 这里隐含着对公共教育体系与私人教育体系的效率比较，其实，在现实中，既有运作良好的公立学校（如美国的加州大学伯克利分校），也有运作良好的私立学校（如美国的哈佛大学），所以不能够对公共教育与私人教育的效率比较简单地得出结论。

果政府干预使得 B 变大, 则由 (19) 式, 经济的长远增长率会提高。在过渡期, 人力资本和劳动会由最终产品部门转移出去, 从而短期人均产出会减少, 但是, 等经过一段较长的时间后 (即接近新的平衡增长路径), 经济的长远增长率会增加。所以, 政府干预对一国教育制度运作效率的影响 (即公共教育制度的效率) 是决定政府干预效果的关键。同时, (19) 式隐含的另一个重要含义是, 各国教育制度的效率差异可能是解释各国经济增长速度差异的一条线索。此外, 政府部门也可以在 R&D 部门中有所作为。政府部门可以直接从事 R&D 研究, 如前苏联政府对计算机行业 R&D 的直接参与; 或者, 政府部门可以通过补贴、税式支出、支持创业投资市场等方式鼓励私人部门从事 R&D 研究, 诸如此类的政府干预也可以影响经济的长远增长。如果我国政府想通过支持人力资本开发、支持 R&D 活动的方式来促进经济增长, 就需要保证我国的人力资本开发部门 (教育体系) 和 R&D 部门具有较高的运作效率。

附录 在平衡增长路径上求解经济增长率

在平衡增长路径上,

$$K = \int_0^A x_i di = \int_0^A \bar{x} di = A\bar{x}. \quad (A1)$$

由 (A1) 式, (1) 式变为:

$$Y = u^{\alpha} H_Y^{\beta} A \bar{x}^{1-\alpha-\beta} = A^{\alpha+\beta} u^{\alpha} H_Y^{\beta} K^{1-\alpha-\beta}. \quad (A2)$$

结合 (9) 式和 (A2) 式, 由 (5) 式得,

$$\frac{A\bar{x}}{Y} = \frac{(1-\alpha-\beta)^{\beta}}{r}. \quad (A3)$$

结合 (A1) 式和 (A3) 式得到

$$\frac{K}{Y} = \frac{(1-\alpha-\beta)^{\beta}}{r}. \quad (A4)$$

(A4) 式说明, 在平衡增长路径上, 资本产出比为常数。

由 (A4) 式,

$$g_Y = g_K. \quad (A5)$$

由 $Y = c + \dot{K}$ 得

$$\frac{\dot{K}}{K} = \frac{Y}{K} - \frac{c}{K}. \quad (A6)$$

在平衡增长路径上, \dot{K}/K 为常数, 结合 (A4) 式, 知 Y/K 为常数, 所以 c/K 也为常数, 因此,

$$g_c = g_K. \quad (A7)$$

由(A5)式和(A7)式知, $g_Y = g_K = g_c$, 都记作 g .

由于 $H = H_Y + H_A$, 所以在平衡增长路径上, $g_H = g_{H_Y} = g_{H_A}$.

由于 $u \in [0, 1]$, 利用 $g_Y = g_K = g_c$, 由(A2)式得到文中(16)式。

在平衡增长路径上 $h_A = H_A$, 由(11)式得到 $\dot{A}/A = \delta H_A^\lambda A^{\phi-1}$ 。由于在平衡增长路径上 \dot{A}/A 为常数, 所以,

$$g_A = \frac{\lambda}{1-\phi} g_H. \quad (A8)$$

结合(16)式和(A8)式得到:

$$g = \left(\frac{\lambda}{1-\phi} + \Lambda \right) g_H. \quad (A9)$$

由于在平衡增长路径上实际利率 r 为常数, 所以由(A3)式,

$$g = g_A + g_{\bar{x}}. \quad (A10)$$

结合(16)式和(A10)式, 得到

$$g_{\bar{x}} = \Lambda g_H. \quad (A11)$$

由(10)式,

$$P_A(t) = \frac{(\alpha + \beta)r\bar{x}(t)}{(1 - \alpha - \beta)(r - g_{\bar{x}})}. \quad (A12)$$

结合(1)式、(4)式和(12)式, 得到

$$\frac{\beta Y}{H_Y} = \delta A^\phi h_A^{\lambda-1} P_A. \quad (A13)$$

将(A11)式和(A12)式代入(A13)式, 得到

$$\frac{\beta Y}{H_Y} = \delta A^\phi h_A^{\lambda-1} \frac{(\alpha + \beta)r\bar{x}(t)}{(1 - \alpha - \beta)(r - \Lambda g_H)}. \quad (A14)$$

由(A1)式知 $\bar{x} = K/A$, 代入(A14)式, 结合(A4)式, 得到

$$\frac{1}{H_Y} = \delta A^{\phi-1} h_A^{\lambda-1} \frac{\Delta}{r - \Lambda g_H}. \quad (A15)$$

由(11)式, 结合(A8)式, 得到

$$\delta A^{\phi-1} h_A^{\lambda-1} = \frac{\lambda}{1-\phi} \frac{g_H}{H_A}. \quad (A16)$$

将(A16)式代入(A15)式,

$$\frac{H_A}{H_Y} = \frac{\lambda \Delta}{(1-\phi)r - \Lambda g_H}. \quad (A17)$$

结合(1)式、(3)式、(4)式和(14)式, 得到

$$\frac{h}{H_Y} = \frac{\alpha}{B\beta u}. \quad (A18)$$

结合 $h = H$ ，由 (13) 式，得

$$u = 1 - g_H/B. \quad (\text{A19})$$

结合 (A18) 式和 (A19) 式，由 $h = H$ 及 $H = H_Y + H_A$ ，得到

$$\frac{H_A}{H_Y} = \frac{\alpha}{B\beta} \frac{1}{1 - g_H/B} - 1. \quad (\text{A20})$$

结合 (15) 式和 (A9) 式，得到

$$r = \sigma \left(\frac{\lambda}{1 - \phi} + \Delta \right) g_H + \rho. \quad (\text{A21})$$

将 (A20) 式和 (A21) 式代入 (A17) 式，得到

$$\frac{(\alpha - B\beta) + \beta g_H}{\beta(B - g_H)} = \frac{\lambda \Delta g_H}{(1 - \phi) \left[\lambda \left(\frac{\lambda}{1 - \phi} + \Delta \right) g_H + \rho - \Delta g_H \right]}. \quad (\text{A22})$$

通过 (A22) 式即可得到 g_H 。

为了使得 (A22) 式成为容易求解的一次方程，设定 $\alpha - B\beta = 0$ ，从而求得

$$g_H = \frac{\lambda B \Delta - (1 - \phi) \rho}{\lambda(\sigma + \Delta) + \Lambda(1 - \phi)(\sigma - 1)}. \quad (\text{A23})$$

结合 (A23) 式，由 (A9) 式即可求得文中 (17) 式。由 (A19) 式、(A20) 式和 (A23) 式，结合 $H = H_Y + H_A$ ，即可求得文中 (18) 式。

参考文献

- [1] Barro, R. J. and Sala-i-Martin, *Economic Growth*. Singapore: McGraw-Hill, 1995.
- [2] Danyang Xie, "Increasing Returns and Increasing Rates of Growth", *The Journal of Political Economy*, 1991, 99(2), 429—435.
- [3] Danyang Xie, "An Endogenous Growth Model with Expanding Ranges of Consumer Goods and Producer Durables", *International Economic Review*, 1998, 39(2), 439—460.
- [4] Jones, Charles I., "R&D-Based Models of Economic Growth". *Journal of Political Economy*, 1995, 103(4), 759—784.
- [5] Jones, Charles I., *Introduction to Economic Growth*. New York: W. W. Norton & Company, 1998.
- [6] Lucas, Robert E. Jr., "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 1988, 22(1), 3—42.
- [7] 赖景昌,《总体经济学》。台北:双叶书廊有限公司,2001年。
- [8] Romer, Paul M., "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5), S71—S102.
- [9] Samuelson, Paul A. and William D. Nordhaus, *Economics* (16th Edition). McGraw-Hill, 1998.
- [10] Solow Robert, "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *The Quarterly Journal of Economics*, 1956, 70(1), 65—94.
- [11] 杨立岩、潘慧峰,“人力资本、基础研究与经济增长”,《经济研究》,2003年第4期,第72—78页。

Human Capital , Technological Change and Endogenous Economic Growth

LIYAN YANG

(*Tsinghua University*)

XINLI WANG

(*The Chinese Academy of Social Sciences*)

Abstract This paper develops a theoretical model to analyze how human capital accumulation and R&D investment provide incentives for each other and how they affect economic growth. The steady-state growth rate derived from this integrated model is roughly in line with the result derived from the growth accounting equation.

JEL Classification O15 , O33 , O38