

不确定性下的动态科研行为：一个代表者模型

王勇*

摘要:在现有的绝大多数内生增长理论的文献中,科研行为都是在追求利润最大化的企业或者科研部门这些“黑盒”中完成的。本文构造了一个随机最优控制模型,分析了在不确定性的条件下一个代表性科研人员理性的动态科研行为,从而为内生的技术进步与宏观技术波动提供一个更为直接的微观基础。

关键词:不确定性 科研行为 内生增长

一、引言

80年代中后期和90年代初以来,以 Paul Romer (1986,1990), Robert Lucas (1988), Aghion和Howitt(1992)为代表的内生经济增长理论是近十多年来在国际宏观经济学领域中最重要的发展之一。该理论指出,带动一国经济持续增长的最重要的引擎是科技的进步。在前工业化时代科技进步主要是依靠人们在重复性的生产过程中知识与经验的积累,并且这种无意识的知识创新至今仍然对于促进技术进步发挥着重要的作用,如 Arrow的“干中学”模型 (Arrow, 1962),但是随着社会的发展,科研部门已经逐渐成为人类发明新技术和创造新知识的最为重要的科技创新主体 (林毅夫, 1994)。据统计,在美国工业中的科研人员与工程师的数量由1921年的2,275人增加到1946年的46,000人,到1962年已达300,000人,至1985年底则将近有600,000人 (Mowery和Rosenberg, 1989)。整个OECD国家的工业R&D投入在1985年就已达1552亿美元,而且自70年代以来均以年均7%的环比速度增长 (Grossman和Helpman, 1991a)。因此,在知识经济特征日益凸显的今天,越来越多的包括经济学家在内的有识之士纷纷将研究目标指向日益壮大的科研与教育部门 (袁志刚, 1999; Ngo, et al. 1999)。

纵观现有的对于科研部门和科研行为的经济学研究文献,大致可以分为两类。一类是在宏观与制度侧面上对科研行为及相关问题进行研究,譬如早期的Phelps(1966)分析了均衡增长时科研部门的最优规模问题,得出科研人员占总人口的“黄金比率”; Lach和Schankerman (1989)对于科研活动的融资问题进行了研究,他们在对近两百家科技型型企业中的R&D与股市投资问题进行了实证研究之后,发现这些企业在股市获得的投资并不是提高R&D研究水平的原由;在相关的科研制度环境分析方面则有对专利制度与R&D之间关系的分析 (Judd,1985, Pakes,1985等),科研机构的组织形式的分析 (Nelson, 1986),

* 北京大学中国经济研究中心, 100871; 电话: 010-62762839; E-mail:wangyong_sh@cceermail.net.

本文是拙作《生命周期与科研行为——一个微观动态模型》(王勇, 2000)的姊妹篇,主要是在前文的基础上引入了不确定性,着重分析不确定性对于科研行为与科技进步的影响。笔者感谢林毅夫、宋国青、海闻(北大中国经济研究中心)、龚六堂(北大光华管理学院)、谢识予、李维森、华民、宋铮、朱宏鑫(复旦大学经济学院)等先生对于本文提出的宝贵意见,尤其要感谢本刊编辑陆铭先生的评审和修改意见。同时也感谢北大中国经济研究中心理论宏观组各位成员对于本文富有意义的讨论。当然,文责自负。

知识生产的优先权制度分析 (Merton, 1957, 1982), 甚至包括专门对发展中国家科研制度环境的分析 (Eckaus, 1966) 等等。另一类文献则是在相对微观的侧面上进行研究, 譬如对于知识生产与科技创新过程本身的技术特点进行描述 (如 Dosi, 1988)。然而更多的是将追求利润最大化的厂商作为 R&D 研究的微观主体 (如 Romer, 1990; Grossman 和 Helpman, 1991a), 特别是在科研或 R&D 的不确定性方面, 已经有不少研究, 尤其是国际贸易领域的研究纷纷将产品的质量创新 (又称垂直创新) 与品种创新 (又称水平创新) 过程中的不确定性引入相关模型 (Grossman 和 Helpman, 1989, 1991a, 1991b; Segerstrom, 1990, 1991; Wang, 2002), 但这些分析通常都是为了更容易建立起一般均衡, 所以是将科研部门作为 "黑盒" 进行投入—产出分析, 而并没有将科研行为直接建立在科研人员的理性选择的行为基础上。

本文认为, 科研行为是理性的科研人员在追求效用最大化目标下的动态经济行为。对于代表性科研人员的科研行为本身进行研究, 将有助于人们进一步认识影响科研效率从而影响宏观科技进步的微观因素, 进而可能为更有效地促进我国的技术进步提出相关的政策建议。基于以上认识, 本文试图构造一个简单的随机最优控制模型, 分析一个代表性科研人员的动态科研行为, 从而在理论上揭开了科研部门这个进行知识生产的 "黑盒子", 亦为新增长理论中的内生技术进步提供了一个更为直接的微观基础。

本文其余部分作如下安排, 第二部分是模型的设定与推导; 第三部分是比较静态分析; 第四部分是结论。

二、模型

我们首先要给出代表性科研人员的科研效用函数。严格来讲, 这要涉及到整个科研体制的报酬系统的问题, 相当复杂 (袁志刚, 1999)。然而无论是在以非市场机制为 t 基础的优先权制度下还是在以市场机制为基础的专利制度下, 归根结蒂影响科研人员效用的最为重要的两个变量是科研成果 (用 $I(t)$ 表示) 和努力程度 (用 $m(t)$ 表示), 这里 t 表示时间。假定效用函数 $u(I(t), m(t))$ 是连续二次可微的, 且满足 $\frac{u}{I} > 0, \frac{u}{I^2} < 0, \frac{u}{m} < 0$ 。为了更方便的研究长期动态, 我们采用经济学中的一项普遍假定, 即假定科研人员具有无限寿命。定义 0 期是正式进入科研部门的时刻, 则代表性科研人员追求如下目标:

$$\text{Max } E_0 \int_0^{\infty} u(I(t), m(t)) e^{-\beta t} dt \quad (1)$$

其中 E_0 表示在 0 期的期望算子; $\beta > 0$, 是主观贴现率, β 越大则意味着科研人员的 "紧迫感" 越强, 即更看重近期的科研成果。

对于科研成果的产生过程, 现有文献中大多引入人力资本这一概念作为投入变量 (如 Romer, 1990, Lucas, 1988), 但是人力资本的积累在很大程度上是现有科技成果的再分配与普及过程, 因而不宜引入本模型; 还有相当多的文献引入劳动与物质资本作为投入变量 (如 Grossman, Helpman, 1991), 但是这些变量更适用于宏观分析, 就本文的目的而言, 侧重点是分析在既定科研制度体系下的科研人员的主观行为及相关效率, 因此我们

将采用如下积累方程:

$$dI(t) = \varphi m(t)I(t)dt + \eta I(t)dz \quad (2)$$

在这条随机微分方程中,假定 $z(t)$ 服从布朗运动,且有 $E(dz) = 0, \text{Var}(dz) = \sigma_z^2 dt$ 。引入随机部分 $\eta I(t)dz$ 是因为进行科研取得的成果具有明显的不确定性^[1],这一点在后面的分析中被证明对于科研行为与效率具有重要意义。这里系数 η 反应了由科研政策冲击或科研投资冲击等外来冲击所造成的不确定性;与此相对的, σ_z^2 的大小则体现了科研活动本身的客观不确定性。显然当 $\eta=0$,或者 $\sigma_z^2=0$ 时,则退化为确定性的情形。(2)式表明

$$\frac{dI(t)}{I(t)}$$

除了随机部分之外,科研成果的产生速率 $\frac{dI(t)}{I(t)}$ 还与科研人员的努力水平 $m(t)$ 成正比,系

数 $\varphi > 0$ 表示科研技术条件等因素。

为了使得分析更加深入,下面我们采用一个具体的CRRA型效用函数

$$u(I, m) = \frac{(I/m^\theta)^\gamma}{\gamma} \quad (3)$$

世界经济
2002年第2期
61

其中系数 $\gamma < 1$,且 $\theta\gamma > 0$ 。特别地,当 $\gamma=0$ 时,重新定义(3)式为:

$$u(I, m) = \frac{(I/m^\theta)^\gamma - 1}{\gamma}, \text{ 则 } \lim_{\gamma \rightarrow 0} u(I(t), m(t)) = \ln I - \theta \ln m \quad (3')$$

易知科研人员的相对风险规避系数 $1 - \gamma > 0$,说明他是风险规避者。

下面求解这个最优控制模型。定义

$$J(I, t) \equiv V(I, t)e^{-\beta t} \equiv \max_t E_t \int_t^\infty u(I, m)e^{-\beta(s-t)} ds \quad (4)$$

经运算,可得H-J-B方程如下:

$$0 = \max_{m(t)} \{u(I, m) - \beta V(I, t) + \frac{\partial V}{\partial t} + \varphi m I \frac{\partial V}{\partial I} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 \eta^2 I^2 \frac{\partial^2 V}{\partial I^2}\} \quad (5)$$

$$\text{以及一阶条件: } \frac{\partial u}{\partial m} + \varphi I \frac{\partial V}{\partial I} = 0 \quad (6)$$

[1]笔者曾给出了一个相关的模型,但是在该模型中进行科研创新的投入变量中增加了一个“知识存量”,而且该模型本质上是一个确定性模型。参见(王勇,2000)。

猜测^[1] $V(I,t)=\delta I^\gamma$ ，结合(3)式，代入(5)和(6)后得：

$$\frac{(I/m^\theta)^\gamma}{\gamma} - \beta\delta I^\gamma + \varphi m I \delta \gamma I^{\gamma-1} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 \eta^2 I^2 \delta \gamma (\gamma-1) I^{\gamma-2} = 0 \quad (5)$$

以及

$$(-\theta\gamma) \frac{I^\gamma m^{-\theta\gamma-1}}{\gamma} + \varphi I \delta \gamma I^{\gamma-1} = 0 \quad (6)$$

化简后，得

$$\delta = \left(\frac{\varphi\gamma}{\theta}\right)^{\theta\gamma} \left[\frac{\frac{1}{\gamma} + \theta}{\beta - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \eta^2 \gamma (\gamma-1)} \right]^{1+\theta\gamma} \quad (7)$$

$$m(t) = \frac{\beta - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \eta^2 \gamma (\gamma-1)}{\varphi\gamma + \frac{\varphi}{\theta}} \quad (8)$$

经代入验证，对于价值函数形式的猜测是正确的。

三、比较静态分析

我们由(8)式，可知 $\frac{\partial m}{\partial t} = 0$ ，从而得到一个非常重要的结论，在这里作为引理正式提出：

引理 科研人员的努力水平将始终保持不变^[2]。

这个引理表明如果科研条件和相关制度体系给定不变的话，只要科研人员的偏好是稳定的，那么尽管存在科研的内部和外部的不确定性，科研人员的努力水平将不会做动态调整。

而在现实的科研学术界中一个被公认为普遍存在的事实是，不同国家不同学术机构

^[1] 在 $\gamma=0$ 的情况下，如果价值函数还是按照这种猜测，就可以得到： $m = \frac{\theta}{\varphi\delta}$ ，以及

$(1-\beta\delta)\ln I - \theta \ln \frac{\theta}{\varphi\delta} + \theta - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \eta^2 \delta = 0$ ，后式说明 $\delta = \delta(I)$ ，即这种猜测不对；事实上很难求出此时的最优努力水平的解析解，因此为了分析方便，以下讨论都不考虑 $\gamma=0$ 的情形。

^[2] 在王勇(2000)论文中给出了一个相关模型，结论也是科研人员的努力水平将维持不变。

中科研人员的平均努力水平是存在差异的。在许多发达国家中的著名科研机构中，科研人员的平均努力水平要远远高于许多发展中国家的一般性科研机构中科研人员的平均努力水平；事实上即使在同一学术机构中不同科研人员的努力水平也是不一样的。上面这个引理明确指出，如果不改变科研条件与相关制度体系，在科研效用函数稳定的条件下，现有的这种努力水平的差别不会自动放大或者缩小甚至消失，而是会一直存在且保持不变。

接下来我们自然会思考的一个问题是：那么影响科研人员努力水平的因素有哪些呢？是如何影响的呢？

命题1 科研人员的时间紧迫感 (β) 对于最优努力水平的影响取决于科研人员的风险态度。当科研人员风险规避性较小时 (比如 $0 < \gamma < 1$ 时)，若科研人员对于时间的“紧迫感”越强，即更看重近期的科研成果 (β 越大)，则最优努力水平越高，但是当科研人员风险规避系数充分大时 (如 $\gamma < 0$ 时)，以上结论正好相反。且一般而言，在其他条件不变的情况下，科研人员对风险越是厌恶，则最优努力水平就越高。

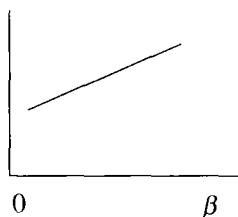
证明：由于 $\theta\gamma > 0$ ，且 $\varphi > 0$ ，所以当 $0 < \gamma < 1$ 时即科研人员对于风险规避程度较小时，

可知 $\theta > 0$ ，显然 $\frac{\partial m}{\partial \beta} = \frac{1}{\varphi\gamma + \frac{\varphi}{\theta}} > 0$ ，反之当 $\gamma < 0$ 时，即科研人员对于风险规避程度较

大时 $\theta < 0$ ，所以 $\frac{\partial m}{\partial \beta} = \frac{1}{\varphi\gamma + \frac{\varphi}{\theta}} < 0$ 。

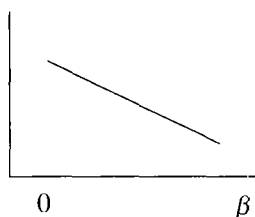
时间紧迫感与最优努力水平之间的关系可见下图：

m (t)



情形一： $0 < \gamma < 1$

m (t)



情形二： $\gamma < 0$

另外，
$$\frac{\partial m}{\partial \gamma} = \frac{\frac{1}{2} \sigma^2 \eta^2 \varphi (-\gamma^2 - \frac{2\gamma}{\theta} + \frac{1}{\theta}) - \beta \varphi}{(\varphi\gamma + \frac{\varphi}{\theta})^2}$$
，当 $\gamma < 0$ 或者 $1/2 < \gamma < 1$ 时¹，该式小于零。

¹这是充分而非必要条件。

事实上如果从事的科研活动不确定性 ($|\eta|$ 或者 σ_z^2) 非常小的话, 则对于在区间 $(-\infty, 0) \cup (0, 1)$ 上的所有的 γ , 都有 $\frac{\partial m}{\partial \gamma} < 0$ 成立。证毕。

命题 1 可以用来部分的解释为什么即使在同一学术机构中不同科研人员的努力水平也是不一样的。这是因为不同的科研人员对于科研风险的态度以及对于获取科研成果的时间紧迫感可能是不同的。一个科研人员越是接近风险中性, 通常也就越敢于从事较有挑战性的科研活动, 此时如果他对于出科研成果的紧迫感越强, 自然也就越愿意付出更大的努力。而如果一个科研人员极度规避风险, 通常也就比较保守, 若过于看重在短期内获得新的科研成果, 而不是长期的科研成果, 则会降低带来负效用的努力水平, 反之, 若越是具有耐心, 则更愿意付出较高的努力水平, 以获取长期的科研成果。由此可见, 科研人员本人的性格特点对于其科研努力水平是具有直接作用的。

如果科研人员之间性格特点的差异可以用来解释在相同环境下不同人之间努力水平的差异的话, 那么又如何解释不同科研机构下不同科研人员努力水平的差异呢?

事实上, γ 的大小不仅可以解释为科研人员本人对于风险偏好程度的一种性格刻画, 而且还可以解释成对科研部门的报酬系统的一种刻画。因此 γ 是可以通过调整科研的报酬制度加以改变的。具体而言, 如果科研部门提高科研人员的物质报酬等待遇, 即通过改变系数 γ 的大小使得在给定科研成果和努力程度的条件下科研的边际效用 $(\frac{I}{m^\theta})^{\gamma-1}$ 得以提

高, 则最优努力水平也将会做出相应调整。更严格地, 由指数函数的性质我们可以得出如下推论:

推论: 当科研效率 (定义为 $\kappa \equiv \frac{I}{m^\theta}$) 较大时 (即 $\kappa > 1$ 时), 改善科研人员的待遇即提

高, 则一般会提高最优努力水平; 而当科研效率较低即 $0 < \kappa < 1$ 时, 改善科研人员的待遇即降低 γ , 则一般会降低最优努力水平。

这个结论告诉我们, 提高对科研人员的报酬并不一定会有效的提高科研人员的努力水平, 增加科研效率, 甚至反而会鼓励偷懒。政策当局应该有区别地调整对科研人员的报酬水平。只有对科研效率较高的科研人员才应该重资鼓励, 提高待遇。而对于科研效率较低的科研人员不宜大幅提高待遇。这样不但有利于一个国家总体的科研投入得以更高效率的利用, 也能提高整个国家的总体科研努力水平。

命题 2 无论科研人员的风险规避性有多强, 科研本身的风险性越高, 或者科研政策波动性越大, 即科研的不确定性越强 ($|\eta|$ 或者 σ_z^2 越大), 则最优努力水平就越高, 但是科研人员的福利水平将会下降。

证明: 由于 $\theta\gamma > 0$, 且 $\varphi > 0$, 可知只要 $\gamma < 1$ 且 $\gamma \neq 0$,

$$\frac{\partial m}{\partial \eta^2} = \frac{-\frac{1}{2}\sigma_z^2\gamma(\gamma-1)}{\varphi\gamma + \frac{\varphi}{\theta}} > 0, \quad \frac{\partial m}{\partial \sigma_z^2} = \frac{-\frac{1}{2}\eta^2\gamma(\gamma-1)}{\varphi\gamma + \frac{\varphi}{\theta}} > 0,$$

则

$$\frac{\partial \delta}{\partial \eta^2} < 0, \quad \frac{\partial \delta}{\partial \sigma_z^2} < 0$$

证毕。

该命题很好地解释了如下现象：为什么从事比较前沿因而风险性较高的研究的科研人员的努力水平普遍要比那些从事非前沿的，风险性较低的科研人员努力水平高得多。进而，我们就不难理解在发达国家中的研究机构中，尤其是在从事尖端技术研究的著名机构中，科研人员往往废寝忘食地努力工作，而大多数发展中国家的科研机构从事的研究并非最前沿最具风险的，因而科研人员的平均努力水平相对要低一些，真实福利水平要更高一些。可见一个国家科研人员的总体的科研努力水平（或可称之为科研风气）与该国所处的科技水平是密切相关的。我们还可以反过来通过观察不同国家科研人员平均努力水平的相对高低来判断这些国家科研技术实力的相对强弱。

命题2还意味着如果科研政策更灵活多变一些，适当的不断调整对于科研机构的资金投入等各方面的政策扶持力度，就可以适当增加科研的不确定性，从而更有利于增强科研人员的忧患意识，进而提高他们的科研努力水平。当然这种不确定性的增加自然会给风险规避的科研人员带来负面影响从而使其福利水平下降，更严重的是有可能会使科研人员退出科研部门，另谋高就。所以需要科研政策足够恰当来尽力将不确定性控制在一个合理的范围内。

命题3 改善科研条件会提高科研人员的福利水平，但是却会趋于降低最优努力程度。

证明：由（7）式，可证明 $\frac{\partial \delta}{\partial \varphi} > 0$ ， $\frac{\partial m}{\partial \varphi} < 0$ 证毕。

与命题1的推论相仿，本命题说明改善科研条件与提高科研人员的物质待遇都不是构成对科研人员进行有效激励的充分条件，盲目这样做反而可能会降低科研人员的最优努力水平。因此在政策当局决定引进先进的研究设备的同时，必须要考虑到科研条件对于科研人员努力水平的替代效应，以求科研条件的恰当改善。

当然，我们讨论科研人员的科研行为最终目的还是为了研究科研成果的形成过程乃至一个国家宏观的科技水平。所以接下来我们考察决定科研成果大小的各种因素。

命题4 一个科研人员的科研成果遵循几何布朗运动，影响科研人员努力程度的各种因素都对于取得科研成果的平均速率产生同向的影响，但是科研条件系数的大小却不影响这个平均速率。

证明：由（2）式，由伊藤公式可知对应的积分方程为：

$$I(t) = I(0) \exp\left\{\left(\varphi m - \frac{1}{2}\sigma_z^2\eta^2\right)t + \eta z(t) - \eta z(0)\right\}, \quad (9)$$

值得注意的是，这里 $I(0)$ 在这里是外生给定的，它的大小决定于科研人员在刚进入科研部门时的初始条件，由于在正式进入科研部门之前，科研人员一般都已经进行过较长时间的人力资本的投资，对于相应的科研活动已经具备了基本的认识，所以这里 $I(0) > 0$ 。

我们已知 科研成果的平均产生速率 $E\left(\frac{dI(t)}{I(t)}\right) = \varphi m$ ，将 (8) 式代入上式后可得，

$$E\left(\frac{dI(t)}{I(t)}\right) = \frac{\beta - \frac{1}{2}\sigma^2\eta^2\gamma(\gamma-1)}{\gamma + \frac{1}{\theta}} > 0. \quad \varphi \text{ 无关。证毕。}$$

由此可见影响最优努力水平的各种因素基本上都对产生科研成果的平均速率有着同向的关系，这里不再一一重复。但是在我们的模型中，科研条件对于科研人员的努力水平所产生的替代效应恰好与科研条件对于科研本身的辅助作用正好互相抵消，所以科研条件对于个人的科研成果是不敏感的。

但是这并不意味着科研条件的提高对于一国的宏观科技进步没有作用，因为一方面这能通过提高科研人员的福利水平而吸引和留住高能的科研人才，从而加强科研队伍；另一方面，如果不存在一个有效的降低努力程度的技术措施，则随着科研的不确定性和难度的不断提高，由命题 2 可知科研人员的最优努力水平也不得不随之趋于无穷大，然而科研人员的努力水平是受生理极限制约的^①，所以改善科研条件的另一个重要功能在于舒缓科研压力，从而为长期的科研提供可行性条件。

事实上现在我们可以严格地证明科研的效率水平 k 是不断上升的：因为 $k \equiv \frac{I}{m^\theta}$ ，而

前面的引理告诉我们最优努力水平 $m(t)$ 保持恒定，命题 4 又证明了科研成果 $I(t)$ 的平均增长速率为正，所以科研的效率水平 k 也是遵循着几何布朗运动，而且可以证明科研效率的

增加速率 $\frac{\dot{k}}{k}$ 与科研成果的增长速率 $\frac{\dot{I}}{I}$ 是相等的。由命题 3 和命题 4 我们还可以很容易证明改善科研条件有利于提高科研效率。

另外值得特别指出的是，从命题 4 中我们知道不确定性的存在使得产生科研成果的平均速率得以提高。这个结论也打破了“不确定性对于科技进步具有负面影响因而应力求避之”的传统的错误观念。既然科研风险程度（既不确定性）与科技进步速度是正相关的，我们就不但可以从历史的角度解释人类科技水平加速发展的事实，而且还可以根据上面的数学证明进一步预言随着科研领域不断向高难度、高风险的方向发展，科技进

^①如果我们在原模型中假定代表性科研人员的努力水平存在一个上限，则当最优努力程度大于这个上限时，就可能会出现合作研究的情形。这就为科研行为中越来越普遍的“团队合作”现象和相关科研人才“集聚”现象提供了部分的解释。而对于科研团队中可能存在的博弈行为以及最优团队规模的确定等问题的深入探讨则需另文专述，这里不再展开。

步的速度会越来越快。

四、结论

本文主要分析了不确定性下的科研行为，特别是证明了不确定性对于理解微观科研行为以至宏观科技进步都具有重要的作用。现代科学技术的发展使得最新的前沿研究具有越来越强的不确定性，这种不确定性的增强不但会促使科研人员的努力水平不断提高，也会导致科技发展的步伐越来越快。本文还对科研报酬制度与科研条件的改善等政策性问题的初步分析，不仅从个性化与制度化的角度解释了为什么在现实世界中不同科研机构，不同科研人员的努力水平会普遍存在明显差异这个现象的原因，而且还提出了相关的政策建议。

本文从理论上证明了报酬制度应该是根据科研人员科研效率的大小进行区别对待而不应盲目的一刀切，这样方能更为有效地提高整体的科研努力水平。尤其是在我国，各个科研机构中的论资排辈、或者搞平均主义的情况虽然已有所减少但是仍然比较严重，对于科研人员的报酬总的来讲还没有完全按照其科研成就和效率的标准来进行安排与分配，这不仅造成科研经费投入的非效率利用，也加重了科研人才的进一步流失。所以改善我国的科研报酬体系刻不容缓。

我们还证明了不能盲目追求科研条件等“硬件”设施的改善，因为这虽然有助于提高科研的效率，但是却可能会降低科研人员的努力水平，并且如果没有其他配套制度的实施，则科研条件的改善对于实际科研成果的大小与科技进步作用并不明显。这就进一步提示我们，要想提高我国的宏观科技水平，不可以只求增加财力投入而忽视相关激励与约束制度的建立。另外，我们认为科研扶持政策不应该一成不变，而是要适当地灵活调整、人为地适当增加“不确定性”，这样做虽然降低了科研人员的福利水平，但是却能有效提高科研人员的努力水平，促进科技进步。

值得强调的是，本文为内生经济增长理论和相应的国际贸易理论中至关重要的科技进步和产品创新提供了最微观意义上的理性行为基础，同时在科研行为中引入不确定性以后所得到的科研成果波动，也为真实周期理论中的外生宏观技术冲击假定(technological shock)寻求到了微观证据，从而具有十分重要的理论意义。

参考文献：

- Adams, James D. 1990. "Fundamental Stocks of Knowledge and Productivity Growth". *J.P.E.* 98 (no 4):673-702
- Aghion, Philippe, and Howitt, Peter, 1992. "A Model of Growth through Creative Destruction." *Econometrica*, Vol.60, No.2 (March,1992):323-351.
- Arrow, Kenneth J. 1962. "The Economic Implications of Learning by Doing". *Review of Economic Studies* 29 (June): 155-173.
- Baumol, William., 1986. "Productivity Growth, Convergence, and Welfare " *A.E.R.* 76(December):1072-1085.
- Dosi, Giovanni, 1988. "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation". *Journal of Economic Literature*. Vol. XXVI (September 1988),pp 1120-1171.
- Dixit, Avinash, and Stiglitz, Joseph E. 1977. " Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity" *A.E.R.* 67(June):297-308.

- Eckaus, Richard .1966, "Notes on Invention and Innovation In Less Developed Countries". *A.E.R*56 (May):98-109 and Discussions:110-117.
- Griliches, Zvi. 1988, "Productivity Puzzles and R&D: Another Nonexplanation." *Journal of Economic Perspectives* 2(Fall):9-21.
- Griliches, Zvi. 1992, "The Search for R&D Spillovers", *Scandinavian Journal of Economics*. Vol.94 .S29-S47.
- Grossman Gene M, and Helpman Elhanan. 1989. " Product Development and International Trade" *J.P.E.* Vol.97, No. 6(December):1261-1283.
- Grossman. Gene M, and Helpman. Elhanan., 1991a. *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge: MIT Press.
- Grossman, Gene M. and Helpman, Elhanan. 1991b, "Quality Ladders in the Theory of Growth", *Review of Economic Studies*. Vol. 58:43-61.
- Jensen. Richard. and Thursby, Marie .1987. "A Decision Theoretic Model of Innovation, Technology Transfer and Trade". *Review of Economic Studies* (1987):631-647.
- Jones, C.I .1995, "R&D-Based Models of Economic Growth", *J.P.E.* Vol.103, 759-784.
- Judd, Kenneth L. 1985, "On the Performance of Patents" *Econometrica*, Vol.53, No.3(May, 1985):567-585.
- King, Robert G, and Rebelo Segrio. 1990. "Public Policy and Economic Growth: Developing Neoclassical Implications". *J.P.E* 98(no.50, part 2):S126-S150.
- Krugman .Paul R, 1979, "A Model of Innovation, Technology Transfer, and the World Distribution of Income. " *J.P.E* 87 (April):253-266.
- Lach, Saul, and Schankerman, Mark., 1989, "Dynamics of R&D and Investment in the Scientific Sector". *J.P.E* 97, (December):880-904.
- Lucas, Robert E Jr., 1988, "On the Mechanics of Economic Development." *Journal of Monetary Economics* 22 (July):3-42.
- Nelson, Richard R, and Phelps Edmund S., 1966, "Investment in Humans, Technical Diffusion, and Economic Growth". *A.E.R.* 56 (May): 69-75.
- Nelson, Richard R., 1982, "The Role of Knowledge in R&D Efficiency". *The Quarterly Journal of Economics*, (August 1982):453-470.
- Nelson, R.R., 1986, "Institutions Supporting Technical Advance in Industry". *A.E.R.* papers and proceedings, 76, 2, (May): 186-189.
- Ngo Van Long, Koji Shimomura. 1999, "Education, Moral Hazard and Endogenous Growth", *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol.23(April):675-698.
- Pakes, Ariel. , 1985, "On Patents, R&D, and the Stock Market Return" *J.P.E* 93(April 1985):390-409.
- Phelps, Edmund S. 1966. "Models of Technical Progress and the Golden Rule of Research." *Review of Economic Studies* 33(April):133-146.
- Romer Paul M., 1986. "Increasing Returns and Long Run Growth". *J.P.E* 94 (October): 1002-1037.
- Romer. Paul M. .1990. "Endogenous Technical Change". *J.P.E* 98 (October, Part2):S71-S102.
- Shell, Karl. 1966. "Toward a Theory of Inventive Activity and Capital Accumulation." *A.E.R*56 (May):62-68.
- Segerstrom, Paul.S, 1991, "Innovation, Imitation, and Economic Growth", *J.P.E.* Vol 99.(August):807-827.
- Solow, Robert M., 1956, "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics*

70 (February): 65-94.

Turnovsky, Stephen. ,1995, *Methods of Macroeconomic Dynamics* M.I.T Press.

Wang Yong, 2002, "A Model of Innovation Under Uncertainty, Technological Transfer, Population and Economic Growth", Mimeo ,CCER, Peking University.

龚六堂, 2000, 《经济学中的优化方法》, 北京大学出版社。

罗伯特·巴罗, 哈维尔·萨拉伊马丁, 2000,《经济增长》, 商务印书馆。

舒元、谢识予等, 1998, 《现代经济增长模型》, 复旦大学出版社。

袁志刚, 1999, 《知识经济学导论》, 上海人民出版社。

王勇, 2000, 《生命周期与科研行为——一个微观动态模型》, 2000年复旦大学学位论文。