

国防 R&D、通用目的技术与经济增长

何昉¹, 曹冰雪², 杨晓维³

(1.中国核科技信息与经济研究院, 北京 100048; 2.中国人民大学 农业与农村发展学院, 北京 100872;
3.北京师范大学 经济与工商管理学院, 北京 100875)

摘要: 研究国防 R&D 支出对经济增长影响的经济理论需要结合技术演化理论,明晰国防部门在技术演化进程中的作用特点。技术发展史分析表明,历史上引致重大技术变革的通用目的技术(GPT)的发明,通常源自国防部门的研发努力,而随着技术演化进程由起步期逐渐迈入成熟期,国防和民用部门中同一 GPT 的技术轨道将由于部门间技术需求的差异而呈现出先趋同后分化的特征。据此,在 GPT 增长框架中正式建模分析国防 R&D 对经济增长的长期影响及主要机制,并通过数值模拟证明,“军民并举”的国家科技资源配置模式在长期中能够实现最优的经济增长绩效。在中国逐步接近国际技术前沿的背景下,继续加大国防研发支出,完善军民科技融合体制机制,将成为中国推动创新驱动发展的重要举措。

关键词: 国防 R&D; 通用目的技术; 军民融合

中图分类号: F062.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2018)03-0113-09

一、文献综述

对国防支出与经济增长关系的研究始于 Benoit (1978)^[1]的实证研究。目前学术界相关的理论研究大多基于资本积累的增长模型研究国防支出对经济产出的动态效应^[2-5]。实际上,从宏观经济角度分析国防支出对经济增长的影响,有必要从经济本质上区别对待国防开支中的不同部分,而对国防开支最直观的分类方式应当基于各类支出的消费和投资属性。从用途角度看,国防支出的构成主要分为人员生活费、活动维持费和武器装备费三大部分,武器装备费又可以进一步细分为武器采购、研发和维护费。人员生活费、活动维持费以及武器装备采购和维护费均属于消费性质,主要影响短期总需求。而从技术发展史看,国防研发能够促进新技术的发展并且引致新技术向民用部门的转移,能够被视为长期投资的最关键部分。但上述研究仅将国防 R&D 的潜在收益归并到可能存在的国防支出外部性之中,没有显式地对国防 R&D 进行建模。这种处理方式会将国防 R&D 的作用与其他因素相混合,不利于清晰把握国防 R&D 对经济增长的影响机制。

美国国防部支持基础研究项目是为了在通信、监视、推进、机动、指挥控制、能源转换、材料和结构等领域获得全新或升级的军事能力。作为对比,Carlaw 和 Lispey (2011)^{[6]563-593} 总结的通用目的技术(GPT)领域则为材料、能源、信息通讯、交通运输、生产组织。由此可见,国防研发的主要技术领域与 GPT 领域间有很大程度的重叠,二者之间存在着紧密的联系。实际上,Ruttan (2006)^[7]对可互换零件、航空技术等七项 GPT 进行的案例分析就认为,国防 R&D 投资在这些 GPT 的发明和早期演化中均发挥了关键作用。

GPT 概念类似 Dosi (1982)^{[8]147-162} 提出的技术范式变迁概念,其提出源于部分关注技术异质性和结构性特征的经济学者对传统内生增长理论的扬弃。Jovanovic 和 Rousseau (2005)^[9]总结 GPT 的 3 个特性分别为:用途普遍性,技术动态性以及创新诱导性。Helpman 和 Trajtenberg (1998)^[10]在一个质量阶梯增长模型中引入了 GPT (HT 模型),模型的长期动态均衡呈现出周期性增长的特性。Aghion 和 Howitt (1999)^[11]在 HT 模型的基础上将 GPT 的发明内生,并通过加入社会学习因素解决了 HT 模型存在的经验局限性。Carlaw 和 Lispey (2006)^[12]在纯知识研究、应用知识研究和消费品三部门经济中将 GPT 发明内生,建立了一个非均衡增长模型。上述模型均赋予技术一个基本结构,改变了传统内生增长理论的建模方式,但仍存在与历史证据不一致的特征,同时也没有考虑伴随技术演化的不确定性。这些缺陷在 Carlaw 和 Lispey (2011)^{[6]563-593} 的模型

收稿日期: 2017-12-04

基金项目: 中国工程院重点咨询项目资助“军民融合深度发展若干重大问题研究”(2017-XZ-01)

作者简介: 何昉(1984—),男,经济学博士,工程师,E-mail:goonerhe2009@163.com

(CL模型)中得到了较好的修正,两位作者将2006年论文的研究框架扩展为多技术领域多GPT同时共存的模型,在增长理论中实现了对技术结构性特征的建模,通过数值模拟得出非均衡非遍历的经济演化过程。

学界对国防R&D进行正式建模的理论研究非常稀缺,也没有将国防R&D与GPT相结合的成果。丰艳和许远利(2005)^[13]在外部性框架下分析了国防技术与民用技术间的双向波及效应。Chu和Lai(2012)^[14]在R&D驱动的内生增长框架中实现了对国防R&D与经济增长之间关系的建模分析。他们的结论表明,在平衡增长路径上,国防R&D支出与经济增长率之间存在“倒U形”关系,最大化增长率的国防R&D水平随着技术转移和溢出效应的增强而提高。上述模型主要基于质量阶梯增长模型,既没有显式考虑国防R&D与GPT之间的联系,也没有考虑技术的结构性特征,因此存在一定的改进空间。

综上所述,GPT是理解西方长期经济增长的关键概念,而国防R&D投资所产生的军用技术与GPT间存在着密切联系,但这个联系目前尚未受到经济学家们应有的重视,目前学界尚无结合技术演化理论和GPT理论讨论国防R&D经济增长效应的研究。本文将遵循上述研究方向进行努力,以期推进学界对国防R&D经济增长效应的研究。

二、理论基础和分析框架

(一)理论框架的技术哲学基础

1.国防用途在GPT领域的先行发展

贝尔纳(2003)^[15]认为,“大部分重要的技术和科学进展是海陆军的需要所直接促成的。”这段话揭示了科学技术国防用途的先行发展特征。刘戟锋(2014)^[16]通过对具有划时代意义的技术突破的分析论证了国防用途在材料、能源、信息等技术领域的先行发展。此外,分析技术发展历史,笔者认为,Carlaw和Lispey(2011)^{[6]563-593}列举的另两个GPT技术领域(交通运输与生产组织领域)也表现出国防用途先行发展的特征。

力量投送和后勤保障是军事战略的关键组成部分。支撑力量投送和后勤保障就是以军事运输能力为基本表征的机动力要素,即是以人员或物品为载体的军事技术系统在三维空间移动的能力。军事运输能力制约着军队的战略战术转移能力,也是军队维持后勤保障的实现前提,历来为各国战争领导与战略规划机构所重视^[16]。国防部门的研发努力和装备需求在航空航天等现代交通运输技术的发明和早期发展中均起到了关键性的作用。

人类军事实践作为一种形式的社会组织具有组织的一般社会特征,但与人类任何其他社会实践活动不同,军事实践一开始就是高度有组织地进行的。军事实践作为一种大规模的物质活动,催生了短时期内对物质生产的巨大需求,这也引导了生产组织与科学管理方法的演进。例如19世纪中期,春田兵工厂为满足军方订单,通过推广标准可互换零配件的方法,在工业界中首次实现大规模流水线等标准化生产组织方式,对美国后来的工业生产实践产生了积极而广泛的影响。科学技术水平决定了生产和管理组织的最佳方式,同时也决定着军事活动的最佳组织形式。因此为了更有效地发挥新技术的军事能力,各国军事部门通常都非常重视探索适应最新科学技术条件的军事活动组织与管理方式,民用部门也可以从军事组织管理创新中获得相关经验借鉴。由此可见,管理组织领域的技术进步在很大程度上也具有国防用途先行发展的特征。

基于以上分析,笔者认为国防R&D投资在GPT的发明和早期演化方面均发挥了关键性作用。如果将首先应用于国防用途,并在国防应用过程中发展成熟的GPT也视作国防部门R&D投资的直接成果,那么可以认为绝大多数产生现代GPT的重大科技进展均源自国防部门的R&D投资。

2.特定GPT在国防与民用部门中技术轨道先趋同后分化

针对两用技术在国防部门和民用部门中的发展轨道进行的比较研究显示,在某项技术的生命初期,国防部门的研发支持和装备采购通常会为民用部门的相应技术发展产生巨大推动,但随着技术的逐渐成熟,国防部门和民用部门对技术发展的需求则会产生明显分化,从而国防技术发展对民用部门技术的推动作用会持续减小^[17-18]。这种现象可以用Dosi(1982)^{[8]147-162}提出的技术范式和技术轨道概念来解释。技术范式决定了技术开发需要解决的问题及方案,技术轨道则可以理解为某个技术范式的发展过程。只要给定技术和经济维度,技术演化主要体现在该技术沿着其技术和经济维度的改善以及技术—经济维度权衡的变化。

一是从技术发展需求上看,国防部门为追求相对敌对国的技术优势往往愿意承受新技术发展和应用的极端不确定性,成本要素在研发决策中往往处于相对次要的位置。相反,市场机制主导下的民用客户对技术

的主要需求一般出自利润动机,关注采用技术的各项成本,所以在技术—经济维度权衡中更看中技术的经济维度。据此,两部门在技术—经济维度权衡中的不同考量必然会导致特定技术在需求牵引的技术演化过程中形成两部门间不同的技术轨道。二是技术演化过程看,在特定技术演化初期,由于科学原理与工程研制等技术应用环境和条件尚未成熟,技术发展前景存在较大的不确定性。在这种条件下,民用部门用户虽然希望了解该项技术的特性,但是其通常缺乏足够的激励开展研发活动。与之相反,国防部门对先进技术的追求使之具有持续在技术维度上提升该项新技术国防用途的较强动因,其研发活动将会对民用部门产生积极的外溢效应,带动新技术在民用用途中技术维度的发展,进而形成了新技术在国防与民用部门中基本趋同的技术轨道。技术不确定性的降低为企业家精神的实现提供了现实条件,因此部分创新者会开始发掘新技术的民用市场潜力,在改善技术的经济维度之后将其推向市场,并持续对技术的经济维度进行改进。随着新技术相关科学与工程等信息逐渐得到认知,国防与民用部门对该技术的使用需求会逐渐得到符合各自部门特征的专门化定义,因此两部门对该项新技术的兴趣通常会在此阶段开始产生分化^[19]。随着新技术在民用部门中的应用不断成熟,生产工艺改进及进一步降低成本便成为了民用部门的发展重点,而此时国防部门虽然可能会采用成熟民用产品以降低采办成本,但为了维持与潜在对手的技术差异,其依然会将技术维度的发展置于首要位置。在随后的技术演化过程中,国防需求与民用需求对技术轨道演化将开始发挥出越来越不同的“聚焦机制”,该项技术在国防与民用部门间技术轨道的分化程度将逐渐加大。

综上,虽然 GPT 在国防与民用部门中具有广泛通用性,但由于国防与民用部门对技术—经济维度权衡存在的本质性差异,特定 GPT 在国防与民用部门中的技术轨道变化依然会服从上述特征。

(二)分析框架

基于上文分析,笔者在 Carlaw 和 Lispey (2011)^{[6]563-593} 列举的 11 个技术结构性特征之外新增加两个特征:第 12 个特征为,现代 GPT 的发明通常源自于国防 R&D 活动,并且国防 R&D 投入资源越多,新 GPT 发明的可能性越大。第 13 个特征为对于特定 GPT,国防 R&D 所引致的国防用途技术效率增长,对该技术的民用用途技术效率发展产生的正向外溢效应将会随着技术发展的不断成熟而逐渐降低。

1.模型总体轮廓

假设存在 X 种不同的 GPT 领域,相应地,经济体中分别存在 X 个国防和民用纯知识研究实验室(分别简称国防和民用实验室)。第 x 个(x 为 $1 \sim X$ 之间的整数)国防(民用)实验室生产第 x 领域的国防(民用)纯知识。每个国防实验室在对应领域随机地发明新 GPT(特征 12)。由于 GPT 的通用性,国防实验室发明新 GPT 同时表明民用部门也有了新 GPT。 n_x 表示第 x 个领域中按时间先后顺序出现的第 n 个 GPT, t_{n_x} 代表 n_x 个 GPT 的发明时间。应用知识生产部门有 Y 个民用应用知识研究机构和—个国防应用知识研究机构(以下分别简称“民用机构”和“国防机构”)。各机构分别在每个领域选择一个 GPT 作为生产投入。消费品部门中存在 I 个民用消费品生产行业(简称民用行业)和—个国防消费品生产行业(简称国防行业),各行业利用应用知识生产各自的独特消费品。在第 t 期时第 n_x 个 GPT 满足国防和民用用途的技术效率分别为 $(G_{n_x}^m)_t$ 和 $(G_{n_x}^c)_t$,其演化方式在下文中设定。GPT 生产效率的变化影响已引入该 GPT 的机构的生产效率以及尚未引入该 GPT 的机构对 GPT 的选择决策。各机构使用 GPT 的实际生产效率等于一个反映技术应用不确定性的独立随机作用参数 v 乘以该 GPT 满足机构所属用途的技术效率。当新 GPT 发明后,每个机构就是否需要引入新 GPT(挑战者)代替当前 GPT(在位者)进行决策。由于技术的不确定性,机构无法完全预知挑战者和在位者未来的演化路径,因此本文假定机构将根据两者当期的实际生产效率进行选择。应用知识被分为两个部分,其中占总量 μ 比例的部分为消费部门所使用,其余部分则为纯知识部门使用。

假设经济中存在固定数量为 R 的所有生产部门都必需的要害资源。政府根据外生给定的比例将部分要素资源配置于所有国防相关部门以及民用实验室,余下要素资源则由最大化自身利益的私人主体配置于民用机构和民用行业之中。基于竞争性市场和—技术的不确定性,假定私人主体遵循如下行为模式:(1)私人主体均是价格接受者。(2)私人主体处于奈特不确定性环境下。(3)私人主体只能在当前价格条件下做出不可逆的静态决策,在以后的每一期中均需根据新的价格条件进行重新决策。

2.应用知识和消费品生产部门

在第 t 期,民用机构 y (y 为 $[1, Y]$ 中的整数)的应用知识产出 α_y^y 该机构中的资源投入 r_t^y 及其生产效率参数决定。 y 机构的生产效率参数主要由该机构正在使用的各 GPT 的民用技术效率和作用参数 v 决定,具体

的生产函数为

$$\alpha_t^y = \left[\prod_{x=1}^X (v_z^{u_x^y} (G_{u_x^y}^c)_{t-1})^{\beta_x} \right]^{\frac{1}{X}} (r_t^y)^{\beta_{X+1}} \quad \beta_x \in (0, 1] \forall x \in X \quad \beta_{X+1} \in (0, 1] \quad (1)$$

其中, u_x^y 为 y 行业使用的 x 类 GPT 的序号。CL 模型假定应用知识是具体化到人力和物质资本中的, 因此具体化应用知识的总资本存量积累方程为

$$A_t^y = \alpha_t^y + (1-\varepsilon)A_{t-1}^y \quad (2)$$

其中, A_t^y 为 y 机构第 t 期的应用知识存量; ε 为应用知识的折旧率参数。

类似地, 国防机构的产出由使用 GPT 的国防技术效率、作用参数和资源投入 r_t^m 决定

$$\alpha_t^m = \left[\prod_{x=1}^X (v_z^{u_x^m} (G_{u_x^m}^m)_{t-1})^{\beta_x} \right]^{\frac{1}{X}} (r_t^m)^{\beta_{X+1}} \quad (3)$$

$$A_t^m = \alpha_t^m + (1-\varepsilon)A_{t-1}^m \quad (4)$$

其中, α_t^m 为第 t 期国防机构的应用知识产出; A_t^m 为国防机构的应用知识总存量。

假设 $I=Y$, 并且民用机构 y 积累的应用知识仅适用于与之相等序号的民用行业 i , 国防机构的应用知识只适用于国防行业。由此, 民用行业 i 的生产函数表示为

$$c_t^i = (\mu A_{t-1}^y)^{\alpha_y} (r_t^i)^{\alpha_{Y+1}} \quad (5)$$

其中, c_t^i 表示行业 i 在第 t 期时的产出; $\alpha_y \in (0, 1] \forall y \in Y, \alpha_{Y+1} \in (0, 1]$; r_t^i 表示 i 行业中的资源投入。类似地, 国防行业的生产函数则为

$$d_t = (\mu A_{t-1}^m)^{\alpha_m} (r_t^d)^{\alpha_{Y+1}} \quad (6)$$

其中, d_t 表示国防行业的国防消费品产出; r_t^d 则为国防行业中的资源投入。

各民用和国防机构分别根据 GPT 本用途技术效率在每个领域选择一个 GPT 进行生产。初始每个机构均被设定为使用各领域的第一个 GPT。随着时间的推移, 新 GPT 逐渐被发明, 只要没有全部采用所有领域的最新 GPT, 那么机构就面临 GPT 的选择决策。 x 领域最新 GPT 的序号是 n_x , 则该领域中上一个发明的 GPT 序号为 $n-1$, 其发明时间则为 $t_{(n-1)x}$ 此外, 令 $(t-1)_{n_x}$ 代表 n_x 个 GPT 发明日期的上一期。类似 CL 模型, 本文用一个 $Y \times X$ 维参数矩阵(运行 v 阵)来表示不同机构当前使用的各领域 GPT 对其的作用参数。令 $v_z^{u_x^y}$ 为当前使用的 x 领域 GPT 对机构 y 的作用参数, 下标 z 表示引致当前机构 y 在运行 v 阵参数的 GPT 领域序号, 即其最新引入 GPT 的所属领域。对于机构来说, 同一领域的不同 GPT 与其他领域 GPT 之间的互补程度可以不同, 新 GPT 的使用会同时改变其他领域在用 GPT 的作用参数。对此本文设定每个新发明的 GPT 均会伴随产生一个 $Y \times X$ 维的潜在作用参数矩阵(潜在 v 阵), 以表示该 GPT 对各使用机构各领域 GPT 的作用参数的修正。只有当机构 y 使用新 GPT 时, 其才知道潜在 v 阵的具体值。当机构在不完全信息下进行 GPT 选择决策时, 首先需要形成对潜在 v 阵的预期 \bar{v} 。本文假定各机构只能准确预见挑战者所属领域对应的作用参数, 即机构将(可能是错误地)假定挑战者与正在使用的其他领域 GPT 之间的互补程度与在位者一致。因此, 当式(7)满足时, 民用机构 y 选择挑战者代替在位者。国防机构的选择机制与之类似。

$$\left[\bar{v}_x^{n_x} (G_{n_x}^c)_t \right] > \left[v_z^{u_x^y} (G_{u_x^y}^c)_t \right] \quad y \in [1, Y] \quad (7)$$

初始将运行 v 阵的所有元素均设为 1。为了模型的简便性, 本文将每个新发明 GPT 对应的潜在 v 阵的数值均设定为由在区间[0.5 1.5]上服从均匀分布的随机变量生成。

3. 纯知识生产部门

每个国防实验室生产各自 GPT 领域内的国防纯知识, 其生产率参数由所有民用和国防机构中适用于纯知识部门的应用知识存量的几何平均值决定。第 x 国防实验室的国防纯知识的产出 g_t^{mx} 与其要素资源投入 r_t^{mx} 的具体关系如下

$$g_t^{mx} = \left[\prod_{y=1}^Y ((1-\mu)A_{t-1}^y)^{\sigma_y} * ((1-\mu)A_{t-1}^m)^{\sigma_{Y+1}} \right]^{\frac{1}{Y+1}} * (\theta_t^x r_t^{mx})^{\sigma_{Y+2}} \quad \sigma_y \in (0, 1] \quad \sigma_{Y+1} \in (0, 1] \quad \sigma_{Y+2} \in (0, 1] \quad (8)$$

其中, θ_t^x 被设为在区间 $[0.9, 1.1]$ 服从均匀分布的随机变量, 该变量反映了纯知识生产活动产生潜在有用知识数量的不确定性。

国防实验室 mx 随机地发明新 x 领域 GPT, 新 GPT 的发明主要由一个随机变量 λ_t^x 的抽签值决定。为反映国防实验室的资源投入与新 GPT 发明之间的正相关关系, 设存在 r_t^{mx} 的递增凹函数 $f(r_t^{mx})$ 。当 $\lambda_t^x \times f(r_t^{mx}) \geq \lambda_t^{*x}$ 时 (λ_t^{*x} 为一常数), x 领域一个新 GPT 就被发明出来。将 λ_t^x 设为在区间 $[0, 1]$ 内服从贝塔分布的随机变量, 其概率密度函数为

$$\beta(x|\psi, \eta) = \frac{x^{(\psi-1)}(1-x)^{(\eta-1)}}{B(\psi, \eta)} \tag{9}$$

其中, $B(\psi, \eta)$ 是以正整数 ψ 和 η 为参数的贝塔函数。

国防实验室 mx 的国防潜在有用纯知识存量 Ω_t^{mx} 的积累方程为

$$\Omega_t^{mx} = g_t^{mx} + (1-\delta)\Omega_{t-1}^{mx} \tag{10}$$

其中, δ 为纯知识的折旧率。每个 GPT 的国防技术效率以发明当期国防潜在有用纯知识存量为极限按照 logistic 形式演化。以第 n_x 个 GPT 为例, 其国防技术效率的演化如下所示

$$(G_{n_x}^m)_t = (G_{(n-1)_{n_x}}^m)_{(t-1)_{n_x}} + \left(\frac{e^{\tau+\gamma(t-t_{n_x})}}{1+e^{\tau+\gamma(t-t_{n_x})}} \right) [\Omega_{t_{n_x}}^m - (G_{(n-1)_{n_x}}^m)_{(t-1)_{n_x}}] \tag{11}$$

其中, τ 和 γ 为控制技术扩散的校准参数。式(11)表明, 新 GPT 国防技术效率的初始值接近于其发明时间前一期上一个 GPT 的国防技术效率值, 然后以递增 logistic 形式逐渐接近其极限技术效率。

类似地, 民用实验室 cx 的民用纯知识生产函数和潜在有用纯知识积累方程为

$$g_t^{cx} = \left[\prod_{y=1}^Y [(1-\mu)A_{t-1}^y]^{\sigma_y} \times [(1-\mu)A_{t-1}^m]^{\sigma_{Y+1}} \right]^{\frac{1}{Y+1}} \times (\theta_t^x r_t^{cx})^{\sigma_{Y+2}} \tag{12}$$

$$\Omega_t^{cx} = g_t^{cx} + (1-\delta)\Omega_{t-1}^{cx} \tag{13}$$

为了对 GPT 国防与民用技术效率之间的关系进行建模, 同时不使模型过于复杂, 采用以下简单形式设定 GPT 国防技术效率演化对民用技术效率影响的方式

$$(G_{n_x}^{mic})_t = \begin{cases} ga \times (G_{n_x}^m)_t & \text{if } 1 \leq t - t_{n_x} < 10 \\ gb \times (G_{n_x}^m)_t & \text{if } 10 \leq t - t_{n_x} < 40 \quad gb > ga > gc \\ gc \times (G_{n_x}^m)_t & \text{if } t - t_{n_x} \geq 40 \end{cases} \tag{14}$$

其中, $(G_{n_x}^{mic})_t$ 和 $(G_{n_x}^m)_t$ 分别表示第 t 期由于 GPT n_x 的国防技术效率增长带动的民用技术效率增长值和第 t 期 GPT n_x 的国防技术效率的增长值。式(14)表明, 国防部门发明新 GPT 后一般会选择对其采取严格的保密措施, 这会限制本国民用部门对新技术的了解, 降低国防技术效率的增长对民用技术效率的拉动。第二阶段是两种用途技术轨道的趋合阶段, 此时国防技术效率增长对民用技术效率增长的促进作用最大; 第三阶段则是两种技术轨道的分化阶段, 此时相应的促进作用最小。

那么, GPT n_x 的民用技术效率以发明当期民用纯知识存量为极限的演化形式可以表示为

$$(G_{n_x}^c)_t = \begin{cases} 0 & \text{if } t - t_{n_x} < 10 \\ (G_{(n-1)_{n_x}}^c)_{(t-1)_{n_x}} + \left(\frac{e^{\tau+\gamma(t-t_{n_x})}}{1+e^{\tau+\gamma(t-t_{n_x})}} \right) [\Omega_{t_{n_x}}^m - (G_{(n-1)_{n_x}}^m)_{(t-1)_{n_x}}] + \sum_{l=t_{n_x}}^{l=t} (G_{n_x}^{mic})_l & \text{if } (G_{n_x}^c)_t \geq \Omega_{t_{n_x}}^{cx} \\ \Omega_{t_{n_x}}^{cx} & \text{if } (G_{n_x}^c)_t \geq \Omega_{t_{n_x}}^{cx} \end{cases} \tag{15}$$

式(15)表明新 GPT 在保密措施取消后开始向民用部门转移。在扩散过程中, GPT 国防技术效率的提高在不同阶段会不同程度地带动民用技术效率的提高, 直到民用技术效率达到自身极限。

在本模型中, 由于应用知识被具体化到资本品中, 所以其生产可以被直接视为资本积累。由于纯知识是

应用部门的中间投入,因而按照国民经济核算惯例,本文将纯知识部门的产出用该部门的要素资源收入作为度量。因此总民用经济的当期 GDP 等于民用机构和行业的当期产出加上民用实验室中要素资源的当期总报酬。总国防部门的产出与之类似。

4.私人资源配置

私人资源配置方式类似 CL 模型。假设存在一个在 I 种消费品上可加的总效用函数 U_t ,民用行业的产品价格就由最大化该效用函数的私人行为决定。

$$U_t = \sum_{i=1}^I (c_t^i)^{\Phi^i} \quad \Phi^i = \Phi^{i'} = 1 \quad i \neq i' \forall i \quad i' \in I \tag{16}$$

最大化式(16)的一阶条件为

$$\frac{MU_t^{i=1}}{MU_t^{i \neq 1}} = \frac{P_t^{i=1}}{P_t^{i \neq 1}} = \frac{\Phi^{i=1} (c_t^{i=1})^{\Phi^{i=1}-1}}{\Phi^{i \neq 1} (c_t^{i \neq 1})^{\Phi^{i \neq 1}-1}}$$

假设要素市场是完全竞争的,加上整体经济的资源约束即可完成模型的全部设定

$$R = \sum_{i=1}^I r_t^i + \sum_{x=1}^X r_t^{cx} + \sum_{y=1}^Y r_t^y + \sum_{x=1}^X r_t^{mx} + r_t^m + r_t^d \tag{17}$$

各民用行业在其产品市场价格 P_t^i 、对应民用机构的应用知识市场价格 P_t^y 和要素资源报酬 ω_t 给定的条件下最大化行业利润为

$$\pi_t^i, \pi_t^y = P_t^i c_t^i - \omega_t r_t^i - P_t^y A_{t-1}^y$$

设 $P_t^i = 1$,则各民用行业对资源需求的表达式为

$$r_t^{i*} = \left[\frac{\alpha_{Y+1}}{\omega_t} (\mu A_{t-1}^y)^{\alpha_y} \right]^{\frac{1}{1-\alpha_{y+1}}} \tag{18}$$

假设 GPT 由公共部门无偿供给,则民用机构 y 的利润表达式为

$$\pi_t^y = P_t^y \alpha_t^y - \omega_t r_t^y$$

民用机构 y 的要素资源需求表达式可以表示为

$$r_t^{y*} = \left[\beta_{X+1} \left[\sum_{x=1}^X [v_z^{u_x^y} (G_{t-1}^c)_t] \right]^{\frac{1}{\beta_x}} \frac{P_t^y}{\omega_t} \right]^{\frac{1}{1-\beta_{x+1}}} \tag{19}$$

由以上私人要素资源需求函数和价格函数,得到了模型中私人资源配置的完整画面。

三、模型应用:国家科技资源配置模式比较

由于模型的结构复杂性及存在诸多随机变量,我们将利用数值模拟方法,对比分析“重军轻民”“军民并举”以及“重民轻军”3种国家科技资源配置模式对模型经济体长期经济增长的影响。

(一)参数校准

本模型没有考虑国别间的技术扩散,实际中发展中国家可以通过引进技术领先国家的 GPT 维持其长期经济增长。因此从理论上来看,本模型更适用于研究技术领先经济体的内生技术进步与经济长期增长问题。参照 Carlaw 和 Lipsey (2011)^{[6]563-593} 的参数设定,对应于发达国家的经济增长特征事实选择相应的参数和初始条件,具体数值如表 1 所示。

表 1 数值模拟参数和初始条件

	$I=3$	$X=3$	$Y=3$	$\lambda^*=0.66$
	$\alpha_y=1 \forall y \in [1, Y]$	$\alpha_{y+1}=0.3$	$R=1\ 000$	$\mu=0.95$
参 数 值	$\sigma_y=1 \forall y \in [1, Y]$	$\sigma_{y+1}=1$	$\sigma_{Y+2}=0.3$	$\tau=-7$
	$\Phi=1 \forall i \in [1, I]$	$\varepsilon=0.025$	$\delta=0.025$	$\gamma=0.07$
	$\beta_x=1 \forall x \in [1, X]$	$\beta_{X+1}=0.3$	$\psi=4$	$\eta=10$
	$ga=0.2$	$gb=0.4$	$gc=0.05$	
初 始 条 件	$(G_n^c)_0=1 \forall x \in [1, X]$	$A_0^y=1 \forall y \in [1, I]$	$A_0^m=1$	$n_x=1$
	$(G_n^m)_0=1 \forall x \in [1, X]$	$P_0^i=1 \forall i \in [1, I]$	$t_n=2$	$\theta_0^x=1$
	$u_y^x=1$	$\omega_0=1$	$v_{y,z}^u=1 \forall x \in [1, X] \forall y \in [1, Y]$	

为了简便性,本文假设对于“重民轻军”“军民并举”和“重军轻民”3种国家科技资源配置模式,函数 $f(r_t^{mx})$

的实现值分别为0.98、1.0和1.01^①。3种模式的资源配置如表2所示。表2中的数值表示相应部门资源投入占GDP的比重。在表2中,国防和民用基础研究代表模型中的国防和民用纯

知识生产;国防非研发支出表示国防经费中非研发用途的支出,反映了模型中的国家在国防消费品部门中的投入资源水平。本文为“军民并举”模式设置的国防负担为5.8%。该值适中地反映了存在外部威胁的条件下,国家在强化国防建设方面的资源投入水平。选择该种模式的政府较为重视对国防科技的投资,但同时也将较多的科技资源投入到了民用基础研究部门之中。“重军轻民”模式有最高的国防负担,反映了国家为维护安全利益而进行的高水平军力建设投入。选择该种模式的政府高度重视国防科技的研发,但对民用研发项目的热情则远低于国防项目。选择“重民轻军”模式的国家保持了1.0%的国防负担,其在国防基础研究和国防应用研发项目中的投入远低于其他两种模式,但却高度重视民用部门的基础研究工作。本文数值模拟的主要目的在于比较不同国家科技资源配置模式选择对国家民用经济产出的长期影响。以上设定较为显著地反映了3种模式间的差别,能够满足研究目的。

(二)数值模拟结果与分析

本文主要比较资源配置模式对民用经济产出及其增长率长期趋势的影响。笔者进行了200次数值模拟实验,每一轮模拟均在统一的参数设定下首先对“军民并举”模式进行,然后将该轮“军民并举”模式模拟中所有随机变量的实现值存储下来,直接用于本轮其他两种模式的模拟。民用经济产出和民用经济产出增长率的模拟结果平均值分别如图1和图2所示。各图中横轴表示数值模拟运行的期数,纵轴表示相应变量的实现值。

分析数值模拟结果以及图1、图2可以发现:(1)虚拟经济体能够在长期中实现民用经济产出绝对量的持续增长,这符合当前经济学家们的普遍认识;(2)虚拟经济体的民用经济产出增长率在长期中存在着周期性波动行为,但经济体民用经济产出增长率的长期趋势在不同的国家科技资源配置模式下均收敛于特定水平,其中“军民并举”模式的收敛增长率最高,“重军轻民”次之。总体上看,本模型保持了CL模型等GPT增长模型中的大部分经济行为特征。

利用图1和图2还可以从长期民用经济产出角度对不同国家科技资源配置模式的经济增长绩效进行比较。从图1可以看到,对于一个技术领先国家,当给定模型参数和随机变量取值且不考虑国际技术转移时,选择“军民并举”模式能够在长期中实现最高的民用经济产出,即便在初期阶段其民用产出会因为相对较高的国防部门投入而低于“重民轻军”模式。由于国防与民用部门中科技资源的均衡配置和中等程度的国防负担,“军民并举”模式相对于“重军轻民”模式拥有民用经济发展领域的更多可用资源以及更高的GPT民用用途技术潜力,对国防科技研发的较高投入又使其相对于“重民轻军”模式拥有发明新GPT的更高可

表2 科技资源配置模式

配置模式	国防基础研究	国防应用研究	国防非研发支出	民用基础研究
军民并举	0.18	0.52	5.1	0.49
重军轻民	0.5	2.11	14.5	0.20
重民轻军	0.02	0.08	0.97	0.35

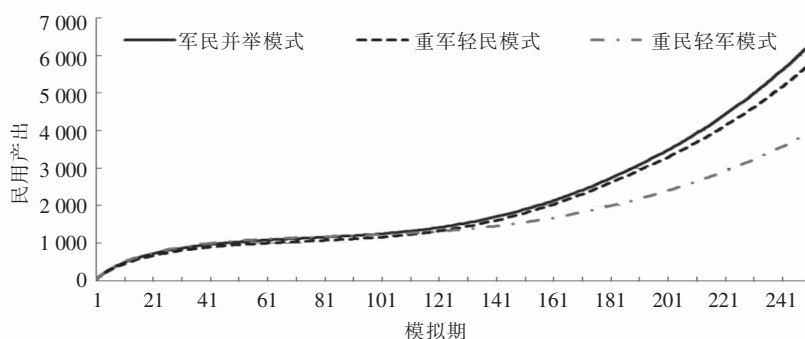


图1 科技资源配置和民用经济产出

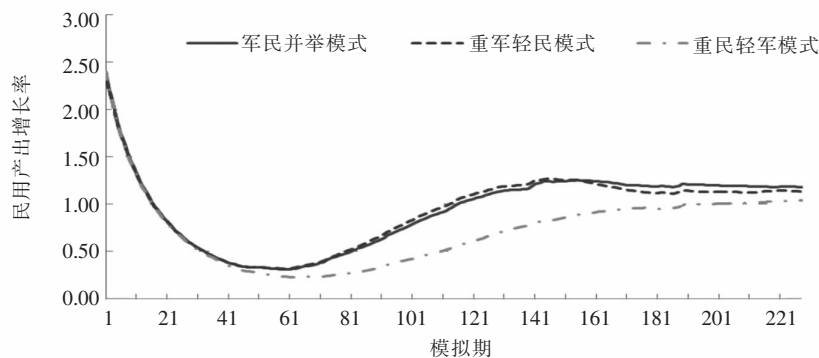


图2 科技资源配置模式和民用经济产出增长率

^①函数的简单形式是基于简便性的考虑,敏感性检验显示只要函数为凹且函数值相差不大就不会影响最终结论。

能性。因此“军民并举”模式能够在控制国防消耗对民用经济发展资源攫取的基础上,更好地实现长期经济增长目标。“重民轻军”模式虽然在初期因为民用领域更多的资源投入而拥有最高的民用经济产出,但是其低水平的国防研发投入导致新 GPT 发明的可能性大大降低。随着时间的推移,当现有 GPT 的技术潜力逐渐达到极限后,“重民轻军”模式的民用经济产出增长会发生一定程度的停滞(表现为图 2 中该模式在中段时期较低的民用经济产出增长率),其民用经济产出会被逐渐引入新 GPT 的其他两种模式超越。另外值得一提的是,该种模式下的军品消费水平最低,还可能对国家安全产生消极影响。最后,归因于民用部门的低投入,“重军轻民”模式的民用经济产出在初期会长期低于其他两种模式,但国防研发的高投入使之能够以最大的概率发明新 GPT。因而在同等条件下,随着国防部门中新 GPT 的不断涌现,先进国防技术的经济潜力将会逐渐在民用经济中得以实现,从而“重军轻民”模式的民用经济产出从长期来看能够超过缺乏重大技术创新机会的“重民轻军”模式。但是,虽然具有相对更高的 GPT 发明概率,“重军轻民”模式的长期民用经济产出通常会一直低于“军民并举”模式。这是因为“重军轻民”模式在民用基础研究方面较低的资源投入限制了其 GPT 民用用途的技术潜力,从而也制约了其民用经济部门的经济产出能力。

综上,如果一个技术领先国家选择“军民并举”的科技资源配置模式,在保持一定程度的国防 R&D 投资水平的同时,建立起运转流畅的技术“军转民”渠道,促进国防与民用部门在技术发展方面的优势互补,则其不仅能够具备维护安全利益的有效力量,并且能够收获最优的长期经济增长绩效。

四、基本结论和政策含义

本文以两个有关国防 R&D 的技术结构性特征为基本假定,在 Carlaw 和 Lipsey(2011)^{[6]563-593} 的 GPT 增长模型基础上,对国防 R&D 投资通过促进新 GPT 发明及其早期演化,进而促进经济持续增长的完整作用链条进行了正式建模。通过数值模拟,本文分析了模型的经济行为特征,并对虚拟经济体在 3 种不同国家科技资源配置模式选择下的长期民用经济增长绩效进行了比较。结果表明,“军民并举”科技资源配置模式相对“重民轻军”模式具有更高的 GPT 发明概率,相对“重军轻民”模式又具有更高的 GPT 民用用途技术潜力,因此能够实现最优的长期经济增长绩效。而“重民轻军”模式不仅可能潜在地损害国家安全利益,其在长期经济增长绩效方面也表现不佳。因此,技术领先国家的政策部门必须平衡 GPT 技术领域内国防与民用用途的研发投入,保证 GPT 的演化在满足国防需求的同时,在民用经济中也能够保持持续扩散,最终达到经济与国防建设相协调的理想目标。

中国目前已经成为世界第二大经济体,国家科技水平逐渐接近世界技术前沿。随着自主创新战略的推进和经济增长方式的转变,中国的技术创新模式也将逐步从技术引进吸收的追随者模式过渡到内生技术创新的领先者模式。本文的理论分析表明,在当前阶段中国政策制定者应该采取增加国防开支规模,优化国防支出结构,推动 GPT 领域的军民高新技术双向转移等措施,发挥国防支出对经济增长的促进作用。首先从支出规模角度看,虽然中国国防经费近年来一直保持着较高增速,但 2017 年中国国防负担仍然仅为 1.3%,比日本(1%)高 0.3%,仅为美国(4.4%)和俄罗斯(4.4%)的三分之一。因此中国的国防费规模有必要继续保持大于 GDP 增幅的增长态势,并适度向高新技术装备采办方向倾斜。这样既能在领土海争端频发的复杂安全环境下巩固国家安全,维护国家主权,又能通过提供高新技术产品需求培育和促进高新技术产业的发展,打造新的经济增长点。从国防开支的结构上看,中国目前的国防开支结构基本呈现“三三制”,即人员生活费、活动维持费和装备采办费各占 1/3。假设国防 R&D 支出占装备采办费的比例为 20%,那么总国防 R&D 支出仅占 GDP 的 0.092%,大致相当于文中“重民轻军”模式的科技资源配置。从本文的分析看,这样低水平的国防科技资源配置强度不仅难以保证不结盟国家在复杂形势下的武器装备数量和质量需求,而且对国家整体科技水平提升和民用经济的长期增长也有不利影响。因此,中国应该加大在关键国防技术领域的研发资源投入,加强国防科技人才培养,实现国防关键技术的突破与发展。此外,中国还需要立足不同技术生命周期特点的分析,探索建立适应基本国情的军民科技协同创新管理体制和运行机制。在满足安全保密需求的同时,积极开展国防(尤其是五大 GPT 领域)新技术民用用途的基础性预研工作,建立国防技术风险投资基金,在适当的技术发展阶段培育能够应用国防新技术获利的市场主体,促使国防和民用部门在技术全寿命周期中形成良好的互动关系。

参考文献:

- [1] BENOIT E. Growth and defense in developing countries[J]. *Economic Development and Cultural Change*, 1978, 26(1): 271-280.
- [2] 刘涛雄, 胡鞍钢. 外部掠夺下的国防开支与经济增长[J]. *经济学(季刊)*, 2008, 7(4): 1335-1354.
- [3] GONG L T, ZOU H F. Military spending and stochastic growth[J]. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2003, 28(2003): 153-170.
- [4] SHIEH J, LAI C, CHANG W. The impact of military burden on long-run growth and welfare[J]. *Journal of Development Economics*, 2002, 68(2): 443-454.
- [5] 葛勇智, 侯光明. 国防科技研发对国民经济增长溢出效应评价研究[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2010, 12(5): 9-12.
- [6] CARLAW K, LIPSEY R. Sustained endogenous growth driven by structured and evolving general purpose technologies[J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 2011, 24(4): 563-593.
- [7] RUTTAN V. Is war necessary for economic growth? military procurement and technology development[M]. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- [8] DOSI G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change[J]. *Research Policy*, 1982, 11(3): 147-162.
- [9] JOVANOVIĆ B, ROUSSAU P. General purpose technologies[C]//Aghion P, Durlauf S. *Handbook of Economic Growth*. Amsterdam: North-Holland, 2005: 1182-1224.
- [10] HELPMAN E, TRAJTENBERG M. A time to sow and a time to reap: growth based on general purpose technologies[C]// HELPMAN E. *General Purpose Technologies and Economic Growth*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- [11] AGHION P, HOWITT P. On the macroeconomic effect of major technological change[J]. *Nordic Journal of Political Economy*, 1999, 25(1999): 15-32.
- [12] CARLAW K, LIPSEY R. Gpt-driven, endogenous growth[J]. *The Economic Journal*, 2006, 116(508): 155-174.
- [13] 丰艳, 许远利. 国防科研投资对经济增长效应的模型分析[J]. *军事经济研究*, 2005(7): 21-23.
- [14] CHU C, LAI C. On the growth and welfare effects of defense R&D[J]. *Journal of Public Economic Theory*, 2012(3): 473-492.
- [15] 贝尔纳. 科学的社会功能[M]. 陈体芳, 译. 桂林: 广西师范大学出版社, 2003.
- [16] 刘戟锋. 军事技术论[M]. 北京: 解放军出版社, 2014.
- [17] BUZAN B, SEN G. The impact of military research and development priorities on the evolution of the civil economy in capitalist states[J]. *Review of International Studies*, 1990, 16(4): 321-339.
- [18] MOWERY D. National security and national innovation systems[J]. *The Journal of Technology Transfer*, 2009, 34(5): 455-473.
- [19] COWAN R, FORAY D. Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development[J]. *Research Policy*, 1995, 24(6): 851-868.

Defense R&D, General Purpose Technology and Economic Growth

HE Fang¹, CAO Bingxue², YANG Xiaowei³

(1. China Institute of Nuclear Information & Economics, Beijing 100048, China; 2. School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 3. Business School, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstracts: Analysis of the impact of defense R&D on economic growth must take into account the theory of technology evolution. The history of technology development shows that the inventions of general purpose technology (GPT) in history often can be attributed to R&D endeavors of national defense departments. Although with the dual-use character, the GPT's technological trajectories in the defense and civilian sectors start with convergence, and then they will become more and more divergent as technology matures. Based on these insights, a formal GPT-driven model was constructed to analyze the impact of defense R&D on economic growth. Numerical simulation shows that due to a more balanced resources allocation between defense and civilian fundamental research sectors, civilian-military integration national science and technology resources allocation mode can achieve the best growth performance in the long term. Today, China is approaching the international technology frontier. To accelerate and smooth the transition into an innovation-driven economy, it is necessary for China to increase the defense R&D outlay continuously and build a well-functioning military-civilian integrated technology base.

Key words: defense R&D; general purpose technology; military-civilian integration

[责任编辑:孟青]