

技术势差、要素替代与制造业核心技术突破

——基于系统动力学模型的理论分析

吴致冶,安同良

(南京大学 商学院,江苏 南京 210093)

[摘要]在有限的前沿技术公开度之下,巨大的技术势差是制约中国制造业核心技术突破的重要原因。从宏观上讲,经济和技术政策均会对技术变革产生一定的影响。从微观上讲,核心技术突破所获得的持续利润增长决定了企业技术研发的创新投入动机。利用产品质量模型并借鉴L-V理论,引入前沿技术势差、要素替代弹性等关键变量构建系统动力学模型,研究发现:较为宽松的技术竞争环境能够带来更高的研发产出效率,而降级技术势差初始门限值则能激发企业较高的研发投入动机;相反,要素替代弹性的上升则不利于研发投入的产出效率增加。为此,中国制造业核心技术的创新和突破,不仅需要宽松的技术竞争环境,还需要降低与国际前沿技术之间的势差。

[关键词]技术势差;前沿技术公开度;要素替代;Lotka-Vottera模型;系统动力学模型

[中图分类号]F129.9;F207 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1004-4833(2022)06-0104-13

一、引言

复杂经济学创始人、美国著名创新经济学家布莱恩·阿瑟在《技术的本质》中写道,“经济是技术的一种特定表达,并且随着这些技术的进化而进化。”“任何新技术都是在现有技术的基础上发展起来的,现有技术又来源于先前的技术”^[1]。将技术进行功能性分组,不仅可以大大简化设计过程,而且通过这些技术的模块化“组合”和“递归”,形成复杂技术创新系统。英国学者玛丽安娜·马祖卡托在其名著《创新型政府:构建公共与私人部门共生共赢关系》中也写道,“苹果公司并非致力于开发新技术和新部件,而是致力于整合新部件和新产品”^[2]。苹果公司展现出的强大能力与三个方面密切相关:识别潜力巨大的新兴技术;应用复杂的工程技术,这些技术成功地整合了公认的新兴技术;企业愿景明确,以设计导向的产品开发为中心,提升用户满意度。还有,马斯克SpaceX、Starlink、Hyperloop、SolarCity以及OpenAI等全球科技前沿公司,瞄准太空战略,抢滩交通和未来发展需求,展现出了前所未有的独创能力,成为最有影响力的美国国家战略科技力量。以上案例均表明,制造业核心技术突破是一项复杂的系统性工程,不仅要考虑该技术在世界前沿技术中的位置,而且要考虑组合技术的各种要素之间的融合与替代。

与之相对比,改革开放以来,中国秉持着引进、消化、吸收再创新的技术开发战略,对外经济和技术联系虽然日益紧密,但制造业整体技术水平尤其是关键核心技术的创新能力与国际先进制造业相比还存在着非常大的差距,主要表现为产品附加值不高、制造业核心部件缺失、研发水平层次不高。近两年来,受到新冠疫情的冲击加上美国技术脱钩风险的加剧,当初依靠资源要素投入、规模扩张的粗放发展模式更是难以为继。虽然《中国制造2025》规划纲要所提出的要将制造业关键技术突破和“创新驱动”作为基本方针,并且明确了要以新一代信息技术、高档数控机床和工业机器人、新材料和新能源汽车等重点领域为战略抓手。但在现实中,中国虽然拥有了较为成熟的计算机与通讯技术,在诸如光电技术和生物技术等技术领域对外依赖程度非常高,其中电子技术的依赖性最为明显(参见图1)。最近两年来,由于受到新冠疫情的影响,导致电子信息和汽车制造等人们所熟知的规模报酬递增的行业出现了芯片供应受阻等核心技术卡脖子问题,不单产量被迫缩减,甚至呈现出规模报酬递减的情形,进而导致与技术和知识的“溢出”作用蔓延和下降。相反,取而代之的是,发达国家对我国高技术的封锁和“挤出”作用在不断上升。

[收稿日期]2022-10-28

[基金项目]国家社科基金重大项目(20&ZD123);国家自然科学基金项目(72073061);江苏省决策咨询研究基地项目(22SSLA001)

[作者简介]吴致冶(1998—),男,江苏南京人,南京大学商学院博士研究生,从事复杂经济学与技术创新研究,通讯作者,E-mail:mg20020012@smail.nju.edu.cn;安同良(1966—),男,河北唐山人,南京大学商学院院长,教育部长江学者特聘教授,博士生导师,从事创新经济学、复杂经济学研究。

从规范分析角度来讲,中国制造业核心技术受制于人的原因还可以归结为宏观和微观两个方面:宏观方面,长期以来中国制造业的“造不如买,买不如租”的经济和技术政策以及历史方面的原因,导致我们的创新环境不利于创新人才的培养,从而形成了与发达国家较大的前沿技术势差;微观方面,创新资源投入回报方面的不确定性导致企业普遍缺乏技术革新的动机,加剧了要素错配和信息的不对称,进而导致核心技术研发投入的意愿严重不足。比如,单从宏观层面的科技政策对比来看,中国制造业与以美、英、法等国为代表的“使命导向型”创新政策以及以德国、瑞典、瑞士为代表的“扩散导向型”创新政策之间存在着巨大的偏差^[3]。其中,美、英、法“使命导向型”创新政策基于全球军事霸权的需要,贯彻的是集中力量办大事和运用大科学解决大问题的理念,强调原创性技术,注重技术生产和技术深化。与之相反,长期以来我国制造业受到“造不如买,买不如租”和引进、消化、吸收再创新的“技术拿来主义”理念的支配,注重技术扩散,轻视技术生产,导致原创性技术严重不足。类似地,与以德国、瑞典、瑞士为代表的“扩散导向型”创新相比,我们的高校人才培养模式不重视职业教育,缺乏学徒制和技术传帮带,虽然高校扩招比例很高,但“毕业即失业”现象愈演愈烈。不仅如此,由于各类电商平台过度泛滥,大量青壮年劳动力成为穿梭于大街小巷的“快递小哥”,使得制造业产业工人队伍严重不足,差异基因培育严重不足。如果说“使命导向型”创新政策重在技术基础设施建设的公共品供给,那么“扩散导向型”创新政策则重在应用技术的转移和扩散。企业核心技术的突破正是依靠知识扩散程度的提高,驱动永续利润的持续增加来实现的^[4]。那些率先获得技术突破的企业,一方面,通过知识外溢作用,使得全行业技术水平通过技术公地的学习与模仿得以提高;另一方面,通过创新突破带来的利润增加,激励其他企业进行技术创新,激发企业研发投入和创新的活力。再如,从设备投资的角度也可以对此进行解释,如从资本价值与资本成本比值出发,能够判断出资本创造的动力如何决定设备投资回报率的高低。不过,如果从企业利润动机的角度来看,“新技术”取代“老技术”时,新技术本身也会遇到“成长的痛苦”^[5]。因此,企业从成本收益及风险评估角度考虑,也会缺乏关键技术创新的动机。

另外还与研发资源投入的错配有关。现实中由于信息的不对称等原因^[6],很难让高技能人才与高技术复杂度活动形成有效的匹配,导致制造业核心技术难以突破。

与制造业技术水平高度发达的德国、日本相比,中国制造业不仅在科技含量、行业规范、自主创新等方面存在着一定的差距,而且投入的行业主要分布在食品、饮料和烟草制品以及纺织服装和皮革制品等消费领域,投入到基本药品和药品制剂以及金属制品、电子及光学、电气等领域的研发资源的比例明显偏低(参见表1)。进一步地,在比较了不同年份中国与德国、日本制造业研发支出以及按不同行业划分的研发投入产出效率之后更容易发现(参见图2),虽然中国与德国、日本等发达国家都十分看重金属制造、电子光学等技术含量较高的制造业产品的研发投入,但中国仅仅在研发支出总量上具有优势,而在投入-产出效率方面却长期处于劣势,原因是我国制造业领域的战略性科技力量投入严重不足。

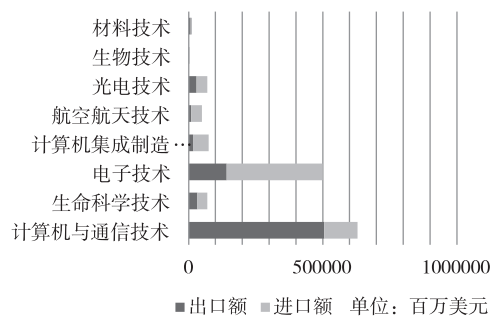


图1 高技术行业进出口对比 (单位:百万美元)

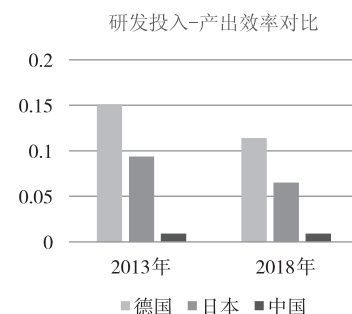


图2 中日德制造业研发投入-产出效率对比

表1 中日德三国按行业划分的制造业研发支出(单位:美元)

	德国		日本		中国	
	2013年	2018年	2013年	2018年	2013年	2018年
制造业总研发支出	59434.2	78985.2	102653.6	113701.8	217007.1	277458.9
食品的制造;饮料和烟草制品	406.2	428.9	2113.7	2162.9	10273.1	12959.7
纺织服装、皮革	145.8	137.3	1305.1	1700.4	7142.3	9770.1
基本药品和药品制剂	5259.4	6253.2	12339.1	13905.0	9489.5	12767.7
金属制品、电子及光学、电气	44926.7	61981.1	68736.7	77350.0	124460.8	160755.0

数据来源:https://www.nationmaster.com/

然而,仅从宏观政策层面入手讨论企业核心技术的创新与突破问题,难以从根本上解释企业参与核心技术研发与创新行为的动机。事实上,要素错配与技术环境均影响企业核心技术研发投入动机,而核心技术研发投入动机与一般技术研发动机类似,均可以运用微观企业行为理论研究,并且这一动机大多由研发获得的回报率决定。为此,在兼顾宏观技术环境与创新政策的同时,如果从研发投入动机的角度研究,则更能解释企业关键技术创新行为的合理性,使得研究更加全面。所以,本文接下来将在宏观政策层面引入技术方面的差距,在微观层面考虑企业研发投入动机,考察企业通过核心技术研发所产生的技术差距的作用机制。

二、文献综述及研究思路

在制造业技术体系中,技术势差一旦行形成,就会在较长的时间内持续存在,并且会有自增强和自我强化的趋势。正如 Christopher Freeman 所指出的,技术模仿者与追随者难以实现技术的领先与超越,因为他们的目标是“移动靶”^[4]。李斯特在研究德国如何缩小与英国技术差距的经验时就提出,国家技术战略中最重要的因素是“国家精神资本”,同时指出精神资本与物质资本互动的重要性^[7]。此外,根据《创新经济学手册》的观点,技术环境是形成创新活动的重要因素,适合企业技术活动的创新环境能够有效减小与发达国家的技术差距^[8]。德国正是形成了适合自身发展的“国家创新系统”,实现了对英国的赶超。根据 Partha Dasgupta^[3]的研究,技术政策与创新政策使得国家间的技术势差形成并扩大。

关于前沿技术势差影响制造业企业创新的行为与效果,现有研究大多根据技术势差将其分为两种类型,即与前沿技术差距较小和较大的企业,两类企业受到不同的影响采取差异化的创新战略。比如,Aghion 等认为,对于技术差距较大的企业,企业间竞争将阻碍企业创新,而对于技术差距较小的企业,企业间竞争有利于企业创新^[9]。郑江淮和荆晶认为,当技术差距较大时,技术进步会偏向资本;而当技术差距缩小之后,研发投入成为技术进步的主要来源,使技术进步偏向劳动^[10]。王林辉等指出,准前沿行业可实现技术追赶,但远离前沿行业则应当动态调整技术创新方向,从而缩短技术追赶周期^[11]。

关于关键核心技术的界定,不同的研究者基于不同研究视角给出相关定义,但是缺乏统一的界定。例如,余维新和熊文明从创新链视角出发,认为关键核心技术就是制约共性技术突破的科学理论及核心工艺^[12]。陈劲等则认为,关键核心技术涉及产业链、供应链的安全性,兼具技术性、公共性、社会性与安全性等多维特征^[13]。李显君等认为,核心技术是企业核心专有信息、技术诀窍^[14]。王可达认为核心技术是在特定历史时期、特定行业或领域处于核心地位的技术^[15]。关于关键技术的指标选取,很多研究将专利的前向年被引次数作为刻画关键技术的指标^[9,16-17]。虽然将专利被引量作为关键技术的参考指标具有全面性,但是在技术势差角度下,专利被引量无法聚焦到关键技术的竞争能力问题,无法衡量同一领域内的差异化质量的竞争能力。为了解决这个问题,本文将产品质量上确界作为关键技术的衡量指标,强化了同质化竞争力的因素。

根据内生增长理论的分析框架,从劳动力、技术或物质资本等方面入手,可以分析阻碍制造业技术突破的原因。比如,从劳动力投入的角度,可以结合劳动者技能与产业需求匹配度对技术创新效率进行分析,结论是高能人才与高技术复杂度的有效匹配,能够对制造业关键技术的进步起到有效的推动作用。

不过,内生增长理论过度强调的是知识与技术的“溢出”作用,正如王兵和吴福象从增长和福利角度的研究表明,创新的空间扩散对整个经济体的经济增长并没有太大的影响,从而为创新动机的缺乏提供了另一种解释^[18]。同时,内生增长理论忽略了“挤出”作用。长期以来,中国制造业在全球价值链和全球创新链中的“低端锁定”对制造业关键核心技术创新具有一定的遏制作用。这种阻碍因素对制造业核心技术突破形成的巨大阻力作用不容忽视。比如巫强和刘志彪研究指出,与国外竞争对手之间的技术差距的扩大,使得“市场份额-研发投入-技术创新-市场份额扩大”的循环作用被打破,从而制约本土装备制造业的技术升级^[19]。郝楠和李静的研究也指出,发达国家的先进技术对发展中国家的人力资本积累产生“侵蚀效应”,使其自主创新和与发达国家技术差距收敛之路面临着巨大的挑战^[20]。张杰和郑文平的研究也指出,在以加工贸易参与全球价值链的中国本土企业中,民营企业可能遭受俘获或锁定效应,民营企业的进出口行为会对创新活动产生一定的负面作用^[21]。吴福象和蔡悦的研究结果也表明,跨国公司通过研发外包增加了本土企业参与代工的依赖,导致本土企业不愿意去主动进行自主研发^[22]。基于经济是技术的一种特定表达这一直观逻辑,可以认为,当一国制造业的价值链被迫“低端锁定”时,将会沿着价值链既定技术和知识流动的路径进行生产,难以实现制造业关键技术的创新突破。

综上所述,现有的研究在微观层面上主要是通过成本利润等分析手段揭示企业对一般性技术研发的动机,没有考虑到核心技术的研发动机。同时,在宏观层面上,本文打算克服以往研究仅通过价值链俘获理论分析价值链的“低端锁定”问题,试图具体分析低端锁定与技术势差扩大之间可能会产生的循环反馈效应。本文研究的重点是对上述两个方面进行融合,进而构造制造业核心技术突破的分析框架,同时在关键技术的指标选取上做出了一些创新。

在建模技术方面,本文基于 Romer 和 Mansfield 的模型思想^[23],同时借鉴 Caballero 等以及 Acemoglu 等的分析方法^[24-25]。此外,本文还类比并构造了生物种群竞争的 Lotka-Vottera 技术俘获模型,引入了技术势差、前沿技术公开度等模型核心变量,通过比较企业创新利润的差异,解释中国制造业核心技术缺失的深层次原因。首先,根据 Caballero & Jaffe 有关中间品质量模型^[24],本文将企业技术转型从而带来的核心技术突破的动机转化为技术突破所获得的利润和收益问题,进而将此问题转化为以下几个关键变量:中间品质量分布、与发达国家的技术势差、发达国家前沿技术公开度、中间品替代等。在中间品质量分布方面,本文又假定产品质量与技术水平具有线性关系,从而产品质量的取值范围和区间直接取决于技术水平,而核心技术水平又与创新活动密切相关。其次,根据反映不同企业创新活动的相关数据,本文对中间品质量进行分类和赋值。本文重点借鉴了《牛津创新手册》在创新分析方面所使用的三类指标^[26],包括 R&D 强度,专利申请、授权和引用情况,以及文献计量学方面的数据。

在研究对象方面,本文选取了不同国家和地区并且按行业划分了 R&D 数据进行比较,通过对高新技术领域的专利申请情况进行筛选和对比,最终将不同技术复杂程度的企业分为高中低三类。由于不同技术类型复杂度的企业在技术追赶过程中存在着巨大的差异,中国作为发展中国家高技术类型的企业对发达国家在前沿技术追赶方面较为困难,而中低技术类型的企业追赶则较为容易,并且在我国东中西不同地带的企业技术追赶效率也存在着明显的差异,借鉴现有研究的相关结论,本文将高技术类型企业进一步限定为处于创新前沿或领先位置的本土企业,这些企业的共同特点是弱化甚至放弃对外技术引进,主要是着眼于用好国内现有的创新政策专注自主创新^[27]。同时,在技术追赶过程中,那些吸收能力较强和对知识的依赖度较高的企业,技术追赶效果更为显著^[28]。此外,根据企业在全球价值链的嵌入方式和位置的不同,上游环节嵌入企业的生产率随着嵌入度的提高技术得以改善,下游环节嵌入企业则会产生抑制作用^[29]。正是由于不同技术环节和地域上的企业类型和行为的差异,扩大了不同区域的创新能力差距,导致区域创新能力存在“马太效应”^[30]。

本文接下来将从微观层次出发,在选择与核心技术突破相关联的变量时,利用系统动力学(System-Dynamics, S-D)模型的因果回路、存量流量等方法,将制造业核心技术突破、中间品生产部门的利润获取方式以及核心技术的链式竞争等问题纳入变量相互嵌套、相互反馈的循环系统。本文的循环系统分析方法克服了新古典经济学模型与内生增长模型一般均衡分析方法的不足。本文采用 S-D 模型方法的主要优势在于,重视各种变量和不确定性因素的影响,有助于解释企业在技术创新方面的复杂性和技术创新的动机,通过打开技术创新的黑箱,使得各个变量之间的激励和传导机制变得更加明晰。同时,对于不确定性变量对整个传导机制和系统的作用,还可以通过仿真和模拟技术手段更加容易量化。本文研究的创新主要体现在三个方面:一是借鉴产品质量创新的建模方法,将核心技术蕴藏在产品质量的上确界中,将企业研发投入的动机转化为研发带来的利润回报的高低;二是借鉴生物学中的种群竞争建模思想,将技术竞争转化为产品质量上确界的竞争问题进行量化分析;三是利用系统动力学建模方法,揭示中国制造业难以实现核心技术突破的微观机理,通过借助系统动力学相关软件,仿真和模拟技术链式竞争、技术势差、前沿技术公开度、替代弹性等关键变量对制造业企业关键技术创新投入的动机和作用。

三、理论模型及研究命题

为揭示技术势差对核心技术创新的传导机制,首先,本文构造封闭条件下基于中间品质量的基准模型,将产品质量上确界转化为垄断企业获取利润的能力,从而进一步转化为核心技术研发投入动机。其次,本文放松假设引入开放条件对质量竞争模型进行拓展,并将技术势差转化为产品质量上确界的差距进行分析,指出不断扩大的技术势差对前沿技术升级与追赶存在一定的挤出作用。最后,本文从知识外溢的角度,指出最初存在的技术差距对一般性技术的学习与追赶具有促进作用。

(一) 封闭条件下的中间品质量竞争的基准模型

借鉴 Caballero & Jaffe^[24]的产品质量标准模型并加以改造,本文构建基于中间品质量的典型企业利润模型,从而通过利润规模大小的变化,分析企业研发投入的动机是否充足。假定社会上存在两个部门,一个生产最终产品部门,一个生产中间产品部门。中间产品在产品市场上具有垄断地位,而在要素市场上是完全竞争者;最终产品生产部门则面临完全竞争市场,接受中间产品生产者提出的价格。最终产品的消费者的偏好是一致的,并且在每一时期全社会只生产一种最终产品,同时生产不同质量中间产品投入为 $x_i(q)$ 。这里,假设中间产品的质量 q 服从 $[0, N_i]$ 区间上的连续分布,其中 N_i 为 t 时期内具有最高素质的劳动力生产的中间产品的质量。为了简化分析,假设中间产品的生产函数与技术水平线性相关,即 $x_i(q) = \theta_i L_i(q)$ 。其中, θ_i 为 t 时期的生产效率或生产的技术水平, $L_i(q)$ 为 t 时期用于生产质量 q 的中间产品的劳动力投入数量。该式表明技术水平对每一个中间产品的贡献率是相同的,并且生产不同质量的中间产品需要雇佣相应的劳动力数量。如果雇佣劳动力水平与产品质量不匹配,那么会面临生产效率的下降。这里还假定,每一时期社会总消费量 C_t 服从不变弹性的 CES 费用函数形式,即 $C_t = \left[\int_0^{N_i} (x_i(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{1-\alpha}}$, 其中 $\frac{1}{1-\alpha}$ 表示不同质量中间产品之间的差异,即替代弹性或要素替代。个体满足不变替代弹性 CES 效用函数,消费增长率由家庭消费的跨期替代决定,即 $\frac{\dot{C}_t}{C_t} = r - \rho$ 。

上式中, r 表示利率, ρ 为主观贴现率。该式表明,一旦规定了基期的消费总量,并且已知利率和主观贴现率的真实取值,那么每一期的消费总量都可以确定。然而,现实中主观贴现率难以观测,并且取值与消费满足与复合价格指数相关。因此,本文将 e^q 作为补偿项出现,从而弥补了主观贴现率无法观察的问题。

由于最终产品生产部门的要素供给来源于中间产品生产部门,因此在给定最终产品价格水平外生变量 $p_i(q)$ 之后,最终产品生产部门面临的支出函数可以写成:

$$\int_0^{N_i} p_i(q) x_i(q) dq \tag{1}$$

这是微观经济理论中的一个经典支出最小化问题,只需对(2)式对 $x_i(q)$ 取一阶条件,就可以求解出最终产品生产部门对中间产品的需求函数:

$$x_i(q) = p_i(q)^{-\frac{1}{1-\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha} q} C_t \tag{2}$$

(2)式表明,中间产品的需求量与产品质量呈现指数正相关,并且与总消费量变化方向一致,呈线性相关关系。由于 C_t 可以看成已知变量,均衡时的需求函数可以由(2)式表达,因而中间产品生产者在要素市场上作为完全竞争者出现。根据完全竞争的劳动力市场的定价原则,可以得到工资水平或产品生产的单位成本 $\omega_t = \alpha \theta_i p_i(q)$ 。将其代入(2)式,并直接借鉴 Caballero 和 Jaffe 的结论^[24],可以得到均衡产出时的工资水平 $\omega_t = \alpha C_t \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} e^{N_i}$, 以及均衡时中间产品生产部门对于不同质量产品的利润函数的表达式:

$$\pi_i(q) = \alpha C_t \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_i - q)} \tag{3}$$

由(3)式不难看出,不同中间产品所获得的垄断利润水平的高低取决于产品质量以及与国内最高质量产品之间的质量差距。对(3)式中的 q 取积分,可得 t 时期中间产品生产部门垄断利润的表达式:

$$\int_0^{N_i} \pi_i(q) dq = \alpha \int_0^{N_i} \left[\int_0^{N_i} (x_i(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_i - q)} dq \tag{4}$$

如果对(4)式中的每一时期由质量上确界 N_i 、产品质量 q 的分布以及替代弹性 α 所确定的垄断利润的真实水平进行取值,并且假定知晓每一时期的研发投入 ξ_t 取值的大小,就可以量化地判断出企业每个时期的研发投入的水平 (M_t) 和动机,即:

$$M_t = \frac{\int_0^{N_i} \pi_i(q) dq}{\xi_t} = \frac{\int_0^{N_i} \left[\int_0^{N_i} (x_i(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_i - q)} dq}{\xi_t} \tag{5}$$

为直观反映产品质量上确界对前沿技术研发投入动机影响,现将 M_t 对 N_i 分别求一、二阶偏导数进行分析,于是可以得到:

$$\frac{\partial M_t}{\partial N_t} = x_t(N_t) e^{N_t} \int_0^{N_t} e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_t-q)} dq + \left[\int_0^{N_t} (x_t(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 M_t}{\partial N_t^2} = 2x_t(N_t) e^{N_t} + [x_t(N_t) + x'_t(N_t)] e^{N_t} \int_0^{N_t} e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_t-q)} dq \quad (7)$$

从(6)式、(7)式可以直观地看出, $\frac{\partial M_t}{\partial N_t} > 0$; $\frac{\partial^2 M_t}{\partial N_t^2}$ 的正负取决于产品质量函数 $x_t(q)$ 的分布情况: 当 $x_t(N_t) + x'_t(N_t) > 0$ 时, $\frac{\partial^2 M_t}{\partial N_t^2} > 0$, 当 $x_t(N_t) + x'_t(N_t) < 0$ 时, $\frac{\partial^2 M_t}{\partial N_t^2}$ 的正负进一步取决于参数 α 取值以及 $x_t(q)$ 在 N_t 处的分布情况。据此, 本文得出如下命题 1。

命题 1: 提高产品质量上确界, 对增强企业核心技术研发投入动机有正反馈作用, 其作用程度取决于产品质量的区间分布。在大多数产品质量服从正常态分布的情况下, 正反馈作用越来越大, 但是在少数分布情况下, 正反馈作用呈现未知的非线性关系。

命题 1 表明, 技术创新具有先发优势, 尤其是对于初始技术水平相对较低的制造业企业来讲, 提高研发创新投入能够显著提高经济绩效。比如, 21 世纪以来我国很多国产智能手机厂商通过模仿创新, 以其较低的创新成本获得了快速的市场成长。

同理, 根据(5)式还可以求得研发发动机的动态变化情况:

$$\frac{M_{t+1}}{M_t} = \frac{\int_0^{N_{t+1}} \pi_{t+1}(q) dq}{\int_0^{N_t} \pi_t(q) dq} = \frac{\int_0^{N_{t+1}} \left[\int_0^{N_{t+1}} (x_{t+1}(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_{t+1}-q)} dq}{\int_0^{N_t} \left[\int_0^{N_t} (x_t(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}(N_t-q)} dq} \frac{\xi_{t+1}}{\xi_t} \quad (8)$$

据此, 本文提出如下命题 2。

命题 2: 在替代弹性不变的情况下, 企业核心技术研发投入动机的动态变化取决于产品质量上确界以及产品质量区间分布的动态变化。如果上述任意条件得到改善, 那么企业研发投入动机都会增强。

命题 2 表明, 行业内部的良性竞争能够促进创新环境的改善。还是以智能手机为例, 虽然目前国内有华为、小米、OPPO、VIVO 等多款品牌, 但这些品牌智能手机无论是价位还是功能定位都比较符合各自的技术特性, 市场维持了良好的运行秩序。

(二) 开放条件下的中间品质量竞争模型的拓展

为了进一步揭示上述命题中 N_t 取值如何决定, 从而研究中间产品生产部门基于利润高低的创新动机和投入水平, 这里借鉴刘志彪和吴福象全球价值链中的链式竞争思想以及生物学中的 Lotka-Volterra 模型进行分析^[31]。在上文假设“中间产品的生产函数与技术水平线性相关”即 $x_t(q) = \theta_t L_t(q)$ 情境中, 如果劳动力与产品质量不存在错配问题, 那么生产出中间产品质量的上确界 N_t 应当只与技术水平 θ_t 线性相关。

本文接下来将中国与发达国家价值链与创新链的竞争形态放置于开放条件下的 L-V 模型中, 不难得出“捕获型”竞争关系。在对 L-V 基准模型改造后, 可以进一步得到技术竞争的“捕获型”表达式:

$$\begin{cases} \frac{d\theta_{1t}}{dt} = \gamma_{1t} \theta_{1t} e^{c_2 \left(1 - \frac{\theta_{2t}}{\theta_{1t}}\right)} \\ \frac{d\theta_{2t}}{dt} = \gamma_{2t} \theta_{2t} e^{c_1 \left(1 - \frac{\theta_{1t}}{\theta_{2t}}\right)} \end{cases} \quad (9)$$

(9) 式中, γ_{it} 表示在无竞争情形下一国生产技术基础进步速率的参数。假定无竞争情形下技术随时间进步的关系满足指数函数的形式。不难发现, “捕获型”链式技术竞争的特点在于, 一国技术水平的提高对于另一国技术水平的速度提高具有负向作用, 用 c_i 表示竞争系数。第一个表达式等号右边第二项的指数部分 $1 - \frac{\theta_{2t}}{\theta_{1t}}$ 可以改写为 $\frac{\theta_{1t} - \theta_{2t}}{\theta_{1t}} = \frac{1}{\theta_{1t}} \cdot \delta_\theta$ 。这里, δ_θ 可理解为“前沿技术势差”, 即技术较发达国家与欠发达国家前沿技术势能的

差距。由此可见,“前沿技术势差”通过“捕获”作用,首先影响的是竞争者的技术进步速度,继而影响各自的前沿技术水平。

进一步地,本文将(9)式技术水平替换为产品质量上确界之后,可以得到产品质量的链式竞争关系:

$$\begin{cases} \frac{dN_{1t}}{dt} = \gamma_{1t} N_{1t} e^{c_2 \left(1 - \frac{N_{2t}}{N_{1t}}\right)} \\ \frac{dN_{2t}}{dt} = \gamma_{2t} N_{2t} e^{c_1 \left(1 - \frac{N_{1t}}{N_{2t}}\right)} \end{cases} \quad (10)$$

后文的分析中,假设在第一期之后有 $N_{1t} > N_{2t}$ 。同时将(10)式的连续型转换为对应的离散型,再代入(8)式,便可以得出存在技术水平链式竞争的中间产品生产企业创新研发的动态变化表达式:

$$\frac{M_{t+1}}{M_t} = \frac{\int_0^{\gamma_{1t} N_{1t} e^{c_2 \left(1 - \frac{N_{2t}}{N_{1t}}\right)}} \left[\int_0^{\gamma_{1t} N_{1t} e^{c_2 \left(1 - \frac{N_{2t}}{N_{1t}}\right)}} (x_i(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha} \left(\gamma_{1t} N_{1t} e^{c_2 \left(1 - \frac{N_{2t}}{N_{1t}}\right)} - q \right)} dq}{\int_0^{N_t} \left[\int_0^{N_t} (x_i(q) e^q)^\alpha dq \right]^{\frac{1}{\alpha}} \times e^{\frac{\alpha}{1-\alpha} (N_t - q)} dq} \times \frac{\xi_t}{\xi_{t+1}} \quad (11)$$

在(11)式中, N'_t 表示 t 时期竞争者的产品质量上确界, c 表示链式竞争系数, γ_t 为基础型技术进步的速度。至此,模型就完成了变量 N_{t+1} 的内生化形式,表明在竞争环境下技术进步存在内生性,从而放弃了新古典经济学对技术水平以恒定速度变化的外生化假定。

根据(11)式,进一步将命题 1 中产品质量上确界的确定方式具体化,本文得出如下命题 3。

命题 3: 如果技术势差、竞争系数扩大,那么产品质量上确界的差异将会进一步增加,从而导致企业研发发动机的减弱。如果技术势差、竞争系数减小,那么产品质量上确界的差异也将减小,进而导致企业研发发动机进一步增强,不过其具体影响程度未知且呈现非线性关系。

命题 3 进一步表明,竞争者的技术生存环境具有被侵占的风险,行业技术环境发生不确定性重大变化时对创新结果可能会产生颠覆性的影响,苹果公司案例就是非常好的明证。最近几年来,美国的贸易保护和技术封锁,导致我国本土品牌智能手机的市场份额被苹果快速替代。

(三) 开放条件下引入知识外溢效应的拓展分析

上述三个命题中有关种群竞争的模型求解均表明,在“捕获型”核心技术的链式竞争范式中,一个国家核心技术水平的提高会减缓竞争对手核心技术的进步速度。同时,上述命题还表明,不同素质劳动力的分布情况所决定的中间产品质量的分布函数也是影响核心技术突破动机的重要因素。直观地看,产品质量的改进主要表现为变量 q 的密度函数 $f(q)$ 的动态分布情况及其变化,而对于这些变化的分析应当考虑到以下方面:其一,是对本国最高质量产品 N_{2t} 的学习效应,其二,是对国际技术先进国家和地区的最高质量产品质量 N_{1t} 的学习效应。然而,在现实当中,发达国家的核心技术公开程度必然会受到来自发达国家的战略和使命而进行严格管控。最近几年,美国在高技术领域对中国的技术脱钩就是最好的例证。因此,本文分别将变量 N_{1t} 、 N_{2t} 以及前沿技术公开度 μ_t 纳入对中间产品质量分布函数 $f(q)$ 以及质量均值 σ_t 就可得决定式:

$$F(f(q), N_{1t}, N_{2t}, \mu_t) = 0; \frac{\partial F}{\partial \sigma_t} / \frac{\partial F}{\partial N_{1t}} > 0; \frac{\partial F}{\partial \sigma_t} / \frac{\partial F}{\partial N_{2t}} > 0; \frac{\partial F}{\partial \sigma_t} / \frac{\partial F}{\partial \mu_t} < 0$$

四、模拟仿真及结果分析

(一) 基于技术势差、技术公开度的 S-D 模型构建

限于篇幅,这里不再对以上表达式进行命题归纳,本文接下来主要是利用系统动力学(S-D)模型对上述模型思想进行拓展分析。本文将 S-D 模型整体拆分为两个部分。第一部分揭示价值链上的核心技术竞争关系、中间产品生产者垄断利润决定关系以及基于技术势差和代表整体的制造业核心技术突破的技术公开度、替代弹性及产品质量分布的 S-D 模型。

图 3-1 给出了 L-V 种群竞争范式下的技术链式竞争决定的技术势差及基本框架。其中,水平变量包括价值链上竞争者中间产品核心技术水平以及国内中间产品核心技术水平,两者又直接决定了竞争者与国内中间产品生产者的产品质量上确界 N_{it} ($i=1,2$) 的取值大小。将价值链上竞争者中间产品核心技术水平与国内中间产

品核心技术水平进行作差比较,就可以得到辅助变量,即技术势差 δ_θ 。进一步地,辅助变量还包括价值链竞争者核心技术进步基础速度以及国内核心技术进步基础速度,表示不存在技术竞争关系时两国的核心技术进步速度。流量变量包括竞争者核心技术进步以及国内核心技术进步。比如,以国内核心技术进步这一流量为例:每一期国内中间品生产者的核心技术进步值取决于国内核心技术基础进步速度以及现有的中间品生产技术水平,同时与价值链上竞争者的同期技术水平有关。一方面,受到来自国内核心技术进步的正反馈作用,另一方面,受到来自价值链上竞争者技术水平的负反馈作用。由(7)式可知,技术进步值是技术水平对时间变量取一阶导数。同理,可以推知,竞争者核心技术进步值的关系式。第一部分由两个水平变量、三个辅助变量、两个流量变量共同构成。二阶因果回路图(参见图3-1),揭示了中间产品核心技术的链式竞争关系。

第二部分揭示中间产品生产部门垄断利润大小的决定,该部分全部由辅助变量组成。根据对企业研发支出与专利申请情况的分类,本文将中间产品分为三类,即技术含量较高产品、技术含量中等产品以及技术含量较低产品,分别用产品1、产品2、产品3指代。其中,产品1、产品2、产品3的质量分别决定了质量分布函数 $f(q)$ 的情况。根据生产函数与最终产品需求函数,可以确定不同类型的产品均衡时数量,从而得到关于产品最终消费量的三个辅助变量。将各个类型的产品消费量相加,就可以得到消费总量。全社会消费总量是决定垄断利润总和的重要辅助变量。另外,重要的辅助变量替代弹性决定了参数 α 的取值,并影响各个其他辅助变量的取值,例如最终产品的消费量、工资水平以及最终垄断利润总和,对应于(4)式所揭示的垄断利润总和的量化表达式。

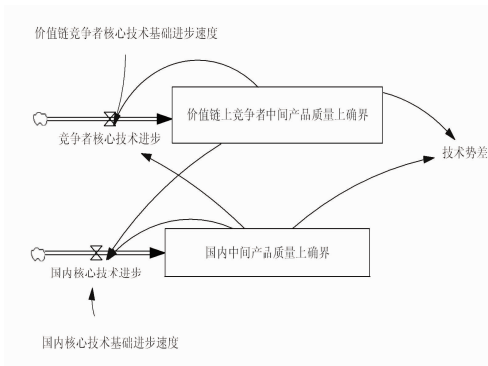


图3-1 技术进步、产品质量上确界和技术势差

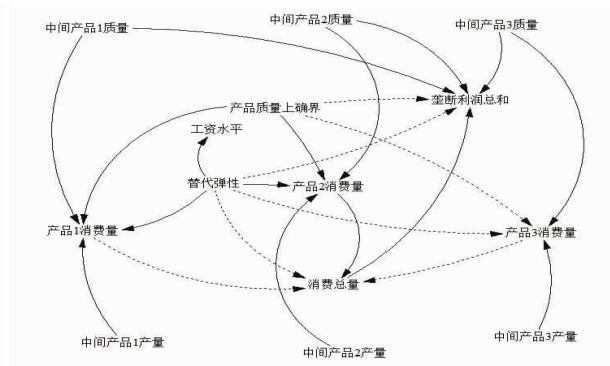


图3-2 替代弹性、中间品质量与垄断利润

在S-D模型中,可以形象直观地看出,它由各个产品质量、产品质量上确界以及消费总量等辅助变量共同指向。通过产品质量上确界、总消费量、替代弹性等辅助变量,还可以确定在劳动力技能水平与产品复杂度完全匹配的情况之下所可能从事的中间产品员工的平均工资水平。第二部分没有任何水平变量与流量变量的参与,因此在一定意义上可以说都是与时间变量间接相关或二阶相关,这一部分恰好描述了理论模型中垄断利润总和的来源关系图(参见图3-2)。通过将此部分与第一部分结合,可以得到基于中间产品质量、技术势差、替代弹性等关键变量相互关联嵌套的S-D模型(参见图4)。

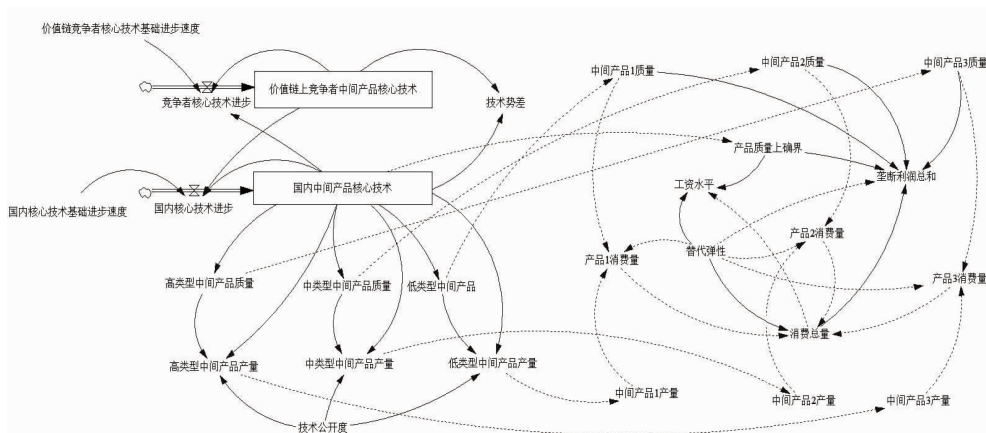


图4 基于技术势差、技术公开度、替代弹性及产品质量分布的多维度S-D模型

(二) 模拟与仿真结果分析

为了保证模型运行的可行性,在 S-D 模型变量初始值选取时,对于默认辅助变量,比如价值链竞争者核心技术的基础进步速度以及国内核心技术进步速度等的取值,均首先假定为是外生给定的。具体参考的相关文献及取值主要是《中国科技统计年鉴》的相关资料并做出了适当调整。关于辅助变量国内生产者与价值链竞争者核心技术的基础进步速度的取值,参考了安同良和吴致冶的做法^[32],即前沿技术地区技术进步速度与国内发达地区技术进步速度的相应取值分别为: $N_{1t} = 6.078, N_{2t} = 3.12$ 。本文假设技术公开度变量 μ_t 服从正态分布。对于中间产品质量分布情况的分类,主要是按照不同地区从事 R&D 人员数量占比、R&D 研发投入占整个投资比例以及专利申请数量等指标选择。

具体方法如下:首先,按照 2020 中国科技统计年鉴数据,存在 R&D 支出的企业定义为中、高类型中间产品生产企业,不存在 R&D 活动支出企业定义为低类型产品生产企业。其次,在中、高类型企业中,按照 R&D 活动的详细分类,如新产品开发经费支出、技术改造经费支出、技术引进经费支出,按照自身开发与技术改造支出的比例,划分高类型中间产品生产代表性企业与中类型中间产品生产代表性企业,经过简单计算,粗略将产品质量按照划分为 $[0, 0.46N_t]$ 、 $[0.46N_t, 0.71N_t]$ 以及 $[0.71N_t, N_t]$ 三个区间。对于技术公开度对不同质量类型中间产品产量分布的影响,参考李世刚等的模拟结果^[33],不同基尼系数之下,对于不同质量产品需求量的区间分布有所不同,在中国目前基尼系数水平和形态,大致介于正态分布与左偏态分布形式之间。借鉴正态分布的函数性质,本文在模拟时假定技术公开程度均值提高会引起产量分布峰值右移,同时当技术公开程度下降时,产量分布的峰值左移。在给定上述给定外生变量之后,不同质量产品的最终产量及均衡时消费量、消费总量、总利润大小等辅助变量均为内生。时间变量上,选取一月作为时间跨度。

如方程组(9)式所揭示的,在制造业技术水平的链式竞争中,竞争系数决定了一国对另一国技术生存环境的侵占效应的大小。图 5-1 和图 5-2 刻画了竞争系数提高或降低对核心技术创新所引致的利润总量的动态影响,图 5-3 和图 5-4 则反映了竞争系数对工资水平的动态影响。不同模拟结果如表 2 所示,选取 $c_i = 0.5$ 为基准竞争系数,从基准结果向右表示技术竞争效应逐渐趋于缓和,依次为结果 1→结果 2→结果 3,从基准结果向左表示竞争趋于激烈,依次为结果 1→结果 5→结果 4。

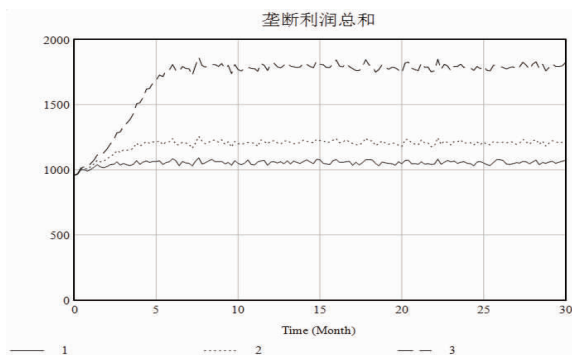


图 5-1 高竞争系数下技术创新的垄断利润

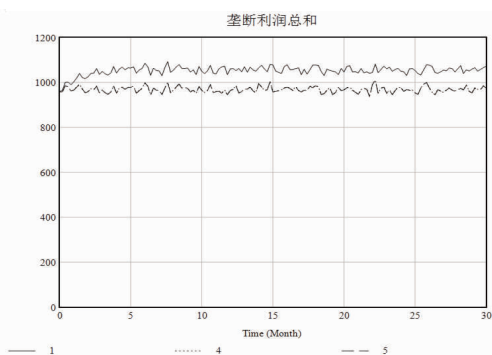


图 5-2 低竞争系数下技术创新的垄断利润

图 5-1 的模拟结果包含关于竞争系数的三个结论:第一,在技术存在链式竞争的情形下,一旦技术水平在基期处于不利地位的国家或地区,如果延续相同的研发投入难以实现垄断利润的持续增长,企业缺乏进一步研发投入的动机,从而进一步使得研发带来的核心技术相对竞争力进一步处于不利地位,利润水平难以增加,从而陷入恶性循环。第二,比较表 2 结果 1 至结果 3 可知,当竞争系数减小时,企业拥有更多的技术生存空间,研发投入带来的产出效率相应增加,从而获得更高的垄断利润,并且在短期内对利润总和的影响呈现指数形式的相关性。第三,由竞争缓和带来的增长效应在短期内可以使得利润相对增长较快,并且愈加宽松的国际技术竞争环境,能够使得利润持续攀升的时间增加,但是竞争环境的改善不足以在长期内支持利润的持续增长,使得利润保持稳定在一个较高水平。竞争系数增加时,如图 5-2 所示,技术的链式竞争加剧,企业研发投入的利润水平下降,但这样的下降空间是有

竞争系数 c_i	2	1	0.5	0.325	0.2
模拟结果	结果 4	结果 5	结果 1	结果 2	结果 3

限的。结果4与结果5所代表的利润总和曲线接近重合表明当技术竞争系数很大时,竞争的进一步激化对企业的创新投入效率的影响式微,此时企业更应当关心内部影响因素^[33-35]。

在技术竞争程度缓和且劳动力技能与产品复杂度完全匹配的情况之下,垄断利润总和的增加必然会伴随从事中间产品生产的员工平均工资水平的上升。这一构想与图5-3中的结果1、结果2以及图5-4中额度结果1、结果5相吻合。然而,比较图5-4中的模拟结果1、结果4却能发现与直觉相悖的结论:当竞争激烈程度达到一定水平时,竞争系数的进一步增加虽然会带来企业垄断利润的下降,但是会提高中间产品生产工人的工资水平。一个可能的解释是当竞争愈发激烈时,产品相对质量较低的生产行为难以获得预期利润,从而生产规模大幅减小,而技术复杂度较低的中间产品的生产水平的降低,会带来从事低水平中间产品生产的工人数量的相对减少,从而提高了从事高技术水平中间产品生产的工人数量,进而出现在劳动力与要素水平完全匹配时,均衡平均工资水平会出现不降反升的现象。

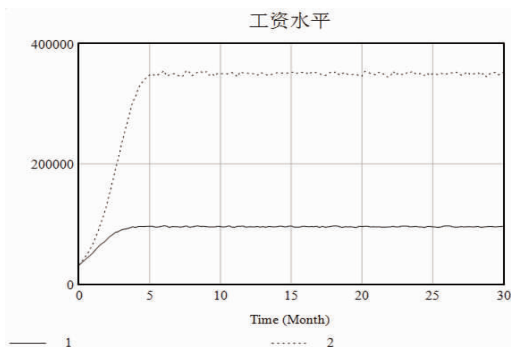


图 5-3 高链式技术竞争下的动态工资效应

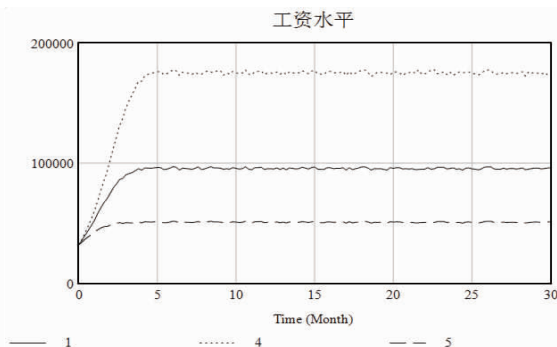


图 5-4 低链式技术竞争下的动态工资效应

影响 L-V 模型中链式竞争程度另一个关键变量是产品质量上确界的差值,或者如前文所定义的“技术势差”,表明中间产品生产的关键技术初始值的差距。“技术势差”不仅表明了两国技术水平的初始相对优劣地位,同样决定了一国在技术水平的链式竞争中,受到另一国对本国技术生存环境的侵占效应大小。按照辅助变量 δ_θ 初始值并假设技术势差的等比例减小,所获得的结果依次为:结果1→结果2→结果3。

改变表3竞争势差 δ_θ 对企业研发动机所带来的直观影响,可参见图6-1。当辅助变量 δ_θ 下降1/3时,利润水平从原来的持续相对稳定状态变为短期内有微小的持续上升,并稳定在一个更高的水平。而当辅助变量 δ_θ 再次下降1/3时,利润水平在短期内存在较大幅度的攀升,并且持续增加的时间进一步延长。从利润上升的幅度来说,“技术势差”初始值的减小,对总体垄断利润的上升影响也呈现出指数相关性,但是仍然难以使得企业在长期内获得利润的持续增长。从利润角度而言,图6-1揭示的结论与图5-1中的相关结论高度一致,并且相互照应。不过,从产品生产结构的角度看,“技术势差”初始值改变带来的影响与前者有所区别。

具体表现在:在中间类型产品的产量上,如图6-2所示,在竞争势差 δ_θ 逐渐下降的过程中,技术复杂度处于中间的中间产品的生产规模下降,取而代之的是技术复杂度较高或较低的产品产量的增加。换言之,技术差距的缩小,使得同质化生产结构中原来类似正态分布的生产分布函数变得更加扁平与厚尾。此外,比较图6-2中模拟结果2、结果3可知,技术势差减小使得产品结构的调整效应呈现出收敛态势。

另一个影响企业研发投入积极性的关键变量是产品替代弹性。随着参数 α 取值的增加,替代弹性随之上升,表4从左到右分别表示替代弹性的上升,所获得的结果依次为:结果1→结果2→结果3。

替代弹性降低,产品的技术专用性增强。相反,产品越是难以被替代,从事研发投入就越来越有效率和收益。本文选用的产品质量模型中,由于假设了产品的同质化与单一化,替代弹性的增加使得高质量的产品市场份额大幅增加,挤出产品质量或产品技术复杂度一般的产品,从而全行业的产品平均质量提高。结果表现为两个方面:一方面,由于损失了中等

表 3 不同竞争系数对应的模拟结果

竞争势差 δ_θ	初始值 ($N_{1t} = 6.078,$ $N_{2t} = 3.12$)	δ_θ 下降1/3	δ_θ 进一步 下降1/3
模拟结果	结果1	结果2	结果3

表 4 不同替代弹性对应的模拟结果

参数 α	0.5	0.75	0.83
替代弹性	2	4	6
模拟结果	结果1	结果2	结果3

质量产品与较低质量产品的部分利润,利润总量可能会下降;另一方面,雇佣的工人从事更复杂劳动的员工比例增加,中间产品生产工人的平均工资水平会相对增加。

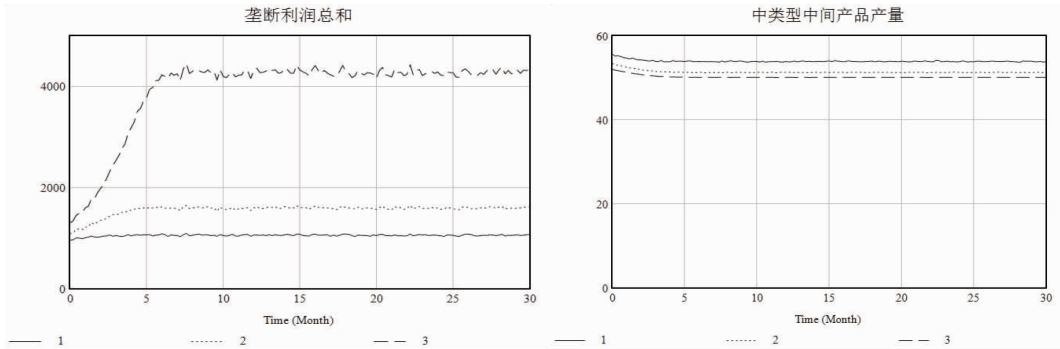


图 6-1 技术复杂度与垄断利润的关系图

图 6-2 技术复杂度与中类型中间品产量的关系

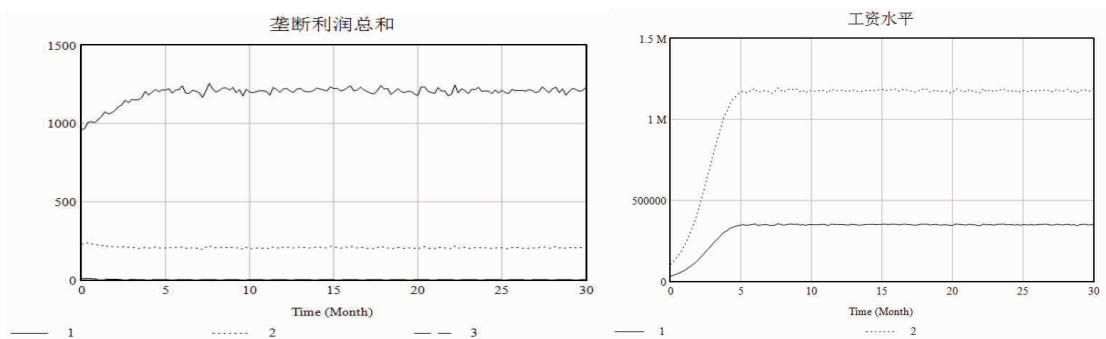


图 7-1 不同替代弹性下的垄断利润

图 7-2 不同替代弹性下的工资水平

该结论从定性角度在图 7-1 中已经得到验证。不过,在模拟结果中,替代弹性的作用被放大了。具体表现在,当中间产品替代弹性从 2 上升到 4 时,原先垄断利润拥有的短期攀升不复存在,甚至在短期内出现小幅的下降,而当替代弹性变得很高时,利润的空间几乎不复存在。这一结果表明,在产品异质性几乎为零的情形下,如果同种类不同质量的产品的替代程度很高时,社会的资源基本上用来生产最高质量的产品才是最优效率的,然而这样的效率受到来自竞争者的侵占,从而存在高质量驱逐中等质量、低质量产品,国外竞争者侵占国内高质量产品的双重困境,从而使得制造业技术研发动机几乎不存在。图 7-2 则进一步表明,当产品替代弹性增加时,由于生产结构改变,平均工资水平将会大幅增长,理论上的前提是需要符合要素完全匹配、完全信息的假定,但在现实中这种情形显然并不存在。

五、结论与启示

本文借鉴通过产品质量差异化建模方法,将核心技术蕴藏于产品质量的上确界之中、将企业研发投入的动机转化为研发带来的利润水平、将技术竞争转化为产品质量上确界的竞争问题,对技术势差、要素替代与中国制造业核心技术突破问题进行了模拟仿真和效应分析。研究发现,技术势差、前沿技术公开程度、不同质量产品之间的替代弹性,均从不同程度和方向上影响中国制造业核心技术创新和突破。本文主要结论有:

第一,由于受到来自竞争者的技术生存环境侵占,在初始时期处于不利地位的国家或地区,如果不增强研发的投入强度,将会陷入研发效率低下从而研发投入动机减弱、研发投入强度下降,进一步导致技术处于不利地位的恶性循环,从而使得利润在长期与短期内均没有上升的动力。当技术生存环境外生地改善时,利润在短期内将具有一定上升空间,并稳定在一个更高的动态均衡水平上,这一短期内的攀升可能会引发短期内的技术变革。当技术竞争恶化时,不利于研发投入的利润获得,从而减小企业从事研发活动以及研发投入的积极性,但是当竞争激化到一定程度时,会出现在劳动力与要素水平完全匹配时,均衡平均工资水平不降反升的现象。

第二,技术势差的初始值决定了两国在技术竞争中的初始地位,技术的初始差距对研发投入效率起着决定性作用,技术势差初始值的减小将带来中间品总利润的大幅增加,并且这样的增加幅度呈现指数形态,改善技术水平的相对低位,对制造业研发投入积极性具有显著的作用。同时,技术势差影响着中间产品生产依照质量的分布情况,技术势差减小会使得产出分布情况更加扁平化。

第三,在只生产同一种产品的情形下,产品的异质性通过产品的质量说确界发挥作用,替代弹性的影响表现为,当替代弹性很高时,研发投入的效率极为低下,甚至不存在利润空间。因此,合理的研发投入应当使得产品能够被替代的困难程度较高,从而保证研发投入的有效性。

本文研究的构想均建立在生产工人能力要素与产品复杂度完全匹配的基础上,没有考虑信息不对称情形下的假设,模拟结果中出现工资水平与常识相悖的结论,在现实的经济世界中可能得到不同结论。首先,对于竞争系数 c 的外生给定假定,可以在未来的研究中进一步内生化为与利润函数相互决定,以便于突出技术链式竞争、技术势差与制造业研发投入动机的互为因果关系。其次,本文研究还存在一定的不足之处,例如基本假设具有一定局限性:为了方便计算,本文假定高技术类型的企业不存对发达国家在技术方面的追赶,只有中低技术类型的企业才存在不同程度的追赶,与现实情况不符。再就中低技术类型企业而言,对发达技术地区的追赶具有异质性的假设也较为笼统,没有体现地区特点的细分。最后,文章中要素完全匹配、完全信息的假定在现实中也难以实现。

本文研究启示及政策建议:首先,在技术水平的链式竞争中,应充分发挥企业的相对技术优势及独特要素,要另辟蹊径,避免针锋相对式竞争。其次,正如模拟结果所显示的,初始的技术势差缩小比追赶速度提高更有效率,短期内激进的研发投入带来的长期收益要明显高于长期内细水长流的研发投入,为此事关核心技术追赶要未雨绸缪,趁早谋划。最后,企业应当注重技术人员劳动技能的个性化培养,提高产品的独特性以及被替代的难度,尤其是要注重生产要素与劳动技能的匹配程度。

本文的下一步研究打算从要素匹配、不确定信息、建模工具等角度展开。比如,利用匹配理论与信息不对称理论,可以进一步分析在不对称信息的情况下,劳动力技能水平与工作技术复杂度的匹配情况如何影响中间产品生产者垄断利润来源和关键技术研发投入动机。再比如,利用基于主体的建模工具,可以实现匹配理论的传导过程,并且将较为确定、封闭的系统转化为存在私人信息与不确定性的开放系统。

参考文献:

- [1] 莱恩·阿瑟. 技术的本质[M]. 杭州:浙江人民出版社,2014.
- [2] 玛丽安娜·马祖卡托. 创新型政府:构建公共与私人部门共生共赢关系[M]. 北京:中信出版集团,2019.
- [3] Dasgupta P, Stoneman P. Economic policy and technological performance[M]. Cambridge: Wright-Allen Press, 1986.
- [4] 克里斯托弗·弗里曼. 技术政策与经济绩效:日本国家创新系统的经验[M]. 南京:东南大学出版社,2008.
- [5] 安同良. 中国企业的技术选择[J]. 经济研究,2003(7):76-84+92.
- [6] 安同良,周绍东,皮建才. R&D 补贴对中国企业自主创新的激励效应[J]. 经济研究,2009(10):87-98+120.
- [7] List. F The national system of political economy[M]. London: Dent, 1841.
- [8] 布朗温·霍尔,内森·罗森博格. 创新经济学手册[M]. 上海:上海大学出版社,2010.
- [9] Aghion, Philippe, et al. Competition and Innovation: an Inverted-U Relationship[J]. the Quarterly Journal of Economics, 2005, 120(2): 701-28.
- [10] 郑江淮,荆晶. 技术差距与中国工业技术进步方向的变迁[J]. 经济研究,2021,56(7):24-40.
- [11] 王林辉,王辉,董直庆. 技术创新方向、均衡技术差距与技术追赶周期[J]. 世界经济,2022,45(3):28-55.
- [12] 余维新,熊文明. 关键核心技术军民融合协同创新机理及协同机制研究:基于创新链视角[J]. 技术经济与管理研究,2020(12):34-39.
- [13] 陈劲,阳镇,朱子钦. “十四五”时期“卡脖子”技术的破解:识别框架、战略转向与突破路径[J]. 改革,2020,(12):5-15.
- [14] 李显君,孟东晖,刘晔. 核心技术微观机理与突破路径:以中国汽车 AMT 技术为例[J]. 中国软科学,2018,(8):88-104.
- [15] 王可达. 提高我国关键核心技术创新能力的路径研究[J]. 探求. 2019(2):38-46.
- [16] Aghion P, Akcigit U, Bergeaud A, Blundell R, Hémous D. Innovation and top income inequality[J]. Nber Working Papers, 2015, 86(1):1-45.
- [17] Akcigit U, Baslandze S, Stantcheva S. Taxation and the international mobility of inventors[J]. American Economic Review, 2016, 106(10):2930-2981.
- [18] 王兵,吴福象. 创新空间扩散、集聚租金与经济高质量发展[J]. 审计与经济研究,2021,200(4):117-127.
- [19] 巫强,刘志彪. 本土装备制造业市场空间障碍分析:基于下游行业全球价值链的视角[J]. 中国工业经济,2012(3):43-55.
- [20] 郝楠,李静. 技术进步、人力资本“侵蚀效应”与国际技术差距:基于 2001—2015 年跨国面板数据的经验分析[J]. 经济学家,2018(7):55-62.
- [21] 张杰,郑文平. 全球价值链下中国本土企业的创新效应[J]. 经济研究,2017(3):151-165.

- [22] 吴福象, 蔡悦. 跨国公司研发外包与本土企业的动态策略跟进[J]. 南大商学评论, 2012(3): 16-33.
- [23] Mansfield E et al. Social and private rates of return from industrial innovation[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1977, 91(2): 221-240.
- [24] Caballero R J, Jaffe A B. How high are the Giants' Shoulders: An empirical assessment of knowledge spillovers and creative destruction in a model of economic growth[J]. NBER Macroeconomics Annual, 1993, 8(1): 15-74.
- [25] Acemoglu D, Aghion P, Zilibotti F. Distance to frontier, selection, and economic growth[J]. Journal of the European Economic Association, 2006, 4(1): 37-74.
- [26] 詹·法, 戴维·莫, 理查德·纳. 牛津创新手册[M]. 北京: 知识产权出版社, 2009.
- [27] 孙浦阳, 刘伊黎. 企业客户贸易网络、议价能力与技术追赶: 基于贸易网络视角的理论与实证检验[J]. 经济研究, 2020(7): 106-122.
- [28] 张杰, 陈志远, 吴书凤, 孙文浩. 对外技术引进与中国本土企业自主创新[J]. 经济研究, 2020(7): 92-105.
- [29] 苏丹妮, 盛斌, 邵朝对, 陈帅. 全球价值链、本地化产业集聚与企业生产率的互动效应[J]. 经济研究, 2020(3): 100-115.
- [30] 凌华, 李新伟, 董必荣, 王敬勇. 互联网、创新要素流动与区域创新能力差异[J]. 审计与经济研究, 2020(6): 115-126.
- [31] 刘志彪, 吴福象. “一带一路”倡议下全球价值链的双重嵌入[J]. 中国社会科学, 2018(8): 17-32.
- [32] 安同良, 吴致治. 人口迁移、技术追赶与中国内外经济循环: 基于世界动力学模型的理论分析[J]. 产业经济研究, 2021(3): 57-68+127.
- [33] 李世刚, 李晓萍, 江飞涛. 收入分配与产品质量前沿[J]. 中国工业经济, 2018(1): 24-40.
- [34] 李志斌, 王天天. 环境规制对企业社会责任技术创新的调节效应[J]. 扬州大学(人文社会科学版), 2022(1): 106-117.
- [35] 姜帅. 高管股权激励与企业技术创新——基于我国民营上市公司的经验分析[J]. 扬州大学学报(人文社会科学版), 2022(5): 87-103.

[责任编辑: 杨志辉]

Technical Potential Difference, Factor Substitution and Core Technology Break of Manufacturing in China: Theoretical Analysis Based on System-Dynamics and Lotka-Volterra Model

WU Zhiye, AN Tongliang

(School of Business, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The technological gap is the key reason why China's core technology is difficult to break through. From a macro perspective, economic policies and technological policies have a certain impact on technological change. From the perspective of micro-enterprises, the sustained profit growth obtained from core technological breakthroughs determines the investment motivation for technological research and development. Using the product quality model and learning from the Lotka-Volterra theory, the System-Dynamics model was constructed from key variables such as technological gap and substitution flexibility. The study found that a looser technological competition environment can bring higher R&D output efficiency, and the initial value of the technological gap is lower. Downsizing can bring greater incentives for R&D investment, and the increase in substitution elasticity is not conducive to the increase in the output efficiency of R&D inputs.

Key Words: technical potential difference; frontier technical openness; factor substitution; Lotka-Volterra Model; System-Dynamics Model