



## 后发企业基于科学的创新过程研究

马佳<sup>1</sup> 徐雨森<sup>1</sup> 孙福全<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学 经济管理学院, 辽宁 大连 116024;

2. 中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038)

**摘要:**以华大基因为典型案例,分析后发企业开展基于科学的创新并实现赶超的过程。结果发现,引种式创新是后发企业开展基于科学的创新的一种主要形式。一些常常源发于发达国家的科学发现带来科学前景和创新前景,产生了新研究对象、新研究方法、新型科学家、新型科学工具、新型科研组织、新型研究材料等,形成了多重元素组成的复合体,即“研究种子”。后发企业在科学发现推动产生的相关产业尚未兴起和成熟之前,及时、快速地引入“研究种子”用于解决本土科学问题,并通过开展新兴科学研究和社会应用之间的转化活动、互促活动、融通活动进行可持续性的创新,即为引种式创新。引种式创新为后发企业如何在开放条件下发挥“科学”的创新驱动作用提供理论参考。

**关键词:**基于科学的创新;后发追赶;研究种子;融通活动

**中图分类号:**F273.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-0241(2019)05-0052-18

### 0 引言

当前中国在科学研究水平上已有一定进步,国际论文被引用数居全球第二<sup>①</sup>,但科学驱动创新的水平却滞后于科学研究水平,呈现出“科学强、创新弱”的趋向。与此相似,Dosi提出的欧洲悖论(European Paradox)和日本诺贝尔奖不断出现但相关产业创新难以突破的情况也说明,仅通过政府加强对基础研究的投入是不足以推动基于科学的创新的,应更加关注微观层面上科学驱动创新的过程。企业是创新的主体,企业对基础科学研究重视不够是我国建设世界科技强国中存在的问题<sup>②</sup>,而企业投入到科学研究后,如何利用科学驱动创新显得更为关键。因此,本研究聚焦

于对创新过程的分析,从后发企业如何开展基于科学的创新出发,探索后发国家如何利用科学驱动创新。

有学者指出中国长期以来在基于科学的产业难以追赶发达国家(雷家骥等,2014),如生物制药产业(柳卸林,2008)。经过长期技术追赶的实践,后发企业容易形成对技术引进、吸收和模仿的路径依赖(柳卸林等,2017),当这种惯性延伸到基于科学的创新实践时,后发企业在观望技术是否成熟、考虑能否引进或模仿的等待过程中,技术差距已经拉大,技术和市场的双重封锁已经形成,因而容易错失技术零势差或低势差下的赶超机会。然而,如果后发企业在高度不确定性下的前端就介

收稿日期:2018-10-08

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71272095、71772082);国家社会科学基金一般项目(18BGL042);国家软科学重大合作项目(2014GXS2D015);辽宁省“百千万人才工程”资助项目(2013921066)

第一作者简介:马佳(1981—),女,四川成都人,大连理工大学经济管理学院博士研究生,研究方向:技术创新、创新管理。

通信作者:马佳,majiadlut@163.com

① 数据来自科技部中国科学技术信息研究所2017年10月发布的最新中国科技论文统计结果。

② 国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见(国发[2018]4号)。

入创新活动,也将面临困境:一方面,后发企业在接近技术前沿时,就逐渐失去跟踪和模仿目标,带来后发优势的“追赶式”战略行之无效(张永伟, 2011);另一方面,强烈依赖于科学发现的技术进步常是跳跃的,无特定技术轨道,采用“跨越式”“弯道超车”等战略也可能陷入“无轨道可循”的窘境。这两方面意味着,在强烈依赖于科学研究的创新领域,后发企业开展基于科学的创新并实现赶超需要采取一条不同于“正常方式”的路径。本研究发现,一些中国企业在与科学联系紧密的产业中开展了“基于科学的创新”并成功实现赶超,对这些企业的创新过程进行研究,对于其他中国企业开展基于科学的创新具有示范作用和借鉴意义。

## 1 文献回顾

### 1.1 基于科学的创新的相关理论

基于科学的创新是由科学研究直接推动、强烈依赖于科学发现的创新(Grupp, 1992; 陈劲, 2013),具有高不确定性、高投入、长周期、高风险、高回报、知识基础高度异质和复杂、对新知识需求极高,以及参与者主要来自产学研网络等特点(Coriat et al, 2003; 张世贤, 2005; 陈劲等, 2013; 雷家骕等, 2014)。基于科学的创新常发生在知识尚未被很好编码的“发展中科学领域”(Cardinal et al, 2001),而这些领域存在于特定的产业或一些产业的特定阶段(Marsili, 2001; 林苞等, 2013),诸如生物技术产业、早期的半导体产业、部分新材料产业等。随着对基础研究的加强与高技术的发展,以及技术科学和工程科学的进一步完善,科学作为创新驱动来源的作用日渐凸显(Caraça et al, 2009; 许庆瑞, 2010; 陈劲, 2013)。

传统的技术创新研究中常将科学视为一个给定的知识库,如线性模型。Gibbons 和 Johnston (1974)提出在技术创新中要重视对科学的使用,赵红州(1984)强调了科学是特殊的生产力。模式2、三螺旋等理论(Etzkowitz et al, 2000)强调了科

学研究与创新的交互作用,关于巴斯德象限的研究(Stokes, 1997)认为科学研究的双重动机,既是对新知识的追求,又是对实际问题的解决,这些研究逐渐显现出线性模型的缺陷和科学与创新之间的复杂关系,使相关研究逐渐被引入到创新系统的分析框架下。Lundvall(1992)关于国家创新系统(national innovation system, NIS)的研究突出了科学在知识经济中对学习的重要作用。比如, Lorenz 和 Lundvall(2006)就将学习和创新划分为 STI(science, technology, innovation) 和 DUI(doing, using, interacting) 2 种模式,即基于科学的学习与创新和基于经验的学习与创新。然而,由于 NIS 理论强调比较宏观且缺乏系统层面的解释, Liu 等(2001)提出了创新系统的 5 种重要活动,在此基础上 Hekkert 等(2007)对创新系统的功能进行了研究,形成以特定技术作为分析出发点的技术创新系统(technological innovation system, TIS)理论,有利于更好地理解创新系统运作的微观机理和动态过程。柳卸林等(2018)将 TIS 理论、制度理论与中国情境结合,提出了科学推进系统的思路,为研究科学驱动创新带来了全新视角。总之,创新系统理论为在微观层面分析科学驱动创新的过程提供了分析框架。

关于企业参与基于科学的创新的研究,可追溯到 Pavitt(1984)在创新型企业中专门分离出的“基于科学的公司”。企业参与科学研究主要是受到了将研究成果转化为最终产品的前景的巨大影响,因此 R&D 部门是企业的核心部门(Cardinal et al, 2000)。虽然科学研究具有极大不确定性和发现的偶然性,但良好的工程能力将提高利用研究结果实现创新的概率(Rosenberg, 2000)。创新中所需的领先的科学知识可来源于外部的非企业组织,或需建立多功能的新型组织(Coriat et al, 2003; 温珂等, 2012)。陈劲等(2007)对企业的科学能力进行了要素解析,柳卸林等(2011)指出企业对科学的利用需要突破多重障碍。此外,雷家骕和林苞

(2014)强调在基于科学的创新中早期市场培育的关键性。

## 1.2 后发企业创新和追赶的相关理论

后发国家或地区的本土企业被称为后发企业(Hobday, 1995; Choi, 1996; Kim, 1997),常以面临技术和市场的双重劣势并试图与国际领先企业进行竞争为主要特征。关于后发追赶, Kim(1980)首先提出了引进、消化与提高的经典模型, Lee等(1988)、Choi(1996)、Mathews(2002)对模型进行了发展和修正。Lee和Lim(2001)提出路径跟随、跳跃和创造模型,强调了内部研发努力的关键作用。Gao(2003)又指出在一定条件下,后发企业应直接跨越技术引进、消化、吸收阶段,从一开始就从事研发。跨国并购也常被认为是技术追赶的杠杆(吴先明等, 2014; 郑刚等, 2016)。进入21世纪后的后发追赶研究焦点逐渐从新兴工业化国家或地区转向新兴市场国家,针对中国的研究特别关注了制度、技术体制、市场空间以及全球网络方面的特殊情境(吴东等, 2013)。后发追赶路径被逐渐归类为渐进性和非线性的2种路径(Choung et al, 2011),而无论采用哪种路径,后发企业在接近前沿时都会面临继续采用追赶模式还是转换为领先者身份参与全球竞争的两难抉择,但成为创新者仍是实现成功追赶的关键(Dutrénit, 2004; Hobday et al, 2004; Guan et al, 2009),在此共识下,研究焦点逐渐从“后发追赶”转向为后发企业的“创新追赶”(应瑛等, 2015)。

值得注意的是,既有研究大多聚焦在后发企业创新赶超的前期阶段,对于后期跨越阶段或如何保持追赶后的领先地位的研究尚不充分。既有研究多从技术、市场、能力累积、制度变革等视角来解释后发企业的追赶问题(Lee et al, 2017),却忽略了科学在追赶中发挥的创新驱动作用。特别在赶超后期,后发企业无法通过技术追赶模式跨越赶超的最后最小距离时,只有通过技术前沿扩张才能实现

真正的赶超(李俊江等, 2017)。而面临前沿创新的重大挑战时,基础科学研究和学科发展发挥着重要的支撑作用(张永伟, 2011)。柳卸林等强调基础科学研究是我国从技术追赶阶段逐渐进入前沿科技无人区时,实现技术引领战略的重要一环(柳卸林等, 2017)。这也印证了一些如雷家骥等学者的观点——基于科学的创新的匮乏是中国创新驱动发展战略的瓶颈(雷家骥等, 2014)。

文献分析发现2个问题有待探讨:(1)基于科学的创新的现有研究主要集中在发达国家,其研究对象主要为国际领先企业,忽略了后发企业创新的特殊性,专门针对后发企业开展基于科学的创新的研究仍然缺乏,更缺乏中国等新兴市场国家情境下的探索。Kim(1980)认为后发国家的创新过程与发达国家是根本不同的,因此,现有理论还不能充分解释和指导后发企业如何开展基于科学的创新,更缺乏对其关键管理问题的关注和分析;(2)后发国家从技术追赶到前沿创新,基于科学的创新发挥的关键作用已被认知,但中国情境下后发企业创新的研究还多聚焦于基于技术的创新领域,虽然有学者指出通过基于科学的创新实现赶超,难以照搬通过基于技术的创新实现赶超的路径(Dutrénit, 2004; 杨建昆等, 2016),但仍缺乏针对性研究,或并没有将基于科学的创新与基于技术的创新作区分性研究,后发企业究竟如何开展基于科学的创新并实现赶超的过程和路径尚不明确。

## 2 研究设计和数据分析

### 2.1 研究方法和案例选择

遵从“理论自然呈现”的原则,本研究采用探索性单案例研究方法,并借助扎根分析流程进行案例研究。案例研究适合纵向过程分析和提炼解释复杂现象的理论或规律(Eisenhardt, 1989; Dyer et al, 1991);对具有代表性和典型性的单案例进行研究可加深对于同类事件的理解(Yin, 2003)。

在中国生物技术产业创新整体滞后的情况下,少数后发企业却完成了突破性的赶超,可发挥“会说话的猪”(Siggelkow, 2007)的效应<sup>③</sup>。因此,本研究选择生物技术产业为研究母本。遵循理论抽样和目的抽样原则,选定深圳华大基因科技有限公司(以下简称“华大”)为案例研究样本。华大在基于科学的创新绩效上有突出表现,如表1所示。华大从1999年正式成立,到2010年成为全球最大基因测序机构并达到世界领先技术水平历经12年,较长而稳固的创新过程有益于开展纵向分析;而从2010年实现追赶后至今已历经9年,为后发企业如何保持赶超后的领先地位提供参考。

## 2.2 数据收集和案例阶段划分

通过多样化信息来源进行数据的相互补充和交叉验证(Yin, 2003),数据收集主要包括以下4种方式:(1)文献资料收集,通过中国期刊全文数据库、行业协会刊物等进行文献检索,通过华大官方网站、政府主管部门网站等搜集相关信息;(2)档案记录收集,查阅华大招股说明书、年报、内部刊物和高层讲话记录等;(3)半结构访谈,通过对已有资料综合分析,整理出访谈提纲,进行企业内部人员、外部人员访谈和行业专家访谈,了

解产业发展过程和现状以及内外部对华大创新的评价,在访谈结束后保持与被访人员沟通,补充核实资料,部分被访人员就研究结果提出意见和建议;(4)实地考察,赴华大“无创产前基因检测”成都线下合作点,了解运作流程和客户体验情况。

在咨询企业内部人员和行业专家的基础上,研究小组借助时间轴,通过对与时间和顺序有关的研究对象特征、产生影响的事件、事件的序列、环境、组织,进行分析和归纳,结合序贯重点活动的不同,将华大基于科学的创新过程分为5个阶段,如表2所示。

## 2.3 数据分析

借助程序化扎根分析法(Strauss et al, 1997),遵循逐级编码的技术程序进行数据分析,以归纳和梳理案例资料进行案例分析。创新系统理论、后发追赶等现有理论的分析框架为编码过程中数据的标签化、概念化、范畴化提供了指引。在提高信度和效度方面,采取研究人员专门培训和专题研讨,正式编码前抽取部分数据进行编码结果一致性检验(信度值大于0.8),以及理论饱和度检验等。数据分析过程如下。

表1 华大在基于科学的创新方面的一些表现

观察角度	部分证据
科学能力	2014年被《自然》评为世界领先的遗传学研究中心和基因组学、蛋白质组学、生物信息分析领域的领头羊2016年Nature Index科研产出名列全球产业机构第12名
国际市场服务能力	医疗服务能力处于全球行业前列,如无创产前基因检测业务覆盖62个国家2000多家医疗机构,《新英格兰医学杂志》研究成果显示无创产前基因检测NIFTY®表现最佳
科研合作能力	2015、2016年《自然》发布全球科研合作分值中排名首位
知识产权产出	申请国内外专利2694件,获得授权发明专利685件(至2018年7月),实现专利向发达国家输出,如转移给意大利Bioscience Genomics等

表2 华大基于科学的创新过程的阶段划分

阶段	阶段一	阶段二	阶段三	阶段四	阶段五
时间范围(年)	1983—1998	1998—2003	2003—2007	2007—2010	2011—2018
重要事件	接触国际前沿科学知识	参与国际人类基因组计划	成为科研服务机构	成为医疗服务机构	成为跨应用领域机构
产业形成和发展阶段	科学发现产生	新兴科学研究的兴起	新兴科学研究兴起和技术兴起	产业兴起和形成	产业融合

注:在生物技术产业,科学和技术联系十分紧密,一些科学发现即为技术本身,以“基于科学的技术”和“面向技术的科学”为典型产业特征(刘则渊等, 2011)。因此,新兴科学研究的兴起阶段和技术的兴起阶段间隔时间短暂并存在重叠

③解剖会说话的猪,其意义在于如果发现它会说话的原因,那么就有可能使其他的猪也会说话。反之,如果解剖普通的猪,就难以发现如何使它说话。

2.3.1 开放性编码

开展开放性编码,对数据进行标签化,提炼出

70个概念,根据逻辑关系确定了21个范畴。表3按阶段呈现开放性编码的过程。

表3 扎根分析开放性编码

	原始数据	概念化	范畴化
第一阶段	…中国开展重点科学计划(a2、a3、a4)…汪建前沿研究(a17)…赴美国爱荷华大学博士后研究(a10)涉及基因克隆、(a22)…关注人类基因组计划(a17)…于军加入华盛顿大学基因组研究中心(a12)…就参与基因组计划(a18)提出…构想(a15)…	a2 自然科学知识积累;a3 技术科学知识积累;a4 工程科学知识积累;a6 科学教育活动促进科学知识普及;a9 培养科技人才;a10 科研人员到发达国家进行学术交流;a11 接触国际科学研究组织;a12 接触科学发现相关的新知识;a15 甄别具有前景的新兴科学研究领域;a17 持续关注科学前沿发展动态;a18 动态评估前瞻性研究机会;a20 开拓者精神;a22 科学共同体中学	A1 通过必要科学知识积累和科研人才储备为引入“研究种子”做好准备(a2、a3、a4、a6、a9); A2 探寻“研究种子”(a12、a15); A3 联接科学共同体(a10、a11); A4 寻视性关注(a17、a18)
第二阶段	…中国科学院人类基因组中心成立(a21、a47)…考察学习(a22、a25、a27)…凑出积蓄(a29)…购买测序仪(a24)…不到半年(a20)得到国际同行认可(a30)…第六个(a34)参与国(a32)…成立华大研究中心(a35)…国家支持的重点项目(a37)…率先完成水稻基因组计划(a39、a40)…	a21 科学家回国开展新兴科学研究;a24 获取新科学工具;a25 获取新兴科学研究方法;a27 获取科学发现带来的科学研究新思维;a29 克服资源条件局限困难;a30 遵循科学共同体的国际规则;a32 获得数据共享的权利;a34 加入相关国际组织;a35 坚决参与的决心;a37 新兴科学研究获得政府支持;a39 采用新兴科学研究解决后发国家本土科学问题;a40 在后发国家独立开展新兴科学研究	A5 突破性科学发现出现后及时引入“研究种子”(a21、a24、a25、a27、a47); A6 介入与突破性科学发现相关的新兴科学研究活动(a20、a32、a39、a40); A7 嵌入科学共同体(a22、a30、a34); A8 参与为重(a29、a35)
第三阶段	…破译病毒全基因组序列…(a43) SARS 诊断试剂(a45、a46)…开发相应检测试剂盒(a43、a44、a59)华大正式建立(a47、a48、a49)千人基因组计划…(a51、a54、a55、a74)…国际国内合作全面展开(a54、a55)…	a43 发现新兴科学研究相关社会应用需求;a44 原始性创新;a45 新兴科学研究成果转化为社会应用;a46 创新在后发国家实现;a47 建立新型科研组织;a48 科学家创业;a49 企业家精神;a51 提供新兴科学研究相关的科研服务;a54 相关特定功能满足共性需求;a55 相关特定功能具有不可替代性;a56 再发现;a59 出现早期市场和早期客户…	A9 产业兴起之前促使“研究种子”在创新生态系统萌发(a46、a59); A10 新兴科学研究与社会应用的“转化活动”(a43、a45); A11 抢占互惠网络端口(a51、a54、a55); A12 技术创业(a47、a48、a49)
第四阶段	国家 863 重大专项(a62)…美洲、欧洲总部(a64、a78)…完成芦笋基因组计划等(a56、a62、a68、a74)…增添测序仪…全球最大基因测序机构(a70、a71)…与爱荷华大学等(a76、a77)合作研究(a65、a66)…无创产前基因筛查(a69)…	a62 社会应用活动的高级化发展;a64 创新网络国际化;a65 合作创新;a66 资源互补性合作;a68 新兴科学研究的规模经济效应;a69 社会应用的规模经济效应;a70 社会应用促进科学工具升级;a71 社会应用为科学研究带来资金;a73 再发明;a74 社会应用为科学研究带来研究创意;a75 社会应用的市场逐步扩大;a76 创新参与者数量增多;a77 创新参与者异质性增强;a78 创新参与者所在范围增广…	A13 产业兴起阶段中促进“研究种子”在创新生态系统的传播(a75、a76、a77、a78); A14 新兴科学研究与社会应用的“互促活动”(a62、a70、a71、a74); A15 拓展互惠网络(a64、a68、a69); A16 资源互补性合作创新(a65、a66)
第五阶段	…Giga Science(a81、a98)…国家基因库(a80、a81)…华大学院(a72)a98)…罕见疾病基因组学研究(a93)…创基因检测技术的临床应用研究(a84、a93)…优康门诊部(a90、a92)…收购 Complete Genomics(a70)遗传病诊断专业试点(a91、a92)…超级测序仪(a73、a100)酵母基因组人工合成项目(a44、a101)…中国抗癌天梯计划(a95)…	a72 参与创新活动的主要人员,既是科学家,又是执业者;a73 再发明;a79 创新活动的成果,既是科学理论成果,又是解决实际问题的技术、产品或方案;a80 建立科学研究和社会应用活动的会聚平台;a84 跨学科的创新;a87 建立多学科会聚平台;a90 创新活动的目标,既是探索未知领域,又是改造自然;a92 社会应用被大众市场接受;a93 创新活动的受众,既是科学研究对象,又是应用服务对象;a94 创新活动的创意,既来自科学灵感,又来自社会需求;a95 创新活动采用的主要方法,即是技术开发方法,又是科学研究方法;a96 创新活动的资金来源,既来源支持科学研究的公共基金,又来自商业融资;a97 再应用;a98 创新活动产生的数据,既用于科学研究,又用于社会应用;a100 创新活动使用的先进工具,既是科学工具,又是生产工具…	A17 产业融合阶段推动“研究种子”在创新生态系统的扩散和繁衍(a91、a92、a101); A18 新兴科学研究和社会应用的“融通活动”(a72、a79、a90、a93、a94、a95、a96、a98、a100); A19 建立会聚平台(a80、a82、a87); A20 会聚创新(a81、a84、a86、a89); A21 通过基于“再发现”“再发明”“再应用”的再创新和原始性创新保持赶超后的领先地位(a44、a56、a73、a97)
	共计 103 个初步概念	共计 70 个概念	共计 21 个范畴

注:① 因篇幅限制,表中仅显示部分原始数据和概念。② 表中“新兴科学研究”为数据分析中归纳出的一个重要概念。在基于科学的创新过程中,华大参与的科学研究多属于具有创新前景的科学发现引发的、具有前瞻性和先导性的科学研究,常可推动一个新产业产生或改变现有产业,此类科学研究因其“新近兴起”的特征,本研究将其概念化为“新兴科学研究”

### 2.3.2 主轴编码和选择性编码

运用“因果条件→现象→脉络→中介条件→行动策略→结果”的典范模型将开放性译码得到的各范畴联结在一起进行主轴编码,如表4所示。

将范畴进行系统联系,验证彼此间关系,选择核心范畴,针对“后发企业基于科学的创新过程”构建理论。核心范畴的解释和故事线的描述具体见3.2案例研究发现部分。

## 3 案例分析和研究发现

### 3.1 案例分析

在数据处理和分析的基础上开展案例分析,其中特别对数据分析中析出的一些重要范畴和发现的关键问题进行进一步探究。

(1) 阶段一:探寻研究种子。分析生物技术的发展历程,发现对北大创新产生推动作用的科学发现是1986年美国科学家 Thomas Roderick 对基因组学理论的构建,其从根本上改变了生命科学诸多学科的研究思路。人类基因组计划虽于1990

年启动,但在受制于诸多因素和当时常规科学研究思路的惯性延续,以基因组学思维为指导的研究在90年代初并未在科学界形成主流,仅在发达国家少数顶尖研究机构中开展,基因组学研究的隐性知识也仅由个别科学家掌握。北大创始人汪建等就是通过参与科研工作获取了关于基因组学的新兴科学研究思路,并敏锐地意识到其科学和社会应用前景。

通过追溯可以发现,汪建在此之前就涉足过动脉粥样硬化发病机理、蛋白质表达等多个前沿科学研究领域,直至后来提出以基因组学为支撑的中国人类基因组计划构想,在整个探寻过程中他不断地主动获取前沿科学知识、甄别有科学前景和社会应用前景的研究领域,并展现出敏锐的研究预测能力。本研究将这种对前瞻性研究机会的持续性关注和动态评估的活动范畴化为“寻视性关注”(circumspective concern)<sup>④</sup>。案例分析发现,寻视性关注是探寻研究种子的关键活动,一般由

表4 扎根分析主轴编码

项目	阶段一	阶段二	阶段三	阶段四	阶段五
因果条件	a2、a3、a4、a6、a9、a10、a11、a12、a15、a17、a18	a20、a21、a22、a24、a25、a27、a29、a30、a32、a34、a35、a39、a40	a43、a45、a46、a47、a48、a49、a51、a52、a54、a55、a59	a62、a64、a65、a66、a68、a69、a70、a71、a74、a75、a76、a77、a78、	a44、a56、a72、a73、a79、a80、a81、a82、a84、a86、a87、a89、a90、a91、a92、a93、a94、a96、a97、a98、a100、a101
现象	A1通过必要科学知识积累和科研人才储备为引入研究种子做好准备	A5突破性科学发现出现后及时引入研究种子	A9产业兴起之前促使研究种子在创新生态系统萌发	A13产业兴起阶段促进研究种子在创新生态系统传播	A17产业融合阶段推动研究种子在创新生态系统扩散和繁衍
脉络	A2探寻研究种子	A6介入与突破性科学发现相关的新兴科学研究活动	A10新兴科学研究与社会应用的转化活动	A14新兴科学研究与社会应用的互促活动	A18新兴科学研究和社会应用的融通活动
中介条件	A3联接科学共同体	A7嵌入科学共同体	A11抢占互惠网络端口	A15拓展互惠网络	A19建立会聚平台
行动策略	A4寻视性关注	A8参与为重	A12技术创业	A16资源互补性合作创新	A20会聚创新
结果	发现基于科学的创新带来的赶超机会	获取基于科学的创新带来的赶超机会	抢先完成基于科学的创新	快速持续性开展基于科学的创新而实现赶超	A21通过基于“再发现”“再发明”“再应用”的再创新和原始性创新保持赶超后的领先地位

<sup>④</sup>“寻视性关注”借用了海德格尔《存在与时间》(1953)中的表述,即“当深入领会世界之为世界时,让某某东西来照面,实际就是寻视着让某某东西来照面”,这与对前瞻性研究机会“以现在为起点,追踪到将来”的本质特征是一致的。

来自后发国家科学家主导,后发国家政府对科学家在国际范围的寻视性关注活动起到重要的支持作用,他们一般通过联接和嵌入科学共同体等方式接触前沿科学知识。总之,寻视性关注前沿科学发展,探寻研究种子是后发企业发现基于科学的创新机会的主要方式。

(2) 阶段二:引入研究种子。对于是否要参与人类基因组计划,很多国家抱有坐享其成的观望态度,但华大创始人对人类基因组计划一直保持“一定要参与”的坚定决心,并于1998年完成中国1%人类基因组计划的申请。随着2000年中国组任务的完成,参与人类基因组计划中获取的研究方法、技术平台、科学工具和培养出的基因组研究队伍迅速被运用于中国本土科学问题的研究中。华大与袁隆平院士合作开展中国杂交水稻基因组计划,标志着中国具有独立完成整项基因组测序研究的科学能力。

案例分析发现,后发企业开展基于科学的创新与开展基于技术的创新相似,其创新的最初驱动来源主要来自发达国家,都存在引进的过程。比

如,在案例中基因组学的提出者和人类基因组计划的组织者均来自美国,推动创新的最初科学发现原发于发达国家。但是,基于科学的创新与基于技术的创新二者在引进主体和引进方式上却有明显差异。后发企业在基于科学的创新中引进的主体与“科学”紧密相关,其不同于在基于技术的创新中引进的主体一般为成熟技术、生产设备等。在范畴化中,本研究借用Stokes于1997年在Pasteur's Quadrant中对日本早期追赶活动进行研究时采用的表述——研究种子(research seed)<sup>⑤</sup>,来描述后发企业在基于科学的创新中的引进主体。根据开放性编码中析出的概念,本研究将研究种子定义为:在科学发现带来的科学研究新思维下,由新研究对象、新研究方法、新型科学家、新型科学工具、新型科研组织、新型研究材料等多重元素组成的复合体。研究种子的发展可产生新科学动力并创造现实或潜在的产业创新机会,常形成于知识尚未被很好编码的发展中科学领域,多由发达国家传播至后发国家。图1展示了研究种子的结构3个层次。

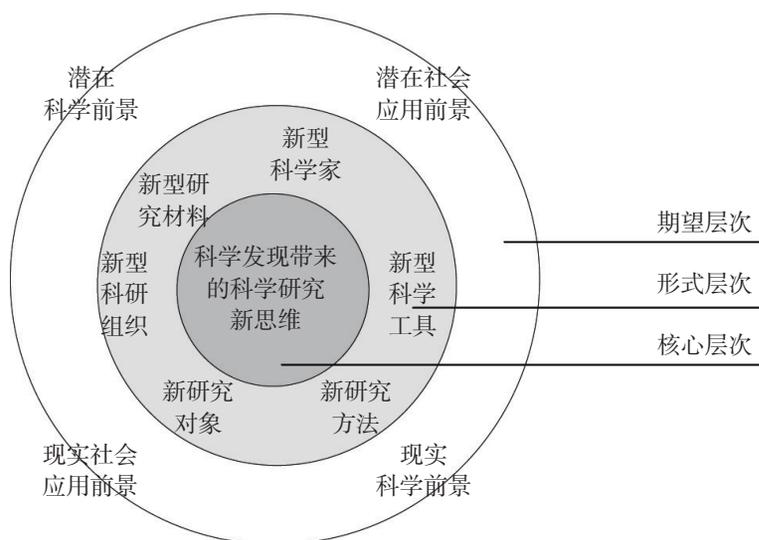


图1 研究种子的结构

⑤本研究在研究问题、研究对象和嵌入情境等方面与Stokes关于巴斯德象限的研究不同,在此仅为表述上的借用。

研究种子的核心是一种由科学发现带来的、新近兴起的科学研究新思维,具有与常规科学研究思维“截然不同”的特点。研究种子的形式层次是这种科学研究新思维的有形载体,期望层次是科学研究新思维带来的科学前景和社会应用前景。例如,在华大案例中,利用基因测序数据进行科学发现就是基因组学研究的突破带来的科学研究新思维,新研究对象主要是基因序列,新研究方法主要是测序和数据挖掘,这与当时聚焦于DNA生理结构和功能的常规科学研究思路是截然不同的。此外,研究种子的引进是新型科学家主导的,他们既是研究种子的一部分,又是发现、获取、引进、培植和传播研究种子的主要参与者。后发企业能独立开展新兴科学研究活动,并将其用来解决本土的科学问题,标志着研究种子的成功引入,在此阶段新兴科学研究活动是后发企业的重点活动。总之,快速引入研究种子,及时介入新兴科学研究活动是后发企业获取基于科学的创新机会的主要方式。

(3) 阶段三:新兴科学研究与社会应用的“转化活动”。2003年华大破译SARS病毒全基因组序列并推出世界首个诊断试剂,基因组学的社会应用价值得到认知,促发了大学、研究所、医院、生物技术公司等各界创新参与者对加入新兴科学研究的意愿。2007年汪建南下深圳正式建立华大,华大第一个商业模式也应运而生,即为医院、科研机构等提供基因测序服务。

案例分析发现,引入研究种子后,后发企业的重点活动是“新兴科学研究与社会应用之间的转化活动”(以下简称转化活动)。转化活动是针对科学研究成果,探寻其社会应用的可能性,并通过进一步研发来满足特定社会应用需求的活动。转化活动是双向的,包含了两部分:第一部分是寻找和挖掘已有科学发现可能推动实现的某种现实或潜在的社会应用需求,而将其转化为进一步开展科学研究工作的具体目标,此过程不是自然发生

的,而是后发企业主动寻求、发现、推动的;第二部分针对第一部分中确定的具体目标,通过专门的研发活动,提供能满足特定社会应用需求的具体产品、服务或解决方案。例如,华大能主动意识到诊断SARS可以通过病毒全基因组测序来实现,将测序和获得诊断蛋白作为进一步研究的具体目标,潜在社会应用需求能实质性地引发目的明确的科学研究活动,此为第一部分转化活动;根据研究成果迅速开发出检测试剂盒和试剂为第二部分转化活动。值得注意的是,研究种子在此阶段通过新型科学家开展技术创业而在后发国家得到萌发。进入阶段三后,后发企业的重点活动从较单纯的科学研究活动向兼顾科学研究和社会应用的转化活动转换,带来对资金、人才等基本创新要素的新要求,也带来多种矛盾,因而新型科学家及其团队在企业家精神的鼓舞下开展技术创业成为解决这些矛盾的最佳途径。例如,汪建通过技术创业正式成立华大后,大刀阔斧的创新活动才得以有效开展,展现出了研究种子在中国的萌发。总之,后发企业在引入研究种子后,开展了转化活动,促使研究种子在后发国家萌发。

(4) 阶段四:新兴科学研究与社会应用的“互促活动”。2008年华大与美国人类基因组研究所等共同发起国际千人基因组计划,华大的角色从人类基因组计划时的参与者向引领者转变。华大推进无创产前基因筛查项目,完成“科技服务”向“医学服务”升级。同时,华大扩展了创新网络边界,表现出创新合作者数量增多,异质性增强的趋势。

案例分析发现,研究种子萌发后,后发企业的重点活动是“新兴科学研究和社会应用活动的互促活动”(以下简称互促活动)。在阶段四,后发企业开展的新兴科学研究活动和社会应用活动发生频率更密集,涉及范围更广,逐渐呈现出相互促进的关系,表现在开展一类活动所积累或提升的资源和能力支持和促进了另一类活动的开展。后发

企业增强新兴科学研究和社会应用间相互促进关系的活动即为互促活动<sup>⑥</sup>。互促活动包含2个方面:其一是科学研究活动促进社会应用活动的开展,主要表现在科学研究成果可以推动某种特定的社会应用的实现,或者使社会应用向高级化发展。例如,华大开展的基因诊断和治疗等功能基因组学的科学研究,推动了其从“科研服务”向“医学服务”社会应用的高级化发展。其二是社会应用活动促进科学研究活动的开展,主要表现在社会应用活动的开展有助于为科学研究提供科学工具、资金、科研人员和创意来源等支持。例如,华大大规模开展科研服务的业务,促使其获得6亿贷款增添100多台测序仪,成为当时全球最大的基因测序机构。科学工具的获取提升了华大基因测序相关的科学研究能力,为其开展国际千人基因组计划等科学研究活动提供支持。科学研究和社会应用的互促活动是基于科学的创新快速可持续性开展的动力来源。相互促进的程度越深,科学研究能力受到社会应用活动影响就越大,社会应用能力受到科学研究活动的推动作用也就越强。总之,通过后发企业的互促活动,研究种子也在不同创新参与者的资源互补性合作创新中,完成了在后发国家创新生态系统的传播。

(5) 阶段五:新兴科学研究与社会应用的“融通活动”。2010年千人基因组计划研究的完成标志着人类基因组研究进入规模化时代,华大业务从“科研服务”和“医学服务”,转向“人人服务”“全面服务”,其服务对象也从大学、科研机构、医院等组织,向个体和家庭为单位的个人用户延伸,这种延伸代表着科学驱动的创新形成社会影响的扩大和深入。

案例分析发现,研究种子在后发国家得到传播后,后发企业的重点活动是“新兴科学研究和社会

应用的融通活动”(以下简称融通活动)。后发企业此阶段开展的科学研究和社会应用活动之间出现了明显的融通关系,后发企业增强科学研究和社会应用间融通关系的活动即为融通活动。在融通关系下,后发企业开展创新相关的活动,具有“既是科学研究活动,又是社会应用活动”的特点。例如,华大推出为孕妇和胎儿量身定制的基因指导健康服务“爱in家”,通过互联网提供产前检测预防健康咨询服务,这表面上为社会应用活动,但实质上在应用活动中收集、分析、挖掘基因检测数据,并试图发现致病基因等,同时是在开展科学研究活动。而发现致病基因的科学研究活动,是提供医疗服务这种社会应用活动中最关键的环节,既具有科学价值,又具有应用价值。融通关系体现出科学研究和社会应用2种活动中“你中有我,我中有你”的内在统一,是在产业融合中基于科学的创新发展到高级阶段的表现<sup>⑦</sup>。总之,通过后发企业的融通活动,研究种子在来自各界的不同创新参与者的会聚创新中,完成了在后发国家创新生态系统的扩散。

最后,分析华大自2010年成为全球最大基因测序机构并达到世界领先技术水平后的创新活动发现,后发企业主要通过基于“再发现”“再发明”“再应用”的再创新和原始性创新2种形式保持赶超后的领先地位。“再发现”是在原有科学发现的基础上,产生的再次科学发现。虽然科学发现具有偶然性,但是由于科学发现存在链式结构(滕立,2012),因而“再发现”具有一定连续性、确定性和可预测性。比如,当某种新兴科学研究刚刚起步时,采用与已产生的科学发现相同或相似的科学研究新思维、新科学工具、新科学研究方法等,改变研究对象或研究问题,就能相对容易地再次产生科学发现而进一步推动创新。因此,只要后

<sup>⑥</sup>后发企业开展互促活动并不排斥其同时开展转化活动,也不影响科学研究活动在基于科学的创新中的核心地位。

<sup>⑦</sup>后发企业开展融通活动,并不排斥其同时开展转化活动和互促活动,也不影响科学研究活动在基于科学的创新中的核心地位。

发企业在这种由链式结构产生的再发现未被充分挖掘之前,快人一步,依然能获得良好的基于科学的创新机会。如华大在完成了人类基因组测序后,又迅速开展了水稻基因组测序、千人基因组计划等,都属于“再发现”,其同样具有巨大的创新价值。“再应用”是在原有应用领域业务的基础上,开展应用领域转移或跨应用领域的创新活动,如华大将基因测序技术应用于医疗领域后又将应用转移到农业等领域,又如跨医疗和信息技术服务2个领域开发精准医疗开放云平台等。“再发明”是在科学研究推动产生的原有发明的基础上进行的再次发明,如华大在发明BGI-BOX的基础上,又发明了Easy Genomics。此外,更有意义的是原始性创新,即后发企业在引入研究种子后,独辟蹊径,通过产生新一轮的科学发现而实现了具有首创性的创新。例如,华大于2017年完成标志着合成生物学里程碑式进展的酵母基因组人工合成项目。原始性创新的实现意味着研究种子在后发国家的繁衍。总之,后发企业通过开展基于“再发现”“再发明”“再应用”的再创新和原始性创新,培育和繁衍了新的研究种子,保持了赶超后的领先地位。

### 3.2 案例研究发现

由于对研究种子的探寻和引入是后发企业获取创新机会的关键,而且整个基于科学的创新过程也是围绕研究种子的萌发、传播、扩散和繁衍而逐渐推进的,经研究小组多轮讨论,认为“引种式创新”可以展现后发企业开展基于科学的创新的全过程。这个观点受到科学推进系统相关研究的支持。柳卸林等(2018)指出中国是否能实现基于科学的创新,实现科学从最初发现向合法化发展,取决于是否存在一个合适的科学推进系统,而研究种子的探寻、植入、萌发、传播、扩散和繁衍从微观层面展现了在科学推进系统中企业通过内部努力利用科学驱动创新的主导作用。因此,在选择性编码时,将核心范畴确定为“引种式创新”。

梳理故事线如下:(1)通过寻视性关注探寻研究种子,搜寻创新机会;(2)具有创新前景的科学发现发生在发达国家后,及时快速引入研究种子,介入新兴科学研究活动,获取创新机会;(3)在相关产业兴起之前,快速开展新兴科学研究与社会应用的转化活动,通过技术创业促使研究种子在后发国家萌发,抢先于发达国家实现新兴科学研究相关的社会应用,抢占产业竞争制高点;(4)在产业兴起期间开展新兴科学研究和社会应用的互促活动,推动研究种子在创新生态系统的传播,快速持续性开展基于科学的创新而实现赶超;(5)在产业融合阶段,开展科学研究和社会应用的融通活动,促进研究种子大规模扩散和繁衍;(6)通过基于“再发现”“再发明”“再应用”的再创新和原始性创新保持赶超后的领先地位。

综上,本文将“引种式创新”定义为:后发企业在科学发现推动产生的相关产业尚未兴起和成熟之前,及时快速地引入“研究种子”用于解决本土科学问题,并通过开展新兴科学研究和社会应用的转化活动、互促活动、融通活动而实现的可持续性的创新。

## 4 结论和讨论

### 4.1 结论

根据范畴间的联系,结合案例分析,构建后发企业基于科学的创新的过程模型,如图2所示。

本研究结论为:引种式创新是后发企业开展基于科学的创新的一种主要形式。以下分析引种式创新的合理性。与基于技术的创新不同,基于科学的创新强烈依赖于科学发现,其发展不是积累性的,而是突破性的(Grupp, 1992; 陈劲, 2013),因而科学发现能力是创新的关键能力。与成熟技术、生产设备等可被引进不同,科学发现能力本身是难以被直接引进的,也不能单纯通过社会应用的大规模开展而积累。后发企业在无法快速有效改善和发展自身科学发现能力的情况下,引入研

究种子(其结构见图2)而获得创新的新科学动力成为一种选择。科学发现是创造性思维的结果,其本身产生于一种突破性的科学研究新思维,也带来科学研究新思维。而思维是可以交流、传播和被学习的,后发企业虽然在最初因科学发现能力约束难以产生突破性的新思维,但依然可以通过学术交流、情报分析等方式广泛搜寻、探查、学习和获取科学研究的新思维(研究种子的核心层次)。与此同时,后发企业通过获取新型科学工具、确定新研究对象、获取新研究方法、建立新型科研组织、获取新型研究材料、培育新型科学家(研究种子的形式层次)实现科学研究新思维的运用。这种对科学研究新思维的有效运用带来了潜在和现实的科学前景和应用前景(研究种子的期望层次)。如果后发企业在此过程中能有效获得隐性知识<sup>⑧</sup>并能比领先企业更快地实现科学研究

和社会应用的转化、互促和融通,那么即便后发企业并没有参与到最初的科学发现活动,依然有可能利用外部的科学发现而实现科学驱动的创新,并有机会在相关领域实现对发达国家的赶超。因此,引种式创新是后发企业开展基于科学的创新的一条现实又重要的途径。

引种式创新从驱动来源上促进后发企业基于科学的创新的开展,表现在三方面:(1)引种式创新增强了后发企业的科学发现能力。引种式创新中科学研究活动不再局限于象牙塔,而与社会应用活动互促和融通。融通关系下的社会应用活动对科学研究活动在数量、规模、频率、范围、研究对象、资金、人才、科学工具、数据等方面都产生促进作用<sup>⑨</sup>,因而增强了后发企业的科学发现能力。(2)引种式创新增加了后发企业“科学发现的机缘”。波普尔指出科学研究的起点来自于“问题”,

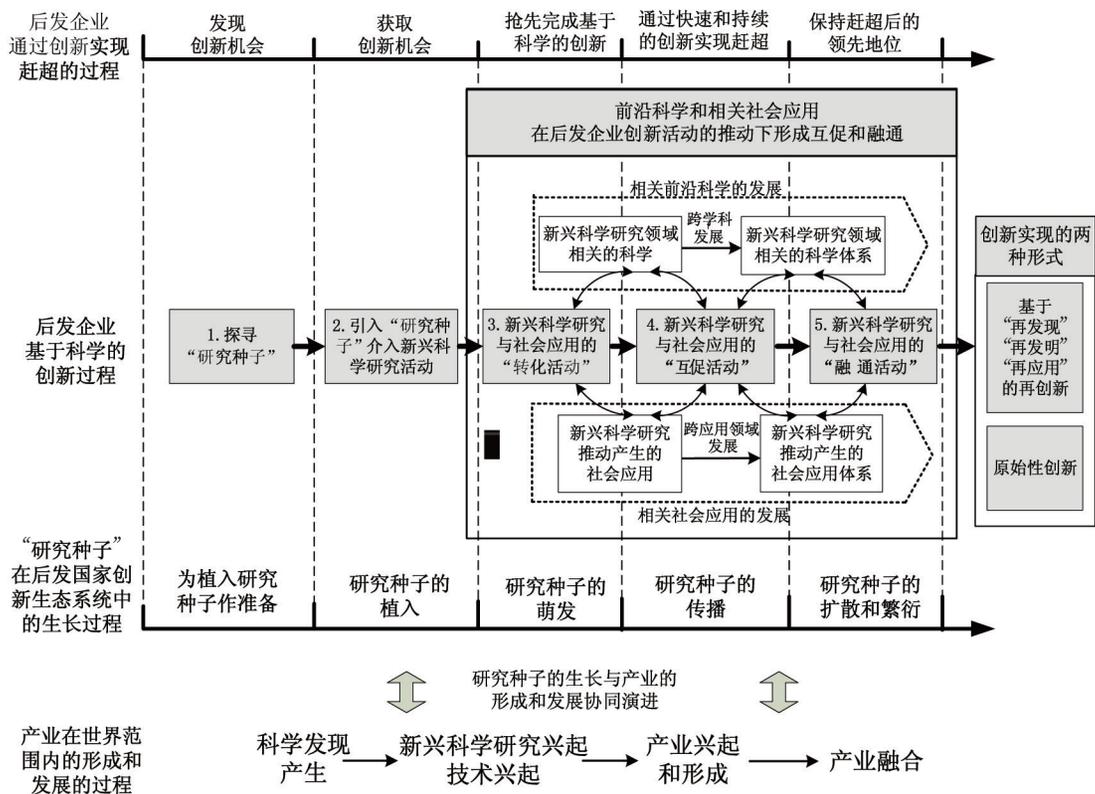


图2 后发企业基于科学的创新过程模型

⑧ 新型科学家发挥重要作用。

⑨ 析出表3开放性编码中概念a72、a79、a90、a93、a94、a95、a96、a98、a100的证据可支持此观点。

而引种式创新触发“问题”的大幅增多,推动科学研究活动更频繁、更广泛地开展,因而增加了“科学发现的机缘”。(3) 引种式创新增强了后发企业产生的科学发现的创新驱动作用。不同科学发现的创新驱动作用是有差异的,如发现癌变风险显著关联的易感基因位点,就能直接驱动推动抗癌新药的开发,具有较强的创新驱动作用。引种式创新中后发企业开展的转化活动、互促活动、融通活动,可以促使科学研究的创意、对象、目标等多种要素更密切、更深入地与社会应用相关联、交叉、相融合,因而由此推动产生的科学发现,具有相对更强的创新驱动作用。综上,后发企业开展“引种式创新”,从根本上发挥了科学对创新的驱动作用。

模型中有2个问题需要注意:(1) 在后发企业创新活动的推动下,前沿科学和相关社会应用形成了互促和融通关系。随着后发企业转化活动、互促活动、融通活动的逐步开展,新兴科学研究领域相关的科学通过“跨学科发展”形成了相关科学体系,同时新兴科学研究推动产生的社会应用通过“跨应用领域发展”形成了相关社会应用体系,二者的发展在企业创新活动的推动下相互促进,共同演进。更进一步,这个过程不仅展现了科学是创新的驱动来源,同时创新也促进了科学的发展和进步,即“创新亦为科学发展的驱动来源”——科学和创新之间是相互驱动的。换句话说,在基于科学的创新中,只有后发企业保持科学研究和创新活动之间的相互驱动,才能保证创新的持续性。(2) 在后发企业基于科学的创新活动的推动下,研究种子在后发国家创新生态系统中的生长过程和世界范围内相关产业的形成和发展过程,存在协同演进关系。世界范围内基于科学的产业的形成和发展促进了研究种子在后发国家的萌发、传播、扩散、繁衍,而研究种子在后发国家的生长同样促进了世界范围内相关产业的形成和

发展。这也展现出中国企业如何通过“引种式创新”嵌入全球产业链,以及全球产业链的发展如何带动中国企业实现基于科学的创新突破,为中国企业在开放条件下利用全球资源进行自主创新提供了新思路。

## 4.2 讨论

研究结论证实了在必要科学知识积累和人才储备充分的条件下,后发企业完全可以通过开展基于科学的创新而实现赶超。本研究在后续研究中发现:生物技术产业的一些其他后发企业,如蓝光英诺、迈特维尔等,以及其他基于科学的产业中的后发企业,如新材料产业的光启和江苏格业、新一代信息技术产业的地平线和国盾量子、生物农业产业的未名生物、医疗产业的赛尔迪等,在基于科学的创新过程中,都较好遵循了引种式创新模式的规律。本研究进一步分析了后发企业开展基于科学的创新和基于技术的创新的差异,如表5所示,说明后发企业开展基于科学的创新需要遵循其特定规律,不能照搬基于技术的创新的过程和模式。

虽然 Sabatier 和 Chollet (2017)指出在新兴领域的科学研究中先发者优势是显著的,但是在科学研究中的先发优势绝不等同于基于科学的创新的先发优势,也不意味着在产业的形成和发展过程中,科学发现阶段存在的先发优势能延续到技术兴起、产业兴起和产业融合阶段。而正是因为这种先发优势不能延续,带给了后发企业通过转化活动、互促活动和融通活动实现赶超的机会,如 Dedrick 和 Kraemer (2015)就指出科学发现带来的经济利益,可能被开展相关商业化的公司和国家更多地获取,反而产生科学发现的机构和国家收之甚少。因此,后发企业更需要的是勇气和魄力,培养超前意识,迎接全球科技竞争不断向基础研究前移的挑战。同时这个过程也需要更多来自政府、大学和研究机构的支持。

关于后发企业基于科学的创新过程的研究还

带来以下启示。

启示一:在科学发现上没有突出表现的后发国家,依然具有通过基于科学的创新而实现赶超的机会。

中国虽然在科学研究上投入较多,但一直以来少有产生可能带来突破性技术、引发科学革命甚至产业革命的科学发现,获得的诺贝尔科学奖也寥寥无几,这不能影响本研究利用科学这种重要驱动来源来推动创新的积极性和信心。引种式创新模式说明了,虽然后发国家在最初的科学发现上没有突出表现,但是依然具有通过基于科学的创新赶超发达国家的良好机会。一些研究也印证了这个观点。例如,Coriat等(2003)、Dedrick和Kraemer(2015)强调了外部的科学发现(external scientific discoveries)在基于科学的创新中的重要性,Chesbrough(2015)指出开放科学(open science)促进了最新知识的扩散,会带来全球范围的新一轮科学发现和扩散,并通过最佳应用模式去适应全球经济发展的需要。但是,虽然科学具有公共品的属性,“开放科学”却不是完全开放的(Antonelli, 2005),单纯依靠科学知识的自然扩散,在速度上和获取隐性知识上是不足以很好驱动后发企业开展基于科学的创新的。因此,后发国家要及时和主动引进“研究种子”,特别重视通过新型科学家获取隐性前沿科学知识,发挥好研究种子星星之火可以燎原的作用。

启示二:政府在科技创新政策设计中要重视基于科学的创新的特殊性。

研究结论显示了后发企业是开展基于科学的创新的先锋队和主力军。政府需要高度重视对企业开展科学研究的支持,如支持前沿科学领域的海归科学家创业、促进民办公助,加速新兴科学研究领域创新的合法性建立等。一般来说,“大学负责科学、企业负责商业化”的传统分工在技术创新中占主导地位。但本研究显示出知识经济时代下企业直接开展科学研究在基于科学的创新中是一种常态,这与传统分工的区别应该引起充分重视。另一方面,虽然社会应用对科学有反哺作用,但基础研究有探索过程中的意外运气、商业应用前景的不确定性、经济外部性等特点,这些完全由企业来承担通常不能达到最优规模(Hobday, 1995)。因此,对企业开展科学研究和基于科学的创新,政府的合理投入和支持是必要的,这样才能彻底改变企业过于依赖大学和公立研究机构提供基础研究成果的格局,从而加强产业导向型的基础研究。

全球创新范式在“基于技术的创新”迈向“基于科学的创新”的加强趋势(张鹏等, 2015)下,科技创新政策需要根据这种变化进行及时调整和优化。研究结论说明后发企业基于科学的创新与基于技术的创新过程和赶超路径是不同的,适宜于“技术引进消化吸收再创新”模式的体制和政策体系如果

表5 发企业开展基于科学的创新和基于技术的创新的对比分析

项目	基于科学的创新	基于技术的创新
参与主要形式	引种式创新	技术引进消化吸收再创新
易发领域	科学知识尚未很好编码的领域	知识编码较好的领域
后发企业进入产业的时间	常在产业形成和发展的前端	常在产业形成和发展的中、后端
主要利用的科技发展规律	利用科学发现的链式结构规律	利用技术发明的更新换代规律
创新的突破方式	通过“跨学科”和“跨应用领域”发展,以及二者的结合实现突破	通过对技术解构和技术链攀爬实现突破(Xu et al, 2015)
“引进”的视角	引进对象	成熟技术、成套技术、生产设备等
	引进方式	通过技术购买、合资、并购、人才引进、合作开发、公共平台信息等
学习的视角	新知识主要来源	跨国公司的溢出效应
	学习方式	通过反求、模仿等方式学习

被照搬到基于科学的产业,原有的政策优势就难以发挥,甚至造成资源错配。因此,在创新范式的结构性变化中,需要充分考虑不同产业创新驱动来源的区别,特别是不同产业与科学联系紧密程度的差异,及其所处的不同产业发展阶段和赶超阶段,及时制定更有针对性和动态性的科技创新政策。

启示三:企业在基于科学的创新中要加强是关键管理问题的关注。

过程模型为后发企业开展基于科学的创新提供了理论参考,但在实践中要推进此过程的发展,则需要对关键管理问题进行关注和分析。企业利用科学是一个需要突破各种困难和障碍的过程(柳卸林等,2011),而困难主要来自资金、市场和领导者等的挑战,引种式创新的研究为应对挑战带来以下管理启示。

(1) 融资渠道的选择。借助对合法性的分析发现,后发企业可以根据研究种子处于不同的生长阶段而选择相应的融资渠道。第一,在研究种子的引入期和萌发期,由于科学的合法性在后发国家尚未建立,后发企业开展科学研究难以获取科学基金、科技计划等国家对于科学研究的资金支持,也难以获得风险投资的青睐,因此,起始阶段企业融资一般来源于自筹资金或天使投资。例如,华大创始人杨焕明、汪健等最初为参与人类基因组研究就是凑出了自己的积蓄购买了美国制造的测序仪。又如,天使投资人厉伟在初期为华大基因克隆技术的相关研究和产业拓展提供了资金。此外,本研究发现,在现阶段中国的天使投资相对美国等发达国家不够成熟的情境下,一些地方政府扮演天使投资者角色的情况也比较常见,如为企业提供创业种子基金等。第二,在研究种子被引入后的阶段,科学的合法性得到建立,但科学驱动创新的合法性尚未建立时,此阶段企业的科研资金主要依靠国家支持模式,如获得科技部、国家发改委等的资助等。例如,华大基因于1999

年启动中国1%人类基因组计划后,科技部、中科院组成联合评审小组,将其正式确立为国家支持的重点项目。第三,在研究种子的传播、扩散和繁衍期,科学驱动创新的合法性逐渐建立,风险投资(VR)、私募股权投资(PE)、上市募集资金(IPO)等成为后发企业主要的融资渠道。例如,华大于2012年获得了光大控股、红杉资本等风险投资,于2017年完成上市,这些融资活动都发生在科学驱动创新合法性建立后的产业融合阶段。

(2) 市场的开拓。后发企业在基于科学的创新中开拓市场一般可通过2种方式:其一,直接将企业的科学研究成果(包括科学发现、科学新方法、科学新工具等)作为产品或服务,或者开展相关知识产权运作而开拓市场;其二,利用科学驱动研发出满足某种具体市场需求的新产品或服务开拓市场。对市场的开拓要关注以下问题。第一,在企业开展基于科学的创新的初期,将科学研究本身视为一种商业(业务)是开拓市场的一种关键思路。特别在研究种子刚被引入后,研究种子的科学价值被认知,但其创新前景尚不明确的最艰难的时期,后发企业要深刻认识到“研究产生的科学价值本身即可创造市场”的意义。例如,华大基因在最初创立时第一个商业模式就是为大学、科研机构等提供基因测序的科研服务,就是直接将科学研究视为一种商业的体现。第二,重视以组织机构为单位的组织市场和政府市场,特别要注意政府、大学等作为早期客户发挥的带动作用,而不仅仅将关注局限于个体和家庭为单位的消费者市场。例如,光启科学、国盾量子的早期客户主要就是政府。第三,科学研究相关的社会应用的高级化发展是开拓新市场的重要路径。例如,华大就是通过从科研服务、医学服务、人人服务到全面服务,利用社会应用的逐层渗透和持续升级而开拓新市场的。第四,要将科学研究本身视为企业的一种营销手段。当企业宣传其科研成果或科研

计划时,即是在对市场进行沟通和推广,有利于提升市场认知从而开拓市场。明星科学家也可以因其学术成就和学术声誉成为企业最好的形象代言人。第五,重新理解“用户参与”的含义。案例研究发现,基于科学的创新中,作为创新活动受众的用户,既是科学研究对象,又是应用服务对象<sup>⑩</sup>。例如,获取华大产前基因检测服务的用户,既是致病基因相关科研活动的研究对象,又是接受基因检测服务的服务对象。此外,用户(或客户)也为企业的科学研究提供了研究创意,如一些精细化工企业确定开发新产品的研究方向时,一般直接参考来自客户的产品寻求信息。这些参与模式体现出用户不仅深度参与了创新活动,还深度参与了企业的科学研究活动。从这个意义上讲,在人工智能和大数据时代,科学研究与社会应用的融通关系下的“市场的开拓”与“科学研究的开拓”具有同步性,二者存在相互推动的关系。

(3) 科学家向复合型领导者的转型。案例研究发现,新型科学家通过技术创业促使研究种子萌发而利用科学驱动创新<sup>⑪</sup>,这个过程中科学家要实现对企业的管理和领导,必须完成从科学家到复合型领导者的转型,以下问题需要得到重视。第一,本研究发现,由于科学家和企业家存在价值观和能力的差异,如果采用科学家和企业家二者合作的方式去开展具有高度复杂性的科学驱动的

创新,往往会因在关键问题(如对科技前沿判断、资金分配、融资方式等)上难以达成共识而产生冲突,导致创新失败。因此,具有战略眼光的科学家勇于承担起企业家和领导者的多重责任,转型为复合型领导者,成为化解冲突的最佳选择。第二,基于科学的创新是强烈依赖于科学突破的,一般研发人员无法替代顶尖科学家在创新中的关键作用,因此作为企业复合型领导者的科学家,在兼顾企业管理任务的同时,还需要承担高强度的科学研究任务。第三,复合型领导者必须同时具备强大的科学家精神和企业家精神。研究种子从引入、萌发到传播、扩散,必须经历科学的合法性和科学驱动创新的合法性建立的艰难过程,只有在这2种精神的共同鼓舞下,后发企业才能在环境约束和条件不具备的情境中,依然保持开展科学研究和实现创新的坚定决心。

本文展现了一个单案例探索性研究,虽然研究小组在后续研究中开展了小样本验证性研究,但进一步扩大样本的实证研究可提出更有普适性的研究结论。此外,引种式创新强调了及时快速引进发达国家产生的研究种子对创新的作用,这是由我国科技发展水平现状决定的,但如何促使中国自身能形成和繁衍出高质量的研究种子,开展独辟蹊径的、具有首创性的基于科学的创新是本研究在未来研究中更需要关心的根本问题。

## 参考文献

- 陈劲,赵晓婷,梁靛. 2013. 基于科学的创新[J]. 科学学与科学技术管理,34(6):3-7.
- 陈劲,郑育艺,邱嘉铭等. 2007. 企业科学能力概念的讨论与界定[J]. 科学学研究,25(2):210-214.
- 陈劲. 2013. 科学、技术与创新政策[M]. 北京:科学出版社.
- 雷家骕,林芭. 2014. 中国追赶发达国家应特别关注基于科学的创新及其产业[J]. 理论探讨,(2):76-79.
- 李俊江,孟劲. 2017. 从技术追赶到技术前沿的后发经济增长路径研究[J]. 云南财经大学学报,33(2):26-34.
- 林芭,雷家骕. 2013. 基于科学的创新模式与动态:对青霉素和晶体管案例的重新分析[J]. 科学学研究,31(10):1459-1464.
- 刘则渊,陈悦. 2011. 现代科学技术与发展导论[M]. 大连:大连理工大学出版社.

<sup>⑩</sup> 析出表3开放性编码中概念a93的证据可支持此观点。

<sup>⑪</sup> 析出表3开放性编码中概念a47、a48、a49的证据可支持此观点。

- 柳卸林,高广宇. 2011. 企业如何利用科学[J]. 科学学与科学技术管理,32(9):5-10.
- 柳卸林,程鹏. 2018. 科学驱动的创新在中国[M]. 北京:科学出版社.
- 柳卸林,高雨辰,丁雪辰. 2017. 寻找创新驱动发展的新理论思维:基于新熊彼特增长理论的思考[J]. 管理世界,(12):8-19.
- 柳卸林. 2008. 全球化、追赶与创新[M]. 北京:科学出版社.
- 滕立. 2012. 基于知识单元的科学发现链式结构研究[D]. 大连:大连理工大学.
- 温珂,苏宏宇,宋琦. 2012. 基于过程管理的科研机构合作创新能力理论研究[J]. 科学学研究,30(5):793-800.
- 吴东,吴晓波. 2013. 技术追赶的中国情境及其意义[J]. 自然辩证法研究,(11):45-50.
- 吴光明,苏志文. 2014. 将跨国并购作为技术追赶的杠杆:动态能力视角[J]. 管理世界,(4):146-164.
- 许庆瑞. 2010. 研究、发展与技术创新管理[M]. 北京:高等教育出版社.
- 杨建昆,雷家骥. 2016. 基于科学的行业的国家间追赶模式研究:以制药业为例[J]. 科学学研究,34(10):1479-1486.
- 应瑛,刘洋. 2015. 后发企业追赶理论:描述、引用与共词分析[J]. 科研管理,36(11):11-20.
- 张鹏,雷家骥. 2015. 基于科学的产业发展模式研究:以心电图和石墨烯产业为例[J]. 科学学与科学技术管理,(9):40-53.
- 张世贤. 2005. 阈值效应:技术创新的低产业化分析:以中国医药技术产业化为例[J]. 中国工业经济,(4):45-52.
- 张永伟. 2011. 从追赶到前沿:技术创新与产业升级之路[M]. 北京:中信出版社.
- 赵红州. 1984. 科学能力学引论[M]. 北京:科学出版社.
- 郑刚,郭艳婷,罗光雄,等. 2016. 新型技术追赶、动态能力与创新能力演化:中集罐箱案例研究[J]. 科研管理,37(3):31-41.
- Antonelli C. 2005. Models of knowledge and systems of governance[J]. Journal of Institutional Economics,1(1):51-73.
- Caraça J, Lundvall B A, Mendonça S. 2009. The changing role of science in the innovation process: From Queen to Cinderella?[J]. Technological Forecasting & Social Change,76(6):861-867.
- Cardinal L B, Alessandri T M, Turner S F. 2001. Knowledge codifiability, resources, and science-based innovation[J]. Journal of Knowledge Management,5(2):195-204.
- Cardinal L B, Hatfield D E. 2000. Internal knowledge generation: The research laboratory and innovative productivity in the pharmaceutical industry[J]. Journal of Engineering and Technology Management,17(3/4):247-271.
- Chesbrough H. 2015. From Open Science to Open Innovation[R]. Barcelona: Institute for Innovation and Knowledge Management, ESADE, Working Paper.
- Choi Y. 1996. Dynamic Techno-Management Capability: The Case of Samsung Semiconductor Sector in Korea[M]. Aldershot: Avebury.
- Choung J Y, Ji I, Hameed T. 2011. International standardization strategies of latecomers: The cases of Korean TPEG, T-DMB, and binary CDMA[J]. World Development,39(5):824-838.
- Coriat B, Orsi F, Weinstein O. 2003. Does biotech reflect a new science-based innovation regime?[J]. Industry & Innovation, 10(3):231-253.
- Dedrick J, Kraemer K L. 2015. Who captures value from science-based innovation? The distribution of benefits from GMR in the hard disk drive industry[J]. Research Policy,44(8):1615-1628.
- Dutrénit G. 2004. Building technological capabilities in latecomer firms: A review essay[J]. Science, Technology and Society, 9(2):209-241.
- Dyer Jr W G, Wilkins A L. 1991. Better stories, not better constructs, to generate better theory: A rejoinder to Eisenhardt[J]. Academy of Management Review,16(3):613-619.
- Eisenhardt K M. 1989. Building theories from case study research[J]. Academy of Management Review,14(4):532-550.

- Etzkowitz H, Leydesdorff L. 2000. The dynamics of innovation: From national systems and 'Mode 2' to a triple helix of university-industry-government relations[J]. *Research Policy*,29(2):109-123.
- Gao X. 2003. *Technological Capability Catching Up: Follow the Normal Way or Deviate*[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Gibbons M, Johnston R. 1974. The roles of science in technological innovation[J]. *Research Policy*,3(3):220-242.
- Grupp H. 1992. *Dynamics of Science-Based Innovation*[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Guan J C, Richard C M, Tang E P Y, et al. 2009. Innovation strategy and performance during economic transition: Evidences in Beijing, China[J]. *Research Policy*,38(5):802-812.
- Hekkert M P, Suurs R A A, Negro S O, et al. 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analyzing technological change[J]. *Technological Forecasting and Social Change*,74(4):413-432.
- Hobday M, Rush H, Bessant J. 2004. Approaching the innovation frontier in Korea: The transition phase to leadership[J]. *Research Policy*,33(10):1433-1457.
- Hobday M. 1995. East Asian latecomer firms: Learning the technology of electronics[J]. *World Development*,23(7):1171-1193.
- Kim L. 1997. *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*[M]. Boston: Harvard Business School Press.
- Kim L. 1980. Stages of development of industrial technology in a developing country: A model[J]. *Research Policy*,9(3):254-277.
- Lee J, Bae Z, Choi D. 1988. Technology development processes: A model for a developing country with a global perspective[J]. *R&D Management*,18(3):235-250.
- Lee K, Lim C. 2001. Technological regimes, catching-up and leapfrogging: Findings from the Korean industries[J]. *Research Policy*,30(3):459-483.
- Lee K, Malerba F. 2017. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: Windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems[J]. *Research Policy*,46(2):338-351.
- Liu X, White S Baark E. 2001. Comparing innovation systems: A framework and application to China's transitional context[J]. *Research Policy*,30(7):1091-1114.
- Lorenz E, Lundvall B. 2006. *How Europe's Economies Learn: Coordinating Competing Models*[M]. London: Oxford University Press.
- Lundvall B. 1992. *National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*[M]. London: Pinter Publishers.
- Marsili O. 2001. *The Anatomy and Evolution of Industries*[M]. Cheltenham: Edward Elgar.
- Mathews J A. 2002. Competitive advantages of the latecomer firm: A resource-based account of industrial catch-up strategies[J]. *Asia Pacific Journal of Management*,19(4):467-488.
- Pavitt K. 1984. Sectoral patters of technical change: Towards a taxonomy and theory[J]. *Research Policy*,13(6):343-373.
- Rosenberg N. 2000. *Schumpeter and the Endogeneity of Technology*[M]. London: Routledge.
- Sabatier M, Chollet B. 2017. Is there a first mover advantage in science? Pioneering behavior and scientific production in nanotechnology[J]. *Research Policy*,46(2):522-533.
- Siggelkow N. 2007. Persuasion with case studies[J]. *Academy of Management Journal*,50(1):20-24.
- Stokes D E. 1997. *Pasteur's Quadrant*[M]. Washington: Brookings Institution Press.

- Strauss A, Corbin J M. 1997. Grounded Theory in Practice[M]. London: Sage.
- Xu Y, Ma J, Lu Y. 2015. Innovation catch-up enabled by the window of opportunity in high-velocity markets and the intrinsic capabilities of an enterprise: The case of HTC[J]. International Journal of Technology Management,69(2):93-115.
- Yin R K. 2003. Case Study Research: Design and Methods[M]. London: Sage.

## A Study on the Process of Science-based Innovation of Latecomer Firms

MA Jia<sup>1</sup>, XU Yusen<sup>1</sup>, SUN Fuquan<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;2. Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Taking the BGI as the typical case, this study explores the process of the science-based innovation of the latecomer firms and how they accomplish the catching-up. The finding shows that the latecomer firms follow the rule of the seeding innovation in this process. The scientific discovery with huge scientific prospects and innovation prospects often emerges in the developed countries, bringing the new research objects, new research methods, new scientists, new scientific tools, new type of research organizations, new research materials and so on. These elements shape into a compound, named the research seed in this study. The latecomer firm imports the research seed immediately and quickly, getting into the emerging scientific researches to solve the scientific problems in the latecomer countries before the related industries are shaped and prosperous. Then, the latecomer firm carries out the transformation activity, interaction activity, uniting activity between the emerging scientific researches and social applications to push the innovation. This pattern of innovation is called the seeding innovation in this study. The seeding innovation provides new thoughts for latecomer firms about how to take the science as a driving force in innovation in the condition of opening.

**Key words:** science-based innovation; latecomer catch-up; research seed; uniting activity