引用格式:雷家骕, 邵云飞, 鲁若愚, 等. 深入研究科学驱动的创新模式和现象[J]. 技术经济, 2026, 45(7): 1-18.

Lei Jiasu, Shao Yunfei, Lu Ruoyu, et al. Effectively research on the innovation of science-driven models and phenomena[J]. Journal of Technology Economics, 2026, 45(7): 1-18.

本刊特稿

深入研究科学驱动的创新模式和现象

雷家骕[1], 邵云飞[2], 鲁若愚[2], 李天柱[3]

(1. 清华大学经济管理学院, 北京 100084; 2. 电子科技大学经济与管理学院, 成都 611731;
3. 贵州财经大学经济管理学院, 贵阳 550025)

摘 要: 本文旨在提出一个亟待国内学界研究的领域,即科学驱动的创新。这类创新与国内多年研究的技术驱动的创新、经验驱动的创新、需求驱动的创新有着诸多本质差异。现阶段中国的发展环境、发展需求及发展能力皆发生了巨大变化。中国与头部发达国家在产业技术创新上的关系已由"竞争合作、相互加持"转变为"并行竞争、体系切割"。同时,创新强、产业强、民生强已成为中国建设现代化强国的重要议题。在此背景下,中国必须积极有效地活跃科学驱动的创新活动。但学界以往对科学驱动的创新缺少鲜明的聚焦研究。本文梳理、归纳了国内外关于科学驱动的创新的研究进展,认为聚焦研究科学驱动的创新,有助于提升中国创新发展的质量,也有助于丰富中国情境下的产业技术创新理论。进而提出,为探明科学驱动的创新的相关规律,构建科学驱动的创新理论,管理学界亟待聚焦研究六类管理学问题:一是科学与产业技术创新的关系;二是科学驱动的创新中"科学的底层范式"的演变;三是科学驱动的创新的过程模型即创新链;四是科学驱动的创新的组织模式;五是科学驱动的创新的三层次治理体系;六是应关注科学驱动的创新的行业级现象。

关键词: 科学驱动的创新; 创新的过程模型; 创新的组织模式; 治理体系; 行业创新现象

中图分类号: G301; F273.1 **文献标志码**: A **文章编号**: 1002-980X(2026)07-0001-18

DOI:10.12404/j.issn.1002-980X.J26041616

一、引言

党的二十大报告"实施科教兴国战略,强化现代化建设人才支撑"强调,要深入实施"创新驱动发展战略,开辟发展新领域新赛道,不断塑造发展新动能新优势"[1]。2026年4月30日,加强基础研究座谈会在上海召开,习近平总书记强调,"基础研究是整个科学体系的源头,是所有技术问题的总机关"。这一语道出了科学发现对产业技术创新的重要性。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》明确提出,要"加快高水平科技自立自强"、"引领发展新质生产力"。其中提出的生物医药、新能源、新材料、新一代信息技术、人工智能等新兴未来产业正是中国开辟"新领域新赛道"、塑造"新动能新优势"、实现高水平"科技自立自强"、发展"新质生产力"的重点领域。而这些产业的形成和发展恰依赖于科学驱动的创新。

相应地,现阶段中国技术经济及管理学界亟待聚焦并研究中国情境下"科学驱动的创新"问题。特别是,国内创新研究者多年来主要关注的是"技术驱动的创新、经验驱动的创新",深入研究"科学驱动的创新"的文献比较少。本文在系统梳理国内外科学驱动的创新相关研究进展的基础上,从理论缘起、研究进展和

收稿日期: 2026-04-16

基金项目: 国家自然科学基金项目"科学驱动的产业创新:案例、理论与政策研究"(L2124026)

作者简介: 雷家骕(1955—),博士,清华大学经济管理学院教授,博士研究生导师,清华大学中国企业成长与经济安全研究中心主任,研究方向:国家经济安全、创新创业与企业成长、创新创业教育;邵云飞(1963—),博士,电子科技大学经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:创新与战略管理;鲁若愚(1959—),博士,电子科技大学经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:创新与创业管理;李天柱(1975—),博士,贵州财经大学经济管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:技术创新管理、新兴技术管理。

研究前瞻三个维度展开系统思考,并提出管理学界亟待聚焦的关键研究方向,旨在探明科学驱动创新的相关规律,推动构建科学驱动的创新理论。本文对于中国深入实施创新驱动发展战略、加快发展新质生产力具有重要的理论价值与实践启示。

二、科学驱动的创新、创新研究的缘起及研究紧迫性

(一)科学驱动的创新的缘起

科学驱动的创新即科学驱动的产业技术创新,在"科技创新引领发展"的语境中,越来越成为中国业界、学界、政府关注的热点话题[2]。基于创新的源头不同,业界将技术创新划分为三类。第一类是经验驱动的创新。例如,在第一次产业革命中,与瓦特蒸汽机、珍妮纺织机相关的一系列创新,多是源于那个时期诸多工程师一系列实践所积累的技术经验。第二类是技术驱动的创新。例如,改革开放第一个40年的中国业界诸多创新。前期主要是对"以市场换技术"所得国外技术所做的富有新意的应用,后期则是对国内所研制技术与此前所换取国外技术的自主整合创新。第三类是科学驱动的创新。即源于基础科学新发现或应用基础研究新探索成果,经过创新者一系列后续努力所形成的产业技术创新。例如,物理学中能量守恒与转化定律的发现及电磁理论的建立,驱动了发电机的发明和电力产业的兴起,由此引发了国际上第二次产业革命。

典型的是,在中国企业华为公司的创新中,土耳其科学家 Erdal Arikan 教授2008年发表了关于 Polar 码(极化码)的论文,开拓了信道编码的新方向,该类编码是国际上排名前列且能够被严格证明达到香农极限的信道编码方法,它可大大提高编码性能,降低设计复杂度,确保传输业务质量。2010年华为研发人员发现了极化码的信道编码技术潜力,华为公司即适时在 Erdal Arikan 所做研究基础上投入力量,经过多年努力在极化码核心原创技术上取得了多项突破,促成了其从基础研究成果到产业应用的蜕变,由此即有了华为公司5G(第五代移动通信技术标准)编码方案的突破。由此可见,"革命级的创新"只能源于"科学驱动的创新"活动。

(二)科学驱动的创新研究的缘起

对科学驱动的创新的研究大致始于20世纪80年代。当时正是发达国家高度关注高新技术产业(或称"高技术密集产业""高知识密集产业")兴起和发展的时段。1986年,英国经济学家 D. S. L.卡德韦尔的研究较为间接地揭示了"科学驱动的创新"现象。他的研究发现,第一次世界大战后英国在经济、科技等方面全球领先地位的衰落,主要归因于英国当时的产业技术创新"多是以经验为基础的,而不是以科学为依据的"[2],即不是科学驱动的创新。与此同时,高新技术企业集聚园区在美国等地出现,引发不少学者对科学驱动的创新的关注。特别是美国的"硅谷现象"和"128号公路现象",引发不少学者关注科学界的研究开发和创业活动对高新技术产业园区发展的引导和驱动作用。其中科学驱动的创新的活跃,恰恰是不少高新技术产业园区兴起和发展的直接驱动力。此后的2003年,Coriat 等[3]正式提出了"科学驱动的创新"的概念。

1993年,清华大学雷家骕在其博士学位论文《创新植入增长:高质量增长的渊源与机理研究》中提出,"若不以 R&D 支撑的基础科学的进展为支撑,则创新本身和对经济增长的引擎作用终究不会持续很长时间"[4]。这实际表达了"科学驱动的创新才能为经济增长提供可持续动力"的意思。2012年,雷家骕团队在承担国家社科基金重点课题"中国基于科学驱动的产业的技术赶超与自主创新战略研究"时,明确提出了基于国情的"科学驱动的创新"的概念。

从科学驱动的创新研究的文献发表数量变化看,在1986年至今的40年中,国内外关于科学驱动的创新的研究大致可以分为四个阶段。一是启蒙阶段(1986—1997年)。一些发达国家学者基于本国的产业技术创新实践,提出应关注科学驱动的创新活动,但相关文献较少,且主要是英文文献。二是导入阶段(1998—2007年)。新兴国家一些较为敏感的学者紧随发达国家学者,开始较多关注科学驱动的创新现象。文献数量增加,同时出现了中英文献并增局面。三是兴起阶段(2008—2014年)。受2008年国际金融危机启发,更多学者意识到基础研究和应用基础研究成果走向产业应用对于经济可持续增长的重要性,由此开始用"科学驱动的创新"的逻辑思考如何促进科研院所的科研成果产业转化等问题。此间,中英文研究文献数量有更多增长[5]。四是聚焦阶段(2014年后)。因为科学驱动的创新具有显著的学科特征,不同学科领域科学驱

动的创新活动的异质性很强，故不同学科背景的学者聚焦于在自己熟悉或感兴趣的领域开展对科学驱动的创新的研究。

从成果发表看，英文文献主要发表在 *Research Policy* 和 *Journal of Technology Transfer* 等 100 多种国际期刊上。中文文献主要发表在《科研管理》《科学学研究》《科学学与科学技术管理》等涉及“科技”二字的 20 多种中文期刊上，涉及 30 个国家（地区）300 多家研究机构的 300 多位研究者。例如，加拿大的 Daar Abdallahs、Singer Petera；国内高校如雷家骕、林苞、张庆芝、张鹏、邵云飞、李天柱、鲁若愚、王艺霖等先后投入这方面研究。在国立研究机构，则有吕薇、柳卸林、温珂等的相关研究。吕薇牵头撰写的《从基础研究到原始创新》（2021 年）[6] 和《基础研究支撑原始创新——中国经验》（2025 年）[7] 这两部著作认为，基础研究是技术创新的源头供给，没有基础研究就没有真正的原始创新，重大技术突破必然依赖基础研究的前期积累和理论支撑。

（三）深入研究科学驱动的创新的紧迫性

第一，第四次产业革命发生以来，发达国家越来越重视面向未来的创新，其中引领方向的即科学驱动的创新。一是新的科学发现直接促进新产业的形成。例如，生物科学的新发现促进了生物工程、生物医药、生物农业、生物能源、生物制造等产业的形成；纳米科学的新发现促进了纳米产业的形成；大数据科学、人工智能科学的进展促进了大数据和人工智能产业的形成。二是科学家引领创新、创新引领产业发展。或是企业内部科学家主导基础研究和后续商业转化；或是科研机构科学家有了新的科学发现后，与企业合作推进成果转化；或是科学家有了新的科学发现后，亲自创办企业。三是早期发达国家积极发展科学驱动的企业。这类企业的基本特征是在企业的科学家既从事科学研究，又深度介入商业性创新活动；科学家带土移植自己的科学研究成果后，还以后续的科学研究成果持续助力企业的商业性创新。致力于建设创新型的现代化强国，更应重视早期发达国家的前述动向。

第二，改革开放 40 多年后中国的发展需求和发展能力皆发生了巨大变化，产业技术创新亟待强化科学驱动。就发展需求而言，中国要分“两步走”全面建成社会主义现代化强国。创新强、产业强、民生强是中国式现代化强国应有的寓意。作为新兴大国，也有责任为人类社会作出更大贡献，包括科学发现和产业技术创新的贡献。这就要求必须实现“高水平科技自立自强”，即“基础研究强、应用基础研究强、技术研制强、产品研发强、科技产业强”。这实际上就是“科学驱动的创新链条”整体上要“强”。否则，就不可能成为现代化强国，在主要发达国家封堵中国的严峻国际环境中，中国还可能因为“落后”而“挨打”。这更要求必须把“活跃科学驱动的创新”作为“创新驱动发展、科技创新引领发展”的“升级版”来推动。就发展能力而言，现阶段中国已基本具备在新兴领域“活跃科学驱动的创新”的能力基础。改革开放 40 多年间，中国产业技术创新的模式演变经历了四个阶段，即引进借鉴（1978—1987 年）、模仿改进（1988—1997 年）、整合自创（1998—2007 年）、自创迭代提升（2008 年至今）。创新能力的提升是通过丰富的创新实践实现的。通过前述四个阶段，中国业界的创新能力持续提升。据科技部相关机构调研，其中的科技进展，中国已达到了 1/5 全球领跑，2/5 与发达国家并跑的程度[1]。在此基础上，只要遵循“科学驱动的创新”的内在规律，足够投入创新资源，中国业界完全能够从“基础研究新发现”或“应用基础研究新探索成果”出发，有效推进后续创新环节，从而实现“创新能力”大幅提升和“创新成果”质量更优。

三、科学驱动的创新研究进展

若干年来，科学驱动的创新活动在头部发达国家已十分兴盛，围绕科学驱动的创新的学术研究在主要发达国家和部分新兴国家已成为热点。但在发达国家的语境中，多数学者将“科学驱动的创新”（science-driven innovation）称为“基于科学的创新”（innovation based on science）。正因为文字上的差异，导致国内部分学者没有观察到“围绕科学驱动的创新研究在主要发达国家和部分新兴国家”已成热点的事实。

（一）科学驱动的创新的概念演化

在创新研究领域，伴随产业技术创新实践中的新现象，学术界总会相应构建新的概念。对这些概念做出恰当界定，有助于学术探究中相关概念内涵的稳定性及同行对同一概念理解的一致性。

1. 科学驱动的技术

产业技术创新实践的深入,促使学术界和业界日渐认识到,能够造就新业态、新产业的新技术,更多地源于基础研究的新发现,或是源于应用基础研究的新探索成果所提供的新知识。基于此,“科学驱动的技术”的概念即被学术界提出。著名学者 Freeman 是这一概念的最先使用者[8],他先是提出了“源于科学的技术”的概念,进而从中剥离出“与科学强烈互动的技术”即“科学驱动的技术”,即若无新的科学发现或应用基础研究的探索成果,就不可能形成进步的技术。另有学者 Meyer-Krahmer 和 Schmoch 以“专利的科学论文引用”为指标,将化学、生物技术和信息技术等界定为“科学驱动的技术”[9]。

2. 科学驱动的(产业技术)创新

创新需要知识基础,甚至需要新的知识。Coriat 等[10]将那些强烈依赖科学新进展,借助前沿科学发现而推动的产业技术创新活动,称之为“科学驱动的创新”;将相对较弱依赖于科学研究新成果,而以工艺设计和技术开发、技术迭代为基础的创新,称为“技术驱动的创新”。林苞和雷家骕[11]依据创新的知识来源,将利用现有技术知识,进行改进、整合和调整,以产生新的技术的创新活动,称为“技术驱动的创新”;将由新的科学发现直接引起的技术变化过程称为“科学驱动的创新”。二者的区别仅在于创新过程中是否应用和产生了新的科学知识。目前学术界对“科学驱动的创新”的界定已基本达成一致,即强烈依赖于新的科学发现或探索性成果,由企业和研究机构创造或应用前沿科学知识所实施的产业技术创新。值得关注的是,在以往的产业技术创新研究中,学术界只是粗略地将创新的原始驱动力分为技术驱动和市场驱动,却忽略了“科学驱动的创新”这类重要的现象[12]。这是因为在以往创新研究中,多数学者将“科学发展”视为一种既定的状态,由此导致科学驱动的创新现象没有得到专门关注和研究[13]。特别是,中国长期没有相对独立的科学政策,导致人们将科学与技术混为一体,一些人甚至认为技术驱动的创新包含了科学驱动的创新。

3. 科学驱动的产业

有“科学驱动的技术”,即会有“科学驱动的产业”。为解释 19 世纪末期到第二次世界大战后这段时间早期发达国家的产业演变,英国苏塞克斯大学 Keith Pavitt 调研了本国 2000 多家创新活跃的企业。基于不同产业技术发展轨迹的差异,Keith Pavitt 将相关产业分为“生产密集型产业”“供应商主导型产业”和“源于科学的产业”,即“科学驱动的产业”[14]。他认为,科学驱动的产业是其发展更多地依赖于科学新进展的产业[15]。Keith Pavitt 还发现,英国那些创新活跃的企业,其技术主要来源于企业、大学和公共实验室的基础研究成果或应用基础研究成果及后续的技术开发活动。2016 年,张鹏和雷家骕[16]依据各个行业“专利申请文件引用科学文献”的程度,将制造业分为“科学驱动的产业”与“技术驱动的产业”,如医药、化工、生物、功能材料、微电子、复杂电子系统等制造业,皆是典型的科学驱动的产业。

4. 科学驱动的企业

科学驱动的企业即致力于将科学发现或新探索成果转化为产业应用和新产品的企业,这类企业在科学研究成果转化过程中还会从事补充性科学研究(以破解此前科学发现或新探索成果难以转化的某些原理性难题)[17]。20 世纪末期始,在欧美发达国家,科学家主导或参与的制造企业迅速增加,尤其是欧洲公共研究机构越来越多地参与科学研究成果的产业转化。学术界即把这类企业称为“科学驱动的企业”。英国剑桥大学工程学院的伊丽莎白·甘西认为,专业知识与业务能力的结合,使科学驱动的企业能够在竞争中保持领先地位;科学机构与企业的目标不同,前者是在公共领域推进知识进展,后者是将新的知识转化为商业资产,两者是互补关系[18]。在中国研究型大学和科研院所的衍生企业中,有一些是科学驱动的企业。它们经营的主要业务,是依据母体科研机构的基础研究成果和应用研究成果,通过概念验证和工程试验,进而研制“领域根技术”,甚至开发原型产品。中科曙光等即是这样的企业。

(二)科学驱动的创新过程及其可能的风险

科学驱动的创新链条较长,环节丰富。

1. 科学驱动的创新是过程环节最为丰富的创新活动

以某新型复杂电子整机系统为例,科学驱动的创新过程至少包括基础研究、应用基础研究、概念验证、工程试验、“领域根技术”研制、原型产品研制、针对特定场景的商业级产品及其制造工艺开发、市场测试、新

产品推广、多轮新产品迭代等。其中关键是要用国内外最新科学发现或应用基础研究探索成果去开发新的“领域根技术”[19]。因为创新链条长，创新者必须克服多于“技术驱动的创新”的诸多困难，如通过基础研究得到了“新的科学发现”后，需要适时开展应用基础研究；否则，就不可能搞清“新的科学发现”可以用于解决哪些领域的问题。在概念验证和工程试验之后，创新者要想研制出新的“领域根技术”，还必须蹚过“魔鬼河”般的困难，其中涉及多项“领域根技术”与相关辅助技术的整合及其进一步的优化。“优化”需要做不少检测和试验，甚至还需要做计算机模拟。

2. 科学驱动的创新的知识基础是“发展中(即不完善)的科学知识”

科学驱动的创新使用的科技知识，并非成熟的商业级科技知识。只有整合多样多源的学科知识，才可能实现某个创新。有时在领域根技术研制和原型产品研制两个阶段，可能还需要做些补充性科学研究(多数是应用基础研究)。相应地，科学驱动的创新会面临三类风险。例如，研发能否成功的风险，因为研发过程存在诸多不确定因素；决策会否失误的风险，有可能因为决策者个人认知(科学认知、产业认知、商业认知等)的有限性而偏离决策理性；投资的风险，即从基础研究能否有新的发现到新产品上市，每个环节所需资金皆有很大不确定性[20]。而且前述三类风险还有可能叠加[21]。同时，在这类创新中，需要充分且恰当发挥领军科学家、桥接科学家的作用。其中，领军科学家的职能主要是把握创新进程的大方向，并需要在创新链多个环节界面上做出恰当决策；桥接科学家的职能，则是要将上个环节的知识有效地传递给下个环节，继而协调前后环节的知识资源配置。

3. 科学驱动的创新是原始创新的根本源泉

科学驱动的创新有可能创造新的“领域根技术”，进而创造新功能、新产品、新业态、新产业。这在学理上是典型的熊彼特式破坏性创新[22]。一些学者常以第二次产业革命为例来佐证这个判断，认为物理学中能量守恒和转化定律的发现及电磁理论的建立，驱动了电力技术和使用电力的机器的研制，由此引发了以电力为动力的大机器工业的兴起[1]。20 世纪 90 年代基因科学的系列突破，相当程度上造就了生命科技产业的形成。20 世纪 90 年代以来无线移动通信日益成为人们生活的“必需品”。而作为移动通信终端的手机的研制，背后则有着 10 个诺贝尔奖级科学成果的贡献，即晶体管技术(1956 物理学奖)、激光技术(1966 物理学奖)、液晶显示技术(1991 物理学奖)、集成电路(2000 物理学奖)、锂电池(2019 化学奖)、巨磁阻效应(2007 物理学奖)、CCD 传感器(2009 物理学奖)、LED 背光(2014 物理学奖)、石墨烯(2010 物理学奖)、导电聚合物(2000 化学奖)。

4. 科学驱动的创新的实现周期有着显著的多重异质性

张庆芝和雷家骕[23]研究发现，认为“科学驱动的创新的实现周期冗长”的认识，忽视了不同学科领域科学驱动的创新的异质性，忽视了这类创新采用不同的组织模式导致的创新周期的异质性，忽视了始发场景不同导致的创新周期的异质性，以及不同领域科学驱动的创新对于创新生态的需求也有其异质性。有案例表明，在现代科技和产业活动中，恰当的创新过程组织模式和科学家、企业家创造性的协同，以及适配的创新生态，有可能缩短科学驱动的创新的实现周期[23]。所言创新生态，最为重要的是必须重视构建“沿创新链”的以市场机制为基础的接力研发机制。科学机构和大学擅长基础研究和应用基础研究。后续领域根技术研制、原型产品研制等则应交给企业；或者科学机构和大学的科学家与企业家合作，甚至需要市场化投资者的介入。

(三)科学驱动的创新的主体：科学驱动的企业

Pisano[24]研究发现，“科学驱动的创新”与“技术驱动的创新”的实施主体是有显著差异的。19 世纪下半叶，在诸多美欧国家，大学为基础科学研究提供了制度化场所，科学研究主要在大学进行，而新知识应用和商用开发主要在企业进行。在此背景下，技术创新基本是企业通过经验积累和技术积累、技术迭代实现的，总体上呈现“技术驱动的创新”繁荣的特征[24]。这些企业可称为“技术驱动的企业”。

到 19 世纪末 20 世纪初，情况发生变化。麻省理工学院、康奈尔大学等研究型大学开设了应用科学和工程系。大学的基础研究新发现通过大学应用类院系和研究所的应用基础研究的新探索，进而通过企业的接力研发，转化为企业可用的新技术、新工艺甚至是可以上市的新产品。杜邦、施乐、IBM 等大型企业内部建立了科学研究机构，以寻求其既有核心业务之外的发展机会，甚至孕育出了诺贝尔化学奖和物理学奖的得主。这两种情况的出现皆使得不少企业的技术创新出现了“科学驱动”的迹象。

1980年美国颁布《拜杜法案》,大学和科研机构申请并拥有了诸多技术专利,这极大地激发了大学和科研机构参与产业技术创新的积极性。一方面,大学和科研机构开始向企业转让专利技术;另一方面,不少大学和科研机构或其个人纷纷创立“科学驱动的学术衍生企业”,从专利许可中寻求经济回报。这两种形式下,大学和科研机构逐渐成为科学驱动的创新的重要参与者甚至主导者。这些大学和科研机构创立的“衍生企业”,从事既有科学成果转向产业应用的工作,进而为顺利实现前述转化也会从事某些“补充性科学研究”,这就是“科学驱动的企业”。

伴随大学及科研机构创办“科学驱动的企业”,一些大型企业内设科研机构中某些科研团队,也会致力于将自己的科研成果转化为产品原理、产品设计或生产工艺设计,进而在适当时点转变为与原有企业只有股权关系的独立法人企业。为长久经营和发展,这类企业既会从原来所在企业内设科研机构持续获得新发现、新探索的成果输入,也会从事力所能及的、服务本企业的科学研究。由此,大学、科研机构和企业内设科研机构某些团队创办的“科学驱动的企业”,即逐渐成为科学驱动的创新的主体。

(四)科学家在科学驱动的创新中的角色及其作用

在科学驱动的创新中,两类科学家的作用十分重要。李欣融等[25]研究发现,领军科学家主要是就创新过程中的重大事项作出决策,特别是在“创新的拐点”作出理性判断和方向性决策;桥接科学家的作用,主要是将前序创新环节所创造的知识传递给后续创新环节,使后续创新环节的创新者完备地掌握前序环节所创造的新知识,以推动整个创新链条顺利前行;而其他科学家的作用,则是聚焦从事特定科学领域的专业研究,服务于相关技术问题的解决。在科学驱动的创新中,领军科学家和桥接科学家的独特作用,是其他科学家难以替代的。

具体而言:首先,科学家的认知和行为对科学驱动的创新的实现有重要影响。Tootell等[26]研究发现,一些科学家的机会主义意识是实现基础研究新发现的重要障碍,而且还会影响其他有科学新发现的科学家与产业界的合作。而情感信任和认知信任有助于科学家向业界传播知识并转移技术,进而促进科学驱动的创新的实现[27]。Lacetera等[28]研究发现,科学家特别是“明星科学家”的参与,会促进科学新发现和新探索成果向产业转化的努力,从而加快科学驱动的创新的前端进程。其次,科学家团队的行为也会影响科学驱动的创新的实现程度和进程。Colyvas等[29]认为,科学驱动的创新多数是由大学或科研机构的科学家团队推动的。这些科学家的动机,首先是将自己的科研成果转化为商业级产品,同时为使自己新的研究工作得到商业性基金的持续资助。他们所推动的创新能否成功实现,相当程度上依赖于领头人自身的技术经验和商业经验,以及团队识别和利用商业机会的能力[30]。Knockaert等[31]研究发现,科学发现阶段的团队成员加入科学驱动的创新团队的比例越高,越有可能促进隐性知识沿创新链顺利转移,从而更有助于商业级别的创新的实现。Vanaelst等[32]研究则发现,创新团队认知的异质性,会促进创新过程中环节性决策更为恰当,减少重大失误,进而促进创新载体“科学驱动的企业”更好地成长。Rickne[33]的研究则发现,同时拥有科研经验和商业经验的创始团队创办的企业更具有商业优势。另外,在特定创新活动中,科学家的科学认知(即对自身成果的科学价值的认识)、商业认知(即对自身成果的商业价值和未来市场前景的认识)、成功预期(即科学家认为“自己能在商业上成功”的概率)等,对技术研发和商业转化皆有重要影响[23]。

与此同时,对科学家的激励方式也会影响科学驱动的创新的实现程度及其绩效。Cozzi和Galli[34]研究发现,提供奖金奖励等物质激励和社会地位、学术声誉等非物质激励,有助于提高科学家在基础研究、应用基础研究、“领域根技术”研制环节的绩效。Gerbin和Drnovsek[35]研究发现,绩效薪酬(如许可费或股权)比非绩效薪酬(如工资),更能激励科学家将基础研究新发现、应用基础研究新探索成果推向产业级别的商业转化。而高额专利许可收入税、参与产业转化不纳入职级晋升评估等,则会阻碍科学家参与科学研究成果的产业转化。

(五)相关环境因素对科学驱动的创新的影响

一是非正式制度对科学家参与科学驱动的创新有显著影响。典型的是,群体规范和同行参与的积极性,会增强科学家参与科学驱动的创新的倾向性行为[36]。同时,大学师生的创新创业活动也会受到院系文化影响。换言之,特定大学院系教师在某些领域的学术水平高、有学科领域偏好,该院系师生与企业合作推动科学驱动的创新时,即可能首选甚至聚焦本院系相关科学领域[37]。

二是国家创新体系的差异也会引发科学驱动的创新的差异。Tijssen 和 Winnink[38]研究发现，在发达国家，科研经费规模和产学研合作程度是影响科学驱动的创新的效果和效率的重要因素；在欠发达国家，人力资源利用效率和科学研究的质量是影响科学驱动的创新最为重要的两个因素。知识产权制度是国家创新体系的重要组成部分。Bstieler 等[27]研究发现，大学知识产权保护政策的灵活性和透明度，有助于减少科学驱动的创新中校企合作的知识产权歧义和冲突；知识产权保护政策的明确性和公平性，有助于降低创新中校企合作的不确定性，进而促进校企合作效果及效率的提升。

三是大学及研究机构知识外溢的影响。Bonaccorsi 等[39]研究发现，大学的基础研究水平，对大学自身科学家建立“科学驱动的衍生企业”具有显著影响。换言之，如果大学的基础研究水平高，则大学教师作为创新者，从事科学驱动的创新、建立科学驱动的企业的积极性即比较强；反之则反是。Colombo 等[40]研究发现，大学的知识溢出对“科学驱动的企业”的成长有重要作用。企业的吸收能力越是强，区域内大学的科学研究活动越会显著促进区域内企业从事科学驱动的创新。

四、研究前瞻：构建科学驱动的创新理论需要回答的管理学问题

“科学驱动的创新”是当今中国谋求“高水平科技自立自强、科技创新引领发展”必须关注的重大议题。国内外关于科学驱动的创新研究虽已取得较大进展，但该领域仍然充满研究探索空间、机遇和挑战。为实现中国现代化强国建设“两步走”目标，必须加强并深化对“科学驱动的创新”的探索，通过回答如下六类问题，对科学驱动的创新作出“闭环”的解释，完善科学驱动的创新的理论构建。就此而言，在继续深化前一部分所提及问题研究的同时，现阶段对六类问题的研究至关重要。一是现实中科学与产业技术创新的关系。如没有搞清这个“关系”，即很难理解“科学对前沿领域产业技术创新的极端重要性”。二是科学驱动的创新中“科学的底层范式”。如不搞清这个问题，就难以理解“科学成果是怎样有效生成的”。三是科学驱动的创新的过程模型，此即俗语中的“创新链”。现在媒体和学术界都在讲“创新链融入产业链”“科技创新与产业创新融合”。但如不搞清科学驱动的创新的“创新链”，不理解特定行业领域“创新链”的微观结构，泛谈“融入、融合”，则必会“以其昏昏、使人昭昭”。四是科学驱动的创新的组织模式。创新是种活动，也是种过程，需要特定的组织去承载。科学驱动的创新的“利益相关者”不同于“技术驱动的创新、需求驱动的创新”的“利益相关者”，科学家推动并参与创新是科学驱动的创新独有的特点。这就使得科学驱动的创新具有与“技术驱动的创新、需求驱动的创新”不同的组织结构和机制，也需要不同的治理结构。五是科学驱动的创新的三层次治理体系。这本质上是要构建“有利于科学驱动的创新得以发生和实现”的创新组织的内外部生态。其中团队治理与平台治理要解决的是组织内部创新生态构建问题，外部治理要解决的是创新组织外部创新生态构建问题。六是科学驱动的创新的行业级现象。洞察相关“现象”，才可能进一步深入理解前述“一到五”的问题。对前述六个问题作出恰当回答，才能够对科学驱动的创新做出“闭环”的解释。图 1 为复杂电子整机系统科学驱动的创新。

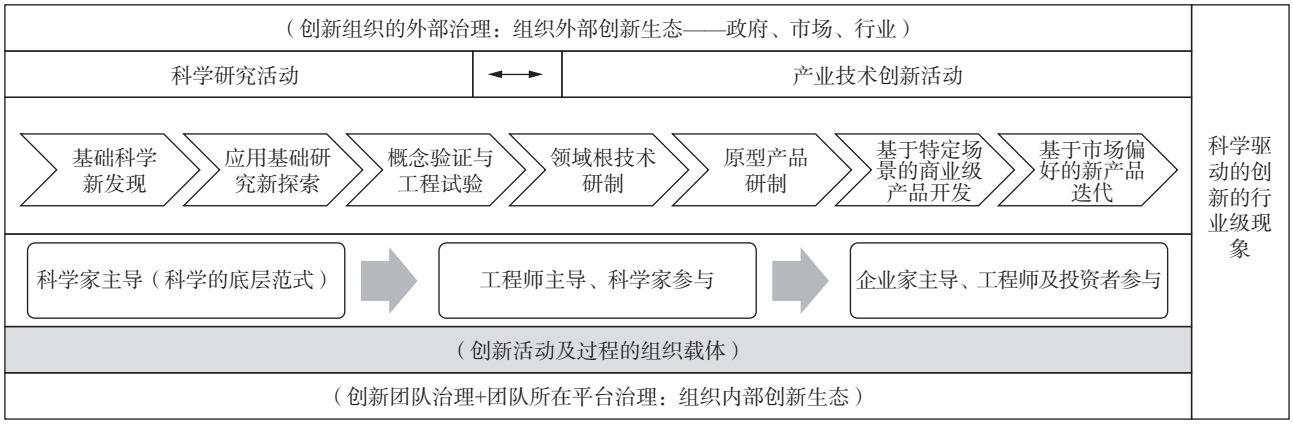


图 1　以复杂电子整机系统为例的科学驱动的创新

(一)科学与产业技术创新的关系

科学驱动的创新主要发生在前沿领域,呈现三大特征趋势:一是深度融合,即多数行业中科学驱动的创新是多学科交叉、微观精准操控,从原理突破走向源头原创的过程;二是研产闭环加速,即多数行业中科学驱动的创新,相应的工程化("领域根技术"研制、原型产品研制)、场景化(商业级产品开发)、产业化(量产)皆在加速;三是创新的实现有赖于从科学研究成果(对客观现象及其规律的揭示)到走向在特定场景应用的新产品的全链条畅通,否则创新努力就可能陷入"死亡之海"。

1. 科学驱动的创新的多学科交叉

在量子科技(量子计算/通信/精密测量)领域,其科学驱动的创新的主线是:量子力学→量子信息→工程化→产业化。趋势是:量子计算从"量子优越性"展示→专用量子计算机(量子模拟/优化)的工程化设计,超导/光量子/离子阱多路线并行,量超融合(量子+超算)成为主流的算力架构;量子通信从点对点通信→天地一体化广域量子保密通信网络、抗量子密码标准化;量子精密测量从实验室→工业应用/ 医疗应用/资源勘探应用(单分子检测、地下资源、脑磁图)。

在合成生物与生物制造领域,科学驱动的创新的主线是:分子/细胞/系统生物学→合成生物学→细胞工厂→生物基产业。趋势是:从基因编辑→全基因组设计、人工合成生命、底盘细胞标准化、基因线路可编程,实现"按需设计、定向合成";AI 深度赋能涉及 AI 预测酶活性、代谢路径、菌种优化,从经验发酵→模型驱动的智能生物制造,降本增效、绿色替代石化路线;应用拓展则呈现:从医药→生物基材料、食品、能源、农业固氮、碳捕集利用,进而构建"碳循环"的新工业体系。

在脑科学与类脑智能/脑机接口领域,科学驱动的创新的主线是:神经科学→脑图谱/神经解码→类脑计算/脑机→人机融合。趋势是:脑科学从局部脑区解析→全脑神经网络解析、神经信号精准解码、脑疾病机理突破;类脑智能从深度学习→类脑芯片、脉冲神经网络、低功耗通用智能,突破 AI 能耗与泛化瓶颈;脑机接口从侵入式/半侵入→高带宽、双向交互、无线全植入、长期安全,从医疗康复(瘫痪/失语)→消费级认知增强场景落地。

在可控核聚变与未来能源领域,科学驱动创新的主线是:等离子体物理/核物理→约束/加热/材料→稳态运行→能源输出。趋势是:从脉冲实验→长脉冲高约束、高增益、稳态运行,攻克等离子体约束、第一壁材料、氚增殖三大科学瓶颈;多路线并行:磁约束(托卡马克/仿星器)、惯性约束、激光聚变,工程化验证与示范堆建设。

在具身智能与通用智能领域,科学驱动创新的主线是:认知科学/控制论/机器人学→具身智能→自主决策→人机协同。趋势是:从感知-决策-执行分离→端到端具身学习、多模态融合、物理交互与环境自适应;需要的科学突破是:强化学习、因果推理、具身认知理论,进而依靠这些突破支撑人形机器人、自动驾驶、工业智能等特定场景下的可用产品。

2. 科学驱动的创新中"领域根技术"研制的重要性

从前述几个领域中科学与技术、技术与可用产品(含服务)的关系看,在科学驱动的创新中,一是科学是技术的源泉。即在技术日益系统化复杂化的背景下,若无科学新知识的持续生成,人类即不可能研制出具有应用价值的新技术。二是从科学研究成果(新发现、新探索)到有应用价值的产品(新功能),其间"领域根技术"的研制是十分重要的。而且若干"领域根技术"与必要的"辅助技术"整合在一起,才可能形成"领域原型产品"。三是针对特定的应用场景,对"领域原型产品"进行调整改进,才可能形成实际可用的"商业级新产品"。

这引出了一个问题,即学术界将"科学研究成果→新产品上市"理解为"0 到 1",这实际上是错误的。因为科学界的职能是通过科学研究活动产出"新发现、新探索"成果。研制原型产品进而开发出可以上市的商业级新产品,是业界的职能。相应,应将业界"组合多个领域根技术→研制出领域原型产品"理解为"0 到 1";将"领域原型产品→商业级新产品"理解为"1 到 10"。一个典型的案例是:研制出"能够制冷的装置",这是"领域原型产品";将"制冷装置"结合"家用、商场用、医院用、殡仪馆用"等场景使用要求其进行调整改进,才可能形成"1 到 10"的商业级制冷产品。

（二）科学驱动的创新中“科学活动的底层范式”的演变

科学是技术的源泉。在科学驱动的创新中，首先要关注怎样通过科学研究活动形成新发现、新探索成果。现阶段国际上科学驱动的创新主要集中在前沿领域，如量子科技、合成生物、类脑/脑机、核聚变、科学智能（AI for science）等领域。这些领域的产业技术创新，正在从“单点原理突破→跨学科深度融合→工程化/产业化→场景化加速落地”演进。相应地，一些文献认为，为活跃科学驱动的创新，学术界亟待搞清“科学驱动的创新中科学（活动）的底层范式”[23]。一种典型的现象是，围绕科学驱动的创新活动的科学研究，正在从“经验试错”转向“理论+数据+AI 驱动”的智能范式，它将彻底改变前沿领域的科学研究活动。

1. AI for science 将成为通用的科研基础设施

一些文献认为，AI for science 将成为通用的科研基础设施[24]。其核心是通过基础大模型、生成式 AI，与物理/化学/生物学机理模型融合，替代传统“试错式”实验，实现从原理预测、分子/材料/基因/器件的逆向设计。相应的典型应用包括，如量子材料/超导/半导体材料的 AI 预测、蛋白质从头设计、合成生物代谢路径优化、核聚变等离子体模拟、量子算法自动生成等。其中的典型趋势是，机理嵌入+数据驱动+自主实验闭环（即 AI 设计→模拟验证→自动化实验→数据反馈→迭代优化）；相应的科研周期正在从年/月压缩为天/小时。同时，科学研究的跨学科深度融合、学科边界逐渐消融趋势明显。单一学科无法解决诸多前沿问题，必须将多学科努力及其新知识在底层交叉，如量子+AI、生物+工程+信息、脑科学+电子+材料、核聚变+等离子体+材料+控制、合成生物+AI+化工。更为典型的，类脑智能是“神经科学+计算机+材料”；脑机接口是“神经科学+微电子+材料”；量子计算是“量子物理+计算机+凝聚态”；可控核聚变是“等离子体+核物理+材料+工程”等。

2. 科学活动需要从“宏观现象揭示”深入到“原子/分子/量子尺度”揭秘

有文献认为，在前述行业，科学活动需要从“宏观现象揭示”深入到“原子/分子/量子尺度”揭秘[41]。科学研究需要以重大科学问题为中心，建设交叉学科平台，组建跨学科团队，开展跨学科跨领域科学研究。其本质是要掌握微观机理、实现原子/分子/量子级精准设计与制造。典型如半导体原子级加工、量子比特精准操控、合成生物基因线路精准编辑、蛋白质结构精准设计、核聚变等离子体精准约束等。趋势上，要实现“微观机理突破→宏观性能跃升→研制颠覆性产品”。

值得关注的是，“科学驱动的创新中科学活动的底层范式”是否真的如前所述，未来还会发生哪些变化。诸多问题还需要学术界进一步深层次观察现实，结合具体科学领域开展丰富的典型案例研究。

（三）科学驱动的创新的过程模型

1. 科学驱动的创新的过程模型：学科/行业视角

自有创新研究以来，学术界提炼归纳的“创新过程模型”分别有线性模型、反馈模型、网络模型、模块链接模型等。但这些模型基本都难以解释“科学驱动的创新过程”。

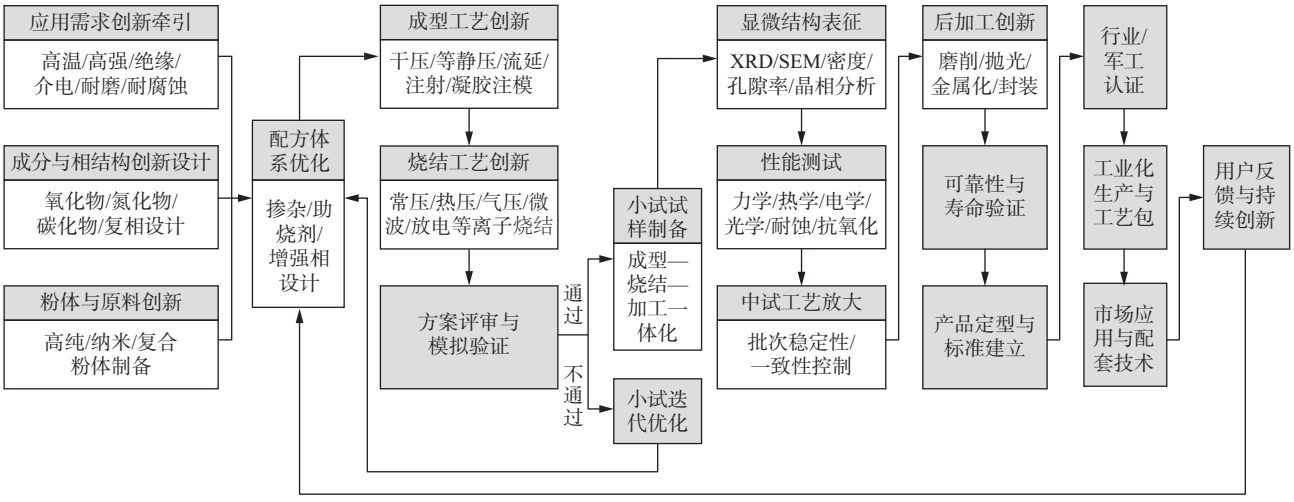
一是前述几种模型仅是对“已有原型技术的后续创新过程”的描述，主要涉及技术应用和场景开发等环节。而科学驱动的创新是从基础研究或应用基础研究及其成果出发，推动新发现及新探索成果的产业应用。故前述几种模型皆不能解释科学驱动的创新活动。基于此，梳理、归纳、抽象科学驱动创新的过程模型，即成为研究科学驱动的创新的基础性工作，甚至是首屈一指的工作。

二是前述几种模型基本是以传统制造业为背景的。而科学驱动的创新更多地发生在“科学驱动的产业/行业”之中。例如，战略性新兴产业和未来产业中的部分行业，如新型功能材料、化学基础材料、化学制药、生物制药、基因工程、电子器件、类脑智能、复杂机电系统/电子系统、智能制造等领域。它们的革命性突破，总是依赖于基础科学的新发现或应用基础科学的新探索成果，且其创新过程的每个环节都需要轮番试错。不可能是简单的线性过程（如专利保护、许可协议谈判和市场开发过程不会是线性的），不是少数环节的简单反馈，也不是一般的网络结构，更不是简单的机械模块链接。

三是在不同学科/行业领域，学科/行业特点决定了科学驱动的创新过程有着显著的异质性。例如，复杂机电系统/电子系统的科学驱动的创新过程，基本如前文所述。而制药行业的科学驱动的创新过程，则是基础研究（理论揭示）、临床前研究（基础药物发现）、临床试验、生产推广（制造销售）。化学制药、生物制药、中医现代化制药皆是如此。由此，研究科学驱动的创新过程模型，必须以案例研究为基本方法。需要通

过实际调研,梳理适当数量的案例,进而针对每个学科/行业进行单案例纵向分析、多案例比较分析,从而归纳提炼每个学科/行业科学驱动的创新过程的理论模型。

四是每个行业科学驱动的创新的过程的理论模型,形式上反映的是该学科/行业创新过程的“创新链”。创新链上每个环节/阶段科技活动的特点,应有的资源配置和创新努力,以及保证整个创新链有效推进所需的创新生态结构,也会因学科/行业的不同而有很大差异。例如,电子信息行业科学驱动的创新,要求基本原理的揭示、模块及整机设计的优化、元器件的配套、子系统间的协同兼容、领先用户的好奇心等。而医药行业科学驱动的创新,则要求有完备的临床试验场景和基于公共利益的政府监管,以及“愿意成为新药试用的‘小白鼠’人群”。图 2 为化工新材料研制开发的创新链示例。



XRD 为 X 射线衍射,SEM 为扫描电镜

图 2　化工新材料研制开发的创新链示例

2. 科学驱动创新的过程模型：始发场景视角

不同“始发场景”下科学驱动的创新过程也有其独到特征,相应的创新过程模型也会有显著差异。所谓的“始发场景”至少有四种情况,即国际前沿科学发现驱动、自由探索科学驱动、有组织科研驱动、国家发展战略驱动。对这些场景下科学驱动的创新过程,也需要通过调研、梳理整理适当数量案例,针对每种始发场景,进行单案例纵向分析、多案例比较分析,从而归纳提炼相应科学驱动创新的过程的理论模型。

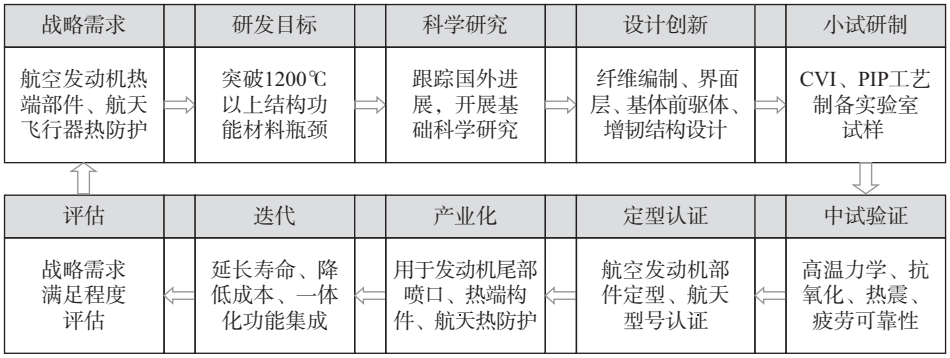
一是国际前沿科学发现驱动的创新。第二次产业革命以来,国际科学界在基础科学、应用基础科学层面持续努力。从 100 多年来诺贝尔奖获得者名单即可看出,头部发达国家科学家在基础科学研究层面为人类作出了巨大贡献。这是人类特别是科学研究薄弱、落后国家的福音。“科学无国界”。中国作为发展中新兴大国,更应该重视在国际前沿科学发现基础上,加强相关应用基础研究,重视概念验证和工程试验,竭力推动“领域根技术”研制,率先在国际上培育某些行业的“源产业”,以期形成国际领先的新兴产业竞争优势。相应地,应将这种情况视为后发国家“在科学上的后发优势”,活跃并深化“国际前沿科学发现驱动的产业根技术研制创新”的过程模型研究,同时还需要研究这类创新得以活跃所需要的独特的创新生态。

二是自由探索科学驱动的创新。第二次产业革命以来,具有里程碑意义的科学发现和新探索成果,往往是科学家自由探索的结果,甚至是“小而美”团队科学研究的成果,它们也是科学驱动的产业技术创新的重要源头。在早期工业化国家,国家科学基金资助的科学研究多数恰是自由探索的基础科学研究。从中国国家自然科学基金委发布的多个“基金资助优秀成果集”中也可看到,其中较快走向产业应用的科学研究成果,多数是某个甘耐寂寞的小团队坚持数十年自由探索研究的成果。自由探索研究初始并没有明确的“成果应用目标”,怎样使其成果能够被业界进一步开发,首先会遇到“学术界/业界信息不对称”的问题,甚至需要通过技术市场交易实现学术界/业界对接;还涉及双方的信息交流、成果估价、交易方式选择,以及科学家是否参与企业主导的后续技术开发等问题。相应地,学术界需要深化研究“自由探索科学驱动的产业技术

创新”的过程模型和所需的独特生态。

三是有组织科学研究驱动的创新。有组织科学研究一般有明确的应用目标。例如，20 世纪 60 年代，国家动员多个单位协作研制“青蒿素系列抗疟疾药物”。这类科学研究往往是“逆向筹划”需要做的基础研究和应用基础研究。即根据需要研制的产品来思考并筹划“领域根技术研制”；根据“领域根技术研制”需要搞清的原理性思路，来安排应用基础研究；根据应用基础研究需要先行搞清的更为基础的原理性问题，来筹划安排基础研究。获得基础研究新发现后，再推进应用基础研究、“领域根技术研制”和原型产品开发及后续创新环节。这类创新的决策逻辑及推进逻辑明显与前两种情况不同。故管理学界很有必要专门研究这类创新必需的过程、创新过程每个环节需要解决的问题，需要研究“有为政府与有效市场协同发力”的体制机制。

四是国家发展战略驱动的创新。为实现国家特定战略目标而推进的科学驱动的创新。例如，20 世纪五六十年代，国家为发展空天战略武器而组织的科学研究、技术攻关、产品研制、制造能力培育等创新活动。再如，2000 年后为提升电网传输效率和质量，国家电网公司与国家自然科学基金委员会携手设立“联合基金”，面向社会资助一大批电力传输领域的基础研究课题。“联合基金”资助下全社会的基础研究成果为国家电网后续应用基础研究、超高压智能电网技术研制提供了知识基础。经过国家电网公司进一步努力，现阶段中国的超高压智能输电技术持续居于国际先进之列。现阶段中国正在谋求“两步走”于 2050 年建成现代化强国，国家必会实施更多“国家战略引领的科学驱动的创新”。管理学界有必要专门深入研究这类创新的过程模型及所需的独特创新生态构建，以期为国家更好地推动这类创新提供理论支撑。图 3 为国家战略需求导向的高温结构功能材料创新链示例。



CVI 为化学气相渗透，PIP 为先驱体浸渍裂解

图 3　国家战略需求导向的高温结构功能材料创新链示例

（四）科学驱动的创新的组织模式

科学驱动的创新的过程是创新链环节最丰富的技术创新活动。张庆芝等[42]以 100 多年来诺贝尔奖获得者的科学成果的产业转化为例，多途径收集文献资料、补齐证据链，梳理出 60 个典型案例，归纳提炼出科学驱动的创新的三种组织实施模式，即科学家创业模式、企业与大学或公共机构合作模式、企业主导模式。但这些基本是国外案例（仅有屠呦呦一个中国案例），故为构建基于国情的科学驱动的创新理论，有必要进一步发现、梳理、分析中国案例，以揭示中国情境下更为有效的科学驱动的创新的组织模式。

1. 中国情境下各类创新组织模式的运行机理

科学家创业模式，即科学家携带自己的科学研究成果（基础研究新发现或应用基础研究新探索成果），创办新的企业，经过概念验证、工程试验、领域根技术研制、原型产品研制、针对特定场景的商业级产品开发、市场测试及拓展、新产品迭代等系列活动，最终将自己的科学研究成果转化为社会可用的产品，如钱学森院士堂侄、诺贝尔化学奖得主钱永健博士的科学研究和创新创业活动。他先后创建了三家公司转化自己的科学研究成果，既证明了自己科学发现的有用性，进而获得了诺贝尔奖，更为社会创造了新的价值。在这种模式下，科学家从头到尾都是创新的基干力量，甚至转变为具有企业家特质的科学家[23]。

企业与大学或公共科学机构合作模式，即科学家以科研成果甚至技术专利经评估入股，企业以资金入股。然后企业家主导，科学家提供技术指导，同时从事补充性科学研究。进而，科学家、企业家、工程师同心

协力推进概念验证、工程试验、领域根技术研制、原型产品研制、针对特定场景的商业级产品开发、市场测试及拓展、新产品迭代等系列活动。在该模式之下,科学家主要是科学知识的“传道士、搬运工”,后续原型技术研制、原型产品开发、应用场景发现、商业级产品开发、新产品迭代等皆由企业工程师主导,企业家主要负责企业运行。

企业主导模式即企业内设的科学研究机构实施的“科学驱动的创新”,即大型企业内设科研机构中某些团队有了科学新发现、新探索成果,致力于将自己的科研成果转化为产品原理、产品设计或生产工艺设计、产品研制,进而进行场景探索与商业级产品开发及市场开发,直到新产品在市场销售并进行多轮次迭代。在这种情况下,创新团队可以最大程度地利用母体企业的平台和资源。待创新项目发展到“可以独立运营的阶段”,该项目会有三种出路。一是创新项目成为母体企业新发展的“事业部”;二是创新项目成为独立企业来运营,母体企业仅作为这家“独立企业”的股东;三是这家“独立企业”作为母体企业的配套单位。

上述三类组织模式的归纳仅源于对60个诺贝尔奖成果产业转化的案例研究,未来研究需要进一步深挖三类模式各自的多层次运行机理,同时还需要揭示中国情境下是否还有其他更为有效的创新组织模式。

2. 中国情境下各类创新组织模式选择的影响因素

从有限案例看,前述三种创新组织模式无所谓谁优谁劣,主要取决于科学新发现、新探索成果的实现者,以及特定情况下哪种模式适用于当时的具体情况。通常,三种模式是共存的。例如,美国基因泰克公司企业与科研机构合作的模式,瑞士罗氏集团采用了企业主导的创新组织模式;不少诺贝尔奖获得者推动的科学驱动的创新,采取了自己创办新企业的创新组织模式[24]。典型的是,2000—2010年诺贝尔奖获得者亲自创建企业并商业转化自己科学研究成果的,竟然有16位化学、生理或医学领域的获奖科学家。

在前述组织模式中,作为参与者的“实体组织”,其组织因素对科学驱动的创新的实现有重要影响。一是知识资源。知识资源是科研机构、大学、企业最为重要的资源,有助于提高特定机构/企业科学家团队实施科学驱动的创新的绩效[43]。二是研发合作。大学和科学研究机构是“科学驱动的创新”的知识来源[44]。Gretsch等[45]研究发现,在科学驱动的创新中,创新程度较高时,科研机构和企业围绕科学研究的合作,与围绕价值链的合作具有互补性。三是企业能力。企业应用大学和研究机构所提供知识的能力,相当程度上决定着他们共同推动的“科学驱动的创新的成败”。Colombo等[39]研究发现,大学和科研机构的科学研究成果对当地企业具有溢出效应,企业必须具有培育、积累、发现、吸收和利用这些知识的能力,才能将大学和研究机构所提供的新知识内化为企业自身的知识,进而推动科学驱动的创新向前发展。四是邻近性。Steinmo和Rasmussen[46]研究发现,与技术驱动的创新相比,科学驱动的创新中的企业人员与科学研究人员的技术邻近性越高,越倾向于基于技术相关性建立合作创新关系,而对社会邻近性和地理邻近性的依赖程度较低。

未来研究需进一步揭示中国情境下科学驱动创新的组织模式选择的多层次影响因素。特别是需要分析“有效市场+有为政府”“四级六类研发机构”“国央企+民营企业”等因素对科学驱动的创新的组织模式选择的影响。

(五)科学驱动创新的三层次治理体系

科学驱动的创新活动的治理,本质上是要构建“有利于科学驱动的创新得以发生并实现”的创新组织的内外部生态。客观上,构建特定创新团队、创新平台、创新组织外部治理体系的过程,正是培育并切实构建科学驱动的创新的内外部创新生态的过程。

1. 科学驱动创新的团队治理

科学驱动的创新的团队治理,旨在有效发挥创新团队的创造性和积极性,进而保障整个创新链条顺利推进。其中的核心是“角色治理”。关键是解决好四类问题。一是创新团队掌舵者(如领军科学家)作为团队“掌门人”,必须清晰地勾画出创新的路线图和重要节点,并基于科学驱动的创新的高度探索性,在创新过程中适时对“创新路线图”作出恰当调整。二是必须将创新团队每个成员“以不同的角色”恰当地配置在创新链的适当环节和活动之中,以规避“事无人做或闲人扰事”的局面,更不能出现个人能力与角色不匹配的现象。三是必须协调创新团队与创新平台之间的关系,确保创新团队所需的“稀缺要素”适时恰当获取,如科学探索、工程试验、“领域根技术研制”、原型产品研制等所需的专门专用材料、元器件、试验平台、资金等。

四是必须确保整个创新过程中的“摩擦成本”“交易费用”尽可能低些，确保发生在各个环节的无效努力和失误尽可能少些。相应地，必须有效化解团队内部可能发生的权责益矛盾；团队管理还应适应科学驱动的创新的探索性引发的不确定性。

在科学驱动的创新过程中，创新的环节衔接者（桥接科学家）必须在每个节点上充分向下一环节的创新者传递上一环节“创造”的知识，恰当引导并督促后续环节适时做好该做的工作。各类创新资源的供给者（投资者、工程师、知识产权人员、人力资源人员等）皆必须是专业、积极的尽职尽责者。同时，还需要有适当的制度安排和薪酬配置，形成激励与惩罚兼容的治理结构。

值得关注的是，现阶段国内对科学驱动的创新团队内部治理的研究仍十分浅表。相应地，管理学界需就此展开系统深入的研究。特别是需要加强案例研究，而不是简单地基于问卷调查所得的数据分析。

2. 科学驱动创新的平台治理

科学驱动的创新的过程效率，相当程度上还依赖于创新团队所在创新平台（科学研究机构、试验发展机构、技术研制与新产品试制企业等）治理的有效性。在该类平台中，“科学驱动的企业”是科学驱动的创新活动最为典型的“平台”。这类平台具有复杂的人文结构和利益结构。多数情况下，核心创始团队具有丰富的科学经验和研发经验，但缺乏技术应用和商业经验，相应必须有职业经理人和投融资者参与其中。Colombo等[40]的研究发现，这还与平台企业所处的生命周期阶段有关，即在这类企业成立的早期阶段，对管理专业化的要求程度较低，此时有必要建立有助于强化资源和知识创造的治理体系，所有权和管理权合二为一为妥。但随着企业进入成长期，对专业性管理的要求程度相应提高，即需要引入职业经理人和专业投融资者，企业的所有权和管理权即需要分离，相应需要建立一套既能有效激励并监督职业经理人和各类管理人员，又能对股东利益负责的治理体系。Bjørnåli 和 Gulbrandsen[47]的研究则发现，初始董事会的构成受创始人社会网络的影响，但随着时间推移，董事会的构成受董事长社会网络的影响会更深更大一些。

与此同时，因为科学家往往是科学驱动的创新的主导者，拥有知识资本的所有权，客观上也需要他们以技术入股甚至“身份估价”为依据参与公司治理[48]。方帅等[49]的研究发现，科学驱动的企业的治理结构及其机制的形成和发展的主导逻辑，多数是以“注重原始创新和突破核心技术”为主线的。在研发人才梯队配置上，以“科学背景”领导者为核心，以创新研发团队为支撑；在人员激励上，以具有保障效应的“短期薪酬激励”和具有绑定效应的“股权长期激励”为主；在股权安排上，多采取“长期导向战略投资者”和“科学家控股”的混合股权模式。同时，其治理边界多数模糊，“高校或科研机构+科技园+政府机构”等多元治理主体拓展了企业治理边界。

值得关注的是，现阶段国内学术界关于科学驱动的创新的平台治理研究十分欠缺，还没有认识到科学驱动的创新的平台治理，本质上是关于科学研究成果（也是资本）所有者与物质资本及资金所有者共同治理的制度安排。学术界更缺少对平台上“关键人物”（即可控制资金和知识资源流动的关键人员）及其关系治理的研究[50-51]。基于此，管理学界需要进一步加强科学驱动的创新的平台治理的实证研究。

3. 科学驱动创新的外部治理

与国内同行多年研究的“需求驱动、经验驱动、技术驱动”三类创新相比较，“科学驱动的创新”有诸多独特之处。一是创新的起步更为前端。创新或是从创新者亲为基础研究谋求“新发现”起步，或是从为已有基础研究“新发现”寻找“用武之地和途径”的应用基础研究起步，或是从应用基础研究已经做出的“新探索”成果起步。二是因为科学驱动的创新起步于“前端科学研究或其成果”，故其能够解决的现实问题将是史无前例的，从而能够培育的“根技术、源产业”也将是史无前例的，甚至是革命性的。即便是谋求改造提升传统产业的科学驱动的创新，它也能够提供史无前例的“解决方案”。三是需要在该类创新者聚集的区域（如科技园）和行业，构建有助于该类创新得以活跃的创新生态体系，且该生态体系中的“物种”“物种间联系及其能量交换方式”等，与前三类创新所需要的创新生态体系也有很大差异。相应，科学驱动的创新的“外部治理”体系的构建，本质上是要构建与该类创新相适应的外部创新生态体系。这通常涉及“政府、中间品供给者、投资机构、服务机构、首批客户”等“物种”，且创新者必须位于创新生态体系的核心位置（最核心的生态位），同时各类物种之间必须有恰当的“能量交互方式和自律准则”。

改革开放40多年的实践表明,“有实力的创新者+有效市场+有为政府等”是中国活跃创新、驱动发展的基本机制。现阶段为活跃科学驱动的创新,以期实现高水平科技自立自强和更高质量的经济发展。一是“有为政府”对业界的创新必须有体系化的政策导向,要增加创新链前端R&D活动的国家投入,同时要引导全社会增加R&D投入;二是创新链上其他“物种”(相关中间品供给者,科技创新投资机构,以及科技服务机构等),要更高水平地为创新者提供“类全品高量足”资源供给和服务供给,使这些“物种”成为与创新者“共赢”的“利益相关者”;三是政府有必要借助更多政策工具,为创新者创造并激活“领先客户”;四是鉴于科学驱动的创新的发起者多数是科学家,其中院所科学家推进的“科学驱动的创新”,最初形态往往表现为“学术衍生创业”。故研究科学驱动的创新的外部治理体系构建,也应将“学术衍生创业”考虑在内[52];五是需要进一步关注外部创新生态体系的结构性优化,以期提高外部创新生态的整体效能。

(六)科学驱动创新的行业级现象

了解现阶段国内外新兴行业科学驱动创新的显著现象,有助于进一步深入理解前述五个问题。此处所言创新的行业级现象,即相关创新现象会造就一个细分行业,甚至会决定一国“上一级行业”的国际竞争地位。

1. 现阶段科学驱动的创新聚集的主要行业

一是半导体与微电子行业。对应的细分重点行业有:先进逻辑芯片、存储芯片、功率/模拟芯片、半导体设备/材料、先进封装。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:极紫外(光)刻物理、新型半导体材料(2D/宽禁带)、互补型场效应晶体管(CFET)/3D堆叠、量子隧穿、低功耗器件物理等。创新所依赖的核心科学是:凝聚态物理、半导体物理、材料科学、光学工程、微纳加工、量子电子学、计算物理。

二是人工智能与具身智能行业。对应的细分重点行业有:通用大模型、专用AI芯片、具身智能(人形机器人)、自动驾驶、脑机接口。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:基础和专用大模型、类脑计算、强化学习、多模态融合、自主决策、脑机交互。创新所依赖的核心科学有:计算机科学(机器学习/深度学习)、认知科学、神经科学、控制论、运筹学、统计学、量子计算、材料科学(柔性电子)。

三是生物医药与生命健康行业。对应的细分重点行业有:基因编辑/细胞治疗、合成生物学、mRNA疫苗、精准医疗、脑科学、生物制造、农业生物育种。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:基因编辑原理、蛋白质折叠、代谢通路调控、脑功能解析、微生物合成、种源基因编辑。创新所依赖的核心科学有:分子生物学、细胞生物学、遗传学、合成生物学、生物化学、神经科学、免疫学、生物信息学、结构生物学。

四是新能源与低碳技术行业。对应的细分重点行业有:可控核聚变、新型电池(固态/钠离子)、氢能、光伏/风电、碳捕集利用(CCUS)、储能系统。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:核聚变等离子体约束、固态电解质材料、高效催化、光/电转换机理、碳循环机理。创新所依赖的核心科学有:等离子体物理、核物理、电化学、材料科学、热力学、催化化学、流体力学、地球科学。

五是先进材料与高端制造行业。对应的细分重点行业有:高端合金、超导材料、新型陶瓷、复合材料、仿生材料、工业母机、高端仪器、增材制造。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:材料原子/分子设计、强韧化机理、超精密加工、极端环境材料、智能制造机理。创新所依赖的核心科学有:材料科学、固体力学、物理冶金、高分子化学、机械工程、精密测量、计算材料学。

六是空天与深海科技行业。对应的细分重点行业有:商业航天、低轨卫星、深空探测、深海装备、低空经济、6G通信。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:航空航天工程、深海压力适应、卫星通信、空天地一体化组网。创新所依赖的核心科学有:轨道力学、推进原理、天体物理、流体力学、电磁学、海洋科学、通信理论、遥感科学。

七是量子科技行业。对应的细分重点行业有:量子计算、量子通信、量子精密测量、量子传感。这些细分行业现阶段创新的重点方向有:量子纠缠、量子纠错、量子算法、单光子/量子比特操控。创新所依赖的核心科学有:量子力学、量子信息科学、凝聚态物理、光学、原子分子物理、计算机科学。

2. 科学驱动行业级创新的核心逻辑与基础支撑科学领域

在前述这些行业,驱动创新的科学领域是有差异的。不同领域“科学的底层范式”也是有差异的。但产

业创新对科学的高度依赖是一致的。这些行业的创新产生的启示如下。

一是创新的底层支撑力量是若干领域基础科学的持续突破。典型的是，没有分子生物学的进展就没有基因药物，没有量子力学的进展就没有量子计算、量子通信。创新的行业级逻辑有：相关核心科学领域取得突破性进展→市场和国家需求筛选行业创新的重点方向→业界在细分重点行业发力推进创新链前行。这一逻辑彰显在活跃科学驱动的创新中，必须关注三个“重要性”：前沿科学领域预测和提前布局的重要性（相应需研究“特定学科提前布局科学研究的提前量”）；以先进的技术预见方法筛选特定行业创新重点方向的重要性（相应需研究“AI+技术预见”问题）；业界沿创新链持续发力的重要性（相应需研究“AI+领域根技术研制”问题）。

二是科学驱动创新，国际上现阶段重点是补基础科学研究短板和“领域根技术”研制短板，疏通“基础科学研究—应用基础研究—领域根技术研制—原型产品研制—商业级产品开发”链条。其中在“基础科学研究—应用基础研究—领域根技术研制”三个环节，跨学科融合是主流。典型如 AI for Science 是 AI+物理/化学/生物；合成生物学是生物+工程+信息。这相应要求在若干基础科学领域加强研究投入和实质性努力，而跨学科融合是最为基本的研究开发组织模式。

三是这些行业创新所依赖的科学知识供给“十分基础”。例如，数学（纯数学、应用数学、计算数学、统计学）是 AI、芯片、工程建模创新的知识基础；物理学（凝聚态、高能物理、原子分子、等离子体、光学）是半导体、能源、量子、材料等创新的知识基础；化学（无机化学、高分子、催化、分析化学）是新材料、生物医药、能源等创新的知识基础；生命科学（分子/细胞/神经/合成生物学、遗传学）是生物医药、农业、脑机等创新的知识基础；地球与环境科学（气候、地质、生态、海洋）是双碳、资源、深海等领域创新的知识基础；信息科学（计算机、通信、控制、网络）是数字经济、AI、空天设备等创新的知识基础。客观上，正是这些学科领域一系列新的进展，促使前文“1”中诸多行业实现了持续创新与发展。相关行业创新与科学领域之间的关系见表 1。

表 1　相关行业创新与科学领域之间的关系

重点行业赛道	创新的重点方向	所依赖的科学领域
半导体/微电子	EUV 光刻、新型材料、先进制程、量子器件	凝聚态物理、半导体物理、材料科学、光学
AI/具身智能	大模型理论、类脑计算、自主决策、脑机交互	计算机科学、神经科学、认知科学、控制论
生物医药	基因编辑、蛋白质折叠、合成生物制造、精准医疗	分子/细胞/合成生物学、遗传学、免疫学
新能源/低碳	核聚变、固态电池、高效催化、CCUS	等离子体物理、电化学、催化、材料科学
先进材料/制造	原子级设计、超精密加工、极端环境材料	材料科学、固体力学、冶金、精密工程
空天与深海科技	航空航天工程、深海压力适应、卫星通信、空天地一体化组网	轨道力学、推进原理、天体物理、流体力学、电磁学、海洋科学、通信理论、遥感科学
量子科技	量子计算、量子通信、量子精密测量	量子力学、量子信息、凝聚态、光学

因此，管理学界构建科学驱动的创新理论，必须深入到对这些行业科学驱动的创新的了解和理解，将这些行业创新的规律性现象纳入其中。否则，所构建的理论将是空洞的，缺少解释力，未来对中国亟待活跃的科学驱动的创新也不会有任何借鉴价值。

五、研究结论与展望

科学驱动的创新是“加快高水平科技自立自强、提升国家创新体系整体效能、推动科技创新和产业创新深度融合”的关键乃至命门所在——科学驱动的创新持续活跃，必将带动科学研究、领域根技术研制、新产品开发水平持续攀升，提升中国高水平科技自立自强[41,53]。同时，科学驱动的创新是原始创新与颠覆性创新的本质源头，持续活跃的科学驱动创新必将催生新质生产力的井喷式涌现。为此，管理学界应聚焦两个目标：一是揭示科学驱动的创新的典型现象及其内在规律，构建科学驱动的创新理论，与已有技术驱动、经验驱动、需求驱动的创新理论共同构成完整的中国情境下的创新理论体系；二是聚焦国家亟待加快发展的行业，深化对现实科学驱动创新实践的理解，为科技创新引领高质量发展提供借鉴启示[54-55]。

基于上述结论,提出以下政策建议。

第一,优化基础研究布局,夯实科学驱动的创新的源头根基。新一轮科技革命与产业变革是科学驱动的创新,科学驱动的创新以基础科学研究的前沿突破为前提,基础科学研究是其核心源头供给。习近平总书记在加强基础研究座谈会上强调,要坚持"四个面向"战略导向,进一步明确研究的主攻方向和重点领域。生物医药、新能源、新材料、新一代信息技术、人工智能等新兴产业、未来产业植根于基础研究突破,遵循"基础研究发现—技术突破—产业转化"的"巴斯德象限"的螺旋上升路径[56],是科学驱动的创新的典型范式。应围绕这些科学驱动的产业,加强统筹谋划和顶层设计,强化"领域根技术"研制,推动学科交叉融合,打通"基础研究—应用开发—成果转化"创新链条,从源头上提升科学驱动的创新的竞争力。

第二,健全多元投入机制,壮大科学驱动的创新主体力量。科学驱动的创新涉及核心公司、科学型企业、大学、风险投资、政府和中介机构等多元主体,这些主体在广泛交互中协同创造价值。如何壮大科学驱动的创新主体的力量,核心在于通过多元投入机制,激发各类主体参与科学驱动的创新活动的主动性。习近平总书记强调,逐步提高基础研究经费占比,形成多元化投入格局。应着力构建长期稳定、宽容失败的基础研究投入机制,稳步提高基础研究投入,依托科学型企业、风险资本和社会资本等,引导更多社会资本参与科学驱动的早期研发,形成"政府-企业-社会"多元投入支撑体系。建立健全适应科学驱动的创新的资金考核评价和容错机制,激励企业特别是科学型企业加大基础性研发投入,为科学驱动的创新提供充足、持续的资金保障。

第三,推进产学研用融合,构建科学驱动的创新生态系统。作为数字经济时代新的战略竞争单元,创新生态系统是由不同参与者围绕共同价值主张构成的动态协调结构,在与环境的交互演化中实现持续创新[57]。科学驱动的创新具有跨主体协同创新的特征,表现出极为显著的创新生态系统属性。习近平总书记强调,推动企业主导的产学研用深度融合,打通基础研究、应用开发、成果转化的创新链条。应加快推进以科学型企业为核心的产学研用协同创新体系建设;强化国家科研机构、高水平研究型大学等战略科技力量在知识生产中的引领作用;鼓励规范发展新型研发机构,推动企业主导的产学研用深度融合,完善创新成果权益分配机制。着力破解人才流动、成果转化与资金支持等环节的制度障碍,加速原始创新向产业创新的高效流动,切实为科学驱动的创新实践提供顺畅的运行渠道。

第四,深化国际交流合作,融入科学驱动的创新的全球网络。习近平总书记指出,要主动融入全球创新网络,深化基础研究国际交流合作,联合开展气候变化、能源环境、生命健康等重大科学问题攻关,积极参与全球科技治理。科学驱动的创新是全球范式转换的重要趋势,其本质上是在全球科学共同体中产生和演化的,只有在"开放式创新"形式下才能实现科学知识的持续更新,封闭环境难以支撑持续的前沿突破。在科学驱动的创新领域,中国应主动深化与全球科研机构、高水平研究型大学及科学型企业的协同合作,牵头组织并积极参与国际大科学计划和大科学工程,加强与国际先进科技力量的深度合作,推动形成范围更广、领域更宽、层次更深的科技开放合作格局,提升中国在基础研究领域的国际话语权,为中国科学驱动的创新提供更加开放、高效的国际合作平台与创新生态支撑。

参考文献

[1] 雷家骕, 焦捷. 落实党的二十大精神应积极活跃科学驱动的创新[J]. 经济社会体制比较, 2023(3): 1-7.

[2] 小威廉·贝拉尼克, 古斯塔夫·拉尼斯. 科学技术与经济发展: 几国的历史与比较研究[M]. 北京: 科技文献出版社, 1988.

[3] CORIAT B, ORSI F, WEINSTEIN O. Does biotech reflect a new science-based innovation regime?[J]. Industry and Innovation, 2003, 10(3): 231-253.

[4] 雷家骕. 创新植入增长: 高质量增长的渊源与机理研究[D]. 北京: 清华大学, 1993.

[5] BREM A, NYLUND P, VIARDOT E. The impact of the 2008 financial crisis on innovation: A dominant design perspective[J]. Journal of Business Research, 2020, 110: 360-369.

[6] 吕薇. 从基础研究到原始创新[M]. 北京: 中国发展出版社, 2021.

[7] 吕薇, 柳卸林, 温珂. 基础研究支撑原始创新——中国经验[M]. 北京: 中国发展出版社, 2025.

[8] FREEMAN C, SOETE L. The economics of industrial innovation[M]. Cambridge: MIT Press, 1982.

[9] MEYER-KRAHMER F, SCHMOCH U. Science-based technologies: University-industry interactions in four fields[J]. Research Policy, 1998, 27(8): 835-851.

[10] CORIAT B, ORSI F, WEINSTEIN O. Does biotech reflect a new science-based innovation regime?[J]. Industry and Innovation, 2003, 10(3): 231-253.
[11] 林苞, 雷家骕. 基于科学的创新与基于技术的创新——兼论科学-技术关系的“部门”模式[J]. 科学学研究, 2014, 32(9): 1289-1296.
[12] 雷家骕, 林苞. 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, 2014(2): 76-79.
[13] 林苞, 雷家骕. 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, 2013, 31(10): 1459-1464.
[14] PAVITT K. Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory[J]. Research Policy, 1984, 13(6): 343-373.
[15] GIBBONS M, JOHNSTON R. The roles of science in technological innovation[J]. Research Policy, 1974, 3(3): 220-242.
[16] 张鹏, 雷家骕. 基于科学的创新与产业：相关概念探究与典型产业识别[J]. 科学学研究, 2015, 33(9): 1313-1323.
[17] BRUNI D S, VERONA G. Dynamic marketing capabilities in science-based firms: An exploratory investigation of the pharmaceutical industry[J]. British Journal of Management, 2009, 20(s1): S101-S117.
[18] GARNSEY E. Science-based enterprise: Threat or opportunity?[J]. Physics World, 1997, 10(7): 15-18.
[19] PISANO G P. The evolution of science-based business: Innovating how we innovate[J]. Industrial and Corporate Change, 2010, 19(2): 465-482.
[20] GASSMANN O, REEPMEYER G. Organizing pharmaceutical innovation: From science-based knowledge creators to drug-oriented knowledge brokers[J]. Creativity and Innovation Management, 2005, 14(3): 233-245.
[21] 朱卫杰, 鲁若愚, 韩武成, 等. 科学驱动的技术创新绩效影响因素及演化路径[J]. 科学学研究, 2025, 43(1): 137-150.
[22] POWELL W W, KOPUT K W, SMITH-DOERR L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology[J]. Administrative Science Quarterly, 1996, 41(1): 116-145.
[23] 张庆芝, 雷家骕. 基于科学的创新——从诺贝尔奖成果到商业产品的过程研究[M]. 北京：清华大学出版社, 2018.
[24] PISANO G P. The evolution of science-based business: Innovating how we innovate[J]. Industrial and Corporate Change, 2010, 19(2): 465-482.
[25] 李欣融, 张庆芝, 雷家骕. 基于科学的创新：研究回顾与展望[J]. 科研管理, 2022, 43(1): 1-13.
[26] TOOTELL A, KYRIAZIS E, BILLSBERRY J, et al. Knowledge creation in complex inter-organizational arrangements: Understanding the barriers and enablers of university-industry knowledge creation in science-based cooperation[J]. Journal of Knowledge Management, 2021, 25(4): 743-769.
[27] BSTIELER L, HEMMERT M, BARCZAK G. Trust formation in university-industry collaborations in the U.S. biotechnology industry: IP policies, shared governance, and champions[J]. The Journal of Product Innovation Management, 2015, 32(1): 111-121.
[28] LACETERA N, COCKBURN I M, HENDERSON R. Do firms change capabilities by hiring new people? A study of the adoption of science-based drug discovery[M]//Business Strategy over the Industry Lifecycle. Leeds: Emerald Group Publishing Limited, 2004: 133-159.
[29] COLYVAS J, CROW M, GELIJNS A, et al. How do university inventions get into practice?[J]. Management Science, 2002, 48(1): 61-72.
[30] GARRONE P, GRILLI L, MRKAJIC B. Human capital of entrepreneurial teams in nascent high-tech sectors: A comparison between Cleantech and Internet[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2018, 30(1): 84-97.
[31] KNOCKAERT M, UCBASARAN D, WRIGHT M, et al. The relationship between knowledge transfer, top management team composition, and performance: The case of science-based entrepreneurial firms[J]. Entrepreneurship Theory and Practice, 2011, 35(4): 777-803.
[32] VANAELST I, CLARYSSE B, WRIGHT M, et al. Entrepreneurial team development in academic spinouts: An examination of team heterogeneity [J]. Entrepreneurship Theory and Practice, 2006, 30(2): 249-271.
[33] RICKNE A. Connectivity and performance of science-based firms[J]. Small Business Economics, 2006, 26(4): 393-407.
[34] COZZI G, GALLI S. Science-based R&D in schumpeterian growth[J]. Scottish Journal of Political Economy, 2009, 56(4): 474-491.
[35] GERBIN A, DRNOVSEK M. Determinants and public policy implications of academic-industry knowledge transfer in life sciences: A review and a conceptual framework[J]. The Journal of Technology Transfer, 2016, 41(5): 979-1076.
[36] LOUIS K S, BLUMENTHAL D, GLUCK M E, et al. Entrepreneurs in academe: An exploration of behaviors among life scientists[J]. Administrative Science Quarterly, 1989, 34(1): 110-131.
[37] KENNEY M, GOE W R. The role of social embeddedness in professorial entrepreneurship: A comparison of electrical engineering and computer science at UC Berkeley and Stanford[J]. Research Policy, 2004, 33(5): 691-707.
[38] TIJSSEN R J, WINNINK J J. Capturing ‘R&D excellence’: Indicators, international statistics, and innovative universities[J]. Scientometrics, 2018, 114(2): 687-699.
[39] BONACCORSI A, COLOMBO M G, GUERINI M, et al. University specialization and new firm creation across industries[J]. Small Business Economics, 2013, 41(4): 837-863.
[40] COLOMBO M G, D’ADDA D, PIVA E. The contribution of university research to the growth of academic start-ups: An empirical analysis[J]. The Journal of Technology Transfer, 2010, 35(1): 113-140.
[41] 朱卫杰, 韩武成, 鲁若愚, 等. 科学驱动视角下产业创新网络与生态主体研究——以5G产业为例[J]. 技术经济, 2023, 42(6): 1-12.

[42] 张庆芝，段勇倩，雷家骕. 基于科学的创新研究——以诺贝尔奖科学成果到商业产品为例[J]. 科学学研究，2015，33(12)：1770-1778.
[43] CHEN J，JIAO H，ZHAO X. A knowledge-based theory of the firm：Managing innovation in biotechnology[J]. Chinese Management Studies，2016，10(1)：41-58.
[44] KLEVORICK A K，LEVIN R C，NELSON R R，et al. On the sources and significance of interindustry differences in technological opportunities[J]. Research Policy，1995，24(2)：185-205.
[45] GRETSCH O，SALZMANN E C，KOCK A. University-industry collaboration and front-end success：The moderating effects of innovativeness and parallel cross-firm collaboration[J]. R&D Management，2019，49(5)：835-849.
[46] STEINMO M，RASMUSSEN E. How firms collaborate with public research organizations：The evolution of proximity dimensions in successful innovation projects[J]. Journal of Business Research，2016，69(3)：1250-1259.
[47] BJøRNåLI E S，GULBRANDSEN M. Exploring board formation and evolution of board composition in academic spin-offs[J]. The Journal of Technology Transfer，2010，35(1)：92-112.
[48] 陈虹，杨雅程，雷家骕. 基于科学的企业演化的理论模型[J]. 科学学研究，2019，37(7)：1268-1276.
[49] 方帅，李欣融，雷家骕. 基于科学的企业内部治理问题[J]. 科技进步与对策，2022，39(16)：1-8.
[50] LARGE D，BELINKO K，KALLIGATSI K. Building successful technology commercialization teams：Pilot empirical support for the theory of cascading commitment[J]. The Journal of Technology Transfer，2000，25(2)：169-180.
[51] LIU C C，STUART T. Positions and rewards：The allocation of resources within a science-based entrepreneurial firm[J]. Research Policy，2014，43(7)：1134-1143.
[52] 方帅，李欣融，雷家骕. 基于科学的企业外部治理全过程模型研究[J]. 科研管理，2024，25(4)：166-173.
[53] 李天柱，马佳，刘小琴，等. 科学型企业的若干基本问题研究[J]. 中国科技论坛，2014(10)：99-105.
[54] 李天柱，马佳，刘小琴，等. 科学型企业的管理特征研究[J]. 科技管理研究，2014，34(21)：105-109.
[55] 余泳泽，唐孝妍. 高校基础研究与创新知识溢出：来自高校设立技术转移机构的证据[J]. 中国软科学，2024(3)：162-173.
[56] 阳镇，王文娜，贺俊. 数字经济推动新兴产业技术创新的制度逻辑：新兴产业类型化的视角[J]. 中国软科学，2026(3)：31-42.
[57] 柳卸林，王倩. 创新管理研究的新范式：创新生态系统管理[J]. 科学学与科学技术管理，2021，42(10)：20-33.

Effectively Research on the Innovation of Science-driven Models and Phenomena

Lei Jiasu[1]，Shao Yunfei[2]，Lu Ruoyu[2]，Li Tianzhu[3]

(1. School of Economics and Management，Tsinghua University，Beijing 100084，China；2. School of Economics and Management，University of Electronic Science and Technology of China，Chengdu 611731，China；3. School of Economics，Guizhou University of Finance and Economics，Guiyang 550025，China)

Abstract：A field that urgently needs to be studied by the domestic academic community，namely，science-driven innovation was proposed. This type of innovation has many essential differences from the technology-driven innovation，experience-driven innovation，and demand-driven innovation that have been studied in China for many years. At present，the development environment，development needs，and development capabilities of our country have undergone tremendous changes. The relationship between China and leading developed countries in industrial technological innovation has shifted from "competitive cooperation，mutual support" to "parallel competition，system segmentation". Meanwhile，strong innovation，strong industry，and strong people's livelihood have become important issues in building a modern strong country. Under this background，our country must actively and effectively promote science-driven innovation activities. However，the academic community has lacked clear focus research on science-driven innovation in the past. This paper reviews and summarizes the research progress of science-driven innovation at home and abroad，and believes that focusing on the research of science-driven innovation can help improve the quality of China's innovation development and enrich the theory of industrial technological innovation in the Chinese context. Furthermore，it is proposed that to explore the relevant laws of science-driven innovation，to construct the theory of science-driven innovation，the academic community urgently needs to focus on studying six types of management issues：first，the relationship between science and industrial technological innovation；second，the evolution of the "underlying paradigm of science" in science-driven innovation；third，the process model of science-driven innovation，that is，the innovation chain；fourth，the organizational model of science-driven innovation；fifth，the three-level governance system of science-driven innovation；sixth，the industry-level phenomena that should be paid attention to in science-driven innovation.

Keywords：science-driven innovation；innovation process model；innovation organizational model；governance system；industry innovation phenomenon