

doi. 10. 3724/1005-0566. 20251006

科技突破需要什么样的资助机制： 对国家科技奖励获得者的定性比较分析

游玗怡¹, 吕 薇², 柳卸林³, 温 珂^{4,5}

- (1. 四川大学公共管理学院, 四川 成都 610065; 2. 国务院发展研究中心, 北京 100010;
3. 首都经济贸易大学工商管理学院, 北京 100071; 4. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190;
5. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100049)

摘要:随着我国科技投入和产出总量的快速增长,如何优化科技投入以促进科技突破成为关键议题。本文基于对2008—2020年国家自然科学奖和技术发明奖获得者的552份调查问卷,定性比较分析自由探索项目、使命导向项目和企业项目对形成科技突破的共同作用机制。结合其中5个典型案例,构建科技突破多元资助的动态耦合模型,提出国家战略和市场需求的结合点及实现共振的两种路径。研究发现,自由探索项目对成果跃迁的灵活触发和动态增益机制。研究认为,应强化自然科学基金在资助前沿探索中的优势,释放使命导向科技计划对多元主体的广泛牵引作用,更好发挥高校在产学研合作中的优势和科研机构在承担国家任务中的优势。

关键词:突破性成果;科技资助;使命导向;产学研合作;定性比较分析

中图分类号:G311 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2025)10-0061-12

What types of funding are needed for scientific and technological breakthroughs: A qualitative comparative analysis based on National Award recipients

YOU Dingyi¹, LÜ Wei², LIU Xielin³, WEN Ke^{4,5}

- (1. School of Public Administration, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Development Research Centre of the State Council, Beijing 100010, China;
3. College of Business Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100071, China;
4. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
5. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the rapid growth of China's scientific and technological (S&T) investments and outputs, optimizing funding strategies to advance S&T breakthroughs has become a key challenge. This study analyzes 552 survey responses from recipients of the National Natural Science Award and the Technological Invention Award (2008 - 2020) and employs qualitative comparative analysis (QCA) to investigate the collaborative mechanisms of curiosity-driven projects, mission-oriented projects, and enterprise-funded projects in driving breakthroughs. Drawing on five typical cases, the study develops a dynamic multi-funding coupling model, identifies two pathways through which national strategies and market demands can resonate, and highlights the flexibility advantages of curiosity-driven projects. The findings suggest

收稿日期:2025-05-27 修回日期:2025-10-10

基金项目:国家自然科学基金专项项目(12124034);国家自然科学基金青年项目(72304264);国家自然科学基金面上项目(71974185)。

作者简介:游玗怡(1992—),女,四川乐山人,四川大学公共管理学院特聘副研究员,博士,研究方向为科技政策、国家—社会关系。通信作者:温珂。

enhancing the supporting for basic research, initiating diverse investments, and enhancing the roles of universities in industry-academia collaborations and research institutes in addressing national strategic tasks.

Key words: breakthrough; S&T funding; mission-oriented innovation policy; industry-university-research collaboration; QCA

2000—2023 年,我国国家财政科技支出增长超 20 倍,推动科技产出快速扩张,SCI 论文数量和发明专利授权量的增长分别达 24 倍和 72 倍。但在总量增长之下,突破性科技产出呈现明显短板:诺奖级科学成果稀缺,顶级期刊发表与美国尚存“质的距离”^[1];半导体、高端装备等关键技术领域仍面临“卡脖子”问题。习近平总书记在 2024 年全国科技大会、两院院士大会的讲话中强调,要提升科技创新投入效能,显示出我国科技经费投入的主要矛盾已由“总量不足”转向“效能不高”,财政资助不能有效支撑突破性成果产出的问题越来越凸显。政府如何优化科技经费配置以提高投入效能、促进科技突破,是亟待深入研究的重大政策问题。

科技突破内在包含科学突破与技术突破,前者拓展人类认知世界的边界,后者开发改造世界的全新方法或工具^[2]。线性模型认为,技术突破源于科学突破,而科学突破依赖科学家的好奇心驱动和自由探索^[3]。使命导向创新政策理论则指出,重大技术突破往往诞生于需求牵引的有组织研发,技术进步又反向驱动科学研究与突破^[4]。由此,各国政府科技资助都大体包括自由探索项目和使命导向项目:前者强调科学家的好奇心和自主性在成果产出中的关键作用^[3];后者则以实际需求牵引科学研究,具有相对明确的目标和产出路径^[5]。

政府资助的自由探索和使命导向项目如何影响科技突破,是一个重要却未有共识的议题。一方面,自由探索曾被认为是推进和重塑知识边界的关键路径^[3],但随着科技投入的快速扩张和回报周期的不断延长,其对经济发展和社会进步的促进作用遭受质疑,各界担忧以科学家自主性为核心的知识生产模式难以为继^[6]。另一方面,使命导向项目虽能集中资源于特定目标^[5],但政府代替科研人员确定研究领域和优先事项,可能扭

曲研究方向、错配研究资源,违背科研活动基本规律,损害研究的多样性和可持续性^[7]。同时,两类项目遵循不同的组织逻辑,前者强调科学家自主权,后者则依赖自上而下的任务分解、路径确认与节点管理^[8]。这种相异的资助与组织逻辑,可能使两类项目在成果形成中优势互补,但也可能导致协同困难与互斥。然而,已有研究尚未系统分析两类项目间的交互关系^[9]。因此,本文第一个关注是自由探索项目还是使命导向项目更有助于促进科技突破?两类项目在何种条件和机制下能够形成资助合力?

政府资助还面临与企业资助的协同问题。特别是使命导向项目,要求围绕使命广泛动员,吸引私营部门向特定领域投入研发资源^[10]。部分研究发现了政府资助和企业资助之间的互补性^[7],认为企业资助使科研人员更好地发现实践中的真问题,有助于促进知识生产、提高成果影响力^[11]。部分研究则认为企业主要追求知识应用的商业价值,与政府资助的公共性相冲突,将削弱政府资助在促进高水平知识生产和传播中的作用^[12]。与此引出本文研究的第二个关注:在何种条件和机制下,政府资助与企业资助能够有效协同?

此外,科技资助的效果还与受资助机构的特征有关^[13],提升投入效能需根据不同科研主体的特征设计差异化资助策略。本文聚焦高校和科研机构两类主体,是由于高校与科研院所是我国科技突破的关键来源。2015—2023 年,高校和科研机构作为第一完成单位获得了 100% 的国家自然科学奖和 91% 的国家技术发明奖^①。高校和科研机构在机构文化、团队规模、科研组织模式等方面存在差异^[14],但尚未有研究探讨这种差异对资助效果的影响。与此同时,无论高校还是科研机构,相比于地方单位,中央级单位通常集聚了更多科研设施和人才资源^[15],但学界对这种禀赋差异的

① 根据国家科学技术奖励工作办公室公布的数据整理得到,其中 2021 年和 2022 年未评选。

影响存在不同评估。部分研究认为,占据资源和能力优势的中央机构有更高研发效率和资助回报率^[16];部分研究则认为,地方机构更能有效利用新增资金^[17]。由此引出本文研究的第三个关注:高校与科研机构、中央与地方等不同属性的机构,分别适用何种资助机制?

为回答上述问题,本文建立包含项目类型和机构类型的研究框架。项目维度包括政府资助的自由探索与使命导向两类项目、企业资助的知识生产与知识应用两类项目;机构维度包括高校与科研机构、中央与地方两种属性。运用定性比较分析(QCA),探索不同类型资助的作用效果与协同机制,比较不同类型机构适用的组态。在各组态中遴选典型案例,探讨科技资助的时序演进和动态耦合关系。

一、研究框架

(一)科学突破与技术突破

科学与技术相互关联但又存在差异。科学是为了探究客观事物的本质规律,运用范畴、定理、定律等思维形式反映规律,形成可检验、公式化的理论体系^[18],关注“是什么”和“为什么”的问题^[2]。技术则是为了解决社会生产体系中发生的实际问题,创造或发明各种方法和工具,用以开发工艺、制造产品、提供服务^[18],关注“做什么”和“怎么做”^[2]的问题。

突破性最早用于描述技术发展中非连续性突变的特征,强调向上跃迁至新的技术轨道,导致技术组件和架构的重大变化,拓展现有技术边界^[19]。这一概念随后也被引入科学领域,指通过创造新理论或改进现有理论,解决重大科学难题或开辟新的研究方向,从而显著推进或重塑知识前沿、产生变革性影响^[20]。可见,突破性可用于描述科学和技术特征,强调前瞻、先导、突破现有边界。结合对科学和技术的辨析,本文将科学突破定义为通过阐明自然现象、特征和规律,突破现有科学前沿,具有高度新颖性和广泛科学影响的成果;将技术突破定义为通过产品、工艺、材料、器件及其系统,推动技术轨道跃迁,具有高度创新性和广泛经济社会影响的成果。

(二)政府资助和企业资助

在我国,政府和企业为高校与科研院所提供了近90%的研究经费,是其科技活动的主要资助者。总体而言,政府侧重资助基础性和战略性项目,企业则更重视产业应用与市场价值^[21]。但同时,政府和企业也常共同资助同一研究,如政府设立的协同研发项目常吸引企业投入^[22];企业通过研发合同使高校与科研院所关注工业界的真问题,而这些合同的高效完成又受益于政府资助所提供的科研设施、人员训练和知识积累^[11]。

1. 政府科技资助的类型

第二次世界大战,美国政府的资助实践奠定了现代科技政策的基础。基于市场失灵理论,政府被认为应大力支持基础理论创新、共性技术研究等具有正外部性的知识生产,为距离经济利益较远、企业不愿投或不敢投的科技活动提供经费^[23]。这类资助主要支持好奇心驱动的研究,很少限定具体研究方向,信任科学家的专业判断和能力,期待通过自由探索积累面向未来的新知识^[3]。

随着产业和社会挑战的日益复杂,使命导向创新政策兴起。各国政府逐渐认识到,高校与科研院所自发的知识生产难以满足产业和社会的现实需求,政府资助不仅要解决市场失灵,还要解决转型失灵^[9]。基于此,政府组织专家、企业用户、社会公众等围绕实际需求研讨论证,确定亟须优先解决的重大而紧迫的问题,建立解决问题的时间框架与研究路径^[24]。利用公共资金支持使命导向科技活动,引导各类科研主体共同参与对特定问题的研究^[23]。

发展至今,各国政府大多设置了自由探索和使命导向两种类型的科技项目。在我国,自然科学基金下设不同类型的资助计划,中央本级的其他四大类科技资助则具有较为明确的使命导向^[25]。

2. 企业科技资助的类型

除了内部研发活动,企业也通过资助高校与科研院所获得对其成果的优先使用权,改进技术和工艺,提升预期的长期盈利能力^[26]。与政府的资助思路相似,产学研合作也存在两类典型方式。一是从创新的线性模型出发,企业资助高校与科研院所生产科学与技术知识;技术应用与扩散则

主要在企业内部完成。通过合作生产论文、专利等不同类型的知识型成果,提升企业的研究和感知能力,增厚面向未来的知识储备^[27]。

二是从更加鲜明的应用导向出发,以在短期内形成产品、获得商业利益为目标,通过资助高校和科研院所,促使其向特定的应用领域投入更多的时间和精力^[28]。通过将新知识应用于具体的情景和场域,解决实际问题,提升新设备、新产品的产出能力和商业化前景^[11]。

根据巴斯德象限理论,实际的应用需求可以激发基础研究并产生新知识,科学家也可以既生产知识也解决应用问题。这种知识生产与应用间的张力使得企业资助作用于知识生产和知识应用两个方面。

(三) 组织差异对资助效果的影响

1. 高校与科研机构

高校具有深厚的学术自由传统和普遍性知识理想,围绕世界前沿科技和人才培养需求推进基础研究,以非导向性的自由探索为主^[29]。研究单元一般为教师和学生组成的小型研究组,管理和决策权相对分散^[30]。Kroll 等^[8]认为,使命导向项目对跨学科多元行动者共同参与的要求,可能与高校根植的文化氛围存在冲突,高校缺乏通过官僚体制动员科研人员开展特定任务研究的能力。

国家科研机构则大多面向国家战略需求,从诞生之初就围绕国家安全、能源与环境、公众健康等重大问题开展任务研究^[31];地方科研机构面向地方需求,侧重解决当地产业技术研发与转化中的实际问题^[32]。大多数科研机构的研发人员在相对集中、自上而下的决策和管理体制中组建团队

和开展研究^[30]。

目前,少有研究直接比较高校和科研机构中科技资助的效果,但部分研究暗示了存在差异的可能性。例如,较大的团队规模与较高的产出数量和引用次数有关,小规模团队则更常产出突破性成果^[16,33]。而团队规模的大小正是高校和科研机构的突出差异:在育人基础上侧重前沿探索的高校科研团队,更追求学术自由和灵活性,其规模相对较小;被期待解决重大科技问题和运行大设施的科研机构则需组建规模化团队^[14]。不过,对于高校和科研机构中科技资助的效果差异,还缺乏系统研究。

2. 中央机构与地方机构

中央(部属)高校与科研院所与地方高校与科研院所在管理体制、资源获取、科研基础等方面存在明显差异,可能导致不同的经费使用效率和科研产出水平^[15]。许多学者认为,211 高校、中国科学院等中央高校与科研院所汇聚了丰富的研究资源和能力出色的科研人员,能够更有效地利用科技资助并形成高水平成果;而其他高校与科研院所更不易将资助转化为高水平产出^[13,16]。

也有学者持不同观点,发现尽管经费高度集中于中央机构,但在经费最为集中的前 20% 高校与科研院所中,新增经费对论文产出的促进效果最弱^[34]。Hu^[17]对国家自然科学基金资助效果的研究有类似发现,相比 985 高校和中国科学院,投入其他高校与科研院所的新增资金边际产出率更高。

(四) 研究框架

基于上述分析,本文结合资助类型和机构类型两个维度探讨科学突破和技术突破的影响因素,形成的研究框架见图 1。

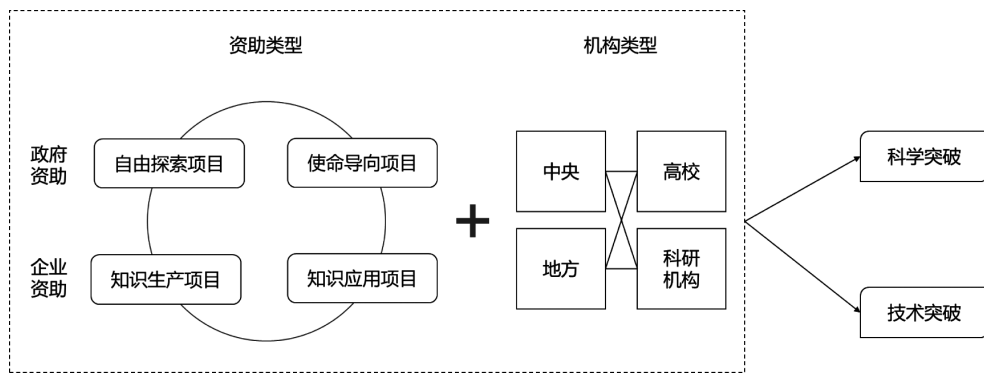


图 1 研究框架:科技突破的资助机制

二、研究方法

(一) 样本选择与数据来源

为兼顾成果的突破性和探索资助规律的数据规模,本文以获得国家自然科学奖和技术发明奖作为科技突破的标志^②。考虑数据时效性和可获取性,将观察范围限定为2008—2020年,以高校与科研院所作为完成单位的获奖成果。从科学技术奖励工作办公室官网得到1 126项成果信息,共5 918人次获奖,其中4 965人次来自高校与科研院所,合计4 245人。

通过获奖者单位官网,收集得到其中3 721人的邮箱地址。通过问卷星平台于2023年5月发送问卷链接,共回收问卷556份,其中有效问卷552份,分别来自287位自然科学奖得主和265位技术发明奖得主。在问卷调查的基础上,进一步从一等奖成果中遴选确定5个典型案例,全面采集案例公开信息,并分别访谈至少3位核心成员,构建质性分析的数据集。

(二) 数据分析方法

本文主要采用模糊集定性比较分析(fsQCA)方法,原因有二:第一,资助策略与科技突破呈现非对称的因果关系,不适用统计方法,而QCA允许仅关注形成了科技突破的资助策略;第二,本文关注不同类型资助与受资助者特征间的组合,且可能存在几种等效路径,QCA适合探索这种多重并发的因果关系。

根据QCA原理,只有结果为真的案例会被用于求解复杂解,根据已有研究经验纳入简单逻辑余项后得到中间解,结果为假的案例则会被用于确定复杂逻辑余项以获得简单解^[35]。由于本文仅包含结果为“科技突破”的样本,无法考察条件缺失时是否一定不能实现科技突破,因而研究的重心在于探索导致突破的多样化路径,即充分条件而非必要条件,不适合寻求简单解。在分析资助条件组态时,首先从结果为真的案例出发得到复杂解;其次,基于“各类资助至少无害”^[36]这一经验性前提得到中间解;最后,比较复杂解和中间解,将同时存在

于两类解中的条件视为核心条件,仅出现在复杂解中的条件视为边缘条件,归纳资助构型。

基于QCA发现的构型遴选典型案例,揭示资助的动态特征。以研究的思路形成、立项、组织研究、成果产出为时间脉络,结合客观过程与获奖者的主观判断,追踪各类资助的进入和退出。通过探索不同科技资助的时序演进和互动关系,构建科技突破多元资助的动态耦合模型。

(三) 变量测量与校准

1. 结果变量

(1) 科学突破。以获得国家自然科学奖为代理变量,其定义与《国家科学技术奖励条例》中“在基础研究和应用基础研究中阐明自然现象、特征和规律,做出重大科学发现”的授奖条件一致。

(2) 技术突破。以获得国家技术发明奖为代理变量,其定义与“运用科学技术知识做出产品、工艺、材料、器件及其系统等重大技术发明”的授奖条件一致。

2. 前因变量

(1) 自由探索项目。测量在成果形成过程中受到国家自然科学基金中的青年、面上、优青和杰青项目资助的项目类型数量。

(2) 使命导向项目。测量在成果形成过程中受到以下资助的项目类型数量:国家自然科学基金中的重点项目、重大项目和联合基金项目,以及星火计划、863计划、火炬计划、973计划、支撑计划、公益性行业科研专项、国家重点研发计划、国际科技合作与交流专项、产业技术研究与开发基金。

(3) 知识生产项目。测量在成果形成过程中,与企业开展过以下合作中的几类:具体研究问题的提炼、合作发表论文、合作申请专利。

(4) 知识应用项目。测量在成果形成过程中,与企业开展过以下合作中的几类:试验设备自主研发、技术工艺的应用和升级、具体产品应用推广。

(5) 机构层级。部委所属高校和科研机构记为1(中央属),地方高校和科研机构记为0(地方属)。

^② 科学技术进步奖以“完成和应用推广创新性科学技术成果”为评奖标准,侧重系统集成与应用推广,而非科学或技术本身的突破性,未被纳入研究样本。

(6) 机构类别:高校记为 1,科研机构记为 0。

3. 变量校准

本文研究中的结果变量以及前因变量中受资助机构属性均为哑变量,无须校准。对于前因变量中不同类型项目的资助水平,首先锚定样本的第 5 和第 95 百分位数,发现所有类型项目的 5% 分位点均为 0,使命导向项目的 95% 分位点为 5,而其余类型项目均为 3。随后,对于主要分布在 0~3 之间取整数的变量,分别校准为 0、0.33、0.67 和 1;对于主要分布在 0~5 之间取整数的变量,分别校准为 0、0.2、0.4、0.6、0.8 和 1。

三、实证结果

为兼顾案例覆盖率、结果的代表性和简洁性,将案例频数阈值设定为 2。用于分析的自然科学奖得主共 278 人,占 96.9%;技术发明奖得主共 259 人,占 97.7%。

(一) 科学突破的资助条件组态

以科学突破为结果变量,得到如表 1 所示的 7 种组态,分为 2 种构型:学术自主驱动与国家战略驱动。结果显示:第一,自由探索项目在科学突破的形成中最为关键,科学家的自主选题与独立研究仍是重要路径;第二,使命导向项目也可以孕育产生科学突破,国家战略对驱动科学突破有积极意义;第三,没有科学突破仅由企业资助形成;第四,机构特征不是导致科学突破的核心条件,但中央单位、高校具有相对重要的角色。

表 1 科学突破的资助条件组态

前因变量	构型 1 学术自主驱动					构型 2 国家战略驱动		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
政府 资助	自由探索	●	●	●	●	●	⊗	
	使命导向			⊗	⊗		●	
企业 资助	知识生产	⊗		⊗		⊗	●	
	知识应用			⊗	⊗	⊗		
机构 属性	中央属	●	●		●		●	
	高校		●			●	●	
原始覆盖度		0.486	0.305	0.417	0.378	0.315	0.256	0.038
唯一覆盖度		0.037	0.008	0.004	0.003	0.008	0.070	0.007
解的覆盖度		0.642						

注:●表示核心条件存在;⊗表示核心条件缺失;●表示边缘条件存在;⊙表示边缘条件缺失。对于机构属性,“中央属”变量存在表示为中央级高校与科研院所,缺失(非中央级高校与科研院所)表示为地方高校与科研院所;“高校”变量存在表示为高校,缺失(非高校)表示为科研机构。下同。

(二) 技术突破的资助条件组态

以技术突破为结果变量,得到如表 2 所示的 9 种组态,分为 4 种构型:学术自主驱动、国家战略驱动、国家战略与市场需求共振、市场需求驱动。结果显示:第一,学术自主和国家战略均是技术突破的驱动条件,其中使命导向项目更广泛地存在于不同组态中;第二,使命导向项目与企业知识应用项目的结合有助于促进技术突破,显示出国家战略和市场需求相契合的积极意义;第三,企业资助在技术突破中发挥重要作用;第四,高校主要受益于自由探索项目和企业资助,科研机构则从使命导向项目中获益更多;第五,相较于地方机构,投入中央高校与科研院所的资助更可能引致技术突破。

表 2 技术突破的资助条件组态

前因变量	构型 1 学术自主驱动		构型 2 国家战略 驱动	构型 3 国家战略与 市场需求共振		构型 4 市场需求驱动				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
政府 资助	自由探索	●	●	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
	使命导向			●	●	●				
企业 资助	知识生产	⊗	⊗		⊗	●	●			
	知识应用		⊗		●	●		●	●	
机构 属性	中央属	●		●				●	●	
	高校		●	⊗		●	●		●	
原始覆盖度		0.271	0.168	0.099	0.208	0.128	0.174	0.298	0.286	0.295
唯一覆盖度		0.046	0.020	0.030	0.012	0.007	0.019	0.015	0.018	0.035
解的覆盖度		0.664								

(三) 稳健性检验

采用调整校准阈值、改变案例频数两种集合论特定的稳健性检验方法作进一步分析。首先,

将完全隶属的校准阈值调整为 1,即只要曾受到相关资助则视为存在,开展清晰集定性比较分析。随后,将案例的频数阈值调整为 5,对 237 名自然

科学奖得主(占82.6%)和227名技术发明奖得主(占85.7%)重新开展fsQCA。两种稳健性检验的结果均与原资助条件组态高度一致且为其子集,显示出良好的稳健性(因篇幅所限,结果图表略)。

四、讨论

QCA发现了3类包含政府资助的构型:学术自主驱动、国家战略驱动、国家战略与市场需求共振。根据3类构型在促进科学和技术突破中的不同侧重、与机构属性的条件组合关系,遴选典型案例讨论其作用机制。具体的案例类型包括:中央高校中学术自主驱动的科学突破、中央科研机构中国家战略驱动的科学突破和技术突破、中央高校中国家战略与市场需求共振促进技术突破。

(一)学术自主驱动科学突破

获得国家自然科学一等奖的“有序介孔高分子和碳材料”研究源于科学家灵光一现的创意,在2003年首次试验形成有序介孔前,并未显现出明确的可行性和前景。但复旦大学提供了相当宽松的研究环境和少量科研启动经费,允许自主购置设备和聘用学生。该研究主要受到国家自然科学基金的资助,包括2项面上项目、1项杰出青年科学基金和2项国际(地区)合作与交流项目。这些早期资助的名称并不与“有序介孔材料”直接相关,而是相对模糊而宽松地支持自由探索,在探索中逐渐聚焦到相对明确的研究领域。其间,2000年杰出青年科学基金的资助金额达80万元,为这项尚未形成共识的研究提供了宝贵经费,也为研究者坚持自己的判断和研究提供了强大支持。团队有意识地招募高分子、有机方向的人才,快速推动大量实验,最终迎来介孔材料从无机向有机的轨道跃迁。

这一成果的形成过程显示,科学研究具有很高的不确定性,高度依赖科研人员自身的专业知识、研究经验和灵活判断。尽管成果在此后表现出很大的应用价值与市场潜力,亦在其他政府和企业项目的资助下加速成熟和转化,但在曙光初现前的研究阶段,却主要依靠自由探索项目的资助。这类项目的模糊性和容错率较高,支持科学

家自主选择研究问题和组建研究团队,与高校以学术自由为内核的科研模式相契合,有力支撑科学家将创意和灵感转化为科学突破。

(二)国家战略驱动

在科学突破和技术突破的资助组态中,都存在在国家战略驱动的构型,且该构型在中央科研机构中更为重要。本节结合中国科学院大连化学物理研究所(简称“大化所”)获得自然科学一等奖和技术发明奖一等奖的两项成果,探讨使命导向项目的作用。

1. 国家战略驱动科学突破

“纳米限域催化”的突破源于科学家自下而上的研究倡议与国家需求的耦合,使命导向项目具有关键影响。为提高煤制取低碳烯烃的效率,包信和立志解决与能源相关的催化基础研究问题。其初步设想得到大化所院士前辈的支持,鼓励起草《甲烷、低碳烷烃及合成气转化的催化基础》研究建议书,以争取国家重视而获得足够研究经费。该建议书先后修改37稿,通过多位科学家的反复探讨,从重大应用问题中抽象出关键理论问题,确定了研究的主攻方向。最终形成的建议书与国家既要发展又要减排的战略需求相契合,得到科技部的支持。

此后20年,该研究主要受到973计划、国家自然科学基金重大研究计划、重点项目、中国科学院先导专项等使命导向项目的资助,以需求为牵引,在不同表界面开展催化研究。中国科学院和大化所的几届领导都全力支持。在国际上相关研究陷入低迷、团队9年未发表一篇项目进展文章的情况下,仍支持其根据研究需求引进人才和新建实验室,培养出一批心无旁骛的“技术宅”。在使命导向项目的资助下,团队成员无须为考核或经费需求而申请项目,但会根据攻关中发现的前沿问题和个人特长,独立申请和承担国家自然科学基金项目。

这一研究的最初设想来自科学家,但因需要大量人员和经费,很难由自由探索项目单独资助完成。必须在反复沟通与互动中找准研究与国家需求间的契合点,实现政府与学界在共同目标上

的高度耦合,进而策划和组织研究任务。科研机构建制化的组织形式适合承担使命导向项目,能够在较长的周期内围绕任务布局科研经费、设施和人才资源,凝聚攻关合力。攻关团队中的成员亦在自由探索项目的资助下积累基础研究成果,但这些研究始终以最终要解决的需求问题为牵引,以科学突破创造全新的解决方案。

2. 国家战略驱动技术突破

“甲醇制烯烃技术”的突破源于国家自上而下的战略需求与科研机构技术能力的耦合,使命导向项目发挥主导作用。20 世纪 80 年代,国家有关部委和中国科学院立足国情,提出非石油路线制取低碳烯烃的战略任务,大化所也通过承担中国科学院重点课题成功完成小试。由于经济性较低,缺乏工业化转化的机会,技术研发一度陷入停滞。但原国家计委高度重视这一路线,在“七五”期间将其列为国家重大科技攻关项目,由大化所建立中试基地并进行集中攻关。

在技术层面取得成功后,大化所不断深入对相关催化问题的基础研究,先后获得国家“八五”重点科技攻关课题和 973 计划中多个项目的长周期资助。在长达 30 余年的研究过程中,以使命导向项目为牵引,围绕科学机理、技术难点和成果转化等问题动态调整研究团队,明确人员和职责,建立起有效的内部科研组织模式。团队人员历经代际传承,获奖成果的第一完成人在硕士阶段就跟随导师进入团队,在研究中学习与历练,最终成长为新一代团队的负责人。这种稳定的科研组织架构和内部人才成长路径正是科研机构区别于高校的一个重要特征,也使其更善于承担长周期的重大任务攻关。

这一研究在启动之初就面向国家战略需求,其早期经费也主要来自中央政府设立的使命导向项目,很少受到自由探索项目的资助;在成果显现出产业化潜力后,也主要在国家发展改革委、地方政府的牵头下开展产研合作。这显示出使命导向项目在支持技术突破中的关键作用,集中体现国家战略意图,集聚和调动优势资源。科研机构围

绕特定领域组建团队,长期专注、有效协同、持续攻关,最终形成能够回应国家战略需求的重大技术突破。

(三) 国家战略与市场需求共振

政府资助中使命导向项目与市场资助中知识应用项目的共同支持,是促进高校技术突破的重要构型。结合案例研究发现,这一构型存在两种时序关系。

1. 政府 + 企业接续资助技术突破

国家技术发明奖一等奖成果“音视频编解码数字电视广播传输格式标准”(简称 AVS)呈现“政府资助早期研究 + 企业资助技术迭代”的特征。即早期由政府明确使命方向并资助基础理论研究,在取得部分成果后企业资助研究,成果获得应用。

为绕过国际上数码电视标准体系的专利壁垒,研究制定自主技术标准,原信息产业部科学技术司于 2002 年成立 AVS 工作组,高文任组长。此后,工作组受到多个 863 计划项目、自然科学基金专项项目的持续资助,集中精力开展有组织的科研攻关。但这种攻关是扁平而开放的,针对研究路线,团队成员有时会花费数十天时间“吵架”式地提出提案并相互质疑,在反复的理论讨论、测试与比较中推动研究进程。针对攻关中发现的新问题和关键难点,团队成员也独立申请自由探索项目,并以探索形成的新发现反哺和支持团队研究,形成个人探索与团队攻关间的良性互动。

随着 AVS 技术的开发,高文认识到产业化应用的重要性,发起成立产业技术创新战略联盟,陆续吸引数千家企业成为付费会员。在技术快速发展的 2002—2012 年,包括 863 计划在内的政府项目投入约 3 000 万元,而联盟企业缴纳的会费达到数亿元,远超财政经费。除了为技术的持续研发和应用提供经费,会费缴纳还体现出企业对 AVS 技术的信任和支持,打通研发与产业应用之间的链条,提供了广泛的技术迭代场域。

围绕这一距离市场端较近的国家使命,高校开放而活跃的科研氛围展现出独特优势。科研人

员围绕使命任务持续攻关,但保持技术路径的开放性,在多路径的尝试与碰撞中突破关键技术难点,形成具有市场化潜力的成果。此后进入的企业资助以知识应用为主要目标,加快技术的开发、应用和迭代。如此,有效释放财政资助的杠杆效应,促进高价值、高影响力的技术突破。

2. 企业 + 政府接续资助技术突破

国家技术发明奖一等奖成果“硬脆材料复杂曲面零件精密制造技术与装备”则在时序上表现为“企业资助技术研究 + 政府资助共性探索”。即早期研究从企业实际需求出发、主要受到企业资助,随着在研究过程中识别出共性问题,逐步承担国家任务以实现技术突破。

郭东明关注高性能制造的起点正是其导师承担的企业课题,旨在精密测量复杂曲面。研究过程中发现传统制造业中的试凑方法存在很强局限性,按照加工尺寸做到“准确”的零件,在使用中仍无法满足性能要求。为解决这一工程技术问题,郭东明将硕士研究方向确定为精准测量方法,又在博士期间投入对精密复杂曲面零件加工技术与工艺的研究。

郭东明团队始终致力于解决企业的实际技术难题,其成果大多也曾受到企业资助并有企业参与研究。同时,随着研究的深入,逐渐从工程需求中发现产业共性技术问题,又在关键技术攻关中进一步凝练科学问题。这些问题往往反映出国家在高性能制造领域的战略需求,团队也因此获得了973计划、863重点课题、04专项等一系列使命导向项目的资助,深入研究产学研合作中挖掘形成的重大问题。

从企业资助具体技术的横向课题,到使命导向国家计划资助应用基础研究,体现出市场需求与国家战略的共振。高校为科学家的独立思考与探索提供宽松平台,鼓励其从市场需求中挖掘研究兴趣、形成研究方向。科学家基于自身的兴趣、知识与能力积累,灵活而快捷地响应市场需求,寻得学术目标与产业目标的耦合点,最终实现从工程问题中凝练科学问题、解决技术问题、在更高层

面上突破工程问题的全链条贯通。

(四)小结:科技突破多元资助的动态耦合

通过对各构型中典型案例的讨论,进一步发现了政府和企业资助在不同类型高校与科研院所中的动态作用机制。

政府是科学突破的主要资助者。一方面,资助自由探索,支持科学家基于自身的知识、兴趣和灵感选择研究方向、探索研究路径。这一资助模式契合高校学术自由的研究传统,为科学家营造宽松环境,鼓励其在科学的不确定性中寻求突破。另一方面,以使命导向项目牵引基础研究,耦合国家需求与高校与科研院所能力,通过有组织的科研促进科学突破。这一资助模式契合科研机构的建制化特征,支持其围绕使命任务组建团队、布局设施,在持续攻关中突破关键科学难点。

技术突破的资助模式更为多样,政府与企业的共同资助耦合于现实问题。对于面向国家安全的关键技术,政府使命导向项目发挥核心作用。基于国家战略需求设置研究目标、分解研究任务、组织协同攻关。面向产业需求的关键共性技术则更依赖国家战略与市场需求间的共振。第一阶段主要是高校与科研院所与政府或企业的单独耦合,第二阶段则要求政府资助的成果引发企业兴趣或企业资助的成果引发政府关注,从而建立政府与企业间的共识与共同资助。在这一过程中,战略科学家的作用至关重要,需找准国家战略、企业需求和高校与科研院所能力间的结合点,以实现三者间的深度耦合,合力推动技术轨道跃迁。

综合QCA和案例讨论,建立如图2所示资助模型。左侧小虚线框内为单一类型项目主导下的科技突破,自上而下分别对应国家战略驱动的科学突破/技术突破、学术自主驱动的科学突破、市场需求驱动的技术突破4种构型。整体大虚线框则刻画了国家战略与市场需求共振下的技术突破,包括政府资助早期研究 + 企业资助技术迭代和企业资助技术研究 + 政府资助共性探索两种路径。

科学突破和技术突破的形成路径与资助机制

存在明显差异,但又相互关联:一方面,科学突破具有溢出效应,为各类技术研究提供新知;另一方面,技术突破反馈至政府和高校与科研院所,又可能引发其关注和兴趣、增强其能力和工具,进而推

动新一轮的科学突破。如此,构成科技突破多元资助的动态耦合关系,科学与技术间相互区别又共同演进,在各类资助的差异化作用下实现全链条贯通。

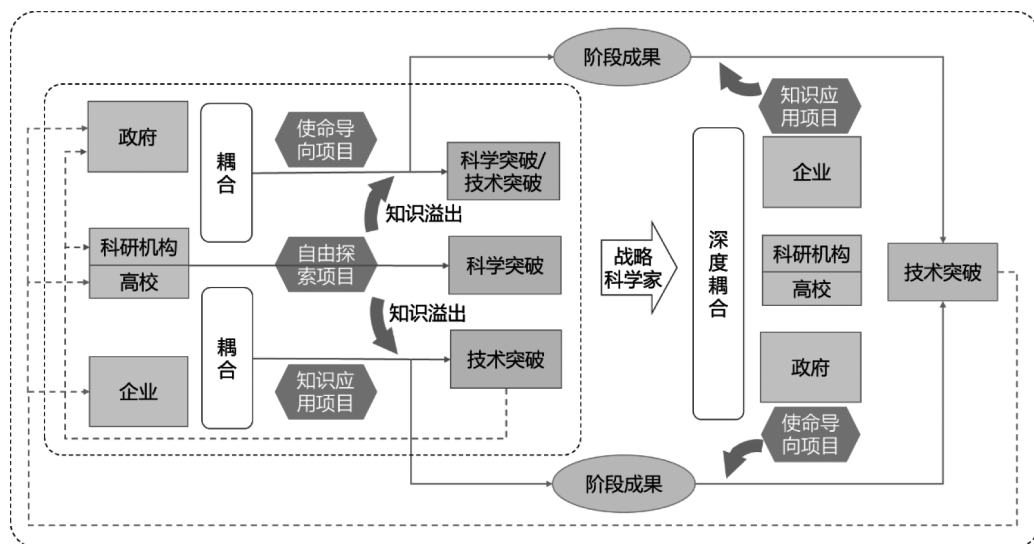


图2 科技突破多元资助的动态耦合模型

五、结论与启示

本文聚焦实现科技突破的案例,采用案例导向的QCA方法,探索成果形成过程中科技资助的充分条件组态。研究旨趣不在于反事实的因果推断,而在于揭示案例背后的成功逻辑,总结促进科技突破的多样化资助模式。主要研究结论如下。

第一,科学突破存在内生、耦合和反馈3种形成路径,主要受益于政府科技项目的资助。内生路径即学术自主驱动的科学突破,高校与科研院所科研人员在自由探索项目的资助下开展理论研究并取得突破;耦合路径即国家战略驱动的科学突破,当国家战略与高校与科研院所能力相耦合时,可以通过明确的任务设计加速科学突破;反馈路径并非独立于上述两种路径,而是引发学术兴趣或国家战略的其中一种形成机制:新的技术突破引起高校与科研院所的兴趣或政府关注,进而反向促进科学突破。

第二,技术突破在科研机构 and 高校中存在不同资助构型,更加依赖多元项目的共同支持。在科研机构中,国家战略是驱动技术突破的关键因素。与国家安全相关的研究常呈现长周期、大规

模特征,使命导向项目发挥主导作用,科研机构根据任务需求组织优势力量,以代际传承的科研团队开展持续攻关。在高校中,技术突破更多诞生于国家战略与市场需求的共振之中。这一情形常见于产业共性问题,高校能够灵活、快捷地回应不断演变的需求,并向产业输送具有共同知识基础和认知的人才,更好地促进自身与政府、企业间的深度耦合。与此同时,各类研究中常涌现超越原有研究计划的新问题和新难点,自由探索项目通过支撑钻研难点,以“点”上突破为“主线”研发贡献新知,动态反哺和增益技术攻关,触发科技突破。这一发现超越了传统上将自由探索与使命导向二元对立的认知^[9,22],揭示了不同类型项目在有组织科研中的相互交织和共同作用机制。

第三,现实需求是耦合政府与企业资助的关键,存在政府引导和市场触发两条路径。在国家需求首先涌现的情况下,政府设定使命目标并资助早期的科学研究和技术积累;成果应用前景吸引企业投入,创造技术开发与迭代场景,带动技术突破的能级倍增。但政府并不总是研究议题的首发动员者,在市场需求首先涌现的情况下,企业根

据实际需求设立横向课题和寻求科研合作,科学家在研发过程中逐步探明工程难点蕴含的科学技术问题;共性问题引起国家重视,资助更深入的系统性研究,从而在更高维度上突破工程难点。比较而言,政府自由探索项目与企业知识生产项目则不存在这种耦合关系,表明政府与企业资助的主要协同场景是面向当前的关键技术问题,而二者面向未来的资助策略各有侧重,较少形成资助合力。这一发现支持了使命导向项目积极影响的观点^[4-5],并进一步明确其发挥积极影响的边界条件:释放使命导向项目效能的关键是充分尊重科技发展的阶段性特征,耦合跨部门主体的需求和能力,共同参与议程设置与合作研究。

第四,产学研合作中知识应用项目有独特优势,相较知识生产项目更有助于促进科技突破。企业知识应用要求与高校与科研院所探索新知要求之间的张力,常被视为产学研合作欠佳的关键原因^[12]。部分学者担忧,企业资助的应用导向项目可能挤出高校与科研院所的基础研究工作,不利于高水平成果产出^[27]。本文反驳了这一观点,发现与旨在生产论文和专利的产学研项目相比,聚焦解决企业实际问题的合作反而更有助于技术突破。科学家深入分析企业面临的产品、技术和工艺问题,从机理、机制和理论上找出问题根源,通过突破基础理论和技术解决实际问题,最终在客观上创造了新知识。这一发现为产学研合作理论提供了新的证据和思路,提出应构建知识应用导向的产学研资助与合作模式。

基于上述研究结论,提出4点实践启示。第一,强化自由探索项目资助基础科学和前沿探索的优势。充分发挥国家自然科学基金在涵养科学生态、包容和支持多样化研究中的关键作用,保持对基础科学、理论研究的较大支持力度。第二,优化使命导向项目的选题机制。有组织科研应广泛吸纳科学家与企业家的多方意见,识别关键问题、诊断已有水平、达成研究共识。围绕使命建立政府与市场共同投入、各有侧重的资助格局,在尊重科学规律和市场意愿的前提下引领科学技术的突

破方向。第三,扩大应用导向的产研合作。加强对实践问题的关注和凝练,通过成立技术联盟、联盟内企业共同资助的方式,扩大问题识别与成果应用的范畴,推动技术突破。第四,科技资助应充分考虑不同类型高校与科研院所的差异化特征。在体现市场需求的企业联合基金、技术联盟中,更好地发挥高校的灵活性优势,创新合作方式;在体现国家战略的使命导向科技任务中,充分发挥科研机构有组织科研的优势,强化攻关合力。

参考文献:

- [1]张振伟,黄露,谭龙,等. 我国距全球科学中心还有多远:基于 cell, nature 和 science 期刊文章的计量分析[J]. 中国软科学, 2022(6): 1-20.
- [2]FREEMAN C, SOETE L. Developing science, technology and innovation indicators: what we can learn from the past [J]. Research policy, 2009,38(4): 583-589.
- [3]SHAW J. There and back again: revisiting vannevar bush, the linear model, and the freedom of science [J]. Research policy, 2022,51(10): 104610.
- [4]DELEIDI M, MAZZUCATO M. Directed innovation policies and the supermultiplier: an empirical assessment of mission-oriented policies in the us economy [J]. Research policy, 2021,50(2): 104151.
- [5]LAATSIT M, GRILLITSCH M, FÜNFSCHILLING L. Great expectations: the promises and limits of innovation policy in addressing societal challenges [J]. Research policy, 2025, 54(3): 105184.
- [6]PARK M, LEAHEY E, FUNK R J. Papers and patents are becoming less disruptive over time [J]. Nature, 2023,613(7942): 138-144.
- [7]KISHI N. How does policy focus influence scientific research? [J]. Science and public policy, 2019,47(1): 114-124.
- [8]KROLL H, SCHUBERT T. Can university leaders effectively promote research on complex societal challenges? a change-agency perspective [J]. Higher education policy, 2024,37(2): 348-365.
- [9]JANSSEN M J, TORRENS J, WESSELING J H, et al. The promises and premises of mission-oriented innovation policy: a reflection and ways forward [J]. Science and public policy, 2021,48(3): 438-444.
- [10]FAGERBERG J. Mobilizing innovation for sustainability transitions: a comment on transformative innovation policy

- [J]. Research policy, 2018,47(9): 1568-1576.
- [11] HOTTENROTT H, LAWSON C. Fishing for complementarities: research grants and research productivity [J]. International journal of industrial organization, 2017,51: 1-38.
- [12] CZARNITZKI D, GRIMPE C, TOOLE A A. Delay and secrecy: does industry sponsorship jeopardize disclosure of academic research? [J]. Industrial and corporate change, 2015,24(1): 251-279.
- [13] WANG Y J, LI P, GAO H Y, et al. Do the elite university projects promote scientific research competitiveness: evidence from nsfc grants [J]. Research policy, 2024,53(10): 105074.
- [14] CHOI H, YOON H, SIEGEL D, et al. Assessing differences between university and federal laboratory postdoctoral scientists in technology transfer [J]. Research policy, 2022,51(3): 104456.
- [15] YANG P, WANG R. Central-local relations and higher education stratification in China [J]. Higher education, 2020,79(1): 111-139.
- [16] 段培新,王凯凯,孟激,等. 经费规模与科研产出:基于 nsfc 资助政策“净效应”的分析[J]. 科研管理, 2022, 43(5): 94-103.
- [17] HU A G Z. Public funding and the ascent of chinese science: evidence from the national natural science foundation of china [J]. Research policy, 2020,49(5): 103983.
- [18] 郑焯. 创新驱动发展战略与科技创新支撑:概念辨析、关系厘清与实现路径[J]. 经济问题探索, 2017(12): 163-170.
- [19] SCHOENMAKERS W, DUYSTERS G. The technological origins of radical inventions [J]. Research policy, 2010,39(8): 1051-1059.
- [20] WUESTMAN M, HOEKMAN J, FRENKEN K. A typology of scientific breakthroughs [J]. Quantitative science studies, 2020,1(3): 1203-1222.
- [21] DOH S, JANG D, KANG G M, et al. Research funding and performance of academic researchers in south korea [J]. Review of policy research, 2018,35(1): 31-60.
- [22] 武晨箫,李正风,黄璐. 政府资助引导基础研究多元投入的内在逻辑与未来挑战:基于联合基金的案例分析[J]. 中国软科学, 2022(12): 13-22.
- [23] WANG L L, WANG X W, PIRO F N, et al. The effect of competitive public funding on scientific output: a comparison between China and the EU [J]. Research evaluation, 2020,29(4): 418-429.
- [24] DIERCKS G, LARSEN H, STEWARD F. Transformative innovation policy: addressing variety in an emerging policy paradigm [J]. Research policy, 2019,48(4): 880-894.
- [25] 赵路,程瑜,张琦. 发挥财政职能作用支持科技创新发展:财政科技事业 10 年回顾与展望[J]. 中国科学院院刊, 2022,37(5): 596-602.
- [26] 薛薇,魏世杰. 新时代我国引导社会资金投入科学研究的支持政策研究[J]. 中国软科学, 2021(5): 59-69.
- [27] 张艺,杜军,白福臣. 产学研三螺旋互动有利于知识创造吗? [J]. 科研管理, 2023,44(5): 131-139.
- [28] BEAUDRY C, ALLAOUI S. Impact of public and private research funding on scientific production: the case of nanotechnology [J]. Research policy, 2012, 41(9): 1589-1606.
- [29] ANDRADE E P, PEREIRA J D S, ROCHA A M, et al. An exploratory analysis of brazilian universities in the technological innovation process [J]. Technological forecasting and social change, 2022,182: 121876.
- [30] 樊春良,李哲. 国家科研机构在国家战略科技力量中的定位和作用[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 642-651.
- [31] 温珂,霍竹. 科研机构管理:组织视角下的政府与科学[M]. 北京:科学出版社, 2023: 54-55.
- [32] 吴永涛,吴金希. 我国新型研发机构发展的制度经济学分析[J]. 科学学研究, 2025,43(8): 1649-1657.
- [33] OSÓRIO A, BORNMANN L. On the disruptive power of small-teams research [J]. Scientometrics, 2021,126(1): 117-133.
- [34] YIN Z F, LIANG Z, ZHI Q. Does the concentration of scientific research funding in institutions promote knowledge output? [J]. Journal of informetrics, 2018,12(4): 1146-1159.
- [35] RAGIN C C. Redesigning social inquiry: fuzzy sets and beyond [M]. Chicago: University of Chicago Press, 2009: 147-159.
- [36] GAO J P, SU C, WANG H Y, et al. Research fund evaluation based on academic publication output analysis: the case of chinese research fund evaluation [J]. Scientometrics, 2019,119: 959-972.

(本文责编:润 泽)