

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2025.19.001

前沿技术：概念界定、组织模式与路径选择

刘如¹, 李荣², 周京艳²

(1. 中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038;
2. 北京市科学技术研究院, 北京 100044)

摘要: 前沿技术是具有动态性特征的政策性概念。以“概念界定—发展特征—他国经验—路径选择”为逻辑主线, 探讨前沿技术的内涵特征, 认为前沿技术是建立在科学理论前沿和最新技术成果基础上, 由基础研究推动, 并集成、融合应用研究, 对新产业、新模式、新动能的产生具有牵引作用的复合型技术或技术集群。分析前沿技术的发展规律与难点发现, 前沿技术的演进周期缩短、演进路线多、技术创新的组织化程度不断提高, 具有技术路线选择多、回报周期长、风险高、难以突破传统产业的锁定效应等发展难点。通过总结世界主要科技强国发展前沿技术的组织模式, 从企业主导产学研的新范式、多元投入“广撒网”的新模式、场景牵引创新的新生态、重大任务攻关的新体制、教科人一体化贯通的新机制五方面提出我国发展前沿技术的主要路径。

关键词: 前沿技术; 组织模式; 路径选择; 经验借鉴; 科技强国

中图分类号: F26; G311; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2025) 19-0001-08

Frontier Technology: Concept Definition, Organizational Model, and Path Choice

Liu Ru¹, Li Rong², Zhou Jingyan²

(1. Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038, China;
2. Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: Frontier technology is a policy-oriented concept with dynamic characteristics. Following the logical thread of "concept definition, development features, experiences from other countries, and path selection", this paper explores the connotation and characteristics of frontier technology. It holds that frontier technology is complex technologies or technology clusters that are based on the forefront of scientific theories and the latest technological achievements, driven by basic research, and integrated and fused with applied research. It has a leading role in the emergence of new industries, new models, and new sources of growth. Analyzing the development laws and difficulties of frontier technology, it is found that the evolution cycle of frontier technologies is shortened, the evolution routes are diverse, and the systematization level of technological innovation is constantly improving. There are also development difficulties such as multiple technical route choices, long return cycles, high risks, and difficulty in breaking through the lock-in effect of traditional industries. This paper proposes the main paths for China to develop the frontier technology from five aspects: the new paradigm of enterprise-led research and development, the new model of diversified investment "casting a wide net", the new ecosystem of scenario-driven innovation, the new system for major task breakthroughs, and the new mechanism of integrated integration of education, science, and industry.

Key words: frontier technology; organizational model; path choice; experience reference; science and technology powerhouse

0 引言

随着新一轮科技革命和产业变革的加速演进, 以人工智能、量子科技、新一代通信网络、下一代半导体和脑机接口等为代表的前沿技术呈现出持续

演进、多点突破、相互支撑的发展态势。前沿技术是未来高技术更新换代和战略性新兴产业发展的重要基础, 前沿技术发展水平则是衡量一个国家未来科技核心竞争力关键指标。为此, 美国、英国等世

收稿日期: 2024-10-30, 修回日期: 2025-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于知识网络的创新性度量研究”(71974017); 中国科学技术发展战略研究院基金课题“我国企业基础研究支持模式与政策研究”(ZKY202203)

项目来源: 北京市科学技术研究院首都高端智库自立课题“北京自贸试验区发展生物技术的途径选择”(152023KF008-25)

界科技强国均对前沿技术进行了系统性、前瞻性布局。我国也将前沿技术视为发展新质生产力的重要引擎^[1]，出台了相关政策与措施。2021年12月，经第十三届全国人民代表大会常务委员会修订的《中华人民共和国科学技术进步法》明确提出，国家将大力支持前沿技术研究。2023年12月，中央经济工作会议指出，要以科技创新推动产业创新，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能，发展新质生产力。

前沿技术是科技进步的方向，今天的前沿技术可能就是明天的主导技术。基于前沿技术的高风险、高投入、高度不确定性等特性，科学谋划、系统推进前沿技术势在必行。鉴于世界科技强国在推进前沿技术积攒了一定经验，借鉴其组织模式是我国发展前沿技术有效途径。为此，本文在探讨前沿技术内涵与特征的基础上，总结其他国家推进前沿技术的组织模式，并提出我国发展前沿技术的路径，以为我国推动前沿技术发展提供参考。

1 文献综述

概念界定是学术研究的基础，而前沿技术识别则是布局前沿技术的起点。为此，主要从概念界定和技术识别角度介绍前沿技术的研究现状。

1.1 前沿技术概念的研究现状

“前沿技术”作为一个政策用语，经常出现在政策文件中。早在2006年，“前沿技术”一词便出现在《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中。该文件指出，前沿技术是高技术领域中具有前瞻性、先导性和探索性的重大技术，是未来高技术更新换代和新兴产业发展的重要基础。但是，学界对前沿技术的概念尚未形成统一认识。周萌等^[2]认为，前沿技术为某一时间段内研究关注度增加较快、市场潜力已有所显现的技术领域。宋凯等^[3]认为，前沿技术是某个时间段内某个技术领域正在兴起并引起研究人员高度关注的研究主题，能够指引技术领域发展方向，决定技术领域创新路径。胡旭博等^[4]认为，前沿技术指的是以科学新发现的基本原理或自然规律为核心推动力，通过集成和融合其他领域的科学技术而形成的新技术。武川等^[5]认为，前沿技术是一定时间内技术关注度快速提升的某项或某类符合产业发展需求的技术。此外，有学者使用“科技前沿”等词，但从具体研究内容来看，指的也是前沿技术，如刘琦岩等^[6]提出科技前沿是指在某一具体科技领域中具有继承性、未来性和探索性特征的研究或技术，是高技术领域内具有指引性、先进性的核心技术。上述研究或从时间角度，或从产业角度，或

从技术形成角度对前沿技术进行了界定。

1.2 前沿技术识别的研究现状

前沿技术识别有两条路径，一是基于专家经验的识别方法，二是基于数据的计算识别方法。基于专家经验的识别方法，包括专家评分识别方法、德尔菲法等，被应用于各类技术预测中，如Tseng等^[7]、袁思达^[8]的研究。而随着大数据时代的到来，基于数据的计算识别方法变得越来越重要。当前，前沿技术的计算识别集中在两个方面。第一，基于技术的内在特性及形成过程的研究。如：刘春文等^[9]以养老环境辅助生活技术为例，提出了一种基于技术新兴性、技术确定性、技术探索性（ECT）-Dim的前沿技术识别方法；武川等^[5]从专利主题相似性的角度设计涵盖离群技术的前沿技术识别方法。第二，基于前沿技术应用场景的识别。例如，苗红等^[10]基于前沿技术的指标体系，提出了一种面向应用场景的前沿技术识别方法，并以无人机等技术进行了验证。

1.3 研究述评

在前沿技术概念界定方面，学者从自身研究角度出发提出了看法，为我们理解前沿技术提供了丰富的视角。但是，前沿技术作为一个政策性概念，具有动态性特征。为此，本文尝试从演进规律的角度来理解前沿技术的发展变化。此外，作为高度不确定性的技术，前沿技术的发展需要高效的组织模式方能减少试错成本。而当前学界对于面向前沿技术的组织模式探讨较少，其中以张锦程等^[11]的研究为典型代表。该文以案例的形式探讨了美国人工智能技术这一前沿技术的研发组织模式。借鉴该研究，本文将分析世界主要科技强国的前沿技术研发组织模式，以为建立适合我国前沿技术研发组织模式提供借鉴。

2 前沿技术的内涵与特征

2.1 前沿技术概念的演变

20世纪以来，世界各国高度关注技术发展方向，在进行科技预测或者规划时，常使用高技术、高新技术、新兴技术、前沿技术等概念，用以确定国家未来需要与优先发展或前瞻布局的重点领域。作为一个政策性概念，前沿技术与上述概念存在一定的交叉重复。随着技术的发展与进步，前沿技术的前沿属性愈发重要，逐渐受到研究者和决策者的重视，“前沿技术”随之从这些概念独立出来。

经梳理发现，“前沿技术”概念经历了3个阶段的演变。第一阶段，与“高技术”并用。20世纪70年代以来，“前沿技术”这一概念尚未正式提出，但“高技术”一词开始频繁出现在文献中。

从二者的具体含义来看，高技术与前沿技术相通，因而彼时属于前沿技术与高技术并用阶段。“高技术”最早于1971年出现在《技术和国际贸易》一书中，并于1983年被收入美国出版的9,000 WORDS: *A Supplement to Webster's third new international dictionary* 中，指的是利用或包含尖端方法或仪器用途的技术^[12]。不过，高技术更侧重于技术的尖端性，前沿性特征不强。

第二阶段，前沿技术的前沿属性凸显。1986年，我国在《高技术研究发展计划》中正式提出“高技术”的概念。朱丽兰^[13]研究员指出，高技术不是一个单项技术，高技术是科学、技术、工程最前沿的新技术群。由此可见，高技术的前沿性备受关注。从这个阶段的定义来，前沿技术是高技术中的一类，是具有前瞻性、先导性、探索性等前沿属性的高技术。至此，前沿技术的前沿属性得以凸显。

第三阶段，前沿技术的外延特征明晰。随着其前沿属性特征的凸显，前沿技术的外延也日益明晰。2010年以后，“前沿技术”一词常出现在智库机构关于经济发展或技术预测的报告中，这些报告从技术革命和产业变革的角度理解前沿技术，并将前沿技术作为技术预测的关注重点^[14]。例如，联合国经济及社会理事会^[15]发布的《2018年世界经济和社会概览》报告指出，前沿技术是具有创新性、快速增长，并有可能对社会、经济和环境产生重大影响的技术；量子位智库^[16]在技术预测的报告中将前沿技术定义为“已经并且还在持续带来颠覆式变革的新兴技术，最初可能是1个点，但很快就会变成1条线、1个面，开启1个赛道、1个产业”；美国硅谷银行在技术预测报告中将前沿技术定义为“可以催生新产业或重塑现有产业的技术，具有影响商业、经济、环境和社会范式转变的潜力”^[17]。这些研究报告立足前沿技术的前沿属性，从前沿技术对产业、经济、社会等产生的巨大影响理解其外延。

结合前沿技术概念的发展过程与有关研究成果，本文认为，前沿技术是一个相对概念，即相对于现有成熟技术而言的动态概念，指的是建立在科学理论前沿和最新技术成果基础上，由基础研究推动，并集成、融合应用研究，对新产业、新模式、新动能的产生具有牵引作用的复合型技术或技术集群。从当前阶段来看，前沿技术是发展新质生产力、打造未来产业的技术基础，是未来国际科技博弈的战略制高点。

2.2 相关概念辨析

前沿技术与新兴技术、颠覆性技术等概念存在交叉，但又有所不同。新兴技术是一种正在兴起或

相对快速发展的、具有激进新颖性的技术，经过持续性发展，很可能对未来的经济结构或产业发展产生显著影响^[18]。新兴技术的“新”体现在技术时间与内容上，“兴”为技术的兴起、涌现与变革，涉及产业变革、市场变革及管理变革。新兴技术具有很强的颠覆性，相比较而言，前沿技术的颠覆性较弱，但技术关注度更高^[19]；而新兴技术经过市场的选择有可能成为前沿技术，因而前沿技术是新兴技术演化的结果。

“颠覆性技术”于1997年由Christensen等^[20]最先提出，即能够对现有产业或市场格局带来破坏性、颠覆性的影响，并具有取代现有主流技术、形成新价值体系能力的技术。颠覆性技术重在建立新的技术体系和价值网络并最终颠覆现有技术，更加强调整其突变性、跨界性和破坏性^[21]。

前沿技术、新兴技术与颠覆性技术三者都具有未来属性，但对技术特征强调的视角不同，其中颠覆性技术强调技术的跃迁性，新兴技术强调技术新颖性和持续增长性，前沿技术强调技术的先导性和前瞻性^[22]。相较新兴技术与颠覆性技术，前沿技术更强调新颖性，对突破性创新的要求相对较低，但其市场潜力已有所显现^[2]。

2.3 前沿技术的基本特征

虽然学界对前沿技术的定义尚未形成统一认识，但对其所具有先导性、前瞻性、探索性等特征的认识基本一致。在前沿技术识别的研究中，苗红等^[10]构建了前沿技术识别的指标体系，为进一步理解前沿技术的基本特征提供了基础。

第一，前瞻性。前瞻性指的是技术所处的发展阶段，反映的是技术发展的趋势，也是关键组织需要重点关注的方向。这一特征在现实中表现为：世界科技强国都将前沿技术作为未来高技术更新换代和新兴产业发展的重要基础，并将其突破与应用作为国家战略进行重点部署。

第二，先导性。先导性指的是一项技术与其他技术、其他学科关联的程度，以及技术所产生的影响程度，体现的是技术的关联度与影响力。具体来说，先导性说明前沿技术是一项学科交叉性强的技术，也就是本文概念中所强调的，前沿技术是复合型技术或技术集群。从产业角度来看，前沿技术也可能来自已有技术的集成式创新，是与其他技术协同演进的结果，但都需要在工程化、产业化过程中面对技术路线与商业模式上的巨大不确定性^[23]。

第三，探索性。探索性反映的是一项技术在时间维度上的新近程度以及研究内容的创新性。从技术演进的角度，很多前沿技术源起于某一原创性科学发

现，其创新研究多处于应用基础研究与技术研发之间的模糊地带，甚至是在“无人区”摸索，这就使得前沿技术实现与潜在应用存在较高的不确定性^[24]。

3 前沿技术的发展规律与难点

3.1 前沿技术的发展规律

作为一个兼具动态性、时代性、战略性的概念，理解前沿技术的演进规律需要综合考虑时代背景、战略需求等诸多要素。结合当今时代科学研究与技术发展的进程，当前前沿技术的发展呈现出以下规律。

第一，技术的演进周期缩短。当前，科学与技术与社会生产之间呈现出非线性互动关系，突发性前沿的数量快速上升^[25]，众创、众筹、众智等多样化创新平台和创新模式不断涌现，创新频率加快，跨学科、跨行业、跨领域的交叉式集成创新不断缩短前沿技术从基础前沿到推广应用的演进周期，促使“前沿技术—未来产业—新质生产力”的演进逻辑更加紧凑。以靶向基因编辑技术 CRISPR-Cas9 为例，其从 2014 年成为热点前沿，到现在被广泛应用到基因敲入、基因调控、基因组及生物育种等生命与生物科学领域^[26]，短短 10 年时间里就成为全球普遍关注的前沿技术。

第二，技术的演进路线较多。前沿技术的研究过程是一个从方向模糊到路线明确的过程。由于创新主体在初期看不清技术路线，因而会选择适合自己的发展路线，进而形成不同技术路线相互竞争的局面。以人工智能为例，该技术在产业化过程中出现了多个主流技术路线并行发展的情况。再如量子科技，谷歌、国际商业机器公司（IBM）和霍尼韦尔（Honeywell）等大型技术公司，以及 IonQ 等初创公司均是沿着多条技术路线同步推进量子科技的发展。此外，技术路线较多且不清晰也导致前沿技术的研

究具有非共识的特性。为了不错失潜在技术机遇并规避由不确定性导致的研发风险，很多国家采用了多技术路线并行的资助方式来推动前沿技术发展。

第三，技术创新的组织化程度不断提高。在大科学时代，前沿技术多瞄准国家重大战略需求，很多前沿基础研究由应用引发，符合“巴斯德象限”特征^[27]，许多重大前沿技术问题研究呈现明显的集成化特征，大团队、大平台、大设施在前沿技术研发中的作用逐步加强。尤其是在大国博弈背景下，有组织、成建制、系统性推进前沿技术研究已经成为发展前沿技术的主流模式。

3.2 发展前沿技术的难点

前沿技术前瞻性、探索性、先导性特征和发展规律决定了前沿技术发展具有诸多难点。

第一，面临技术路线选择多和回报周期长的巨大风险。前沿技术能够产生颠覆性影响，但其发展方向具有较强不确定性，除技术尖端、先进、难攻克等技术特点外，还体现在技术路线多、培育周期长等方面，需要巨大、长期的资金和人才等创新资源的投入。即使当前技术演进周期大大缩短，也需要巨大的资金投入方能实现转化与应用。

第二，从前沿技术到产业化存在“死亡之谷”。美国航空航天局提出了 9 级技术成熟度概念^[28]，即可以用 1 ~ 9 级评价一项技术的成熟度。这 9 个等级可以分为基础研究、应用研究、技术发展阶段、成品原型和系统测试 4 个阶段，每个阶段由高校院所、实验室、企业等相应的创新主体来完成。一项技术成果从发现基本原理到最终产业化的过程中存在一段鸿沟，位于 4 ~ 7 级之间；而前沿技术属于基础研究与应用研究之间的模糊地带，横跨 2 ~ 7 级。也就是说，前沿技术研发与产业化之间存在一条科技成果向现实生产力转化的“死亡之谷”（见图 1）。

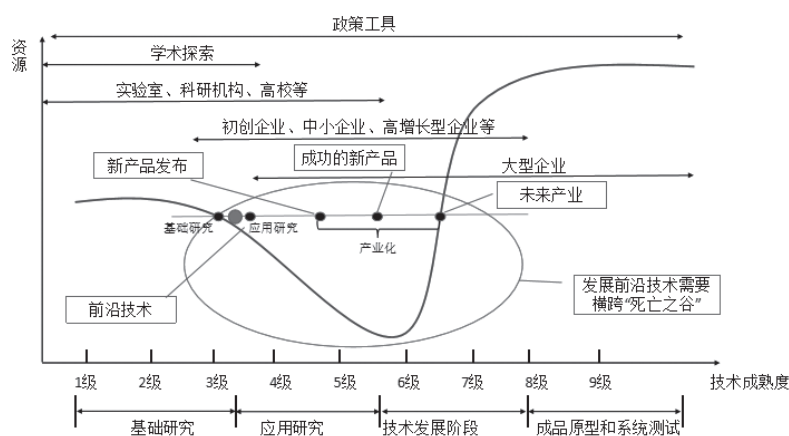


图 1 前沿技术发展需要跨越的“死亡之谷”示意图

第三，缺乏早期用户的前沿技术应用难以突破传统产业的锁定效应。前沿技术的市场生态远未形成，严重缺乏早期用户，与传统产业相比，在生态完备性和用户认知性方面存在较大差距。这种现象被称为传统产业所带来的锁定效应，即用户规模越大，所造成的锁定效应越强，只有当新技术应用具有一定规模的用户，且用户规模超过某一个临界容量时，新产业才会启动增长模式。如果用户规模还没有达到临界容量，产业生态将在负反馈机制作用下进一步瓦解^[29]，甚至被迫退出市场（见图2）。而对于前沿技术催生的未来产业，用户的培育是一项复杂的系统工程，略有差池就会因缺乏早期用户而进入锁定效应。

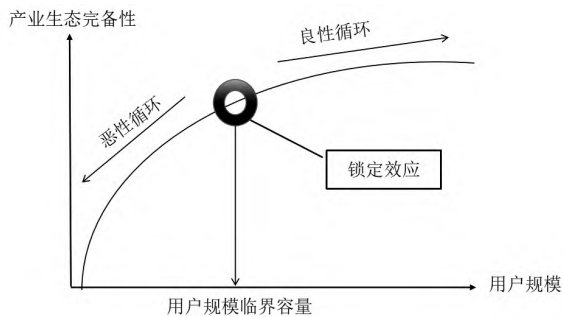


图2 前沿技术需要突破传统产业的锁定效应

4 主要科技大国发展前沿技术的组织模式

4.1 全链条、长周期的顶层统筹与部署

针对前沿技术面临的技术生命周期长、路径不确定、应用转化鸿沟等系统性挑战，许多国家充分发挥政府引领作用，以国家任务为牵引，采用自上而下“命题作文”的方式，强化对前沿技术创新的顶层设计与实施部署。一是从国家战略层面明确前沿技术方向。通过建立前沿技术常态化战略研究机制，筛选出需要优先发展的前沿技术，以技术发展趋势给予战略引导。例如，美国2024年版的《关键与新兴技术国家战略》明确提出了18个重点发展的前沿技术领域及122项关键与新兴技术清单^[30]；德国《高科技战略2025》确定了7个重点前沿领域^[31]，明确了未来几年科研与创新的战略框架。二是针对重点前沿领域打造完整的政策体系。以量子科技为例，英国的《国家量子技术计划》（2014年）、美国的《国家量子计划》（2018年）、法国的《量子技术国家战略》（2021年），分别从基础研究到产业化全链条横向到边，从人才培养到国际合作全生态纵向到底，形成了涵盖技术识别、组织管理、评估评价与示范应用的完整政策体系^[32]。三是全政府之力协同调动战略科技力量统筹部署。例如，

美国政府从基础研究、人才培养、与产业界合作、基础设施、国家安全和经济增长、国际合作等几个方面统筹推进量子科技发展，并设立专门的管理、协调与咨询机构，组织协调政府各部门，由联邦政府、企业、高校和科研机构共同参与，充分调动产学研各方战略科技力量^[33]。

4.2 构建以企业为主体的前沿技术创新生态

世界主要科技强国充分发挥市场的驱动作用，突出企业科技创新的主体作用，使企业成为推动前沿技术的“急先锋”，并注重市场与政府的有效结合，构建了以企业为主体的前沿技术创新生态。一是引导企业参与国家战略导向的前沿技术研发。美国的小企业创新研究计划/小企业技术转移研究计划（SBIR/STTR）、欧盟的欧洲之星计划（Eurostars）、德国的中小企业创新计划（KMU-innovativ）等，均鼓励、支持中小企业加强合作，共同参与国家项目，以促进前沿技术成果快速市场化。二是领军企业与初创企业协同共创打造前沿技术创新生态。例如，美国微软等领军企业与OpenAI在战略上的合作，让OpenAI在初创期获得了构筑催动大模型应用的关键生态资源，并通过“资金+技术+战略支持”的方式反哺自身发展，形成支持赋能初创企业创新循环^[34]。三是风险投资与科技企业共生撬动创新杠杆。美国风险投资与科技企业协同共生，造就了微软、谷歌、苹果等一批科技领军企业的崛起。2021年全球风险投资总规模约为4.56万亿元，其中美国占据近一半^[35]。而芬兰设立科技创新基金会（SITRA），主要以种子和启动基金资助等风险投资方式，支持聚焦前沿技术创新的高技术企业。

4.3 以有组织研发推动前沿技术突破

前沿技术的学科交叉性、技术变量的多发性等特征，使得原有大而全的布局与小型研发单元“单干”的传统模式失去效力，为此各国积极寻求有组织的创新模式。一是瞄准前沿技术创新链关键环节，组织产学研力量加速突破。美国高度重视具有鲜明产学研联合特征的新型研发中心建设。例如，为推动人工智能技术的发展，美国依托研究型大学先后成立了18个人工智能研究中心，从教育与基础设施等方面推动人工智能基础研究；同时为推动量子信息的发展，依托国家实验室设立5个量子信息的科学中心，整合大学与企业研发力量开发量子信息关键技术^[36]。二是以灵活高效的科研组织模式加强基础研究与应用研究结合，其中最具代表性的案例是美国博德研究所CRISPR基因组编辑技术的发明及应用，通过核心实验室、项目组和技术平台等多种合作载体，对创新资源自由组合与灵活配调，最终实现CRISPR

从先导性探索到新冠病毒检测、遗传疾病攻克等应用突破的贯通^[37]。

4.4 以场景示范助力前沿技术跨越“死亡之谷”

为应对前沿技术发展的“死亡之谷”，世界主要科技强国采用了应用需求引领创新、场景示范深度孵化的发展措施。一是为前沿技术产业化提供资金保障。英国制定“量子技术商业化挑战”计划，向产业化导向的量子技术项目资助5 000万英镑，计划到2033年，英国75%的企业采取具体措施为量子科技产业化做准备^[37]。2023年4月，德国发布《量子技术行动计划》，提供超过10亿欧元的科研项目^[38]，以促进量子科学成果的行业应用。二是以竞赛活动等方式增加对初创企业的前沿技术产业化支持。美国通过举办技术加速器活动，为获胜的初创企业提供商业化培训、平台设施使用、顶级专家指导等，进一步完善初创企业的商业模式。日本科学技术振兴机构通过设立竞争性的A-STEP计划，促进高质量的前沿技术成果尽快向产业转移。英国技术战略委员会设立Innovate UK项目，旨在发现和推动前沿技术创新成果转化，并对初创企业投资^[39]。三是建设场景示范区，引导产业落地发展。欧洲通过投资高端设备、未来产业技术平台等加强创新基础设施建设，不断推动创新成果转化。美国选择在多地设立前沿技术领域的技术中心，以场景示范的实施加快前沿技术在各行各业的应用。

4.5 以持续多元的资金支持降低创新不确定性风险

针对前沿技术爆发点多且分散、研发投入高等特点，主要科技大国在研发资助方面坚持“广撒网、多栽苗”策略，采用自下而上自由发挥的方式，拓宽前沿技术“探路者”的创新空间。一是对前沿技术研发提供长期、大量的资金支持。2021年美国国会发布《无尽前沿法案》，计划5年之内投入1 100亿美元，支持前沿技术发展^[40]。美国国防部高级研究计划局（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）针对前沿技术的研发投入已连续8年上涨，2024年达到22.86亿美元，相比2023财年增加了4.4亿美元^[41]。欧盟设立由成员国出资、规模高达100亿欧元的欧洲未来基金^[42]，用于支持前沿技术领域企业。二是灵活地采用不同的资助方式，以降低前沿技术创新的不确定性。如美国国家自然科学基金（National Science Foundation, NSF）根据前沿技术不同发展阶段采取不同的资助方式，即萌芽阶段采用小经费、多项目的方式，而后期成果转化阶段则采用大经费、少项目的模式^[43]。三是注重撬动社会资本加强投入。美国在2022年成立了首个非营利性战略投资组织——美国前沿基金，在政府、

产业界及公益慈善机构间建立紧密的合作关系，支持前沿技术研发。欧盟依托欧洲创新理事会基金，助力中小企业前沿技术创新、成果转化和市场规模扩大^[44]。英国研究与创新署以产业战略挑战基金、全球挑战研究基金、战略重点基金、地方强化基金、未来领袖奖学金和国际合作基金六大资助基金为支点，加速前沿技术产业化进程。

4.6 注重人才的早期培育与产学研联合培养

前沿技术的竞争归根结底是人才的竞争。为此，世界科技强国多从教育源头出发，重视青年人才培养，打通科技人才孵化器梯队通道。一是深化人才的科教贯通。美国实施科学、技术、工程和数学（STEM）战略，通过人才服务创新机制、教育服务就业机制、管理服务战略机制等机制创新，对创新型人才、市场型人才、拔尖型人才进行分类引导培育。德国在数学、信息技术、自然科学和技术（MINT）教育链层，从幼儿园的创新儿童竞赛开始，到小学、中学直至大学阶段，设立项目贯通培育，并推动大学与企业紧密交流合作，实现产学研的结合。法国通过将高校和研究创新部门改组融合，实行“大部委”制来统领科教融合。二是重视研发人才的早期培育。美国能源部投入1.35亿美元资助年轻科学家开展前沿技术的基础研究^[45]，帮助科学家职业早期发展，以培养下一代领军型科技人才。三是实行灵活的人才流动机制。德国弗劳恩霍夫协会实行流动岗和固定岗相结合的用人制度，为科研队伍保持高效竞争力和有序流动提供了制度基础。

5 我国发展前沿技术的路径选择

加速推进前沿技术是建设世界科技强国的应有之义。当前，我国高度重视前沿技术的发展，并将之视为发展新质生产力的重要引擎。基于前沿技术发展的规律与难点，借鉴世界主要科技强的组织模式，下一步，我国需要在以下几个方面努力，以跨越前沿技术发展的“死亡之谷”，破除传统产业的锁定效应，使前沿技术真正成为战略性新兴产业和未来产业的引领力量。

5.1 强化企业科技创新主体地位，打造企业主导的产学研深度融合的新范式

善用企业尤其是科技领军企业在前沿技术创新链、产业链中的主导地位，加强企业链式创新思维。促进原来以高水平研究型大学、国家科研机构为主导的研究力量逐步向由企业领头、多主体联动的“雁型梯队”转变。充分发挥科技领军企业的产业链带动能力和科技型骨干企业的核心技术引领能力，强化科技领军企业在国家科技计划指南论证、项目遴

选、项目实施等工作方面的主导权，探索“企业出题、共同答题、企业阅卷”的模式，从源头和底层解决关键核心技术问题，不断提升原始创新能力。

5.2 强化多元投入“广撒网”，形成“投早、投小、投广”的支持新模式

引导支持企业与科研机构通过团队控股、拨投结合等方式持续攻关并促进成果转化，实现共投共建，提高转化的成功率。支持专业性和综合性中试基地建设，引导设立前沿技术市场化的中试创新基金，切实降低企业创新风险。动员更多社会力量多元化参与，发展联合基金、人才基金等，激励更多企业科研人员长期投身前沿技术攻关。

5.3 强化场景牵引创新驱动，以深度孵化培育未来产业的新生态

梳理前沿技术牵引的未来产业图谱，吸引多元主体和资本参与共建产业创新平台，建立以重点示范项目为纽带的应用场景落地机制，为前沿技术产业转化提供场景支撑。加强前沿技术领域资源共享、平台共建等方面合作，构建覆盖“前沿技术攻关—成果产业化—早期用户培育”全链条的协同创新生态，以空间协同、功能协同、政策协同推动场景牵引的创新和成果落地。

5.4 强化全面发展与重点突破，构建前沿技术重大任务攻关的新型举国体制

在国家战略需求驱动下，将“自下而上自由探索”与“自上而下重点突破”相结合，集中攻关，解决重大前沿问题。加强对前沿技术的战略分析和预警，提高对关键核心技术的辨识力和预判力，凝练战略性、方向性、全局性重大问题，组织国家战略科技力量实施重大专项任务。针对在地方具有优势的前沿技术领域，构建地方分管领导作为“链长”挂帅协调，科技领军企业作为“链主”主导牵引，高校科研院所等作为“链创”协同创新的“链长+链主+链创”三级联动机制，打造高能级创新联合体。

5.5 完善重点领域人才培养、引进、使用的贯通式新机制

加强企业对高校人才培养的深度参与，建立由科技领军企业和高校共同主导的前沿技术课程设置指导委员会，依据技术发展情况和高校特色，定期对课程设置开展评审。完善人才双聘制度，探索建立“学术导师+产业导师”的双导师制，突破校企合作的人员编制障碍。鼓励科技型企业建立首席研究员（工程师）成长体系，支持企业青年人才承担国家科技项目，支持企业通过职普融通、产教融合、科教融汇等方式参与人才引育留用全过程。

6 结论

本研究通过对前沿技术概念的历时性梳理，认为前沿技术是一个具有动态性特征的政策概念，与新兴技术、颠覆性技术等概念一样具有未来属性，但更强调前瞻性、先导性、新颖性。

作为未来科技的进步方向，前沿技术面临技术路线选择多和回报周期长等巨大风险，从前沿技术到产业转化存在“死亡之谷”，缺乏早期用户的前沿技术应用难以突破传统产业的锁定效应。这些风险及难点使得发展前沿技术必须采取相应的组织模式，如全链条、长周期的顶层统筹与部署，构建以企业为主体的创新生态，以有组织研发推动前沿技术突破，以场景示范助力前沿技术跨越“死亡之谷”，以特有的组织模式缓解其不确定性、高风险性。

发展前沿技术有诸多的路径，结合世界科技强国的经验及我国科技发展情况，我国可以从攻关模式、资金投入、人才队伍、发挥企业主体作用等维度，打造企业主导的产学研深度融合的新范式，形成“投早、投小、投广”的支持新模式，构建前沿技术重大任务攻关的新型举国体制，完善重点领域人才培养、引进、使用的贯通式新机制，通过系列措施推进前沿技术发展。

参考文献：

- [1] 贺俊. 以新的制度供给驱动新质生产力涌现式生成[J]. 中国发展观察, 2024(1): 10-14.
- [2] 周萌, 朱相丽. 新兴技术概念辨析及其识别方法研究进展[J]. 情报理论与实践, 2019, 42(10): 162-169.
- [3] 宋凯, 朱彦君. 专利前沿技术主题识别及趋势预测方法: 以人工智能领域为例[J]. 情报杂志, 2021, 40(1): 33-38.
- [4] 胡旭博, 原长弘. 关键核心技术: 概念、特征与突破因素[J]. 科学学研究, 2022, 40(1): 4-11.
- [5] 武川, 王宏起, 王珊珊. 前沿技术识别与预测方法研究: 基于专利主题相似网络与技术进化法则[J]. 中国科技论坛, 2023(4): 34-42.
- [6] 刘琦岩, 曾文, 车尧. 面向重点领域科技前沿识别的情报体系构建研究[J]. 情报学报, 2020, 39(4): 345-356.
- [7] TSENG F M, CHENG A C, PENG Y N. Assessing market penetration combining scenario analysis, Delphi, and the technological substitution model: the case of the OLED TV market[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2009, 76(7): 897-909.
- [8] 袁思达. 技术预见德尔菲调查中共性技术课题识别研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2009, 30(10): 21-26.
- [9] 刘春文, 黄鲁成, 苗红, 等. 基于ECT-Dim的前沿技术识别方法: 以养老环境辅助生活技术为例[J]. 情报杂志, 2023, 42(8): 77-82, 76.
- [10] 苗红, 王浩桐, 李伟伟, 等. 面向应用场景的前沿技术识别方法[J]. 情报杂志, 2025, 44(1): 95-103.
- [11] 张锦程, 张辉, 李瑞. 前沿技术研发如何平衡国家战略与原创探索: 以美国国家人工智能研究所为例[J]. 科学学研究, 2025, 43(1): 26-37.

- [12] 姚笑秋, 常春梅. 浙江省高技术产业创新效率及其影响因素研究 [J]. 科技通报, 2020, 36(12): 102-111.
- [13] 朱丽兰. 中国科技发展战略中的高技术 [J]. 科技与出版, 1994(2):2-4.
- [14] ROTOLO D, HICKS D, MARTIN B R. What is an emerging technology [J]. Research Policy, 2015, 44(10): 1827-1843.
- [15] 联合国经济及社会理事会. 《2018 年世界经济和社会概览》: 前沿技术促进可持续发展概述 [EB/OL]. (2018-04-19) [2024-03-05]. https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/WESS2018-overview_ch.pdf.
- [16] 量子位智库. 2023 年度十大前沿科技趋势发布: 6 大赛道 10 项技术, 智能体和 3D 生成正引爆 AI, 空间计算开启终端变革 [EB/OL]. (2023-12-14) [2024-02-17]. <https://www.qbitai.com/2023/12/106487.html>.
- [17] SVB Analytics. Frontier tech [EB/OL]. (2017-01-23) [2024-02-17] <http://ftp.shujuju.cn/platform/file/2017-01-23/69c11ef7b66431a95084eca317e3c78.pdf>.
- [18] 高楠, 周庆山. 新兴技术概念辨析与识别方法研究进展 [J]. 现代情报, 2023, 43(4): 150-164.
- [19] 李仕明, 李平, 肖磊. 新兴技术变革及其战略资源观 [J]. 管理学报, 2005, 2(3): 304-306, 361.
- [20] CHRISTENSEN C M. The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997: 8.
- [21] 窦永香, 开庆, 王佳敏. 一种基于图表示学习的潜在颠覆性技术识别方法 [J]. 情报学报, 2023, 42(6): 637-648.
- [22] 谢俊杰, 孙希科, 王智琦, 等. 基于应用场景的未来技术识别 [J]. 情报杂志, 2024, 43(5): 97-105.
- [23] 李晓华, 曾昭睿. 前沿技术创新与新兴产业演进规律探析: 以人工智能为例 [J]. 财经问题研究, 2019(12): 30-40.
- [24] CHIFFI D, MORONI S, ZANETTI L. Types of technological innovation in the face of uncertainty [J]. Philosophy & Technology, 2022, 35(4): 94.1-94.17.
- [25] 周群, 周秋菊, 冷伏海. 生物科学研究前沿演进时序分析 [J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(4): 405-412.
- [26] 殷文晶, 陈振概, 黄佳慧, 等. 基于 CRISPR-Cas9 基因编辑技术在作物中的应用 [J]. 生物工程学报, 2023, 39(2): 399-424.
- [27] 樊建平. 蝴蝶模式: 大科学时代科研范式的创新探索: 基于中国科学院深圳先进技术研究院 15 年科学与产业融合发展的实践 [J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 708-716.
- [28] 王雪原, 武建龙, 董媛媛. 基于技术成熟度的成果转化过程不同主体行为研究 [J]. 中国科技论坛, 2015(6): 49-54.
- [29] 夏皮罗, 瓦里安. 信息规则: 网络经济的策略指导 [M]. 张帆, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2000:170-175.
- [30] The Fast Track Action Subcommittee on Critical and Emerging Technologies of the National Science and Technology Council. Critical and emerging technologies list update [EB/OL]. (2024-02-01) [2024-09-09]. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2024/02/Critical-and-Emerging-Technologies-List-2024-Update.pdf>.
- [31] 德国教研部. 德国出台《高科技战略 2025》 [EB/OL]. (2018-09-30) [2024-06-03]. http://ecas.cas.cn/xxkw/kbcd/201115_127066/ml/xxhzlyzc/201809/t20180930_4937579.html.
- [32] 张越, 余江, 杨娅, 等. 颠覆性技术驱动的未来产业培育模式与路径研究: 美国布局下一代集成电路产业的启示 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(6): 895-906.
- [33] 韩军徽, 李哲. 美国组织战略科技力量的经验与启示 [J]. 中国科技人才, 2022(4): 10-18.
- [34] 尹西明, 李一凡, 李纪珍等. 人工智能国际领先机构 OpenAI 创新管理模式及对中国的启示 [J]. 创新科技, 2023, 23(9): 78-90.
- [35] 温世君. 风险投资: 美国科技创新的阿基米德杠杆 [EB/OL]. (2022-05-26) [2024-03-15]. https://finance.sina.com.cn/tech/2022-05-26/doc-imizirau4967776.shtml?finpagefr=p_114.
- [36] 钱中, 孙兴村, 李仲铖, 等. 国外促进前沿技术发展的关键举措及启示建议 [J]. 国防科技工业, 2023(2):30-32.
- [37] Department for Science, Innovation & Technology. National quantum strategy missions [EB/OL]. (2023-12-14) [2024-06-03]. <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy/national-quantum-strategy-missions>.
- [38] 葛春雷. 德国发布量子技术行动计划 [EB/OL]. (2023-06-15) [2024-09-09]. https://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2023/kjqykb202306/202306/t20230615_6778556.html.
- [39] Innovate UK. Commercialising quantum technologies: CRD & Tech round 2 [EB/OL]. (2021-03-08) [2024-03-05]. <https://ktn-uk.org/opportunities/commercialising-quantum-technologies-crd-tech-round-2/>.
- [40] House Committee on Science, Space, and Technology, House Committee on Energy and Commerce. H.R.2731: endless frontier act [EB/OL]. (2021-04-22) [2024-09-03]. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/2731/text>
- [41] 防务快讯. DARPA 发布 2024 财年预算, 先进技术开发成主要增长点 [EB/OL]. (2023-04-29) [2024-09-03]. <https://www.secrss.com/articles/54237>.
- [42] 李晓华, 王怡帆. 未来产业的演化机制与产业政策选择 [J]. 改革, 2021(2):54-68.
- [43] 梁琴琴. 美国 NSF 对新兴技术的项目资助模式研究: 以软体机器人为例 [J]. 中国科技资源导刊, 2023, 55(3): 60-67.
- [44] 刘霞. 新成立的欧洲创新理事会聚焦突破性技术 [N]. 科技日报, 2021-03-22(4).
- [45] U.S. Department of Energy. DOE awards \$135 million for groundbreaking research by 93 early career scientists [EB/OL]. (2023-08-04) [2024-09-03]. <https://www.energy.gov/articles/doe-awards-135-million-groundbreaking-research-93-early-career-scientists>.

作者简介: 刘如 (1982—), 男, 山西吕梁人, 副研究员, 硕士, 主要研究方向为科技与社会经济、科技战略、产业政策; 李荣 (1979—), 男, 甘肃兰州人, 研究员, 硕士, 主要研究方向为科技前沿情报、科技战略; 周京艳 (1986—), 通信作者, 女, 湖南浏阳人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为科技情报与智库、科技政策。

(责任编辑: 叶伊倩)