

引用格式:展咪咪,彭现科,曹晓阳,等.颠覆性技术多元投入机制研究.中国科学院院刊,2024,39(5):917-932,doi:10.16418/j.issn.1000-3045.20240104001.
Zhan M M, Peng X K, Cao X Y, et al. Multiple input system of disruptive technologies. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(5): 917-932, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240104001. (in Chinese)

颠覆性技术多元投入机制研究

展咪咪¹ 彭现科¹ 曹晓阳¹ 胡晓棉^{2*}

1 中国工程科技创新战略研究院 北京 100088

2 北京应用物理与计算数学研究所 北京 100094

摘要 颠覆性技术是推动人类发展和产业变革的关键力量,世界各国都高度重视,纷纷进行相关战略规划和部署,期望占领技术创新的制高点。作为资源集聚的有效方式,颠覆性技术多元投入机制的构建逐渐上升为国家的战略需求,相关研究也日益得到国家的重视。文章首次以创新过程视角开展颠覆性技术多元投入机制研究。从创新理论出发,深入创新过程,系统分析了技术成长特性,明确了颠覆性技术多元投入机制内涵,并以案例研究为支撑,解析投入实践,总结投入模式,链接创新机理,实现了从创新机理到创新实践的颠覆性技术多元投入机制的系统构建。

关键词 颠覆性技术,颠覆性创新,多元投入,机制

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240104001

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240104001

2023年12月,中央经济工作会议在北京举行,强调“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”。颠覆性技术(disruptive technologies)是指对某个应用领域或行业产生颠覆性效果的技术,由美国哈佛商学院教授克莱顿·克里斯坦森在1995年首次提出,随后得到了政府、学术界和企业界的广泛关注。面对全球科技创新、大国格局和经济发展的深刻

变化,颠覆性技术作为实现先发优势和技术突袭的先导力量,正逐步向国家战略引领的高度发展,成为世界科技强国竞争前沿和国家战略的重要组成部分^[1]。

美国最早形成了以美国国防高级研究计划局(DARPA)为牵引,多元主体参与的颠覆性技术常态化投入和培育机制,诞生了互联网、隐形飞机、全球定位系统(GPS)等“改变游戏规则”的颠覆性技术。受DARPA的启发,日本推出了颠覆性技术创新计划

*通信作者

资助项目:中国工程院咨询项目(2022-XY-122、2022-HYZD-08)

修改稿收到日期:2024年4月9日

(ImPACT),旨在通过发展颠覆性技术和颠覆性创新推动国家工业和社会发展,实现革命性变化。为应对其他国家正在部署颠覆性技术的现实需要,俄罗斯成立了先期研究基金会,以支持颠覆性技术的探索并推动颠覆性技术的储备。欧洲发表了《欧洲联合颠覆性倡议》,以鼓励进取和突破性的观念,以期重新获得技术领先地位^[2]。中国也高度重视颠覆性技术,习近平总书记在江苏调研时强调,“现在信息技术飞速发展,颠覆性技术随时可能出现,要走求扎扎实实的创新路子,为实现高水平科技自立自强立下功勋”。然而,如何发展和培育具有变轨性、不确定性和高风险性的颠覆性技术创新,国家层面应该如何投入适应颠覆性技术特性、推动颠覆性技术创新,是政策制定者和学术界关注和探讨的焦点问题。

投入是技术创新最重要的驱动力。现代科学分化细密,全球创新密集活跃,技术综合化、创新复杂化现象日益突出,任何个人、企业甚至国家都不可能垄断性地占有全部科学技术知识和完成技术创新全过程^[3-6]。多元投入作为资源集聚、风险分担的有效模式,已经成为当前技术创新的主要手段^[7,8]。但是作为一个全新的概念,颠覆性技术多元投入目前还鲜有研究涉及^[1,9-13]。面对百年未有之大变局的历史机遇,探索颠覆性技术多元投入机制,提升颠覆性技术创新效率,是当前中国发展颠覆性技术面临的重大战略问题之一。文章基于创新理论,以宏观的创新视角,遵循科技创新基本逻辑,深入分析颠覆性技术成长过程和技术特性,从实践出发,以案例研究为支撑,解析投入实践,总结投入模式,实现了从颠覆性技术创新机理到创新实践的多元投入机制的系统构建。

1 创新视角下颠覆性技术多元投入机制的理论认识

1.1 创新视角下颠覆性技术多元投入的内涵认识

颠覆性技术投入的最终目标是实现颠覆性技术创

新,在技术创新过程中认识技术投入对提高投入效率、促进技术创新具有重要的指导意义。技术创新的提出起源于熊彼特的创新理论,熊彼特认为“创新”是新生产函数的建立^[14,15]。此后,国内外众多学者从不同层次和不同视角对技术创新进行了研究,逐渐形成了技术创新理论^[16-20]。该理论认为技术创新是一个过程,从基础科学研究开始,历经应用研究、技术开发,直至商业产品的示范和部署。颠覆性技术创新是技术轨道的转换,并非现有技术延长线上的创新,其创新过程既符合一般技术的创新理论,但又有其特殊性。结合技术的成长特性,颠覆性技术创新过程需要经历原理验证、工程验证和商业验证3个阶段(图1);一项颠覆性技术从早期的原理验证到通过工程验证,再到大规模的商业验证等一系列的活动通常需要不断扩大投入规模;以政府为主的公益性支持和以社会为主的营利性支持是技术投入的2个主要方面,投入的性质和投入的数量随着颠覆性技术的演进阶段而不断地动态调整 and 变化^[18]。政府的公益性支持主要集中在原理验证阶段,社会的营利性支持主要集中在商业验证阶段,工程验证阶段的投入稍显薄弱,容易出现技术创新的“死亡谷”(图1)。

(1) 原理验证阶段。颠覆性技术创新原理验证阶段重点是验证颠覆性技术原理是否可行,包括概念萌芽和概念验证2个步骤。①概念萌芽是通过“科学突破”“应用牵引”“创新思维”等颠覆性技术的产生途径找到下一个轨道的起点。②概念验证则是要验证颠覆性概念在技术原理上的可行性,包括主导技术、支撑技术、辅助技术的原理可行性。与一般技术相比,颠覆性技术原理验证阶段更加复杂和具有挑战性,通常涉及创新、前沿或尚未被证明的概念。

(2) 工业验证阶段。一旦颠覆性技术的基本原理得到验证,接下来进入原理转化为可实施的工程方案的工程验证阶段。该阶段包括实验室内生产和具备原型机生产能力2个步骤,重点是确保颠覆性技术在实

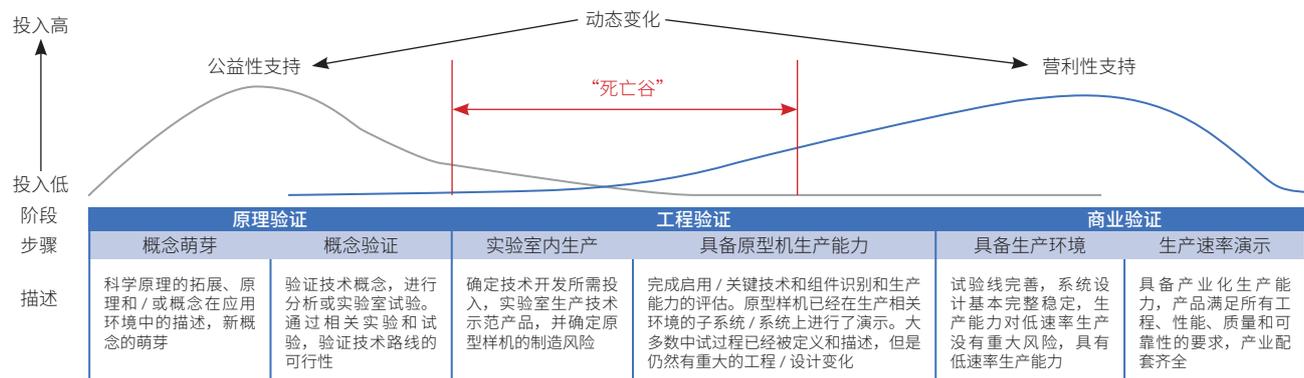


图1 颠覆性技术创新过程及技术投入情况

Figure 1 Schematic diagram of disruptive technology process and relative input

际环境中的可靠性、稳定性和可扩展性。在这个过程中, 颠覆性技术需要开发全新的技术架构或解决技术工程化面临的问题, 如缺乏价值链相关主体、生产体系的配套等问题。与一般技术相比, 颠覆性技术工程验证阶段面临更大的技术挑战。

(3) **商业验证阶段**。颠覆性技术在商业验证阶段需要创造全新的市场或改变现有的市场规则, 该阶段的重点是验证市场需求、商业模式的可行性。作为一个全新的轨道, 颠覆性技术在商业验证阶段所需的商业模式、商业支撑条件、商业配套设施均不具备或不完善, 面临更多的风险和不确定性。相比之下, 一般技术通常更加专注于改进现有技术或解决特定问题, 在商业化过程中面临较少的不确定性。总之, 颠覆性技术创新从原理验证到商业验证是由边缘切入到主流的过程, 最终引发重塑格局的颠覆性变革。相比之下, 一般技术更多的是现有技术延长线上的创新, 更侧重于对现有技术的改进和优化, 以提高效率、降低成本或增加功能, 目标是增量式的改进而非彻底的变革。

根据以上创新过程理论, 结合创新要素, 笔者认为多元的概念有3个方面内容: ① **投入主体的多元**, 即包括政府、高等院校、科研院所、传统金融机构、风险投资、科技孵化平台等多个投入主体; ② **投入要素的多元**, 即资金、人才、信息、数据、管理、基础

设施等多种创新要素的协同组合; ③ **投入机制的多元**, 颠覆性技术创新需历经多个阶段, 阶段不同, 特性和需求不同, 因此需采用不同的投入机制。颠覆性技术多元投入机制是根据颠覆性技术阶段和需求, 调动多种投入主体, 协同组合多种创新要素, 并以合适的机制和方式作用到研发团队、初创团队、微小公司、创新公司等创新主体中, 实现技术创新过程系统化、资源利用节约化和创新成果最优化, 最终达到科学、技术、经济和社会等诸多领域的有效互动(图2)。

1.2 创新视角下颠覆性技术的投入机理

颠覆性技术投入随着原理验证、工程验证、商业验证的阶段不同、技术特性不同、需求不同而不断地变化。投入过程中需要注意的是, 现实中颠覆性技术非常复杂, 并不是一个从原理验证, 到工程验证, 再到商业验证的线性过程。① **颠覆性技术来源广泛**。作为以效果定义的技术, 颠覆性技术既来源于科学原理的突破, 也孕育在应用驱动之中, 更易出现在问题导向的设计之中。② **颠覆性技术复杂多变**。颠覆性技术是一个集群概念, 具有复杂的内在结构。在**组成上**, 颠覆性技术包含核心技术、辅助技术、支撑技术, 具有跨学科、多领域、发展不同步的特性。在**发展上**, 颠覆性技术是非连续性的技术, 发展过程伴随着大量的技术转移、技术集成和二次创新, 生长过程



图 2 颠覆性技术多元投入机制内涵示意图

Figure 2 Schematic diagram of connotation of multiple input of disruptive technologies

没有路径依赖,无法预演,更无法预判,过程充满了突变性。因此,颠覆性技术实际上是一个在创新阶段中各组成部分相互作用、相互交织而形成的复杂动态演化系统。整个系统的投入需要多种创新要素汇聚、融合、试错、收敛,推动形成原理验证阶段以知识的流动为核心、工程验证阶段以技术的流动为核心、商业验证阶段以资本的流动为核心的颠覆性技术创新(图3)。

2 创新视角下颠覆性技术多元投入机制的案例研究

案例研究是探究某一特定社会现象发生、发展原

因和机制的一种重要方法。多案例分析能够呈现出类似于试验研究的分析框架,有利于创新动态演化过程的对比分析。本文根据颠覆性技术阶段分布,调研了多种不同类型的创新主体,以完善颠覆性技术多元投入机制的构建。

在案例的选取中,结合颠覆性技术创新阶段,主要从技术和投入主体2个层面综合考虑,旨在突出“颠覆性”和“多元化”2个方面。在技术层面,按照颠覆性效果显现的时间维度,选取了3类研究对象:①为颠覆性技术的未来发展提供持续的动力和支撑的原创科学思想,如美国霍华德·休斯医学研究所(HHMI);②当前正在对传统相关技术领域引发颠覆

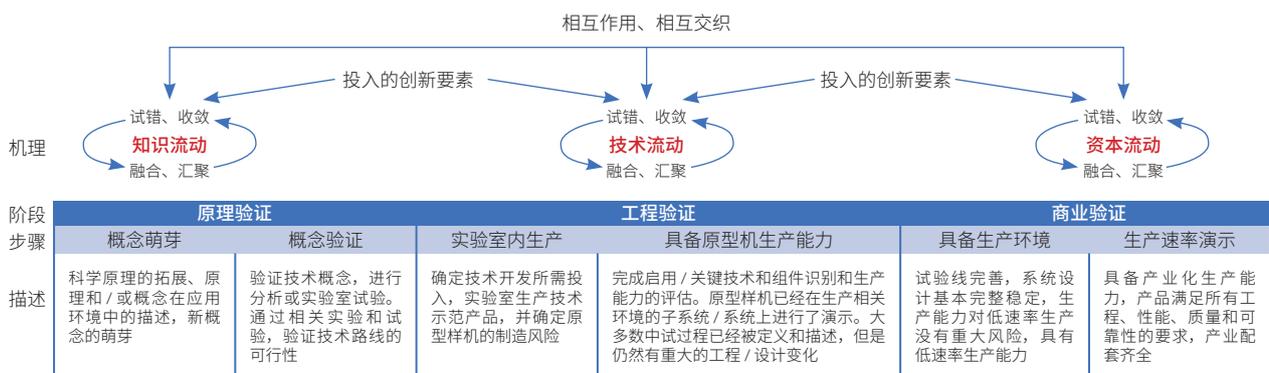


图 3 颠覆性技术创新的投入机理

Figure 3 Input mechanism of disruptive technological innovation

术等重大颠覆性技术的产生奠定了重要的基础。深入研究 HHMI 原创科学思想的投入机制对颠覆性技术多元投入机制系统的构建具有重要意义。

HHMI 作为美国最大的私立非营利性医学研究机构之一，成立的宗旨是以公益性方式资助基础医学相关领域重大原始创新和科学难题的持久攻关。基于原创思想偶然性强、关键灵感在于人等特性，HHMI 在投入过程中强调“人”在原始创新中的重要作用，形成了独特的“投入”模式（表1）。HHMI 首先确立了“人，而非项目”（people, not project）的资助理念，主要资助创新、敢于冒险、有开拓精神的一流科学家，而不是某个具体的研究方案。围绕这一理念，HHMI 以公益性的方式投入了大量的资源、充足的时间和充分的自由度，并制定了一系列唯原创性的评审准则及相应的保障机制，确保研究人员能够心无旁骛地开展高风险的、不可预估的原创性研究，以作出有益于人类健康发展的重要研究成果。

2.1.2 链接主体、汇聚资源的项目汇聚模式

颠覆性技术并不是一个单一的技术，而是一个由主导技术、支撑技术和辅助技术组成的技术群。与主流技术相比，颠覆性技术的支撑技术和辅助技术均不成熟。这导致颠覆性技术发展初期难以嵌入现有的技术体系，且缺乏目标场景的牵引。因此，在原理验证阶段，颠覆性技术不仅需要长期持续的资金支持，还需要资源的汇聚和主体的链接，以快速的试错、收敛来实现技术的协同发展和潜在应用场景的互动。作为金属制造领域典型的颠覆性技术，铂力特的金属增材制造技术在发展初期形成的项目汇聚的投入模式便是解决上述挑战的良好实践（图5）。

铂力特的金属增材制造核心技术源于西北工业大学黄卫东教授团队激光熔覆成型技术（LMD）的研究。铂力特成立之前，LMD 技术的研究主要在西北工业大学进行，政府财政的公益性投入是该阶段技术发展的资金来源，主要以科技项目的方式投入。但是单一的科技项目不足以支持长期的研究，因此技术发展

表1 美国霍华德·休斯医学研究所(HHMI)的“投入”模式^[21,22]

Table 1 “People, not project” of Howard Hughes Medical Institute (HHMI)^[21,22]

投入方面	具体内容
投入性质	公益性支持
投入目标	重大原始创新和科学难题的持久攻关
投入理念	“人，而非项目”的“投入”模式
投入要素	资源 长期稳定的资金支持:HHMI 研究员计划每年获得约100万美元的研究经费 充足的学术资源:HHMI 评审委员会定期的评审意见、HHMI 组织的科学会议
	时间 HHMI 研究员计划资助周期为7年,在此期间,HHMI 通过精细化的管理和服务保障研究人员必须将至少75%的时间直接投入到科研中
	自由度 研究自主权:研究人员具有研究自主权和技术路线决定权 经费自主权:研究员经费支出不做比例限制
投入方式	唯原创性的评审准则 始终如一的评价准则:“创新”和“原创”是贯穿直至后期续聘阶段和成果评价阶段的重要评审指标 注重原创性而非可行性:鼓励探索从未被证明、没有研究基础、无人探索或探索失败的问题,即使意味着失败
	保障机制 灵活的人才聘用机制:HHMI 研究员既是HHMI 的雇员也是原单位的员工,且聘用期间可进行单位变更 完善的退出机制:针对未通过评估的研究员,HHMI 设置了2年逐步退出机制,在这期间仍享受同样的工资待遇并照常参与科研活动,使其在停止研究资金资助之前能够有充裕的时间调整实验室运作,寻求新的研究支持来源

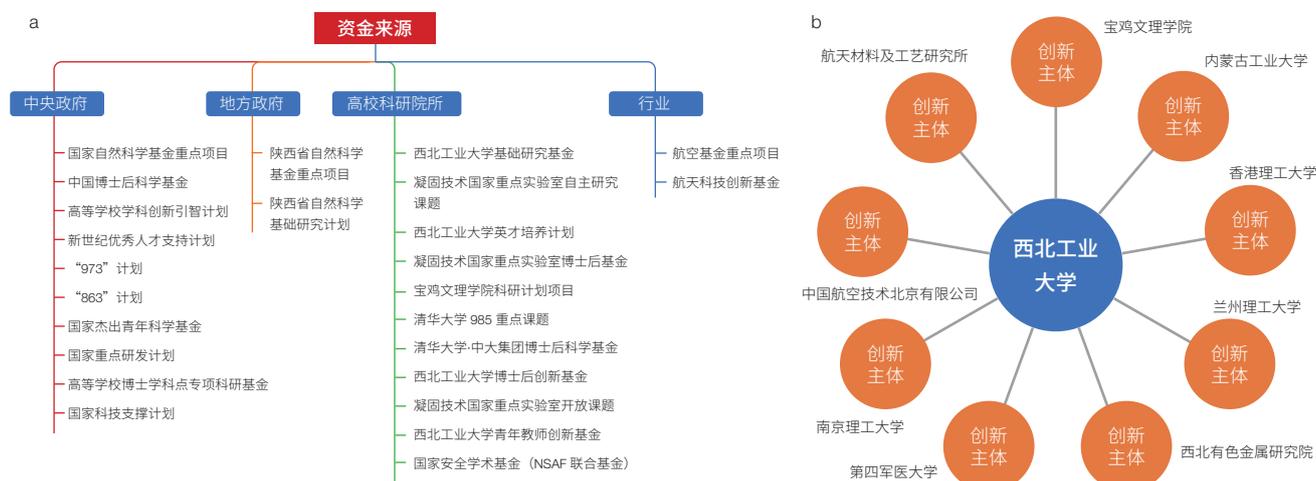


图5 黄卫东团队金属增材制造领域SCI论文接受科学基金项目资助情况统计 (a) 与项目联合申请单位情况 (b)
Figure 5 Statistics on SCI papers in field of metal additive manufacturing by Huang Weidong's group receiving funding from scientific foundation projects (a) and joint application institutions (b)

数据来源: 黄卫东团队SCI文章发表情况来源于Web of Science网站1995—2011年黄卫东已发表文章列表, 项目联合申请单位情况来源于Web of Science网站中黄卫东已发表文章与相关单位合作发表文章列表

Data source: The SCI article publication status of Huang Weidong's group is sourced from the Web of Science list of Huang Weidong's published articles from 1995 to 2011, and the joint application unit's information is sourced from the Web of Science list of Huang Weidong's published articles in collaboration with relevant institutions

过程中还受到了来自中央政府、地方政府、高等院校、科研院所和行业等多个主体多个科研项目的支持, 呈现出项目汇聚的投入模式 (图5a)。在多个项目的支持下, LMD技术与相关技术的优势单位、潜在的应用场景 (医学、航空) 建立了联系, 实现了资源的汇聚和主体的链接 (图5b)。通过技术与技术、技术与场景之间的不断试错、收敛, 金属增材制造相继实现了核心技术 (激光定向凝固等相关技术)、支撑技术和辅助技术 (原材料、工艺、设计和装置) 的突破, 于2007年成功制备了一台原型样机, 完成了原理验证阶段的技术储备 (图6)。

2.1.3 培育生态的投机构模式

颠覆性技术的投入机制不仅受到阶段的影响, 与技术特性也息息相关。北京市发展人工智能技术的投入方式就深受其技术特性的影响。作为引领未来的战略性技术, 人工智能被认为是将引发科技革命和产业变革的颠覆性技术, 人工智能技术投入机制的案例分

析是颠覆性技术多元投入机制系统构建的重要部分。人工智能技术渗透性强、协同性高, 具有极强的工程融合和场景应用能力, 发展过程极大地依赖生态的支持。针对以上技术特性, 为进一步促进人工智能技术原理验证阶段的创新发展, 北京市政府成立了智源研究院, 以机构为载体、以技术特性和需求为导向, 在人工智能领域投入了多元的创新要素, 包括灵活的政策、充足的资金、先进的基础设施、多元的应用场景等 (图7)。同时, 基于数据在人工智能发展中的重要作用, 智源研究院针对不同的应用场景投入了大规模、高质量、多元化的数据, 建立了全球最大预训练语料库 WuDaoCorpora、“一带一路”多语言数据集和中阿双语数据集在内的开放数据集 FlagData。在机构的牵引下, 以上投入要素相互链接、相互作用, 为人工智能技术的发展打造了良好的生态, 在实践中形成了培育生态的投机构模式。在以上投入模式下, 智源研究院建立了灵活的运行机制, 包括快速的决策机

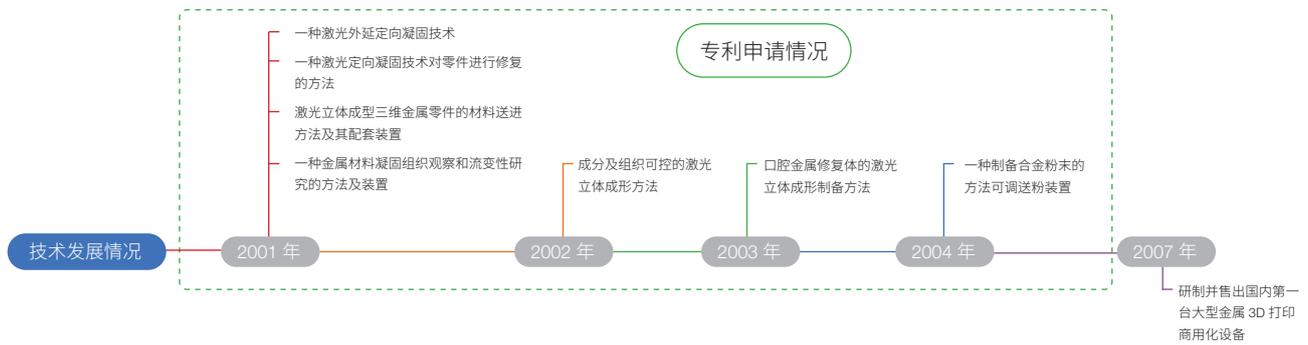


图6 2001—2007年黄卫东教授团队金属增材制造技术进展

Figure 6 Metal additive manufacturing technology progress of Prof. Huang Weidong's group from 2001 to 2007

数据来源：国元证券铂力特首次覆盖报告——金属3D打印龙头，航空航天“铸剑人” (https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202109071514786116_1.pdf?1631045469000.pdf)

Data source: Guoyuan Securities, Xi'an Bright Laser Technologies Co., Ltd (BLT) first coverage report—Metal 3D printed faucet, the “sword-caster” of aerospace field (https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202109071514786116_1.pdf?1631045469000.pdf)

制、绩效为主的评价机制、支持科技成果转化的产权激励机制、负面清单管理机制和开放共享的资产管理方式。机制的优势加之以上资源的汇聚使得智源研究院能够充分调用经费、人才、设施等各方资源，形成了行业应用、算法模型和软硬平台的协同发展的格局，并取得了一系列量质并重的成绩。

2.2 颠覆性技术工程验证阶段投入案例研究

工程验证是颠覆性技术工程化的阶段，也是技术产业化、商业化必经的一个中间规模的生产试验和营销试验过程。这一阶段存在生产风险和市场营销等多重风险，具有极大的工程不确定性，面临主体增多、风险增大、需要技术和市场的综合判断等挑战。在这

种阶段特性和投入挑战下，形成了政府引导、社会资本参与的“公私结合”模式、风投机构的“科技生态雨林模式”和社会资本为主的“信任股权”模式等多种投入模式。

2.2.1 政府引导、社会资本参与的“公私结合”投入模式

在工程验证阶段，技术逐渐脱离科学的公益化属性，呈现出技术资产的特性，资金投入也由公益性资金向营利性资金逐渐过渡。在过渡过程中，颠覆性技术基金会提供了一个良好的实践案例。颠覆性技术基金会是由科学技术部和北京市政府成立的公益性基金会，旨在帮助颠覆性技术跨越技术创新的“死亡谷”。

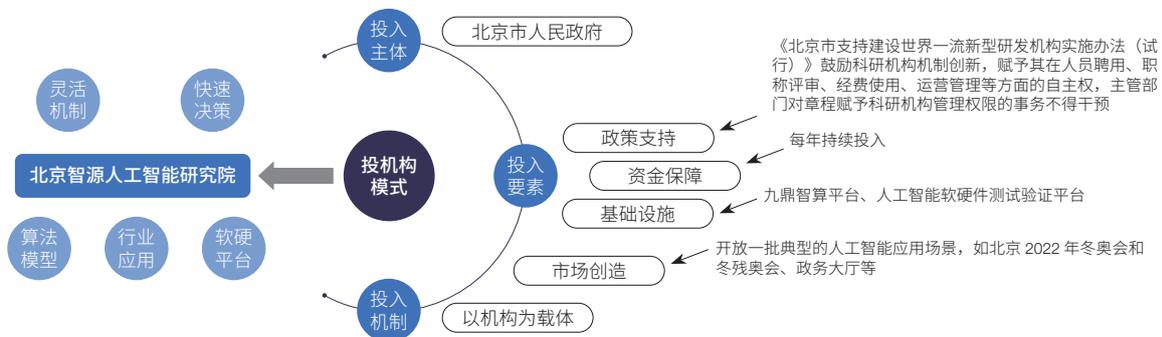


图7 投机构模式示意图

Figure 7 Input model of building an institute

针对技术属性过渡的阶段特点，投入资金由政府和社会资本共同组成，呈现出政府资金引导、社会资本参与的投入模式（图8）。在以上投入模式下，基金会设立了一套由明确的资助范围、规范的筛选机制、灵活的动态支持、全生命周期的投后管理和宽容失败的评价准则等组成的投入机制，以提高技术转化的成功率。

2.2.2 社会资本为主的“信任股权”投入模式

颠覆性技术工程验证阶段是中间规模的生产试验和营销试验阶段。资金需求量大，投入主体类型多，既需要科学家，也需要政府和企业家。然而，在技术工程转化过程中，政府、科学家和企业家三者认知不一，易出现思维冲突。政府普遍存在工业化思维，以招商引资的逻辑进行工程转化；科学家过于高估自己的优势而容易忽略短板；企业家多想挣快钱，擅于做并购、上市，不愿去啃“硬科技”的骨头。因此，工程验证阶段风险重重、矛盾重重。在应对以上困难中，铂力特的投入模式颇具代表性。在成功售出国内第一台大型金属3D打印商用化设备后，2011年黄卫东教授着手成立了“前铂力特”，金属增材制造进入了工程验证的发展阶段。面对资金需求、生产风险和思维矛盾，铂力特以信任为纽带链接多种投入主体。铂力特初始成立时的资金主要由技术创始人黄卫东教授及其亲朋好友和所在单位提供（表2）。以上投入主

体中既包含了科学家也包含了企业家，以对黄卫东教授的充分信任链接到一起，随后通过合理的股权分配保障技术的诚信交易，形成了“信任股权”的投入模式。在以上投入模式下，铂力特完成了工程验证阶段的生产试验和营销试验，开始逐渐向商业化发展。

2.2.3 科技生态雨林投入模式

早期的投资机构和科技孵化平台是颠覆性技术工程验证阶段的重要投入主体，也是促进人才、资金等要素与技术深度融合的重要推动力。这类机构的投入模式对工程验证阶段多元投入机制的构建极具价值。中科创星和杭光所是国内“硬科技”投资、孵化的领先机构，专注于“硬科技”领域天使轮、A轮及以后的技术投资和孵化。中科创星和杭光所不仅在“硬科技”领域投入成效显著，在量子科技、智能制造、人工智能等颠覆性技术领域也孵化了如本源量子计算科技（合肥）股份有限公司、图灵量子公司、中科华芯（北京）科技有限公司、北京中科闻歌科技股份有限公司等众多明星企业，是国内科技孵化平台的典型代表。经过实地调研和案例研究，总结了这类机构“选、育、培”一体化的科技生态雨林式的投入模式，主要包括以下3个方面（图9）：①以商业价值筛选投资赛道，“硬科技”投资门槛高，要有洞察技术长期趋势的能力，需要由既懂科技又懂产业的创新型人才从商业价值出发选准赛道，这是“硬科技”投资的关

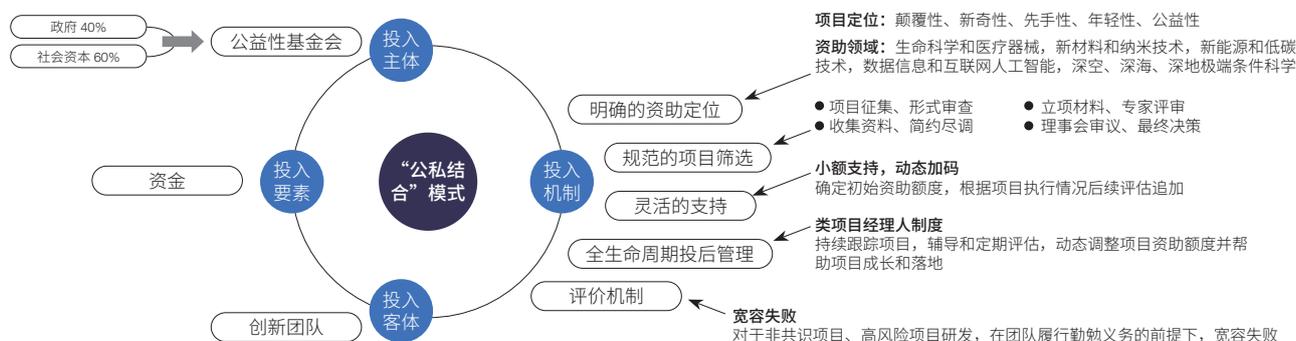


图8 “公私结合”投入模式示意图

Figure 8 Input model of combination of public and private capital

表2 铂力特初始成立时的股权结构

Table 2 Ownership structure at beginning of BLT establishment

序号	股东	出资额(万元)	出资比例	出资方式
1	折生阳	1520	38%	货币
2	西北工业大学资产经营管理有限公司	1040	26%	货币
3	西安晶屹金属材料有限公司	1000	25%	货币
4	雷开贵	240	6%	货币
5	黄芩	200	5%	货币
	合计	4000	100%	货币

数据来源：上海证券交易所发布《西安铂力特增材技术股份有限公司首次公开发行股票并在科创板上市招股说明书》(https://pdf.dfcfw.com/pdf/H2_AN201906171335543324_1.pdf)

Data source: Shanghai Stock Exchange issued the Prospectus for the Initial Public Offering of Xi'an Bright Laser Technologies Co.,Ltd (BLT) and Listing on the Science and Technology Innovation Board (https://pdf.dfcfw.com/pdf/H2_AN201906171335543324_1.pdf)

键。② 个性化培育，根据技术所处阶段不同，洞悉技术发展痛点，提供“资本+服务”多元化组合，解决技术成长过程中的关键难题。③ “授人以渔”式的创业培训，科技成果转化需要从科研思路转化为产业思路，创业培训能够让科学家尽快地实现思路的转化，培养科学家创新思维，让科学家和企业家实现同频共振，促进技术的信任交易。

2.3 颠覆性技术商业验证阶段投入案例研究

跨过工程验证阶段的“死亡谷”，技术的不确定性降低，具备了初步的生产能力，甚至已经培养了一小批客户，进入了商业验证阶段。这一阶段社会资本的投资意愿增强，创新主体以企业为主，政府作用逐渐弱化，还权于市场，主要目标是服务客户，面临的

核心挑战是市场风险。在以上阶段特性和投入挑战下，形成了资本社会化、研发社会化和政府引领等多种投入模式。

2.3.1 资本社会化的投入模式

随着铂力特的金属增材制造技术日趋完善，技术发展进入商业验证阶段。在这一阶段，铂力特市场份额不断增加，技术发展前景明朗，于2019年在科创板成功上市。上市之后，铂力特的投入主体转化成广泛的社会资本，形成了资本社会化的投入模式。在社会资本的支持下，铂力特围绕创新链布局产业链，建立了涵盖设计、研发、制造、检测、质量监控等一系列自主完善的研发生产体系，产能匹配多种行业需求，实现了快速的商业验证和商业迭代，推动技术的商业

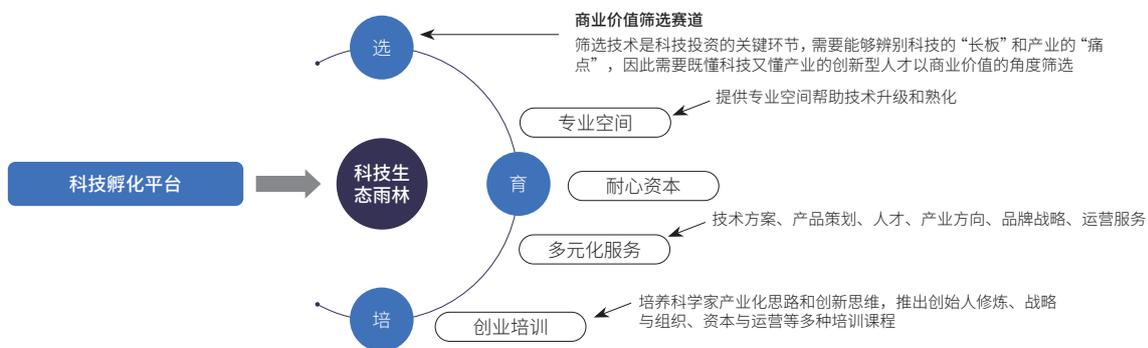


图9 科技生态雨林投入模式示意图

Figure 9 Input model of science and technology rainforest

化进程。

2.3.2 研发社会化的投入模式

作为从边缘到主流的技术，颠覆性技术从开发全新的技术架构到匹配价值链主体再到形成自主完整的研发生产体系、面向市场进行商业验证，往往需要很长的时间。很多大型企业具有充足的资本和资源，有时会根据技术特性和市场需求，利用资金或其他资源优势，选用研发社会化的投入模式，缩短自主研发时间，从而快速灵活地应对市场变化。在研发社会化的投入模式中（以谷歌和天和防务为例），企业会根据发展战略或市场变化确定投入目标和方向，随后在社会上寻找优势技术和人才，以投资、并购、合作或购买等方式对核心技术和人才进行整合，融入到企业的创新链或发展战略中，最终实现产品创新，投放市场，获取经济利益（图10）。谷歌在发展人工智能技术时就以巨量现金的优势收购了DeepMind、DNNresearch、Emu、Jetpac、Timeful等人工智能领域的多个初创企业，并与麻省理工学院、牛津大学、剑桥大学、HHMI等全球顶尖高校和科研机构开展系列合作，以逐渐完善其在人工智能领域的战略布局。天和防务在开发物联感知技术在安全领域的应用时就以投资、合作等方式整合西安及其他高校的优势技术和人才资源，以逐渐完善其在物联感知技术领域的战略布局。以上投入模式的核心是以社会化的研发缩短创

新周期，从而实现快速的技术迭代和市场验证，通过短期的试错实现长期的收益。

2.3.3 政府引领的投入模式

商业验证阶段创新资源的配置主要由市场决定，但对国家发展具有重大战略意义的颠覆性技术，政府引领的投入模式往往会加速整个商业验证阶段的推进，实现技术的快速商业应用。例如，我国新能源汽车行业的繁荣发展离不开政府的引领和多元投入（图11）。2009—2012年，政府确立了电动汽车的发展战略，随后通过研发投入和直接补贴，在全国多个城市引入新能源汽车试点项目，优先在公共领域推广部署，加速了技术在应用场景中的更新迭代。2013—2017年，随着空气质量、能源安全与汽车产业振兴目标的多重驱动，电动汽车的产业和市场快速发展。2018年之后，政府逐渐从比较单一的行业补贴阶段向激励与法规标准相结合的模式转变，进一步释放市场潜力。在整个投入过程中，顶层设计、战略确立是核心，产业规划是引领，试点项目、激励政策和法规标准等制度投入是主要驱动力。随着以上投入模式的进行，我国拥有领先的量产动力电池技术且不断创新，迅速成长为全球最大的新能源汽车市场。

3 颠覆性技术多元投入机制的系统构建

颠覆性技术是一个从原理验证，到工程验证，再

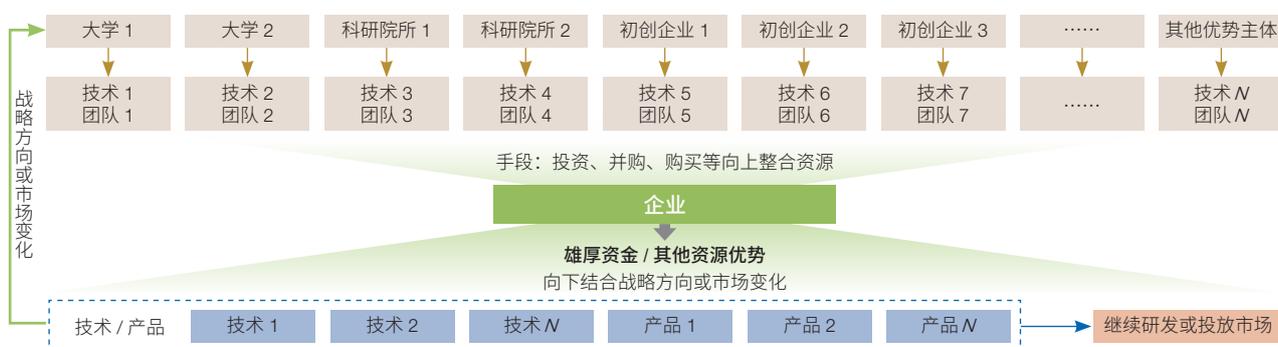


图10 研发社会化投入模式示意图

Figure 10 Input model of socialization of R&D



图 11 中国电动汽车产业发展历程^[23]

Figure 11 Development history of electric vehicle industry in China^[23]

到商业验证的过程。从早期原理验证到大规模的商业验证过程中，技术投入由公益性支持到营利性支持进行不断动态变化，并根据阶段特性、投入挑战和社会条件衍生出许多不同的投入机制。因此，颠覆性技术多元投入机制的构建应以宏观的创新视角，遵循科技创新的基本逻辑，同时要结合自身的特征和演化规律，从实践出发，实现从创新机理到创新实践的颠覆性技术多元投入机制构建（图 12）。

性强、偶然性高等特点，投入面临目标无法明确、收益无法保证，过程难以干预等挑战。在以上特性和挑战下，原理验证阶段形成了“投入”模式、项目汇聚模式和投机构模式等多种模式并存的投入模式。其中，“投入”模式的核心是以长期稳定的投入支持高风险原创科学思想的产出；项目汇聚的模式的核心是实现资源的汇聚和主体的链接，促进技术的快速试错和迭代；投机构模式的核心是依据具体技术的特性和需求，培育适应技术发展的创新生态。

(1) 原理验证阶段。求是、求真是该阶段的价值导向，即要认识事物的本质，拓展人类认知的边缘；技术发展呈现点式突破，研究过程具有周期长、未知

(2) 工程验证阶段。工程有效是该阶段的价值导向，即要实现技术原理的工程化，实现技术原理在实

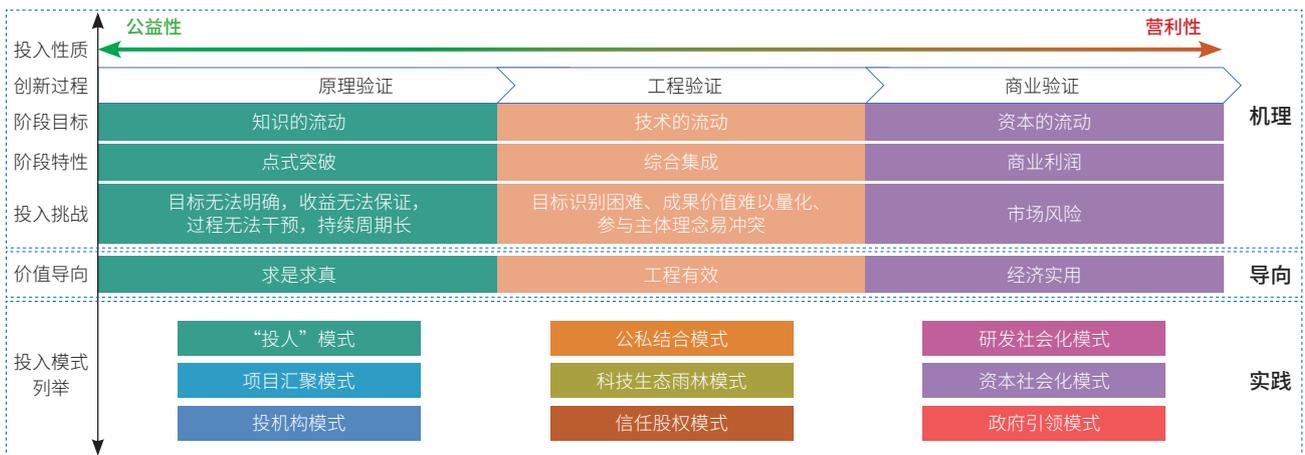


图 12 颠覆性技术多元投入机制系统构建示意图

Figure 12 Multiple input system of disruptive technologies

践中的应用；技术发展呈现综合集成的特点，该阶段存在生产风险和市场营销等多重风险，具有极大的工程不确定性，投入面临主体增多、风险增大、需要技术和市场的综合判断等挑战。在以上特性和挑战下，工程验证阶段形成了“公私结合”模式、“信任股权”模式和科技生态雨林模式等多种模式并存的投入模式。其中，“公私结合”模式的核心是政府引导、社会资本参与，逐步实现技术由公益性支持向营利性支持的转化；“信任股权”模式的核心是“朋友圈”融资，以人的信任为基础，建立技术的信任交易体系，缓解资金需求、认知矛盾，实现风险共担；科技生态雨林投入模式的核心是针对工程风险和投入挑战，集资源、人才于一体，打造促进科技发展的生态雨林。

(3) **商业验证阶段**。经济实用是该阶段的价值导向，即要短时间内获得技术的商业价值，实现技术变现；该阶段的不确定性由技术转向了市场，投入面临的挑战是市场风险。在以上特性和挑战下，商业验证阶段的投入呈现“八仙过海、各显神通”的局面，典型的代表模式有资本社会化模式、研发社会化模式和政府引领模式等，以上模式的核心均是以快速的技术迭代和商业验证，短期内实现商业利润。

4 结语与启示

颠覆性技术来源广泛、结构复杂、路径多变，既属于技术的范畴，更蕴含着管理和变革的本质。在创新机理和创新目标的作用下，不同阶段的颠覆性技术具有不同的技术特性、阶段特性，更面临多种不同的投入挑战。本文基于颠覆性技术创新视角，深入创新过程，剖析创新机理，从特性和挑战出发，总结了原理验证阶段支持科学原创思想的“投入”模式，链接主体、汇聚资源的项目汇聚模式，培育生态的投机构模式；工程验证阶段政府引导、社会资本参与的“公私结合”模式，社会资本为主的“信任股权”模式，科技生态雨林模式；商业验证阶段的资本社会化模

式，研发社会化模式和政府引领模式。在主体上，涵盖了政府、科研院所、高等院校、科技孵化平台、企业等多个投入主体；在要素上，囊括了资金、人才、政策、基础设施、信息、数据等多种创新要素；在模式上，凝练了“投入”、投机构、培育生态等多种模式，由此构建了多主体、多要素、多模式的颠覆性技术多元投入机制，以更好地认识和推动颠覆性技术的原理验证、工程实现和商业落地，跨越技术创新的“死亡之谷”，提升颠覆性技术创新。

总之，颠覆性技术创新需要构建良好的生态，形成主体链接、要素协同、场景融合的创新局面。当前，我国迫切需要加强政策环境供给，通过制定更加开放和包容的政策法规，为颠覆性技术创新提供更广阔的舞台和更可持续发展环境；同时，积极引导企业加大对技术研发和创新的投入力度，培育更多的创新型企业；进一步发展壮大风险投资，为颠覆性技术创新提供更多的资金支持 and 风险保障，以共同促进颠覆性技术的涌现与应用，科技与经济深度融合，推动我国科技创新不断实现新的突破与跨越。

参考文献

- 1 刘安蓉, 李莉, 曹晓阳, 等. 颠覆性技术概念的战略内涵及政策启示. 中国工程科学, 2018, 20(6): 7-13.
Liu A R, Li L, Cao X Y, et al. The strategic connotation and policy enlightenment of the concept of disruptive technology. Strategic Study of CAE, 2018, 20(6): 7-13. (in Chinese)
- 2 邵立国, 陈亚琦, 乔标. 各国推动颠覆性技术创新的典型做法与启示. 北京: 赛迪智库, 2017.
Shao L G, Chen Y Q, Qiao B. Typical practices and Inspirations of Countries in Promoting Disruptive Technological Innovation. Beijing: Ccidthinktank, 2017. (in Chinese)
- 3 路甬祥. 百年技术创新的回顾与展望. 管理科学文摘, 2002, (7): 56-59.
Lu Y X. Review and prospect of century-old technological innovation. Management Observer, 2002, (7): 56-59. (in Chinese)

- 4 吴杨. 大科学时代基础研究多元投入的路径探索. 人民论坛·学术前沿, 2023, (9): 68-80.
Wu Y. The era of big science: The diversified investment path exploration of basic research. Renming Luntan·Xueshu Qianyan, 2023, (9): 68-80. (in Chinese)
- 5 武晨箫, 李正风, 黄璐, 等. 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. 中国软科学, 2022, (12): 13-22.
Wu C X, Li Z F, Huang L, et al. Internal logic and future challenges of government funding in guiding diversified investment in basic research: A case study based on the joint fund. China Soft Science, 2022, (12): 13-22. (in Chinese)
- 6 于璇, 高端平. 发挥国家自然科学基金联合基金“四个平台”作用健全基础研究多元投入机制. 中国科学基金, 2023, 37(2): 296-300.
Yu X, Gao R P. Give full play to the role of the “four platforms” of the National Natural Science Foundation Joint Fund to improve the mechanism for diversified investment in basic research. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2023, 37(2): 296-300. (in Chinese)
- 7 曹晓阳, 魏永静, 李莉, 等. DARPA 的颠覆性技术创新及其启示. 中国工程科学, 2018, 20(6): 122-128
Cao X Y, Wei Y J, Li L, et al. Enlightenment of disruptive technological innovation of DARPA. Strategic Study of CAE, 2018, 20(6): 122-128. (in Chinese)
- 8 李正风, 武晨箫, 黄璐, 等. 国家自然科学基金如何更好地引导基础研究多元投入?. 中国科学院院刊, 2021, 36(12): 1448-1455.
Li Z F, Wu C X, Huang L, et al. How could national natural science foundation of China better guide diversified investment in basic research?. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(12): 1448-1455. (in Chinese)
- 9 张越, 曹悦, 白晨. 人工智能颠覆性技术政策工具演变分析. 情报科学, 2023, 41(10): 121-128.
Zhang Y, Cao Y, Bai C. An analysis on policy instruments development of disruptive technology policies of artificial intelligence. Information Science, 2023, 41(10): 121-128. (in Chinese)
- 10 苑朋彬, 邢晓昭. 专利知识流动视角下的颠覆性技术方向识别研究——以6G太赫兹通信技术领域为例. 情报杂志, 2023, 42(11): 142-146.
Yuan P B, Xing X Z. Research on the direction identification of disruptive technologies from the perspective of patent knowledge flow: A case study of 6G terahertz communication technology. Journal of Intelligence, 2023, 42(11): 142-146. (in Chinese)
- 11 王英, 庞弘燊. 基于科技文献计量的颠覆性技术发展过程特征识别研究——以数字孪生技术为例. 情报探索, 2023, (7): 70-77.
Wang Y, Pang H S. Research on characteristics recognition of disruptive technology development process based on science and technology bibliometrics: Case study of digital twin technology. Information Research, 2023, (7): 70-77. (in Chinese)
- 12 胡雯, 夏蓓丽. 颠覆性技术政策-技术路线图框架构建与实证分析——以中国新能源汽车产业为例. 科技进步与对策, 2024, 41(2): 25-34.
Hu W, Xia B L. A framework of policy-technology roadmap of disruptive technology: A case of new energy vehicle industry in China. Science & Technology Progress and Policy, 2024, 41(2): 25-34. (in Chinese)
- 13 邓建军, 刘安蓉, 曹晓阳, 等. 颠覆性技术早期识别方法框架研究——基于科学端的视角. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 674-684.
Deng J J, Liu A R, Cao X Y, et al. Methodological framework of identifying disruptive technologies on emerging stage: Based on science. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(5): 674-684. (in Chinese)
- 14 傅家骥. 技术创新学. 北京: 清华大学出版社, 1998.
Fu J J. Technological Innovation Philosophy. Beijing: Tsinghua University Press, 1988. (in Chinese)
- 15 郭威纲. 企业创新驱动模式. 北京: 清华大学出版社, 2005.
Guo X G. Enterprise Innovation-Driven Model. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- 16 胡跃兴, 朱毅. 技术创新过程的性质及管理. 中外科技信息, 1989, (4): 1-5.
Hu Y X, Zhu Y. The nature and management of technological innovation process. Science & Technology International, 1989, (4): 1-5. (in Chinese)
- 17 连燕华. 国外关于技术创新过程的研究. 中外科技信息, 1991, (1): 20-28.

- Lian Y H. Foreign research on technological innovation process. *Science & Technology International*, 1991, (1): 20-28. (in Chinese)
- 18 Special Competitive Studies Project. *Harnessing the New Geometry of Innovation*. Arlington: Special Competitive Studies Project, 2022.
- 19 U.S. Congress, Office of Technology Assessment. *Innovation and Commercialization of Emerging Technology*. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1995.
- 20 张凤海, 徐丽娜, 侯铁珊. 关于技术创新概念界定的探讨. *生产力研究*, 2010, (3): 26-27.
Zhang F H, Xu L N, Hou T S. Discussion on the definition of technological innovation concept. *Productivity Research*, 2010, (3): 26-27. (in Chinese)
- 21 陈涛, 钱万强, 江海燕, 等. 让科学家在生命医学研究之刃自由舞蹈——霍华德·休斯医学研究所资助计划浅析. *中国基础科学*, 2010, 12(3): 39-44.
Chen T, Qian W Q, Jiang H Y, et al. Let scientists dance freely at the edge of life medical research—Analysis of Howard Hughes Medical Institute grant program. *China Basic Science*, 2010, 12(3): 39-44. (in Chinese)
- 22 韩凤芹, 李璐. 美国霍华德休斯医学研究所人才资助模式的特点与启示. 北京: 中国财政科学研究院, 2021.
Han F Q, Li L. *The Characteristics and Enlightenment of Talent Funding Model of Howard Hughes Medical Institute*. Beijing: Chinese Academy of Fiscal Sciences, 2021. (in Chinese)
- 23 金伶芝, 何卉, 崔洪阳, 等. 驱动绿色未来: 中国电动汽车发展回顾及未来展望. 北京: 国际清洁交通委员会, 中国电动汽车百人会, 2021.
Jin L Z, He H, Cui H Y, et al. *Driving a Green Future: A Review of the Development and Future Prospects of Electric Vehicles in China*. Beijing: Then International Council on Clean Transportation, China Electric Vehicle 100, 2021. (in Chinese)

Multiple input system of disruptive technologies

ZHAN Mimi¹ PENG Xianke¹ CAO Xiaoyang¹ HU Xiaomian^{2*}

(1 Chinese Academy of Engineering Innovation Strategy, Beijing 100088, China;

2 Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China)

Abstract As the great power to drive human society's development and the industrial transformation, disruptive technologies have attracted the attention of countries around the world. The major economies worldwide have made relevant strategic plans to develop disruptive technologies for preempting the zenith of technological innovation. As the effective approach to gather various resources, the multiple input system of disruptive technologies has become a place of strategic importance and related studies have also been paid more and more attention. The multiple input system of disruptive technologies is investigated firstly from the perspective of innovation mechanism in this study. Based on the innovation theory, the technical innovation process and the characteristics of disruptive technologies are systematically analyzed to define the multiple input system connotation of disruptive technologies and to build the research framework. Then various case studies are used to analyze input practices during the innovation process for filling the framework. With the research framework from technical innovation theory and case studies, the multiple input system of disruptive technologies is constructed from innovation mechanism to innovation practice.

Keywords disruptive technologies, disruptive innovation, multiple input, mechanism

展咪咪 中国工程科技创新战略研究院博士后。主要研究领域为颠覆性技术、颠覆性创新、科技创新等。
E-mail: mimi.zhan@outlook.com

ZHAN Mimi Post Doctorate in Chinese Academy of Engineering Innovation Strategy (CAEIS). Her research focuses on disruptive technology, disruptive innovation, science and technology innovation, etc. E-mail: mimi.zhan@outlook.com

胡晓棉 中国工程院院士。北京应用物理与计算数学研究所研究员。主要研究领域为核物理工程技术。
E-mail: hu_xiaomian@iapcm.ac.cn

HU Xiaomian Academician of Chinese Academy of Engineering (CAE), Professor of Institute of Applied Physics and Computational Mathematics. Her research focuses on nuclear physical engineering. E-mail: hu_xiaomian@iapcm.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

*Corresponding author