

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

梁琴琴

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 以软体机器人为研究案例, 基于美国国家科学基金会 (NSF) 的项目数据库, 分析 NSF 对新兴技术的项目资助模式和特点。分析维度包括项目资助时间、资助金额、项目类型、资助密度和资助强度。结果表明, NSF 对新兴技术的项目资助具有全周期、多维度、经费分配合理、持续性强的特点, 在资助模式上, 项目经费呈现“微笑曲线”变化趋势, 而项目数量的变化则正好相反, 即在研究周期的两端采取的是高经费少项目的模式, 在中间基础研究采取的是低经费多项目的模式。

关键词: 新兴技术; 软体机器人; 美国国家科学基金会; 项目资助; 资助模式

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2023.03.008

CSTR: 15994.14.issn.1674.1544.2023.03.008

中图分类号: G306; G353.1

文献标识码: A

Study on NSF's Project Funding Mode for Emerging Technologies

—Take the Soft Robot as an Example

LIANG Qinqin

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: In this paper, soft robot was selected as a research case, the project data was collected from the project database of the National Science Foundation of the United States (NSF), and the NSF's project funding mode and characteristics of emerging technology were analyzed. Analysis dimensions included project funding time, funding amount, project type, funding density and funding intensity. Results showed that NSF's project funding for emerging technologies has the characteristics of full cycle, multi-dimensional, reasonable allocation of funds, and strong sustainability. In terms of funding mode, the project funding presented a “smile curve” trend, while the change in the number of projects was just the opposite, that is, at the two ends of the research cycle, the mode of high funding and less projects was adopted, and at the middle, the mode of low funding and more projects was adopted.

Keywords: emerging technologies, soft robot, NSF, project funding, funding mode

0 引言

新兴技术是技术更新和技术创新的动力之

源, 在新科技革命时代, 新兴技术不断涌现并产生了颠覆性的影响^[1-3]。当前各国已经关注到新兴技术在经济发展和国家安全领域所起到的关键

作者简介: 梁琴琴 (1982—), 女, 工学博士, 中国科学技术信息研究所副研究员, 硕士生导师, 研究方向为先进制造领域前沿技术监测与分析、专利分析。

基金项目: 国家重点研发计划课题“全球创新主体创新感知系统”(2019YFA0707203)。

收稿时间: 2023 年 3 月 17 日。

作用, 纷纷布局予以支持^[4-5]。由于新兴技术发展存在不确定性^[6], 其创新研究过程主要由政府力量推动。美国国家科学基金会 (NSF) 作为美国国内提供科学研究资助的最大的独立机构之一, 承担了资助新兴技术研究的重要任务^[7]。因此, 分析和研究 NSF 在新兴技术项目资助过程中的具体做法和所采取的模式, 对我国运用政府力量推动新兴技术的创新研究具有重要的参考意义。

新兴技术的概念是由宾夕法尼亚大学沃顿商学院在 2000 年首次提出的^[8], 其认为新兴技术既包括产生于根本性创新的间断性技术, 如数字成像、高温超导体、微型机器人和笔记本电脑等, 还包括通过集成多个以往独立研究成果而更具创新意义的技术, 如核磁共振成像、传真、电子金融和互联网等技术。随后国内外学者对新兴技术的定义和特征展开了研究。Rotolo 等^[9]认为新兴技术是具有高新颖性且相对快速发展的技术, 在出现阶段具有无序性和模糊性, 可能会对社会经济产生重大影响。鲁若愚等^[10]认为新兴技术是一种新观念、新方法、新发明, 它以科学为基础, 并能够创造一个新的行业或者能够改变一个现有行业并对经济结构产生重大影响。赵洪江等^[11]把新兴技术理解为一种正在涌现、浮现出来的、已经进入人们视野的技术, 但其发展前景不明朗, 人们可能忽视它的存在。综合各学者的观点可以看出, 新兴技术是一种正在涌现的、具有高新颖性的、可能对行业有重大影响的一类技术。

软体机器人具有表面柔软、行动灵活、易变形、人机交互安全等特点, 能够应用于特殊极端场景, 弥补了传统刚性机器人的诸多不足, 是机器人领域近年来出现的一类技术分支^[12]。软体机器人的概念最早由麻省理工学院 Rus 等^[13]于 2015 年提出, 此后全球的研究人员围绕软体机器人的结构、材料、控制系统、感知功能等开展了多个角度的研究创新^[14-16]。软体机器人在出现时间、技术新颖性和对行业的影响等方面符合新兴技术的特征, 研究软体机器人发展过程中的促进因素对其他新兴技术具有参考意义。当前全球范

围内软体机器人的研究主要来自科研机构, 研究经费主要来自政府资助, 其中 NSF 就是主要的项目资助来源之一。本文将软体机器人作为案例分析 NSF 对新兴技术项目资助的模式和特点, 从项目资助时间、资助金额、项目类型、资助密度和资助强度等角度分别展开, 深度挖掘 NSF 的典型做法, 为我国开展针对新兴技术的项目资助提供参考。

1 数据来源与分析方法

本文所有数据均来源于 NSF 的项目数据库。登录 NSF 网站, 在 “Awards Advanced Search” 界面中的 Keywords 一栏中输入检索关键词 “soft robot”, 检索时间范围为 2022 年 12 月 31 日前, 共检索到 3 958 条数据信息。对数据进行清洗, 并通过文献计量方法从历年项目数量和资助金额、NSF 部门分布、项目类型、项目资助密度、项目资助强度等角度展开分析。

2 结果与讨论

2.1 NSF 项目资助趋势分析

美国 NSF 从 2008 年开始资助软体机器人相关基础研究, 且从 2016 年开始呈现快速增长的态势, 到 2019 年进入项目资助高峰期, 并一直延续至今 (图 1)。从年度资助总金额变化来看, 却呈现出另外一种趋势, 除最初 3 年的资助金额较少外, 从 2013 年开始年度资助总金额均在 1 亿美元以上, 且不同年份之间资助总金额变化不大。这也可以看出, NSF 在软体机器人领域的初始资助以少量的大经费规模项目的集中攻关为主, 如 2008 年和 2009 年都是每年仅资助 1 项软体机器人项目, 但项目经费均高达 3 600 万美元, 2013 年资助了 3 项软体机器人项目, 其中有一项的经费达 4 000 万美元。而进入 2019 年以后, NSF 的项目资助模式已转变为大量的小经费规模项目的多点探索, 如 2019 年 NSF 共资助 681 项软体机器人项目, 资助总金额为 1.21 亿美元, 单个项目的平均资助金额仅为 17 万美元, 2022 年共资助 712 项软体机器人项目, 资助总金额为

1.19 亿美元，单个项目的平均资助金额为 16 万美元。

2.2 NSF项目资助重点分析

软件机器人是多学科交叉融合的产物，因此NSF通过 38 个部门的 64 种不同类型的项目对软件机器人从不同角度加以资助。从资助部门来看（表 1），资助项目数量最多的是信息和智能系统分部（IIS），目前共资助了 681 项软件机器人的相关研究。从资助金额来看，土木、机械和制造创新分部（CMMI）以 3.3 亿美元的资助总金额排在首位。从资助时间来看，IIS 从 2012 年开

始资助软件机器人相关研究，已持续 10 年，是 NSF 所有部门中持续时间最长的。

从项目类型来看，既包括专门支持机器人领域的项目，如NRI、RI、S&AS等，也包括支持多学科交叉研究的项目，如CPS、SI、SP、SBIR等，还包括支持机器人应用领域研究的项目，如HCC、MRI、SBIR、BMMB等。按资助项目数量排序来看，主要集中在NRI和RI这两类项目（表 2）。NRI和RI均归属于NSF信息与智能系统分部（IIS）进行管理，NRI目前已资助了 224 项软件机器人研究，资助金额达 1.6 亿美

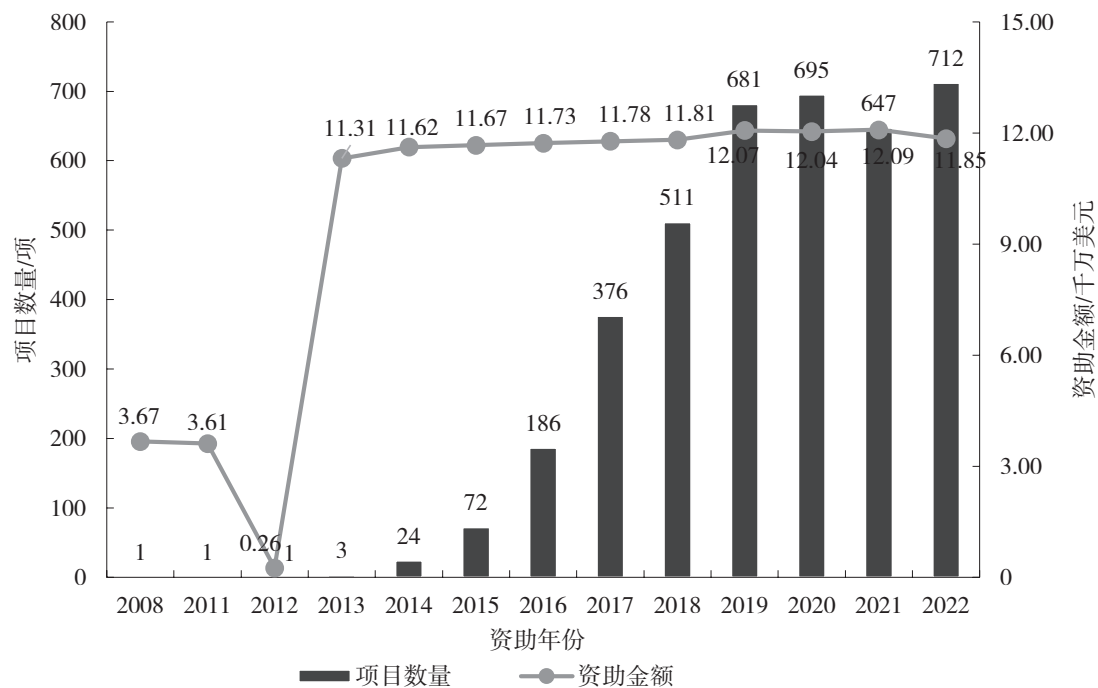


图 1 NSF 历年支持软件机器人相关技术的项目数量

表 1 NSF 资助软件机器人项目数量 TOP10 的部门

NSF 部门	项目数量/项	资助时间/年	资助金额/千万美元
信息和智能系统分部（IIS）	681	2012—2022	32.8
土木、机械和制造创新分部（CMMI）	628	2015—2022	33.0
材料研究分部（DMR）	345	2014—2022	29.6
计算机和网络系统分部（CNS）	315	2014—2022	17.2
电气、通信和网络系统分部（ECCS）	210	2015—2022	12.0
化学、生物工程、环境和运输系统分部（CBET）	206	2014—2022	8.7
数学科学分部（DMS）	164	2014—2022	4.6
计算与通信基础分部（CCF）	147	2013—2022	11.5
本科教育分部（DUE）	134	2015—2022	8.2
工业创新和合作分部（IIP）	127	2016—2020	5.8

表 2 NSF 资助软体机器人研究的 TOP 20 项目类型

项目名称	所属 NSF 部门	项目数量/项	资助金额/千万美元
国家机器人计划 (NRI)	信息与智能系统分部 (IIS)	224	15.88
稳健的智能项目 (RI)	信息与智能系统分部 (IIS)	216	10.69
动力学、控制和系统诊断项目 (DCSD)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	96	4.85
以人为中心的计算项目 (HCC)	信息与智能系统分部 (IIS)	84	5.54
小企业创新研究计划项目 (SBIR)	工业创新与伙伴关系分部 (IIP)	63	6.24
特别倡议项目 (SI)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	80	5.28
信息物理系统项目 (CPS)	计算机与网络系统分部 (CNS)	60	5.93
主要研究仪器项目 (MRI)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	53	6.27
材料与结构力学项目 (MoMS)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	50	2.77
高等技术教育项目 (ATE)	本科教育分部 (DUE)	58	4.92
人机前沿未来工作:核心研究 (FW-HTF)	信息与智能系统分部 (IIS)	42	5.13
特殊项目 (SP)	计算机与网络系统分部 (CNS)	48	6.13
能源、电力、控制和网络项目 (EPCN)	电气、通信和网络系统分部 (ECCS)	39	2.59
凝聚态物质与材料理论项目 (CMMT)	材料研究分部 (DMR)	45	2.10
先进制造计划 (AM)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	33	2.24
软硬件基础 (SHF)	计算与通信基础分部 (CCF)	40	2.21
聚合物项目 (POL)	材料研究分部 (DMR)	38	2.36
通信、电路和传感系统 (CCSS)	电气、通信和网络系统分部 (ECCS)	31	1.52
生物力学和机械生物学 (BMMB)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	34	1.91
思维、机器和电机连结 (M3X)	土木、机械和制造分部 (CMMI)	30	2.51

元, RI 资助了 216 项软体机器人研究, 资助金额为 1.1 亿美元, 这两个项目类型在项目数量和资助金额上都遥遥领先于其他项目类型。除信息与智能系统分部 (IIS) 外, 土木、机械和制造分部 (CMMI) 也有多个项目类型资助了软体机器人研究, 包括 DCSD、SI、MRI、MoMS、AM、BMMB 和 M3X, 这些均属于综合研究项目类型, 并不专门开展机器人领域研究, 但依然从不同角度资助了软体机器人的研究, 如材料、制造、控制系统等。此外, 在人才培养和成果转化环节, 主要是通过本科教育分部 (DUE) 的 ATE 项目和工业创新与伙伴关系分部 (IIP) 的 SBIR 项目来资助的。

2.3 MNSF 项目资助密度分析

NSF 资助的软体机器人项目常常出现由同一个机构在不同时期多次承担的情况, 这也体现出 NSF 对新兴技术不同发展阶段资助的持续性。采用资助密度比较了不同项目类型对新兴技术的资

助持续性, 资助密度为资助项目总数量与承担单位总数量的比值, 其中在承担单位总数量的计算时, 同一家机构在不同时期多次承担项目时, 承担单位数量计为 1。项目资助密度值越大, 表明此项目越重视对新兴技术研究的持续性资助。

对资助项目数量排在前 20 位的项目类型进行了项目资助密度的比较 (图 2)。从图 2 可以看出, NRI 和 RI 两种项目类型的资助密度均大于 2, 即平均对每家承担机构都在不同时期进行了两次资助, 重视其资助项目后续的研发并予以持续支持。如 RI 项目在 2016—2021 年期间对卡内基梅隆大学进行了 13 次软体机器人相关研究的资助, NRI 项目在 2017—2020 年期间对乔治亚技术研究公司进行了 9 次软体机器人相关研究的资助。DCSD、MoMS、BMMB、SI、HCC 和 CPS 这 6 类项目的资助密度为 1.5 ~ 2 项/个, 表明对多数承担机构进行了二次资助, 而剩余的项目类型如 SBIR、ATE、SP、AM 等的资助密度为

1 ~ 1.5 项/个, 表明这类项目仅针对少数机构进行了二次资助。

2.4 NSF项目资助强度分析

NSF不同部门对新兴技术的资助时间周期和资助金额都存在较大差异, 为了深入了解不同部门对新兴技术的资助力度, 以项目资助强度进行了分析。项目资助强度通过平均资助时间和平均

资助金额来体现, 采用四象限图加以展示, 横坐标为平均资助时间周期, 纵坐标为平均资助金额 (图3)。从图3可以看出, SP项目的资助强度遥遥领先于其他项目类型, 位于第一象限中, 此项目类型的平均资助时间为4.96年, 平均资助金额为85.07万美元, SP项目隶属于计算机与网络系统分部(CNS), 即从智能控制系统的角度资

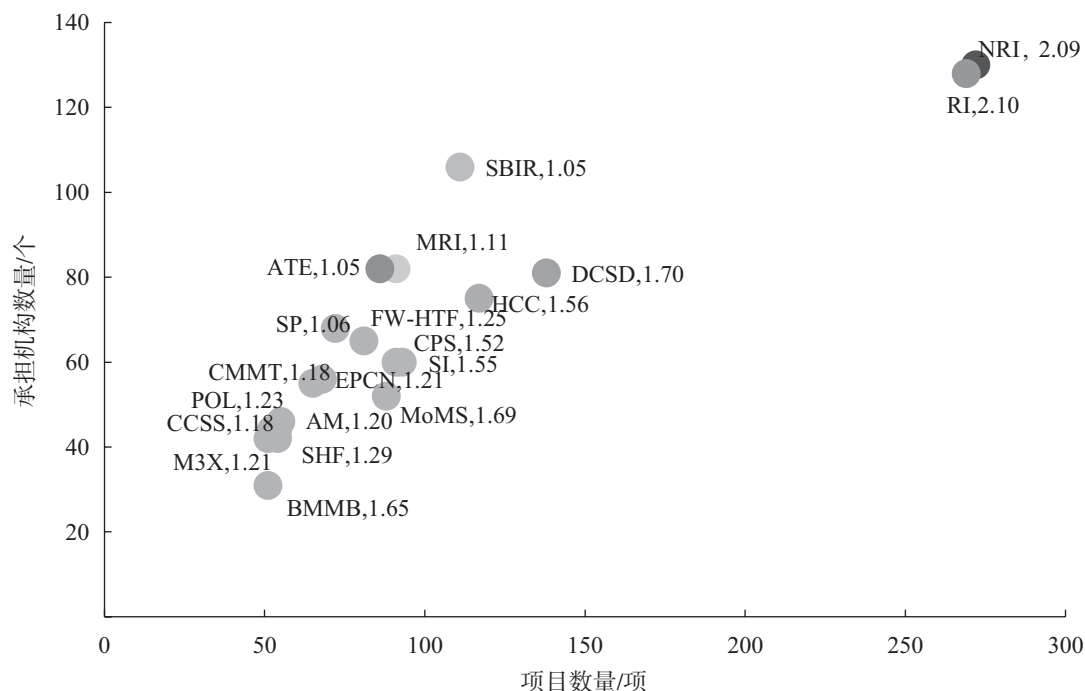


图2 TOP 20项目类型资助密度分布

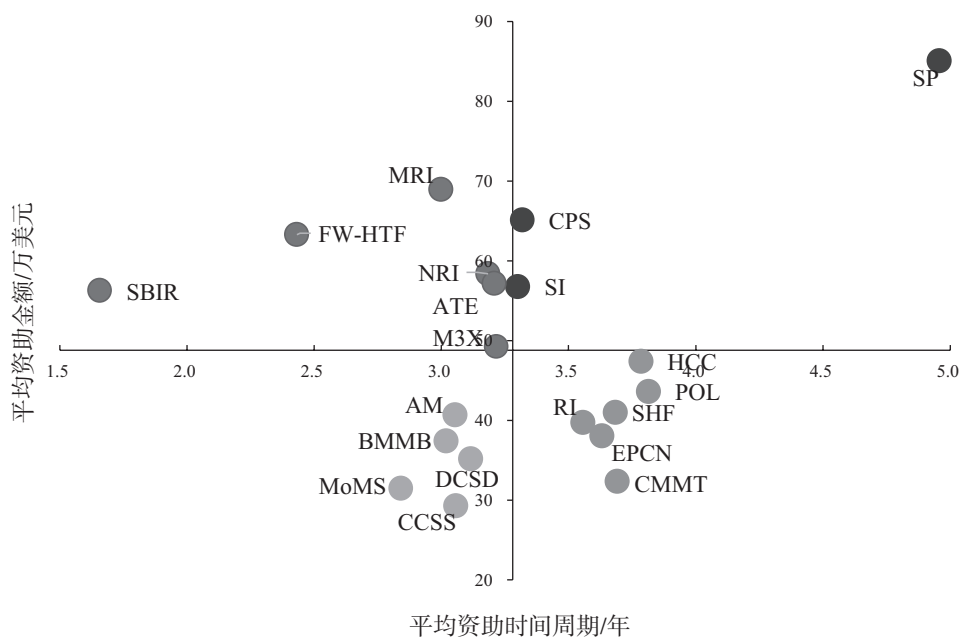


图3 TOP 20项目类型资助强度分布

助软体机器人的深入研究。位于第一象限的项目类型还有 CPS 和 SI，两者的平均资助时间较为接近，为 3.3 年左右，在平均资助金额方面，CPS 项目为 65.12 万美元，SI 项目为 56.75 万美元。位于第二象限的项目类型有 6 个，分别为 MRI、FW-HTF、NRI、ATE、M3X 和 SBIR，这些项目虽然平均资助时间在 3 年或 3 年以下，但平均资助金额多数都在 50 万美元以上，值得关注的是以促进小企业创新研究为主要目的的 SBIR 项目平均资助时间仅为 1.66 年，但平均资助金额可达到 56.25 万美元，这对于推动软体机器人的实验室研究成果快速转化为可用于市场的产品起到了极为关键的作用。位于第三象限的项目类型有 5 个，分别为 AM、BMMB、DCSD、MoMS 和 CCSS，这类技术的特点是资助时间周期和资助金额均较小，平均资助时间主要集中在 3 年以下，平均资助金额集中在 40 万美元以下，尤其是 CCSS 项目的平均资助金额仅为 29.24 万美元，是所有项目中最少的。剩余项目 HCC、POL、RI、SHF、EPCN 和 CMMT 位于第四象限，这类项目资助时间周期长但资助金额少。

综合来看，计算机与网络系统分部（CNS）对软体机器人研究的资助模式为高经费长周期，希望通过长期研究攻克软体机器人控制系统方面的难题。土木、机械和制造分部（CMMI）对软体机器人研究的资助模式为低经费短周期，主要希望通过政府的有限资助在短期内获取软体机器人本体制造方面的解决方案。材料研究分部（DMR）对软体机器人研究的资助模式为低经费长周期，其目的是在政府给予一定支持的情况下，承担机构长期开展软体机器人材料方面的创新。信息与智能系统分部（IIS）对软体机器人研究的资助则呈现出两极分化的现象：一是通过高经费短周期资助前沿技术的探索性研究，二是通过低经费长周期，资助已有技术的持续研究。电气、通信和网络系统分部（ECCS）对软体机器人研究的资助模式为低经费，这个部门开展更多的研究是软体机器人控制系统的辅助研究。本科教育分部（DUE）通过高经费短周期开展软体

机器人领域人才培养。工业创新与伙伴关系分部（IIP）通过 SBIR 项目的高经费短周期模式推动软体机器人的应用研究和成果转化。

通过资助强度的分析还可以看出，NSF 对于以软体机器人为代表的新兴技术的资助是全周期、多维度的。即从早期的人才培养到中间的基础研究再到后期的应用研究和成果转化都有相应部门通过多种类型的项目予以支持，且在中间基础研究阶段的资助是多维度的，涵盖了对不同细分技术方向研究的资助。这一针对新兴技术的资助模式，使得美国在新兴技术领域的技术创新呈现出高效、快速、高质量的优势，也正是这一模式支撑了美国在新兴技术领域的全球领先优势。

3 结语及对我国的启示

本文以软体机器人为代表深入分析了美国 NSF 对新兴技术研究的项目资助模式，得出 NSF 对新兴技术的项目资助模式为全周期覆盖、多维度同步推进、合理的经费分配以及跟踪研究进展并持续资助。这一模式将资助重点放在新兴技术萌芽时期，通过以小经费多项目的模式资助多个机构开展广泛探索性研究，加速萌芽期技术创新的步伐，促进国家抢占新兴技术创新的领先优势。此外，NSF 同样重视新兴技术的成果转化和后期应用，通过大经费少项目的模式资助已具备产业化发展的新兴技术及时进行成果转化，支撑国家在新兴技术的应用方面走在全球前列。

（1）NSF 往往从全周期视野资助新兴技术的研发。NSF 作为美国主要的科学研究资助机构高度重视对于新兴技术的研发支持，且会关注到技术研究的全生命周期，涵盖了早期的人才培养到中间的基础研究，再到后期的应用研究和成果转化。这得益于 NSF 合理的部门设置和项目类型设置，在对新兴技术的项目资助时，不同部门能够分工明确且协同高效地推动研究的进程。如在对软体机器人的项目资助中，NSF 共对 38 个部门 64 类项目进行了资助，包括支持早期人才培养的 ATE 项目，支持基础研究的 NRI、MoMS、FW-HTF、DCSD 等项目，以及支持应用研究和成果转

化的SBIR项目。

(2) NSF对新兴技术的资助表现出交叉性和多维性。NSF对新兴技术基础研究阶段的资助力度最大且表现出交叉性和多维性。在对软体机器人的资助中, NRI、CPS、SI、SP、FW-HTF等项目都是以开展交叉研究为主要目的的项目类型, 这类项目对软体机器人的资助主要从多学科交叉研究的角度进行的。此外, 也有部分项目类型是支持专门开展软体机器人某一技术方向的研究。如CMMT和POL项目支持从软体机器人本体材料方面展开研究, AM和MoMS项目支持从软体机器人结构制造方面展开研究, DCSD和CCSS项目支持从软体机器人控制系统方面展开研究。

(3) NSF对新兴技术研究全周期的经费资助呈“微笑曲线”变化。NSF在新兴技术的不同研究阶段给予不同规模的经费资助, 从技术研究的全周期来看呈现“微笑曲线”变化趋势。在对软体机器人资助强度的分析中发现, NSF对人才培养和应用研究多采用高经费资助模式, 基础研究探索阶段则主要采取低经费模式。支持人才培养的ATE项目的平均资助金额为57.17万美元, 支持应用研究和成果转化的SBIR项目的平均资助金额为56.25万美元, 两者的平均经费规模都超过50万美元。而支持基础研究探索的MoMS项目的平均资助金额为31.47万美元, CMMT项目的平均资助金额为32.32万美元, BMMB项目的平均资助金额为37.38万美元。

(4) NSF重视对同一机构进行新兴技术研究的持续资助。NSF非常重视对新兴技术持续研究的资助, 对于发展潜力巨大的研究往往会同时对同一机构进行多次资助, 从而加速新兴技术创新研究进程, 缩短研究周期。如RI项目在2016—2021年期间对卡内基梅隆大学进行了13次软体机器人相关研究的资助, 2016—2020年期间对俄勒冈州立大学进行了7次软体机器人相关研究的资助, NRI项目在2017—2020年期间对乔治亚技术研究公司进行了9次软体机器人相关研究的资助。

新兴技术是未来工业的基础, 是支撑一国经济健康和国家安全的重要基石, 已成为各国科技竞争的焦点。在新兴技术的创新研究过程中, 政府的项目资助是主要推动力量。NSF作为美国主要的科学研究资助机构显然已意识到对新兴技术资助的重要战略价值, 正紧密布局对各类新兴技术的资助。我国同样将新兴技术视为未来国家间科技竞争的关键, 可以借鉴NSF的做法实现高效、快速、高质量的推动新兴技术创新研究。

一是从新兴技术发展全周期视角开展项目资助。新兴技术虽然出现时间不长, 但发展速度较快, 在进行项目布局时需将基础研究、应用研究、成果转化以及产品的研发和应用同步考虑, 进行同步布局。NSF对软体机器人的资助就体现出这一现象, 不论是资助开展基础研究的部门, 还是资助开展应用研究的部门, 起始资助时间都集中在2012—2016年, 距今以有10年左右的资助历程。

二是根据新兴技术不同发展阶段的特征采取不同的资助模式。新兴技术的发展过程主要包括基础研究、应用研究和产品研发三大阶段, 基础研究阶段往往需要长时间的探索, 应用研究和产品开发阶段则需要加快进程抢占市场。NSF在不同阶段采取了不同的资助模式。在基础研究阶段以低经费长周期为主要资助模式, 而在应用研究和产品开发阶段则主要采取高经费短周期模式。

三是重视对新兴技术延续性研究的资助。新兴技术的基础研究是一个漫长的过程, 对于未来发展潜力大的研究需要给与更加充足的经费和时间进行支持。NSF在新兴技术项目资助过程中, 对于部分有潜力的研究进行了至少5次的持续资助, 如在2016—2021年间通过RI项目对卡内基梅隆大学进行了13次软体机器人相关研究的资助, 而在此资助下, 卡内基梅隆大学在2020年研发出水下行走软体机器人PATRICK, 2023年又研发出可在陆地和水中自适应运动的软体机器人。

参考文献

- [1] ROBINSON D K R, HUANG L, GUO Y, et al. Fore-

- casting Innovation Pathways (FIP) for new and emerging science and technologies[J]. Technological forecasting & social change, 2013, 80 (2): 267–285.
- [2] LORI P. What's new in the 2022 gartner hypecycle for emerging technologies[EB/OL].[2022-08-10]. <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>.
- [3] Department of Energy Office of Science. Top 10 emerging technologies of 2021[EB/OL].[2021-11-16]. https://www3.veforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2021.pdf.
- [4] Accelerate innovations in emerging technologies[EB/OL].[2023-02-17]. https://science.osti.gov/grants/Lab-Announcements/-/media/grants/pdf/lab-announcements/2023/LAB_23-3010.pdf.
- [5] 俞阳. 欧盟未来新兴技术计划概况及进展[J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29(4): 1–6.
- [6] 李仕明, 肖磊, 萧延高. 新兴技术管理研究综述[J]. 管理科学学报, 2007, 10(6): 12–12.
- [7] 杨春霞, 罗小安, 侯宏飞, 等. 美国国家科学基金会设施的管理及启示[J]. 中国科学院院刊, 2015(3): 347–353.
- [8] DAY G S, SCHOEMAKER P, GUNTHER R E. Wharton on managing emerging technologies[M]. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2000: 1–435.
- [9] ROTOLO D, HICKS D, MARTIN B R. What is an emerging technology?[J]. Research policy, 2015, 44(10): 1827–1843.
- [10] 鲁若愚, 张红琪. 基于快变市场的新兴技术产品更新策略研究[J]. 管理学报, 2005(3): 317–320.
- [11] 赵洪江, 陈学华, 苏晓波. 新兴技术、新技术、高新技术及高新技术概念辨析[J]. 企业技术开发, 2005(11): 40–62.
- [12] 王田苗, 郝雨飞, 杨兴帮, 等. 软体机器人: 结构、驱动、传感与控制[J]. 机械工程学报, 2017, 53(13): 1–13.
- [13] RUS D, TOLLER M T. Design, fabrication and control of soft robots[J]. Nature, 2015, 521(7553): 467–475.
- [14] WANG Y P, YANG X B, CHEN Y F, et al. A bio robotic adhesive disc for underwater hitchhiking inspired by the remora suckerfish[J]. Science robotics, 2017, 2(10): 1–9.
- [15] UMRao S, TABASSIAN R, KIM J, et al. MXene artificial muscles based on ionically cross-linked $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ electrode for kinetic soft robotics[J]. Science robotics, 2019, 4(33): 1–11.
- [16] TANG Y C, CHI Y D, SUN J F, et al. Leveraging elastic instabilities for amplified performance: spine-inspired high-speed and high-force soft robots[J]. Science advances, 2020, 6(19): 1–12.
- (上接第18页)
- [19] 卫军朝, 张春芳. 国内外科学数据管理平台比较研究[J]. 图书情报知识, 2017(5): 7–107.
- [20] 李舸, 柏永青, 王卷乐, 等. 中美地球系统科学数据共享平台对比分析[J]. 中国科技资源导刊, 2018, 50(2): 6–13.
- [21] 崔旭, 赵希梅, 王铮, 等. 我国科学数据管理平台建设成就、缺失、对策及趋势分析: 基于国内外比较视角[J]. 图书情报工作, 2019, 63(9): 21–30.
- [22] 中国科技资源共享网[EB/OL]. [2022-08-30]. <https://www.escience.org.cn/>.
- [23] 广东省科技资源共享平台[EB/OL]. [2022-12-23]. <https://www.gdkjzy.net/#/index>.
- [24] 北京大学开放研究数据平台[EB/OL]. [2022-12-23]. <https://opendata.pku.edu.cn/>.
- [25] 中国家庭金融调查与研究中心[EB/OL]. [2022-12-23]. <https://chfs.swufe.edu.cn>.
- [26] cnopendata[EB/OL].[2022-12-23]. <https://www.cnopendata.com/>.
- [27] 中国政府网. 国务院办公厅关于印发科学数据管理办法的通知[EB/OL].[2022-12-23]. http://www.gov.cn/jzhengce/content/2018-04/02/content_5279272.htm.
- [28] 徐波, 王瑞丹, 王卷乐, 等. 科技计划项目科学数据汇交共性机制研究[J]. 中国科技资源导刊, 2021, 53(1): 9–14.
- [29] 王毅萍, 马建玲. 国外科学数据影响力研究进展[J]. 图书情报工作, 2017, 61(7): 118–126.
- [30] 崔旭, 赵希梅, 王铮, 等. 我国科学数据管理平台建设成就、缺失、对策及趋势分析: 基于国内外比较视角[J]. 图书情报工作, 2019, 63(9): 21–30.
- [31] 秦顺, 邢文明. 开放·共享·安全: 我国科学数据共享进入新时代: 对《科学数据管理办法》的解读[J]. 图书馆, 2019(6): 36–42.