

· 管理纵横 ·

美国循环经济领域科技项目资助情况分析 with 启示

国佳旭 张贤* 刘家琰

国家自然科学基金委员会 中国 21 世纪议程管理中心, 北京 100038

[摘要] 随着全球绿色转型不断深入, 循环经济逐渐成为绿色技术创新前沿与国际合作热点。本文系统梳理分析了美国国家科学基金会和能源部在循环经济领域的研究资助情况, 结果表明: 美国重视循环经济科技创新, 2021 年以来投入政府经费超 7 亿美元, 重点资助生物质利用、新能源器件和关键矿产资源回收以及塑料循环利用方面的研究, 将循环经济作为支撑航空等难减排行业净零排放、新能源产业可持续发展和塑料污染治理的重要途径。美国通过加强顶层设计促进基础研究和应用基础研究协同发力, 以滚动资助培育重大成果, 运用多种资助形式深化产学研融合的做法, 对我国循环经济领域后续科技计划部署提供了有益借鉴与参考。

[关键词] 美国国家科学基金会; 美国能源部; 循环经济; 科技计划

循环经济是支撑绿色低碳转型的重要途径, 大力发展循环经济, 推进资源节约集约利用, 构建资源循环型产业体系和废旧物资循环利用体系, 对保障国家资源安全, 推动实现碳达峰、碳中和, 促进生态文明建设具有重大意义^[1]。

中美两国均高度重视发展循环经济, 并将循环经济作为合作重点领域。《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》中首先提出双方计划在“循环经济相关关键领域, 如绿色设计和可再生资源利用”开展合作, 中美《关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明》进一步落实, 聚焦“循环经济和资源利用效率”开展工作组层面对话与合作。

美国国家科学基金会 (National Science Foundation, NSF) 成立于 1950 年, 以促进美国科学进步和提高国家福利、健康与繁荣发展为目标, 是美国资助基础研究的主要机构。美国能源部 (United States Department of Energy, DOE) 成立于 1977 年, 其使命是通过变革性的科学和技术解决方案来应对能源、环境和核挑战, 确保美国的安全与繁荣。NSF 和 DOE 构成了美国政府层面对于循环经济领域科技创新资助的主渠道。

科技创新是循环经济高质量发展的核心驱动力, 对于美国循环经济领域科技项目资助情况的深



张贤 博士, 研究员。国家自然科学基金委员会中国 21 世纪议程管理中心全球环境处处长, 长期从事资源环境、可持续发展等领域的科技管理、战略研究及国际合作等工作。



国佳旭 博士, 助理研究员。国家自然科学基金委员会中国 21 世纪议程管理中心全球环境处项目主管。

入分析, 不仅有利于拓展中美科技合作, 也能够为优化我国循环经济领域科技创新布局、促进循环经济发展提质增效提供启示和参考。

1 研究边界和数据

1.1 研究边界

循环经济的概念覆盖范围广, 定义多样。欧盟将循环经济定义为“一种生产和消费模式, 涉及尽可能长时间地共享、租赁、再利用、修理、翻新和回收现有材料和产品”^[2], 美国环境保护局定义“循环经济

使材料和产品尽可能长时间地循环”^[3]。

《中华人民共和国循环经济促进法》中将循环经济定义为“在生产、流通和消费等过程中进行的减量化、再利用、资源化活动的总称”，本文研究边界以此为参考，并结合我国国家重点研发计划“固废资源化”和“循环经济关键技术与装备”重点专项任务部署的边界，聚焦(1) 产品生态设计和绿色替代；(2) 废弃物精细分类和智慧管控；(3) 源头减量和过程清洁生产；(4) 废弃物回收及利用；(5) 循环经济商业模式和政策理论等方面，不以资源化为目的的废水、废气污染处置及二氧化碳循环利用项目未在本文研究范围内。

1.2 研究数据

NSF 项目研究数据来源于其官方网站已资助项目筛选模块(<https://www.nsf.gov/awardsearch/>)，以“waste; circular economy; remanufacture; biomass; garbage; resource recovery; resource recycling; reuse; trash”为关键词检索项目开始时间为 2021 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日之间的项目，共检索出 2 076 个项目，依前文研究边界进行二次人工筛选，最终确定 464 个循环经济领域相关项目。DOE 资助情况来自于 DOE 官方网站信息汇总。

2 NSF 资助情况

2.1 总体情况

2021 年以来，NSF 在循环经济领域资助的 464 个项目中包括常规项目(standard grant)370 项，延续性项目(continuing grant)64 项，合作协定(cooperative agreement)28 项，奖学金项目(fellowship award)2 项，总经费 3.41 亿美元。

2.1.1 资助强度集中于 10~50 万美元，最高单项资助达 2 600 万美元

NSF 项目资助强度跨度较大，单项资助强度在 2 万到 2 600 万美元之间。其中资助强度在 10 万至 50 万美元的项目占比最高，共有 237 项，占总项目数的 51.1%；其次是资助强度在 50 万至 100 万美元的项目，共有 100 项，占总项目数的 21.5%；单项资助强度超过 100 万美元的项目共有 65 项(图 1A)，平均资助强度为 73.6 万美元/项，项目平均执行周期为 2.5 年。

2.1.2 资助来源覆盖 9 个部门，主要来源为工程学部

循环经济涉及领域广，项目来源覆盖了 NSF 全部 8 个学部及主任办公室(Office of the Director,

OD)。其中工程学部(Directorate for Engineering, ENG)是资助主要来源，资助项目 200 项，经费 1.79 亿美元；其次为技术、创新与伙伴关系部(Directorate for Technology, Innovation and Partnerships, TIP)资助 138 项，经费 0.79 亿美元，各学部资助情况详见图 2。STEM 教育学部(Directorate for STEM Education, EDU)和 OD 部署的项目以研究培训计

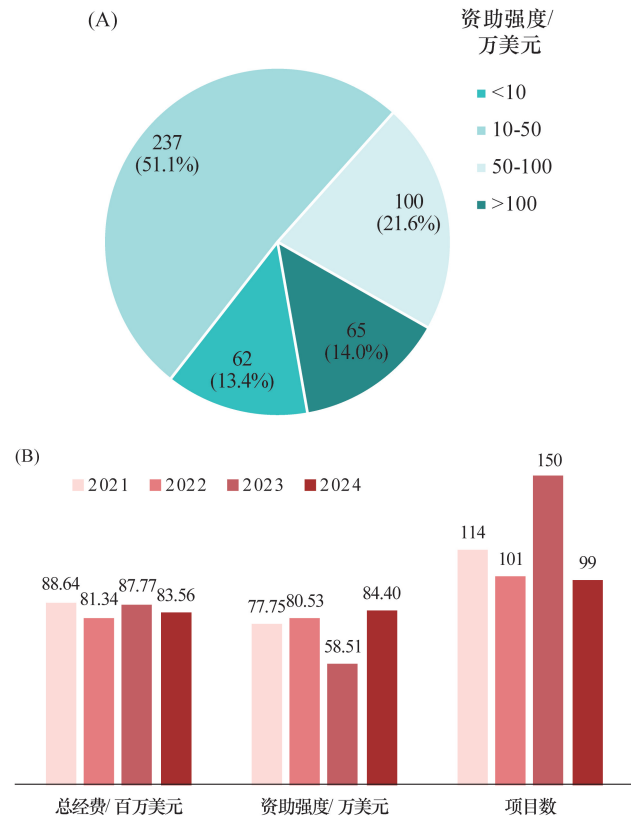


图 1 NSF 项目资助强度与各年度资助情况。
A. 不同资助强度项目数与百分比；
B. 2021—2024 年各年度资助总经费(百万美元)、资助强度(万美元)与项目数。

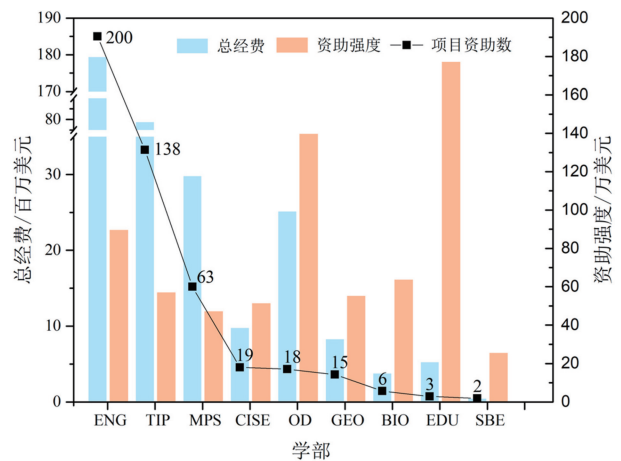


图 2 NSF 各学部资助情况。
A. 资助项目数；B. 资助总经费(百万美元)；
C. 资助强度(万美元)。

划(Research Traineeship Program)、刺激竞争性研究计划(Established Program to Stimulate Competitive Research, EPSCoR)和国际研究合作等资助强度较高的项目类型为主,导致尽管 EDU 和 OD 总经费不高,但资助强度高居前两位。

2.1.3 资助总经费保持稳定,领域优势单位不突出

2021—2024年,NSF每年在循环经济领域资助总经费稳定保持在8000~9000万美元之间,资助项目数分别为114项、101项、150项和99项(其中2024年统计截至2024年9月1日已确定立项的项目,详见图1B),共有231家研究机构获资助,获5项以上资助的单位共11家(表1),但11家单位获资助项目的研究方向相对分散。从地域分布上看(图3),东西海岸最发达的州纽约和加利福尼亚受资助项目数排名前2,分别获得52项和48项资助,而德克萨斯州、伊利诺伊州和北卡罗莱纳州由于均有超千万美元大项目布局,获资助总经费排名前三,经费总数均在2000万美元以上。

2.2 重点资助方向

通过对获资助项目摘要的分析,废高分子材料、生物质与生活垃圾等有机固废、新能源器件及关键矿产、废弃电子产品的循环利用是NSF在循环经济领域重点资助方向(表2)。

(1)美国是主要塑料制品生产国和消费国,人均塑料使用量和塑料废弃物产生量居全球首位,致力于将自身打造为先进塑料回收和升级再造技术的全球领导者^[4,5],但总体塑料回收利用率仅约5%^[6]。废塑料、废纺织品等高分子材料是NSF在循环经济领域资助项目数和总经费最高的方向,共

资助项目132项,总经费约9723万美元,该方向主要针对废高分子材料在环境中难以自然降解的问题,研究新型生物塑料替代树脂类塑料的使用、开发新型催化技术和以生物技术促进塑料的分解、发展新型转化技术将塑料转化成其他有价值的材料等,寻找有效途径解决塑料带来的环境危机。

(2)发展循环经济是支撑碳减排的重要途径^[7],美国2050净零排放目标的实现依赖于生物质生产和利用技术支撑,期望实现对生物质产业的引领^[8]。NSF在生物质等有机固废利用方面共资助项目119项,总经费7552万美元。该方向资助主要包括两个方面,一是能源化利用,包括直接利用、制备气态燃料(如沼气、生物天然气等)、制备液态燃料(如生物乙醇、生物柴油等);二是材料化利用,包括制备建筑材料、食品原料及药物中间体(如玉米蛋白胶体、蛋白质基纳米复合物等)、生物质基高分子材料(如制纺织纤维、生物油墨、纤维素纳米纸、生物活性炭、储能材料等)。

(3)在全球加速绿色低碳转型背景下,锂电、光伏等新能源产业迎来前所未有的发展机遇,美国高度重视相关产业链、供应链本土化,持续强化新能源产业发展所必需的关键矿产的回收利用^[9]。NSF资助项目中与新能源器件及关键矿产回收相关的项目达40项,总经费2722万美元,包括清洁、电力驱动的金属提取,生物湿法冶金、真菌矿化、电化学,多模态尾矿测绘工具以及基于人工智能的电池健康度评估等方面研究,以实现二次资源中关键矿产的高效回收及退役电池梯次利用。

表1 获NSF资助数超过5项的单位信息

| 单位名称 | 项目数 | 总经费(万美元) | 获资助领域 |
|---|-----|----------|-------------------------------|
| Regents of the University of Michigan-Ann Arbor | 13 | 558.9 | 废弃高分子材料、生物质 |
| Pennsylvania State Univ University Park | 9 | 307.7 | 废弃高分子材料、废弃电子产品 |
| Iowa State University | 9 | 294.5 | 废弃高分子材料、生物质、废盐 |
| University of Illinois at Urbana-Champaign | 8 | 585.8 | 动力电池及关键矿产、废催化剂 |
| University of Minnesota-Twin Cities | 6 | 819.9 | 废弃高分子材料、动力电池及关键矿产 |
| Colorado School of Mines | 6 | 455.5 | 动力电池及关键矿产,废弃高分子、生物质等有机固废,新污染物 |
| University of Colorado at Boulder | 6 | 399.8 | 废弃高分子材料和生物质等有机固废 |
| Carnegie-Mellon University | 6 | 313.8 | 废弃高分子材料、生物质 |
| University of Washington | 6 | 226.0 | 废弃高分子材料、生物质等有机固废 |
| Princeton University | 6 | 191.1 | 废弃高分子材料、生物质等有机固废和新污染物 |
| SUNY at Bufalo | 6 | 124.1 | 废旧电子产品及关键矿产、废弃高分子材料 |

2.3 重点项目分析

NSF 资助中,共 4 个项目资助强度超过 1 000 万美元,详见表 3,其中 2 项为区域创新引擎(Regional Innovation Engines)项目,1 项为可持续区域系统研究网络(Sustainable Regional Systems Research Networks)项目,1 项为工程研究中心项目(Engineering Research Center)。

区域创新引擎项目与 TIP 同步诞生于 2022 年,是由美国芯片与科学法案(CHIPS and Science Act, CHIPS)批准启动的新资助类型,旨在通过综合利用美国科技研发企业和地区资源,将科学和技术作为支撑区域经济竞争力的核心要素,用于支持基于区域产业特点的科技创新和推广应用,并通过资助各领域人员之间的合作活动来刺激经济增长。2024 年 1 月,NSF 公布了首批获得该类型资助的 10 个团队,给予每个团队前两年 1 500 万美元经费,并最高可获 10 年共 1.6 亿美元延续资助。其中 The Industrial Commons 承担的项目以北卡罗来纳州“纺织带”为中心,推动市值 960 亿美元的纺织行业向循环经济发展,通过产品生态设计、产品添加剂和新材料研发、化学和机械回收技术创新、强化民众对再生材料认同等途径,在 10 年内使美国循环产品增加 5%,将 2 亿磅的废弃物转化为循环产品。Current Innovation 承担的项目以五大湖为中心,该地区占据美国 90% 淡水资源,通过技术创新分离废水中锂、钴、镍等有价值资源和 PFAS 等污染物,构建区域循环经济,以支撑该地区水密集型工业可持续发展。

NSF 工程研究中心项目启动于 1985 年,自成立以来共资助 79 个项目,通过支持美国大学的联合研究、教育和技术转化,满足美国未来劳动力和技术需求。2022 年末,德克萨斯理工大学与凯斯西储大学、佛罗里达农工大学、佐治亚理工学院和麻省理工

学院合作获批的“推进可持续和分布式肥料生产”项目(CASFER)旨在通过开发下一代模块化和分布式的高效技术,从动物养殖场、城市污水处理厂和农业径流等废物流中提取活性氮,并将其转化成为氮肥,从而实现可持续的粮食生产,使美国从氮循环污染转向氮循环经济,从线性经济转向具有多维社会、环境和经济增长的循环经济。

可持续区域系统研究网络类型项目启动于 2021 年,聚焦区域可持续发展,整合自然科学、工程学以及教育学等学科,支撑跨学科和多组织团队开展学术研究、教育以及外联活动等,迄今为止共资助 8 个项目,总经费 3 100 万元。美利坚大学获批的“可持续粮食系统的多尺度配方”项目(Multiscale RECIPES for Sustainable Food Systems)在该类型项目中资助强度最高,达到 1 500 万美元,聚焦美国高达 40% 的严重食物浪费所引发的严峻环境污染及资源损失,对标 2030 年食物浪费减半的发展目标,厘清覆盖多尺度、多领域、多主体的食物浪费驱动因素,开发集成技术、政策、教育的效益驱动框架,构建科学精确的食物浪费与损失模拟评估量化模型,并设计制定科学、公正、可持续的解决方案。

3 DOE 资助情况

自 2021 年以来,DOE 在循环经济领域共部署 16 个项目(详见表 4),部署联邦财政经费 3.87 亿美元,已资助接近 120 个团队,平均资助强度约 240 万美元(部分项目未公布项目数和获资助团队)。近年来,美国政府将发展循环经济作为支撑国内产业链韧性、实现气候目标的重要途径,项目部署重点方向可以归纳为以下方面。

3.1 保障新兴产业供应链安全

近年来,电动汽车、风电、光伏等新能源产业规模急速发展,2023 年在阿联酋举办的联合国气候变

表 3 NSF 单项资助超 1 000 万美元的项目清单

| 项目名称 | 承担单位 | 经费(万美元) | 执行期 | 资助学部 | 研究方向 |
|--|-------------------------|---------|----------------------------|------|-------------|
| NSF Engines: North Carolina Textile Innovation and Sustainability Engine | The Industrial Commons | 1 500 | 2024 年 3 月— | TIP | 纺织品产业绿色循环发展 |
| NSF Engines: Great Lakes Water Innovation Engine | Current Innovation, NFP | 1 471 | 2026 年 2 月 | | |
| NSF Engineering Research Center for Advancing Sustainable and Distributed Fertilizer Production (CASFER) | Texas Tech University | 2 600 | 2022 年 9 月— 2027 年 8 月 | ENG | 氮循环经济 |
| SRS RN: Multiscale RECIPES for Sustainable Food Systems | American University | 1 500 | 2021 年 10 月— 2026 年 2 月 | ENG | 减少食品浪费 |

化大会 (28th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, COP28) 上, 132 个国家同意力争到 2030 年将全球可再生能源的装机容量在 2022 年基础上翻三倍至 11 000 吉瓦^[10], 相关产业成为未来竞争的焦点。美国逐渐意识到在动力电池、光伏等领域的市场规模差距, 颁布两党基础设施法案 (Bipartisan Infrastructure Law, BIL) 等, 打造本土制造产业, 并推动相关退役器件回收, 加强关键矿产资源循环利用。

DOE 在动力电池、风机回收及关键矿产资源循环利用方面, 部署经费约 2.05 亿美元。2022 年, 部署动力电池循环和梯次利用项目 (Electric

Drive Vehicle Battery Recycling and Second Life Applications), 投入联邦经费 7 398 万美元, 并带动配套经费 5 585 万美元, 资助 10 个团队开展电池拆解、二次资源利用以及电池梯次利用方面的研究与示范。2023 年, 部署电池循环, 再加工和回收 (Battery Recycling, Reprocessing, and Battery Collection) 项目, 投入 6 180 万美元联邦经费, 资助 17 个团队以拓展消费者对消费电子产品电池回收的参与, 提高电池回收的经济性, 以刺激更大的市场需求, 并支持区域电池回收项目。2024 年, 投入 1 750 万美元, 资助 4 个团队以从煤基固废、煤炭副产品等原料中提取稀土元素。

表 4 DOE 资助项目情况

| 编号 | 资助方向 | 总政府资助 (万美元) | 资助 年份 | 项目名称 | 主管部门 | 政府经费 (万美元) | 自筹经费 (万美元) | 项目数 |
|----|--------------|----------------|----------|---|----------------------|---------------|---------------|-----|
| 1 | 动力电池、 风机 | 14 528 | 2023 | Battery Recycling, Reprocessing, and Battery Collection | VTO& MESC | 6 180 | 0 | 17 |
| 2 | | | 2023 | Rare Earth Element Demonstration Facility | FECM | 800 | 200 | 1 |
| 3 | | | 2023 | the Wind Turbine Materials Recycling Prize | WETO | 150 | 0 | 20 |
| 4 | | | 2022 | Electric Drive Vehicle Battery Recycling and Second Life Applications | VTO | 7 398 | 5 585 | 10 |
| 5 | 关键矿产 | 6 000 | 2024 | Develop Regional Partnerships Supporting the Domestic Production of Critical Minerals and Materials | FECM | 6 000 | 0 | /* |
| 6 | 生物质及 有机固废 | 8 667 | 2024 | Cost-Effective Waste-to-Energy Solutions for Local Communities | BETO& VTO | 1 750 | 0 | /* |
| 7 | | | 2024 | Advance Mixed Algae Development for Low-Carbon Biofuels and Bioproducts | BETO& FECM | 1 880 | 0 | /* |
| 8 | | | 2023 | Waste Feedstocks and Conversion R&D | BETO | 300 | 0 | 2 |
| 9 | | | 2023 | Advance Hydrogen Technology That Converts Waste to Clean Energy | FECM | 1 900 | 0 | /* |
| 10 | | | 2022 | Improved Bioenergy Resource Recovery and Conversion Systems | BETO | 2 837 | 0 | 15 |
| 11 | 核燃料 回收 | 3 762 | 2022 | Projects Leading Used Nuclear Fuel Recycling Initiative | ARPA-E | 3 762 | 0 | 12 |
| 12 | 塑料回收 | 3 840 | 2022 | Combat Plastic Waste and Reduce Emissions Across The Plastics Industry | BETO | 1 340 | 0 | 7 |
| 13 | | | 2021 | Polymer Upcycling Research to Reduce Plastics Waste | Office of Science | 2 500 | 0 | 10 |
| 14 | 其他 | 1 933 | 2024 | Electronics Scrap Recycling Advancement Prize (E-SCRAP) | AMMTO | 395 | 0 | / |
| 15 | | | 2024 | The 'Re-X Before Recycling' Prize | AMMTO | 560 | 0 | / |
| 16 | | | 2023 | Reducing Embodied-energy and Decreasing Emissions | AMMTO | 978 | 978 | 14 |
| 合计 | | | | | | 38 730 | 6 763 | |

* 无公开数据信息或尚未最终资助

3.2 支撑零碳非电能源清洁发展

美国拜登总统 2021 年上任后,立即宣布重返《巴黎协定》,并在当年发布《美国实现 2050 净零排放的长期战略(The Long-Term Strategy of the United States to Reach Net-Zero Emissions by 2050)》,到 2050 年形成以可再生能源发电和电气化改造为主,以氢能、生物质能等零碳非电能源支撑航空、航运等难减排行业净零排放的转型路径^[11]。2022 年,美国发布净零游戏改变者倡议(Net-Zero Game Changers Initiative),强化生物质燃料、氢能和核能等领域科技创新^[12]。

DOE 在生物质利用和核废料处置方面共部署 1.24 亿美元。(1) 2022—2023 年,投入 3 137 万美元,资助 17 个团队,以开展城市生活垃圾的表面强化预处理、生物质衍生乙醇制备、生物和无机催化剂开发等方面的研究,以支持下一代低碳生物燃料和生物产品。2024 年,投入 3 630 万美元,资助海藻等湿垃圾制备生物燃料和生物产品以及城市废物低成本管理和资源化利用技术。(2) 2023 年部署 1 900 万美元资助煤矸石、生物质、废塑料、城市固废、工业废弃物等制备清洁燃料方面的研究。(3) 2024 年资助 12 个团队共 3 762 万美元用于核废料回收和核废料用于清洁能源发电方面的技术突破。

3.3 塑料污染治理

2022 年 3 月 2 日,联合国环境大会第 5 届会议通过 5/14 决议,决定在 2024 年底前,达成 1 项具有法律约束力的国际文书以结束塑料污染,塑料污染治理不仅是美国国内环境治理突出问题,也成为国际环境治理合作与谈判的热点。

DOE 在塑料污染治理方面共投入 3 840 万美元。2021 年,部署 2 500 万美元以升级回收聚合物,减少塑料废弃物,共资助 10 个团队开展塑料生态设计、电化学回收、可回收热固性材料制备等方面研究。2022 年,部署“打击塑料废物,减少整个塑料工业的排放”项目,投入 1 340 万美元,资助 7 个团队研究新的塑料回收工艺,以减少塑料废物,并减少一次性塑料在其生命周期每个阶段的能源消耗和碳排放。

4 对我启示

4.1 强化顶层设计,驱动基础研究、应用基础研究融合衔接

美国近年来通过发布系列国家战略,对其未来

发展路径下的科技需求、产业需求做出规划和引导,通过各项拨款法案落实对重点领域的研究经费支持,实现政府顶层设计对科学研究方向的指引。从重点研究方向上看,NSF 和 DOE 高度重合,紧紧围绕美国在循环经济领域的主要科技创新需求,开展生物质利用、新能源器件及关键矿产循环、塑料污染防治等方面的研究,客观上驱动了基础研究和应用基础研究的融合衔接和协同发力,有利于加快构建研究—应用—示范的创新链条。与此同时,美国重视通过科学研究为政府战略提供决策支撑,2024 年 5 月在美国华盛顿特区召开的中美“21 世纪 20 年代强化气候行动工作组”会议明确了中美双方将在减少食品损失和浪费、纺织品循环利用和循环经济标准方面加强合作,美国在前两者上均部署了重大科技项目。

2023 年,中国 21 世纪议程管理中心和高技术研究发展中心转隶至国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”),自然科学基金委资助基础研究、应用基础研究和人才培养的职能得到进一步强化^[13],为统筹基础研究和应用基础,整合科技资源,打通创新全链条创造了有利条件,在坚持“自由探索”和“目标导向”两条腿走路的前提下,对标国家重大需求优化我国自然科学基金重点资助方向,强化自然科学基金与国家重点研发计划研究衔接互动,有助于国家科技计划资助效能提升,更好地发挥科技对于国家重大战略的支撑作用。

4.2 用好滚动资助,培育引领产业高质量发展的重大科技创新成果

2024 年,自然科学基金委实施系列改革举措,包括开展国家杰出青年科学基金项目(简称“杰青”项目)结题分级评价及延续资助工作,对特别优秀的项目负责人予以延续资助,持续培养优秀人才,对保持杰青项目良好的社会形象及加强对杰出人才的稳定支持意义重大,获得科学界高度赞扬。同时,我国自然科学基金设立的 17 类项目中,目前只有基础科学中心和杰青等少数项目类型设立了延续资助机制,国家重点研发计划在得分超过 90 分的项目中按照不超过专项项目数 15% 的原则评选“优秀项目”,依照《国务院关于优化科研管理提升科研绩效若干措施的通知》应“对绩效评价优秀的,在后续项目支持、表彰奖励等工作中给予倾斜”,但实际执行中尚缺乏能够有效落地的延续资助机制。

相反,滚动资助已成为 NSF 常态化手段,在循

循环经济领域滚动资助项目数和经费总数均占比达到 13%，资助强度最高的区域创新引擎项目构建了培育—新生—兴起—成长的分阶段长期滚动资助体系，以打造成熟的区域产业—技术协同创新模式，DOE 也有类似项目滚动资助机制。我国科技计划应以此为借鉴，进一步完善滚动支持机制、扩展滚动支持的项目类型，更好发挥滚动支持机制在保持优秀研究团队稳定、推动科学研究迈向“四极”、强化研究系统性贯通等方面的作用，促进技术链、产业链、创新链深度融合，培育能够为区域、领域发展提供核心支撑的重大科技创新成果。

4.3 丰富资助类型，推动产学研深度融合和成果加速转化

2022 年，NSF 成立 TIP，推动关键技术和新兴技术的发展，加快科研成果从实验室向市场和社会的转化^[14]。NSF 对循环经济领域项目支持中，TIP 资助的项目数近 30%，总经费均超过 20%，通过创新团队 (I-Corp)、小企业创新研究 (Small Business Innovation Research, SBIR)、创新伙伴关系 (Partnerships for Innovation)、融合加速器 (Convergence Accelerator) 等多种类型项目，一是提高研究人员的创业意愿，促进研究的经济与社会效益转化，二是支持“高风险、高回报”项目来增强美国小企业的创新能力，三是为工业界和学术界之间建立合作关系、加速 NSF 资助的研究和技术的商业化，缩短基础研究到转化应用的周期，四是利用科技型企业 and 地区资源禀赋，培育创新技术生态系统，促进创新型劳动力发展。

我国国家自然科学基金设立了企业联合基金，旨在引导与整合社会资源投入基础研究，将企业的实际需求凝练转化为科学问题，汇聚优势科研力量开展科研攻关，推动我国相关领域、行业、区域自主创新能力的提升。国家重点研发计划中设立了科技型中小企业项目，精准支持具备条件的科技型中小企业承担国家科技任务，开展关键核心技术攻关，引导创新要素向企业聚集。以上都是我国强化企业创新主体地位、加强产学研合作、加速成果转化落地的实际举措，但在实践中，相关资助总体体量不高，企业联合基金和科技型中小企业项目体量在对应科技计划中经费占比不足 1%^[15]，产学研合作中科研人员负责前端研发，企业负责转化应用的线性合作模式仍是主流。

参考美国 NSF，丰富资助类型或成立专门的资

助部门，加快培养一批研发能力强、技术水平高、科技人才密集、能够形成核心技术产品等“四科”特征明显的科技型企业，推动产学研深度融合，促进成果加速转移转化，对于支撑循环经济领域科技创新迈上新台阶具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 国家发展改革委. “十四五”循环经济发展规划. (2021-07-01)/[2024-06-23]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/07/content_5623077.htm.
- [2] European Parliament. Circular economy: definition, importance and benefits. (2023-05-24)/[2024-06-23]. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>.
- [3] U. S. Environmental Protection Agency. What is a circular economy?. (2024-06-23)/[2024-06-23]. <https://www.epa.gov/circulareconomy/what-circular-economy#what>.
- [4] The White House. National Strategy for Reducing Food Loss and Waste and Recycling Organics. (2024-06)/[2024-06-23]. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/06/NATIONAL-STRATEGY-FOR-REDUCING-FOOD-LOSS-AND-WASTE-AND-RECYCLING-ORGANICS_6.11.24.pdf.
- [5] Organization for Economic Co-operation and Development. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 2022.
- [6] Milbrandt A, Coney K, Badgett A, et al. Quantification and evaluation of plastic waste in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 183: 106363.
- [7] Yang MY, Chen L, Wang JJ, et al. Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, 2023, 21(1): 55—80.
- [8] Bioenergy Technologies Office. New assessment shows that America's abundant supply of renewable resources can produce enough sustainable aviation fuel to exceed projected 2050 market demand. (2024-03-15)/[2024-06-23]. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/department-energy-releases-report-outlining-how-america-can-sustainably>.
- [9] Bird R, Baum ZJ, Yu X, et al. The regulatory environment for lithium-ion battery recycling. *ACS Energy Letters*, 2022, 7(2): 736—740.
- [10] United Nations Climate Change. COP28 delivers historic consensus in DUBAI to accelerate climate action. (2023-12-13)/[2024-06-23]. <https://www.cop28.com/en/news/2023/12/COP28-delivers-historic-consensus-in-Dubai-to-accelerate-climate-action>.

- [11] The United States Department of State and the United States Executive Office of the President. The long-term strategy of the United States. (2021-11-18)/[2024-06-23]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>.
- [12] The White House. U. S. Innovation to meet 2050 climate goals. (2022-11)/[2024-06-23]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/U.S.-Innovation-to-Meet-2050-Climate-Goals.pdf>.
- [13] 杨智杰, 窦贤康: 让最有活力的科学家得到稳定支持. (2023-08-06)/[2024-06-23]. <https://www.nsf.gov/publish/portal0/tab440/info90007.htm>.
- [14] 雒景瑜, 陈婧. 美国国家科学基金会新学部项目设置对科学基金资助应用基础研究的启示. 中国科学基金, 2024, 38(2): 328—334.
- [15] 郝红全, 杨好好, 赵英弘, 等. 2023年度国家自然科学基金项目申请、评审与资助工作综述. 中国科学基金, 2024, 38(1): 2—7.

Analysis of S&T Innovation Funding in the Field of Circular Economy in the United States and Its Inspirations

Jiaxu Guo Xian Zhang* Jiayan Liu

The Administrative Center for China's Agenda 21, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100038

Abstract As the acceleration of the global transition to green, circular economy has become the forefront of green technology innovation and an active area of international cooperation. In this paper, the S&T funding of National Science Foundation (NSF) and Department of Energy (DOE) of the US in the field of circular economy is systematically analyzed. The results show that the US invested more than \$700 M to develop S&T of circular economy since 2021, mainly funding research on biomass utilization, new energy devices, key mineral resource recycling and plastic recycling to support net-zero emissions of hard-to-reduce industries such as aviation, sustainable development of emerging industries and control plastic pollution. Leading the convergence of basic research and applied basic research, cultivating major achievements with rolling funding, and expanding the channels that bring together enterprises, universities, research institutes through various forms of projects are good practices, which provide useful reference for the subsequent deployment of S&T plans in the field of circular economy in China.

Keywords National Science Foundation; United States Department of Energy; circular economy; Science-and-Technology Projects

(责任编辑 陈鹤 张强)

* Corresponding Author, Email: zhangxian@acca21.org.cn