

Science & Technology Frontiers

科技前沿快报

国家高端智库
中国科学院

2021年12月5日

本期要目

美国能源部报告揭示其在基础能源科学领域的竞争力

欧洲核子研究中心发布首个量子技术计划战略路线图

美国 NIH 启动细胞衰老网络计划

美国能源部资助推进电网交互高效建筑

英国发布首份国家航天战略

2021年
总第 090 期 第 12 期

目 录

深度关注

美国能源部报告揭示其在基础能源科学领域的竞争力	1
-------------------------------	---

基础前沿

欧洲核子研究中心发布首个量子技术计划战略路线图	4
德国联邦政府推进量子计算机发展	6
美国 DARPA 发布量子启发经典计算计划	7

信息与材料制造

欧盟委员会资助 7.4 亿欧元推动绿色转型	8
日本绿色创新基金关注氢气炼钢	9

生物与医药农业

美国 NIH 启动细胞衰老网络计划	10
-------------------------	----

能源与资源环境

美国能源部资助推进电网交互高效建筑	11
美国能源部发布矿产可持续发展多年期计划	13
美国能源部资助 2 亿美元支持先进动力电池技术研发	19
美国能源部部署先进太阳能发电研发项目推进电力系统脱碳	20
美国能源部资助海上风电可持续开发利用	21
日本 NEDO 资助二氧化碳资源化利用先进技术开发	22
日本 NEDO 资助先进氢/氨动力船舶技术	23
美国 NOAA 资助 1.7 亿美元用于气候科学与社区恢复力	24
英国 BEIS 制定净零研究与创新框架	26

空间与海洋

英国发布首份国家航天战略	28
--------------------	----

深度关注

美国能源部报告揭示其在基础能源科学领域的竞争力

2021年10月，美国能源部（DOE）发布《美国能否在基础能源科学领域保持竞争力？——关键研究前沿与战略》报告¹，考察了美国在基础能源科学关键研究领域、主要研究设施和工具以及资助机制方面的竞争力，重点评估了能源应用科学、能源和信息科学、可持续工业相关科学、量子信息科学和先进研究设施等5个关键研究领域的竞争力。

一、基础能源研究的关键领域

1、量子信息科学，包括量子计算、量子通信、量子模拟和量子传感。这四大支柱在基础能源科学领域中都有许多科学应用。量子计算和量子模拟的方法学发展将大大扩展理解和控制非平衡系统动力学的能力，包括预测强关联电子系统的能量学和动力学，这是理解化学反应和催化行为以及生物学中酶和光合系统的一项重要任务。用于计算和模拟材料的量子算法，使得凝聚相系统的基础研究具有超越经典计算机的能力。利用纠缠和压缩等量子概念可以显著提高测量精度。量子光子技术为成像和生物光子学带来了新的机遇。

2、能源应用科学，包括储能、膜、界面和可持续燃料。对电池的新的基础理解，包括恶劣条件下电子、原子和离子在材料中的迁移，研究新的电化学反应，关注复杂动态界面的表征和理解，以及发现电池组件的新材料（阳极、电解质和膜）等，将推动未来电能存储技术的深刻进步，例如更高的能量密度、效率、可靠性和可持续性，更好地改善人类生活质量，实现太空旅行等不可预见的目标。能源的生产、收集和储存过程和装置需要多种不同的膜，膜的研究聚焦密闭空间中扩散的基本

¹ Can the US compete in basic energy sciences? https://science.osti.gov/-/media/bes/pdf/reports/2021/International_Benchmarking-Report.pdf?la=en&hash=20462D6E20BAEBEB3F51A9064BF8C157B4613BAD

原理，开发和合成能承受电池和燃料电池中恶劣条件的新型聚合物，对离子和目标物种具有选择性亲和力的材料成分，具有防污性能的表面等。

3、能源和信息物质，包括量子材料、介观科学、纳米科学和神经形态计算。摩尔定律正在失效，晶体管尺寸的缩小已经达到了极限。未来技术的发展方向尚不确定，但量子材料很可能是其中一环。量子材料为科学技术开辟了巨大的可能性，每十年左右发现一类新的电子材料或控制材料中电子性质的新方法，这使得量子材料成为美国必须保持竞争力的领域之一。

4、促进可持续发展的工业相关科学，包括聚合物的化学升级再造、电催化、碳捕获和变革性制造。聚合物的化学升级再造旨在通过更便宜、更便利地使用升级再造材料制造更高价值产品，从而大幅减少制造新聚合物材料的需求，这一跨学科挑战将推动化学催化、界面现象和聚合物科学的进展。电化学的基础研究目前正在解决将燃料转化为电能所面临的挑战，包括从理解化学过程到创造新材料，这一领域的工作将为实现交通电气化、日用化学品的可持续生产以及太阳能利用提供新的途径。

竞争力分析：对上述 4 个关键领域前 20% 高被引论文的分析清楚表明，美国正在输给外国竞争对手，甚至在某些情况下已经落后。在分析前 5% 高被引论文时，美国的相对地位有所提高，但定性趋势仍然相似。例如，在新兴的量子信息科学领域，欧盟显然处于领先地位，中国和美国紧随其后。在其他研究领域，中国正在成为世界领先者。这些领域领导地位的变化对应着中国研究投资的快速增长和美国研究投资的持平，这表明关键领域的投资对领导地位有重大影响。

5、先进研究基础设施，包括同步加速器和自由电子 X 射线源、反应堆和散裂中子源、电子显微镜设施、纳米级研究中心和高性能计算。

竞争力分析：通过高被引论文分析这些设施的使用情况，结果表明，

设施的使用因各个子领域而异，而地理位置的接近是设施使用的主要决定因素。尽管如此，美国在量子材料等特定研究领域的设施仍保持卓越地位，因为世界各地的研究人员对其广泛的使用。

X 射线同步加速器发展迅速。过去 20 年，这些设施中的实验站在全球范围内翻了一番，达到 875 个，而美国的实验站数量基本保持不变，为 186 个。其结果是美国的产能严重受限，限制了研究进展，并使外国设施更具吸引力。目前的同步加速器升级将暂时恢复美国在光源亮度方面的领先地位，但该领先地位仅能保持到其他新的国外设施完工之前。

美国建造了世界上第一座 X 射线自由电子激光设施，目前正在扩建和升级该设施，以确保至少在短期内的技术领先地位。欧盟也在升级其 X 射线自由电子激光设施并扩大其实验站；中国正在建设的 X 射线自由电子激光设施，将提供与美国类似的技术质量，但有更多的实验站和用户容量。

美国在散裂中子源方面也有可能落后，因为欧洲正在建设中的新设施和扩大的实验站。此外，由于美国高通量反应堆中子源需要升级或更换，因此，反应堆中子源的领导地位也面临风险。

二、走向成功的战略

提高美国基础能源科学竞争力势在必行，报告建议了四大战略。

1、增加对基础能源科学研究的投资，包括在大学和国家实验室部署研究项目、先进的研究设施和仪器。

2、将对职业早期和中期科学家的支持提升到与其他领先项目相当的水平，以便更好地吸引和留住人才。

3、为高级研究机构的科学家提供更多机会，为他们的科学事业提供更多发展空间，留住人才，使其为仪器开发和设施改进释放创造力。

4、更好地整合能源科学研究，从基础研究到应用研究再到产业研究。

三、建议

1、加强对先进科研基础设施的投资，包括实验室和大型仪器，以增强美国的竞争力。

2、在发展世界领先设施的必要性以及获得现有设施和技术支持的必要性之间取得平衡，以提高研究影响，有助于留住有才华的科学家。

3、建立机制以大幅提高对所有职业阶段科研人员的资助，创造一条更加可持续的职业发展道路，从而增强美国的人才竞争力。

4、在计算和数据分析方法以及计算机硬件和架构方面给予额外投资，这将在基础研究和未来应用方面产生重大潜力。

5、加强选定领域的国际合作，有可能提高美国的竞争力。

6、促进基础研究、应用启发（use-inspired）的研究、应用研究和产业研究之间的互动，可加快基础研究向有利于社会、有影响力的技术的转化。

（黄龙光）

基础前沿

欧洲核子研究中心发布首个量子技术计划战略路线图

2021年10月14日，欧洲核子研究中心（CERN）量子技术计划发布了中长期量子研究计划的首个路线图²。该路线图详细说明了 CERN 量子技术计划的目标和战略，并概述了其管理架构及其国际顾问委员会的组成，以及促进与高能物理和其他量子技术领域的知识和创新交流活动。CERN 量子技术计划的4个主要目标是：科学技术发展和能力建设，共同开发，社区建设，与国家和国际的计划并合。

1、量子计算和算法路线图。将量子计算的现有应用扩展到高能物

² The CERN Quantum Technology Initiative unveils its strategic roadmap shaping CERN's role in the next quantum revolution. <https://quantum.cern/news/press-release/cern-quantum-technology-initiative-unveils-its-strategic-roadmap-shaping-cerns>

理领域的工作流程和算法；建立研发项目，以适应或设计量子平台的算法，并对其当前和潜在性能进行基准测试；基于现有的分布式计算专业知识，设计和部署用于量子计算和模拟的分布式基础设施，使研究人员能够轻松访问资源和工具。

2、量子理论与模拟路线图。确定与高能物理相关的量子模拟的可能应用，特别是在对撞机物理和量子色动力学（QCD）相图模拟领域，目的是支持全球范围内探索和测量标准模型和超出标准模型物理的实验工作；借助量子技术可以提供优于经典方法的优势，协助量子计算和量子传感活动以识别参数空间在理论上有希望的区域；利用基于 CERN 的晶格 QCD 专家和高性能计算小组的高性能计算专业知识，根据最先进的经典计算对量子模拟的当前和潜在性能进行基准测试；举办研讨会、暑期研究所等，利用 CERN 理论部门的基础设施和专业知 识，与其他研究所、国家实验室和公司建立全球合作，并确定最适合即将应用的量子技术。

3、量子传感、计量和材料路线图。鼓励在与低能粒子物理和高能粒子物理领域特别相关的领域获得和传播量子传感方面的专门知识；开发一系列量子传感方法，包括小规模原子、分子物理与光学（AMO）实验，重点放在可能受益于 CERN 基础设施的低能粒子物理测量方面；确定特别有前途的技术，重点关注少数在高能物理中具有新应用潜力的开发项目；与其他机构或公司协调合作建立共同研发项目，以适应或开发技术本身以及量子传感方法的新测试系统，并对其当前和潜在性能进行基准测试。

4、量子通信和网络路线图。在安全、隐私保护和医疗等领域，与研究和行业合作伙伴合作，确定并支持特定用途的用例；识别、扩展、共同开发与量子基础设施相关的技术，如时间同步和时钟、光子源、激光技术；正式参与泛欧量子基础设施，提供运营和技术支持。（黄龙光）

德国联邦政府推进量子计算机发展

2021年9月29日，德国联邦教研部（BMBF）资助的“光子集成量子计算机”（QPIC-1）项目启动³。未来4年，该项目将在慕尼黑工业大学的领导下，由5所大学、2家科研机构 and 1家企业共同完成，研究基于光子的量子计算机。QPIC-1项目的资助总额为1530万欧元，经费来自联邦政府的“经济刺激和未来一揽子计划”。

QPIC-1项目是联邦教研部在2021年夏季发布的、总额为1.1亿欧元的资助计划“量子处理器和量子计算机技术”的资助项目之一。目前，该计划已资助了8个研究新型量子处理器的大型项目。这些项目采用原子阱、离子阱、超导体、半导体和光子等不同技术，构成了未来实用型量子计算机的基础。

1、技术方法：纠缠光子。QPIC-1项目（2021年9月1日~2025年8月31日）使用集成光子单向量子计算机概念，依靠光子开发量子处理器。这种单向系统与初始存在的纠缠量子态一同工作，通过对该状态的测量执行实际计算。这一过程是不可逆的，因此称为“单向”。

2、技术方法：原子阱。“具有里德堡原子的量子计算机”（QRydDemo）项目（2021年2月1日~2025年1月31日）研究如何将里德堡原子分组到二维光阱结构中，以及如何通过有针对性的纠缠和移动有效地执行逻辑运算，从而将相干时间比现有技术水平提高三个数量级。“费米子量子处理器”（FermiQP）项目（2021年8月1日~2025年7月31日）目标是为量子模拟和数字量子计算开发强大的示范机器。德国在超冷原子量子模拟领域具备多年经验。

3、技术方法：离子阱。“可扩展的高频控制离子量子计算机”（MIQRO）

³ Karliczek: Werkzeugkasten zur Förderung des Quantencomputing vorerst komplett. <https://www.bmbf.de/bmbf/s-haredocs/pressemitteilungen/de/2021/09/290921-Quantencomputer.html>

项目（2021 年 5 月 1 日~2025 年 4 月 30 日）将开发一种根据模块化原理、由“量子核”组成的量子计算机。借助高频波，计算的基本步骤，即逻辑运算在量子核中受到控制。“连接高性能计算的离子量子处理器”（IQuAn）项目（2021 年 1 月 1 日~2024 年 12 月 31 日）探索一种新的、具有高量子比特连接的可扩展性方法，通过移动和重新组合离子，将小型寄存器中的单个光寻址与多个寄存器的连接和动态排列相结合。

4、技术方法：超导体。“数字-模拟量子计算机”（DAQC）项目（2021 年 2 月 1 日~2025 年 1 月 31 日）通过模拟型计算模块的稳固性来弥补数字电路的灵活性，目标是制造并连续运行数字-模拟量子计算机以及相关的校准和控制技术。“基于超导量子比特的德国量子计算机”（GEQCOS）项目（2021 年 2 月 1 日~2025 年 1 月 31 日）探索一种基于超导电路的量子比特连接新方法，实现多个量子比特的运算，提高相干时间，以实现比以往更广泛的量子操作。

5、技术方法：半导体。“基于飞梭可扩展架构的半导体量子处理器”（QUASAR）项目（2021 年 2 月 1 日~2025 年 1 月 31 日）的目标是微架构的实现与示范，利用德国现有的半导体技术，克服以往在量子水平上的几何尺寸的限制。Si/SiGe 量子阱作为技术基础，其量子比特的再现性已被证明。

（葛春雷）

美国 DARPA 发布量子启发经典计算计划

2021 年 10 月 4 日，美国国防高级研究计划局（DARPA）发布了“量子启发经典计算”（QuICC）项目⁴，旨在从量子算法基准中获得的经验，为一系列复杂的国防部优化问题开发量子启发求解器，创造一种全新的经典计算方式，并至少提升 500 倍的计算性能。

⁴ Solving Defense Optimization Problems with Increased Computational Efficiency. <https://www.darpa.mil/news-events/2021-10-04>

目前，量子启发求解器的原型已在规模较小的计算问题中进行了演示。为了解决更大规模、与国防部更相关的计算问题，QuICC 计划必须解决多种技术挑战，包括限制动态系统之间连接的模拟硬件设计，以及随计算规模急速增长的数字资源消耗问题。

为了克服这些挑战，研究人员将在两个技术领域进行探索。一是聚焦开发求解器算法，并创建一个框架来评估量子启发求解器的潜在性能。二是聚焦开发量子启发动态系统硬件以及验证其性能的模式。QuICC 的进展将根据包括计算效率在内的一系列关键指标来衡量。（杨况骏瑜）

信息与材料制造

欧盟委员会资助 7.4 亿欧元推动绿色转型

2021 年 10 月 12 日，欧盟委员会分别在“地平线欧洲”计划的“气候中立、循环及数字化生产 2022”主题和“数字化、资源高效、充满韧性的产业 2022”主题开放了 13 个和 22 个研究项目，以推动绿色转型，提升欧盟竞争力并促进经济增长⁵。

1、“气候中立、循环及数字化生产 2022”主题。13 个项目分布于流程工业研究创新（Processes4Planet）、欧洲制造（Made in Europe）、钢铁清洁生产等三大伙伴关系计划，总投资 3.35 亿欧元。Processes4Planet 项目包括城市环境中固体废物的循环流动、将一氧化碳/二氧化碳转化为具有价值的产品、化学品和材料生产的新电化学转化路线、氢在工业应用中替代矿物燃料等 4 个项目。Made in Europe 项目包括支持循环经济工程的数字工具、快速可重构生产流程链、具有复杂功能表面的产品、卓越的分布式控制和模块化制造、全生产线中的智能工件处理、中小企

⁵ New Horizon Europe calls under Cluster 4 – Destinations 'Resilient Industry' and 'Green and digitised production' – are now open. https://hadea.ec.europa.eu/news/new-horizon-europe-calls-under-cluster-4-destinations-resilient-industry-and-green-and_en

业制造业可持续发展的 ICT 创新等 6 个项目。钢铁清洁生产项目包括洁净钢生产的原材料准备、钢铁生产中的模块化和混合加热技术等 2 个项目。此外还包含一个建筑物数字日志演示创新活动项目。

2、“数字化、资源高效、充满韧性的产业 2022”主题。22 个项目分别归于研究与创新活动（RIA）、创新活动（IA）、协调与支撑活动（CSA）以及预商用采购活动（PCP）等 4 种类型，总投资 4.02 亿欧元。RIA 项目包括支持欧盟向气候中性过渡的采矿全生命周期地球观测技术、用于跟踪复杂供应链中原材料流动的技术解决方案、用于节能结构的先进轻质材料、功能性多材料成分和结构、先进（纳米）电子元件和系统的创新材料、通过数字化实现循环和低排放价值链、深海勘探和未来开发活动监测和监督系统、绿色安全的有机及复合涂料、超级电容器储能新材料、高级材料建模与表征、医疗卫生领域的智能多功能生物材料等 11 个项目。IA 项目包括可持续的未来矿山、原材料加工过程中矿物和金属副产品高效利用及回收的创新解决方案、面向小规模采掘企业的数字平台、利用先进材料进行建筑和翻新、气候中性和循环创新材料技术开放式创新试验台、高性能气体分离薄膜、通过数字化优化工业系统和生产线等 7 个项目。CSA 项目包括精简环境保护区内采掘业的跨部门政策框架、支持中小企业向可持续发展的创新转型、数字技术标准等 3 个项目。PCP 项目包括通过预商用采购促进绿色经济复苏和战略数字技术的开放式战略自主一个项目。 (黄健)

日本绿色创新基金关注氢气炼钢

2021 年 9 月，日本经济产业省（METI）根据能源结构转型领域工作组讨论和收集的公众意见，制定了“氢气在炼钢过程中的使用”研发与社会实施计划。该实施计划是经济产业省绿色创新基金首批关注领

域之一，预算金额上限为 1935 亿日元（约合 108 亿元人民币），包括两个主要研究内容⁶。

（1）开发高炉氢气还原技术。通过开发铁矿石氢气还原、回收的二氧化碳再利用等技术，减少 50% 以上的碳排放，实现高炉脱碳。

（2）开发氢气直接还原铁矿石的炼钢技术。直接还原法通过将所有的还原气体都替换为氢气，无需碳捕集与利用等外围技术即可实现脱碳。通过开发氢气直接还原铁矿石、电弧炉除杂质等技术，在直接氢还原炉中生产优质钢材。

为达成 2050 年底实现碳中和的战略目标，经济产业省在 2021 年 3 月设立了 2 万亿日元（约合 1100 亿人民币）的绿色创新基金，旨在推动低碳绿色技术从研发到示范，再到成果的社会化推广。为确保基金正确、高效运行，产业结构理事会下属的绿色创新项目委员会将确定“各领域资金分配方针”，并在此基础上制定“研发与社会实施计划”。（黄健 万勇）

生物与医药农业

美国 NIH 启动细胞衰老网络计划

2021 年 10 月 20 日，美国国立卫生研究院（NIH）针对人体内存在的一种被称为“衰老细胞”（senescent）的罕见非分裂细胞启动了一项细胞衰老网络（SenNet）计划⁷，将在 5 年内为 16 家机构提供 1.25 亿美元的资助。

这种“衰老细胞”会随年龄的增长在人体内少量积累，通过释放分子影响邻近细胞，既具有促进伤口修复、抑制肿瘤生长的积极作用，也

⁶ An R&D and Social Implementation Plan for "Hydrogen Use in Steelmaking Processes" Projects Formulated. https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0914_001.html

⁷ NIH launches program to map a rare type of non-dividing cells implicated in human health and disease. <https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-launches-program-map-rare-type-non-dividing-cells-implicated-human-health-disease>

具有导致心血管疾病和神经退行性疾病等慢性衰老疾病的负面作用。该计划将全面识别和表征在人体不同组织器官中、不同健康状态下及生命周期不同阶段的衰老细胞的差异，最终将建立一个衰老细胞图谱，供公开检索和访问，以促进基于衰老细胞的新疗法开发，充分利用这类细胞的积极作用，同时抑制其组织损伤的负面作用。

该计划提供的 16 项资助中，8 项资助将用于创建“SenNet 组织图谱中心”，致力于识别人类衰老细胞的生物标志物，进而构建涵盖整个生命周期和生理状态的高分辨率衰老细胞图谱。7 项资助将用于支持技术开发与应用，这些项目将致力于开发新的分析方法和技术，用于研究人体组织中的衰老细胞。1 项资助将用于建立联盟组织和数据协调中心，该中心将作为整个计划实施的组织中心，负责收集、存储和管理计划中涉及的数据、工具和模型。

（杨若南）

能源与资源环境

美国能源部资助推进电网交互高效建筑

2021 年 10 月 13 日，美国能源部（DOE）宣布资助 6100 万美元支持 10 个试点项目推进电网交互高效建筑（GEB）技术，以将数以千计的家庭和公共场所改造成最先进的节能建筑⁸。这 10 个“互联社区”将为 7000 多栋建筑配备智能控制、传感器和分析，以减少能源使用、成本和排放。互联社区是一组具有多样、灵活的终端使用设备和其他分布式能源的电网交互式高效建筑，致力于最大化建筑、社区和电网性能，同时满足居住者的舒适度和其他需求。入选的 10 个试点项目包括：

（1）美国电力科学研究所将把经济适用房中的多户型建筑改造为

⁸ DOE Invests \$61 Million for Smart Buildings that Accelerate Renewable Energy Adoption and Grid Resilience. <https://www.energy.gov/articles/doe-invests-61-million-smart-buildings-accelerate-renewable-energy-adoption-and-grid>

电网交互高效建筑，展示以不同的方式使建筑脱碳，使其更具弹性，资助金额为 527 万美元。

(2) IBACOS 公司将部署一个可优化 1000 个新建和现有住宅中分布式能源综合使用的协调控制计划，资助金额为 665 万美元。

(3) 开放市场 ESCO 有限责任公司将为 20 多个中低收入公寓社区进行更经济实惠的翻新工程改造，从而带来效率提升、需求灵活及可再生能源发电与储能等方面的益处，资助金额为 665 万美元。

(4) 太平洋公司将在全电力建筑和公共交通运输中心的多元化社区建立一个管理太阳能光伏、电池和电动汽车充电的计划，配备最新的市场领先的高效技术，以优化集体能源使用并提供大规模电网服务，资助金额为 642 万美元。

(5) 波特兰通用电气公司将翻新波特兰北部服务水平不足的社区中的 500 多座建筑物，通过众多能效措施和联网设备为电网提供一系列能源服务来减轻能源负担，资助金额为 665 万美元。

(6) 邮政公路基金会将研究一种新型交互能源服务系统，以协调分布式能源、当地能源市场和三个农村社区建筑物之间的通信及能源优化能力，资助金额为 665 万美元。

(7) Slipstream 集团股份有限公司将改造威斯康星州麦迪逊的大约 15 个设施，以实现公共和住宅建筑等多种建筑规模上的能效升级，资助金额为 518 万美元。

(8) 斯波坎江户有限责任公司将利用分布式能源技术扩大住宅和商业建筑中的灵活负荷，释放高达 2.25 兆瓦的能源需求灵活性，资助金额为 665 万美元。

(9) 太阳能源公司将在加利福尼亚州的两个全电力住宅社区进行改造，配备太阳能、家庭能源管理系统和社区规模的电池存储，符合

DOE 的零能源住宅标准，资助金额为 665 万美元。

(10) 俄亥俄州立大学将研究俄亥俄州立大学现有的校内互联社区，在网络和数据安全环境中，通过各种电网交互技术提供必不可少但被忽视的辅助电网服务能力，资助金额为 420 万美元。 (刘莉娜)

美国能源部发布矿产可持续发展多年期计划

2021 年 10 月 20 日，美国能源部化石能源与碳管理办公室(FECM) 发布了“矿产可持续发展多年期计划”⁹，提出了未来的长期愿景、使命和目标，旨在促进行业建立关键矿物供应链，以支持美国向清洁能源经济转型。该计划围绕矿产供应链 3 个环节的 4 个技术领域提出了未来的研发示范及部署方向、需求和目标，包括：资源表征和技术开发；可持续资源开采技术开发；加工、精炼和合金化技术开发；加工、制造技术开发。

一、愿景及使命

1、愿景。促进建立环境和经济可持续发展的关键矿物和含碳矿产资源回收行业，用以支持清洁能源的部署，包括创造制造业就业岗位；建立安全、多样化、有弹性的国内关键矿物供应链；开发联合生产和回收技术，促进环境和社会公平。

2、使命。支持向无碳经济和清洁能源制造转型：从化石能源相关副产品和资源中表征和评估国内关键矿物和含碳矿产资源；开发先进的资源开采、加工和提炼冶金技术；评估关键矿物和含碳矿产联合生产高价值产品的潜力。

二、关键技术领域的未来方向

1、资源表征和技术开发

(1) 研发、示范及部署方向

⁹ Multi-Year Program Plan for Division of Minerals Sustainability. https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-10/MSD%20Multi-Year%20Program%20Plan%202021_0.pdf

关键矿物（CM）资源表征。该领域的研究活动集中在样本/岩心、露头/矿场和区域的特征活动。将进行特征表征，为非常规和二次来源的关键矿物和含碳矿产资源制定一份区域和国家清单。工作重点是开发和应用新技术，为实验室和现场方法制定标准化流程和最佳方案，并确定关键矿物和含碳矿产资源潜力。

资源评估和预测。该领域的研究重点是开发能无缝集成样品和现场表征结果的可靠方法，例如使用人工智能/机器学习资源模型，以预测目前非常规和二次来源中关键矿物和含碳矿产的位置、含量和价值。

（2）研发、示范及部署需求

关键矿物资源表征。开发标准化流程（实验室和现场）和技术，用于确定、表征和评估特定材料、矿场或区域内非常规和二次来源的潜在关键矿物和含碳矿产含量。使用创新的、现场可用的手持式分析仪，如 X 射线荧光光谱仪（XRF）、便携式激光诱导击穿光谱仪（LIBS）和拉曼光谱仪（Raman）等，以降低勘探成本，实现快速采集信息，并推进关键矿物和含碳矿产资源的预测和评估。集成多种测量技术，如地球物理（地震、磁力和重力）测量、激光雷达、数字钻孔和岩心扫描系统等。通过开发标准化协议和最佳实践来支持野外勘探，充分利用先进光谱技术，例如 X 射线吸收近边结构（XANES）、拉曼光谱和傅里叶变换红外光谱（FT-IR）、高分辨率电感耦合等离子体光学发射光谱仪/质谱仪（HR-ICP-OES/MS）等光谱测定法，以及扫描电子显微镜（SEM）、激光诱导击穿光谱（LIBS）、激光烧蚀电感耦合等离子体质谱仪（LA-ICP-MS）等空间表征技术。

资源评估和预测。开发用于不确定性计算的关键矿物和含碳矿产标准化产出概率模型。利用人工智能/机器学习技术，将样品和现场表征结果集成到区域资源模型中，用于计算非常规和二次来源的资源潜力。开发集

成资源矿床和产出概率模型的区域和国家人工智能/机器学习模型，实现快速预测非常规和二次来源中的关键矿物或含碳矿产的位置、含量和价值。

(3) 研发、示范及部署目标

识别和验证“最合适”的新领域和实验室技术，以及高精确度和精密度的技术。为现场和实验室的表征方法制定标准流程和最佳实践。利用新收集样本和历史样本以及现场表征结果，开发标准化的产出概率模型。基于人工智能/机器学习技术开发区域和国家级方法，预测非常规和二次来源的位置、含量和价值。

2、可持续资源开采技术开发

(1) 研发、示范及部署方向

变革性、非常规和常规开采技术。研究旨在开发新的战略和技术，以环境友好的方式从非常规和二次来源中安全提取关键矿物和含碳矿产。

工业选矿方法与技术。开发处理关键矿物和含碳矿产的创新技术和选矿策略。该技术可使关键矿物含量提高 5~10 倍，通过选矿来提高含碳矿产品位。

现有矿场和废弃矿山残留物的环境修复。从二次来源生产关键矿物和含碳矿产将有助于解决与矿山废物有关的环境遗留问题。需要制定减少和消除矿山残留物的策略、风险评估方法和最佳实践，鼓励清理现有和废弃矿场，同时为弱势社区提供经济和环境效益。

(2) 研发、示范及部署需求

变革性、非常规和常规开采技术。该领域的研究将建立在现有技术和新技术的基础上，提高效率和产量，同时最大限度地减少浪费、降低风险。技术开发以及现场验证包括：“选择性”水平钻探、原地浸出、农业采矿或生物采矿，从主岩中提取所需原料；通过微生物-矿物相互作用数据库和数据驱动分析技术，降低生物采矿试剂使用的不确定性；开发新型

过滤器和膜技术以提高关键矿物回收率，以及从废水中进行高特异性分离。

工业选矿方法和技术。通过生产高富集关键矿物或含碳精矿，降低将物料运输到加工设施的成本，并减少浸出所需的化学品用量。研究途径包括：识别和开发新的矿物精选方法和技术，以提高关键矿物和含碳矿产品的含量和品位，改善环境性能，并提高能源效率；使用数据库和人工智能/机器学习技术为特定原料选择适当的精选方法和精选策略；将关键矿物和含碳矿产品的联产与当前的工业活动相结合。

现有矿场和废弃矿山残留物的环境修复。为了减少和消除矿山残留物，必须确定对矿区进行分类和优先排序的最佳做法。这将通过与其他联邦机构合作，制定评估方法和最佳做法，以便对矿址进行分类和优先排序，并评估环境问题和资源集中情况；组织外联活动和社区参与，讨论社区可获得的环境和经济效益。

(3) 研发、示范及部署目标

开发和验证从非常规和二次来源中安全地提取关键矿物和含碳矿产品的技术和工艺。开发和验证非常规和二次废水来源的提取技术和工艺。开发和测试现场精选技术并示范：提高非常规和二次来源的关键矿物含量；以经济的方式回收细粒煤颗粒；通过精选技术从煤废料中获得高价值材料。设计最佳做法，在考虑风险评估和资源集中度等因素的情况下，对矿场进行分类和优先排序。

3、加工、精炼和合金化技术开发

(1) 研发、示范及部署方向

先进的分离和金属还原技术。研究不仅涉及从高纯度混合精矿中生产稀土元素（REE）和关键矿物并转化为金属进行合金化的常规技术，还将涉及先进或新型分离技术和金属还原工艺，有可能使资本和运营支出成本比当前的常规标准做法低 20%。

实现商业化生产。研究将确定创新路径以提高生产率，降低成本，减少环境影响。

试点示范。研究将以更大的中试规模来示范非常规和二次来源关键矿物生产技术。新试点设施将建立在前几代设施的基础上，以增强环境绩效并降低运营成本。

(2) 研发、示范及部署需求

先进的分离和金属还原技术。该研究的目的是提高关键矿物和单独分离的高纯度稀土氧化物和/或稀土盐的整体回收率和纯度。将开发先进的、环境友好、低成本的高纯度单独分离技术和金属还原概念。

实现商业化生产。将继续开发创新技术并进行进一步验证，以提高生产率、降低成本并减少任何潜在的环境影响。该领域的研究将包括：开发和验证新概念，以实现当前方法的创新，测试结果将用于技术经济评估，将现有加工系统与创新替代技术进行比较；确定并增强国内稀土、关键矿物和含碳产品的联产潜力，使金属提取、分离和回收加工更加经济和有利可图，将通过开发热力学和动力学人工智能/机器学习数据库以减少金属提取和分离技术的不确定性。

试点示范。该领域的研究活动着重于进行不同规模的试点示范，从第一代混合稀土氧化物（MREO）和混合稀土盐（MRES）产量为 1~3 吨/天的试验规模，到第二代示范/近商业项目（生产规模为 10 吨/天），两者均具备高纯度单独分离和金属还原能力。

(3) 研发、示范及部署目标

开发对环境无害的提取、分离和回收关键矿物和稀土元素工艺，最大限度地减少化学品的消耗和废料生成。开发用于清洁能源制造的非常规国内原料资源的关键矿物加工能力。启动第一代设备的最终设计、建造和运行，除了可以生产 1~3 吨/天的混合稀土氧化物和混合稀土盐，

还可联产关键矿物和其他初级产品（如水泥工业用沸石和粉煤灰）。设计、建造和运行设备，生产单独分离的高纯度稀土元素和关键矿物，以及满足终端用户要求规格的混合稀土氧化物金属还原设备。设计、建造并部署第二代示范/商业化混合稀土氧化物设施，每天生产 10 吨混合稀土氧化物和混合稀土盐，并具有生产单独分离的高纯度稀土氧化物和稀土盐并随后还原为金属的能力。

4、加工、制造技术开发

(1) 研发、示范及部署方向

建筑和基础设施开发。该领域的研究旨在通过开发大型替代用途试点项目，支持开发高价值碳基建筑和基础设施材料。第一代试点项目确定和开发从批量生产向连续生产碳基材料的技术。

先进碳材料生产。该领域的研究活动包括实验室/台架规模的高效加工技术的开发和放大，以生产碳纤维、石墨烯、石墨等产品。

对关键供应链进行再投资。该领域的研究包括制定战略以建立弹性供应链，使国内煤炭和煤炭副产品能够生产石墨和金属硅等产品。

(2) 研发、示范及部署需求

建筑和基础设施开发。该研究领域将包括以下内容：设计、建造和运营生产系统，生产碳基瓦片和其他建筑材料，以及用于建筑材料和航空航天的碳泡沫。道路、隧道、桥梁等交通运输结构件；用于废水处理和固废管理的功能材料；堤坝等。开发未来变革性建筑技术，包括利用含碳矿产生产壁板、地板、隔热、托梁/立柱、护套、瓷砖、地毯、包裹物和饰面材料，以及具有卓越强度和绝缘性的建筑砌块。

先进碳材料生产。开发和测试实验室/台架规模概念，以创新途径生产碳基中间相沥青前驱体，用于生产碳产品。包括：通过清洗、蒸馏和其他工艺将碳转化为清洁能源制造的原料，以及开发碳基中间相沥青；

开发用于电池负极和其他用途的碳基石墨；石墨烯、纳米管、碳纤维等高价值碳产品的大规模生产；将碳基中间相沥青的批量生产进一步扩大为连续生产。

对关键供应链进行再投资。改善半导体和太阳能光伏供应链所需产品的含碳矿产关键材料的供应，包括开发新技术以提高常见技术（即石墨化和煅烧）的能源效率，以及确定符合制造业规范的碳基替代添加剂。

(3) 研发、示范及部署目标

开发和验证新技术和工艺，利用国内含碳矿产生产高附加值优质建筑和基础设施材料，实现从批量生产到连续生产。开发利用含碳矿产制造中间相沥青前驱体材料的创新技术，用于碳纤维生产，实现中间相沥青从批量加工到连续加工的转变。开发新型节能技术，从含碳矿产生产合成石墨和高纯金属硅。识别和开发创新的碳基替代品和添加剂，满足商业产品的性能指标。 (岳芳)

美国能源部资助 2 亿美元支持先进动力电池技术研发

2021 年 10 月 27 日，美国能源部（DOE）宣布资助 2.09 亿美元支持先进动力电池技术研究¹⁰，旨在整合国家实验室、高校和企业的研究力量开展联合攻关，实现全固态电池、快充技术等先进动力电池技术的研发突破，同时打造完善的国内电池供应链减少对外依赖风险，维持和强化美国在电动汽车和电池技术创新领域的全球领先地位。本次资助涵盖四大主题领域。

1、用于锂金属电池的固态电解质。通过开发新材料和电池架构来增强全固态电池循环寿命和能量密度；开发 3D 打印制备固态电池的新工艺；开发高精度的电池模拟仿真系统；针对锂硫电池开发高性能的全

¹⁰ DOE Announces \$209 Million for Electric Vehicles Battery Research. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-209-million-electric-vehicles-battery-research>

固态电解质；针对全固态锂硫电池开发先进的电极涂层材料；围绕锂离子电池开发新型的高性能硒硫正极材料；开发用于全固态电池的高导电性高化学稳定性的硫代硼酸锂固态电解质；开发高导电性的有机聚合物固态电解质；开发有机无机复合的固态电解质。

2、快充电池技术。研发快充特性的锂离子电池并开展技术性能评估；针对快充电池的 electrochemistry 和热稳定性问题开展专题研究；开发全新的快充技术解决方案；从微观尺度来探明快充电池的工作机制；整合电解质和电极研发以获得高能量密度的快充电池技术。

3、电动汽车技术。加快电动汽车基础设施建设和部署工作，推进电池快充技术的研发突破，解决电动汽车大规模部署面临的基础设施和技术问题。

4、基于互联网的先进自动驾驶技术。开发基于互联网的自动驾驶协议框架，优化在不同场景下卡车、乘用车等车辆的自动驾驶路径，减少拥堵和能源消耗。
(郭楷模)

美国能源部资助下一代太阳能发电技术研发

2021年10月19日，美国能源部（DOE）宣布资助4000万美元支持下一代先进太阳能发电技术研究¹¹，旨在整合高校和企业的研究力量开展联合攻关，实现太阳能发电技术和配套储能技术的研发突破，进一步提升太阳能发电效率和太阳能发电设施的使用寿命，降低太阳能电力成本，扩大太阳能电力装机规模，助力2035年美国100%清洁电力目标实现。本次资助涵盖四大主题领域。

1、太阳能光伏。资助金额为450万美元，研究内容包括：开发效率更高、成本更低的新一代太阳能光伏发电技术，如钙钛矿太阳电池；

¹¹ DOE Awards Nearly \$40 Million for Grid Decarbonizing Solar Technologies. <https://www.energy.gov/articles/doe-awards-nearly-40-million-grid-decarbonizing-solar-technologies>

开发先进的太阳能电池板防护技术提高其应对极端天气能力，增加太阳能发电设施的使用寿命，从当前的 30 年增加到 50 年，减少运维成本。

2、聚光太阳能热发电。资助金额为 2500 万美元，研究内容包括：研发具有更高运行温度和发电效率的新一代太阳能光热发电技术并进行示范；开发储能性能更加优异的吸收器的储热材料；研发先进的太阳能热化学循环制燃料和高价值化学品技术。

3、热泵储电技术。资助金额为 400 万美元，研究内容包括：针对热泵储能设施开发性能更加优异的高效压缩机、膨胀机和蓄冷/蓄热换热器；开发能够实现 10 个小时电力存储的长时热泵储电技术。

4、新技术的示范验证。资助金额为 400 万美元，将针对上述新开发的技术依据技术成熟度开展相关的示范验证，加快新技术从实验室走向商用的进程，促进成果转化。（郭楷模）

美国能源部资助海上风电可持续开发利用

2021 年 10 月 13 日，美国能源部（DOE）宣布资助 1350 万美元支持海上风电的可持续开发利用¹²，在加快海上风电部署进程的同时最大化减少海上风电场建造给海洋生态环境造成的负面影响，实现 2030 年海上风电装机 30 吉瓦目标，推动美国能源系统的低碳化转型，助力美国 2050 年的碳中和目标。

1、杜克大学。资助金额为 750 万美元，将系统评估海上风电开发可能对鸟类、蝙蝠和海洋哺乳动物造成的潜在负面影响，在美国东海岸的海上风电场开展海洋野生动物实时监测并收集其行为数据。

2、科德角农场基金会。资助金额为 330 万美元，在美国东海岸的一个海上风能资源开发地点调查商业鱼类和海洋无脊椎动物种群和海

¹² DOE Announces \$13.5 Million for Sustainable Development of Offshore Wind. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-135-million-sustainable-development-offshore-wind>

底栖息地的变化情况，以研究海上风力资源开发的潜在环境影响。

3、俄勒冈州立大学。资助金额为 200 万美元，将对海洋哺乳动物和海鸟进行视觉调查和声学监测，以绘制美国西海岸风能开发区中物种的密度图。

4、伍兹霍尔海洋研究所。资助金额为 75 万美元，将开发下一代自主人工智能机器人技术，用于美国西海岸潜在风能开发区的海洋生物环境监测和数据收集。 (郭楷模)

日本 NEDO 资助二氧化碳资源化利用先进技术开发

2021 年 10 月 15 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将在“碳循环、下一代火力发电等技术开发”框架下，2021~2025 年投入 130 亿日元（约合 7.16 亿元人民币）支持 6 个新增研发主题¹³，以推进二氧化碳回收利用技术研发。此次新增的主题设立在“二氧化碳减排和有效利用的实用技术开发”子领域下，涉及二氧化碳转化为化学品、气体燃料以及矿化综合利用技术等。

1、二氧化碳制化学品技术。将开发以二氧化碳为原料制烯烃和甲醇的最佳合成系统，包括：二氧化碳直接合成制烯烃技术研发，将以燃烧废气中回收的二氧化碳和氢气为原料，开发低碳烯烃生产工艺，并考虑将该工艺与乙烯装置整合，以利用现有的蒸馏/精炼设施和后续的塑料制造/供应价值链；二氧化碳合成甲醇的优化系统开发，将开发利用钢铁厂废气合成甲醇的整体系统优化工艺，包括通过变压吸附法实现低成本二氧化碳分离，以及开发可高效脱水的膜分离甲醇反应器，同时将构建包含预处理设备和生成水回收设备的甲醇合成整体系统。

2、二氧化碳制气体燃料技术。将开发以二氧化碳为原料制气体燃

¹³ CO₂ の化学品や燃料、鉱物への有効利用に向け 6 テーマを新たに採択. https://www.nedo.go.jp/news/press/A5_101486.html

料技术的规模化生产工艺，包括：二氧化碳大规模制甲烷及注入天然气管道技术，将利用火力发电厂和天然气生产排放的二氧化碳以及可再生能源生产的氢气为原料，建造规模为 400 标立方米二氧化碳/小时的全球最大规模二氧化碳转化系统验证实验设施，有效利用长冈矿山的二氧化碳排放，生产的甲烷将注入天然气管道。

3、二氧化碳矿化综合利用技术。将开发高效利用工业副产品固定二氧化碳的工艺和二氧化碳还原分解技术，包括：炼钢炉渣固定二氧化碳工艺开发，将开发炼钢炉渣中的钙提取技术、碳酸化固定二氧化碳技术以及溶剂循环技术，还将开发生成物（残余炉渣、碳酸盐）的有效利用技术；炼钢炉渣快速大量固定二氧化碳创新技术开发，将开发利用炼钢炉渣中的氧化钙大量快速固定二氧化碳的技术，探索炉渣碳化机理，开发热回收技术、熔融钢渣凝固及热破碎技术，评估碳化钢渣用于道路钢渣的可行性；二氧化碳化学分解制碳材料技术开发，通过粉末金属氧化物与氢气反应获得的还原剂，将二氧化碳化学分解为碳纳米材料，涉及开发制氢和碳捕集技术、二氧化碳分解技术、碳纳米材料的高价值应用技术等。 (岳芳)

日本 NEDO 资助先进氢/氨动力船舶技术

2021 年 10 月 26 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将通过“绿色创新基金”投入 320 亿日元（约合 17.63 亿元人民币）启动“下一代船舶开发”项目¹⁴，推进开发以氢、氨为燃料的先进船舶技术，旨在实现下一代零排放船舶的普及应用。

1、氢燃料船舶开发。将支持 1 个课题“船用氢燃料发动机、储氢装置和氢燃料供应系统开发”，由川崎重工业株式会社、洋马动力技术

¹⁴ グリーンイノベーション基金事業、「次世代船舶の開発」に着手. https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101487.html

有限公司和日本发动机公司并行开发不同功率输出和应用范围的船用氢燃料发动机，并进行示范运行以验证其功能和可靠性。另外，还将开发船用储氢装置和氢燃料供应系统，并应用于中高速四冲程发动机和低速二冲程发动机的示范运行。

2、氨燃料船舶开发。将支持两个课题：

(1) 氨燃料发动机船舶研发，主要包括：氨燃料拖船（近海船舶）的开发和运行，将研制国产四冲程发动机，设计兼顾安全性和实用性的船舶，制定氨燃料船舶的运维方法，争取在 2024 年建成；氨燃料动力运输船（远洋船）的开发和运行，将研制国产二冲程主发动机和四冲程辅助发动机，建立船上氨燃料毒性安全系统，制定氨燃料船舶的运维方法，争取 2026 年建成。

(2) 氨燃料船舶开发与运行综合项目，将进行氨燃料船舶开发、运营、燃料生产、燃料供应基地开发的综合实施，以支持日本实现氨燃料船舶的社会运营。

3、减少液化天然气（LNG）燃料船舶的甲烷泄漏。

将支持 1 个课题“通过改进催化剂和发动机以减少 LNG 燃料船舶的甲烷泄漏”，开发在实际发动机运行条件下能大幅减少甲烷泄漏的催化剂，基于催化剂和发动机设计开发新型发动机系统，并将其应用于实际船舶中。（岳芳）

美国 NOAA 资助 1.7 亿美元用于气候科学与社区恢复力

2021 年 10 月 12 日，美国国家海洋与大气管理局（NOAA）气候计划办公室（CPO）宣布在 2021 财年资助 1.71 亿美元用于气候科学和社区恢复力¹⁵。

1、适应科学（AdSci）：推进气候适应和沿海社区恢复力。资助 485

¹⁵ NOAA Awards over \$171 Million for Climate Science, Community Resilience. <https://cpo.noaa.gov/Funding-Opportunities/FY2021-Recipients>

万美元用于 20 个新的两年期项目，重点是为脆弱的美国沿海社区未来遭遇气候变化等压力因素时遭遇的洪水影响进行规划，包括沿海社区抗洪能力的测量与模拟、湖泊地区的气候适应与恢复力战略、具有成本效益的绿色基础设施等。

2、大气化学、碳循环与气候 (AC4)：城市地区的排放、空气质量与热量。资助 548 万美元用于 10 个新的三年期项目和 1 个新的两年期项目，以支持城市大气排放和化学转化过程研究，包括确定有机物的排放和化学成分、确定城市活性氮排放和化学成分、确定交通、建筑、工业和垃圾填埋场排放的污染成分、了解极端高温对城市空气质量和城市热岛的影响。

3、大气化学、碳循环与气候 (AC4) 和气候观测与监测 (COM)：COVID-19 大流行期间人为活动变化造成的大气影响。资助 318 万美元用于 8 个新的两年期项目，以利用 COVID-19 大流行期间排放大量减少的条件，了解人为活动如何影响当地和区域空气质量。

4、NOAA 气候适应与减缓计划 (CAMP) 和 NOAA 科学合作计划 (NSCP)。共资助 9603 万美元，支持与 NOAA 使命相关的研究、项目与活动，包括地球系统研究和模拟、社会科学和跨学科研究、气候系统现状和未来状况、环境变化对社会的影响等。

5、区域综合科学与评估 (RISA)。资助 5149 万美元用于 9 个新的五年期项目，关注东北地区、大西洋中部、山间西部、卡罗来纳州、五大湖地区、阿拉斯加、太平洋岛屿、中南部和太平洋西北地区等区域的社会问题，并开发一系列与这些问题相互关联的项目，包括极端事件及影响、部落恢复力能力建设、大湖区综合科学与评估、山间西部水资源评估等。

6、模拟、分析、预测与预估 (MAPP)：面向过程的诊断用于气候模式改进与应用。资助 105 万美元用于 6 个新的三年期项目，解决地球系统过程表达中的关键问题以改进气候模式，包括西边界流变率和中纬

度海-气相互作用的诊断分析、减少水文敏感性偏差的水文指标评估包、气候模式中气溶胶-云相互作用的诊断分析、热带组织性对流和天气扰动的诊断分析等。

7、气候观测与监测（COM）、气候变率与可预测性（CVP）和全球海洋监测与观测（GOMO）：创新海洋数据集/产品分析和开发。资助 516 万美元用于 12 个项目，以增加海洋观测的利用和价值，增进对气候变化和变率的理解，并提高 NOAA 对地球系统进行模拟和预测的能力。包括利用人工智能开发原位卫星混合海洋空气温度数据集、原位海洋湍流通量数据服务、量化热带太平洋海洋状态的不确定性、数据质量和观测网络设计、支持生物地球化学模型开发的结构数据库等。（刘燕飞）

英国 BEIS 制定净零研究与创新框架

2021 年 10 月 19 日，在英国净零创新委员会（Net Zero Innovation Board）指导下，英国商业、能源和产业战略部（BEIS）制定了《英国净零研究与创新框架》¹⁶，确定了英国在未来 5~10 年内关键行业的净零研究和创新挑战及需求，主要包括 6 个方面。

1、电力

（1）系统集成和灵活性。加速向可互操作、数字化、网络安全系统的过渡；理解、支持和示范灵活的需求；促进、发展和示范能源储存；开发和示范灵活的智能市场平台；为能源系统转型和整合提供解决方案。

（2）可再生能源。加速海上风电容量的部署；发掘超过 50 米以下深度的深水海上风电场；减轻风机的影响；开发和示范早期阶段的可再生能源。

（3）核能。发展小型模块化反应堆（SMR）；开发和示范先进模块化反应堆（AMRs）；结合先进的核能与其他技术，支持灵活的能源系

¹⁶ UK Net Zero Research and Innovation Framework. <https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-research-and-innovation-framework>

统；推动大规模核电的持续改进；以超越 2050 年的视角进行核聚变研究与开发；改进废物处理流程。

(4) 生物能源和生物质能碳捕集与封存 (BECCS)。实现净零生物能源的整体系统方法；确保可持续、可靠的优质生物质供应；提高气化转化技术的性能和商业可行性；探索部署 BECCS 的路线。

2、工业和低碳氢供应

(1) 向净零工业基础过渡。提高资源和能源效率；转向低碳、零碳的燃料和原料；收集和储存工业排放。

(2) 扩大低碳氢的供应和需求。高效、经济、规模化的低碳氢气生产；示范有效、低成本的散装氢运输和储存方法；发电；在系统层面有效利用氢；了解氢气对环境和社会的影响。

3、碳捕集、利用与封存 (CCUS) 和温室气体去除 (GGR)

高效、低成本从点源捕获二氧化碳；高效、低成本地从空气或海洋中直接去除温室气体；减少工程去除技术的能源需求；探索部署 BECCS 的路线；二氧化碳运输和储存基础设施；开发在产品或工艺中利用捕集的二氧化碳的经济方法；为今后扩大规模、部署和商业化创造条件；监测、报告和验证；管理环境影响和共同效益。

4、供热与建筑

为建筑存量全系统脱碳创造环境；消除能源效率改造的障碍；降低低碳供暖与制冷的风险；最大限度地发挥热力网络的潜力；集成智能、低碳技术和解决方案；理解终端用户行为；降低建筑相关排放。

5、交通

(1) 交通和移动出行合二为一的系统。实现一体化的多式联运系统；推动主动出行和公共/共享交通；满足区域需求和基于地方的方法；提高车辆、船舶和基础设施的效率，降低碳强度及消除排放；理解和促

进氢在运输中的作用；支持所有运输模式的电气化；COVID-19 导致出行行为的变化。

(2) 公路运输。支持零排放道路车辆的开发和部署；公路脱碳的补充方法；铁路脱碳。

(3) 航空和海事。发展净零排放航空和相关业务；海事部门脱碳。

6、自然资源、废物和含氟气体

(1) 土地利用的综合和动态方法。土地用途分配与规划；了解系统层面的温室气体排放和环境影响；影响可持续和负责任的土地利用变化及其对经济增长的影响。

(2) 森林、土壤、泥炭地和海洋环境。森林可持续扩展与管理；增强森林生态系统对气候变化影响的复原力；泥炭地可持续恢复和管理；管理土壤以改善土壤健康和恢复力；海洋环境可持续管理。

(3) 粮食和生物质。粮食、多年生能源作物和短期轮作林业的可持续生产；可持续消费；发展可持续的生物经济。

(4) 废物和含氟气体。减少废物及排放；减少废水处理部门的工艺排放和能源使用；最大限度降低含氟气体排放；扩大《蒙特利尔议定书》受控物质大气监测的全球覆盖范围。

(刘燕飞)

空间与海洋

英国发布首份国家航天战略

2021年9月27日，英国商业、能源和产业战略部（BEIS）与国防部联合发布英国首份《国家航天战略》¹⁷（以下简称《战略》），从科学、技术和国防等角度，阐述英国参与航天事务的愿景，旨在将英国建成世界一流航天强国，推动航天产业发展。《战略》主要内容包括三方面。

¹⁷ National space strategy. <https://www.gov.uk/government/publications/national-space-strategy/national-space-strategy>

一、愿景和战略目标

英国航天战略的愿景：将英国建设成世界上最具创新性和吸引力的航天经济体之一，并推动英国成长为空间大国；保护和捍卫英国的国家利益，利用空间能力和空间资源帮助解决国家面临的国内外的诸多挑战；通过前沿技术研究激励下一代，保持英国在空间科学和技术方面的竞争优势。《战略》规划了未来数年英国政府将在空间中和利用空间实现的5项战略目标。

1、发展和提振英国的航天经济。促使英国成为对各种体量的航天企业以及人才成长和发展而言最具吸引力的国家之一。支持企业开发新的商业机会，构建覆盖全英的航天工业生态系统，在英国各地扩大就业，促进出口，吸引人才和投资，并进一步将空间数据和技术融入日常生活之中。

2、利用航天向全球推广英国的价值观。通过参与航天活动支持开放和稳定的国际秩序。展示英国在全球的领导力，推动关于空间安全、安保和可持续发展的讨论，并要求其他国家对其空间活动负责以避免误判和冲突升级。与国际合作伙伴一起推动构建和平且负责任地利用空间的行为准则，以跟上新技术的步伐，为科学和工业创造机会。

3、引领开创性科学发现。支持保护地球和国家利益的研究，从而为公众提供更健康、更丰富的生活，并回答人类在宇宙中的意义这一终极问题。开展空间技术研究和载人航天新任务，帮助航天员在空间中生活和工作。支持航天部门每年为英国的年轻人提供超百万人次参与航天活动的机会，激励下一代空间科学专家、航天工程师和企业家，并最终通过领先的空间科学和技术建立和保持英国的战略优势。

4、在空间中和利用空间保护和捍卫国家利益。通过增加自主能力和开展更多样化的合作，感知空间态势，保障英国应对威胁和阻止敌对行为的自由。确保空间为英国整体防御策略提供全面支持，确保可依靠

广泛的具备快速恢复能力的空间技术为关键国家基础设施保驾护航，包括定位、导航和授时服务等。加强空间能力，确保英国有能力在空间中和利用空间保护自身和盟友的利益，同时防止将敏感技术转让给敌对方。

5、利用空间为英国公民和全世界提供服务。利用航天技术应对气候变化和生物多样性消失等全球性挑战，并为公众提供更好的服务，如现代化的运输系统、国立卫生系统等。通过更好的政府采购支持企业开发新型空间技术和基础设施，促进军民融合。利用空间技术帮助实现联合国可持续发展目标。

二、四大支柱

航天生态系统高度关联，《战略》指出英国将聚焦四大支柱，助力实现其航天发展愿景和战略目标。

1、释放英国航天领域的发展增长潜力。帮助英国航天部门打造和维持全球贸易伙伴关系，并获得助力航天能力发展的外部投资。打造覆盖全英的航天生态系统，鼓励政府多个部门、地方合作伙伴以及世界领先大学等开展工业和科研领域的合作，鼓励创办更多的航天企业。继续与业界和国际合作，确保英国对航天活动进行最安全、最有效的监管，并与合作伙伴一起推进形成基于英国价值观的和平利用太空国际准则。鼓励航天领域的科技创新，在未来十年投资约 50 亿英镑（约合 429.86 亿元人民币）用于增强卫星通信能力，投资 14 亿英镑（约合 120.36 亿元人民币）用于获取和开发空间态势感知、情报、监视侦察、指挥控制等领域的新技术。在大学和企业的支持下培养熟练和多样化的航天人才，同时对航天从业者提供再培训服务，不断提高技能水平。积极利用政府采购的手段，充分发挥航天技术在服务城市规划、国防安全、交通、环境监测、健康以及教育服务等领域的巨大潜力。为航天产业提供相关金融和保险服务。

2、开展国际合作。英国将发展和加强国际合作伙伴的关系，共同努力解决人类面临的最大挑战。参与美国 NASA 主导的“阿尔忒弥斯”（Artemis）计划，支持在未来十年内开发月球“门户”（Gateway）并将航天员送上月球的活动。在与欧洲空间局（ESA）合作方面，英国将参与开发多个太阳系探测任务；开发大型地基或天基设施，并将英国航天员送往国际空间站；鼓励英国企业和科学家在空间任务中发挥核心作用。通过参加“地平线欧洲”和“哥白尼”（Copernicus）计划，积极发展与欧盟的航天科技合作。英国还将与合作伙伴一起利用航天科技支持新兴经济体的发展并促进新市场的发展，通过国际和政府间论坛以及与合作伙伴和盟友合作，在建立安全、可持续和可靠的空间环境方面发挥领导性作用。

3、把英国发展成“空间科技超级大国”。英国政府制定了到 2027 年总研发支出占 GDP 的 2.4% 的发展目标。未来十年，英国将继续投资热点任务，例如火星采样返回任务，监测太阳以了解太阳耀斑等空间天气事件，NASA 领导的“阿尔忒弥斯”计划，以及 ESA 旨在测量森林碳变化的“生物质”（Biomass）任务。同时，英国将制定长期空间科学和探索目标，确保选择和支持具备高度战略性的空间任务。英国将在未来 4 年继续在科技及研发方面进行投资，以支持军事航天的发展，开发用于保护空间资产以及空间态势感知的未来技术概念。

4、发展航天能力和服务的快速恢复能力。英国将把发展具备快速恢复能力的航天能力和服务纳入整个民用和国防领域，推进多领域整合，进一步提高作战效率。《战略》指出，英国关键民用和国防能力优先事项包括：卫星通信，对地观测和情报、监视和侦察，指挥控制和空间能力管理，空间控制，定位导航授时，在轨发射能力，在轨服务与制造，以及空间态势感知。

三、十大重点领域

《战略》指出，英国政府无法投资所有与航天有关的活动，因此必须做出战略选择，将资源用于影响最大和最为关键的十大重点领域，为未来航天领域的繁荣奠定基础。十大重点领域具体包括：

1、商业小卫星发射抢占欧洲市场。2022 年在英国发射首枚火箭，在 2030 年成为欧洲在小型商业卫星发射方面的领导者。

2、利用空间技术应对气候变化。通过参与“哥白尼”等计划，确保英国在对地观测技术和知识的领先地位。

3、激发整个航天领域的创新。在“国家航天创新计划”（NSIP）的成功基础上，鼓励尖端航天科技产品的开发。

4、通过空间科学和探索拓展视野。

5、发展世界级航天产业集群。支持和优化英国主导的航天产业生态，积极吸引国际投资。

6、在空间可持续发展方面建立全球领先地位。充分利用英国在机器人、在轨服务和空间制造方面的先期优势，探索先进的在轨维修和组装技术，把握未来航天经济的机遇。

7、利用空间技术改善公共服务。利用空间应用改善公民的生活并降低成本，改善医疗保健、环境、交通和基础设施等关键公共服务。

8、确立英国国防航天投资组合。建立国家航天运行中心，融合军用和民用航天专业知识，以监测、保护、捍卫和扩大英国在空间的利益。

9、提升和激励下一代。通过为年轻人提供更多的在航天领域工作和学习的机会，激励下一代航天科学家、工程师和企业家成长。

10、利用空间技术实现交通技术的现代化转型。通过提供增强的连接和定位服务能力，确保英国拥有安全可靠的运行和弹性的交通基础设施。

（王海名）

中国科学院科技战略咨询研究院

科技动态类产品系列简介

《科技前沿快报》：

聚焦国内外基础学科与前沿交叉综合、能源资源、环境生态、信息网络、新材料与先进制造、生命科学与生物技术、现代农业、空间与海洋等战略必争领域，以科技创新价值链为主线，监测分析这些领域的发展态势、前瞻预见、战略布局、行动举措等重要科技动态，研判其中的新思想、新方向、新热点、新问题、新布局，凝练识别新的重大科技问题、前沿技术和创新路径，为科技与创新决策服务。

《科技政策与咨询快报》：

监测分析国内外科技发展的新战略、新思想、新政策、新举措，洞察科技与经济、社会、文化、可持续发展互动的趋势、新规律，研究识别科技创新活动与管理的新特点、新机制，揭示解读科技体制机制、科技投入、科技评价、创新人才等现代科研管理的制度变革，简述中国科学院学部就重大问题组织开展的咨询建议，研判智库的重要咨询报告，剖析智库的决策咨询运行机制与决策影响途径，追踪国内外科学院、智库的咨询活动与研究方法等，为科技决策者、科技管理者、战略科学家等提供决策参考。

《科技前沿快报》和《科技政策与咨询快报》内容供个人研究、学习使用，请勿公开发布或整期转载。如有其它需要，请与我们联系。

科技前沿快报

主 办：中国科学院发展规划局

中国科学院科技战略咨询研究院

专家组（按姓氏笔画排序）

于贵瑞 于海斌 马延和 王天然 王 赤 王志峰 王启明 王跃飞 王 琛
甘为群 石晶林 卢 柯 包信和 巩馥洲 吕才典 朱日祥 朱永官 朱 江
朱道本 向 涛 许洪华 孙 松 严陆光 李国杰 李家洋 李 寅 杨 乐
肖 灵 吴 季 吴家睿 何天白 沈竞康 张双南 张建国 张 偲 张德清
陈和生 武向平 林其谁 罗宏杰 罗晓容 周其凤 郑厚植 赵 刚 赵红卫
赵其国 赵忠贤 赵黛青 胡敦欣 南 凯 段子渊 段恩奎 姜晓明 骆永明
袁亚湘 顾逸东 徐志伟 郭光灿 郭 莉 郭 雷 席南华 康 乐

编辑部

主 任：冷伏海

副 主 任：陶 诚 李鹏飞 朱 涛 杨 帆 徐 萍 安培浚 陈 方 马廷灿 黄龙光 王海霞

地 址：北京市中关村北四环西路 33 号，100190

电 话：（010）62538705

邮 箱：lengfuhai@casisd.cn, publications@casisd.cn