先进制造与新材料动态

ADVANCED MANUFACTURING AND MATERIALS NEWSLETTER 监测快报

2023 第 14 期
(总第 420 期)

本 期 要 目

- 加政府拟强化国内关键矿产价值链
- 美 FDA 加速 mRNA 技术开发
- 英推动塑料循环经济发展
- 美 DARPA 开展提升电子设备抗辐射能力研究
- 英投资建立研究设施推动航空复合材料研发
- IRENA 发布《能源转型地缘政治：关键原材料》报告
- 碲化铌：有望成为下一代存储器材料

中国科学院武汉文献情报中心

目 录

战略规划

加政府拟强化国内关键矿产价值链 …… 1
欧推动纺织品循环经济发展 …… 1
欧议会正式批准《欧洲芯片法案》 …… 2

项目资助

美FDA加速mRNA技术开发 …… 3
英推动塑料循环经济发展 …… 4
英2000万英镑支持打造零碳汽车产业链 …… 5
美DOE推动风力涡轮机材料回收 …… 6
美DARPA开展提升电子设备抗辐射能力研究 …… 6
英投资建立研究设施推动航空复合材料研发 …… 8
欧盟投资促进IMEC测试设施的技术进步 …… 9

行业观察

IRENA发布《能源转型地缘政治：关键原材料》报告 …… 10

研究进展

碲化铌：有望成为下一代存储器材料 …… 15
新型磁性柔性机器人及制造方法 …… 16
全波段相位匹配新晶体材料 …… 16
用于3D打印的高导电金属凝胶 …… 17

战 略 规 划

加政府拟强化国内关键矿产价值链

关键矿产是向低碳经济过渡的基石。加拿大试图成为关键矿产及其技术的全球首选供应商。为实现这一目标，加拿大 2022 年预算案提议通过战略创新基金（Strategic Innovation Fund，SIF）提供 15 亿加元的定向资金，旨在加快对关键矿产项目的投资。迄今为止，通过 SIF 进行的投资包括向位于阿尔伯塔省的 E3 锂业有限公司资助 2700 万加元，用于从卤水中直接提取锂；向位于魁北克省的 Rio Tinto Fer et Titane 公司资助 2.22 亿加元，通过创新的冶炼技术生产钛和钪等一系列关键矿物，并进行脱碳处理。

7 月 14 日，加拿大创新、科学和工业部（Innovation, Science and Economic Development，ISED）和自然资源部公布了该基金支持的项目需符合的条件[1]。这些项目必须针对加拿大确定的 31 种关键矿物，优先考虑锂、石墨、镍、钴、铜和稀土等六种矿物，而且须侧重于关键矿物的加工、制造和回收过程。此外，选定的项目将特别侧重于清洁技术（包括可再生能源）、信息和通信技术以及先进制造领域，并将优先考虑能够显示出重大财务和技术准备情况的项目。

（董金鑫）

欧推动纺织品循环经济发展

欧盟每年产生 1260 万吨纺织废料。其中，仅服装和鞋类就有 520 万吨，相当于每人每年产生 12 千克的废弃物。目前，只有 22%的消费后纺织废料被单独收集以进行再利用，其余的则通常被焚烧或填埋处理。

7 月 5 日，欧盟委员会在一项提案中提出，生产商要对纺织品的整

[1] Government of Canada invests to strengthen domestic critical minerals value chain. https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2023/07/government-of-canada-invests-to-strengthen-domestic-critical-minerals-value-chain.html

个生命周期负责，并支持整个欧盟纺织废料的可持续管理。该举措将加速欧盟纺织品收集、分类、再利用和回收等的发展，并与“欧盟可持续及循环纺织品战略”相符[2]。同时，增加旧纺织品的供应量，预计将为欧盟及其他地区的消费者创造当地就业机会并节省资金，并减轻纺织品生产对自然资源的影响。

在该提案中，欧委会提议在所有欧盟成员国引入强制性的、统一的纺织品生产者责任延伸（Extended Producer Responsibility，EPR）计划。该计划也将助力成员国根据现行立法，从 2025 年起实施收集纺织品的要求。该计划虽然会使生产商承担更多的纺织废料的管理成本，但是也会激励他们减少浪费并提高纺织产品的循环性，设计出更好的产品。该提案还将促进纺织行业循环创新技术的研发，如纤维到纤维的回收利用。此外，该提案还在一定程度上解决了向缺乏管理能力的国家非法出口纺织废料的问题。

（李 喻）

欧议会正式批准《欧洲芯片法案》

7 月 11 日，欧洲议会正式批准《欧洲芯片法案》。通过促进芯片生产和创新以及制定应对短缺的紧急措施来确保欧盟芯片供应，加强欧盟在全球半导体领域的地位，解决疫情暴露的供应链脆弱问题[3]。

该法案将加强欧洲的战略自主性和安全性，为欧洲的芯片投资创造有利的环境，通过吸引投资和建立生产能力来提高欧盟供应安全的项目，将获得 3 亿欧元用于与芯片相关的研究和创新。该法案将建立一个能力中心网络，以解决欧盟的技能短缺问题，并吸引新的研究、设计和生产人才。该法案还将建立一个危机应对机制，通过该机制，欧盟委员会将评估欧盟半导体供应的风险。该机制将使委员会能够实施紧急措施，例

[2] Circular economy for textiles: taking responsibility to reduce, reuse and recycle textile waste and boosting markets for used textiles. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3635

[3] Semiconductors: MEPs adopt legislation to boost EU chips industry. https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230707IPR02418/semiconductors-meps-adopt-legislation-to-boost-eu-chips-industry

如优先供应特别受短缺影响的产品，或为成员国进行共同采购。这些措施将是半导体行业发生危机时的最后手段。欧洲议会还支持加强与战略伙伴的国际合作和知识产权的条款，以保证竞争优势和保护欧洲行业。

（冯瑞华）

项 目 资 助

美 FDA 加速 mRNA 技术开发

美国食品和药物管理局（FDA）生物制剂评估和研究中心耗资 8200 万美元，将设计世界上第一个完全集成的、连续的 mRNA 制造平台。该项目由麻省理工学院承担，为期三年[4]。

该项目的主要目标是推进 mRNA 治疗领域，为企业提供连续的制造模板，同时促进生物制药行业的合作。研究团队还将与美 FDA 密切合作，确保试验规模系统符合当前的良好生产规范，并提供监管策略，从而显著降低 mRNA 技术的开发风险。

该项目后续建成的试验规模系统旨在提高社会应对未来流行病的能力，并加速 mRNA 技术的开发和生产。当前，不少企业正在以前所未有的规模投资 mRNA 技术，希望开发新的疫苗，以及针对癌症、代谢紊乱、遗传疾病等的新疗法。

（闫泽坤、万 勇）

[4] MIT researchers to lead a new center for continuous mRNA manufacturing. https://news.mit.edu/2023/mit-researchers-lead-new-center-mrna-manufacturing-0713

英推动塑料循环经济发展

英国工程与自然科学研究理事会（EPSRC）和生物技术与生物科学研究理事会（BBSRC）将面向 5 个为期 3 年的项目，共同出资 600 万英镑，用于推动可持续塑料研究，旨在减少塑料对环境造成的破坏，并延长使用寿命，提高其价值[5]。

（1）实现吸收性卫生产品的可持续性

伦敦大学学院领衔。随着世界上一些地区出生率上升以及人口老龄化趋势，对一次性尿布、妇女产品、失禁垫等的需求正在增加。该项目将设计一个可持续的联合系统，涵盖卫生产品的生产、使用和处置。

（2）医疗检测塑料的循环经济

伯明翰大学领衔。在临床、实验室和家庭中，妊娠、糖尿病和其他疾病的快速检测会产生大量的废弃塑料。该项目将创建医疗检测塑料循环经济的解决方案。

（3）回收多层包装的新方法

帝国理工学院领衔。多层包装通常由塑料、纸张和铝粘合在一起制成，可提供出色的产品保护和保存，在食品和饮料行业的使用正在不断增长。然而，缺乏合适的回收技术意味着其好处是以环境为代价的。该项目将机械回收方法与化学及生化技术相结合，实现多层包装更为有效的回收。

（4）快速、清洁、廉价地分解塑料垃圾

卡迪夫大学领衔。将开发一种基于微波的一步式零排放工艺，以比目前更环保、更快速、更有效的方式分解塑料，还将展示回收的材料如何生产高质量的新塑料。

（5）将纺织废料转化为再生塑料

哈德斯菲尔德大学领衔。服装是塑料垃圾的一个主要但常被忽视的因素。这个问题不仅来自服装包装，还来自与天然纤维一起融入纺织品

[5] Food packaging among targets of sustainable plastics research. https://www.ukri.org/news/food-packaging-among-targets-of-sustainable-plastics-research/

的塑料。该项目将采用创新工艺，从混合棉和聚酯纤维中回收聚酯和纤维素，并展示如何将它们重新制成用于新纺织产品的新纤维。

（万 勇）

英 2000 万英镑支持打造零碳汽车产业链

7 月 3 日，英国先进动力中心（Advanced Propulsion Centre，APC）宣布将提供 2000 万英镑竞争性资助，支持英国零碳长期愿景，并通过确保长期研发投资来巩固能力，打造相关产业链供应链实现净零排放汽车的设计、制造、测试和制造[6]。单个项目资助额度为 250 万-2000 万英镑之间，项目申请方将匹配等量资金。

拟资助的项目应实现如下目标：推动英国实现净零交通愿景的战略目标和变革交通出行方式；支持向净零过渡的车载技术和/或相关制造工艺；支持英国汽车供应链的增长、转型和安全，提高能力，同时提高生产力、效率和竞争力；支持数字化或集成的推广和商业化，实现子系统、车辆系统或运输生态系统的技术设计、开发、优化和生产脱碳，从而实现创新增值。

拟资助项目应涉及以下一个或多个技术领域：储能、电池及其组件、管理和集成系统；燃料电池及相关辅助系统；电机；功率电子器件；无化石燃料燃烧技术；氢气储存和管理系统；循环经济设计，包括项目中使用材料拆卸、回收和再利用等；数字化车辆开发和设计等。

项目的经济效益评估将包括但不限于：推广和对英国经济的影响、吸引的外国投资、创造或保障的就业机会、劳动力技能提升或再培训、英国汽车产业链、汽车环境影响和循环经济模型等。

（黄 健）

[6] APC24: Industrialising net-zero automotive technology. https://apply-for-innovation-funding.service.gov.uk/competition/1567/overview/7e769b4f-0d09-40b0-a30e-e010162288d7#scope

美 DOE 推动风力涡轮机材料回收

风力涡轮机约占总质量 85%-90%的部分可以进行商业回收利用。尚未回收利用的大部分材料由纤维增强复合材料（碳纤维和玻璃纤维）组成。此外，风能行业还依赖于稀土元素等关键矿物，如用于发电机的钕（Nd）和镝（Dy）磁铁，当前暂无商业规模的回收。

7 月 12 日，美国能源部（DOE）出资 510 万美元设立“风力涡轮机材料回收奖”（Wind Turbine Materials Recycling Prize），旨在推动美国发展具有高成本效益的回收工业，回收风力涡轮机中使用的两种重要材料：纤维增强复合材料和稀土元素。通过助力创建循环风能经济，提高风能的可持续性[7]。

该奖项是 DOE“美国制造挑战项目”（American-Made Challenges program）的一部分，主要分为两个阶段。在第一阶段，将邀请参与者提出以前未应用于风能系统材料回收的创新技术构想，以及可以大幅改善现有风能材料回收工艺的技术。在第二阶段，参与者将演示他们的技术原型。

（闫泽坤、万 勇）

美 DARPA 开展提升电子设备抗辐射能力研究

电子设备的高性能计算在很大程度上依赖于微电子技术的发展，未来其性能突破将由 3D 异构集成（3D heterogeneously integrated，3DHI）技术驱动，将独立制造的、包含有不同半导体及材料的组件堆叠在单个封装内。电子设备的关键应用将涉及在太空等极端环境中运行，组件会受到潜在破坏性辐射的影响。3DHI 组件包括有多层垂直集成电路、复杂互连，以及多种材料，给辐射测试和鉴定带来了新的挑战。

美国国防部先进研究计划局（DARPA）推出“单粒子效应辐射测试

[7] Department of Energy Launches Prize to Jumpstart Wind Turbine Materials Recycling Industry https://www.energy.gov/eere/articles/department-energy-launches-prize-jumpstart-wind-turbine-materials-recycling-industry

先进源”（Advanced Sources for Single-event Effects Radiation Testing，ASSERT）计划，旨在确保先进的美国微电子元件在恶劣的辐射环境中，能够以尽可能高的可靠性运行，并将辐射测试整合到整个设计和开发过程中[8]。ASSERT 将解决以下两个关键的相互关联的技术挑战。

（1）实现较深的穿透深度

3D 设备对拓扑和堆叠封装的单粒子效应（single-event effects，SEE）鉴定需要在较深的穿透深度提供与空间辐射相关的线性能量传递（Linear energy transfer，LET）电荷轨道。此外，高能粒子应该能够穿透相关的封装、氧化物、覆盖层、金属化等隔膜，而不需要采用覆盖、减薄基底或其他耗时且可能具有破坏性的方法。当前重离子方法的替代方案（如离子微束、脉冲激光）无法同时满足 3DHI 表征中对线性能量传递、穿透深度和空间的要求。

（2）实现清晰的空间分辨率

新兴的 3D 设备需要具有必要的线性和角度精度的亚微米光束，以选择性地探测芯片的敏感区域，并隔离由此产生的电荷轨迹引起的故障。沉积电荷分布的形状和横向范围对于再现重离子撞击引起的器件响应至关重要。除了电荷分布的空间范围之外，还必须以足够的精度了解电荷分布的位置，以实现对待测装置的选择性探测。现有的基于重离子和离子微束的方法无法满足这一目标，因为质量、能量和束流空间电荷限制，无法使用静电或磁性手段进行精细聚焦，或者是低束能量限制了穿透深度。

（闫泽坤、万 勇）

[8] Asserting the U.S. Advantage: Delivering Highest-Qualified, Cutting-Edge Tech to Troops Faster. https://www.darpa.mil/news-events/2023-07-13

英投资建立研究设施推动航空复合材料研发

7 月 13 日，英国财政大臣宣布复合材料项目 COMPASS（Composites at Speed and Scale），将斥资 8000 万英镑用于航空结构制造的复合材料研发[9,10]。该项目将有助于解决复合材料制造挑战，以满足未来对更轻商用飞机的需求，并帮助航空业实现净零排放。

该项目以谢菲尔德大学先进制造研究中心（Advanced Manufacturing Research Centre，AMRC）世界级的复合材料和自动化研发能力为基础，为高速率、大规模复合材料零件的开发和制造提供支持，也向更多的英国行业开放，用于开发、演示、测试和验证新的复合材料制造技术和能力。其主要研究方向包括：①实现大规模自动化制造过程的全速运行演示；②开发精确的取放和在线检测技术，以确保公差在行业所需范围内；③开发设施和流程的数字孪生技术，使该行业能够以虚拟的方式进行开发工作，并支持虚拟调试研究；④使用全感知过程和设备（fully-sensored processes and equipment），为零件/过程的验证提供单一的真实信息源，并对不断变化的过程环境实现主动控制；⑤收集数据，未来利用人工智能和机器学习技术对工厂规模流程进行优化。

COMPASS 的第一个研发项目将与波音公司合作，助力满足全球商用飞机预计未来 20 年超过 4 万架飞机的需求。COMPASS 及其与波音的合作项目是 AMRC 有史以来最大的研发项目，将推动英国航空航天领域的新投资，成为该地区未来绿色航空航天集群的基石。

（董金鑫；闫泽坤、万勇）

[9] Aerospace receives £80m boost with new University of Sheffield AMRC innovation facility and Boeing research programme. https://www.amrc.co.uk/news/compass

[10] University of Sheffield AMRC announces largest ever research project as part of new South Yorkshire Investment Zone. https://www.sheffield.ac.uk/news/university-sheffield-amrc-announces-largest-ever-research-project-part-new-south-yorkshire

欧盟投资促进 IMEC 测试设施的技术进步

7 月 7 日，欧盟和比利时弗拉芒地区政府对比利时微电子研究中心（IMEC）进行 16 亿美元的重大联合投资，支持 IMEC“洁净室”（clean room）测试设施的扩建[11]。

IMEC 最先进的半导体研究洁净室总计 12000 平方米，是世界上最先进的研究设施之一，致力于使 IC 芯片技术突破 7 nm。该设施将使 IMEC 保持其作为纳米电子研发中心的全球领先地位，为整个半导体生态系统提供服务。

IMEC 以其在纳米电子学和数字技术研究方面的专业知识而闻名，将利用这笔资金，用最先进的设备和工艺来加强洁净室设施建设。此次扩建将使 IMEC 加速尖端芯片技术的开发，并为依赖半导体的欧洲行业提供重要支持。

自 2022 年 2 月欧盟提出《欧洲芯片法案》（草案）以来，欧洲已经宣布了超过 900 亿欧元的工业投资，为整个价值链的能力建设提供具体的融资机会。IMEC 作为世界领先的研究和试点，是吸引投资者的一个关键因素。

（闫泽坤、冯瑞华）

[11] EU and Belgium invest $1.6 bln in chip technology firm Imec. https://www.reuters.com/technology/eu-belgium-invest-16-bln-chip-technology-firm-imec-2023-07-07/

行 业 观 察

IRENA 发布《能源转型地缘政治：关键原材料》报告

7 月，国际可再生能源署（IRENA）发布题为《能源转型地缘政治：关键原材料》（*Geopolitics of the Energy Transition: Critical Materials*）的报告，分析了能源转型关键原材料需求增长将带来的地缘政治风险和机遇，并呼吁采取整体方法实现供应链多样化[12]。报告要点如下：

（1）能源转型将成为几种关键矿物需求的主要推动力。目前，这类材料的大部分需求与能源转型无关，但随着转型的推进，对许多材料的需求预计将会增长。IRENA 的 1.5 ℃情景显示，到 2050 年，全球可再生能源装机容量将达到3.3万吉瓦，交通运输部门电气化率将达到90%，这需要大规模的能源转型基础设施和关键原材料。当前，一些矿物的供需不匹配已经很明显，尤其是锂。

（2）由于经济、地缘政治和技术因素，对原材料关键性的评估是动态和不断变化的。目前对关键原材料还没有一个普遍接受的定义，许多国家和地区都制定了关键原材料清单，这些清单反映了当前的技术、全球供需动态以及评估背景。因此，决定原材料关键性的因素仍然是主观和地域性的。IRENA 对 35 份关键材料清单的评估显示，至少有 51 种可再生能源相关材料出现在清单上。

（3）关键原材料供应中断对能源安全的影响很小，但对能源转型的影响却很大。目前能源安全概念围绕能源的持续可获得性，主要源于对化石燃料供应的担忧。相比之下，即使关键原材料供应中断，已建成的可再生能源设施也可以继续运行几十年。因此，关键原材料供应中断风险与能源安全关系不大，将更多地影响能源转型进展。

（4）关键原材料的依赖风险和供应动态与化石燃料完全不同，因为

[12] Diversifying Critical Material Supply Chains Minimises Geopolitical Risks. https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Jul/Diversifying-Critical-Material-Supply-Chains-Minimises-Geopolitical-Risks

两者的特性和模式截然不同。一个突出的担忧是，能源转型将导致从对化石燃料的贸易依赖转向对关键原材料的依赖。然而，两者在生产、贸易和使用上的差异很大，不能简单进行这样的假设。此外，对关键原材料未来需求和使用的预测存在很大不确定性，因此需要仔细评估相关风险，以了解和主动管理风险。

（5）能源转型关键矿产的储量并不稀缺，但开采和冶炼能力有限。从中短期来看，市场约束可能会出现，部分原因是上游投资不足。全球范围内任何一种矿物的短缺都不太可能阻碍能源转型。许多能源转型关键矿产产量激增，经济可行的可采储量也在增长。此外，效率提高和材料替代等颠覆性创新已经在重塑需求。

（6）关键原材料的开采和加工在地理上很集中，一些国家发挥着主导作用。在关键原材料开采方面，澳大利亚（锂）、智利（铜、锂）、中国（石墨、稀土）、刚果（钴）、印度尼西亚（镍）和南非（铂、铱）占据主导地位。这种集中在加工阶段变得更加明显，中国目前占全球天然石墨和镝精炼加工的 100%、钴的 70%、锂和锰的近 60%。

（7）采矿业由少数几家大公司主导，市场往往由寡头垄断。这些大型跨国公司和国有或控股企业在多个国家运营，拥有开发复杂矿山所需的资源和技能。因此，该行业高度集中，少数公司控制着全球大部分生产和贸易。前五大矿业公司控制着 61%的锂产量和 56%的钴产量。

（8）关键原材料贸易规模比化石燃料小几个数量级。与石油不同，大多数关键原材料并未在交易所广泛交易。虽然这限制了对冲价格波动的机会，但使得大宗商品贸易者在匹配生产和消费方面发挥关键作用。

（9）对关键原材料的依赖程度以及供应中断风险隐匿性较强。来自不同国家的矿产通常包含在进口半成品或成品中，从而掩盖潜在的供应链关系和脆弱性。此外，进口交易有时仅归因于最后一批货物的发运国，而非原材料采矿或加工的国家。

（10）每一种关键原材料都有特有的贸易地理位置，这将形成更广

泛的供需网络。所有国家都依赖于运作良好的关键原材料和相关技术的全球市场，因为各国要么进口商品，要么依赖于对其材料、组件或成品的稳定需求。贸易模式因国家、行业和技术而异，揭示了各国在矿产供需方面的真正相互依存关系。

（11）当前关键原材料供应链容易受到各种地缘政治风险影响。矿产供应中断可能影响多个行业，并影响整个经济。供应短缺和相关风险可能会出现，特别是在中短期内，因为对特定材料的需求增加，而采矿和加工仍然集中。但从中长期来看，关键原材料的贸易流不太可能像石油和天然气那样容易受到地缘政治影响。这是因为其储量丰富，地理分布广泛，可以在许多地方进行加工。

（12）关键原材料贸易流不太可能卡特尔化。矿产供应在地理上高度集中，并且在矿产价值链关键环节（如开采和精炼）拥有巨大市场份额的公司主导这一市场。这种生产集中本身可能形成行业垄断的卡特尔现象。然而，以前此类建立行业垄断的大多数尝试均以失败告终，对许多生产国起到了重要的威慑作用。

（13）地缘政治博弈应考虑可能对矿产商品供需产生长期影响的结构性趋势。这些趋势不仅包括采矿和加工的地理集中，还包括矿石品位的下降、某些材料的替代可能性以及报废管理等。这些因素有可能放大地缘政治风险影响。

（14）短期内，许多原材料的集中供应链可能会维持原样。许多国家正在努力重组供应链，但新的采矿和加工设施交付周期很长，很难重新平衡供需动态（图 1）。此外，调整这些供应链需要谨慎平衡经济因素、环境影响和当地居民福祉。

（15）技术创新可以通过替代技术、提高效率、优化设计和采用新材料来影响需求。颠覆性创新增加了未来需求的不确定性。例如，过去 8 年电动汽车电池技术变化极大地重塑了对特定材料的需求。随着新技术的不断出现，市场可能会经历进一步的转变。因此，预测某些材料的

未来需求可能相当困难，特别长远需求。

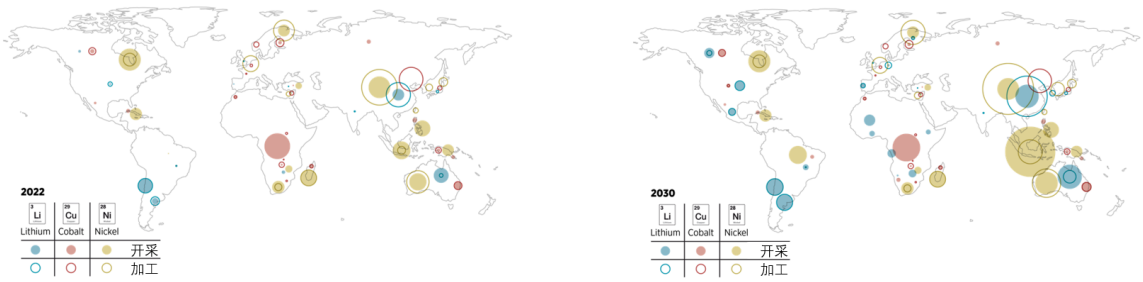


图 1　锂、铜和镍三种关键原材料开采与加工情况对比（2022 年与 2030 年）

（16）囤积能源转型技术的关键原材料并不是缓解供应风险的有力解决方案。关键材料对于能源资产的生产和建造不可或缺。如果处理不当，囤积可能会加剧市场限制，推高价格，并导致能源转型不均衡，将较贫穷国家排除在外，并推迟气候行动。

（17）关键原材料储量分布广泛，为材料开采和加工的多样化提供了机会。发展中国家目前占全球能源转型所需关键原材料产量的大部分，其在储量中的占比甚至更大，但尚未得到充分开发（图 2）。例如，玻利维亚拥有 2100 万吨锂储量，比任何其他国家都多，但 2021 年该国锂产量不到世界供应量的 1%。各国可以利用其矿产资源吸引供应链中中游（加工）甚至下游（如电池和电动汽车制造）行业。

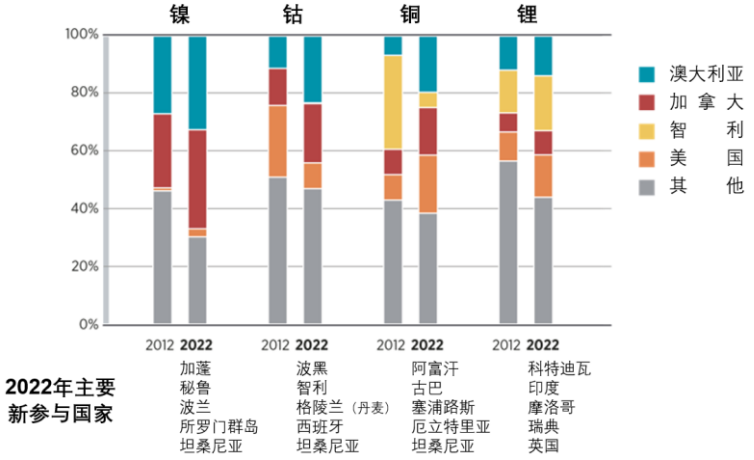


图 2　全球部分原材料勘探预算份额（2012 年和 2022 年，按国别）

（18）54%的能源转型关键矿产位于或接近原住民领地，这凸显了社区早期参与的必要性。80%以上的锂项目和超过一半的镍、铜和锌项

目位于原住民领地，而超过 1/3 的能源转型相关矿产项目位于或靠近面临水风险、冲突和粮食安全风险的原住民或农民居住地。

（19）寻找关键原材料可能会在已知拥有大量储量的北极、外层空间和深海等地区引发地缘政治竞争。北极地区拥有大量关键原材料，如镍、锌和稀土，丰富的矿产资源使其具有重要的战略意义。考虑到地球上丰富的地表储量，对于外层空间和深海应采取谨慎态度，因为可能存在环境影响且监管框架尚未确定。

（20）帮助发展中国家抓住关键矿产供应链中的新机遇可以提高供应链韧性，同时缩小全球脱碳差距。一个关键问题是，能源转型是否有助于发展中国家在增加原矿石出口的同时，帮助其提升价值链，吸引矿产加工等利润率更高的活动。钢铁和氧化铝等加工材料不仅比原矿石价格高出很多，还降低了基础设施和工业项目的投入成本，促进了当地经济发展。

（21）区域合作可以帮助各国获取更多价值。与通常的一对一交易相比，协调的区域合作可能更有效地确保外国投资的附带条件对矿产富矿国更有利。区域间的协调还可促进下游产业发展。

（22）国际和跨国举措需要更大的一致性，以实现更负责任、可持续和透明的供应链。关键原材料供应链相关的挑战逐渐促使政府、企业和民间组织制定一系列举措和监管框架，其中大部分是自愿的。但结果是杂乱无章的标准可能给利益相关者带来混乱，需提高透明度和一致性。

（23）如果规划和执行得当，基于可再生能源的能源转型可以变革采矿行业。即使以今天的意识和标准，采矿活动和过程也会给当地社区带来风险，如劳工和其他人权侵害、土地退化、水资源枯竭和污染以及空气污染。加强国际合作，提高开采标准，并让企业保持更可持续的长远眼光，对于可持续发展和社会许可至关重要。

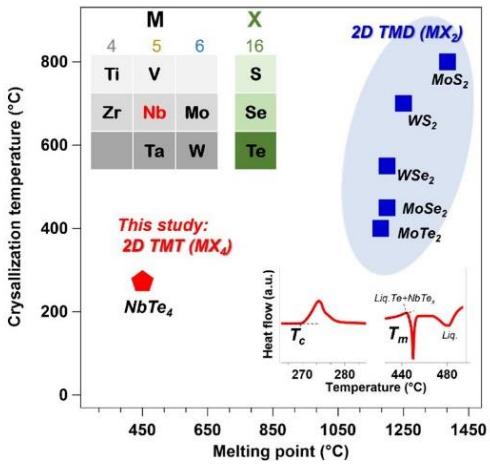
（岳 芳）

研 究 进 展

碲化铌：有望成为下一代存储器材料

相变材料从非晶态向晶态转变过程中，能产生可逆的电特性，可用于数据的存储和检索。日本东北大学 Yuji Sutou 率领的研究团队制备出一种有潜力的二维范德华四硫属化合物——碲化铌（$NbTe_4$），有望助力相变存储器彻底变革数据存储[13]。

研究人员利用溅射技术，将非晶态的碲化铌薄膜沉积到基底上，通过在 272 ℃以上温度进行退火，结晶成为二维层状晶相。与传统非晶态相变材料不同的是，碲化铌熔点低、结晶温度高，这种独特性质使得复位能量降低，并提高了非晶相的热稳定性。通过评估开关性能，研究发现，碲化铌的运行能量显著降低。



各种二维过渡金属硫属化合物的结晶温度和熔点温度对比

上述研究工作发表在 ***Advanced Materials***（文章标题：$NbTe_4$ Phase-Change Material: Breaking The Phase-Change Temperature Balance in 2d Van Der Waals Transition-Metal Binary Chalcogenide）。

（王 轩、万 勇）

[13] New Material Shows Promise for Next-Generation Memory Technology. http://www.tohoku.ac.jp/en/press/new_material_shows_promise_for_nextgeneration_memory_technology.html

新型磁性柔性机器人及制造方法

麻省理工学院 Polina Anikeeva 教授率领的研究团队开发出新型磁性软机器人及制造方法，在单向磁场下实现爬行、走路、游泳等多种运动功能[14]。

研究人员利用了聚苯乙烯-聚乙烯-聚丁烯-聚苯乙烯嵌段共聚物（SEBS）和环烯烃共聚物（COCe）等两种弹性体组合成空心结构，内部空心填充带有铁磁性的复合材料。然后进行热拉伸，由于 COCe 的塑性变形比 SEBS 大，在热拉伸处理后，可以自然形成螺旋状结构。最后研究人员对螺旋状结构弹性共聚物进行了永久磁化，在施加不同强度的磁场时，螺旋状结构弹性共聚物机器人可以一种导致收缩和放松的方式（类似于毛毛虫移动方式）进行运动。

上述研究工作发表在 ***Advanced Materials***（文章标题：Magnetically Actuated Fiber-Based Soft Robots）。

（黄 健）

全波段相位匹配新晶体材料

中国科学院新疆理化技术研究所潘世烈研究员率领的研究团队创制出一种新型非线性光学晶体——全波段相位匹配晶体，为整个透光范围内实现双折射相位匹配提供了新思路。

该研究揭示了全波段相位匹配晶体的物理机制，并以此为指导获得一例非线性光学晶体：四氟硼酸胍（GFB）。基于晶体器件实现了 193.2-266 nm 紫外/深紫外激光输出，该材料 193.2 nm 处晶体透过率<0.02%，依然可以实现倍频激光输出，验证了其全波段相位匹配特性，使该晶体成为目前首例实现了全波段双折射相位匹配的紫外/深紫外非线性光学晶体材料。研究结果表明，宽的相位匹配波长范围使 GFB 晶体透光范围得到充分应用，可实现 1064 nm 激光器二、三、四、五倍频高效、大能

[14] Magnetic robots walk, crawl, and swim. https://news.mit.edu/2023/magnetic-robots-walk-crawl-swim-0707

量输出，有望满足半导体晶圆检测等领域的重大需求。更重要的是，GFB可采用水溶液法生长出高质量、超大尺寸晶体，使其有望成为应用于大科学装置的新晶体材料。

上述研究工作发表在 ***Nature Photonics***（文章标题: Achieving the full-wavelength phase-matching for efficient nonlinear optical frequency conversion in $C(NH_2)_3BF_4$）。

（新疆理化所、澎湃新闻）

用于 3D 打印的高导电金属凝胶

美国北卡罗来纳州立大学 Michael Dickey 教授团队和天津大学的一项联合研究开发出一种具有高导电性的金属凝胶，可用于在室温下 3D 打印固态物体[15]。

研究人员将悬浮在水溶液中的微米级铜颗粒与液态铟镓合金混合，制备得到具有 Pendular 网络特征的金属凝胶。通过改变组成成分和 pH 值，可改变凝胶的流变性。该金属凝胶可用于 3D 打印，并保持其形状，打印出的结构具有类金属的高导电性（1.05×10^5 S/m），且无需进行烧结。为验证该凝胶的 4D 打印应用，研究人员还开展了对蜘蛛外形复杂结构的仿生打印。

上述研究工作发表在 ***Matter***（文章标题: Metallic Gels for Conductive 3D and 4D Printing）。

（李 喻）

[15] Researchers Create Highly Conductive Metallic Gel for 3D Printing. https://news.ncsu.edu/2023/07/metallic-gel-for-3d-printing/

中国科学院武汉文献情报中心

先进制造与新材料情报研究

微信扫一扫，关注我们

编　辑：　中国科学院武汉文献情报中心战略情报部

地　址：　湖北省武汉市武昌区小洪山西 25 号

电　话：　027-8719 9180

传　真：　027-8719 9202

邮　箱：　amto *at* whlib.ac.cn