

2025 年
第 03 期

先进制造 与新材料

ADVANCED MANUFACTURING
& NEW MATERIALS BRIEFING



上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)

材料回收领域研究最新进展

编者按

在全球资源循环利用和可持续发展目标的驱动下，材料回收领域正在迎来技术革新与产业变革的双重突破。值得关注的是，在回收关键矿物和高附加值材料方面，美国正通过政策引导和技术突破，提高国内供应链弹性，减少对海外市场的依赖。而日本则在高效甲烷回收、环氧树脂分解以及电动汽车电池回收等方面取得了重要突破，展现出其在材料回收领域的深厚技术积累和产业化布局能力。随着全球环境法规的不断强化和绿色经济的持续推进，如何加快可回收材料技术的产业化进程、提升回收效率以及构建稳定的资源循环体系，已成为各国政府和企业共同面对的关键议题。

本期简报聚焦材料回收政策、技术与产业方面的最新进展，希望为读者提供更加深入的思考与启发。

目录

材料回收政策.....	1
美国国防部拨款 510 万美元推动电子垃圾中的稀土回收.....	1
美国能源部拨款 3600 万美元用于废水回收关键资源.....	2
可回收材料开发.....	3
美国科学家开发出可回收耐用塑料，突破传统热固性材料回收难题.....	3
美国研究人员开发 3D 打印可回收塑料，实现可编程柔韧性与拉伸性.....	3
日本大阪大学开发可生物降解聚合物，实现韧性提升 8 倍、可回收性提高 20 倍.....	4
材料回收技术.....	6
日本开发高效甲烷发酵反应器，实现含硫废水中甲烷气体的高效回收.....	6
日本产综研开发常压下分解环氧树脂技术，大幅提升材料循环再利用率.....	7
材料回收产业.....	8
日本企业 Asaka Riken 启动 EV 电池回收业务，目标年利润 8 亿日元.....	8

材料回收政策

美国国防部拨款 510 万美元推动电子垃圾中的稀土回收

美国国防部（DoD）近日宣布，将根据《国防生产法案》（DPA）第三章，向稀土资源回收公司（REEcycle）提供 510 万美元资金支持，旨在推进电子垃圾中的稀土元素回收利用，并减少美国对外国稀土供应的依赖。本次拨款主要用于重启现有示范设施，并推动商业规模的生产调试，预计每年可回收 50 吨稀土氧化物。

REEcycle 专注于从废旧电子设备中提取稀土元素，特别是钕铁硼（NdFeB）磁体所需的关键元素，包括钕（Nd）、镨（Pr）、镝（Dy）和铽（Tb）。这些材料广泛应用于国防工业，例如飞机、电动机、导弹、潜艇以及无人机等军事设备，具有重要的战略价值。

国防部负责工业基础政策的助理部长 Laura Taylor-Kale 博士表示，构建一个弹性的稀土供应链需要多渠道的资源，REEcycle 的先进技术能够帮助美国从电子废料中提取高价值的稀土元素，从而降低对国外稀土供应的依赖。根据 REEcycle 公司的数据，其专有技术可实现对钕、镨、镝和铽的 98% 以上回收率，使这些关键材料能够重新用于国防和高科技行业。

此外，美国国防采购办公室（Office of the Secretary of Defense for Acquisition and Sustainment）自 2025 财年起，共批准了 6 项相关合同，总金额达 2.959 亿美元。这些资金将用于加强国防工业基础的供应链韧性，确保国防系统所需的关键材料供应。制造能力扩展和投资优先（MCEIP）理事会主任

Anthony Di Stasio 先生指出，通过电子垃圾回收稀土材料，该项目不仅有助于减少资源浪费，还能提高美国在稀土供应上的独立性。

REEcycle 计划在重启示范工厂后，进一步建设商业规模的生产设施，并为下游的金属冶炼和磁体制造企业提供原料支持。随着全球对稀土资源需求的持续增长，美国政府正在加强政策引导和资金支持，以减少对国外稀土供应的依赖，并提高国内资源的循环利用率。此次拨款标志着美国在关键矿产回收领域迈出了重要一步，并有助于加强国防供应链的安全性和可持续性。

资料来源：Department of Defense Awards \$5.1 Million to Recover Rare Earth Elements From Recycled Electronic Waste. 250117.

<https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/4033048/departments-of-defense-awards-51-million-to-recover-rare-earth-elements-from-rec/>

美国能源部拨款 3600 万美元用于废水回收关键资源

美国能源部（DOE）高级研究计划署（ARPA-E）于 2024 年 11 月 21 日宣布，将向 RECOVER 项目提供 3600 万美元资金，以推动废水中的关键资源回收。该项目旨在通过创新技术，从工业废水、采矿废水以及城市污水等来源中提取包括稀有金属、关键矿物及高能值材料，为美国建立更具可持续性的资源回收体系。

在现代工业生产和资源开采过程中，废水中往往含有丰富的金属元素，如锂、钴、镍、钒等，这些元素广泛用于能源存储、电动汽车电池、航空航天以及电子制造等领域。然而，传统的废水处理方法通常无法有效回收这些高价值资源，导致大量关键材料被浪费，并对环境造成污染。

RECOVER 项目计划采用先进的膜分离技术、选择性吸附材料以及生物电化学方法，提高废水中关键资源的回收率，同时降低能源消耗和二次污染风险。例如，通过微生物电化学系统（MES），可以利用特殊菌种催化金属离子的选择性沉积，使其转化为高纯度可回收材料。此外，新型纳米膜技术能够在分离污染物的同时，实现对特定金属离子的精准回收。

美国能源部强调，RECOVER 项目的实施不仅有助于减少对进口矿物的依赖，同时还能显著降低矿产开采对生态环境的破坏。能源部官员指出，该项目的成功实施将为未来的循环经济提供重要支撑，特别是在美国国内关键矿产短缺的背景下，其意义尤为重大。

当前，美国政府正在大力推进关键资源回收利用，ARPA-E 计划未来几年内持续加大对相关技术的投资，并推动回收技术的产业化应用，以确保美国在新能源和高科技制造领域的战略资源供应安全。

资料来源：U.S. Department of Energy Announces \$36 Million to Unlock Critical Resources from Wastewater. 241112. <https://arpa-e.energy.gov/news-and-events/news-and-insights/us-department-energy-announces-36-million-unlock-critical-resources-wastewater>

可回收材料开发

美国科学家开发出可回收耐用塑料，突破传统热固性材料回收难题

美国康奈尔大学的研究团队近期开发出一种基于二氢呋喃（DHF）的可回收热固性塑料，这一突破性的材料兼具耐用性和可降解性，可通过化学回收或自然分解，为传统不可回收的热固性塑料提供了环保替代方案。

热固性塑料因其优异的机械性能和耐化学性，被广泛应用于航空航天、汽车制造、电子设备、医疗器械等领域。然而，传统热固性塑料的高度交联结构使其难以回收再利用，一旦成型便无法熔融重塑，这导致大量废弃材料进入垃圾填埋场或被焚烧处理，给环境带来严重污染。

康奈尔大学的研究团队通过精准分子设计，采用二氢呋喃单体（DHF）进行聚合，创造了一种具备可逆交联结构的热固性塑料。这种新材料不仅在使用过程中保持了与传统热固性塑料相当的力学强度和耐久性，同时具备可回收性。当材料暴露于特定催化剂或温和化学溶剂环境下，其交联结构可被有效解离，使其恢复至单体或低聚物状态，进而实现高效回收和再利用。

研究表明，这种 DHF 基聚合物在物理和化学回收过程中均能保持较高的回收率和材料完整性，重复利用后仍能保持良好的机械性能。此外，该材料在特定生物催化条件下可自然降解，显著减少了塑料污染对环境的长期影响。研究团队指出，这一新型热固性塑料有望在未来替代现有的环氧树脂、聚氨酯和酚醛树脂等难以回收的高性能塑料，为工业制造和可持续发展提供新的解决方案。

目前，该研究成果已发表在《自然》（Nature）期刊上，学术界和工业界均对该材料表现出浓厚兴趣。下一步，研究团队计划与塑料制造企业合作，推动该技术的产业化应用，进一步提升可回收塑料在各行业的实际应用价值。

资料来源：Dreiling, R.J., Huynh, K. & Fors, B.P. Degradable thermosets via orthogonal polymerizations of a single monomer. Nature 638, 120–125 (2025).

美国研究人员开发 3D 打印可回收塑料，实现可编程柔韧性与拉伸

性

美国普林斯顿大学的研究团队近期开发出一种基于 3D 打印技术的可回收塑料材料，该材料不仅具备可编程的拉伸性和柔韧性，同时可低成本回收再利用。这项研究突破了传统 3D 打印材料的性能限制，为软机器人、医疗设备、仿生假肢等领域提供了全新的制造方案。

传统 3D 打印材料通常存在刚性强、韧性差的问题，限制了其在需要高柔性、高耐久性的应用场景中的使用。而该研究团队采用新型弹性体嵌段共聚物（elastomeric block copolymer），通过纳米级内部结构调控，使材料能够根据外部应力发生预设的形变，同时保持优异的力学稳定性。

实验表明，该 3D 打印材料不仅能够在多次拉伸和弯曲后恢复原状，还能够物理损伤后通过加热或溶剂处理实现高效回收。研究人员通过调节分子链的排列方式，实现了对材料刚性、弹性和粘附特性的精准控制，使其能够适用于不同负载需求的应用场景。例如，该材料可用于制造具备高柔性的软体机器

人，使其能够更自然地模仿生物运动。此外，该材料在医疗领域也展现出巨大潜力，例如用于制造符合人体工学的假肢、耐用的可穿戴医疗器械等。

研究团队指出，该技术的核心优势在于其可回收性和可编程性。相比传统 3D 打印材料，新型弹性体材料不仅提升了环境友好性，同时提供了更广泛的功能设计可能性。目前，该研究成果已发表在《Advanced Functional Materials》期刊上，并受到工业界的广泛关注。研究人员计划进一步优化材料性能，并与制造商合作推动大规模应用，以加速 3D 打印可回收材料的商业化进程。

资料来源：A.S. Ferguson, B.H. Gorse, S.M. Maguire, E.C. Ostermann, E.C. Davidson, Reprocessable and mechanically tailored soft architectures through 3D printing of elastomeric block copolymers, Advanced Functional Materials, 2024, DOI: 10.1002/adfm.202411812.

日本大阪大学开发可生物降解聚合物，实现韧性提升 8 倍、可回收性提高 20 倍

日本大阪大学研究团队联合共荣社化学公司，成功开发出一种新型可生物降解聚合物，在保持优异力学性能的同时，大幅提升了材料的可回收性和可降解性。这一研究成果为可持续材料开发提供了重要突破，未来有望广泛应用于包装、电子设备、医疗器械等领域。

该研究团队采用了一种创新的分子设计策略，在环糊精的环状结构中引入了贯穿聚合物链的可动交联结构。这种特殊的分子排列方式使得材料在不牺牲强度的前提下，显著提高了其稳定性、柔韧性和循环使用寿命。实验数据显示，相较于传统生物降解聚合物，该材料的韧性提升了 8 倍，而可降解性和可回收性则分别提高了 20 倍。这一特性使其在环境友好型塑料材料中具备显著优势。

在回收过程中，该材料可在生物催化剂“脂肪酶”的作用下快速降解，并能够在较低能耗条件下实现高效回收，减少了传统塑料材料在填埋和焚烧处理过程中产生的碳排放。此外，该材料的合成方法具有较强的可扩展性，能够适用于不同类型的高分子聚合物，为进一步推广和商业化应用提供了良好基础。

该研究成果已于 2024 年 10 月 29 日发表在国际知名期刊《Chem》上。研究团队表示，未来将继续优化材料的合成工艺，并与产业界展开合作，以加快该新型可降解塑料的实际应用进程，为构建资源循环型社会提供技术支撑。

资料来源：大阪大学开发出可生物降解聚合物,韧性提升 8 倍、可降解性和可回收性提高 20 倍. 241129. https://www.keguanjp.com/kgjp_keji/kgjp_kj_newtech/pt20241129000011.html

材料回收技术

日本开发高效甲烷发酵反应器，实现含硫废水中甲烷气体的高效回

收

日本国家环境研究所近期开发了一种创新型内相分离反应器（IPSR，Intrapartition Reactor），能够高效从含高浓度硫化氢的有机废水中回收甲烷气体。这一技术的突破不仅提升了废水资源化利用的效率，同时优化了废水处理流程，为工业生产提供了一种低能耗、高效益的可持续方案。

甲烷发酵技术是一种广泛应用于有机废水处理的生物降解方法，可将废水中的有机物转化为甲烷。然而，在含硫废水处理中，硫化氢（ H_2S ）的高浓度会抑制厌氧微生物的活性，影响甲烷发酵效率，并导致甲烷气体的质量下降。此外，传统的曝气脱硫方式能耗较高，难以在资源回收与成本控制之间取得平衡。

IPSR 反应器的核心创新点在于其采用了半连接结构（semi-connected structure），将两相反应器前后连接，使废水在进入甲烷发酵系统前进行优化处理。具体而言，反应器利用底层的沼气去除废水中的硫化氢，从而有效避免曝气设备的使用，同时维持厌氧微生物的活性，提高甲烷气体的回收率。

实验结果表明，与传统厌氧反应器相比，IPSR 反应器可使甲烷产量提高 30% 以上，同时将硫化氢的去除效率提升至 90% 以上。这一优化不仅降低了系统维护成本，还显著减少了能源消耗，使废水处理更加环保和经济。

研究团队表示，该技术无需额外电力输入，能够在工业生产环境下稳定运行，有望广泛应用于食品加工、制药、石化、造纸等高有机负荷废水的处理场景。未来，研究团队计划进一步优化反应器设计，并与相关企业合作，推动该技术的商业化应用，以促进循环经济的发展。

资料来源：硫化水素を高濃度に含む廃水からメタンガスを回収するリアクターを開発.

250127. <https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2501/27/news043.html>

日本产综研开发常压下分解环氧树脂技术，大幅提升材料循环再利

用率

日本产业技术综合研究所（AIST）近日宣布，成功开发出一种常压条件下可高效分解环氧树脂的新技术。这一突破性的研究成果解决了传统环氧树脂回收难的问题，使高性能复合材料的循环利用成为可能。

环氧树脂因其优异的机械性能、耐化学性和电绝缘性，广泛应用于电子封装、航空航天、汽车制造、风力发电等行业。然而，传统环氧树脂的分子结构高度交联，导致其难以回收，常规处理方式主要依赖焚烧或填埋，不仅造成资源浪费，还会带来环境污染。

此次 AIST 研究团队开发的新技术采用了一种特殊的催化裂解法（Catalytic Depolymerization），能够在常温常压条件下分解环氧树脂，并回收高达 95% 的原料化合物。该技术的核心在于一种高效催化剂体系，该催化剂可精准作用于环氧树脂的交联键，使其在温和条件下断裂，从而实现材料的回收再利用。

实验数据显示，相较于传统的高温高压裂解技术，该方法不仅能耗降低约40%，同时可适用于含有不同固化剂的环氧树脂，使其具备更广泛的适用性。这一突破性进展不仅降低了回收成本，还为电子废弃物、复合材料报废回收等行业提供了更加环保的解决方案。

目前，AIST 研究团队正在与材料制造商合作，计划将该技术应用于废旧电子元件、碳纤维增强复合材料（CFRP）等领域，推动高性能材料的可持续循环利用。未来，该技术有望在新能源汽车、风电叶片回收、航空航天复合材料再利用等行业发挥重要作用。

资料来源：产综研开发出常压下分解环氧树脂技术，更易于循环再利用. 250122.

https://www.keguanjp.com/kgjp_keji/kgjp_kj_newtech/pt20250122000013.html

材料回收产业

日本企业 Asaka Riken 启动 EV 电池回收业务，目标年利润 8 亿日元

日本金属回收企业 Asaka Riken 近日宣布，计划到 2028 年实现电动汽车（EV）**锂离子电池（LIB）**的回收商业化，并力争到 2030 年形成年处理 15,000 台电池的规模。这一举措旨在促进动力电池资源的循环利用，以应对未来电动汽车报废电池回收的需求增长。

Asaka Riken 目前已与日本 Prime Planet Energy & Solutions（丰田汽车与松下电器的合资企业）达成合作协议，将利用该企业制造过程中产生的 LIB 废料作为主要回收原料。考虑到大规模废旧 EV 电池的回收预计将在 2030 年代后期才会进入高峰期，该公司计划在前期先专注于生产废料的回收，再逐步扩展至废旧电池的回收处理。

回收工艺与商业计划：

Asaka Riken 将在福岛县磐城市泉町扩建现有工厂，并计划于 2026 年启动试运行，2028 年实现量产。该项目总投资额达 70 亿日元，其中包括来自日本经济产业省、福岛县政府等机构的补贴支持。该公司采用**“水平回收技术（Horizontal Recycling Technology）”**，该技术可高效提取钴、锂、镍等重要矿物，并将其直接用于新电池的生产。

经济效益预测：

该公司预计，到 2034 财年结束时，通过 LIB 回收业务可获得 10 亿日元的营业利润。此外，在全球 EV 市场快速增长的背景下，锂、镍、钴等关键金属的需求量不断攀升，而资源供给的波动性增加，使得动力电池回收成为未来新能源汽车供应链稳定性的重要保障。

Asaka Riken 计划通过优化回收流程，提高回收材料的纯度和回收率，并推动商业化应用，以提升 EV 电池回收的经济可行性。未来，该公司还可能拓展至欧洲和北美市场，以抓住全球新能源汽车产业链的循环经济机遇。

资料来源：アサカ理研、EV 電池を年 1 万 5000 台分再生 30 年にも。20250205.

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC079RJ0X00C25A1000000/>



地址：上海市永福路 265 号

邮编：200031

编辑：温一村

责编：崔晓文

编审：林鹤

电话：021-64455555

邮件：istis@libnet.sh.cn

网址：www.istis.sh.cn