

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2025 年 第 01 期 总第 135 期



国家离子型稀土资源高效开发利用工程技术研究中心
江西离子型稀土工程技术研究有限公司

◆地址:江西省赣州市开发区黄金大道68号
◆电话:0797-8160602
◆E-mail:jxlzxtt@163.com

◆邮编:341000
◆传真:0797-8160033
◆网址: <http://www.jxlzxtt.com/>

目次

◇ 行业动态 1-27

- ◎ 2024 年度中国稀土十大科技新闻
- ◎ 我国在云南新发现超大规模稀土矿
- ◎ 我国锂、锆钨、氦气、稀土等战略性新兴产业相关矿产取得重大突破
- ◎ 拜登政府任内的美国国内关键矿产政策有何特点
- ◎ 未来 5 年巴西稀土投资近 15 亿美元
- ◎ 2024 年全球重要地质矿产信息回顾

◇ 科技前沿 28-37

- ◎ 中科院广州地化所：铁（氢）氧化物-黏土矿物复合体对离子吸附型稀土元素富集-分异的制约
- ◎ 广州地化所：在风化壳型稀土绿色、高效电驱开采技术研发方面取得突破
- ◎ 中科院福建物构所：稀土配位超分子体系上转换圆偏振发光取得新进展
- ◎ 北京大学：张文雄课题组与合作者发现稀土介导的苯环开环复分解反应

◇ 政策法规 38-38

- ◎ 最新修订后《对外直接投资统计制度》公布 需报送金属矿产新增稀土、钛矿、锆矿、钽矿

◇ 市场行情 39-42

- ◎ 2025 年 1 月稀土价格走势

◇ 稀土知识 43-46

- ◎ 稀土类型介绍

◇ 文章摘要 47-49

- ◎ 离子型稀土矿微波强化浸出研究
- ◎ 组合捕收剂 DCL-2 对氟碳铈氧化焙烧产品浮选性能及作用机理研究
- ◎ 镨钕金属真空吸铸成型技术研究

◎ 铝热还原含稀土高炉渣在升温过程中的热履历行为

☆ 期刊目录 50-51

◎ 稀土 (2025 No.1)

◎ 中国稀土学报 (2025 年 1 月网络首发)

☆ 专利简介 52-53

◎ 一种稀土配合物荧光微球及其制备方法和应用

◎ 一种桥梁阻尼器用高铝稀土耐候钢及其制备方法

☆ 专利目录 54-54

◎ 2025 年 1 月新增公开/公告专利 (部分)

2024 年度中国稀土十大科技新闻

2024 年是全面贯彻落实党的二十大精神的关键之年，是深入实施“十四五”规划的攻坚之年。这一年，广大稀土科技工作者面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，为加快建设科技强国，实现高水平科技自立自强做出了突出贡献，稀土科技事业收获丰硕成果。

为深入宣传我国稀土科技事业发展中取得的突出业绩，展现广大稀土科技工作者踔厉奋发、赓续前行的精神面貌，中国稀土学会信息专业委员会、中国稀土学会技术经济专业委员会联合“中国稀土”网(www.cre.net)、《中国稀土学报》(中、英文版)、《稀土》、《中国稀土信息》(英文)开展 2024 年度“中国稀土十大科技新闻”评选活动。综合前期网络投票结果及业内知名稀土专家评审情况，共同评选出 2024 年度“中国稀土十大科技新闻”。

1. 中国科学院赣江创新研究院研发的高丰度稀土钇萃取分离工艺实现产业化应用

来源：中国科学院赣江创新研究院

南方离子型稀土矿中，高丰度稀土元素钇的含量最高可达到总稀土的 70%，其优先分离是离子型中重稀土资源高效分离的重要一环。然而，受燃油车排放标准提高及石油精炼工艺提升的影响，作为石油裂解副产物的环烷酸萃取剂的来源受到极大影响且品质急剧下降，导致目前以环烷酸为萃取剂的钇分离工艺难以运行，成为十多年以来离子型稀土冶炼企业广泛面临的卡脖子问题。

中国科学院赣江创新研究院廖伍平团队开发了具有自主知识产权的新型钇分离萃取剂，并进一步开发了新萃取剂的吨级规模制备技术和相应的钇优先分离工艺。目前，团队已成功制备 106 吨萃取剂（图 1），并建成年处理 3000 吨

离子型稀土矿中钇分离的生产线（图 2），已稳定运行超过半年，全面达到了环烷酸工艺的技术指标，但萃取级数减少了 20%。

该工作为替代现有环烷酸分离钇工艺提供了全新的技术方案，将从根本上解决相关稀土分离企业的心腹之患，已在虔东稀土集团股份有限公司实现成果转化。



图 1 106 吨新型钇分离萃取剂



图 2 年处理 3000 吨离子型稀土矿中钇分离生产线

2. 稀土掺杂助力高效 CO_2 催化转化制甲醇

来源：中国科学院长春应用化学研究所

稀土元素以其独特的光学、电学和磁学性质而著称，其应用涵盖了从传统的冶金、石化到新兴的磁性、催化等高端功能材料领域。作为轻稀土资源丰富的国家，我国高度重视镧、铈等高丰度轻稀土元素的高值化利用。然而，当前我国在轻稀土相关产业链构建上尚存不足，先进技术应用水平相对较低，这导致了稀土资源利用的不充分和不均衡。

轻稀土镧氧化物因具有高的水热稳定性和经济性，在能源转化催化工业化应用方面展现出极大的应用前景。作为代表的碳酸氧镧(LOC)是近年来的明星材料，被广泛用于石油裂解、甲烷转化、CO₂ 加氢等领域。然而，在该类非可氧化还原氧化物表面引入缺陷位点用于反应物吸附和活化仍具挑战。中科院长春应化所稀土资源利用国家重点实验室团队开发了一种稀土掺杂策略，成功制备了系列高缺陷化的 LOC 载体。经评估，钕掺杂的 Cu/LOC 催化剂在 CO₂ 加氢中展现出优异的甲醇产率($9.9 \text{ mol}_{\text{MA}}/\text{h}^{-1}\text{mol}_{\text{Cu}}^{-1}$)，创造了稀土基催化材料新纪录，且领先于商业 CuZnAl 催化材料。

该工作为惰性载体的表面缺陷化工程提供了新范例，推动了轻稀土催化材料在能源催化转化领域的应用，标志性成果：Synthesis of defect-rich La₂O₂CO₃ supports for enhanced CO₂-to-methanol conversion efficiency, Sci. Adv. 10, adr3332 (2024)。

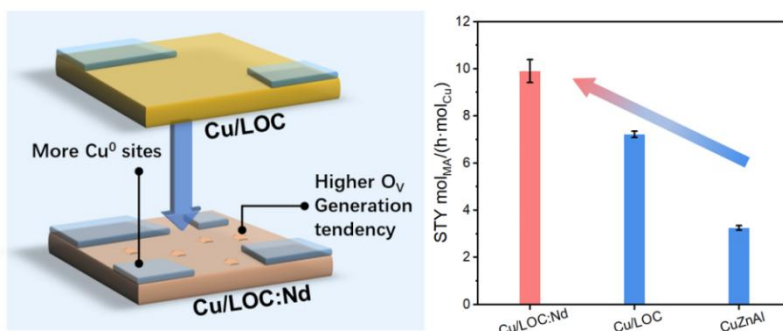


图 3 钕掺杂 Cu/LOC 催化材料的示意图和 CO₂ 加氢制甲醇的催化表现

3. 哈尔滨工业大学首次揭示尺寸依赖的稀土离子能量传递机制

来源: 哈尔滨工业大学

稀土上转换纳米晶是一类新兴的反斯托克斯发光材料, 在信息安全、生物医学、微纳激光器、超分辨光学显微成像、三维立体显示和能源等领域中具有重要应用。然而, 由于纳米结构存在严重的发光猝灭效应(包括体缺陷猝灭、尺寸诱导的表面猝灭等), 激发态能量迁移过程存在严重的能量耗散。因此, 纳米尺寸上转换材料的量子产率通常比块体对应物材料低几个数量级(约 10-1000 倍), 极大制约其相关应用研究。实现高量子产率的上转换发光对稀土发光研究具有重要意义。

基于此, 陈冠英教授团队构建了六方相镱铥掺杂、三明治夹心结构(核-壳-壳结构)的氟化物上转换纳米晶, 运用内核和外壳层惰性材料的有效限域隔离保护, 通过精准调控中间层厚度(1.2-13nm), 展示了该材料上转换量子效率的尺寸依赖效应。光谱研究和理论微观模型证实该效应与传统认知的表面猝灭效应无关, 主要由镱系元素间的长程(10 纳米量级)能量传递过程诱发。最终, 团队在亚 50 nm 尺寸的氟化物纳米晶中获得上转换量子产率高达 13%(激光波长: 980nm, 功率密度: 100w/cm²), 比相同激发条件下微米级的六方相镱铥掺杂块体对应材料高约 4 倍。该上转换量子产率为纳米结构上转换材料迄今为止历史最高纪录。

该研究首次揭示了稀土离子在纳米晶中存在尺寸依赖的离子间长程能量传递的物理机制, 不仅改变了人们长期以来对稀土离子间能量转移物理图像(不应具有尺寸依赖性)的概念理解, 相关材料还将在相关纳米光子学和生物光子学应用中发挥重要价值。与此同时, 研究成果通过调控实现了高达 13%的上转换量子产率, 超越了体相材料的上转换量子产率, 这一突破打破了自 19 世纪 60 年代发现上转换现象以来人们普遍认为的纳米材料上转换发光效率低于体相材料的观念。研究成果以《尺寸依赖的镱系离子能量传递增强上转换发光量子产率》

(Size-dependent lanthanide energy transfer amplifies upconversion luminescence quantum yields)为题，发表在《自然·光子学》上，改变了科学界对稀土上转换发光尺寸效应的传统认知，为稀土掺杂发光材料设计提供全新思路。

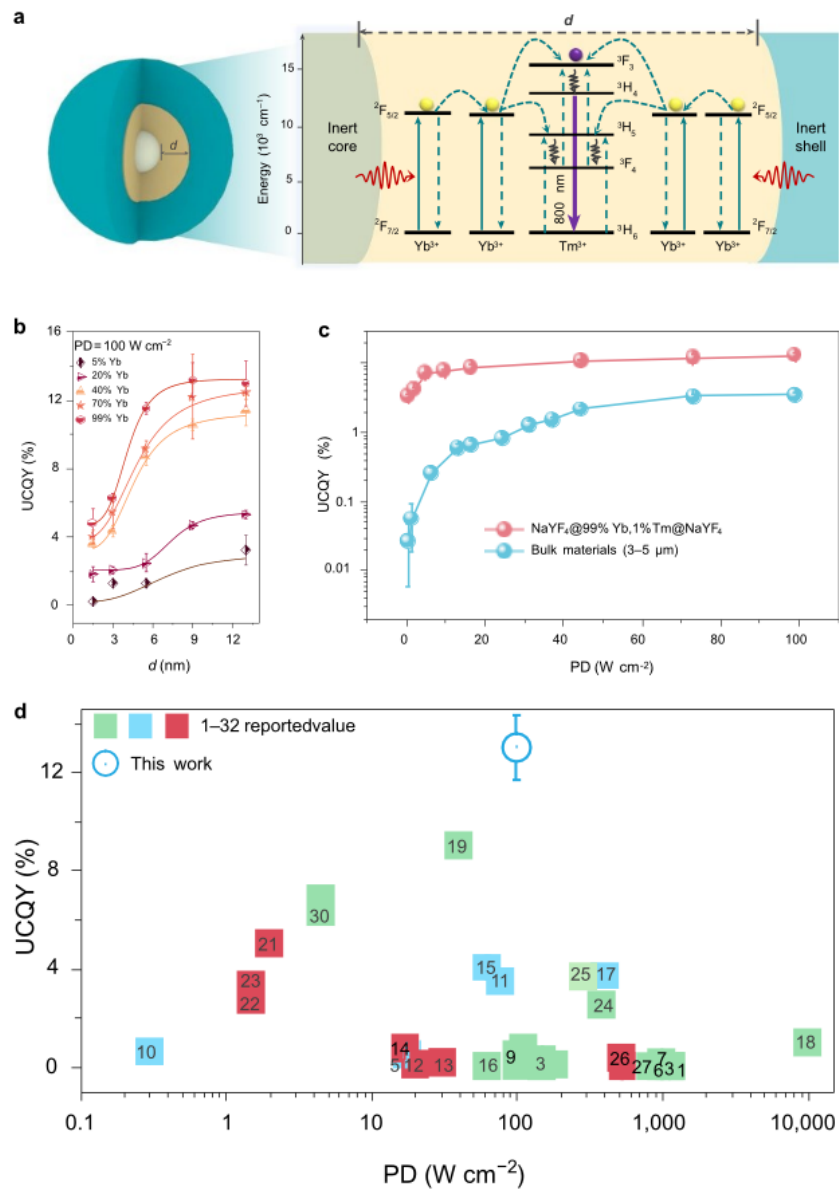


图 4 a 简化的镧系元素能级示意图；b 不同镱浓度掺杂氟化物纳米晶的上转换量子产率；c 镱铥掺杂块体材料与镱铥掺杂纳米晶的量子产率值在不同功率密度激发下的比较；d 在功率密度范围为 0.3 至 10000 W cm^{-2} 获得的最高上转换量子产率与文献值的比较

4. 钕铁硼合金废料回收技术取得重大突破

来源：江西省稀土行业协会

在国家对稀土资源保护与利用的高度重视下，钕铁硼合金废料回收稀土 REO 工艺技术研发与应用实现飞跃发展。

为应对我国稀土资源快速消耗，国家依法加强对稀土资源的保护，对稀土资源实行保护性开采。科技部给予固废资源化项目财政扶持。2024 年 6 月国务院发布了《稀土管理条例》，鼓励和支持企业利用先进适用技术、工艺，对稀土二次资源进行综合利用。在此背景下，赣州华卓再生资源回收利用公司、吉安鑫泰科技有限公司和江西理工大学携手，由刘卫华董事长决策投入巨资并引进一批高层次人才，开展了“立式特种稀土冶金炉”处理工艺技术研究，取得了成功，并荣获了江西省重大科技成果，同时获得了 500 万元的省财政扶持奖励。

该技术成果斐然：一是解决突破了回转窑技术存在的瓶颈，立式炉依据“冷气下沉、热气上升”原理，使烟气余热回收率高达 84%，远高于回转窑的 15-25%，稀土氧化率高达 85-90%，且具备多炉膛、机械搅拌等功能，实现了数字化智能化操控与绿色节能；二是为企业带来了显著的经济效益和社会效益，工作人员 70 多人，投产当年，仅半年产品销售额达 11 亿元，税收超 5000 多万元，排放尾气余热热能回收利用，额外创造经济效益 1000 多万元，在节能降碳方面成效显著；三是可实现年回收稀土 REO 约 1.7 万吨，产品品质优良，大幅降低后续生产成本，为稀土资源的高效利用与产业发展提供有力支撑。

5. “碳酸氢镁法冶炼分离稀土新技术”大规模推广应用推动稀土行业绿色高质量发展

来源：中国有研集团

针对稀土冶炼分离过程存在的氨氮/高盐废水及废渣处置行业瓶颈问题，中国有研集团、有研稀土新材料股份有限公司（稀土国家工程研究中心）黄小卫院士团队原创开发了基于镁盐循环利用的碳酸氢镁法冶炼分离稀土新技术，2024

年进一步优化升级，重点突破了碳酸氢镁皂化 P507-硫酸/盐酸体系萃取转型分离稀土技术、镁盐废水循环高效制备碳酸氢镁溶液联产高品质低镁石膏产品技术等，在甘肃稀土公司第III期工程 1.1 万吨 REO/年碳酸氢镁法治炼分离稀土生产线投产运行（三期合计年产量超过 5 万吨 REO/年），从源头消除了传统工艺产生大量氨氮/高盐废水、高镁硫酸钙废渣的问题，实现了 90%以上镁盐及 CO₂ 气体废气循环利用，水循环利用率大于 95%，生产成本降低 20%-30%；北方稀土采用该技术在包头稀土基地建设 10 万吨 REO/年冶炼分离稀土生产线，打造全球最大规模绿色智能化稀土冶炼分离标杆工程，并于 10 月实现第 I 期 5 万吨 REO/年生产线投产，助推包头“两个稀土基地”建设。

该技术成功入选 2024 年原材料工业“二十大”先进适用低碳技术。成果的大规模应用，将稀土科技成果转化为新质生产力，有力推动了稀土行业的绿色转型升级与高质量发展，为持续提升我国稀土冶炼分离技术国际领先优势做出了突出贡献。

6.稀土热障涂层吸波功能化

来源：武汉理工大学、中国科学院长春应用化学研究所

稀土热障涂层(TBC)用于高超飞行器机身（气动热）和发动机（燃烧热）的高温抗烧蚀隔热防护。随着先进装备的发展，新一代高超飞行器对 TBC 提出了电磁隐身需求，以提高其抗雷达突防能力。本研究发现磁性稀土掺杂 TBC 难以实现电磁隐身，而通过热障陶瓷与吸波剂的复合设计是实现 TBC 电磁隐身的一种有效途径。设计了一种 FeSiAl(FSA)合金粉末作为吸波剂，其具有相对低的热导率和良好的等离子喷涂稳定性。

研究表明，LMA 热障陶瓷与 FSA 具有较好的电磁匹配，通过大气等离子喷涂 LMA-FSA 喷雾造粒复合粉末，成功地制备出了热导率适中、吸波性能良好的 LMA 复合 TBCs，并且 TBCs 在 600 - 1000℃热处理 3-50 h 后吸波性能仍保持

较好；等离子喷涂制备的 TBC 与喷涂粉末相比具有更优异的吸波性能。LMA 复合 TBCs 面向新一代高超飞行器轻合金热端构件兼具耐热、隔热和电磁隐身一体化热防护需求具有良好的潜在应用前景。本研究是国内外率先开展稀土 TBC 电磁隐身研究，对促进 TBC 电磁隐身技术发展具有重要意义。相关研究成果以封面论文发表在 *Journal of Advanced Ceramics* 2024, 13 (10): 1523-1534。

7.西安交通大学在高性能稀土永磁材料领域取得重要进展

来源：西安交通大学

稀土永磁材料能向外界提供强磁场，在交通、能源、信息等领域应用广泛；稀土永磁材料同时也是消耗稀土战略资源最多的领域，因此，一直是稀土产业大国博弈的核心领域。随着稀土永磁材料领域国际竞争日益激烈，研发具有自主知识产权的、符合我国稀土资源特色的高性能稀土永磁材料及制备技术，对推动我国稀土永磁产业发展和稀土资源高效利用意义重大。西安交通大学马天宇教授团队长期从事稀土永磁材料基础研究和技术开发，并在轻稀土永磁材料领域取得了重要进展。

$\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 型轻稀土永磁材料是高温磁性最强的永磁材料，也是使用温度超过 300°C 的新一代轨道交通和电动飞机等永磁驱动系统的首选。历经 40 多年发展，该类材料的剩磁（充磁后向外界提供的磁感应强度）已接近理论值，但是其矫顽力和膝点磁场（反映抗退磁能力的指标，值越大抗退磁能力越强）却远低于理论值。西安交通大学马天宇教授团队在前期深入研究该类材料显微组织演变和反磁化机制的过程中，发现一种由结构缺陷聚集所形成的 $2:17\text{R}'$ 新相，这个相对磁性能有害，是导致矫顽力和膝点磁场低于理论值的重要原因。

基于此，团队发展了一种提高 $2:17$ 型钕钴永磁材料矫顽力和膝点磁场的新方法。与传统的等温时效和慢冷处理工艺不同，该团队在等温时效处理之前引入了额外的快速升降温(RTP)预处理，通过增多点缺陷和同时保持高密度线缺陷

(位错)，有效提高了对矫顽力起关键作用的 1:5H 析出相的形核率，同时加快了等温时效过程中结构缺陷的分解速度。对比结果显示，在后续的全程热处理之后，1:5H 析出相显著增多，同时 2:17R' 明显减少，从而使矫顽力(H_{ci})提高近 20%、膝点磁场(H_k)提高 30%以上，磁体综合磁性能超过成分相近的商业磁体。相关工作已申报国家发明专利（公开号 CN2023105067717）。

8.中国科学院福建物质结构研究所实现 Nd^{3+} 纳秒级室温上转换超荧光

来源：中国科学院福建物质结构研究所

超荧光属于量子光学范畴，在量子计算、量子通讯等前沿领域具有广泛的应用前景。传统超荧光需要在低温、低压和强磁场等极端条件下实现。得益于稀土离子的窄线宽和退相干时间长的优点，近期，研究人员在室温下观测到了 Nd^{3+} 的上转换超荧光。然而，由于参与相干耦合的粒子数低，超荧光发射强度和荧光寿命还无法满足实际应用要求。

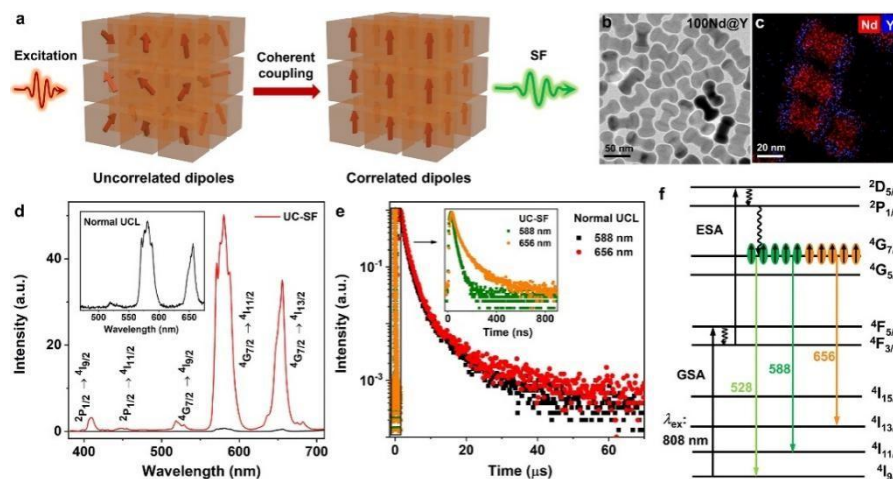


图 5 $\text{NaYF}_4:\text{Nd}^{3+}@\text{NaYF}_4$ 纳米晶超快上转换超荧光 (Nat. Commun. 2024, 15, 9880)

中国科学院福建物质结构研究所陈学元团队基于自行研制的纳米光子学测试系统，首次在 $\text{NaYF}_4:\text{Nd}^{3+}@\text{NaYF}_4$ 核壳结构纳米晶中观测到 Nd^{3+} 荧光寿命仅为 2.5 ns 的室温上转换超荧光(图 5)。其中，参与相干耦合的粒子数高达 912，是目前文献报道的超荧光材料最高值。与常规上转换发光相比， Nd^{3+} 上转换超

荧光的辐射跃迁速率提升了三个数量级。此外，团队还揭示了 Nd^{3+} 超荧光初始量子阶段激发态粒子相干耦合与超荧光延迟特征的内在关联，通过调节辐射体的有效辐射长度，还观测到 Nd^{3+} 上转换超荧光的激发态弛豫振荡现象 (Burnham-Chiao ringing)，并实现对它的调控。

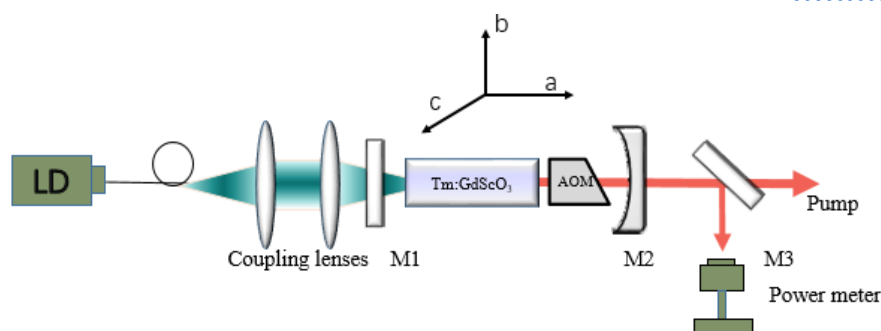
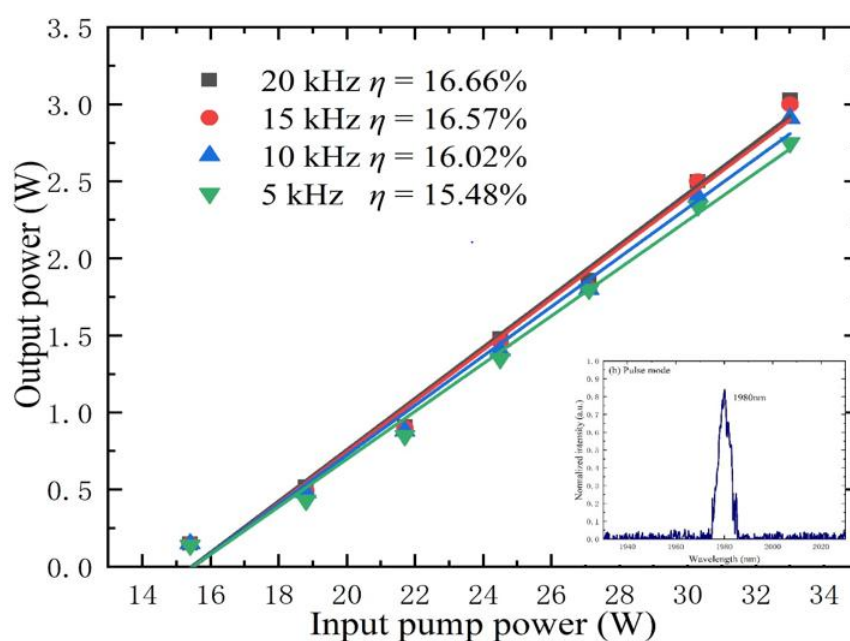
该工作突破了稀土离子 $f \rightarrow f$ 禁戒跃迁发光效率低、荧光寿命长的局限性，为新型超快、高亮稀土上转换纳米发光材料的设计合成及其在量子光学、快速超分辨成像等前沿领域的应用开发提供了新途径。

9. 中国科学院上海光学精密机械研究所在掺铥钪酸钪脉冲激光研究方面取得进展

来源：中国科学院上海光学精密机械研究所

$2\mu\text{m}$ 脉冲激光在激光雷达、工业加工、激光医疗等领域有着广泛的应用前景，并且该波段光源可作为非线性频率转换的泵浦源。 $\text{Tm}:\text{GdScO}_3$ 晶体因具有较高的热导率、较大的吸收截面、超宽的发射光谱、较低的声子能量等优异的物理及光学特性，近年来受到研究人员的关注。

基于此，中国科学院上海光学精密机械研究所空天激光技术与系统部研发团队采用声光调制器研究了板条 $\text{Tm}:\text{GdScO}_3$ 晶体（掺杂浓度 2at.%，尺寸 $2\text{mm} \times 4\text{mm} \times 20\text{mm}$ ）的脉冲激光输出特性。在泵浦功率 33W，重复频率 20kHz 下，获得了最大 3.03W 的 1980nm 脉冲激光，相应的光光转换效率和斜率效率分别为 9.18% 和 16.66%。在重复频率 1kHz 下，获得了最大 0.60mJ 脉冲激光输出，最窄脉冲宽度为 160ns，相应峰值功率为 3.75kW。实验结果表明， $\text{Tm}:\text{GdScO}_3$ 晶体在 $2\mu\text{m}$ 脉冲激光应用方面具有一定的优势。加之 $\text{Tm}:\text{GdScO}_3$ 晶体具有超宽的发射光谱，该研究作为 $2\mu\text{m}$ 波段宽调谐脉冲激光和多波长脉冲激光的研究提供了一定的参考。

图 6 Tm:GdScO₃ 板条激光器实验装置图图 7 Tm:GdScO₃ 板条激光器脉冲激光输出性能

10.中国地质科学院地质研究所在壳-幔间稀土元素迁移机制方面取得进展

来源：中国地质科学院地质研究所

在国家自然科学基金项目(批准号：92162216)等资助下，中国地质科学院地质研究所侯增谦院士团队，在俯冲条件下的稀土迁移机制方面取得新进展。研究成果以“次大陆岩石圈地幔中大量稀土元素的富集是由底辟作用而非熔融作用引起的(Massive rare earth element storage in sub-continental lithospheric mantle initiated by diapirism, not by melting)”为题，于2023年12月28日在线发表在《地质学》(Geology)。

稀土元素是现代技术发展中必不可少的关键金属元素，大多产出于碱性杂岩体和碳酸岩岩体之中。这些岩体往往都拥有一个受俯冲作用影响所形成的富集岩浆源区，但并未直接形成于俯冲带中，而是在陆内、裂谷、同碰撞及后碰撞等环境中大量出现。以往研究认为：洋壳在俯冲过程中会脱出大量富稀土的流体并交代岩石圈地幔形成富稀土的岩浆源区，该源区随后受地质事件活化进而形成富稀土的岩体或矿床。然而，流体能否迁移 REE? 岩石圈地幔究竟如何富稀土化? 富稀土的岩体或矿床为何没有直接形成于俯冲带中? 等问题仍需进一步地质约束。

研究团队采用天然深海富 REE 沉积物，模拟俯冲带条件开展了高温高压实验模拟。实验结果显示，天然富 REE 沉积物在俯冲带条件下难以熔融，主要形成榴辉岩相的混杂岩体，且无论其熔融与否，稀土都趋于富集在固态的矿物相中，而并未进入熔/流体，因此，原有的熔/流体迁移模型已不足以解释俯冲条件下稀土元素的迁移机制。通过密度进行计算，研究团队发现俯冲带中该混杂岩体的密度总小于岩石圈地幔，因此能够具有向上的浮力，能够直接以固态底辟形式携带大量 REE 向上覆岩石圈地幔迁移。

据此，研究团队提出：俯冲过程中稀土向岩石圈地幔的大规模迁移主要由固体岩石的底辟作用控制，而非熔/流体。底辟的难熔性导致其不能在俯冲带中直接形成富稀土的弧岩浆，仅能在后续的地质作用活化下方能大量熔融。同时，由于底辟和熔流体的成因和所携带物质等差异，将在俯冲过程中形成不同的富集岩浆源区(图 8)，进而在之后的地质事件影响下形成沿俯冲缝合带平行分布的多条成矿带。这一研究成果的提出极大地丰富和完善了稀土元素的成矿理论，也为其他类型矿床的找矿勘查提供了有利依据。

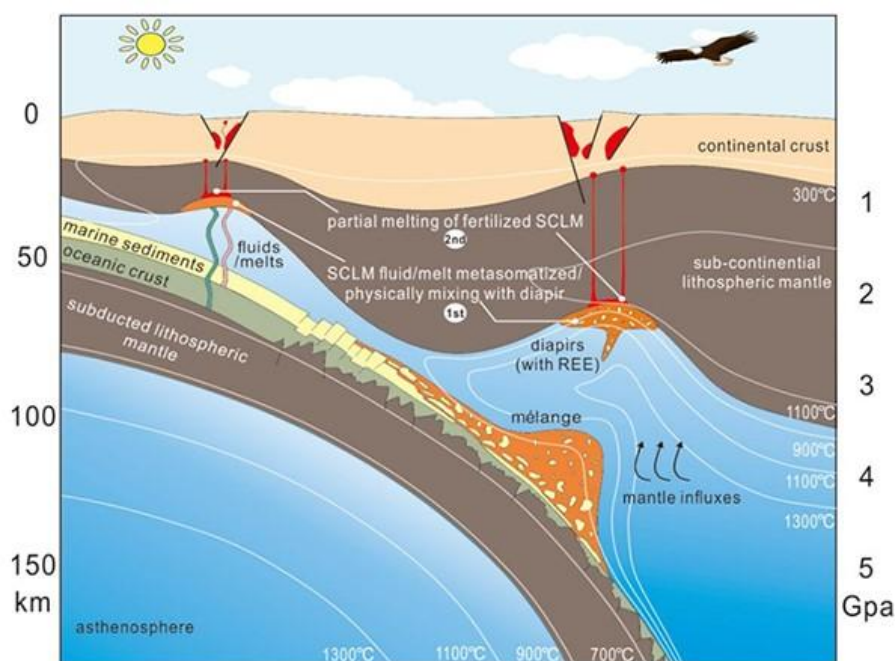


图 8 俯冲带中 REE 的迁移和富集模型示意图

(来源：中国稀土网)

我国在云南新发现超大规模稀土矿

在财政部的大力支持下，自然资源部中国地质调查局在云南省红河地区发现超大规模离子吸附型稀土矿，潜在资源达 115 万吨，其中，镧钕镨铽等关键稀土元素超过 47 万吨，这是 1969 年在江西首次发现离子吸附型稀土矿以后，我国离子吸附型稀土找矿的又一重大突破，有望成为中国最大的中重稀土矿床，对夯实我国稀土资源优势、完善稀土产业链具有重要意义，进一步巩固了我国在中重稀土资源领域的战略优势。

本次发现的离子吸附型稀土矿主要为中重稀土矿。我国轻稀土资源丰富，主要分布在内蒙古白云鄂博和四川牦牛坪等地，但中重稀土资源较为稀缺，应用领域更加广泛，是电动汽车、新能源、国防安全等必不可少关键原材料，是发展高新技术产业的关键金属。

中国地质调查局将地质调查与科学研究相结合，通过 10 余年工作建立了全国地球化学基准网，获取海量地球化学数据，取得找矿理论与勘查技术重要突破，填补了离子吸附型稀土矿地球化学勘查技术空白，建立了快速、精准、绿色勘查技术体系，对我国其他中重稀土富集区实现找矿快速突破具有重要借鉴意义。

（来源：中国地质调查局）

我国锂、锆钨、氦气、稀土等战略性新兴产业相关矿产 取得重大突破

1 月 14 日，自然资源部召开新闻发布会，介绍新一轮找矿突破战略行动重要成果。自然资源部地质勘查管理司司长熊自力介绍，我国锂、锆钨、氦气、稀土等战略性新兴产业相关矿产取得重大突破。

我国稀土资源在全球资源优势进一步扩大，山东省郯山矿区新增资源量 102 万吨，四川凉山州牦牛坪稀土矿预计新增 496 万吨，进一步夯实我国第二大稀土矿资源基础。云南省红河州南部发现超大规模离子吸附型稀土矿，有望成为我国最大中重稀土矿。

熊自力谈到，“十四五”深地国家重大科技专项正式立项实施，“深时数字地球”国际大科学计划启动实施，“战略性矿产资源开发利用”重点研发专项完成任务部署，能源资源有关全国重点实验室获批建设，标准体系不断完善，地质矿产领域战略科技力量布局得到显著优化，对资源安全国家重大战略的支撑力不断强化。

一是理论创新方面有突破。创立了碰撞型斑岩铜矿成矿理论、中国东部板内燕山期大规模成矿动力学模型、胶东金矿热熔伸展成矿理论和阶梯式成矿模式、三门峡盆地油气成藏新认识、锂矿“多旋回深循环内外生一体化”成矿理

论、离子吸附型稀土矿“内生外成”理论和多期多阶段角砾岩型稀土成矿模式，建立了一批重要成矿区带找矿模型，为指导地质找矿实践，推动资源基地建设提供了理论依据。地质找矿方向多个全国重点实验室获批重组，336 位优秀人才入选自然资源部高层次科技创新人才工程，近千位青年科技人才进入后备名单，科技创新力量不断壮大。二是在技术攻关和装备研发方面，增强自主创新和迭代集成创新。自主设计建造的首艘大洋钻探船“梦想”号正式入列；“地壳一号”挺进地球深部；自主研制出航空重力、航磁矢量等全系列技术装备和地球物理软件系统，创建了第三代综合航空地球物理勘查技术体系；形成了多尺度地球化学填图技术体系。三是新理论、新技术、新装备有效提高了矿产勘查的深度、精度和效率。自主研制的岩心钻机基本满足 4000-5000 米地质钻探需求，初步构建了“星-空-地-海-井”技术体系，助力一批大型矿床的发现及资源基地的增储上产，为新一轮找矿突破战略行动的顺利实施提供了重要科技支撑。

同时，钨、钼、锑、萤石、石墨等我国优势矿种资源量实现较大幅度增长，资源优势进一步巩固。

（来源：人民网）

拜登政府任内的美国国内关键矿产政策有何特点

1 月 20 日，拜登正式卸任美国总统。回顾过去四年来拜登政府出台的一系列关键矿产政策和实施的众多举措可以发现，其主要通过四个方面不断强化美国国内关键矿产产业链供应链发展。

一、第一方面：出台多项锂电行业关键矿产政策

2021 年 6 月，美国联邦先进电池联盟(FCAB)发布了《美国锂电池国家蓝图

(2021-2030)》。针对本国锂电产业链的原料、电池材料、电池制造、电池回收及技术与人才储备五大方面均提出了目标。其中包括：一是保障原料供应；二是鼓励材料加工，摆脱高度依赖进口的现状；三是刺激电池制造业发展；四是实现大规模报废电池梯次利用与回收；五是支持 STEM 教育及科学研究。这一蓝图的出台为美国锂电池行业发展指明了方向。

2022 年 3 月，在美国休斯敦举行的 CERAWeek 能源会议上，美国能源部长 Granholm 表示，将简化对新矿开采申请的手续，只要该项目是用于提供电动车电池原料的。美国监管机构也在陆续批准电动汽车电池生产所需金属的新开采申请。这将为电池原料金属的开采提供极大便利。

2022 年 4 月，拜登政府启动了《国防生产法案》，鼓励美国国内生产用于制造电动汽车电池和长期储能所需的矿物。这一法案将帮助企业获得联邦资金，对提取锂、镍、钴、石墨和锰等用于电动汽车生产的材料的项目进行可行性研究。该法案的启动为在美国国内推动电池材料项目开展提供了资金支持。

2024 年 10 月，美国财政部宣布，将允许矿业企业享受税收抵免，以扶持美国锂离子电池、太阳能板和其他清洁能源产品的生产。美国财政部表示，在满足某些条件的情况下，原料成本和电力成本都可依据最终的 45X 规则进行申请。此举意在鼓励企业未来扩大采矿规模以及加大在矿山的投资。

上述四项政策均是针对锂电行业而出或与之相关，美国政府急于发展其国内锂电产业的迫切心情可见一斑。

二、第二方面：大手笔资助多个关键矿产项目

第一类资助项目：从煤炭及其废弃物中提取关键矿产

2021 年 1 月，美国能源部化石能源办公室宣布将投入 2835 万美元的联邦资金，以资助工业和制造业所需稀土元素和关键矿物的先进加工工艺的研发。此次项目招标拟资助的项目将专注于开发对环境有益的创新性中游加工技术，申

请主要涵盖以下两个方向：一是研发可从煤基和其他资源中生产稀土金属并联合生产关键矿物的先进工艺；二是从煤基和其他资源中生产关键矿物（不包括稀土元素）。这是美国政府部门首次宣布以联邦资金支持此类项目。

2021 年 11 月，美国能源部化石能源和碳管理办公室宣布为八个项目提供近 1800 万美元的拨款，旨在推进相关项目，以从煤炭废弃物等物料中提取稀土金属和其他关键矿物。以此，从煤炭及其废弃物中提取关键矿产项目得以继续推进。

2023 年 4 月，美国政府宣布投资 1600 万美元支持西弗吉尼亚州和北达科他州建设稀土元素及关键矿产提取和分离精炼厂。项目将分两个阶段进行，将重点研究如何从煤矿废物中提取关键矿产。这标志着从煤炭及其废弃物中提取关键矿产的项目得到具体落实。

2023 年 7 月，美国能源部宣布，将通过两党基础设施法拨款 3200 万美元用于建设利用国内煤炭资源生产稀土元素和其他关键矿产、材料的项目。这也是此类项目获得的最大一笔资金支持。

2024 年 2 月，美国能源部宣布，将为 3 个项目提供超过 1700 万美元的资金，用于设计和建设利用煤基资源生产稀土元素，以及其他关键矿产和材料的设施。这 3 个项目包括：一是由伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校开展研究，建立一体化垂直供应链，用于生产精选的关键矿产煤炭来源。二是由 Winner Water Services 公司在现有技术基础上开展研究，从粉煤灰中回收稀土，同时为混凝土市场准备粉煤灰。三是德照科技公司在先前技术开发的基础上开展研究，旨在从煤炭副产品中回收稀土和其他潜在关键矿产，同时将粘土加工成可销售的产品。首次有高校和企业同时参与进来，将有助于加快研究进程及提高效率。

2024 年 4 月，美国能源部宣布，将为 4 个项目提供 1750 万美元，以减少在煤炭、尾矿和煤炭副产品中生产稀土和其他关键矿产、原材料的过程中对环境

造成的影响。4 个项目为：一是由肯塔基州大学研究基金会开展的中试规模测试。该项目将利用先进加工技术，获得单个稀土元素的高品位稀土氧化物，以及锂、锰、钴和镍等高纯化合物。二是由西弗吉尼亚大学研究公司实施的矿产资源综合利用项目。该项目将使用酸性矿山废水处理厂的材料生产单独分离的高纯度稀土元素和关键矿物氧化物，并将稀土氧化物进一步加工成稀土金属。三是由宾夕法尼亚州州立大学实施的矿山废水综合利用项目。该项目将从酸性矿山废水处理厂回收混合稀土氧化物和关键矿物和材料的浓缩物，并将生产高级化合物，包括碳酸锂、镍、钴、锰和钛等。四是由 Microbeam Technologies Incorporated 开展的一项实验。该项目将探索从褐煤衍生的混合稀土元素精矿中提取和生产高纯度镓、锗。更多高校加入到回收项目的研究中来，研究项目推进速度得到进一步提升。

2024 年 7 月，美国能源部宣布将为 2 个项目提供近 1000 万美元的资金，用于从煤炭、煤炭废物和煤炭副产品中生产稀土元素和其他关键矿产、关键原材料。其中，第一个项目将由加州理工学院承担实施，该项目计划整合传统和创新的稀土分离技术，以获得高纯度的单个稀土元素，同时生产关键矿产和关键原材料；第二个项目将由犹他大学承担实施，项目计划使用创新的矿物和化学分离技术，从丰富的低品位煤炭副产品中生产单独分离的高纯度稀土氧化物、稀土盐、稀土金属和关键矿产及关键原材料。至此，已经先后有六所高校参与了此项回收研究，研究力度得以加强，范围也得到扩展，由此也可以看出，通过高校从事这项研究是行之有效的途径。

2024 年 9 月，美国国防部对外宣布，将向内布拉斯加州的稀土盐公司提供 422 万美元，用于开发从荧光灯泡中回收氧化铽的技术并扩大生产。这项工作由国防生产法投资(DPAI)办公室资助，符合国防工业战略的优先事项，即通过扩大和维持生产来提高供应链的弹性。据悉，稀土盐公司是中国以外唯一采用

环保工艺回收氧化铽的生产商之一。公司还将回收作为副产品的稀土镧、铈、钕和钇等。美国国防部单独向稀土盐公司提供资金以开发此项技术，从侧面印证了氧化铽这一稀土材料对于美国军事工业的重要性。

美国拥有丰富的煤炭、煤炭废物和粉煤灰，据统计，目前其煤炭资源储量超过 2500 亿吨，废煤超过 40 亿吨，煤灰约有 20 亿吨。它们中含有大量的稀土元素，基于时下美国 80%以上的稀土资源依赖进口的情况，因此美国政府希望利用这些非常规资源建立对经济、清洁能源和国家安全至关重要的国内供应链。上述多个从煤炭及其废弃物中提取关键矿产的政府资金支持项目体现了美国政府对于关键矿产回收这项工程的重视程度。

第二类资助项目：直接向电池金属和稀土两个行业提供资金支持

2022 年 2 月，美国能源部发布了两份意向通知，将提供总额 29.1 亿美元的资金，以促进先进电池的生产。美国能源部打算为电池材料精炼和生产、电池和电池组制造设施以及回收设施提供资金支持。虽然是意向，但是 29 亿美元之巨的资金显示了美国政府的看重程度。

同期，美国国防部宣布，对稀土生产商 MP Materials 公司提供约 3500 万美元的资金支持，目的是为了建造重稀土工厂，该工厂分离或加工出来的稀土材料主要用于国防和民用领域。MP 公司是美国唯一一家有规模稀土生产基地的制造商，拥有位于加利福尼亚州的 Mountain Pass 稀土矿和加工设施。此举意在扶持 MP Materials 公司的生产。

2024 年 3 月，已经在内华达州开发美国最大锂矿的美洲锂业公司宣布，将获得美国政府 20 多亿美元的贷款。这笔资金来自美国能源部，将用于资助美洲锂业公司建设一座碳酸锂加工厂。项目邻近美洲锂业公司投资 22 亿美元的萨克帕斯锂矿。萨克帕斯是美国最有希望生产用于动力电池用锂的矿山之一。这笔资金将成为美国能源部贷款项目办公室历史上向矿业公司提供的最大一笔贷

款，美国政府构建关键矿产本土供应链的努力可见一斑。

2024 年 8 月，美国战略金属公司(USSM)获得该国进出口银行(EXIM)一笔贷款承诺，总额为 4 亿美元、期限 15 年，为其在密苏里州的采矿和冶金项目提供资金。USSM 成立于 2018 年，目前在其冶炼厂从锂离子电池中回收重要金属，并加工第三方精矿。该公司还计划开采被认为是北美最大的钴矿资源。此矿名为麦迪逊矿山项目，面积 7.3 平方公里，矿山寿命 18 年，可生产钴（以及镍和铜）。根据钴探资料，该矿估计可采钴 7200 万磅，镍 1.05 亿磅，铜 1.03 亿磅。

这些贷款承诺将为美国战略金属公司的经营活动提供资金支持。

2024 年 9 月，美国能源部(DOE)称，计划向 14 个州的 25 个电池制造行业项目提供 30 亿美元的资助。这些项目将提高美国国内先进电池及其材料的生产。上述资金资助领域包括：电池级关键矿产加工，零件，电池制造和回收。预计这将带来 160 亿美元的项目投资，提供 1.2 万个生产和建设岗位。这笔资助金额庞大且覆盖范围广，志在确立美国从固态电池到其他电池的下一代电池技术的领先地位。

2024 年 12 月，美国能源部长 Granholm 表示，正在采取创新性措施，利用国内资源获取下一代技术所需的关键材料。这些投资是国家产业战略的一部分，将使美国保持工业制造竞争力，同时为全国各地带来经济效益。其所支持的锂、镍、钴、稀土元素、铂族金属、碳化硅、铜和石墨等关键材料小型示范项目有助于降低关键材料创新风险，并加快商业化项目落地和推广。上述举措的最终目的是减少上述关键材料对外国供应的依赖。

2024 年 12 月，美国国防部表示，石墨对美国国防科技建设至关重要，目前该国正在阿拉斯加全力开展 BamaStar 和 Graphite Creek 石墨项目，此举旨在重建美国石墨生产供应链。其中，向 BamaStar 石墨项目等投资 320 万美元，用于开展国内石墨供应链的可行性研究；向美国已知最大的石墨矿床 Graphite Creek 投

资 3750 万美元，以加速石墨全产业链的发展。美国国防部此举意在确保石墨供应安全稳定。

三、第三方面：投资两项涉及关键矿产的研究

2021 年 6 月，美国能源部宣布拨款 3000 万美元支持关键矿产基础研究，以增加生产清洁能源所需的锂、镍和钴等材料供应，从而确保美国企业能够更可靠地利用国内资源。这是美国首次为支持关键矿产基础研究而拨款。

2022 年 8 月，美国政府宣布，将从《两党基础设施法》中拨款 6.75 亿美元，用于开展关键材料研究、开发和商业化等相关工作，以解决稀土元素、锂、镍和钴等关键矿产的供应链安全问题，助力清洁能源转型。此次拨款金额大幅增加，涵盖范围更为广泛，印证了开展这项研究的必要性。

涉及关键矿产的研究是确保关键矿产供应链的重要一环，强化相关研究可以加深对该行业发展规律的认识，为采取相应的对策提供依据，从而达到更好地效果。

四、第四方面：完成多项关键矿产基础性工作

2022 年 2 月，美国地质调查局发布了一份 50 种关键矿物商品的新清单。与 2018 年公布的美国第一份关键矿产清单相比，新版关键矿产清单去除了氦、钾、铯和铷，另外新增了 15 种矿物商品。新增商品中，大部分是由于将稀土元素和铂族元素拆分为单独的条目而增加的矿种，这体现了对稀土金属的格外看重。新版关键矿物清单的出炉，将为美国地质调查局和其他机构使用两党基础设施投资法案中的资金提供指导。

2022 年 7 月，美国地质调查局宣布，阿肯色州和密苏里州将获得两党基础设施法超 275 万美元的资助，用于收集连续的地球物理数据，重点是关键矿产资源。阿肯色等两州获得资金，是着眼于其拥有的 18 种关键矿产，并通过美国地质调查局矿产资源计划的地球测绘资源计划进行资助并实施，目的在于通过

新的地质地图、地球物理和地形测量及地球化学采样，进一步了解到国家基本地质框架和矿产资源的最新情况。

2023 年 8 月，美国能源部正式将铜列入其关键材料清单，这是继欧盟、日本、印度、加拿大等之后，美国政府机构首次将铜列入其官方“关键”材料清单。列入美国能源部关键材料清单的金属或矿物依据《通胀削减法案》将获得税收减免。美国正式将铜列入其关键材料清单是认识到了其在基本金属中的重要地位。

2024 年 3 月，美国将钾肥及磷肥列入该国内政部关键矿产最终清单。钾肥对粮食增量提质有着决定性作用，而美国约 95%的钾肥需求依赖进口，是该国进口最为依赖的关键农业资源，美国此举是为了进一步保障国内钾肥长期充分稳定供应。

同期，美国政府向国会提交 2025 财年预算申请，其中包括为美国地质调查局提供 16 亿美元资金，较上年增长 10.4%。该预算主要用于美国地质调查局开展涉及关键矿产勘查等相关的基础性、公益性地质调查工作。预算将重点支持四个领域的工作。其中一项是加大关键矿产勘查力度，为决策者提供国家矿产资源安全领域相关信息和风险研判。这是从地质勘察层面为发展关键矿产产业提供资金支持。

五、美国提高自身关键矿产产量尚需时日

从上述政策和举措可以看出，锂电行业、稀土行业和关键矿产回收项目是美国政府支持的重点。而向关键矿产行业投入巨资和重视该行业研究则令人印象深刻。

在拜登政府任期内，美国之所以在过去两年内连续出台多项政策、实施多项举措并在关键矿产行业投入巨额资金，目的是提高采矿、精炼和回收等能力，最大限度地提高自身关键矿产的产量，确保关键矿产供应的稳定性。但长

期以来由于种种原因，其国内关键矿产未得到充分勘探开发，这方面欠账较多。同时，考虑到关键矿产的开发具有开发周期长、产业链长的特点，虽然美国政府已经采取上述措施大力扶持关键矿产行业，但是项目后续产出需要较长时间，不可能一蹴而就。此外，还要顾及项目的经济效益、环境保护和社会影响等一系列问题。由此来看，美国很难在短期内快速提高其国内关键矿产的产量。而如今特朗普已经就任美国总统，未来是否存在变数尚且难以预料，仍有待观察。

（来源：中国金属矿业经济研究院）



未来 5 年巴西稀土投资近 15 亿美元

据 BNamericas 网站报道，虽然巴西稀土项目投资在增加，但该行业在巴西采矿业中的比重仍很小。

巴西矿业协会(Ibram)预计，2024-28 年，该国稀土项目投资预计将增至 14.6 亿美元，而 2023-27 年仅有 1.5 亿美元。

然而，Ibram 预计巴西整个采矿业投资在 2028 年前将达到 645 亿美元，大部分投往比较成熟的矿种，比如铁矿石、铜和金。

“稀土行业在巴西采矿业中还不那么普遍，但是有意投资者增多，主要来自国外”，采矿和金属行业咨询企业尼利克斯公司(Neelix Consulting Mining & Metals)管理合伙人何塞·卡洛斯·马丁斯(José Carlos Martins)认为。

加拿大上市企业阿克拉拉资源公司(Aclara Resources)任命穆里洛·纳加托(Murilo Nagato)为巴西分公司经理。纳加托曾任私企阿皮安投资巴西公司(Appian Capital Brazil)总裁。他将帮助公司推进在戈亚斯州的卡里纳(Carina)项

目。卡里纳是目前巴西投资最多的稀土项目。纳加托的职责是管理许可申请和技术开发，重点在最大程度降低投资和运营成本，同时按时推进项目。

卡里纳的矿山寿命为 22 年，每年可年产镨钕 191 吨，镨钕 1350 吨。镨钕镓钕都是电动汽车和可再生能源技术所需高性能磁体必需的材料。

目前，卡里纳项目处于预可行性研究阶段，哈奇(Hatch)被聘为工程咨询。项目正在按计划推进，预计 2028 年投产。

巴西的其他稀土项目还包括澳大利亚勘探开发企业维里迪斯矿业公司(Viridis Mining & Minerals)的科罗苏斯(Colossus)项目、澳大利亚初级勘探企业流星资源公司(Meteoric Resources)的卡尔德拉(Caldeira)项目，以及泰拉巴西矿产(Terra Brasil Minerals)钪-铁-稀土项目。这几个项目都在米纳斯吉拉斯州。

稀土是涡轮风力发电机和太阳能板生产必须的材料，也用于石油和化工生产等。

(来源：自然资源部全球地质矿产信息系统)

2024 年全球重要地质矿产信息回顾

2024 年，全球经济增长乏力，地缘政治风险加剧，供应链本土化趋势上升，自然灾害频发。全球矿产勘查投资下降，草根勘探占比创新低。深海采矿争论不休，进展缓慢，一些雄心勃勃的计划被迫放弃。稀土、稀有、稀散金属成为矿产勘查主要目标，并发现了一些世界级矿床。展望 2025 年，全球经济依然面临下行压力，地缘冲突和贸易战带来的风险加剧，新能源相关的矿产仍是勘探开发的热点，各国将更加重视关键矿产供应链的本土化和多元化。

1. 科学家探索碳酸岩型金属矿床成因

《科学进展》(Science Advances)期刊发表的一篇文章重点探索了可再生能源技术所需的金属富集过程，这些金属可以被低温富碳熔融体从地球深处的地幔向上运移。实验表明，碳酸岩熔融体可融解和携带许多金属和化合物，这个认识可为未来金属勘探提供参考信息。这些碳酸岩熔体高效地融解和搬运镍、铜和钴等贱金属，金银等贵金属和氧化硫，金属富集后形成矿床。

2. 标普：草根勘探预算占比创新低

标普全球在最新报告中指出，全球矿业公司草根勘探投资占比自 2000 年代初见高后持续回落，目前该比例已创该机构有统计以来最低。标普统计显示，2024 年，草根勘探投资预算为 27.9 亿美元，较上年下降 8%，占比仅为 22%，延续下降趋势。这远低于 1997-2004 年期间的 50%，当时矿业公司的重点放在新发现。此后，草根勘探占比逐步下降，因为勘探公司将重点从开创性的早期阶段勘查转向后期和矿场勘查。结果是，这种趋势严重影响了新发现率。

3. 坦布里兹探明全球最大镓矿床

克里蒂卡尔金属公司(Critical Metals Corp.)宣布，其在格陵兰南部的坦布里兹(Tanbreez)项目跻身世界最高品位镓矿床行列，进一步凸显了这个已被认为是世界级稀土矿床的价值。镓的发现是坦布里兹最近完成的钻探样品分析取得的，由此圈定了 4 个高品位矿段，即零单元(Unit Zero)，卡科托基特基底 (Base of Kakortokite，条纹霞石正长岩基底)，EALS 和 G 区(Area G)。G 区出现镓富集，镓氧化物(Ga_2O_3)品位高达 0.0147%。该矿段面积 1 平方公里，分布有大量后期结晶的伟晶岩。

4. 鲁尼成为 70 年来全球发现的最大铈矿

WA1 资源公司公布其在西澳州的鲁尼(Luni)铈稀土矿首个资源量。根据截止到 2023 年底的钻探结果，鲁尼项目推测矿石资源量为 2.0 亿吨，铈氧化物品位 1%，其中高品位矿石资源量为 5300 万吨、品位 2.1%。分析认为，该项目为

过去 70 多年来全球最大铈矿发现，也是品位最高的铈矿之一。

5. 美国防部将提交深海采矿评估报告

根据已签署的《国防授权法案》(NDAA, National Defense Authorization Act)，美国总统拜登指示众议院军事委员会提交一份有关海底多金属结核国内加工方面的报告。五角大楼需在 3 月 1 日之前提交一份关于深海采矿的评估报告。33 名国会议员致信国防部长和五角大楼，敦促国防部“探索所有能够巩固我们稀土和关键矿产供应链的途径”，强调“评估和规划海底采矿作为竞争新手段的重要性”。

6. IEA:2024 年全球煤炭消费再创新高

国际能源署(IEA)发布报告称，2024 年全球煤炭消费预计将达到 87.7 亿吨，再创新高，2027 年前都将维持较高水平，因为亚洲强劲需求抵消了美欧消费量的下降。IEA 称，随着可再生能源发电强劲增长满足了一些国家的能源增长需求，全球煤炭在整个能源中的占比已经降至 35%。印度煤炭需求量将达到 13 亿吨，超过欧盟和美国煤炭消费量的总和，增幅超过 5%。

7. 加拿大更新关键矿产目录

加拿大自然资源部公告称，经过同省和领地政府、勘探开发和制造行业及协会、土著组织和社区等磋商，2021 年首次发布的关键矿产目录已经更新为 2024 版。新的目录增加了三种矿产。一是富纯铁矿，用于绿色钢铁生产和脱碳；二是对于电池和粮食安全至关重要的磷；三是半导体和计算机芯片所需的金属硅。目前，加拿大关键矿产目录包括 34 种对于该国经济或国家安全至关重要的矿物和金属。

8. 国际海底管理局选举产生新秘书长

2024 年 8 月初，经过国际海底管理局(ISA)成员国投票，莱蒂西亚·卡瓦略(Leticia Carvalho)以 79 票对 34 票在这场有争议的竞选活动中胜出。2025 年元

旦，卡瓦略就职后，她将成为掌管这个负责世界 54%海底命运的联合国下属机构的首位女性和科学家。现年 50 岁的卡瓦略曾是巴西的一名环境监管员，目前是总部在内罗毕的联合国环境规划署的一名官员。ISA 领导人变化可能降低因开采海底金属带来的生态系统风险，但这些金属对于电动汽车用电池至关重要。

9. 美国众议院通过关键矿产一致性法案

在共和党和民主党共同支持下，美国众议院通过了 2024 年《关键矿产一致性法案》(Critical Mineral Consistency Act)。该法案修改了 2020 年《能源法案》，扩大了关键矿产范围，将能源部(DOE)圈定的关键材料包括在内。通过扩大关键矿产定义范围，该法案要求 USGS 将 DOE 目录中的材料纳入关键矿产目录。在美国能源部将某种矿物、元素、物质或材料添加到其关键材料目录后的 45 天内，USGS 必须更新其目录。

10. 拜登访问安哥拉再推洛比托走廊计划

12 月初，美国总统拜登对安哥拉进行了为期三天的访问，通过资助洛比托(Lobito)铁路建设，拜登打算提高美国在广大非洲地区的影响力。美国官员表示，拜登并没有试图强迫各国在两国之间选边站，而是“给他们一个选择和做出自己主权决定的能力”。

(来源：自然资源部全球地质矿产信息系统)

中科院广州地化所：铁（氢）氧化物-黏土矿物复合体 对离子吸附型稀土元素富集-分异的制约

华南离子吸附型稀土矿床是全球最重要的中重稀土资源基地。揭示稀土元素的富集-分异机制，对该类稀土矿床的找矿勘探和高效开采具有重要意义。已有研究发现，在离子吸附型稀土矿床中，黏土矿物是稀土元素的主要载体矿物，但黏土矿物主要以静电引力吸附稀土元素，不会导致其分异。事实上，华南红壤中存在大量的铁（氢）氧化物微-纳米颗粒，并与黏土矿物形成复合体。目前，关于二类矿物对稀土元素富集-分异作用的贡献等研究尚未见报道。

为此，中国科学院广州地球化学研究所矿物表面物理化学学科组对广东仁居离子吸附型稀土矿床开展系统研究，发现风化壳中的黏土矿物以伊利石、高岭石和埃洛石为主，铁（氢）氧化物主要为水铁矿、针铁矿和赤铁矿，二类矿物形成了复合体。从半风化层到表土层，复合体的物相组成从长石/伊利石-水铁矿/针铁矿向高岭石/埃洛石-针铁矿/赤铁矿转变，最终在表土层形成高岭石-赤铁矿复合体。在复合体中，稀土元素主要以离子交换态和铁氧化物结合态存在。其中，离子交换态稀土元素占较大比例，但没有表现显著分异，而铁（氢）氧化物结合态则明显富集中重稀土，同时晶态铁（氢）氧化物结合态的中重稀土富集程度更高。模拟实验进一步发现，黏土矿物与铁（氢）氧化物分别通过静电引力和络合作用吸附稀土元素。轻稀土（如钕）主要分布于黏土矿物表面，随硫酸铵浸取大量溶出。而重稀土（如镱）主要分布在铁（氢）氧化物表面，具有较高的稳定性，不易被硫酸铵浸出。研究结果揭示了黏土矿物和铁（氢）氧化物对离子吸附型矿床中稀土元素富集-分异的控制机制，有助于理解和掌握离子吸附型稀土矿床的形成机制。

该研究得到了国家自然科学基金(41921003, 42022012), 国家重点研发计划(2021YFC2901701)等项目联合资助。相关成果近期发表于矿物学重要期刊《American Mineralogist》。

(来源: 中国科学院广州地球化学研究所)



广州地化所：在风化壳型稀土绿色、高效电驱 开采技术研发方面取得突破

近日, 我国科学家在稀土电驱开采技术方面取得新的重大进展, 克服了规模化应用中的技术瓶颈, 使稀土采收率大于 95%, 浸取剂用量减少 80%, 开采时间缩短 70%, 所需电能节约 60%, 向环境排放的氨氮量降低 95%, 表现出潜在的经济可行性。最新研究成果于北京时间 1 月 6 日在线发表在《自然-可持续》(Nature Sustainability)。

稀土是世界性战略矿产资源。风化壳型稀土矿是我国优势矿种, 为全世界提供了 90% 以上的中重稀土。然而, 传统的风化壳型稀土开采工艺——铵盐原地浸取技术存在生态环境破坏严重、浸出周期长、资源利用效率低等问题, 2018 年以后已被我国禁用。为解决风化壳型稀土矿绿色高效开采的问题, 2023 年中国科学院广州地化所率先提出了一种绿色、高效、经济 and 快速的电驱开采技术理念, 完成了原理可行性验证并取得初步的实验成果。但在实际应用过程中, 该技术仍面临一系列问题和挑战, 主要包括电极在潮湿和侵蚀性环境中长期运行的稳定性、大规模矿区应用时可能出现的浸出液泄漏, 以及地下水文条件和矿体结构对稀土采收率的复杂影响。

为此, 广州地化所朱建喜研究员、何宏平院士团队通过深入凝练科学问题及核心技术攻关, 进一步发展和完善了稀土电驱开采新技术。通过研发新型防

腐蚀低损耗的惰性导电材料，设计高压防渗策略，以及创新性地采用周期性交替通电方法，将该技术成功应用于 5000 吨土方规模的稀土矿中试开采（图 9）。

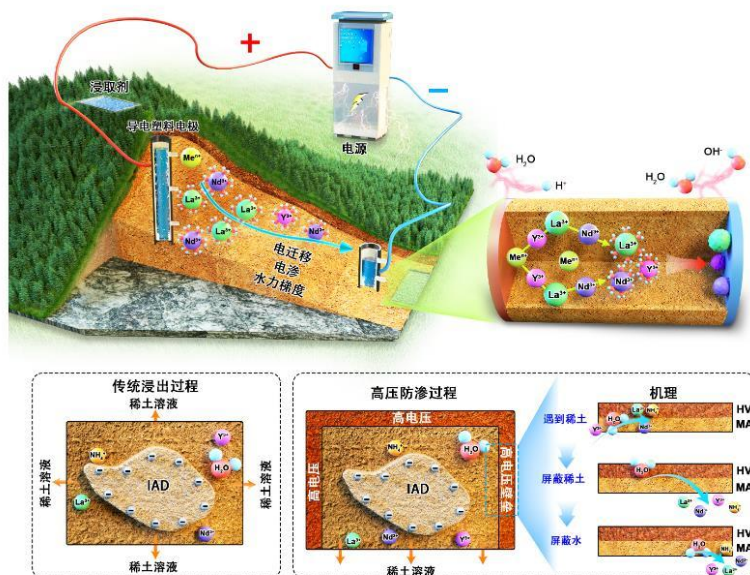


图 9 风化壳型稀土矿原位电驱开采示意图

针对常规金属电极在土壤环境中易被腐蚀的问题，研究团队开发了一种新型塑料导电电极。该电极具有优异的导电性(200s/m)和良好的耐电流冲击能力（70 A，两个月无损）。同时，由于塑料表面的疏水性，该电极能够防止电化学反应和减少水电解，并因其柔韧性可以更紧密地贴合矿体表面，从而提高电驱开采过程的效率。

实际矿山结构复杂、裂隙发育严重，浸取剂和稀土浸出液在重力作用下常沿着裂隙快速迁移、泄露、导致稀土采收率降低。为此，研究团队设计了一种高压防渗策略，通过高压电场将浸出液封闭在指定收集区，同时利用电迁移和电渗原理控制稀土浸出液向集液池定向迁移。这一创新策略有效避免了传统开采中的“跑冒滴漏”，解决了传统开采中稀土浸出液无序流动和环境污染的难题，为高效、安全的稀土开采提供了创新性解决方案。

在实际开采过程中，电极数量众多并相互干扰，且长时间通电会引起电荷累积，降低通电效率并增加能耗。为此，研究团队设计了周期性交替通电方

法。通过周期性切换阳极与阴极，有效减少了电极极化现象，提升了电流效率。此外，通过给局部区域轮换通电，利用停电期间的额外扩散作用促进了浸取剂和稀土离子的交换反应，提高了稀土采收率。相比给全区域同时通电，该方法可显著节约电能，降低了成本。

通过 60 天的通电开采，工业试验的稀土采收率达到了 95%以上(图 10a)。环境监测结果表明，地下水和地表水中的氨氮排放量相比传统开采工艺减少了 95%(图 10b, 10c)，极大降低了稀土开采的环境影响。基于技术经济分析，电驱开采技术在不计入环境修复成本的情况下，与传统开采技术的成本相当，但传统工艺的后期环境成本和生态修复费用(主要是氨氮污染)通常较高。电驱开采技术展现出潜在的经济可行性和环境优势。

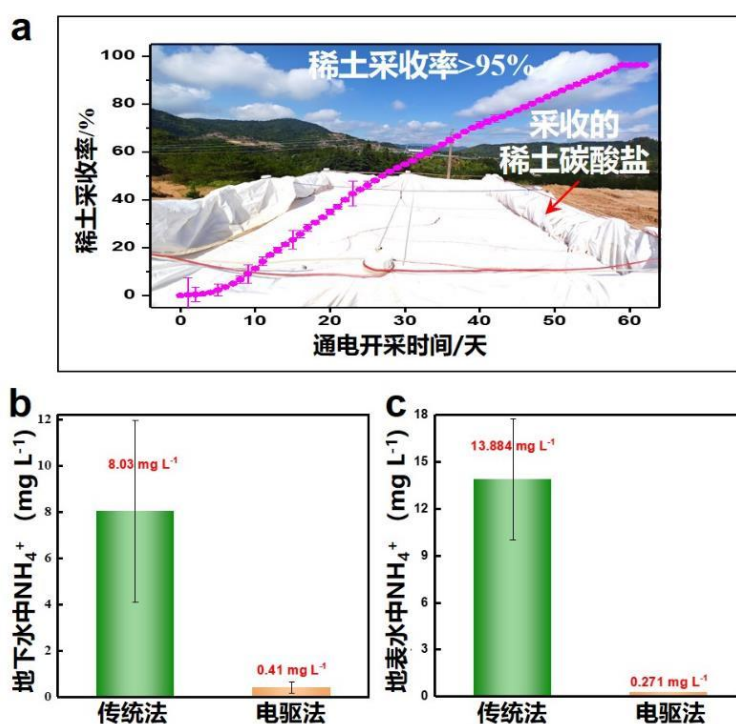


图 10 工业试验结果图 (a)稀土采收率；(b)地下水氨氮含量；(c)地表水氨氮含量

相关系列研究成果发表在《自然-可持续》(Nature sustainability)(2023, 2025)、《创新》(The Innovation)(2024)、《化学工程杂志》(CEJ)(2024)、《稀土学报》(JRE)(2024)等，授权专利 12 件（包含 3 件国际专利）。

该研究受到了中国科学院前瞻战略科技先导专项（A 类先导专项）(XDA0430205)、广东省基础与应用基础研究重大项目(2019B030302013)和国家自然科学基金(42102037)等项目的资助。

（来源：中科院广州地化所）

中科院福建物构所：稀土配位超分子体系上 转换圆偏振发光取得新进展

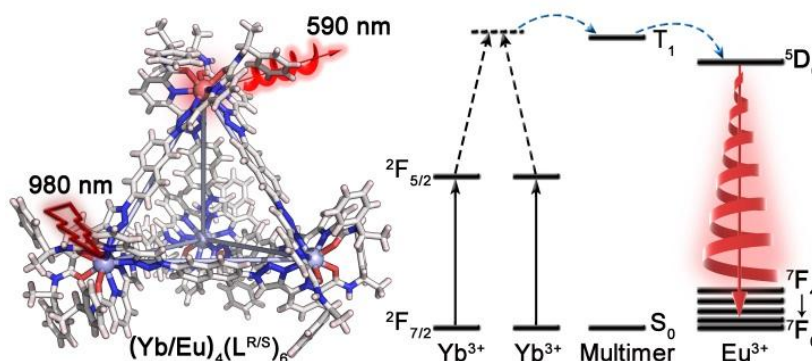


图 11 多聚体三线态介导上转换圆偏振发光示意图

近年来，圆偏振发光与上转换发光的融合吸引了科学家们的广泛关注。这种独特的上转换圆偏振发光现象，可以将未极化的低能光子转化为具有圆偏振特性的高能光子的反斯托克斯光学，为光学材料、生物医学成像以及量子信息处理等诸多前沿领域注入了无限可能。目前，这一现象已经在三重态-三重态湮灭上转换、双光子吸收以及上转换纳米粒子等体系得以实现。相较之下，稀土配合物的分子上转换因其可控合成、精确的结构以及良好的溶解度而同样备受瞩目。然而，由于上转换发光效率低以及稀土中心的立体化学难以精确控制，镧系超分子体系上转换圆偏振发光目前仍未见报道。

近日，中国科学院福建物质结构研究所结构化学全国重点实验室孙庆福研究员团队首次在稀土超分子体系实现了上转换圆偏振发光。利用 C_2 对称性的手

性配体 $L^{R/S}$ 与 Ln^{3+} 离子立体选择性自组装, 成功构建了具有 $\Delta\Delta\Delta\Delta$ 或 $\Lambda\Lambda\Lambda\Lambda$ 金属立体中心的四面体笼 $Ln_4(L^{R/S})_6$ 。研究发现, 超分子自组装过程有效限制了分子内配体的取向、距离和振动, 使得四面体笼的磷光源自分子内配体-配体之间的耦合所形成的多聚态的集体贡献。巧妙的是, 配体多聚体的三线态能级不仅与典型的 Ln^{3+} 离子 (如 Eu^{3+} 、 Sm^{3+}) 的激发态能级匹配, 而且与两个 Yb^{3+} 离子在上转换发光中所能达到的准虚拟能级精准匹配。因此, 在 980 nm 激发下, 异金属 $(Yb/Eu)_4(L^{R/S})_6$ 和 $(Yb/Sm)_4(L^{R/S})_6$ 配合物在室温溶液中通过多聚体三线态介导的协同敏化上转换途径分别实现了 Eu^{3+} 的红光和 Sm^{3+} 橙光发射。三线态介导上转换发光具有能级匹配、激发态寿命长、上转换量子产率高等优势, 进而首次在稀土超分子 $(Yb/Eu)_4(L^{R/S})_6$ 体系实现了 Eu^{3+} 的上转换圆偏振发光 ($g_{lum} = 10^{-2}$)。

本研究为上转换圆偏振发光材料的设计提供了一种新的方法, 为手性稀土功能材料的开发开辟了新的途径。相关研究成果以 Communication 形式发表在 CCS Chemistry, 文章第一作者是段小芳博士后, 通讯作者是郭小青副研究员和孙庆福研究员。本工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目的经费支持。

(来源: 中科院福建物构所)



北京大学: 张文雄课题组与合作者发现稀土介导的 苯环开环复分解反应

北京大学化学与分子工程学院张文雄课题组近期在《美国化学会志》(Wei Liu, Ping Wu, Yibo Liang, Junnian Wei, Gen Luo*, Wen-Xiong Zhang,* J. Am. Chem. Soc. 2025, 147, 1300-1306) 上以全文形式发表一篇题为 “Rare-Earth Metal-

Enabled Ring-Opening Metathesis of Benzene”的研究性论文。

烯烃复分解反应在合成化学和材料科学中具有广泛的应用。尽管芳烃中存在潜在的烯烃单元，但芳环碳-碳键的复分解反应仍然是一个尚未探索的领域。这主要受到热力学限制以及缺乏合适反应途径的双重制约。一种潜在可行的策略是通过光激发将芳烃激发至三线态与烯烃发生反应。然而，该反应中通过[2+2]环加成生成的双环辛二烯中间体倾向于发生逆电环化生成环辛三烯，而非通过[2+2]开环得到复分解产物（图 12a）。针对以上问题，他们提出了以双碳负离子替代烯烃参与芳香复分解反应的假设。该假设基于两个关键点：一是引入双碳负离子提高反应性，并通过碳负离子的稳定化提供额外驱动力；二是[2+2]环加成生成的中间体在负电荷的存在下，原有的 6π 逆电环化反应被抑制，从而为[2+2]开环提供机会（图 12b）。

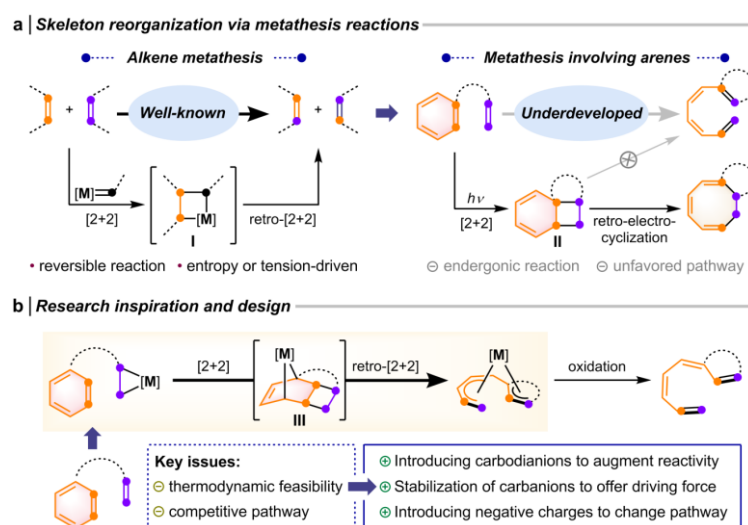
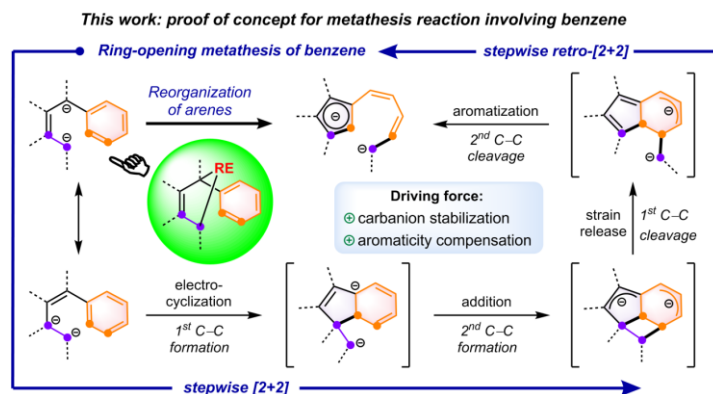


图 12 探索芳环开环复分解反应的研究思路

近年来，张文雄教授课题组在稀土金属杂环化学领域取得了一系列成果(*J. Am. Chem. Soc.* 2024, 146, 15609; *J. Am. Chem. Soc.* 2023, 145, 6633; *Cell Rep. Phys. Sci.* 2022, 3, 100831; *J. Am. Chem. Soc.* 2021, 143, 9151; *J. Am. Chem. Soc.* 2020, 142, 10705)。2023 年，他们报道了稀土介导的交叉碳负离子偶联反应，可得到稀土杂环戊烯物种(*Cell Rep. Phys. Sci.* 2023, 4, 101479)。利用稀土金属杂环内双碳

负离子的高反应性和协同效应，他们发现了首个苯环的开环复分解反应，验证了上述设想（图 13）。



首先，他们发现镧杂环戊烯 **1a** 在加热下可转化为化合物 **2a**（图 14a）。**2a** 的单晶结构表明其为半夹心型配合物，包含一个带有配位侧臂的多取代环戊二烯 (Cp) 配体，其中 Cp 骨架和配位的 C11 原子通过一个螺旋二烯片段连接（图 14b）。

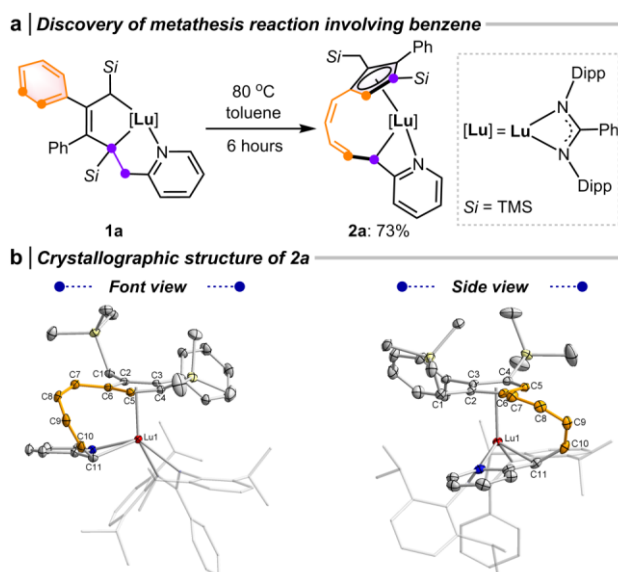


图 14 反应发现及产物晶体结构

随后他们对反应机理进行了深入研究。往反应体系中加入 ^tBuNC 配体，可捕获复分解步骤前的中间体 **3**（图 15a）。**1a** 到 **3** 的转化表现为形式上的 1, 5-氢迁移。氘代实验证明了从 C11 到 C1 的氢迁移，证实了 **3** 为反应的中间体。同位素标记实验表明 C4-C11 单键和苯环上的 C5-C10 键发生了断裂，并形成了两根

新的 C4-C5 和 C10-C11 键 (图 15b, c)。上述结果初步揭示了反应路径: 1 首先经历 1,5-氢迁移生成 3, 随后发生苯环开环复分解反应得到 2 (图 15d)。

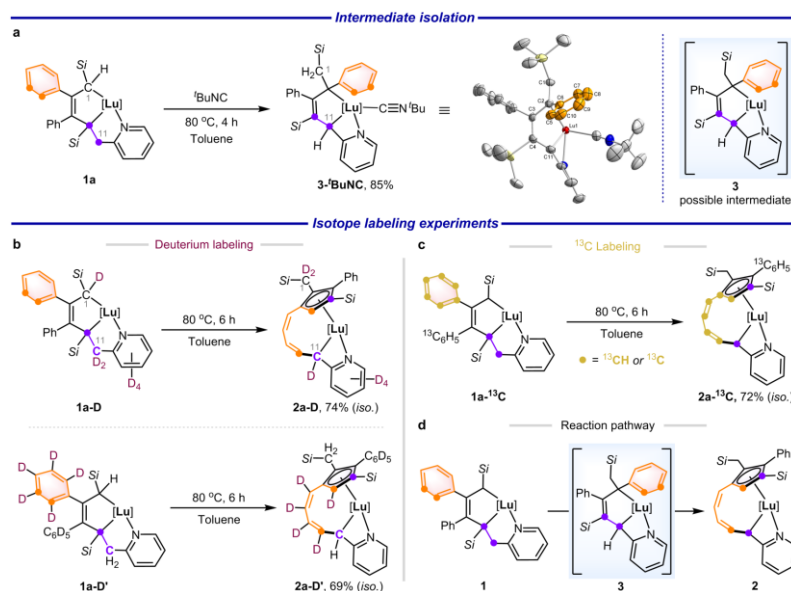


图 15 机理研究

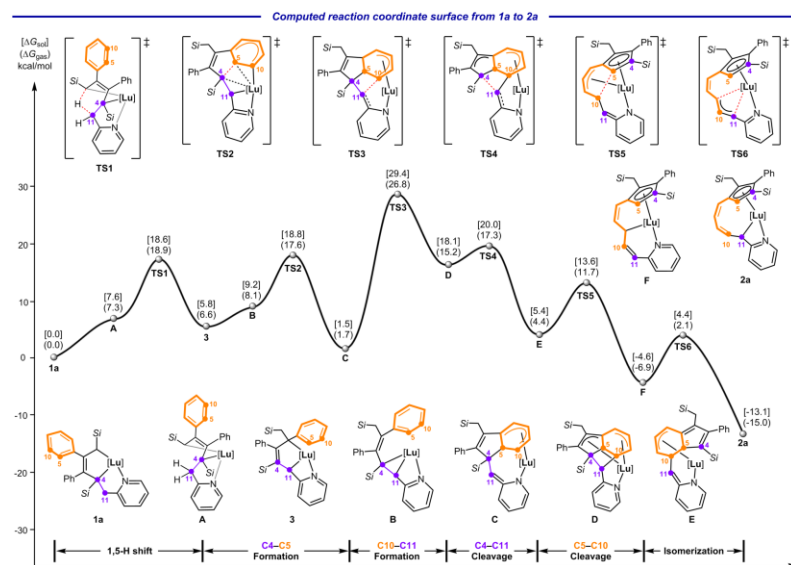


图 16 机理计算

安徽大学罗根课题组通过机理计算揭示了苯环开环复分解反应的关键步骤 (图 16)。反应的第一步为 1,5-氢迁移得到中间体 3。随后, 3 缩环得到中间体 B, B 发生 1,5-电环化生成中间体 C, 形成 C4-C5 键并破坏了芳香体系。进一步 Lu-C 键进攻 C=C 双键形成 C10-C11 键, 得到张力中间体 D。在环张力释放的

驱动下，C4-C11 键断裂得到中间体 E。最终，原来苯环的 C5-C10 键在芳构化驱动下断裂得到中间体 F，异构后生成最终产物 2a。总体来看，复分解过程是通过分步[2+2]环加成形成张力四元环中间体，随后发生分步的[2+2]逆环加成，实现苯环骨架的重整。

最后，他们还对苯环复分解反应进行了拓展。具有不同取代基的镧杂环戊烯均能以较高的收率得到目标产物（图 17a）。2a 经氧化后得到 fulvene 型化合物 4，4 可认为是形式上苯与烯烃发生复分解反应的产物（图 17b）。2a 经质子解及脱硅基处理，可得到多取代环戊二烯化合物 5（图 17b）。这些转化进一步说明了苯环开环复分解反应的潜在应用价值。

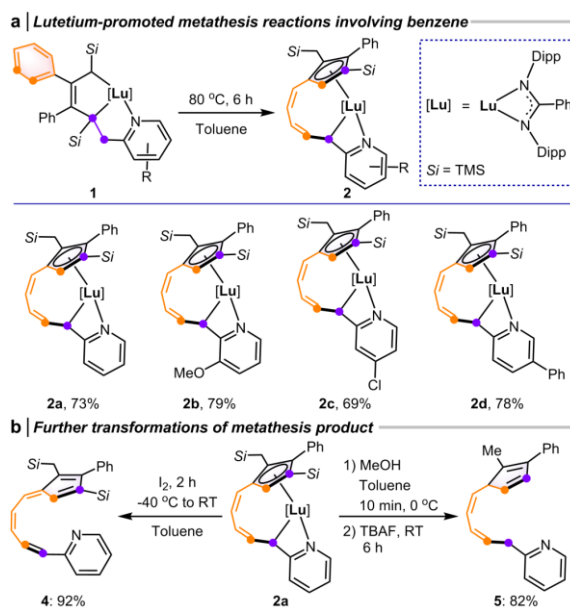


图 17 反应拓展及产物后转化

综上，他们利用稀土金属杂环的高活性和协同效应，成功实现了苯环开环复分解反应。该研究发现了新的芳环活化模式，拓展了有机复分解反应的边界，为惰性碳-碳键活化提供了新途径。北京大学刘威博士为文章第一作者，北京大学张文雄教授和安徽大学罗根教授为通讯作者。该研究得到了国家重点研发计划、国家杰出青年科学基金、基金委重点项目和北京分子科学国家研究中心的资助。

（来源：北京大学）

最新修订后《对外直接投资统计制度》公布 需报送 金属矿产新增稀土、钛矿、锆矿、钽矿

据商务部消息,《对外直接投资统计制度》于 2002 年 11 月第一次印发,是由商务部、国家统计局、国家外汇局联合发布的部门统计调查项目。根据国家统计局有关规定,商务部牵头定期对统计制度进行修订,本次是第十次修订。其中,新修订内容包括,“境外主要矿产资源情况”年报表(FDIN7 表)增加“所属矿业项目名称”“矿山剩余服务年限”指标,需报送的金属矿产新增稀土、钛矿、锆矿、钽矿,非金属矿产新增晶质石墨、非晶质石墨、硼、萤石。“对外投资并购基本事项”月报表(FDIY3 表)被并购企业(项目)行业类别如为采矿业,增加“矿产资源种类”“剩余经济可采储量”指标。

(来源:商务部)

2025 年 1 月稀土价格走势

一、稀土价格指数

1 月份，稀土价格指数基本保持平稳。本月平均价格指数为 167.5 点。价格指数最高为 1 月 23-27 日的 170.0 点，最低 1 月 2 日的 163.8 点。高低点相差 6.2 点，波动幅度约为 3.7%。

2024年12月稀土价格指数走势图



二、中钇富铈矿

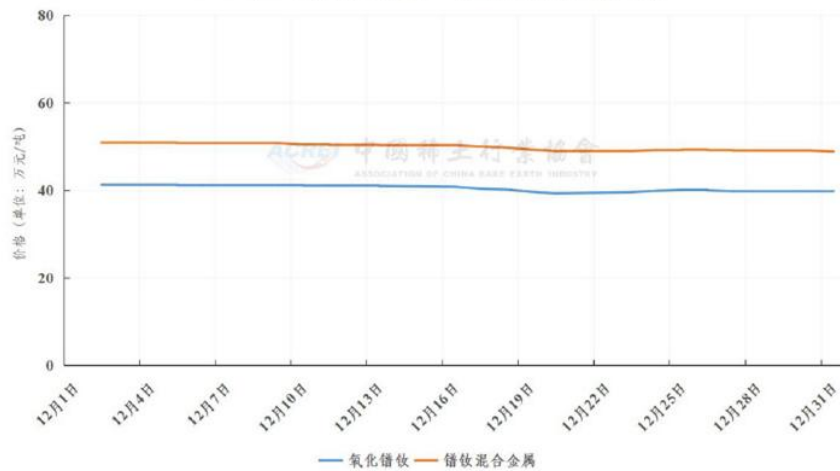
中钇富铈矿 1 月份均价为 17.18 万元/吨，环比上涨 0.4%。

三、主要稀土产品

（一）轻稀土

1 月份，氧化镨钕均价为 40.72 万元/吨，环比上涨 0.5%；金属镨钕均价为 50.11 万元/吨，环比上涨 0.3%。

2024年12月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



1 月份，氧化钕均价为 41.23 万元/吨，环比基本与上月持平；金属钕均价为 50.69 万元/吨，环比基本与上月持平。

2024年12月氧化钕、金属钕价格走势



1 月份，氧化镨均价为 42.16 万元/吨，环比上涨 0.2%。99.9%氧化镧均价为 0.40 万元/吨，环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为 19.50 万元/吨，环比与上月持平。

(二) 重稀土

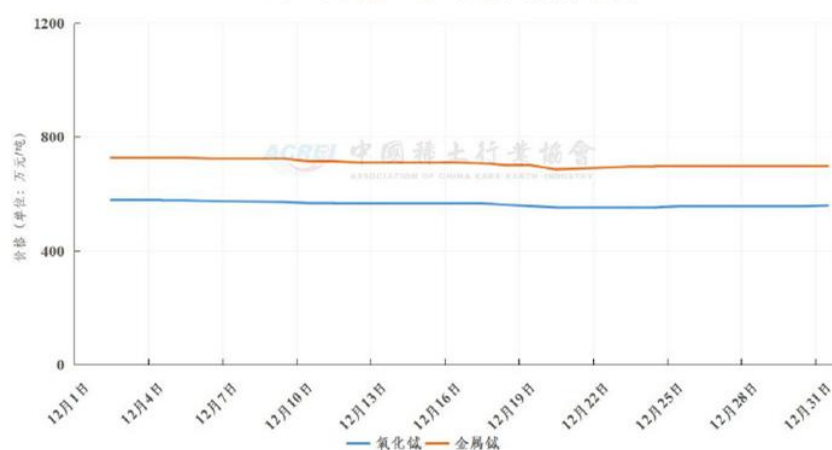
1 月份，氧化镝均价 164.92 万元/吨，环比上涨 1.5%；镝铁均价为 161.21 万元/吨，环比上涨 1.4%。

2024年12月氧化镨、镨铁价格走势



1 月份，99.99%氧化铽均价为 585.11 万元/吨，环比上涨 3.6%；金属铽均价为 729.34 万元/吨，环比上涨 2.9%。

2024年12月氧化铽、金属铽价格走势



1 月份，氧化钆均价为 42.71 万元/吨，环比下跌 2.2%；钆铁均价为 43.67 万元/吨，环比下跌 2.2%。



1 月份，99.999%氧化钬均价为 4.20 万元/吨，环比与上月持平。氧化铒均价为 28.81 万元/吨，环比下跌 1.0%。

表 1 2025 年 1 月我国主要稀土氧化物平均价格对比（单位：元/公斤）

产品名	纯度	2024 年 12 月平均价	2025 年 1 月平均价	环比
氧化镧	≥ 99%	4.00	4.00	0.00%
氧化铈	≥ 99%	7.00	8.00	14.29%
氧化镨	≥ 99%	420.86	421.58	0.17%
氧化钕	≥ 99%	412.36	412.32	-0.01%
金属钕	≥ 99%	506.82	506.89	0.01%
氧化钐	≥ 99.9%	15.00	15.00	0.00%
氧化铈	≥ 99.99%	195.00	195.00	0.00%
氧化钐	≥ 99%	154.41	155.37	0.62%
钐铁	≥ 99%Gd75%±2%	152.45	152.32	-0.09%
氧化铈	≥ 99.9%	5650.45	5851.05	3.55%
金属铈	≥ 99%	7090.91	7293.42	2.86%
氧化镧	≥ 99%	1624.77	1649.21	1.50%
镧铁	≥ 99%Dy80%	1590.45	1612.11	1.36%
氧化钬	≥ 99.5%	436.82	427.11	-2.22%
钬铁	≥ 99%Ho80%	446.82	436.68	-2.27%
氧化铒	≥ 99%	291.09	288.05	-1.04%
氧化铈	≥ 99.99%	101.00	101.00	0.00%
氧化镨	≥ 99.9%	5169.32	5125.00	-0.86%
氧化钕	≥ 99.999%	42.00	42.00	0.00%
氧化镨钕	≥ 99%Nd ₂ O ₃ 75%	405.09	407.21	0.52%
镨钕金属	≥ 99%Nd75%	499.05	501.05	0.40%

（来源：中国稀土行业协会）

稀土类型介绍

一、轻稀土和重稀土

轻稀土:镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铈、钐、铈。

重稀土:铽、镱、铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈和铈。

根据矿物特点可分为铈组和铈组

铈组（轻稀土）:镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆和铈。

铈组（重稀土）:铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈、铈和铈。

二、常见稀土

常见稀土分为：独居石、氟碳铈矿、磷铈矿、淋积型矿、镧钒褐帘石。

独居石

独居石(Monazite)又名磷铈镧矿，产在花岗岩及花岗伟晶岩中；稀有金属碳酸岩中；云英岩与石英岩中；云霞正长岩、长霓岩与碱性正长伟晶岩中；阿尔卑斯型脉中；混合岩中及风化壳与砂矿中。由于具有经济开采价值的独居石主要资源是冲击型或海滨砂矿床，因此主要分布在澳大利亚沿海、巴西以及印度等沿海。此外，斯里兰卡、马达加斯加、南非、马来西亚、中国、泰国、韩国、朝鲜等地都含有独居石的重砂矿床，主要用来提取稀土元素，近几年独居石生产呈下降趋势，主要原因是其矿石中钍元素具有放射性，对环境有害。

化学成分及性质: $(\text{Ce, La, Y, Th})\text{PO}_4$ 。成分变化很大。矿物成分中稀土氧化物含量可达 50-68%。类质同象混入物有 Y、Th、Ca、 SiO_4 和 SO_4 。独居石溶于 H_3PO_4 、 HClO_4 、 H_2SO_4 中。

晶体结构及形态: 单斜晶系，斜方柱晶类。晶体成板状，晶面常有条纹或柱、锥、粒状。

物理性质: 呈黄褐色、棕色、红色，间或有绿色，半透明至透明，条痕白色

或浅红黄色，具有强玻璃光泽，硬度 5.0-5.5，性脆，比重 4.9-5.5，电磁性中弱，在 X 射线下发绿光，在阴极射线下发光。

氟碳铈矿

氟碳铈矿产于稀有金属碳酸岩中；花岗岩及花岗伟晶岩中；与花岗正长岩有关的石英脉中；石英——铁锰碳酸盐岩脉中及砂矿中。氟碳铈矿是提取铈族稀土元素的重要矿物原料。铈族元素可用于制作合金，提高金属的弹性、韧性和强度，是制作喷气式飞机、导弹、发动机及耐热机械的重要零件。亦可用作防辐射线的防护外壳等。此外，铈族元素还用于制作各种有色玻璃。

化学成分性质： $(\text{Ce, La})[\text{CO}_3]\text{F}$ ，机械混入物有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 。氟碳铈矿易溶于稀 HCl 、 HNO_3 、 H_2SO_4 、 H_3PO_4 。

晶体结构及形态：六方晶系，复三方双锥晶类，晶体呈六方柱状或板状，细粒状集合体。

物理性质：黄色、红褐色、浅绿或褐色，玻璃光泽、油脂光泽，条痕呈白色、黄色，透明至半透明，硬度 4-4.5，性脆，比重 4.72-5.12，有时具放射性和弱磁性，在薄片透明，在透射光下无色或淡黄色，在阴极射线下发光。

磷钇矿

磷钇矿主要产于花岗岩、花岗伟晶岩中，亦产于碱性花岗岩以及有关的矿床中。在砂矿中亦有产出。用途：大量富集时，用作提炼稀土元素的矿物原料。

化学成分及性质： YPO_4 。成分中 Y_2O_3 61.4%， P_2O_5 38.6%。有钇族稀土元素混入，其中以镱、铒、镝、钆为主。尚有 锆、铀、钍等元素代替钇，同时伴随有硅代替磷。一般来说，磷钇矿中铀的含量大于钍。磷钇矿化学性质稳定。

晶体结构及形态：四方晶系、复四方双锥晶类、呈粒状及块状。

物理性质：黄色、红褐色，有时呈黄绿色，亦呈棕色或淡褐色，条痕淡褐

色，玻璃光泽，油脂光泽，硬度 4-5，比重 4.4-5.1，具有弱的多色性和放射性。

镧钒褐帘石

日本山口大学、爱媛大学和东京大学的联合研究小组发表一份公报说，他们在三重县发现了一种含有稀土的新品种矿物。稀土在改造传统产业和发展高新技术领域当中具有“点石成金”的作用。而新矿物是 2011 年 4 月在三重县伊势市的山中发现的，它是含有稀土镧和稀有金属钒的一种特殊褐帘石。2013 年 3 月 1 日，这种矿物被国际矿物学协会认定为新矿物，并被命名为“镧钒褐帘石”。

三、稀土矿物特点及矿石形态

稀土矿物总的特点

(1)缺少硫化物和硫酸盐（只有极个别的），这说明稀土元素具有亲氧性。

(2)稀土的硅酸盐主要是岛状，没有层状、架状和链状构造。

(3)部分稀土矿物（特别是复杂的氧化物及硅酸盐）呈现非晶质状态。

(4)稀土矿物的分布，在岩浆岩及伟晶岩中以硅酸盐及氧化物为主，在热液矿床及风化壳矿床中以氟碳酸盐、磷酸盐为主；富钇的矿物大部分都赋存在花岗岩类岩石和与其有关的伟晶岩、气成热液矿床及热液矿床中。

(5)稀土元素由于其原子结构、化学和晶体化学性质相近而经常共生在同一个矿物中，即钪族稀土和钇族稀土元素常共存在一个矿物中，但这类元素并非等量共存，有些矿物以含钪族稀土为主，有些矿物则以钇族为主。

稀土元素在矿物中的赋存状态

在自然界中，稀土主要富集在花岗岩、碱性岩、碱性超基性岩及与它们有关的矿床中。稀土元素在矿物中的赋存状态，按矿物晶体化学分析主要有三种。

(1)稀土元素参加矿物的晶格，构成矿物必不可少的组成部分。这类矿物通

常称之为稀土矿物。独居石(REPO_4)、氟碳铈矿($[\text{La}, \text{Ce}]\text{FCO}_3$)都属于此类。

(2)稀土元素以类质同象置换矿物中 Ca、Sr、Ba、Mn、Zr 等形式分散在矿物中。这类矿物在自然界中较多，但是大多数矿物中的稀土含量较低。含稀土的萤石、磷灰石均属于此类。

(3)稀土元素呈离子吸附状态赋存于某些矿物的表面或颗粒之间。这类矿物属于风化壳淋积型矿物，稀土离子吸附于哪种矿物与该种矿物风化前所含矿母岩有关。稀土元素在地壳中平均含量为 165.35×10^{-6} 。在自然界中稀土元素主要以单矿物形式存在，世界上已发现的稀土矿物和含稀土元素的矿物有 250 多种，其中稀土含量 $\Sigma\text{REE} > 5.8\%$ 的有 50-65 种，可视为稀土独立的矿物。重要的稀土矿物主要为氟碳酸盐和磷酸盐。

在已发现的 250 多种稀土矿物和含稀土元素的矿物中，适合现今选冶条件的工业矿物仅有 10 余种。

(来源：亚洲金属网)

离子型稀土矿微波强化浸出研究

中重稀土元素是高科技产业的“工业味精”，主要依赖于从离子型稀土矿中提取。如何从离子型稀土矿中绿色高效浸出稀土元素，是我国迫切需要解决的问题。本文研究了微波加热对离子型稀土矿的强化浸出效果，结果表明，采用微波间歇加热模式，可以实现浸出体系可控脉冲式快速升温并节约能耗。当微波间歇加热模式为每浸出 10 min 内加热 1 min，微波功率为 700 W，在硫酸镁浓度为 2 wt%，液固比为 2:1 的优化条件下，浸出 30 min 后，稀土浸出率达到 89.72%。温度场可以显著强化稀土的浸出，微波加热比常规加热的强化浸出效果更好。当控制浸出温度均为 80℃时，微波加热的稀土浸出率达到 88.97%，与常规加热相比，稀土浸出率提高了 14.03%。微波加热能够快速提高浸出液温度、降低浸出液的 pH 值，提高矿样的润湿性，解离较大粒径颗粒，增加矿样比表面积，从而促进稀土浸出。稀土浸出动力学结果表明，微波浸出过程受混合模型控制 ($\frac{1}{3}\ln(1-x) - 1 + (1-x)^{-1/3} = k_4t$)，微波加热下的反应速率常数要比常规加热更大。研究结果表明了温度场对离子型稀土矿浸出的强化效应，显示出了微波加热的独特优势，可以为温度场等外场强化对离子型稀土矿的高效浸出作用提供理论价值。

（来源：中国稀土学报）

组合捕收剂 DCL-2 对氟碳铈氧化焙烧产品浮选性能及作用机理研究

在实验室制备了一种羟肟酸类捕收剂与阴离子捕收剂复配，以肟基为主要极

性基团的组合捕收剂 DCL-2, 考察其对氧化焙烧后氟碳铈矿、白云母、石英、萤石浮选特性的影响规律。试验结果表明: EDTA 为抑制剂的浮选体系下, 焙烧后氟碳铈矿与萤石的人工混合矿浮选试验可获得回收率 87.14%、REO 品位 66.17% 的氟碳铈矿氧化焙烧产品; 不添加抑制剂 EDTA 时, 氟碳铈矿氧化焙烧产品与白云石和石英混合而成的人工混合矿的浮选分离效果较好, 分别得到回收率 90.42%、REO 品位 66.80% 和回收率 87.02%、REO 品位 63.01% 的浮选指标; 四元人工混合矿浮选试验最终可获得氟碳铈矿氧化焙烧产品的回收率和 REO 品位分别为 79.69%、46.84% 的浮选指标。FTIR 检测和 Zeta 电位检测结果表明, DCL-2 与氟碳铈矿物表面产生非静电吸附; XPS 检测结果表明, DCL-2 与氟碳铈矿物表面形成氢键。

(来源: 中国稀土学报)



镨钕金属真空吸铸成型技术研究

镨钕金属是制备钕铁硼磁体重要的前驱体原材料, 其制备方法主要以熔盐电解法为主。现阶段熔盐电解生产镨钕金属过程中出金属大部分以人工勺舀或提坩法为主, 工人劳动强度大, 难以满足国家对稀土行业实现智能制造的高标准要求, 同时也难以满足先进材料对镨钕金属高品质的要求。本研究依据真空吸铸原理, 设计组装了完整的真空吸铸镨钕金属装置。在 15 kA 稀土电解槽开展了真空吸铸试验, 考察了设备的稳定性和适应性, 同时着重研究了电解槽温度与真空吸铸过程的交互影响规律, 通过与人工勺舀出金属对比, 探究了不同出金属方式对

锶钼金属质量的影响。通过研究发现,真空吸铸过程对电解槽温度影响小,产品的品质高、杂质含量低、孔隙率低,真空吸铸装置适用于 10 kA 及以上大型稀土熔盐电解槽。

(来源: 稀土)

铝热还原含稀土高炉渣在升温过程中的热履历行为

本文研究了在铝热还原条件下含稀土镧的高炉渣在整个升温过程中的热履历行为。利用示差扫描同步热分析仪(TG-DSC)分别将实验室配制的加入铝粉与不加入铝粉的含稀土高炉渣在高纯氩气保护下,从室温以 5℃/min 升至 1550℃,对比发现整个升温过程中还原反应集中在 960℃-1010℃和 1420℃-1550℃两个温度区间内。然后在高纯氩气气氛中将加入铝粉的含稀土高炉渣压块以 5℃/min 分别升温至 1000℃和 1550℃并保温 30 min,利用 X 射线衍射仪(XRD)、场发射电子显微镜中的能谱扫描(EDS)和电子背散射衍射(EBSD)技术分析铝热还原高炉渣中稀土氧化物在整个升温过程中的热履历行为。结果表明,在低温阶段 1000℃时只进行了部分还原反应,其还原产物主要为 Al_9Si ;而在高温阶段 1550℃时还原反应可以分为两个阶段:第一阶段为 $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_9\text{Si} \rightarrow \text{Si}$,第二阶段为 $\text{CaO} \rightarrow \text{CaSi}_2$ 、 $(\text{Ca}_{0.2}\text{La}_{0.8})\text{Si}_2$ 。

(来源: 稀土)

稀土 (2025 No.1)

研究论文

风化壳淋积型稀土矿浸润线空间分布特征及影响因素敏感性分析

白云鄂博矿床包头矿的矿物学特征研究

包钢某尾矿库周边地区土壤稀土元素地球化学及空间分布特征

白云鄂博矿床元素地球化学组合特征研究

汽车电池用 RE-Mg-Ni 储氢合金的制备工艺与电化学性能

纳米钕金属粉体晶界掺杂对烧结钕铁硼性能及微观形貌的影响

重铬酸钾氧化-氯气校正法测定稀土萃取工艺中高氯废水的化学需氧量

嗜盐菌生物质对镧的吸附及解吸研究

La_2O_3 对 $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 熔体电导率影响

铝热还原含稀土高炉渣在升温过程中的热履历行为

基于彩色 CCD 的稀土熔盐高温软测量研究

Nb_2O_5 对含磷低稀土熔渣中稀土结晶的影响

综合评述

低温超晶格稀土-镁基储氢合金研究进展

研究简报

紫花苜蓿接种 AM 真菌对离子吸附型稀土尾矿土壤改良的影响

产业与市场

全球稀土贸易格局演变及进口竞争态势

(来源: 稀土)

中国稀土学报（2025 年 1 月网络首发）

基于表面配位模型对高岭土吸附 La^{3+} 行为的研究

离子型稀土矿微波强化浸出研究

TbCo 合金扩散 Nd-Y-Ce-Fe-B 磁体磁性能及微结构研究

钐掺杂 V-Mo-TiO₂ 催化剂 NH₃-SCR 催化性能研究

离子型稀土浸矿选择系数非定常的离子交换模型

过硫酸钠/活性炭体系深度脱除稀土废渣资源化废水中有机物

组合捕收剂 DCL-2 对氟碳铈氧化焙烧产品浮选性能及作用机理研究

pH 值对氢氧化镧微结构及氯根的影响

氧化铈对皮肤屏障修护机制的研究

Nd₇₀Cu₃₀/DyH 两步晶界扩散对烧结 NdFeB 磁体磁性能和微观结构的影响

稀土（镧、铈）对珠光体重轨钢微观组织和滚动摩擦磨损性能的影响

赣南石头坪重稀土矿床地质特征及稀土矿物年代学研究

Ce 对耐候桥梁钢在模拟酸雨环境中腐蚀行为的影响

负压浸矿场下溶液渗流特征及粒级变化规律

（来源：中国稀土学报）

一种稀土配合物荧光微球及其制备方法和应用

发明名称：一种稀土配合物荧光微球及其制备方法和应用

公开（公告）日期：2025-01-28

公开（公告）号：CN113607953B

发明人：张云，宋良，明丽艳

摘要：本发明提供一种稀土配合物荧光微球及其制备方法和应用，所述制备方法包括：(1)将噻吩甲酰三氟丙酮、铈离子、其他镧系金属离子、氢氧化钠、菲啰啉和乙醇溶液制备得到稀土配合物；(2)将得到的稀土配合物和聚苯乙烯微球溶于二氯甲烷，进一步制备得到所述稀土配合物荧光微球；所述制备方法合成的稀土配合物荧光微球在微球内能包裹成千上万稀土配合物荧光分子，无需进行解离增强，即可达到荧光信号放大效果，且得到的微球粒径范围可控，具备良好的均一性、单分散性、稳定性和重复性，具有重要应用价值。

（来源：专利公布公告）

一种桥梁阻尼器用高铝稀土耐候钢及其制备方法

发明名称：一种桥梁阻尼器用高铝稀土耐候钢及其制备方法

公开（公告）日期：2025-01-10

公开（公告）号：CN118241111B

发明人：胡文豪，包健，岳尔斌，骆仁智

摘要：本发明公开了一种桥梁阻尼器用高铝稀土耐候钢及其制备方法，包含以下元素：Al：2.0-4.0%、Si：0.30-2.0%、Mn：0.6-0.8%、Ti:0.02-0.15%、V：0.05-0.20%、Cu：0.18-0.30%、Ni：0.15-0.25%、B：0.12-0.20%、C：0.06-0.09%、

P: 0.018-0.40%、S: 0.003-0.008%、Re: 0.0075-0.080%，余量为 Fe 与不可避免的杂质。制备方法为：原料预处理；高温冶炼；铸造轧制；切割打磨；表面终处理。本发明通过各元素的配合及表面处理方法的优化，得到的耐候钢具有强度高、易焊接、耐候性能好、减震阻尼性能好的特点，用于桥梁阻尼器中的骨架材料，可显著提高桥梁的抗震性能、耐久性和振动控制效果。

（来源：知嘟嘟）

2025 年 1 月新增公开/公告专利（部分）

- 一种用稀土渣生产稀土硅铁合金的方法
- 一种无重稀土高性能含镧铈稀土永磁体及其制造方法
- 一种稀土矿酸溶尾气处理用喷淋塔
- 一种溶液萃取回收稀土元素的方法
- 一种渐变极距熔盐电解制备稀土的方法
- 稀土矿复合捕收剂及其制备方法和应用
- 一种离子吸附型稀土矿开采监测与预警系统
- 一种离子吸附型稀土浸取特征和工艺参数的测定方法
- 一种含镧料液除钪的方法
- 一种从稀土废水中回收稀土的回收方法及稀土废水处理线
- 一种稀土萃取分离自动控制装置
- 一种稀土 AB₂ 型储氢合金的制备方法

（来源：知嘟嘟）