

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2024年 第02期 总第124期

本期要闻

- ◎ 我国发现新矿物 命名为“铈钽易解石”
- ◎ 2023年中国稀土十大科技新闻
- ◎ 第一批稀土开采指标同比增12.5% 轻稀土增幅缩窄 中重稀土降幅扩大至7.34%
- ◎ 自然资源部关于印发《矿产资源开发利用水平调查评估办法(试行)》的通知

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：江西省赣州市经济技术开发区黄金大道36号

◆电话：0797-8160602

◆E-mail: jxlzxt_2016@163.com

◆邮编：341000

◆传真：0797-8160033

◆网址：<http://www.jxlzxt.com/>

目次

- ◇ **行业动态** **1-19**
 - ◎ 我国发现新矿物 命名为“铈钽易解石”
 - ◎ 2023 年中国稀土十大科技新闻
 - ◎ 第一批稀土开采指标同比增 12.5% 轻稀土增幅缩窄 中重稀土降幅扩大至 7.34%
 - ◎ 印度：一个正在崛起的新矿产资源大国
 - ◎ 加拿大研究煤田伴生稀土资源
 - ◎ 巴西阿尔托山稀土矿见超高品位矿化

- ◇ **科技前沿** **20-29**
 - ◎ 稀土等金属离子引导的多尺度组装工程实现高强韧 DNA 纤维宏量制造
 - ◎ 上海工程技术大学、宁波材料所：低温处理 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 永磁体增强机械性能而不牺牲磁性能
 - ◎ 中国计量大学：采用铈盐改良的双硅烷膜提升烧结钕铁硼的耐腐蚀性
 - ◎ 福建物构所在稀土长余辉纳米探针早期动脉粥样硬化诊断中取得新进展

- ◇ **政策法规** **30-32**
 - ◎ 自然资源部关于印发《矿产资源开发利用水平调查评估办法（试行）》的通知

- ◇ **市场行情** **33-37**
 - ◎ 2024 年 2 月稀土价格走势

- ◇ **稀土知识** **38-41**
 - ◎ 稀土永磁材料生产工艺
 - ◎ 稀土元素的超级富集者——蕨类植物芒萁

- ◇ **文章摘要** **42-44**
 - ◎ 二氧化碳碳化沉淀制备碳酸钪的反应过程研究
 - ◎ 离子型稀土矿柱浸过程氨氮平衡及尾矿氨氮形态转化研究
 - ◎ 风化壳淋积型稀土矿多级逆流浸取实验研究

◎ 铁掺杂铈基复合氧化物 CO 催化还原 NO 的性能研究

◇ 期刊目录 45-46

◎ 中国稀土学报 (2024 No.1)

◎ 稀土化合物与应用 (2024 No.1)

◇ 专利简介 47-48

◎ 一种稀土矿浸出液中稀土的富集与提取方法

◎ 一种稀土废料回收用稀土废料干燥方法

◇ 专利目录 49-49

◎ 2024 年 2 月新增公开/公告专利 (部分)

我国发现新矿物 命名为“铈钽易解石”

日前，中国地质科学院矿产资源研究所矿物微区物质组分与结构实验室（以下简称“矿物室”）相关工作人员发现并申报的新矿物“铈钽易解石”获得国际矿物学协会—新矿物命名及分类委员会批准通过。

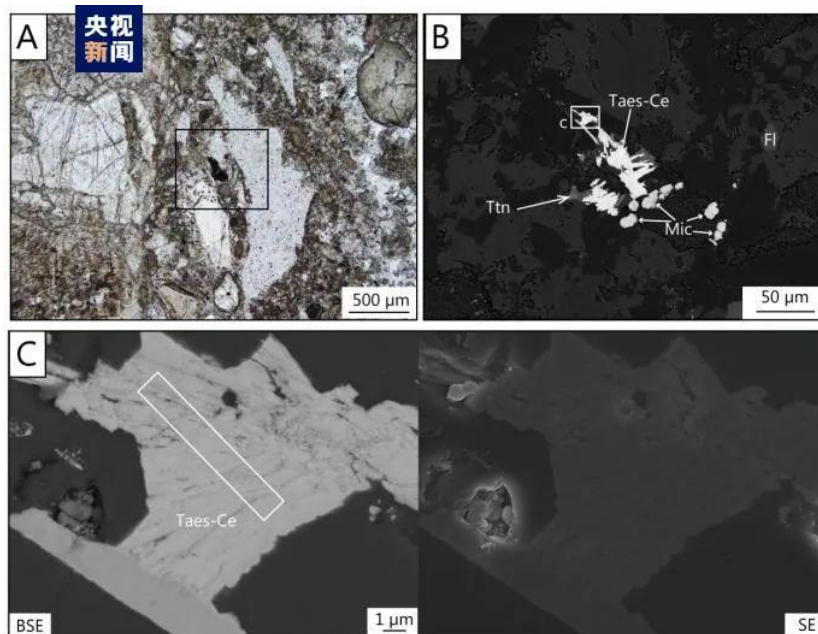


图1 铈钽易解石产出状态及其共生矿物组合

铈钽易解石发现于江西某稀有金属伟晶岩矿床中，显微镜下为针状、束状或短柱状产出，呈棕黑色或黑色，与长石、细晶石、萤石等矿物共生。矿物成分分析在资源所矿物室电子探针实验室完成，成分中极度富钽。

铈钽易解石属于易解石族中富钽富铈的端元。在我国，易解石最早由张培善先生1957年发现于白云鄂博，自此开启了白云鄂博铌矿找矿的序幕。

自然界常见的易解石为富铌富钛端元，富钽易解石较少。钽作为重要的稀有金属元素，在高端电容领域以及航空航天材料领域具有重要的应用。钽易解石出现于高演化稀有金属伟晶岩中，代表了成矿流体极度富钽的特征，对钽矿找矿及其成矿作用的研究具有重要意义。

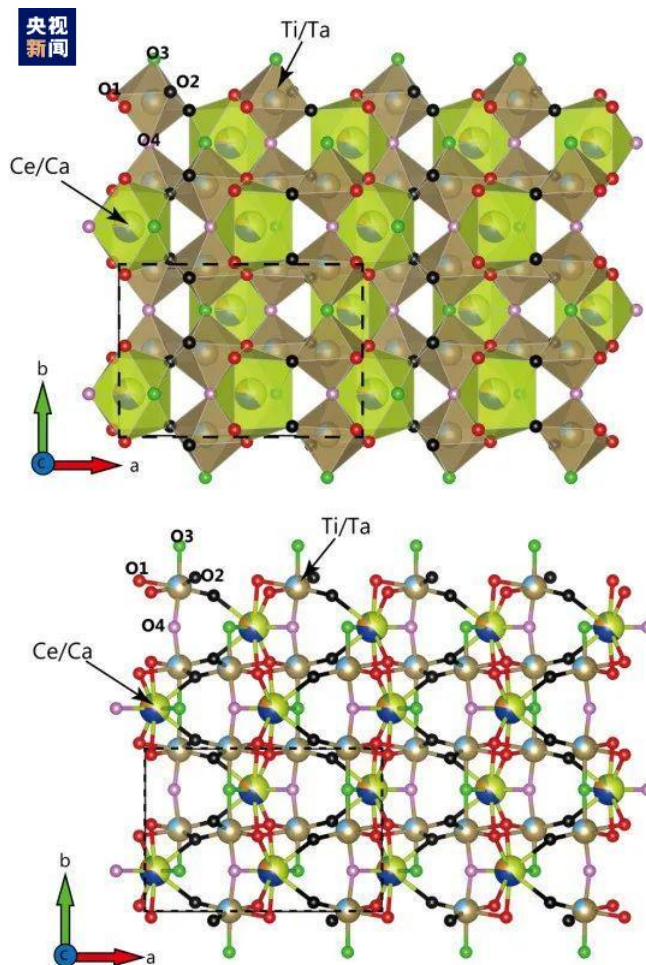


图2 铈钽易解石的晶体结构

(来源：人民网)



2023年中国稀土十大科技新闻

2023年是全面贯彻落实党的二十大精神开局之年，也是实施“十四五”规划承前启后的关键一年，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，全景展现广大稀土科技工作者踔厉奋发的精神面貌，由中国稀土学会技术经济专业委员会、中国

稀土学会信息专业委员会、“中国稀土”网(www.cre.net)联合组织，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“2023年中国稀土十大科技新闻”。

清华大学团队率先实现高纯稀土生物制造

稀土是我国核心战略资源，是高技术领域不可或缺的原材料。然而，传统开采和提取方法环境污染严重，且存在分离效率低的理论局限等突出问题。创制稀土生物开采技术，有望实现稀土可持续发展。

该团队基于对白云鄂博稀土矿及尾矿筛选收集的 300 余株特征菌株，建立了高纯稀土生物制造技术。以发现的假单胞菌为合成底盘，构建了轻、中、重稀土微生物采矿系统，实现了具有特定晶型稀土磷酸盐制备。以新型嵌合蛋白为载体，开发了具有高亲和力的稀土生物分离柱，实现了绝对纯度 3N 以上高纯单一稀土分离制备。该团队还以甲基杆菌为底盘细胞实现了对尾矿稀土的高效利用，制备了稀土甲醇脱氢酶并实现了高效应用。该环境友好型稀土“生物浸出—富集—分离冶炼”变革技术，实现了生产周期缩、制备成本降和污染物排放大幅降低，为稀土资源高值化利用开辟了新范式，实现了稀土绿色制造创新突破。标志性成果：国际首创稀土生物制造研究论文(The Construction of Microbial Synthesis System for Rare Earth Enrichment and Material Applications, *Adv. Mater.*, 2023, 2303457.)

我国发布首部深海稀土资源勘查团体标准

稀土属于关键战略矿产资源。2011年在深海盆地中发现了一种富含中重稀土元素的沉积物(富稀土沉积物，简称“深海稀土”)，其资源潜力是陆地稀土的 2000 倍，引起了国际社会的广泛关注。

作为一种新型的海底矿产资源，迄今国内外尚没有适用于深海稀土资源勘查工作的标准。而随着调查研究程度的逐步深入，亟需制定一部相关标准，以

指导采用适当的技术方法、合理安排勘查工作量、准确估算深海稀土资源储量以及圈划“探矿区”等工作。我国自 2011 年开展深海稀土资源调查研究以来，取得了多项重要成果，积累了丰富的勘查经验。调查区域覆盖了印度洋和太平洋深海稀土资源分布的主要海区。

自然资源部第一海洋研究所联合中国大洋矿产资源开发协会、自然资源部第二海洋研究所等单位，基于我国十几年来来的深海稀土资源勘查工作实践，并参考国内外相关调查工作资料编制了《深海富稀土沉积物资源勘查指南》(T/CAOE 61-2023)团体标准。

中国海洋工程咨询协会于 2023 年 8 月 17 日发布了该标准并推荐实施。这是国际上首部深海稀土资源勘查标准，填补了深海稀土资源勘查的空白。本标准的制定可以推动我国及国际上深海稀土资源的调查研究，促进深海稀土资源的开发利用，并可为提高我国在国际海底区域资源勘查领域的地位，维护和巩固我国稀土资源大国地位提供支撑。

利用稀土掺杂光学玻璃实现大数据低能耗永久存储

数据是当代重要生产要素，对于数据的有效保存是保障国家竞争优势的基础。然而，现有大量采用的磁存储等技术在用于大规模数据保存时，存在寿命短、容量低、稳定性差等问题。另外数据中心能源消耗巨大，以我国为例，每年数据中心耗电量超过 2000 亿千瓦时。因此，迫切需要开发新型数据“冷存储”技术以实现海量数据的长期、高效、低能耗保存。

活性离子掺杂玻璃在超快激光激发下发生空间选择性氧化还原，产生高信噪比荧光信号，是优异的信息存储介质。浙江大学王卓等通过设计玻璃网络结构定制稀土活性离子的光学性质，研发了兼具低写入阈值和高稳定性的稀土离子掺杂玻璃，实现了单个超快激光脉冲选择性调控稀土 Eu 离子价态的三维 (X+Y+Z+幅度) 光存储，实现了大规模数据的高速(~Mb/s)低能耗(96 nj)写入、

1 个数据点表示 4 bit 信息的高密度(1.4 TB/cm^3)四维信息永久存储。同时,发现通过调控玻璃网络结构对 Eu^{2+} 发射波长的可控调谐,有望实现更高维度信息存储。所制备的光存储器件可以承受 970 K 的高温 and 100 kW/cm^2 的高强度紫外线辐射,存储寿命根据加速老化试验推算长达 2×10^7 年,远超已报道的同类存储介质。这项研究为实现海量数据的高密度低能耗永久保存提供了一种全新的方法,推动了稀土离子掺杂材料在大数据存储领域的应用。成果以封面论文发表于国际权威期刊 Opto-Electronic Advances。

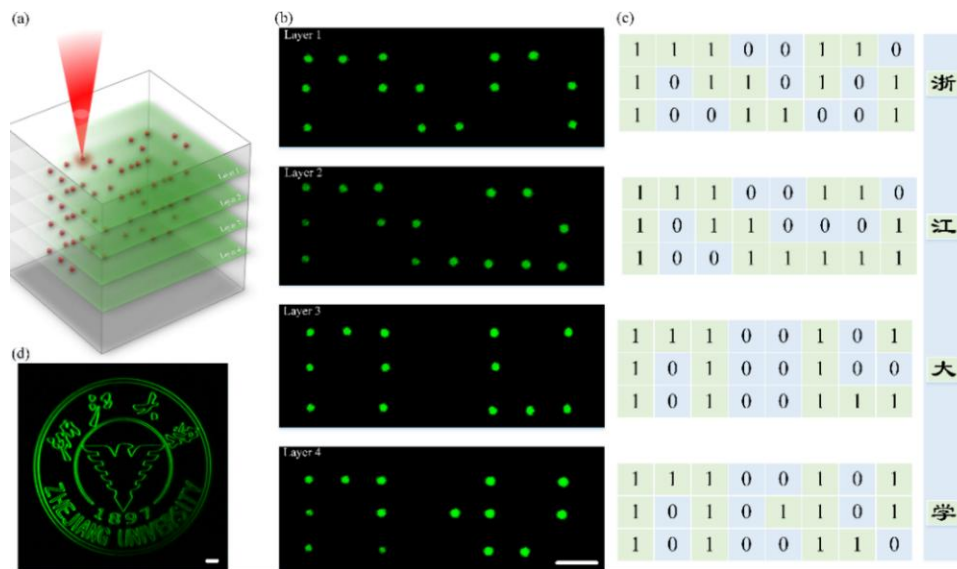


图3 稀土掺杂玻璃的光存储

昆明理工大学团队突破新型超高温稀土钽酸盐热障涂层制备技术并实现应用

热障涂层主要应用在航空发动机、燃气轮机和高超音速飞行器装备的高温零件表面提供隔热降温的作用,实现新一代耐高温、高隔热、耐腐蚀、长寿命热障涂层材料与技术的国产化及应用对于军工国防与经济发展均具有重大意义。昆明理工大学冯晶、陈琳团队原创了镧系稀土钽酸盐超高温热障涂层,至今已完成从材料设计到成分优化、从热传输机理到热膨胀系数调控、从增韧机制到耐 CMAS 腐蚀机理的研究工作,并突破了球形粉体和涂层制备关键技术,

成功在镍、铝、镁、钛和铁等合金表面制备稀土钽酸盐热障涂层，率先完成了涂层关键性能的考核验证。院士领衔的专家团队对该项目的科技成果评价为“整体技术达到国际先进水平，热障效应处于国际领先”。

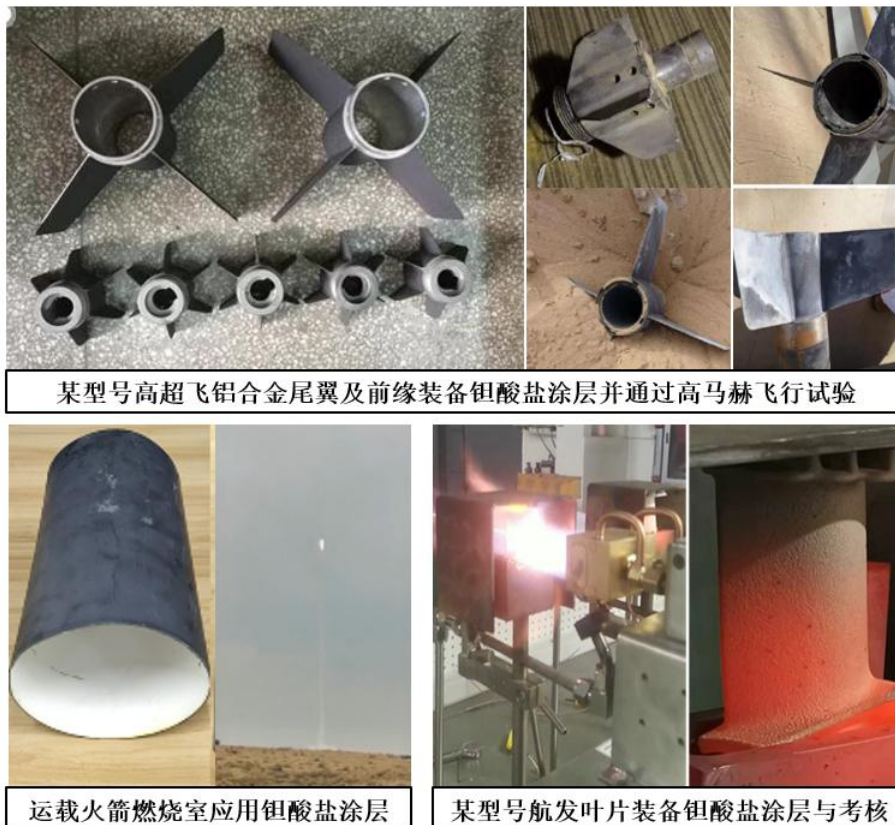


图4 钽酸盐涂层典型应用

稀土钽酸盐热障涂层的典型应用有：1) 高超音速飞行器铝合金尾翼及前缘；2) 运载火箭发动机燃烧室内缸壁；3) 某型号航空发动机叶片。在服役中钽酸盐涂层的工作温度超过 1400°C ，提供的隔热温度达到 $200\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，克服了传统材料工作温度低、隔热降温梯度不足和服役寿命短等问题，为早日实现钽酸盐热障涂层及技术的完全国产与应用化奠定基础。

稀土开采有了更加高效绿色的新技术

由南昌大学牵头，联合十家单位共同攻关实施的国家重点研发计划项目“离子吸附型稀土资源高效绿色开发与生态修复一体化技术”高分通过中国 21

世纪议程管理中心组织的专家综合绩效评价。

该项目由南昌大学牵头，联合中国稀土集团、中国科学院长春应化所、江西理工大学等单位共同实施。针对我国离子吸附型稀土资源开发的回收率低、环境污染严重等关键问题，项目突破了传统的离子型稀土交换浸出机理认识，变革浸取试剂及浸取方式，研发了铝盐与低价无机盐协同浸取和分阶段的选择—强化浸取高效绿色创新工艺，实现了稀土与铝、铀、钍的分离和物质的循环利用。稀土浸取率和铝循环利用率均超过 95%，稀土萃取率超过 98%，氧化铝含量低于 0.03%，浸矿剂消耗量可降低 30% 以上；研发的离子型稀土矿山原地浸矿流场调控技术和导流孔+切割拉槽+槽内防渗+集液巷道人工截流技术，可显著提高稀土采浸率和收液率；构建的原地浸矿生态修复一体化和微生物—植被协同生态修复可控堆浸一体化技术体系，可有效消除水土流失和滑坡塌方。

项目工业试验和应用示范的稀土回收率、生态修复率均达到 90% 以上。其大规模推广应用，必将推进全球中重稀土资源的科学开发，促进稀土产业的高质量、绿色低碳发展。

稀土复合氧化物环境障涂层首次在航空发动机陶瓷基复合材料动叶片上应用

碳化硅纤维增强的碳化硅陶瓷基复合材料(SiC-CMC)具有密度低（高温合金的 1/3）、耐高温（比高温合金高 200℃）的特点，是未来先进航空动力极具潜力的材料，其应用于航空发动机热端部件（燃烧室，动叶片，导向叶片，涡轮外环，尾喷管），可大幅提升发动机的推重比/功重比。但是，航空发动机燃气环境对 SiC-CMC 有严重的腐蚀作用，在部件的表面制备环境障涂层(EBCs)是有效的突破途径。

动叶片是航空发动机所有热端部件中工况条件最恶劣的部件，不仅受到强烈的热冲击、火焰冲刷和水氧腐蚀，还需要承受强大的离心力作用，其研制工

作最艰难。目前，国内外有关 SiC-CMC 热端部件的研制都是静止件，没有动叶片的报道。

武汉理工大学承担了航空发动机燃烧室、动叶片、导向叶片、涡轮外环和尾喷管的 EBCs 研究，都通过了有关部门的测试试验。其中，SiC-CMC 整体涡轮叶盘在株洲成功完成了首次飞行试验验证，也是国内 SiC-CMC 转子件首次配装平台的空中飞行试验，武汉理工大学研制的稀土复合氧化物 EBCs 性能优良。

“稀土高纯化”难题入选中国科协发布的 2023 工程技术难题

2023 年 10 月 22 日，第二十五届中国科协年会在安徽合肥召开，会上发布了 9 个工程技术难题。其中，稀土国家工程研究中心、有研稀土新材料股份有限公司研提的“如何解决稀土基体中痕量杂质的高效分离难题，突破高纯稀土材料工程化制备技术及装备？”成功入选工程技术难题，引起业界广泛关注。该难题是基于战略性新兴产业和高新技术应用领域对高纯稀土材料的特殊需求及面临的挑战，稀土领域亟待解决的“卡脖子”问题提出的。

稀土元素物理化学性质相似、相邻元素分离系数小；且碱土、过渡族金属与稀土某些性质非常相近，分离提纯难度大。目前高纯稀土制备存在工艺流程复杂，化工材料消耗高、装备规模小、提纯效率低、制备周期长等问题，如何解决稀土基体中痕量杂质的高效分离问题，突破 5N~6N 高纯稀土化合物、4N5~5N 级高纯稀土金属工程化制备技术和关键敏感痕量杂质去除技术，开发大型高效提纯装备是亟待解决的重大工程技术难题。

针对此次发布的稀土领域工程技术难题，有研稀土向工程院、有关管理部门提交了有关加快解决稀土高纯化难题的政策措施和建议，拟通过顶层设计、创新平台和创新体系建设、产学研用联合攻关，保障我国重大工程领域关键核心材料的自主可控，助力实现我国高水平科技自立自强。

技术创新厚积薄发，稀土新材料发展势头正劲

2023年，包头稀土研究院在稀土应用技术方面取得了多项突破性进展。首创了具有自主知识产权的系列生物可降解聚乳酸复合材料用稀土功能助剂制备技术，使聚乳酸热变形温度提升至156.2℃，聚乳酸薄膜断裂伸长率、撕裂强度分别从7%、110 KN/m提升至310.6%、140.5KN/m，填补了国内空白，解决了进口高端功能助剂“卡脖子”技术垄断难题，整体技术达到国际领先水平，获评“中国好技术”。集成创新了具有自主知识产权的高品质稀土合金制备及应用关键技术，稀土铁合金杂质元素含量低、成分均一稳定，在钢中应用可有效解决连铸过程堵塞水口等行业技术难题，已实现1500分钟连续浇铸，稀土收得率>50%，材料的各项物理性能提升明显。实现了钕镍/铁、镨钕镓/钕合金流程短制备，与现有制备技术相比成本降低10%以上。整体技术达到国际领先水平，获评“中国好技术”。开发了具有自主知识产权的稀土高发射保暖理疗纤维面料，将稀土基吸光蓄热材料与稀土基温升理疗材料采用熔融纺丝技术应用到纺织纤维中，面料的远红外温升值和远红外发射率分别达到2.4度和0.93，赋予了冬季织物更强的保暖效果和保健效果，荣获第十届“中国十大纺织科技”新锐科技奖。

稀土助力大容量长寿命钒钛基储氢合金

固态储氢具有本征高安全性及高的体积储氢密度等优势，有望解决氢能产业高压氢气储运遇到的瓶颈问题。钒钛基储氢合金可逆储氢量达2.5wt%以上，是目前常温工作有效储氢量最高的储氢合金，具有巨大的应用前景。

钒基储氢合金的工程化应用长期受制于金属钒的昂贵价格(>250万元/吨)，采用80钒铁等中间合金(<20万元/吨)可以将原材料的成本降低90%以上。但钒铁中存在的O、Si等杂质严重损害了钒钛基储氢合金的可逆储氢容量和循环寿命。

四川大学在全球首创 V-Ti-Cr-Fe 四元储氢合金新体系，结合真空脱气及钼铈轻稀土净化等技术，有效实现了脱氧除硅、BCC 主相及晶界的精细调控，使可逆容量从 1.6wt% 提升至 2.5 wt% 以上，且循环 1000 次后，容量衰减率 < 7%。同时，轻稀土高的化学活性竞争性调制了合金表面致密性 TiO₂ 的吸氢惰性结构，使钒钛基储氢合金无需高温活化即可在常温快速吸氢。成果通过中电联组织的成果鉴定，达到国际领先水平，为钒基储氢合金的工程化推广应用奠定了坚实基础，且有望充分发挥我国钒钛及稀土资源的优势。

目前，四川大学与企业合作已完成了生产线的建设，推动了钒钛基储氢合金技术在云南电网、中船 712 所等单位的应用，被央视等媒体报道。

中国科学院大连化学物理研究所提出稀土催化抛光新概念并实现光学石英表面亚埃级抛光

稀土抛光材料因其硬度适中、粒度细且均匀、抛光速度快精度高等优势，在集成电路、精密光学、空间通信、军工医疗等领域已广泛应用。我国是稀土抛光材料生产及消费大国，但其产品主要应用于中低端领域，高端稀土抛光材料高度依赖进口。

中国科学院大连化学物理研究所能源催化转化全国重点实验室和中国科学院化学激光重点实验室团队以超精细纳米氧化铈可控制备及精密光学用石英元件超光滑表面加工作为研究切入点，利用一次粒径尺寸 2.3-3.8 nm 且粒度分布均匀的稀土氧化铈抛光材料和化学机械抛光(CMP)技术实现了精密光学石英元件极低损伤、亚埃级粗糙度超光滑表面加工，表面粗糙度 RMS 降低至 0.086 nm，突破了稀土抛光材料传统 CMP 加工极限，并在大口径(Φ400mm)石英元件表面成功应用，元件镀膜后反射率(1μm 波段)从 99.95% 提高至 99.997%，有效降低了光学损耗，并已在高能激光领域得到应用。

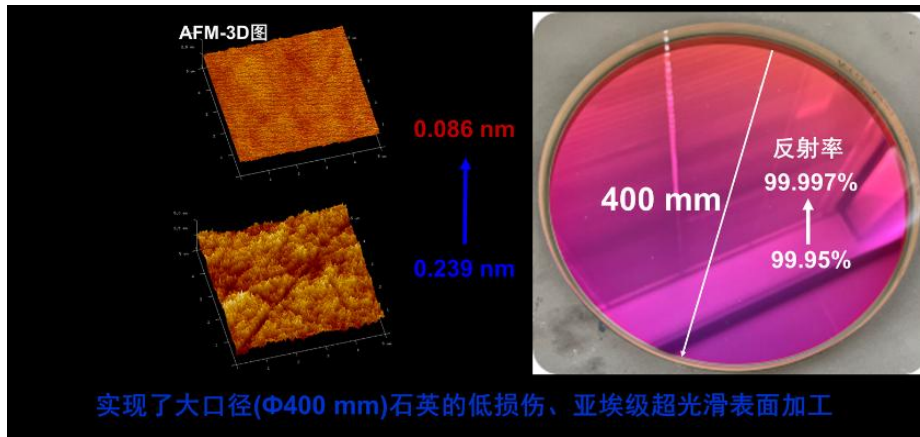


图5 高端稀土抛光材料应用于大口径石英工件的加工

研究发现：石英元件表面粗糙度主要受 CeO_2 一次粒径尺寸和粒度分布影响，一次粒径尺寸越小，粒度分布越窄，越有利于超光滑表面的形成；从“ CeO_2 团聚强度”这一全新的角度，阐释了 CeO_2 团聚强度是影响石英元件表面亚微米尺寸缺陷形成的关键因素。通过对石英元件抛光去除速率以及表面接触角等的分析，提出了 CeO_2 浆料中 Ce^{3+} 促进石英表面羟基形成进而提升抛光去除速率的化学去除模型，进而提出稀土催化抛光新概念。

这项工作对推动我国高端稀土抛光材料制备技术自主发展、促进高丰度稀土的平衡利用、深入理解稀土抛光机理和提升超精密光学元件制造水平具有重要意义。

(来源：中国稀土网站)

第一批稀土开采指标同比增 12.5% 轻稀土增幅缩窄 中重稀土降幅扩大至 7.34%

SMM2月7日讯：工业和信息化部、自然资源部日前下达2024年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标，2024年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为135000吨、127000吨。稀土开采指标2024年与2023年的第一批开

采指标相比，增加了 15000 吨，同比增幅为 12.5%，较往年相比增幅有所收窄。其中，轻稀土指标同比增幅有所缩窄，中重稀土同比降幅有所扩大。

工业和信息化部、自然资源部 2 月 6 日发布 2024 年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标，2024 年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 135000 吨、127000 吨。通知指出，稀土是国家实行生产总量控制管理的产品，任何单位和个人不得无指标和超指标生产。两家稀土集团（中国稀土集团有限公司、中国北方稀土（集团）高科技股份有限公司）要严格遵守资源开发、节约能源、生态环境、安全生产等有关法律法规，按指标组织生产，不断提升技术水平、清洁生产水平、数字化智能化生产水平和原材料转化率；严禁采购、加工非法稀土矿产品，不得开展稀土产品代加工（含委托加工）业务；综合利用企业不得采购、加工稀土矿产品（含富集物、进口矿产品等）；加工利用境外稀土矿产品要严格遵守进出口有关管理规定。

与往年的第一批稀土开采指标的增幅相比，今年第一批稀土开采指标的增幅与往年相比有所放缓。从近几年第一批稀土指标的数据变化来看：

近五年第一批稀土指标变化对比

序号	日期	第一批稀土开采指标 (吨)	日期	第一批稀土开采指标 (吨)	较前一年增加 (吨)	同比变动幅度
1	2019年	60000	2020年	66000	6000	10%
2	2020年	66000	2021年	84000	18000	27.27%
3	2021年	84000	2022年	100800	16800	20%
4	2022年	100800	2023年	120000	19200	19.05%
5	2023年	120000	2024年	135000	15000	12.50%

2023 年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 120000 吨、115000 吨。2022 年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 100800 吨、97200 吨。2021 年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 84000 吨、81000 吨。2020 年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 66000 吨、63500 吨。

从以上数据可以看出，稀土开采指标近五年处于连续增长的态势。稀土开采指标 2024 年与 2023 年的第一批开采指标相比，增加了 15000 吨，同比增幅为

12.5%，与 2023 年的 19.05%、2022 年的 20%、2021 年的 27.27% 的同比增幅相比，同比增幅有所收窄。

轻稀土指标同比增幅有所缩窄 中重稀土同比降幅有所扩大

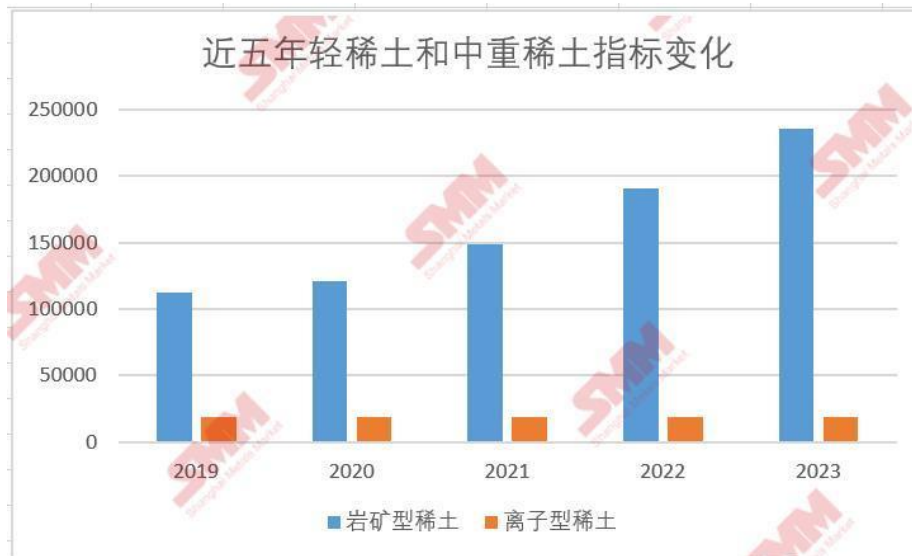


从 2024 年第一批稀土矿开采指标的分类来看，轻（岩矿型）稀土开采指标为 124860 吨，中重（离子型）稀土的开采指标为 10140 吨。2023 年，第一批轻稀土的开采指标为 109057 吨，中重稀土的开采指标为 10943 吨。2022 年第一批轻稀土的开采指标为 89310 吨，中重稀土的开采指标为 11490 吨。

从近三年第一批稀土开采指标中轻稀土和中重稀土指标的变化可以看出，轻稀土方面：2024 年第一批轻稀土开采指标与 2023 年相比增加了 15623 吨，同比增幅为 14.49%；与 2023 年的 22.22% 同比增幅相比，增幅有所缩窄。中重稀土方面：2024 年第一批中重稀土开采指标与 2023 年相比下降了 803 吨，同比降幅为 7.34%；与 2023 年第一批中重稀土开采指标 4.76% 的降幅有所扩大。

从以上数据可以看出，最近几年稀土全年开采冶炼指标连年增长，主要是轻稀土指标连年增加，中重稀土矿指标持平。据 SMM 分析，中重稀土指标多年未有增量，在近两年更是出现了缩减，一方面是由于离子型稀土矿开采多采用池浸法和堆浸法，会对矿区生态环境造成较大威胁；另一方面中国中重稀土资源稀缺，国家出于保护重要的战略资源考虑而没有给予开采增量。

此外，据海关总署数据显示，2023年全年，中国累计进口稀土商品 175852.5 吨，同比增长 44.8%，2023 年中国未列名氧化稀土进口量累计 43856 吨，同比增加 206%，2023 年我国混合碳酸稀土进口增量也很高，累计进口量达到 15109 吨，同比增幅更是高达 882%。从海关统计的数据可以看出，我国 2023 年从缅甸等国进口离子型稀土矿大幅增加，考虑到离子型稀土矿供应较为充足，后续离子型稀土矿的指标增加或有限。



在了解了每年的第一批稀土指标的情况之后，一起来回顾一下，过去几年过年的稀土指标变化情况。据 SMM 统计，从 2019-2023 年的全年稀土开采总量指标具体的分类来看，轻稀土五年来的指标一直维持增加的态势，2020 年的开采指标与 2019 年相比的同比增幅为 7.09%；2021 年的同比增幅为 23.17%；2022 年的同比增幅为 28.22%；在经历了三次指标下发之后，2023 年的同比增幅为 23.58%。2023 年轻稀土的开采指标增幅较 2022 年相比有所收窄，与 2021 年相比略有增加。从 2019-2023 年中重稀土开采指标来看，五年来，中重稀土的开采指标一直处于持平状态。值得一提的是 2018 年的中重稀土开采指标也为 19150 吨，这也意味着此前六年中重稀土指标维持不变。

（来源：SMM）

印度：一个正在崛起的新矿产资源大国

近年来，随着清洁能源转型和高技术产业的发展，全球对于关键矿物的需求日益增长。为此，各国政府对关键矿物愈加重视，纷纷出台政策和措施以确保供应。作为全球第五大经济体的印度，显然也意识到了这一点，并有所动作。2023年12月份，印度矿业部宣布，将启动首批关键矿物区块拍卖。2024年1月份，印度国有公司 KABIL 与阿根廷国有矿业公司 CAMYEN 签署了一项重要的锂勘探协议。种种迹象表明，印度正在通过各项政策和举措，确保关键矿物供应的安全和稳定。

政策及举措齐出

加大关键矿物开发力度 2023年2月份，印度矿业部宣布，印度地质调查局(GSI)在查谟和克什米尔地区 Reasi 发现该国首个大型锂矿藏，初步推断资源量为 590 万吨。首个大型锂矿藏的发现，为印度确保能源转型所需关键矿物的供应增添了底气，也为其在该国境内其他地区的勘探业务提振了信心。

2023年8月份，印度议会通过相关法律规定，允许政府拍卖和开采新发现的锂储量以及其他矿物，并将锂和其他矿物从此前的原子矿物清单上移除，从而解除了私人企业对其进行拍卖和开采的限制。该规定的实施，从法律层面解除了相关限制，将有利于加大锂等关键原材料的开采力度，预计这部分关键矿物的勘探和开采将有较大幅度增加。

2023年8月份，印度政府宣布，计划禁止出口锂、铍、铌、钽4种稀有金属，旨在保障该国在重要矿产资源方面自给自足。上述4种稀有金属对于矿产领域以及保障国家安全和取得技术成果起着重要作用，印度政府认识到了这些稀有金属的重要性，并希望通过禁止出口来保障本国的利益。稀有金属的禁止出口将确保印度在矿产资源领域的可持续发展，减少对进口的依赖，并促进本

土产业的发展。

2023年9月份，印度政府宣布，将在未来4个月内启动约100个关键矿产区块的拍卖程序，这是作为确保该国供应绿色能源转型所需原材料计划的一部分。印度矿业部长表示，这些区块用于开采镍、锂、钴、铂和稀土等矿物。法律框架制定及区块确定均已完成。此外，为了激励全球和当地矿商参与这一过程，印度政府计划报销一半的勘探成本，这从具体举措层面上鼓励了关键矿产的勘探开发，将极大地鼓励调动矿商的积极性。

2023年10月份，印度政府设定了3种关键矿产的权利金税率。矿企开采锂的权利金税率与伦敦金属交易所(LME)锂价挂钩，固定为LME锂价的3%。将铌的权利金设定为平均售价的3%，稀土元素权利金设定为稀土氧化物平均售价的1%。此举为未来印度政府首次拍卖3种矿产的区块铺平了道路。

2023年12月份，印度矿业部宣布，将启动首批关键矿产区块拍卖，估值约为4500亿卢比。拍卖将在8个地区进行，包括比哈尔邦、恰蒂斯加尔邦、奥里萨邦、泰米尔纳德邦、查谟一克什米尔中央直辖区，涉及矿种包括锂、钾、钒、石墨和稀有稀土等。第一批招标将于2024年2月下旬结束，计划拍卖20个区块，总共将拍卖100个区块。另外，印度还实施了125个项目来勘探该国的关键矿产。此举说明印度关键矿产的勘探进入了实质性运作阶段。

上述一系列事件表明，印度政府推出政策和举措的“组合拳”，促进国内关键矿产产业发展，以此展示其决心。

强化国际合作

拓宽关键矿产进口渠道 2022年7月份，印度矿业部长与澳大利亚资源部长就加强关键矿产项目和供应链方面的合作举行会议。会议包括3项议程：一是澳大利亚将向为期3年的印澳关键矿产投资伙伴关系提供580万澳元的资金支持。二是澳大利亚关键矿产促进办公室(CMFO)与印度国有企业 Khanij Bidesh

India Ltd. (KABIL)签署谅解备忘录，确保为印度提供可靠的关键矿产和战略性矿产资源。谅解备忘录主要内容包括：联合对澳大利亚锂和钴矿产资源开展尽职调查；共同为尽职调查过程提供资金，初始总额为 600 万美元；尽职调查完成并确定潜在项目后，双方将通过谅解备忘录中设想的不同方法探索投资机会。三是作为关键矿产供应国，澳大利亚将为印度供应太空和国防工业、太阳能电池板、电池和电动汽车制造等行业所需关键矿物，为印度实现低碳排放提供支持。通过上述合作，印度获得了一个可靠的进口来源，而澳大利亚则凭借自身丰富的关键矿产确定了一个稳定的出口渠道，可谓各取所需。

2024 年 1 月份，印度矿业部宣布，印度国有公司 KABIL 与阿根廷国有矿业公司 CAMYEN 签署了一项价值 20 亿卢比的重要的锂勘探协议。双方将在阿根廷的 5 个区块展开锂勘探活动。同阿根廷国有企业签署的这笔交易给予了 KABIL 商业性生产所需的勘探开发权，印度以此进一步扩大了关键矿产的来源范围。

通过对外开展形式不同且各有侧重点的合作，印度关键矿产进口渠道将得以拓宽，将为印度在海外关键矿产领域的布局提供重要支持，进而对其关键矿产稳定供应形成有力保障。

印度提高自身关键矿产产量尚需时日

印度政府和企业的上述政策及举措，绝大多数是在 2023 年一年的时间内出台和实施的，体现了“节奏快”和“频次密集”两个特点，凸显其迫切性、必要性和重要性。

就目前情况来看，印度国内关键矿产的勘探开发是重点。考虑到关键矿产的开发具有开发周期长、产业链长的特点，虽然印度已经做了一定的初期工作，但未来仍需经过详细勘探才能掌握项目的完整信息，后续产出则需要更长时间。此外，印度政府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，现阶段，印度关键矿产开发还处于初始起步时期，短期内尚且难以快速提高国内关键矿产的产量，且未来仍存在一定不确定性。

(来源：中国有色金属报)



加拿大研究煤田伴生稀土资源

据 Mining.com 网站报道，在上周温哥华举办的由 6200 名代表参加的勘探开发协会(AME)圆桌会议上，不列颠哥伦比亚地调所(GBC, Geoscience BC)启动了一项名为“矿山尾矿和废石中的关键矿物和金属”(Critical Minerals & Metals in BC Mine Tailings & Waste Rock)计划，这项涉及全省范围的研究旨在确定矿山尾矿和废石中的关键金属和矿物富集程度。

GBC 称，第一阶段将收集和分析目前在产和历史矿山的现有信息，以确定未来实验室和业务工作的对象，分析当时没有被认为可采或有价值但现在证实有用的关键金属和矿物的潜在资源量。

第一阶段研究资助者为 GBC、新黄金公司(New Gold Inc.)和阿卡气候技术公司(Arca Climate Technologies)，后者最近同必和必拓共同启动了一个试点项目，将从矿山废物中捕捉 CO₂。另外，能矿和低碳创新部废弃矿山管理司也提供项目支持。

GBC 同时发布的一份研究报告指出，不列颠哥伦比亚省东库特耐(East Kootenays)地区煤田富集稀土元素。

传统稀土资源正在枯竭，而未来 15-20 年稀土需求量将出现大幅增长。煤矿床已成为稀土的潜在来源，美国和其他国家的工作表明，煤炭处理过程中可分离和富集稀土。由于某些煤层中存在稀土，不列颠哥伦比亚省将稀土研究重点放在该省东南部的煤田中。

此项研究首次在不列颠哥伦比亚省的煤层中发现了稀土。GBC 称，已分析了 100 多份样品，并发现稀土富集现象。初步提取技术试验为下一步研究提供了参考。

(来源：全球地质矿产信息系统)



巴西阿尔托山稀土矿见超高品位矿化

巴西稀土公司(BRE, Brazilian Rare Earths)的阿尔托山(Mont Alto)稀土项目钻探见到超高品位矿化。

一个孔在 36 米深处见矿 7 米，总稀土氧化物(TREO)品位 18.9%；另外在 104 米深处见矿 20 米，品位 26.3%。另外一个孔在 84 米深处见矿 23 米，TREO 品位 18.9%，其中包括 9 米厚、品位 28.5%的矿化。这使得该项目成为全球品位最高的稀土矿之一。

第一阶段勘探范围 800 米长，200 米宽。公司认为，该项目沿走向和倾向都有扩大的潜力。BRE 公司称，镨钕稀土氧化物品位可达 5.9%，镉铽品位 0.3229%，铈品位 1.5%，钪品位 0.0352%。

公司计划在独居石砂矿之下进行扩边钻探，寻找高品位稀土—铈—钪矿体。

(来源：全球地质矿产信息系统)

稀土等金属离子引导的多尺度组装工程 实现高强韧 DNA 纤维宏量制造

近日,清华大学刘凯教授、张洪杰院士团队与上海交通大学樊春海院士团队、中国科学院长春应化所王帆研究员团队共同合作,在 Cell Press 细胞出版社旗下期刊 Matter 上发表了最新研究成果,题为“Superstrong and tough DNA bulk fibers via metal ion-induced multiscale engineering”。该研究报道了一种金属离子引导的 DNA 多尺度有序组装范式及连续纺丝制备技术,实现了具有高拉伸强度和高韧性的 DNA 长纤维规模化制造。

该研究采用稀土等金属离子引导 DNA 分子可快速完成分子堆积、纳米束形成、微米级丝束有序排列的多尺度组装过程。所制备的高强高韧 DNA 纤维各项性能指标超越同等测试条件下的重组蛋白丝与聚合物纤维等主流材料。仅使用 50 毫克 DNA 即可实现 1000 米长纤维的连续制备,辅以后续加捻与编织工艺,可轻松实现 5000 倍自身重量以上的重物负载。更为重要的是,该工作首次验证了生物质 DNA 可规模化生产高性能纤维材料的可行性,为推动 DNA 材料面向高技术产业应用迈出了关键一步。

因具备优异的序列可编程性和生物相容性, DNA 分子在高技术材料领域的研究和应用备受瞩目。在分子尺度层面,规则的周期性双螺旋结构赋予了 DNA 分子优异的微观力学特性;在宏观尺度层面,制造能继承其分子级优异机械性能的 DNA 块体材料仍是一项极具挑战性的工作。同时,当下主流的 DNA 分子多级有序组装策略高度依赖复杂的序列设计,这直接导致了 DNA 材料规模化制备的难度和生产成本呈指数级放大。因此,发展可实现高机械性能 DNA 材料连续宏量制备的全新技术范式被认为是推动 DNA 材料面向高技术产业应用的关键。

基于此,清华大学刘凯教授、张洪杰院士团队与合作者开发了稀土等金属离子引导的多尺度工程技术,实现了高强韧 DNA 纤维宏量制备。在金属离子多重

作用力引导下，DNA 分子可快速完成分子堆积、纳米束形成、微米级丝束有序排列的三级组装过程。该组装过程避免了复杂的 DNA 序列设计，较好地保留了 DNA 周期性螺旋结构，促进了 DNA 分子各向异性组装和长程有序结构形成。应用该多尺度组装策略制备的 DNA 纤维不仅轻质，并且表现出优异的宏观力学性能。该组装策略首次证明了使用生物质 DNA 大规模生产高能力学材料及 DNA 材料面向高技术产业应用的可行性。

基于多尺度组装策略的 DNA 纤维与织物宏量制造

研究团队通过湿法纺丝技术，以生物质 DNA 为原料制备出大尺寸 DNA 纤维。该制备中，凝固浴内引入了作为反离子的金属离子，来屏蔽负电荷并稳定 DNA 分子，进一步交联 DNA 片段以连续形成纤维（图 6）。制备的 DNA 纤维直径均匀，且表面光滑。通过应用该技术，仅使用 50 毫克 DNA 即可实现 1000 米长纤维的连续制备，辅以后续加捻与编织工艺，可轻松实现 5000 倍自身重量以上的重物负载。

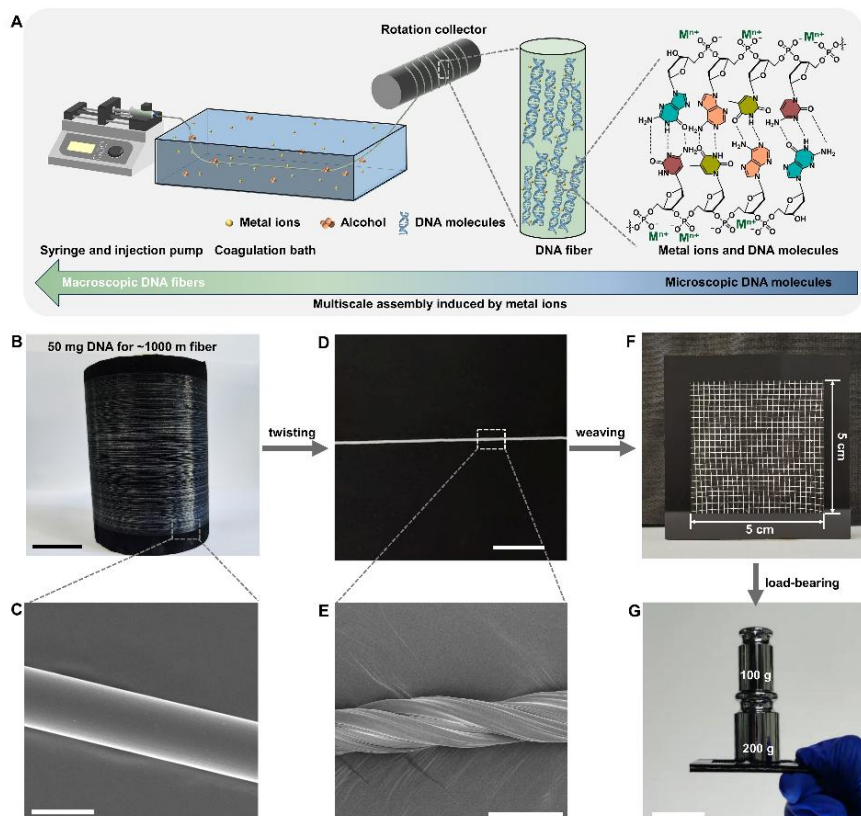


图 6 DNA 纤维与织物的连续宏量制备与形貌表征

镧系离子诱导 DNA 分子组装与 DNA 纤维制备

研究团队优化纺丝过程中引入的金属离子种类, 首先引入了一系列镧系离子 (La^{3+} , Ce^{3+} , Nd^{3+} , Eu^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} , Tm^{3+} 和 Yb^{3+}) 来调节 DNA 分子的多尺度组装过程。八种镧系离子制备的初纺 DNA 纤维表现出相似的力学性能。将制备的 DNA 纤维进行拉伸处理后, 其模量和拉伸强度都得到了显著提高, 并且拉伸后 DNA 纤维的拉伸强度表现出随着引入镧系离子的原子序数的增加而降低的周期性变化规律。鉴于引入的镧系离子间差异性的离子半径、磷酸基团亲和力和诱导 DNA 构象转变等多种因素, 协同影响了 DNA 的组装过程, 最终理性调控了 DNA 纤维的宏观机械性能 (图 7)。

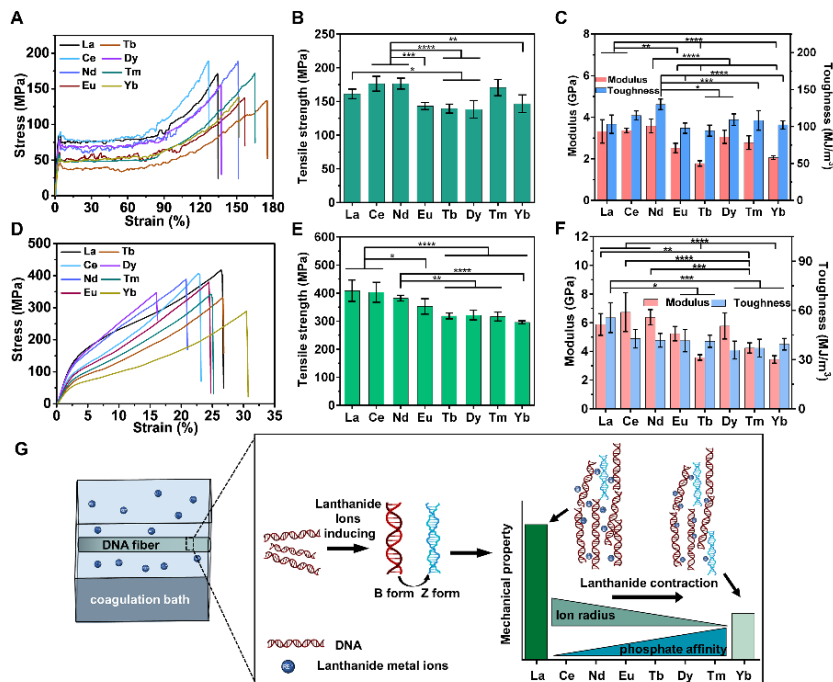


图 7 稀土离子诱导的 DNA 纤维力学性能与组装过程调控

二价离子诱导 DNA 分子组装与 DNA 纤维制备

研究团队进一步引入二价金属离子 (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} 及 Mn^{2+}) 参与 DNA 纤维的连续制备过程。在 DNA 纤维制备中, 二价金属离子预混进 DNA 纺丝溶液中, 以中和带负电荷的磷酸基团并稳定 DNA 分子, 离子预混合处理明显提高了 DNA 纤维力学性能。在五种二价离子中, 镁离子参组装过程的 DNA 纤维表

现出最强的力学拉伸强度与杨氏模量，分别为 513 ± 16 MPa 与 9.4 ± 0.6 GPa。相较于其他四种金属离子，镁离子能在组装过程中更有效地保持构象和螺旋结构，保证在 DNA 纤维中产生更有序的各向异性结构。偏光光学显微镜与小角 X 射线散射表征证明，这种效果在经过后拉伸处理的 DNA 纤维中尤为明显；拉伸处理后的纤维中 DNA 分子以更加密集堆积模式在 DNA 纤维中有序取向（图 8）。

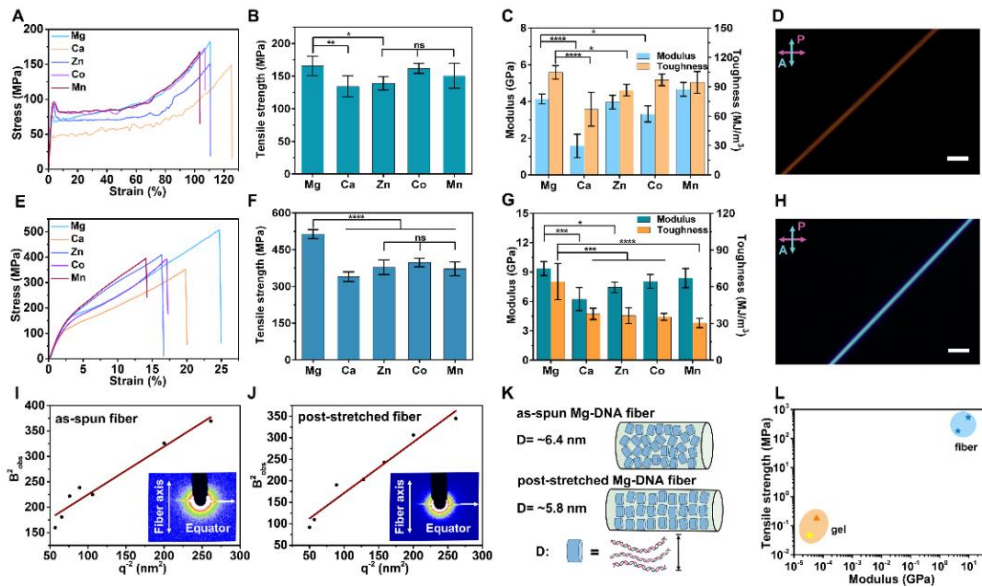


图 8 二价金属离子引导的 DNA 纤维制备与表征

DNA 纤维内部微观形貌与微观力学研究

研究团队随后表征了纤维的内部微观结构，以解析多尺度分子组装过程。在扫描电子显微镜(SEM)与原子力显微镜(AFM)的图像中，DNA 纤维内部表现出粗糙形貌特征，并存在明显的双层结构，包含核层和壳层两部分区域。X 射线能谱表征(EDS)证明纤维核区域中金属离子含量明显低于外壳层区域。并且，核层和壳层的微观力学压痕表征也表明两个域的微观力学性能存在明显差异（图 9）。基于以上表征，核和壳层区域形貌与微观力学的差异源于组装中金属离子从凝固浴中梯度扩散。随着金属离子向 DNA 相中扩散，外壳区域中的 DNA 分子逐渐组装和堆积形成致密组装结构，阻碍了离子进一步向核心结构域扩散。在纤维内截面的平均微观模量可达 44 ± 22 GPa，远远超过 DNA 分子本身模量；在组装过

程中，金属离子诱导的 DNA 分子多尺度组装促进了致密堆积，从而大大提高 DNA 体纤维内部的微机械刚度。

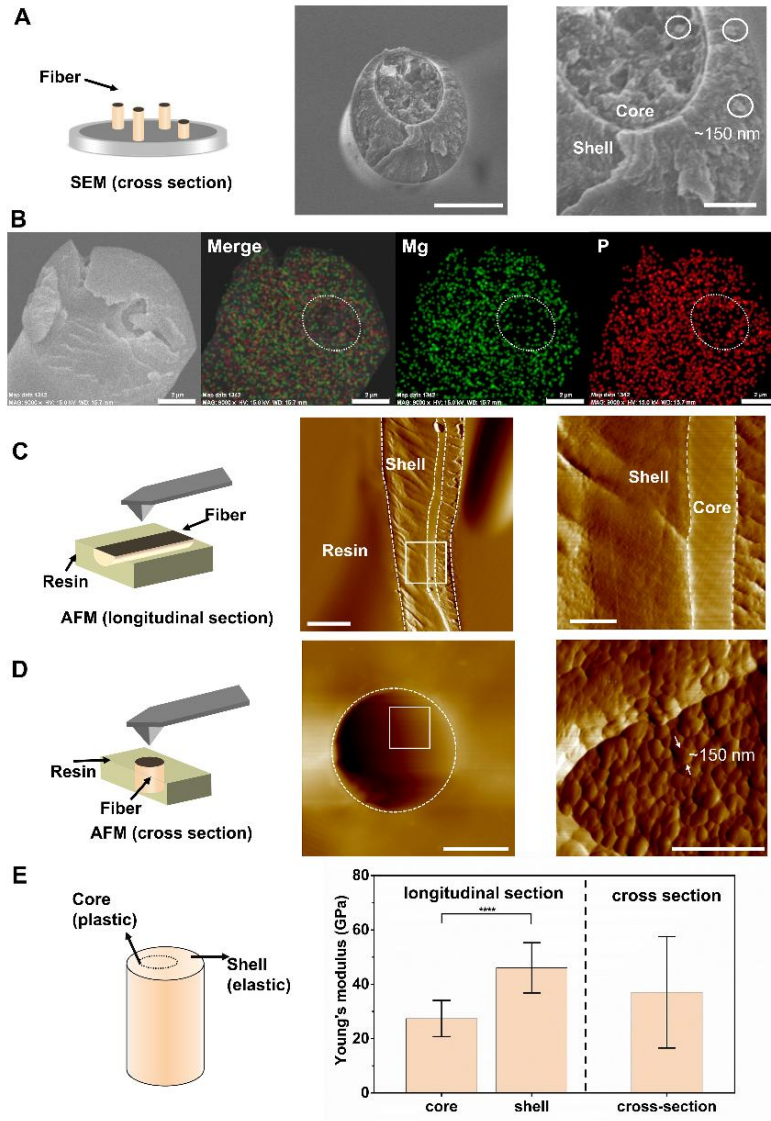


图 9 DNA 纤维的微观形貌和微观力学特征

DNA 纤维的多尺度组装过程

基于以上结果，研究团队揭示了金属离子诱导 DNA 分子多尺度组装过程。随着金属离子扩散到 DNA 溶液相内，中和多余的负电荷并稳定 DNA 分子。随后，在金属离子的引导下，DNA 分子间的连接作用积极推动了更大规模的组装结构产生，从而形成了相互连接的紧密组装结构和介观纳米束结构。纳米束通过拉伸作用沿纤维轴线有序延伸，促进纤维的长程各向异性组装，实现了 DNA 纤

维的连续成型制备（图 10）。

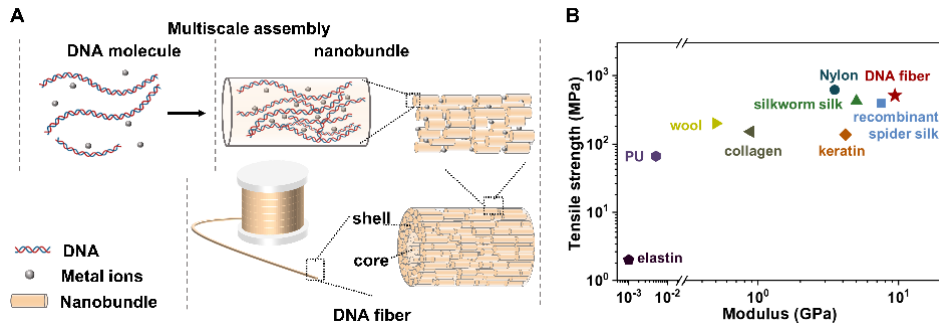


图 10 DNA 纤维多尺度组装过程以及与其他纤维材料性能比较

总结与讨论

该研究工作展示了金属离子引导 DNA 多尺度组装策略，可用于高强度、高韧 DNA 纤维的连续宏量制备。金属离子诱导的组装过程保持了 DNA 分子周期性的螺旋结构，促进 DNA 分子的各向异性组装，并产生了长程有序组装结构。通过引入不同的金属离子，分子组装结构得到了积极调整，性能也进一步优化。所制备的 DNA 纤维各项性能指标超越同等测试条件下的聚氨酯、尼龙 6、蚕丝、重组蛋白丝等主流材料。更重要的是，可降解、可再生且来源广泛的生物质 DNA 首次被应用于高性能 DNA 材料的制备，而不依赖于特定 DNA 序列设计，大大降低了 DNA 材料的生产成本。该多尺度组装策略可被认为是高性能 DNA 材料的设计与制造方面的里程碑式创新，并且已建立的金属离子诱导组装可能对其他生物大分子甚至聚合物的多尺度组装也具有指导意义。

（来源：Cell Press 细胞科学）



上海工程技术大学、宁波材料所：低温处理 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 永磁体增强机械性能而不牺牲磁性能

近日，来自上海工程技术大学材料工程学院以及中国科学院宁波材料所的研究团队（通讯作者：上海工程技术大学袁建辉教授、宁波材料所刘雷高级工程师）

在《Journal of Alloys and Compounds》(IF: 6.2)上发表了一项重要研究成果。该研究将冷处理技术应用于 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 永磁体,旨在提升其力学性能而不牺牲磁性。

实验具体步骤如下,包括制造磁体($\text{Sm}(\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.22}\text{Cu}_{0.06}\text{Zr}_{0.023})_{7.92}$)、将其喷射磨成粉末($3.9\mu\text{m}$)、在磁场中排列、压缩、烧结、溶液处理、等温时效,并缓慢冷却。低温处理包括将样品浸入液氮中 30 分钟,然后自然恢复到室温。样品根据其相对于磁化轴的方向分组,并进行弯曲和硬度测试,其中一些样品经过了低温处理。

本研究采用了低温处理作为一种创新方法来增强 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 永磁体的机械性能。同时,还调查了低温处理对磁性能的影响。值得注意的是,低温处理略微提高了固有矫顽力(从 27.03 kOe 增至 28.31 kOe; 从 29.45 kOe 增至 30.96 kOe),而其他磁性能基本保持不变。最弱方向的弯曲强度经历了 14.3% 的显著增长,冲击韧性增加了 7.0%,这种增强主要来自于残余应力的减轻。

这项研究提供了一种有效且便捷的方法,以增强 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 永磁体的机械性能,而不牺牲磁性能,有助于提升永磁体的实用性和可靠性。

(来源: 稀土永磁科技进展)



中国计量大学: 采用铈盐改良的双硅烷膜 提升烧结钕铁硼的耐蚀性

近日,中国计量大学研究团队关于采用铈盐改良的双硅烷膜大幅提升烧结钕铁硼的耐蚀性的研究成果发表于《Materials Today Communications》杂志(IF: 3.8)。

本论文报道了一种在烧结钕铁硼(NdFeB)表面制备耐腐蚀膜层的简单有效

方法。通过电化学辅助沉积技术，实现了一步法制备铈/双硅烷复合膜。实验结果表明，铈/双硅烷复合膜展现出优良的超疏水性（接触角为 152° ）和极强的耐腐蚀性。该膜对腐蚀电流密度（ I_{corr} ）的抑制效能达到 74.6%，展现出超强的腐蚀防护能力且对烧结钕铁硼的磁性影响微弱，为 NdFeB 及相关行业的环保保护涂层提供了有希望的新材料。

烧结钕铁硼在粉末冶金过程中不可避免的气孔和不同相间电化学电位差使其易受腐蚀。为此，提高 NdFeB 材料的耐蚀能力尤为重要。本研究旨在开发一种新型铈盐改性双硅烷膜，以提高烧结 NdFeB 的耐腐蚀性，同时尽量减少对其磁性能的影响，期待在 NdFeB 腐蚀防护方面取得实质性突破。

实验使用了电化学辅助沉积技术，并采用包含双硅烷（乙基硅酸酯 TEOS 和十二烷基三甲氧基硅烷 DTMS）预驱体溶液，沉积了铈盐复合双硅烷膜。烧结 NdFeB 试样经过磨砂、打磨、清洁，最终在 -1.4 V 电位下进行了 300 秒的膜层沉积，在 40°C 烘箱中干燥 4 小时以完成膜层的制备。

利用扫描电镜(SEM)、能量色散 X 射线光谱(EDX)及 X 射线光电子能谱(XPS)等技术对膜层表面、横截面和化学成分进行了详尽分析。实验结果显示，与传统的双硅烷膜相比，铈/双硅烷复合膜更厚、更均匀，提供了额外的保护层，有效预防腐蚀离子的渗透和扩散。 I_{corr} 的测试表明，该复合膜大大提高了 NdFeB 的抗蚀性。

铈/双硅烷复合膜的超疏水表面、三维网络结构和碱性钝化层共同作用，显著提升了耐腐蚀性能。尽管若干理化特性指标有所下降，但这种复合膜对 NdFeB 的磁性质影响非常小，适用于烧结 NdFeB 的耐蚀保护。此外，铈盐加入双硅烷膜对提高其耐腐蚀性起到了关键作用。

铈/双硅烷复合膜打开了一条生产环保型、超疏水的、具有优良耐蚀性能的 NdFeB 保护涂层的新道路。未来工作将探索进一步优化此类膜的制备工艺，并

调查其长期耐蚀性能以及在实际应用环境中的表现。

(来源: 稀土永磁科技进展)



福建物构所稀土长余辉纳米探针 早期动脉粥样硬化诊断中取得新进展

心血管病是危害人类生命健康的重大疾病, 动脉粥样硬化(Atherosclerosis, AS)是诱发冠心病、中风和心肌梗塞等多种心血管病的共同病理基础。在 AS 的早期阶段进行药物干预, 能够最大限度地预防和治疗 AS, 大幅度减少由斑块破裂诱发的心血管病死亡事件, 早期精准识别 AS 斑块是防治心血管病的关键。长余辉发光不受组织自发荧光的干扰, 成像灵敏度高, 而近红外长余辉发光处在较低光衰减和散射的光学窗口中, 使得近红外长余辉材料在深层组织成像中具有独特优势。基于此, 中国科学院福建物质结构研究所张云团队构建了一种基于稀土近红外长余辉材料的 AS 靶向纳米探针, 发展了高灵敏的近红外长余辉 AS 斑块成像技术, 成功实现了 AS 斑块的早期成像。该纳米探针能够被生物窗口的光重复激发, 具有优异的近红外余辉性能。表面修饰的骨桥蛋白使其对斑块中的泡沫细胞具有优异的靶向能力。AS 模型小鼠静脉注射纳米探针后, 通过高灵敏的长余辉成像可以在超声和磁共振成像之前精准识别小鼠体内的 AS 斑块。这种高灵敏成像探针在心血管病的防治、AS 发病机理研究和抗 AS 药物的筛选等方面具有很好的应用前景。

相关研究结果近期发表在 ACS Nano 上, 中科大硕士生罗小芳为论文的第一作者, 闽都创新实验室孙霞高级工程师, 福建物构所史俊朋副研究员和张云研究员为论文的共同通讯作者。该工作得到国家自然科学基金, 闽都创新实验室自主部署项目和中科院重点研发计划等项目的支持。

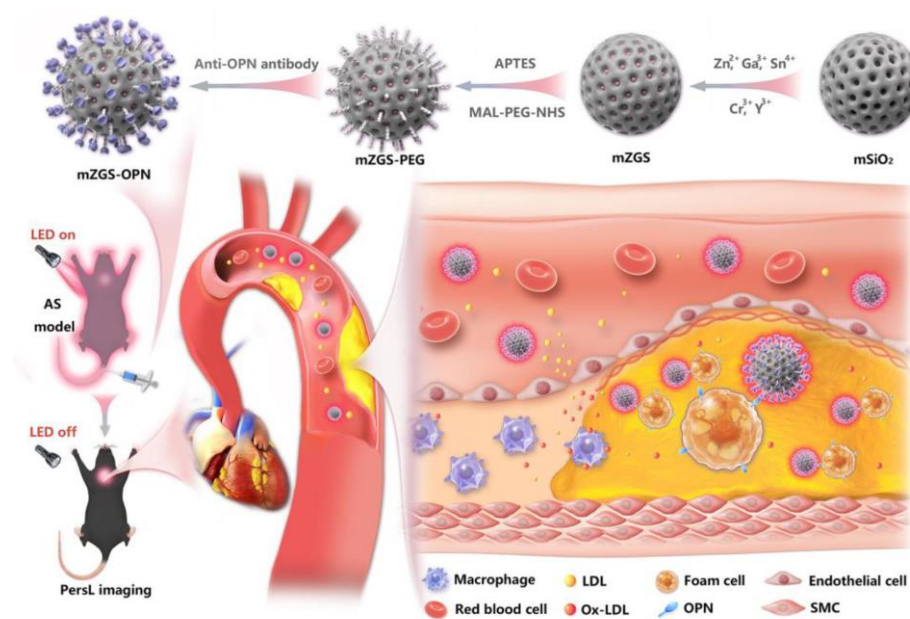


图 11 基于近红外长余辉纳米探针的 AS 斑块早期成像示意图

(来源: 福建物构所)

自然资源部关于印发《矿产资源开发利用水平调查评估办法（试行）》的通知

为落实党中央关于全面加强资源节约工作有关要求，促进矿产资源全面节约和高效利用，自然资源部近日下发《关于印发〈矿产资源开发利用水平调查评估办法（试行）〉的通知》，出台《矿产资源开发利用水平调查评估办法（试行）》，具体如下：

一、充分认识矿产资源开发利用水平调查评估工作的重要意义

建立矿产资源开发利用水平调查评估制度是中央生态文明体制改革的明确要求。开展常态化矿产资源开发利用水平调查评估，有利于及时摸清资源利用家底，更好地统筹资源开发和生态环境保护关系，准确把握管理薄弱环节，采取差别化政策措施，提升企业科技创新内生动力，助力推进找矿增储，是推进自然资源节约集约利用的一项重点工作，是严守资源安全底线、促进绿色低碳发展的重要举措，事关国家安全和高质量发展，具有重要的现实意义和长远意义。各级自然资源主管部门、油气公司务必高度重视，精心组织，加强督导，有序推进，确保调查评估工作取得实效。

二、加强调查数据质量管理

（一）调查评估以矿业权人勘查开采信息管理系统的公开信息为数据基础，不额外增加企业负担。各级自然资源主管部门要认真履行勘查开采信息管理责任，采取多种措施推动矿业权人如实、准确填报相关信息，加强对公示公开数据质量管理。

（二）充分结合勘查开采信息管理抽查核查工作开展调查评估数据质量核查。要重点实地核查矿山企业开发利用数据指标超高或超低值、信息异常等情况。针对中央关注、群众举报、媒体曝光等社会反映强烈问题，可组织专项检

查。

三、加强评估成果应用

(一)以地区为评估对象的激励约束措施。划定为领先档次的地区，在节约集约示范县等荣誉称号和绩效考核等方面，积极推进优化评价指标等措施予以支持；划定为落后档次的地区，及时督促地方自然资源主管部门进行比对核实，推动积极整改。对整改态度不积极或效果不明显的，采取约谈、通报等方式予以提醒。

(二)以矿山企业为评估对象的激励约束措施。划定为领先档次的矿山企业，可在项目申请、绿色矿山创建、用地用矿、资金申请、融资债券、税费减免等方面，加大支持力度；划定为落后档次的矿山企业，通过约谈等方式及时提出整改要求，并将相关情况予以通报。对整改态度不积极或效果不明显的，利用现有政策，采取诚信管理措施。

(三)评估对象不足三个的不再划档，相关激励约束措施由省级自然资源主管部门研究实施。

四、建立责任追究机制

(一)自然资源主管部门、支撑单位或第三方委托机构及相关工作人员，应依法履职、实事求是、客观公正、廉洁高效。对参与调查评估的相关部门和人员在评估过程中存在的违法违规现象，任何单位或个人可向上级自然资源主管部门举报，相关部门和人员应当接受和配合依法进行的调查。在工作中玩忽职守、弄虚作假、滥用职权、徇私舞弊的，依法依规给予处理。

(二)矿山企业对调查评估基础数据质量负主体责任。对发现矿山企业在勘查开采信息公示等方面存在弄虚作假行为的，任何单位或个人可向自然资源部或省级自然资源主管部门举报，矿山企业应当接受和配合自然资源主管部门依法进行的调查。由于填报错误、提供虚假信息，导致评估结果偏差的，采矿权

人依法承担相应责任。

五、做好工作保障

(一) 加强组织保障。各省级自然资源主管部门要统筹推进，制定本省(区、市)工作方案，细化目标任务、工作内容、实施步骤、责任分工等，制定配套措施，层层压实责任，积极培养专业的调查评估队伍，确保高质量完成任务。

(二) 做好宣传培训。自然资源主管部门要充分利用各类媒体资源，广泛宣传调查评估工作的意义、进展和成效，引导矿山企业、社会积极参与，为常态化开展调查评估工作营造良好舆论氛围和社会环境。积极开展评估技术培训，交流经验，解决问题，提升矿山企业数据台账管理和填报人员的业务水平。

(三) 保障工作经费。按照自然资源领域中央与地方财政事权和支出责任划分改革方案相关要求，调查评估所需工作经费分别列入中央和地方财政预算，每年按时拨付，确保调查评估工作的常态化开展。

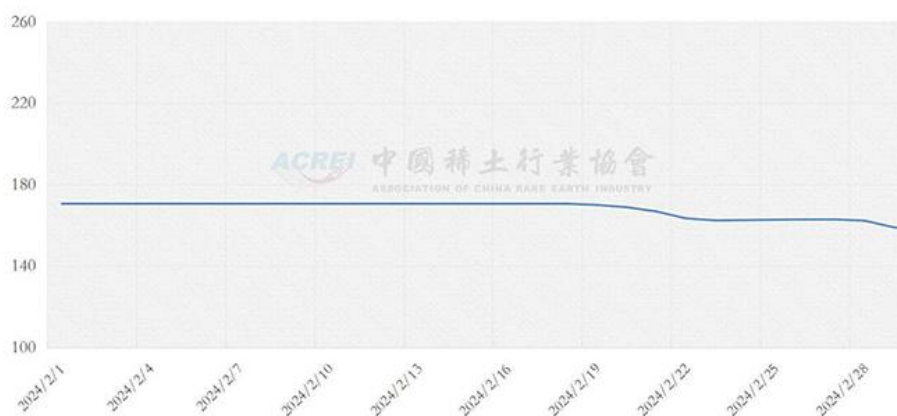
(来源：自然资源部)

2024年2月稀土价格走势

一、稀土价格指数

2月份，稀土价格指数总体呈现下行态势。本月平均价格指数为167.4点。价格指数最高为2月1-18日的170.6点，最低为2月29日的159.0点。高低点相差11.6点，波动幅度约为6.9%。

2024年2月稀土价格指数走势图



二、中钷富钷矿

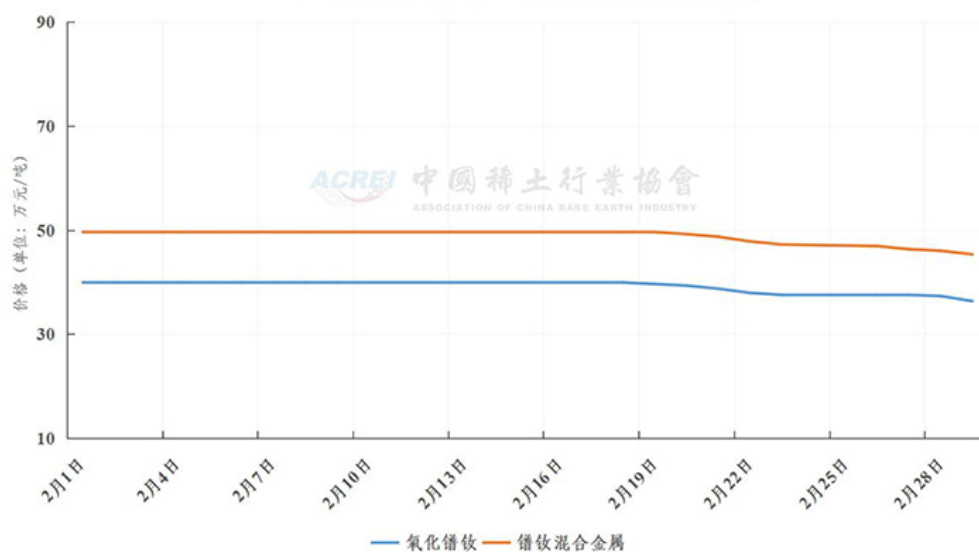
中钷富钷矿2月份均价为17.78万元/吨，环比下跌5.7%。

三、主要稀土产品

(一) 轻稀土

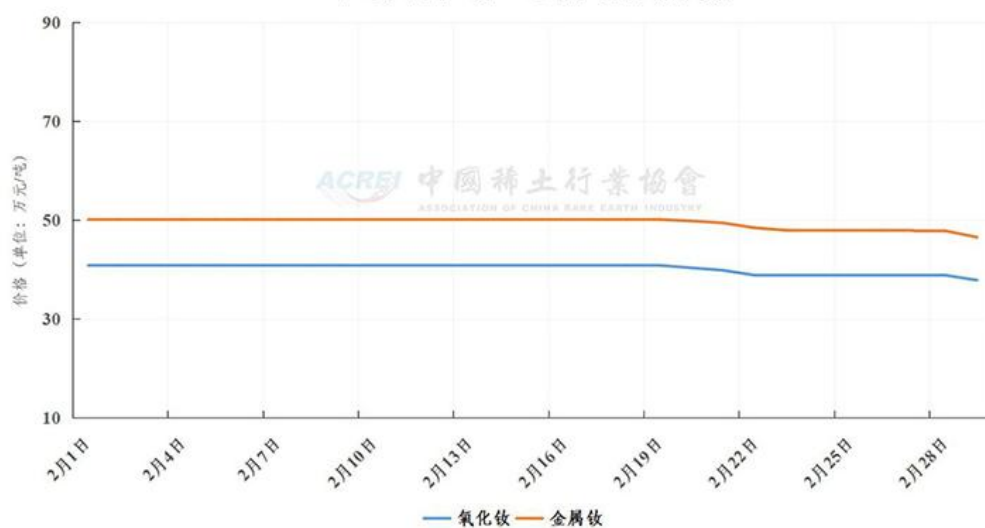
2月份，氧化镨钕均价为38.93万元/吨，环比下跌4.5%；金属镨钕均价为48.52万元/吨，环比下跌3.9%。

2024年2月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



2月份，氧化钕均价为 39.99 万元/吨，环比下跌 3.9%；金属钕均价为 49.25 万元/吨，环比下跌 3.7%。

2024年2月氧化钕、金属钕价格走势

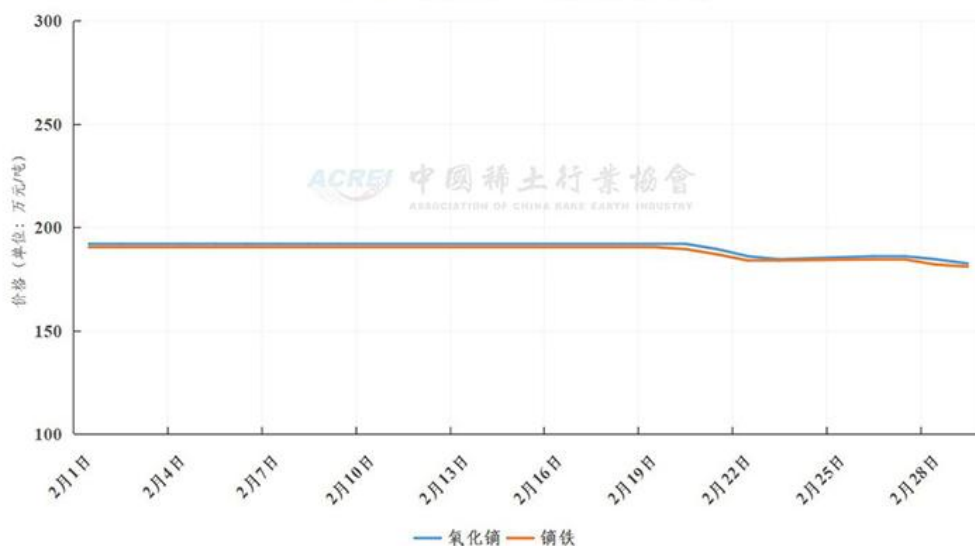


2月份，氧化镨均价为 40.09 万元/吨，环比下跌 3.8%。99.9%氧化镧均价为 0.40 万元/吨，环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为 19.80 万元/吨，环比与上月持平。

(二) 重稀土

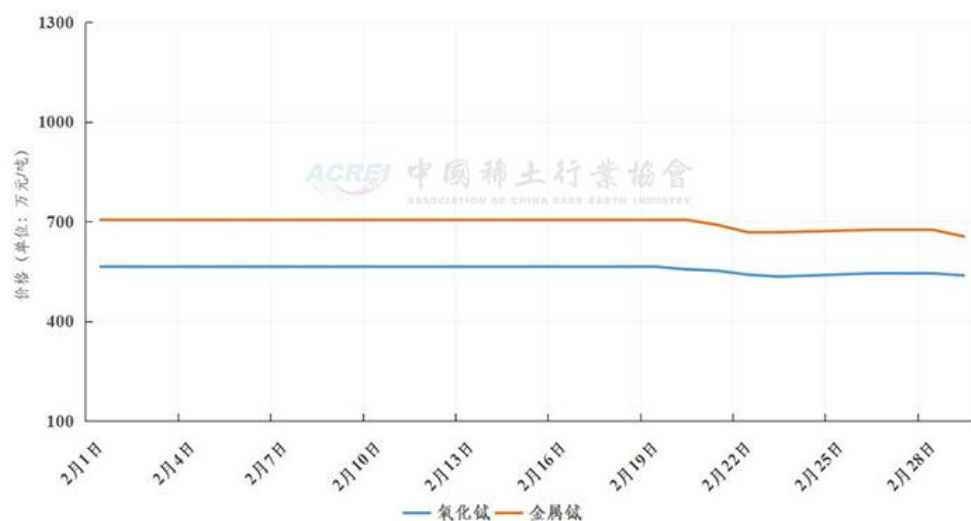
2月份，氧化镝均价为189.50万元/吨，环比下跌8.7%；镝铁均价为187.86万元/吨，环比下跌8.4%。

2024年2月氧化镝、镝铁价格走势



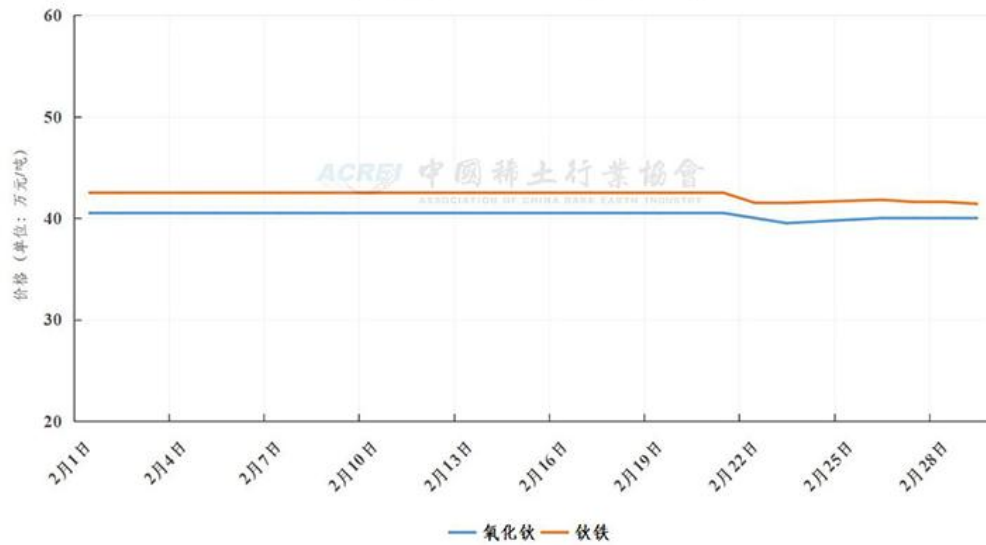
2月份，99.99%氧化铽均价为555.08万元/吨，环比下跌9.7%；金属铽均价为692.22万元/吨，环比下跌11.1%。

2024年2月氧化铽、金属铽价格走势



21月份，氧化钬均价为40.31万元/吨，环比下跌3.4%；钬铁均价为42.19万元/吨，环比下跌3.4%。

2024年2月氧化钬、钬铁价格走势



2月份，99.999%氧化钬均价为4.30万元/吨，环比下跌1.4%。氧化铈均价为28.86万元/吨，环比上涨3.7%。

表1 2024年2月我国主要稀土氧化物平均价格对比（单位：公斤）

产品名	纯度	2024年1月平均价	2024年2月平均价	环比
氧化镧	≥99%	4.00	4.00	0.00%
氧化铈	≥99%	6.00	6.28	4.67%
氧化镨	≥99%	416.84	400.94	-3.81%
氧化钕	≥99%	416.16	399.94	-3.90%
金属钕	≥99%	511.47	492.50	-3.71%
氧化钐	≥99.9%	15.00	15.00	0.00%
氧化铈	≥99.99%	198.00	198.00	0.00%
氧化钐	≥99%	180.95	173.67	-4.02%
钐铁	≥99%Gd75%±2%	176.05	170.78	-2.99%
氧化铽	≥99.9%	6149.21	5550.83	-9.73%
金属铽	≥99%	7784.21	6922.22	-11.07%
氧化镱	≥99%	2076.58	1895.00	-8.74%
镱铁	≥99%Dy80%	2051.84	1878.61	-8.44%
氧化钬	≥99.5%	417.16	403.06	-3.38%
钬铁	≥99%Ho80%	436.58	421.89	-3.36%
氧化铒	≥99%	278.26	288.56	3.70%
氧化镱	≥99.99%	101.00	101.00	0.00%
氧化镨	≥99.9%	5550.00	5527.78	-0.40%
氧化钕	≥99.999%	43.63	43.00	-1.44%
氧化镨钕	≥99%Nd ₂ O ₃ 75%	407.63	389.28	-4.50%

市场行情

镨钕金属	≥99%Nd75%	505.16	485.22	-3.95%
------	-----------	--------	--------	--------

(来源：中国稀土行业协会)

稀土永磁材料生产工艺

根据生产工艺的不同，稀土永磁材料的生产可以分为熔炼法、溶液法和快速凝固法三种主要方法。熔炼法是稀土永磁材料的传统制备方法，主要应用于生产钕铁硼磁体材料。溶液法是指在稀土、铁、硼、钴等元素的溶液中加入氢氧化物或氧化物沉淀出所需的晶体，具有制备粒度均匀、晶粒细小、可调配比例和制备过程控制难度低等优点。快速凝固法是将液态合金在高速冷却下凝固，使晶体在凝固时不断地变化，形成超细晶粒，具有优异的磁性能和高温稳定性。

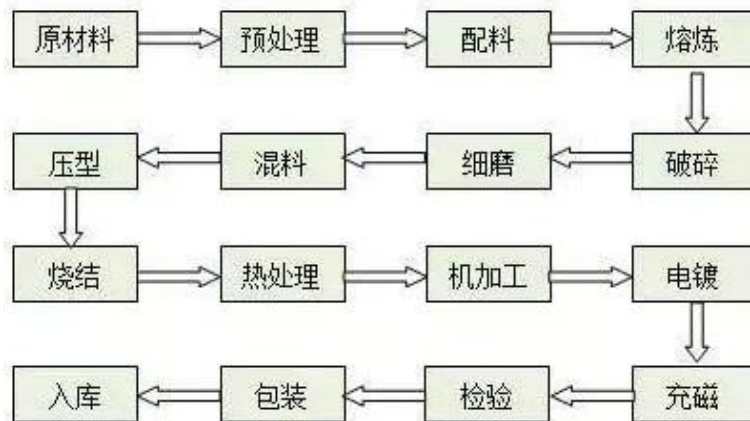


图 12 稀土永磁材料生产工艺

除了传统的生产方法外，新型的制备技术也在不断涌现，例如机械合金化、纳米材料制备技术和热压致密化等技术。机械合金化是指通过机械球磨的方式使粉末内部发生冶金反应，形成纳米材料或非晶态材料，具有粒度均匀、活性高、温度低等优点。纳米材料制备技术则是利用纳米技术制备稀土永磁材料，具有粒度小、表面积大、性能稳定等特点。热压致密化技术是将粉末材料加热压实，形成块材料，具有成型速度快、节能环保、节约原材料等优点。

未来，稀土永磁材料的生产工艺将进一步追求高效、低耗、环保、可持续

的发展。其中，绿色制备和低成本制备将是发展的重点，新的绿色生产技术将逐步替代传统的工艺，如通过溶胶-凝胶法、水热法、气相沉积法等制备稀土永磁材料，这些新技术可以大幅度降低原材料、能源和环境的消耗，这将有助于推动稀土永磁材料的广泛应用，推动新能源、智能制造、信息技术等高新技术领域的快速发展。

(来源：中国稀金谷大数据)

稀土元素的超级富集者——蕨类植物芒萁

蕨类植物芒萁

蕨类植物是高等孢子植物，系统分类上一般作为一个门。芒萁属于蕨类植物门芒萁属。中国是世界上蕨类资源最丰富的地区之一，约有 2600 多种，约占世界总数的 1/5。蕨类在我国主要分布在华南和西南地区，仅云南省就有 1400 余种，其它如四川 736 种、台湾 540 种、广西 527 种。

稀土超累积植物

超累积植物是指地上部目标元素含量达到或超过一定标准（REE 标准为 1000 mg/kg）或吸收系数（植物某一部位的元素含量与土壤中相应元素含量之比）达到或超过 1 的植物。目前中国已发现的研究程度较高的超累积植物包括 Se 超累积植物芥壶瓶碎米荠，Cu 超累积植物海州香薷，Mn 超累积植物美洲商陆，As 超累积植物蜈蚣草，Cd 和 Zn 超累积植物东南景天和伴矿景天。芒萁是目前已知富集稀土能力最强的植物，其地上部稀土含量可高达 7000mg/kg，是名副其实的稀土超累积植物。稀土元素在芒萁体内的分配具有叶片 \approx 根 $>$ 茎 $>$ 叶柄的规律，且稀土元素在芒萁体内发生分异作用。



图 13 蕨类植物芒萁

芒萁对稀土富集和耐受的原因

最新一项研究发现稀土跨膜运输蛋白 NREET1 在芒萁根系大量表达且特异性定位在细胞质膜上，负责将稀土元素，尤其是轻稀土从细胞外向细胞内运输。尽管芒萁是稀土超累积植物，但过量的稀土将制约植物生长，前人研究发现硅对芒萁叶片细胞壁的修饰作用是芒萁耐受高浓度稀土元素的关键原因。

REE hyperaccumulator plant *Dicranopteris linearis*

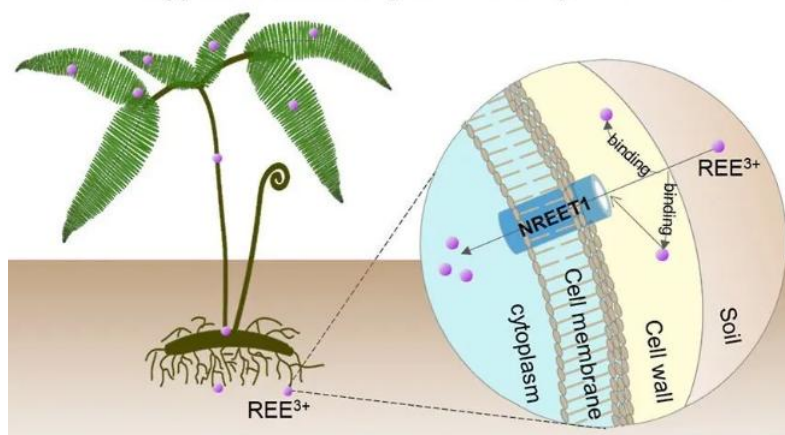


图 14 NREET1 蛋白运输稀土模型图

超累积植物的找矿意义

我国古代典籍中就曾对植物找矿有过记载，例如《荀子·劝学篇》中说：“玉在山而草木润”，体现出植物生态与山中蕴藏矿物相关的思想。19 世纪 50 年代

中国勘查地球化学奠基人——谢学锦先生在安徽安庆月山地区发现了铜矿指示植物——海州香薷，开拓了我国植物地球化学找矿领域。

超累积植物的环境修复意义

粤北一处废弃稀土尾矿区植被恢复情况表明在闲置 5 年的稀土尾矿区植物通常无法生长，而蜈蚣草、乌毛蕨等蕨类是尾矿植被中优势物种，说明蕨类植物适应稀土尾矿区土壤酸化沙化严重、养分贫瘠的环境。加强蕨类植物在稀土尾矿废弃地治理方面的利用可取得事半功倍的效果。

（来源：稀土资源与环境）

二氧化碳碳化沉淀制备碳酸钇的反应过程研究

CO₂ 碳化沉淀制备特殊物性金属化合物粉体具有成本低、操作简单等优点，已成功应用于纳米、大比表面稀土氧化物的制备。以 Y 元素为研究对象，针对酸/碱体系下 CO₂ 碳化沉淀制备碳酸钇的反应过程进行研究。结果表明，氯化钇的引入会迅速与 H₂CO₃-H₂O 体系中的 HCO₃⁻ 离子反应生成 Y₂(CO₃)₃·xH₂O，从而促进 H₂CO₃ 的电离，导致 pH 小于 9.0 的溶液中 HCO₃⁻ 的占比小于 1%。在酸性体系下，CO₂ 首先发生溶解吸收电离，然后 Y³⁺ 与 HCO₃⁻ 反应进行沉淀，而 NaOH 的加入中和了反应释放出的 H⁺，从而控制碳化体系 pH；整个碳化过程符合一级反应动力学模型，由传质扩散和化学反应混合控制。在碱性体系下，Y(OH)₃ 的转化率随着 CO₂ 通入迅速增加，然后由于碳酸钇对 Y(OH)₃ 的包裹钝化而趋于平稳，进而 Y(OH)₃ 结构坍塌碳化转化率急剧增加至完全转化。而在酸碱不同体系中，温度越高，均更易形成均相沉淀体系，有利于碳酸钇的晶型生长，获得结晶性能良好的 Y₂(CO₃)₃·2H₂O。本文的研究强化了对 CO₂ 碳化沉淀碳酸钇反应过程的认识，有利于指导特殊物性稀土氧化物的均相可控及高效制备。

(来源：中国稀土学报)

离子型稀土矿柱浸过程氨氮平衡及尾矿氨氮形态转化研究

离子型稀土矿柱浸过程氨氮的平衡与迁移转化研究可以对浸矿剂硫酸铵用量的模拟运算提供理论参考。试验以定南某离子型矿土为对象，采用室内柱浸模拟的方式对离子型稀土原矿氨氮的分布、硫酸铵浸矿过程氨氮平衡及尾矿氨氮赋存转化的影响进行了试验。结果发现，离子型稀土原岩风化过程中，还可能伴随

着离子相铵盐的生成,在浸矿过程中会伴随稀土一起被浸出,离子相铵盐含量随离子相稀土含量的升高而增加。硫酸铵柱浸过程中残留在尾矿内的氨氮量与浸出液中的氨氮量占比分别为 50.76%和 49.24%,浸矿剂中半数铵根主要起到保持浸矿过程中铵根浓度的作用,在浸矿后会随浸出液流出。离子型稀土尾矿水溶态和可交换态氨氮在矿土含水率的影响下会发生可逆转化,在尾矿矿土自然风干过程中,尾矿内水溶态氨氮含量占比由 63.24%降至 32.01%,离子型稀土尾矿水溶态与可交换态氨氮的赋存含量需要前置时间和矿土含水率等条件才能准确定义。

(来源:中国稀土学报)

风化壳淋积型稀土矿多级逆流浸取实验研究

风化壳淋积型稀土矿的开采主要通过浸矿剂离子与吸附在黏土矿物表面的稀土离子发生离子交换浸出反应实现。以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 为浸矿剂,采用多级逆流浸取的方式研究了风化壳淋积型稀土矿的浸矿过程,通过在逐级浸取过程中浸出液组分的变化分析了矿土中稀土离子(RE^{3+})和主要杂质铝离子(Al^{3+})的浸出行为,并基于浸矿剂的消耗规律探讨了浸矿剂离子与 RE^{3+} 和 Al^{3+} 的离子交换反应机制以及原矿土的净吸附量。结果表明,在浸矿液逐级浸取新鲜矿土的过程中,浸出液中的 RE^{3+} 和 Al^{3+} 浓度逐渐增加,铵根离子(NH_4^+)逐渐消耗,交换进入浸出液中的 RE^{3+} 和 Al^{3+} 逐级减少;同时,浸出液中的硫酸根离子(SO_4^{2-})逐级损耗,说明新鲜矿土除因发生离子交换反应消耗 NH_4^+ 外,还存在对浸矿剂的净吸附,经计算,本实验原矿土中吸附稀土、吸附铝及净吸附的位点之比约为 20:41:39。在两轮逆流浸取实验中, Al^{3+} 在浸出液中的浸出规律始终与 RE^{3+} 类似,未表现出与浸出液 pH 变化(由 4.5 降低至 4.0)的相关性。另外,分析显示,在浸矿反应的 pH 条件下, RE^{3+} 为稀土的主要存在形态,而 Al^{3+} , AlOH^{2+} ,

$\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 为铝的主要存在形态，结合物料关系推知 NH_4^+ 与稀土发生离子交换反应的化学计量比应接近或等于 3 : 1，而 NH_4^+ 与铝发生离子交换反应的化学计量比约为 1.8 : 1。

(来源：中国稀土学报)

铁掺杂铈基复合氧化物 CO 催化还原 NO 的性能研究

采用浸渍法、水热法和微波加热法制备铁掺杂的铈基复合氧化物催化剂，研究温度、铈铁摩尔比、制备方法对铈基复合氧化物的催化还原性能的影响，并且使用 BET, NO-TPD, H_2 -TPR, XRD, Raman 等对催化剂进行表征分析。结果表明：随着温度的升高，NO 转化率是一个先不断增加后趋于稳定的过程；无论是浸渍法、水热法还是微波加热法，最佳铈铁摩尔比均为 10 : 2；3 种制备方法的催化活性顺序：微波加热法 > 水热法 > 浸渍法。微波加热法制备的铈基复合氧化物催化剂在 500℃ 的脱硝率为 76%，脱硝率在 700℃ 达到 99%。通过 XRD 和 Raman 表征说明 Fe^{3+} 取代 Ce^{4+} 进入到 CeO_2 晶格中，改变 CeO_2 的萤石结构，增加氧空位，造成晶格畸变。

(来源：中国稀土学报)

中国稀土学报 (2024 No.1)

综合评述

热压/热变形钕铁硼永磁材料研究进展

钪的资源及提炼技术研究进展

稀土催化

稀土莫来石型复合氧化物 $RE\text{Mn}_2\text{O}_5$ 的结构与甲烷催化氧化性能研究

铁掺杂铈基复合氧化物 CO 催化还原 NO 的性能研究

磁学和磁性材料

MS-G 技术调控 Nd-Fe-B 铸态组织研究

超高性能钕铁硼表面镀渗处理研究

Gd-La-Al 合金的微观结构与磁热效应

稀土化学与湿法冶金

二氧化碳碳化沉淀制备碳酸钪的反应过程研究

风化壳淋积型稀土矿多级逆流浸取实验研究

离子型稀土矿柱浸过程氨氮平衡及尾矿氨氮形态转化研究

稀土金属学与火法冶金

Mg-5Sm-xGd 合金及其抗拉强度反常温度效应

Mg-9Gd-2Nd-0.8Al 合金热压缩行为及热加工图

稀土应用

铈对烤烟香气前体物质及生长的影响

La^{3+} , Ce^{3+} 溶液中樟子松吸收的差异性研究

含二苯甲酮结构的稀土配合物对 PVC 光稳定性能的影响

稀土地矿

稀土废渣中污染物特性及环境风险分析

云南临沧花岗岩带中段离子吸附型稀土矿成矿主控因素与成矿模式

(来源：中国稀土学报)



稀土化合物与应用 (2024 No.1)

进展与述评

纤维素/稀土杂化光致发光材料研究进展

稀土上转换发光材料的合成与应用研究进展

研究与开发

稀土功能材料关键核心技术识别与竞争态势研究

稀土元素在核材料中的应用

(来源：稀土化合物与应用)

一种稀土矿浸出液中稀土的富集与提取方法

发明名称：一种稀土矿浸出液中稀土的富集与提取方法

公开（公告）日期：2024-02-6

公开（公告）号：CN117265299B

发明人：万印华，宋伟杰，于宏东，齐涛

摘要：本发明提供了一种稀土矿浸出液中稀土的富集与提取方法，所述富集与提取方法包括以下步骤：（1）将稀土矿浸出液进行微滤除杂处理，得到除杂浸出液；（2）将步骤（1）所述除杂浸出液进行膜浓缩处理，得到稀土浓缩液和透过液；（3）混合萃取有机相和步骤（2）所述稀土浓缩液进行萃取，得到稀土萃取液和萃余液，然后对稀土萃取液进行反萃，得到稀土反萃液；所述萃取有机相循环使用。本发明通过采用微滤-膜浓缩-萃取相结合的集成工艺，实现稀土矿浸出液中的稀土高效富集，提高了稀土富集速率与稀土回收率，且所述方法简单、过程清洁、处理成本低。

（来源：知呱呱）



一种稀土废料回收用稀土废料干燥方法

发明名称：一种稀土废料回收用稀土废料干燥方法

公开（公告）日期：2024-02-13

公开（公告）号：CN117553556A

发明人：王雄元，刘名清，袁茂泉，康军，罗建国

摘要：本发明涉及稀土废料处理技术领域，且公开了一种稀土废料回收用稀土废料干燥方法，包括干燥主体，所述干燥主体外侧固定设置有加热单元，所述

干燥主体后侧固定设置有联动单元，所述联动单元两侧滑动设置有清理单元，所述干燥主体前侧中部转动设置有干燥单元，所述干燥主体底端固定设置有升降单元，所述干燥主体内部转动设置有粉碎单元，所述干燥主体包括外壳，所述外壳顶端固定设置有入料口，通过联动单元和粉碎单元之间联动配合，可以不需要电力和电机带动，利用废料下落来驱动粉碎单元对废料进行初步的粉碎，使废料内部能进行干燥，解决大块废料出现，避免大块废料内部无法干燥影响后续工序的问题。

（来源：知嘟嘟）

2024年2月新增公开/公告专利（部分）

稀土催干剂的制备方法以及稀土催干剂

一种降低稀土浓缩液除铅稀土损失的方法

一种风化壳淋积型稀土矿漫浸提取稀土的方法

稀土类磁性粉末的制造方法及稀土类磁性粉末

一种从稀土熔盐电解渣中高效提取稀土的方法

一种工业化稀土钢生产中稀土夹杂物 Ce_2O_2S 形成控制方法

稀土 MOFs 材料组合物、稀土 MOFs 材料及其制备方法和应用

一种混合稀土精矿氯化提取稀土元素及综合利用的方法

有机抗氧化组合物及稀土金属或稀土合金表面抗氧化方法

一种稀土配合物、稀土高分子发光材料及其制备方法与应用

一种稀土称重配料方法

稀土磁体及其制造方法

（来源：知嘟嘟）