

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2023年 第01期 总第111期

本期要闻

- ◎ 中国稀土 2022 年度十大科技新闻
- ◎ 张洪杰：持之以恒，做好稀土研究
- ◎ 一批稀土领域国家标准、国家标准样品和行业标准获得批准发布或下达研制计划
- ◎ 江西印发《江西省氢能产业发展中长期规划（2023-2035年）》支持稀土储氢技术路线加快发展

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	1-31
◎ 中国稀土 2022 年度十大科技新闻	
◎ 张洪杰：持之以恒，做好稀土研究	
◎ 一批稀土领域国家标准、国家标准样品和行业标准获得批准发布或下达研制计划	
◎ 江西省科技厅组织召开省稀土产业科技创新联合体联席会第一次会议	
◎ 奋力打造稀土领域重要人才中心和创新高地	
◎ 瑞典发现欧洲最大规模稀土矿床	
◎ 德联邦统计局：德国超六成稀土进口来自中国	
◎ 越南为亚太稀土供应链提供新动能	
◇ 科技前沿	32-35
◎ 科学家首次在金属表面形成带电的稀土分子并使其旋转	
◎ 中科院新疆理化所在光-电多功能耦合陶瓷方面取得进展	
◇ 政策法规	36-36
◎ 江西印发《江西省氢能产业发展中长期规划（2023-2035 年）》支持稀土储氢技术路线加快发展	
◇ 市场行情	37-41
◎ 2023 年 1 月稀土价格走势	
◇ 稀土知识	42-55
◎ 稀土采选冶绿色标准现状	

中国稀土 2022 年度十大科技新闻

2022 年是党的二十大胜利召开之年，也是踏上全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军的开局之年。这一年，广大稀土科技工作者面向稀土科技前沿、面向国家重大需求，为加快建设科技强国、实现中华民族伟大复兴作出了突出贡献。

由中国稀土学会信息专委会、中国稀土学会技术经济专委会、“中国稀土”网站通过“征集文稿—网络投票—综合评议”评选出“2022 年度中国稀土十大科技新闻”，向默默耕耘、守正创新、笃行致远为我国稀土事业做出突出贡献的科学家、企业家及广大“稀土人”致敬！

一、中国科学院地质与地球物理研究所和包头钢铁（集团）公司完成白云鄂博矿床巨量稀土资源预测

稀土元素是关键金属的重要成员，我国稀土资源禀赋优越，并主要来自白云鄂博这一世界罕见的超大型铁-稀土多金属共生矿。但受矿山勘查目标以及稀土成矿理论与探查技术束缚，对其巨量金属富集机理、矿体空间形态以及蕴藏的潜在资源等一直存在不同认识，制约了稀土资源评价以及有效利用。

为厘清白云鄂博矿床形成机理，评估稀土潜在资源，中科院地质与地球物理研究所部署重点项目，与包头钢铁（集团）公司及所属单位通力合作，在白云鄂博实施了详细的区域地质调查、1:5000 大比例尺地质图修编、多方法和多尺度综合地球物理测量以及成矿学研究等工作。经过地质、地球化学和地球物理等多学科的联合攻关，揭示了白云鄂博碳酸岩浆演化过程与稀土富集机理，明确了碳酸岩就位机制与构造控矿因素，构建了含矿地质体三维形态，重新评估了稀土潜在资源。

(1) 白云鄂博地区经历了多期次的构造运动，在碳酸岩体侵位之前，矿区的早-中元古代沉积岩（白云鄂博群石英砂岩、砾岩和板岩等）经历了区域性的挤压构造作用，水平地层被构造置换，形成砾石的饼状构造、糜棱岩和褶皱等。新形成的近 E-W 走向、陡立的构造片理为~13 亿年的碳酸岩浆上涌提供了有利通道（图 1）。矿区内中元古界白云鄂博群沉积岩石的展布、归属及早晚关系等需要重新审视。

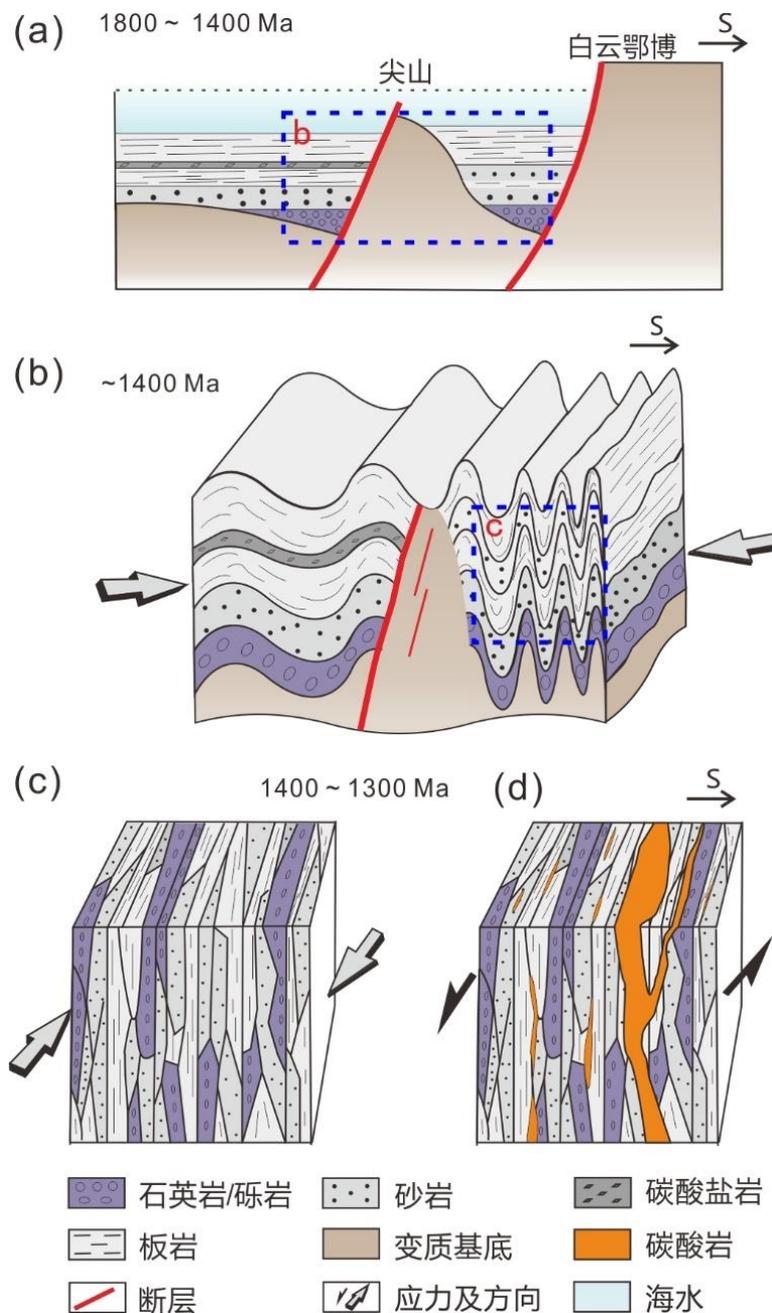


图 1 中元古代白云鄂博盆地发育史及碳酸岩侵位

(2) 白云鄂博 H8 白云岩为火成成因的碳酸岩，它们与围岩具有明显的侵入接触关系，碳酸岩即是稀土成矿母岩，也是稀土矿体。白云鄂博巨量金属的堆积发生在~13 亿年，碳酸岩浆具有从铁质-镁质-钙质演化的趋势，且不同阶段碳酸岩中的稀土元素，尤其是轻稀土元素，呈现出逐渐富集的趋势。矿床形成后分别在早古生代（4.5~4.0 亿年）和晚古生代（2.8~2.6 亿年）遭受了两次改造作用，改造过程导致了稀土活化及新生矿物生成，但没有外来稀土的明显加入。

(3) 从磁异常反演结果揭示出的碳酸岩体分布具有沿东西向展布的基本特征，主矿和东矿是磁性体分布的主要地区，主矿和东矿之间为连通的碳酸岩分布区，且碳酸岩体发育深度较大。高磁异常体与低阻异常体揭示出了碳酸岩体（矿体）的三维分布形态（图 2）。白云鄂博的碳酸岩具有侵位中心，并在深部享有同一岩浆通道，中心位于主、东矿之间。碳酸岩浆侵位后，沿早期构造置换而成的陡立面理，往西（西矿）、往东（打花）分别推进，可出现分叉、合并等现象（图 3）。

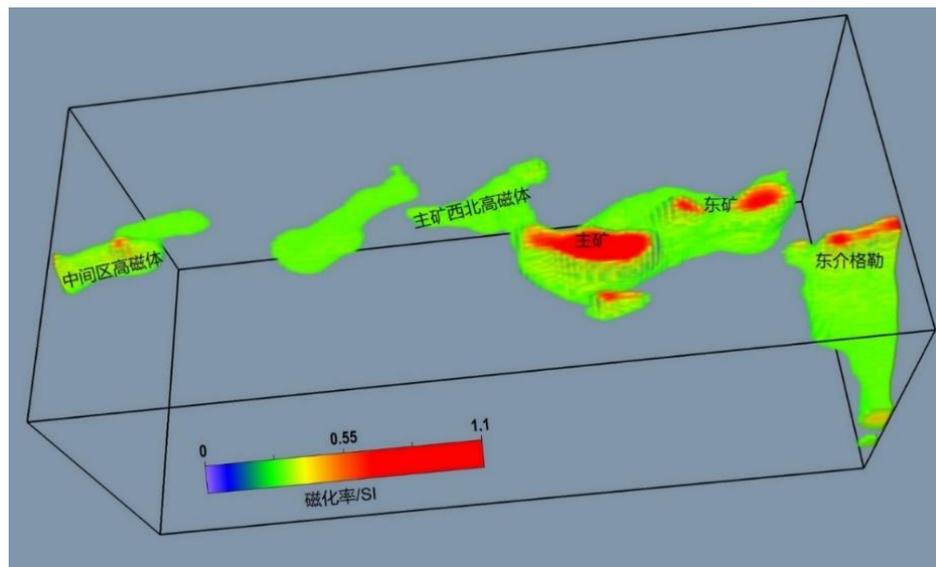


图 2 白云鄂博矿区磁性体反演分布

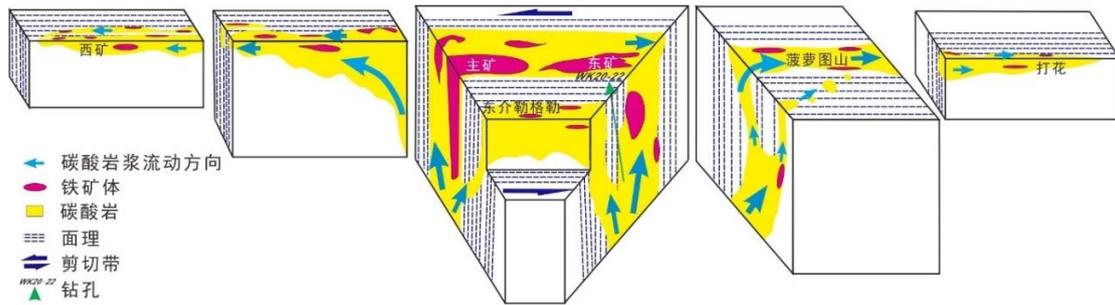


图3 白云鄂博矿床碳酸岩空间展布模型

(4) 白云鄂博碳酸岩体量大、演化程度高，是其巨量稀土堆积的关键因素。利用获得的碳酸岩体（稀土矿体）分布范围、体积、（最小）密度等，采用碳酸岩全岩稀土含量 2%（根据历年数据获得的保守平均值），推算出白云鄂博矿区 500~1000 米以浅稀土氧化物潜在资源为 3.33 亿吨，这是白云鄂博目前公认值 3600 万吨的近 10 倍，美国地质调查所最新公布的全球已探明稀土总资源量（包括白云鄂博）1.2 亿吨的 2.78 倍。

本研究结果颠覆了对稀土（特别是轻稀土）保有供给和全球配置格局的认知，可支撑国家稀土政策调控及中下游产业健康发展。

二、华南理工大学稀土钨(II)激活近红外荧光粉取得创新性研究成果

荧光粉转换型近红外 LED (NIR-pc-LED) 因其高的发光效率、可调的宽带发光等优势，在安防监控、植物照明、虹膜识别和食品成分分析等新兴领域凸显出应用潜力。

华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室团队以无机固体材料的结构设计及稀土钨(II)激活离子的选择性占位作为研究切入点，在 $(\text{Sr}, \text{Ba})\text{Y}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ 中实现了钨(II)发射波长从 620nm 到 773nm 的宽谱带红移。研究发现：钨(II)的近红外发射归因于 $[\text{Y1}/\text{Eu}1\text{O}_6]$ 和 $[\text{Y2}/\text{Eu}2\text{O}_6]$ 的多面体畸变而增大斯托克斯位移和

晶体场强度，与此同时，对 Y/Eu 周围电荷分布的研究证实了 Eu-O 键的共价性提高使得质心位移降低，有助于发射移向近红外区域。研究团队还通过碳纸包裹技术和氧缺陷修复的合成策略，成功研发出外量子效率高达 54.7% 的近红外荧光粉 CaO:Eu^{2+} 。该研究创新性地使用碳纸包裹烧结技术促使更多 Eu^{3+} 还原为 Eu^{2+} ，并巧妙利用 GeO_2 在高温还原气氛下的分解特性修复 CaO 晶格中的氧缺陷，最终使得所制备的近红外荧光粉发光外量子效率由 17.9% 提升至 54.7%；热稳定性由 57% 提高至 90%；所制作的 NIR LED 器件光电效率可达 23.4%。研究团队报道的近红外荧光粉为宽带高效率 NIR-pc-LED 光源提供了新方案，材料设计新策略也将助力于新型高效率、多波段发射铈(II)激活荧光粉的研发与光源器件应用，进而深化稀土铈资源的高值高效利用。

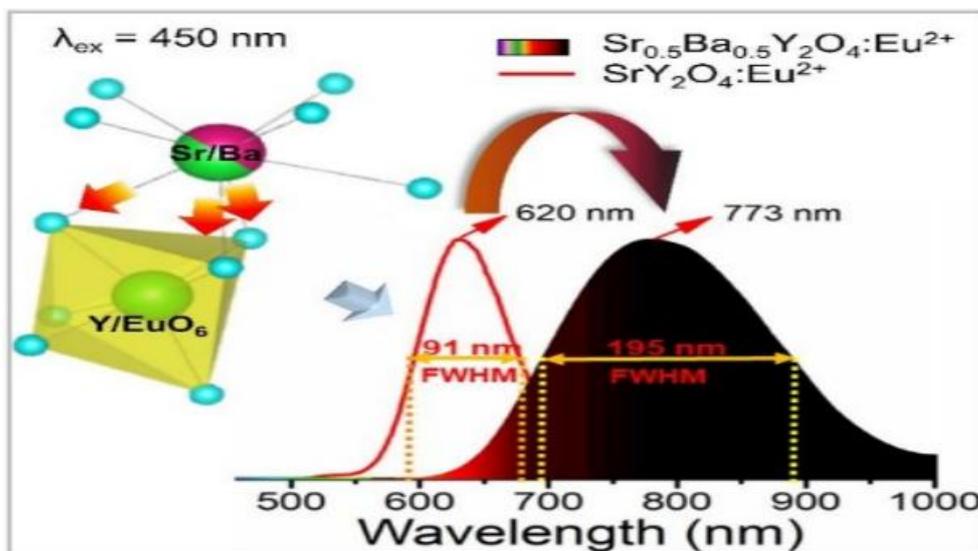


图 4

三、南开大学研究团队构筑稀土氧化物复合材料界面诱导电催化二氧化碳还原高选择性生成甲酸

随着大气中二氧化碳 (CO_2) 浓度不断增长，人们对 CO_2 的储存和转化进行了广泛的研究。电化学还原二氧化碳 (eCO_2RR) 是将 CO_2 转化为有价值的化学

燃料的一种经济、环保的方法，但依然面临单一产物选择性低等问题。而将具有独特 4f 电子结构和三四价转换的氧化铈 (CeO_2) 作为助催化剂，则可以有效改善催化剂产物选择性单一的问题。

南开大学和香港理工大学研究团队通过一种简单的静电纺丝的方法合成了 CeO_2 与铋酸铌 (Bi_3NbO_7) 的复合材料，如图 5 所示。并且在复合材料中观察到 CeO_2 与 Bi_3NbO_7 间构筑的明显界面，这就有可能为 Ce 与 Bi 之间电子结构的相互影响提供先决条件。后续一系列表征证明， CeO_2 的存在确实使得 Bi 的电子结构发生变化，同时复合材料中的氧空位也显著增加，利于催化反应的进行。后续的电化学测试表明相较于纯 Bi_3NbO_7 ，复合材料对甲酸的单一选择性明显提升，可达 84.37%，并且具有 12 小时的长期稳定特性。经过理论计算同样证明 Ce 独特的 4f 轨道在该反应中起到至关重要的作用，不仅降低了电子转移的能垒，同时也使反应路径更倾向于生成甲酸。

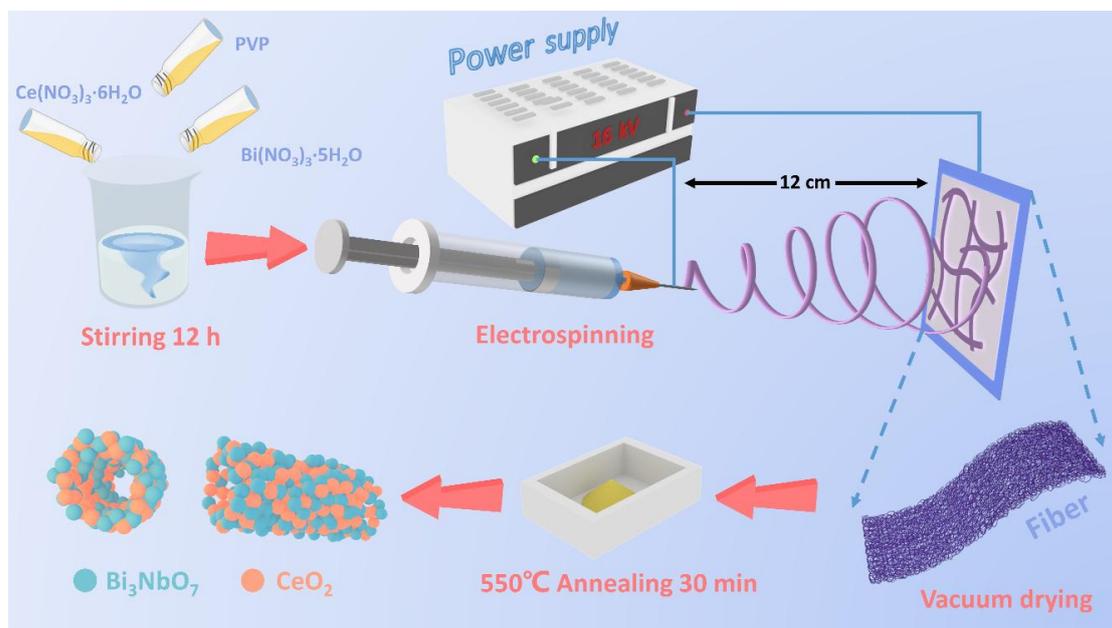


图 5 复合型电催化剂 $\text{CeO}_2/\text{Bi}_3\text{NbO}_7$ 的合成

该研究通过一种简单的合成方法，构筑了一种具有高活性和选择性的复合型

电催化剂，为 CO₂ 的有效利用和稀土材料的广泛应用提供了一种新的想法与方向。

四、中国科学院福建物质结构研究所在稀土纳米材料用于类风湿性关节炎精准诊疗中取得新进展

类风湿性关节炎 (RA)，号称“不死的癌症”，是一种慢性、持续进展性自身免疫炎症疾病。如果症状得不到及时发现和有效控制，2 年的致残率可高达 50%，严重影响患者的生存质量。RA 高灵敏度诊疗探针的开发和应用，有助于精准监测 RA 的病情发展，并实现 RA 的高效治疗，是目前 RA 诊疗领域的研究热点。

近年来，近红外纳米荧光成像探针在 RA 诊疗领域显示出巨大应用潜力。相比于传统的荧光纳米诊疗探针，稀土近红外长余辉纳米材料是一种在外部光源停止激发后，仍具备持久发射近红外光能力的一类材料。这类材料在成像过程中不需要外部光源，能够实现激发和成像相分离，具有极高的灵敏度。稀土长余辉纳米材料所具有的这种高灵敏成像特性使其在成像引导的 RA 精准治疗领域具有独特优势。鉴于此，中国科学院福建物构所研究团队利用长余辉成像无背景荧光干扰的特性，实现了高灵敏成像引导的 RA 精准治疗和对愈后疗效的评估(图 6)。

研究团队通过模板法合成了 Cr³⁺和 Y³⁺共掺杂的稀土长余辉纳米材料 Zn_{1.3}Ga_{1.4}Sn_{0.3}O₄:Cr³⁺Y³⁺，将临床药物甲氨蝶呤 (MTX) 和近红外光响应分子吡啶菁绿 (ICG) 包载于纳米材料中，同时赋予该材料靶向释药能力，将其成功构建为一种具有 NIR/pH 双响应响应释药机制的靶向纳米诊疗探针。在佐剂诱导的 RA 小鼠模型中，该诊疗探针能够有效靶向到 RA 病变部位，并对其进行高灵敏度成像，同时基于这种高特异性、高灵敏度余辉成像模式指导的精准治疗，实现

了对类风湿性关节炎的高效治疗（图7）。

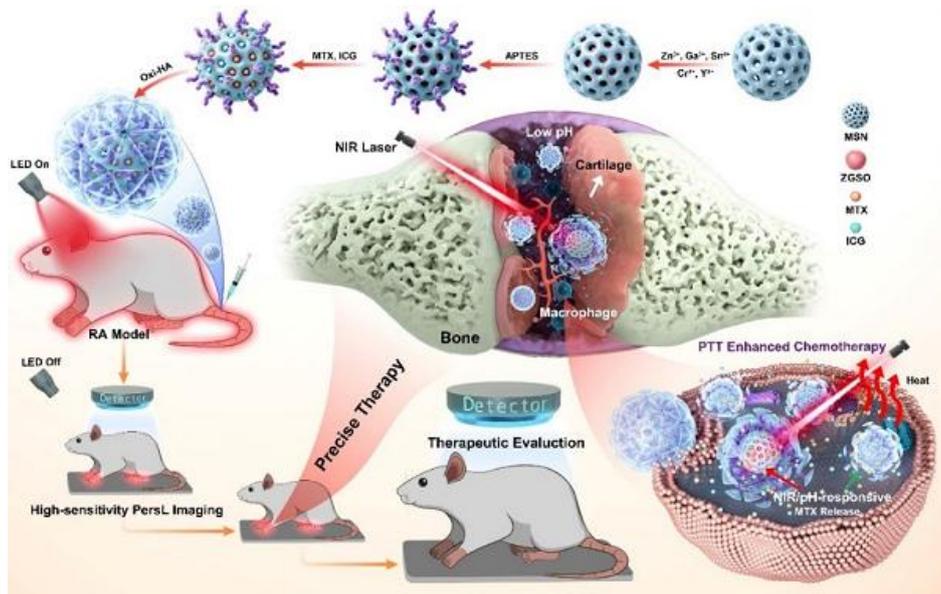


图6 首例稀土长余辉纳米平台实现 RA 的精准诊疗示意图

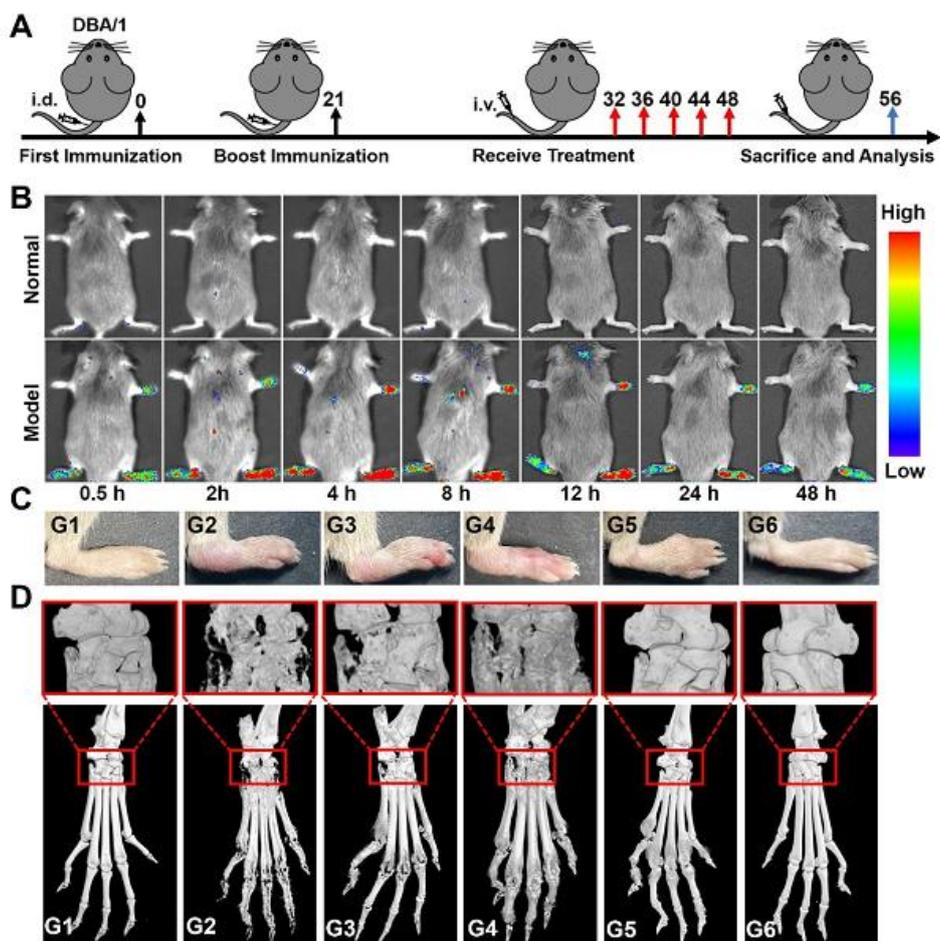


图7 (A) RA 小鼠模型治疗示意图； (B) 静脉注射稀土纳米探针之后，小鼠的代表性余

辉成像图片；(C) 治疗结束后，不同分组中小鼠的代表性右后爪照片；(D) 治疗结束后，不同分组中小鼠的右后爪代表性微CT图像。其中 G1:正常小鼠,G2:RA 小鼠接受 PBS 治疗,G3:RA 小鼠接受 PBS 加光照治疗,G4:RA 小鼠接受 ICG 加光照治疗,G5:RA 小鼠接受 MTX 药物治疗,G6:RA 小鼠接受 mZMI@HA 加光照治疗

五、北京大学研究团队利用晶界工程设计原子尺度挠曲电的普适性策略

北京大学物理学院量子材料科学中心、电子显微镜实验室研究团队与合作者利用晶界工程在原子尺度实现了一系列新物相的设计与调控：发现了钛酸锶 (SrTiO_3) 有的晶界在室温下具有二维反铁畸变相；利用铁酸铋 (BiFeO_3) 晶界构建了稳定的二维负电荷气；发现了钆酸锶 (SrRuO_3) 晶界具有自旋阀磁电阻并揭示了其微观起源；基于 SrTiO_3 位错，为挠曲电效应的存在首次提供了原子尺度证据。

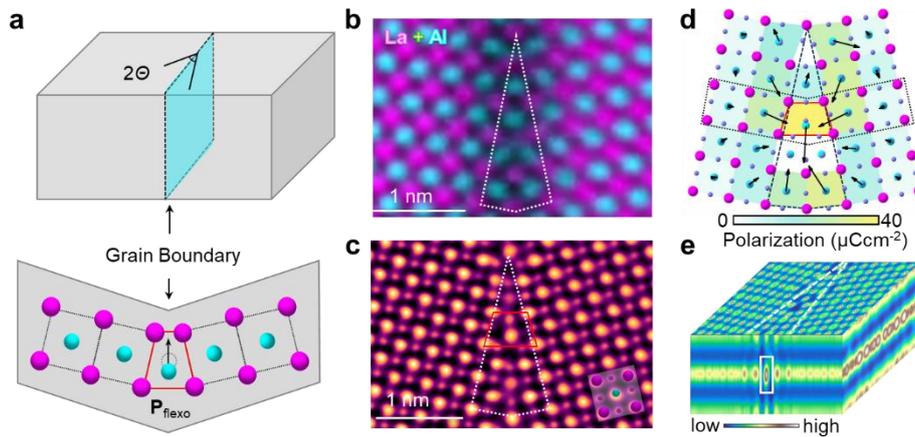


图 8 图 a 晶界处由于对称性破缺导致的单胞不均匀变形示意图，晶界挠曲电 (P_{flexo}) 诱导产生净电偶极矩；图 b 原子分辨的 LaAlO_3 晶界元素分布图；图 c 利用对氧元素敏感的成像手段得到的 LaAlO_3 晶界全原子构型；图 d 理论计算得到的晶界附近的挠曲电极化分布（极化方向指向晶界核）；图 e 理论预期的晶界附近电荷密度分布，其中白色矩形框表示负电荷在晶界处有极大值

该研究团队与北京大学物理学院凝聚态物理与材料物理研究所合作，发现了氧化物晶界存在普适的挠曲电效应。联合研究团队在实验上证实了晶界处普遍存在的梯形单胞具有强挠曲电极化，这对晶界的电子结构有着非常重要的影响，并且挠曲电效应可以简单地由晶界几何结构来调控。他们在非铁电材料铝酸镧

(LaAlO₃) 24 °晶界中发现存在高达 1.2nm⁻¹ 的应变梯度，导致接近 38μC/cm² 的挠曲电极化，与常规铁电材料钛酸钡 (BaTiO₃) 的极化值相当；依据电子能量损失谱学特征，发现这种挠曲电极化是由于晶界核内更强的 La-O 相互作用产生的；纳米级挠曲电极化引起了电荷在晶界处聚集，改变了局域电荷密度分布；结合第一性原理计算结果，证明了晶界挠曲电有效地调控了 LaAlO₃ 电子结构，与实验观测一致。进一步，联合研究团队通过对比不同材料、不同取向角的晶界极化特征，证实了通过晶界工程设计原子级挠曲电性的通用性和可调性。这种挠曲电性的存在也为理解陶瓷材料中晶界的电输运等行为提供了新的思路。

六、西安交通大学科研人员在铽基单分子磁体领域取得新进展

具有芳香性碳环类配体及其衍生物在构筑高性能镧(III)基单分子磁体方面有优异的表现，尤其是环戊二烯类的配体，但是其并不适合于构筑高性能铽(III)基单分子磁体。这是因为对于非克莱默离子铽(III)来说，其具有相较于镧(III)更大的基态能级差与更强的磁量子隧穿。因此高性能铽(III)单分子磁体对配体场及配体场轴向性要求更高，目前为止只有酞菁铽及铽基二茂铁阴离子两种体系。

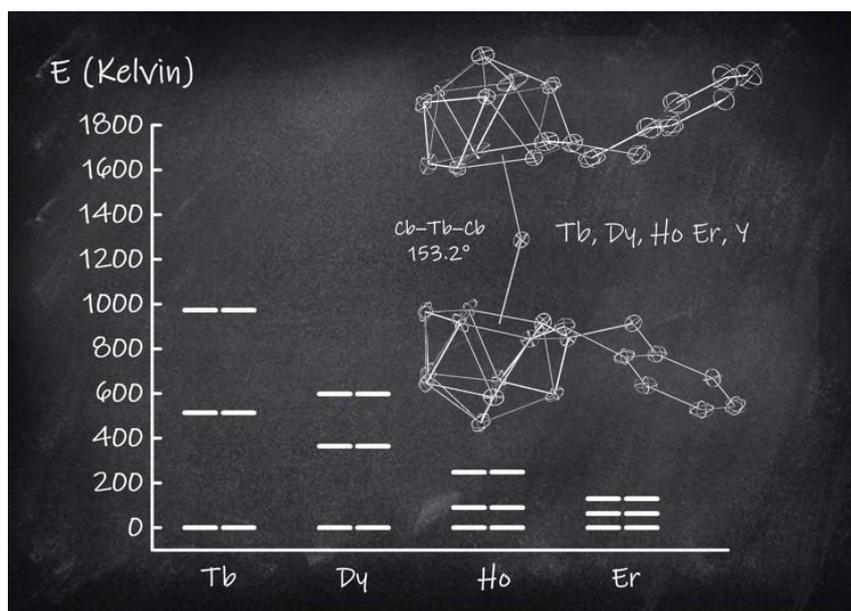


图 9

西安交通大学前沿科学技术研究院研究团队另辟蹊径，采用具有蛛网式六元环配位面的碳硼烷配体与稀土离子（铽(III)，镝(III)，钆(III)，铟(III)）配位，构筑了一系列夹心状的稀土金属有机配合物。该系列化合物的中心金属离子处于罕见的六棱柱配位构型中，稀土离子的局部配位构型接近 D_{6h} 对称性。在该配体场下，铽及镝都能产生强的轴向磁各向异性，而相比之下，铽的配合物的表现更为优异，在零直流场下，有效磁翻转能垒为 445 K，同时铽稀释样品在 2K 下的弛豫时间达到 193 秒，成为铽(III)基单分子磁体的新标杆。

七、中国科学院地理资源所在深海稀土研究领域取得进展

全球最大的稀土宝藏蕴藏于深海，为陆地的上百倍，是重要的深海战略资源。然而，深海稀土的富集机制问题却仍不清楚。虽了解到稀土主要源于海水，最终富集于磷灰石中，但是深海水与磷灰石稀土含量差距超十亿倍，如何在磷灰石中实现如此高程度的富集尚未可知，一定程度上限制了深海稀土产业化的进程。

针对以上关键科学问题，中科院地理资源所研究团队创新性的系统分析了稀土赋存的三大载体：海水、孔隙水和磷灰石的稀土元素特征，率先发现两大孔隙水稀土元素富集事件，发现深海盆地沉积物中通过孔隙水向海水输入的稀土的量比浅海明显偏少，大量的稀土元素留存于沉积物中，最终被磷灰石所吸附。本研究从机理上揭示了稀土元素迁移和富集的全过程，创新性的从稀土循环的角度解决了深海稀土富集机制问题，为后续的勘探和开发提供了重要理论依据。

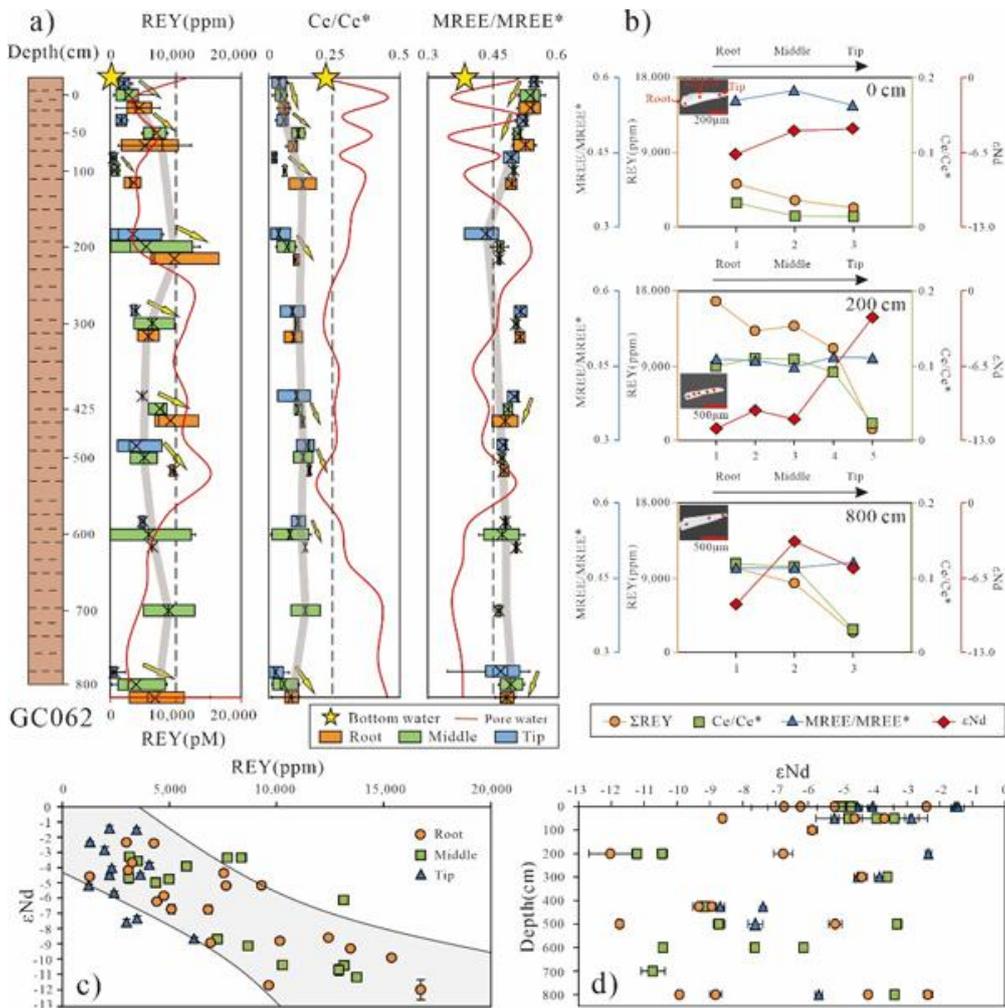


图 10 稀土元素在海水、孔隙水、磷灰石的迁移特征

八、白云鄂博矿床中发现自然界新矿物-白鸽矿

2022 年，由包头钢铁（集团）公司与中国地质科学院矿产资源研究所联合成立的白云鄂博科学研究基地研究人员发现并申报的自然界新矿物“白鸽矿”，获得国际矿物学协会新矿物命名及分类委员会高票批准通过。该矿物是在白云鄂博矿床中发现的第 16 个新矿物。

白鸽矿发现于白云鄂博稀土—铌—铁床隐伏碳酸岩体中，它的发现不仅丰富了白云鄂博富铌矿物的种类，为铌矿的开发提供了重要启示，同时为找寻更加珍贵的钽资源提供了新方向。

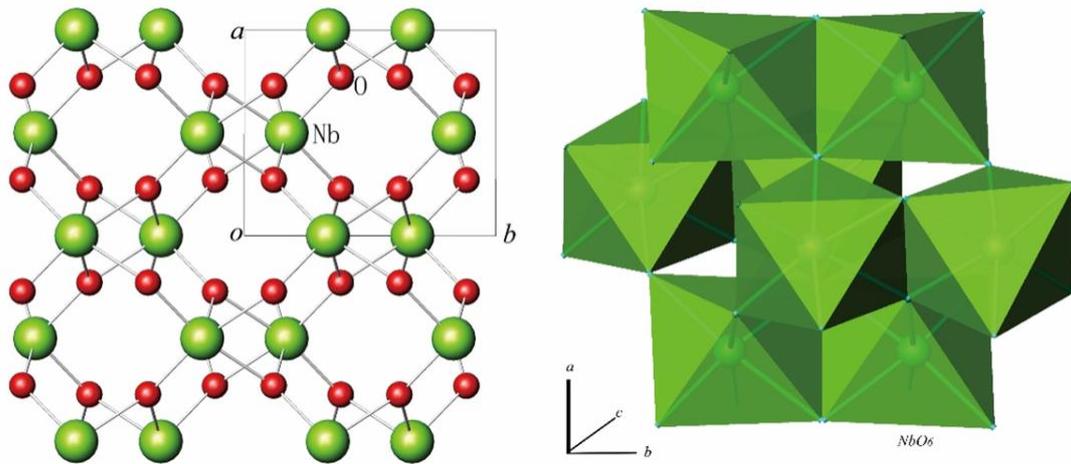


图 11 白鸽矿晶体结构示意图

九、包头稀土研究院天津分院热返黑科技助力安踏炽热系列羽绒服全面上市

2022年，包头稀土研究院天津分院与安踏（中国）有限公司共同组建的“新型稀土功能面料研发基地”正式挂牌成立，双方就印花用稀土红外温升蓄热剂达成推广应用合作，开发的织物印花用稀土红外温升蓄热剂在安踏炽热科技系列羽绒服中应用上市。

炽热科技羽绒服的秘密法宝之一是稀土保温内里的热返技术，该技术由稀土研究院天津分院自主研发。人体热传递的途径包括蒸发、热传导、热对流和热辐射，其中，热辐射占人体热能传递的40%~60%，是人体热量最主要的流失途径。通过功能化织物控制人体与环境之间的热辐射交换，可以高效率地促进人体的热舒适性。安踏炽热科技羽绒服以稀土红外蓄热剂为原料制备印花里布，稀土粒子可以吸收人体辐射出的远红外线，其辐照温升达国家标准2.5倍，面料与人体形成热循环效应，防止了人体的热流失，利用热返科技提高保暖性能，锁住热量，抵御寒冷。

十、中国科学院广州地球化学研究所成功研发离子吸附型稀土的绿色、高效电动开采新技术

离子吸附型稀土是我国的特色资源，为全世界提供了90%以上的中重稀土。然而，现有的离子吸附型稀土开采工艺（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，严重制约了我国离子吸附型稀土资源的开采利用。面向国家稀土战略，研发新一代高效、绿色的开采技术迫在眉睫。

为此，中科院广州地化所研究团队研发了一种离子吸附型稀土电动开采新技术。该技术的核心思想是通过外加电场驱动风化壳中稀土离子的活化、定向迁移和快速收集（图12）。该技术的稀土回收率大于90%，浸取剂用量减少80%，浸出液中有害杂质含量降低70%，不仅解决了稀土开采带来的环境污染问题，还显著提高了离子吸附型稀土的开采效率，具有绿色、高效的特点。

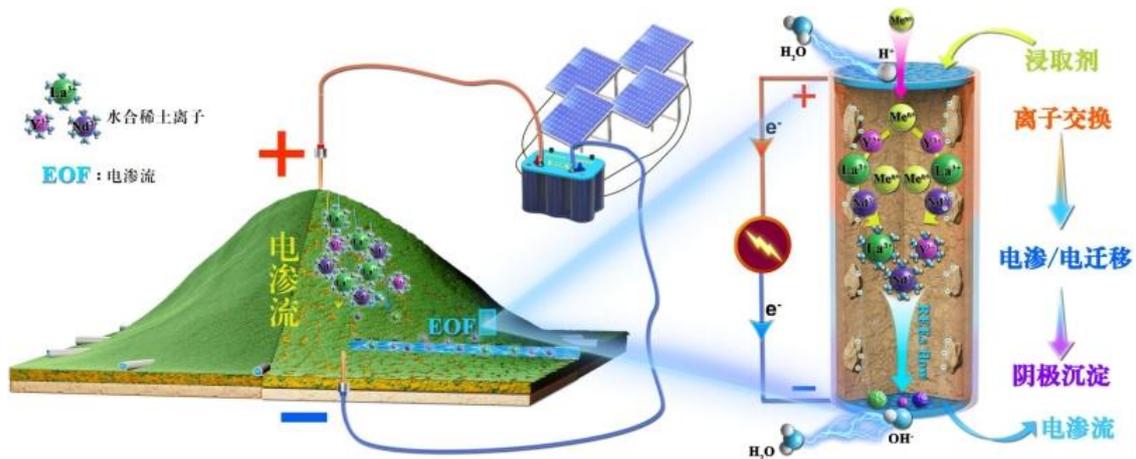


图12 离子吸附型稀土矿电动开采示意图

研究团队先后完成了土柱模拟实验、放大试验和场地示范。与传统铵法开采技术相比，电动法稀土开采的效率显著提高（图13A）。实验表明：电动法在67h稀土回收率可达到96%，而传统铵法在130h稀土回收率仅为60%左右（图13B）。基于模拟实验和放大试验的结果，研究团队在广州周边某稀土富集区进行了原位

场地试验。结果表明，仅 11 天，电动法稀土开采效率即可达到 90% 以上，且浸取剂用量较传统铵法降低了约 80%，取得了良好的效果（图 13C 和 13D）。

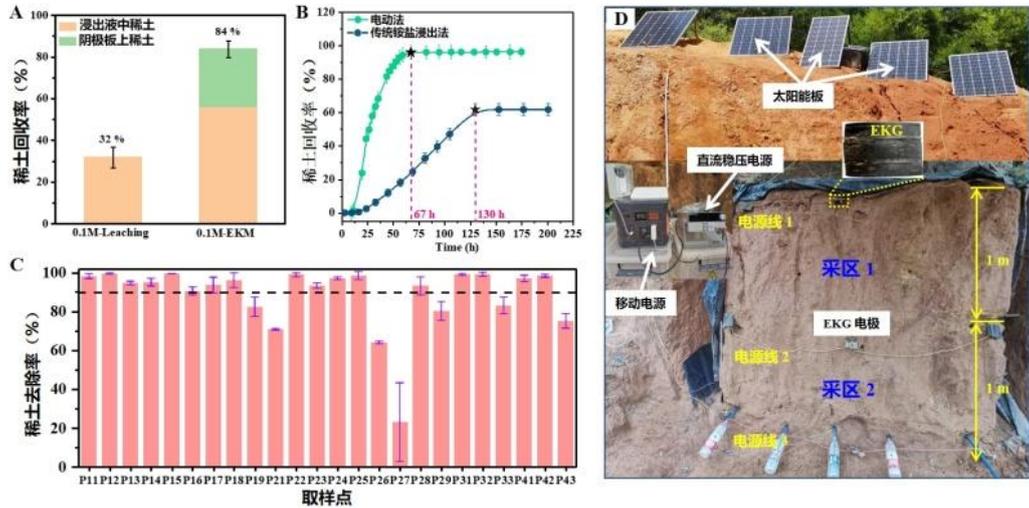


图 13 (A) 土柱模拟实验结果，(B) 放大试验结果，(C) 原位场地试验结果和 (D) 原位场地试验现场图

此外，研究团队还发现了电动开采过程中的“自除杂”现象。与传统铵法相比，在电动法收集的浸出液中，杂质金属含量降低约 70%。研究表明，在电动开采过程中，高价态的 RE^{3+} 、 Al^{3+} 等优先迁移至阴极并形成高势垒，阻碍低价的杂质金属离子向阴极迁移，从而抑制杂质浸出。同时， Al^{3+} 、 Ca^{2+} 等杂质离子容易与阴极电解产生的 OH^- 生成次生矿物，并沉淀在阴极附近（图 14）。因此，电动法开采技术可依靠稀土与杂质金属的迁移性和反应性差异实现“自除杂”，可望显著降低稀土纯化的成本。

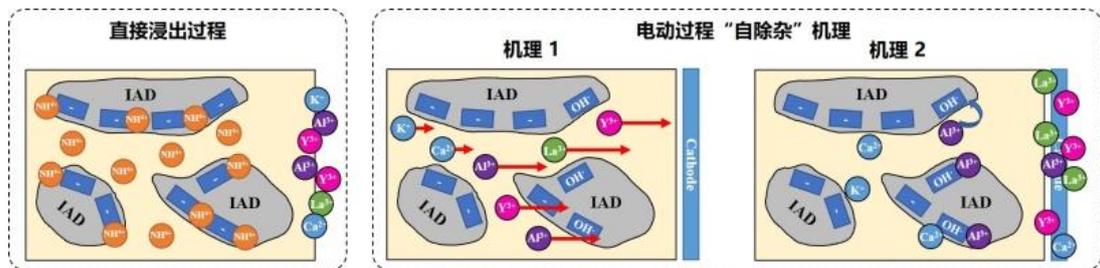


图 14 电动发稀土开采过程的自除杂机制示意图

该技术具有稀土提取率高、浸取剂用量少和杂质含量低等特点，有望成为新一代的离子吸附型稀土开采技术。同时，该技术也为其它以离子态等形式赋存的金属矿产资源（如红土型镍矿、风化型钽矿床等）的开采提供了技术支撑。

（来源：中国稀土）



张洪杰：持之以恒，做好稀土研究

张洪杰，无机化学家，中国科学院院士，清华大学化学系教授，中科院长春应化所研究员，中国稀土行业协会会长，博士生导师。1953年9月生，吉林榆树人。1978年毕业于北京大学化学系，同年分配到中科院长春应化所工作，1985年在研究所获理学硕士学位。1993年在法国波尔多第一大学获固体化学、材料科学博士学位后回长春应化所工作，1994年被聘为研究员。

张院士长期致力于稀土功能材料的研究，以材料的结构与功能关系为研究重点，着重解决影响学科发展的关键科学和技术问题，发展了系列材料制备的新方法和技术。他将基础、高技术及应用研究有机结合，研制出的稀土新材料已成功应用于稀土交流LED照明、智慧农业稀土补光灯、稀土护眼灯、稀土环保着色剂、航天航空高超风洞测温稀土荧光粉、稀土镁合金汽车零部件、国防军工兵器等领域，满足了国家的战略需求。

1.您长期致力于稀土功能材料的研究，为什么会选择稀土作为您的研究方向呢？

张洪杰：稀土是我国重要的战略资源，我国稀土资源丰富、稀土元素品类齐全，从事稀土研究有着得天独厚的优势。以包头为例，包头的稀土储量约占

全国的 80%，而且以轻稀土为主，目前经过勘探发现重稀土含量也不低，这对稀土研究是非常有利的。稀土具有非常广阔的应用前景，选择研究稀土，还能够发表一些国际前沿热点的论文。

我的老师苏锵先生，1952 年大学毕业以后就来到中科院长春应化所从事稀土分离研究，1972 年，苏先生开始从事稀土发光材料研究。1982 年我考取了苏锵先生的研究生，在苏先生言传身教和精心地培育下，我决定选择从事稀土研究。

2.您认为我国稀土材料的研发当前在国际上处于什么水平？

张洪杰：一开始大家称稀土为“工业维生素”，但我认为不合适，将其称为“工业黄金”或“材料之母”更为合适。因为维生素是可有可无的，但稀土并非“可有可无”，所以我把它重新定义了一下，叫成“工业黄金”或“材料之母”。当然不一定所有人都赞成我这个讲法，但至少我认为“工业维生素”不是那么全面。

全球对稀土都十分关注。国际上，美国、日本、德国、法国、荷兰、意大利等一些国家对稀土非常重视，他们每年都有相应的专项。因为他们研究的时间比较早、比较长、投入力度大，在一些高新技术材料领域拥有世界一流的应用技术。

经过几十年的努力，我们在稀土的采、选、冶方面做得非常好，稀土分离、稀土产品出口等几个方面都处于全球第一。但是我国拥有的自主知识产权不多，在稀土功能材料、结构材料领域，中国跟国外确实还有一定差距。因此我们必须持续努力，要高起点地从事稀土材料，特别是可以用于国家国防安全、国民经济发展方面，有自主知识产权的新材料等研究。

3.在当前复杂多变的国际形势下，稀土研发是否更为迫切？稀土的战略价值是否更为突显？

张洪杰：从目前整个国际形势来看，在百年未有之大变局下，稀土自然显得尤为重要。美国、日本、法国、德国等国家已经把稀土材料用在了国防军工上。例如用在激光、探潜、导弹、测距、导航等非常重要的领域。据悉一艘核潜艇大概用 4.78 吨稀土材料、一架 F35 战斗机会用到 0.22 吨稀土材料，所以说稀土在国防军工、国防安全方面占据重要的战略位置。

稀土材料在国民经济方面也有非常广泛的应用。据统计，大概有四十几个领域都会用到稀土材料，稀土新材料在国民经济上发挥的作用非常大：稀土催化材料主要用于汽车尾气净化和大工业的化工催化；稀土永磁材料广泛用于伺服电机、风力发电等领域。还有稀土储氢材料、稀土抛光材料、稀土合金材料，包括稀土钢、稀土铝合金、稀土镁合金等等，这些功能材料、结构材料用量非常大。对国民经济来说，稀土不仅可以改造传统工业，而且在新兴的高技术领域作用显著，所以一定要把我国稀土材料做好。

4.中科院长春应化所与包头有着密切地合作关系，在稀土功能材料的研究和应用方面成果丰硕，请您为我们介绍一下。

张洪杰：中科院长春应化所与包头的关系非常紧密。在开始包头稀土分离的初期，长春应化所就积极参与了。当时包头稀土研究院的前身为包头冶金研究所，成立初期有一部分科研工作者来到长春应化所学习稀土方面的基础研究、分离、应用等内容。两个单位合作特别好，有了深厚的友谊。中科院长春应化所在包头共有 4 项标志性转化成果。

当时有个国家项目，中国科学院和冶金部组织了 11 个单位参加，长春应化

所是牵头单位，包括包头稀土研究院、上海有机所等。我们主要做的项目是从包头矿萃取钍，就是把钍和稀土分离。

20世纪60年代中期，开始用P204分离包头矿中的铈（Ce）、钍（Th）。在包头完成了从包头矿中萃取分离Ce、Th的串级模拟试验，这是我国首次在包头白云鄂博稀土矿推广P204分离稀土的研究。研究发现，从负载钍的P204中用矿物酸难反萃钍，限制了其在工业上的应用。20世纪60年代末，上海有机所合成了仲碳伯胺N1923，为分离钍奠定了物质基础。70代伊始，我们开展了用N1923从包头矿硫酸培烧水浸液中分离钍和提取稀土的研究。结果表明，N1923是从硫酸溶液中萃取分离钍的特效萃取剂，成为冶金部和中科院的重大攻关项目。1979年，由长春应化所负责，11个单位参加的伯胺萃取钍会战组，在北京通县进行了千吨级N1923分离钍工业试验，取得了预期结果，为N1923的工业应用提供了工程参数。这一成果用于从独居石中分离钍的冶金工业。伯胺萃取分离钍和提取稀土获2项中科院科技成果一等奖。

为了实现包头稀土资源的清洁冶金生产，于21世纪初发明了“一种从硫磷混酸体系中萃取分离钍和提取氯化稀土的工艺”（ZL02123913.4），2003年联合兄弟单位的发明专利“酸法分解包头稀土矿新工艺”，在包头完成了年处理2400吨包头稀土矿清洁流程的国家产业化示范工程，解决了放射性钍及氟的回收利用和环境污染问题。

当时，国家发展计划委员会文件《计产业〔2002〕235号》批复如下：为调整包头地区的稀土工业结构，改善环境，提高钍的回收率和综合利用，原则同意包头稀土高科技股份有限公司建设该项目。伯胺分离钍流程还可用于各类稀土矿冶炼过程中的含钍放射废渣的处理。通过了由中科院主持的专家鉴定，萃

取分离钪专利获国家专利优秀奖。

第二个标志性项目是洪广言研究员于 2006~2007 年在包头转让了稀土长余辉材料。转让以后，也取得了一定的经济效益和社会效益。

第三个项目是我们团队的智慧农业用的植物补光灯。包括蔬菜、水果、瓜果类的补光灯，这些补光灯的效果非常好。用在黄瓜上，补光后增产 25%到 30%，用在西红柿上效果更明显，产量增产在 30%以上。智慧农业用稀土补光灯将来的应用范围是比较广的。在稀土硫化物及稀土光源院士工作站的支持下，研究稀土补光灯的“中国科学院包头稀土研发中心稀土农用光源女职工创新工作室”荣获 2021 年全国“五一巾帼标兵岗”荣誉称号。

另外一个非常成功的项目是稀土着色剂。经过十多年的潜心研究，团队开发了温和条件下制备稀土硫化物着色剂新方法，不使用硫化氢等有毒原料，连续化生产，操作简单，产量高，安全可靠，获得发明专利 3 项。以此为依托，在包头稀土研发中心的组织下开展了 10 吨级中试放大实验，并于 2016 年 11 月 3 日下线第一批产品。研发出铈红、镨绿、钕绿、镧黄、钇黄 5 个系列产品，开发出稀土印泥、色母粒、口红、塑胶跑道等应用产品。后来团队利用稀土着色剂在长春做了 6 所中学的塑胶跑道。

以上是简单地介绍了我们在包头做的几个项目。

搞科研得需要有个“劲儿”，我经常拿稀土着色剂项目跟青年科研人员讲，搞科研就得有种持之以恒的精神。一个项目做 16 年，一般人可能早就扔掉了。但是我们并没有扔掉，遇到问题就解决问题，最后才得以成功。也就是说基础研究和应用研究相辅相成，在把基础研究做得很踏实的情况下，应用一定会做好。

5.您对“稀土从科研成功走向产业化”的工作有哪些体会？

张洪杰：对此有几点体会，一是原始创新或填补国内空白的科研项目会遇到许多意想不到的困难。我的体会是贵在坚持，持之以恒，“有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”，才能实现从基础研究到产业化的跨越。我带领团队从2001年开始从事稀土着色剂的研究，总共历时16年。国际上传统的制备方法使用有毒有害或易燃易爆气体，生产过程能耗高、设备损耗大、产量低、成本高。我们团队首次提出原始创新的稀土着色剂合成新方法和技术，打通了连续化、规模化生产工艺技术瓶颈，于2016年底在包头建成了世界首条稀土着色剂连续化、规模化隧道窑生产线，成功地实现了产业化。如果中途遇到困难，我们就轻言放弃，那么国家亟须解决的技术瓶颈就无法突破，坚持到底才能胜利。

二是科研成果要实现产业化必须有一个执行力很强的科研团队，要保持着旺盛的精力，深入细致地做好基础研究。基础研究做得越踏实，对应用研究越有利。这样才能解决产业化过程中遇到的科学和技术问题。要有报效祖国的使命感，要有默默奉献的精神，才会“山重水复疑无路，柳暗花明又一村”。

三是科研成果要想走出实验室、落地产业，不仅要有很好的科研团队，而且要有具有战略眼光的优秀企业家团队，团队之间密切配合，产学研深度融合是成功的关键。

未来，我们团队计划开展稀土与生物领域交叉基础与应用研究，聚焦稀土发光材料在脑部重大疾病诊疗的应用探索，推动轻质高强稀土生物蛋白纤维材料的基础研究与应用，发展形态和结构可控的稀土基生物用粘合剂和皮肤修复材料；通过建立稀土微生物细胞工厂，开展对包头尾矿中稀土元素分离，做到

无毒、无害、环保、低成本和高效。

6.您对从事稀土研究工作的年轻科研人员有什么建议？

张洪杰：的确，我始终对年轻人有着非常大的希望。年轻人至关重要，因为国内国际上的竞争，实际就是人才的竞争。我们把年轻一代培养好了，他们能够热爱稀土事业，能够静下心来一辈子从事稀土研究工作，是非常重要的。我希望年轻人能够踏踏实实地搞稀土研究，在做基础研究的同时，要考虑到应用，因为基础和应用实际上是相互联系的。在做基础研究时，如果能够时刻想着应用，我相信总会找到一个应用的机会。另外，我也希望年轻人要认识到，为什么我们在稀土上还没有完全搞明白。我认为主要是稀土的理论方面有些问题还没有解决，也就是稀土的 4f 电子的运动规律非常重要，如果对它非常了解，至少可以从理论范围进行方向预测，从而有利于应用。

现在研究材料还不是用理论作指导，基本上是“炒菜”。而按“炒菜”来做就浪费了很多资源，因此我希望将来有一部分年轻人能从事稀土理论研究。稀土理论研究是特别重要的研究，因为 4f 电子它是一个强关联的研究。基础理论研究成功了，至少能够大概预测能做出什么，在某个范围内那也非常好。实际上如果把稀土理论突破了，我认为将可能是一个重大突破。

目前我们国家搞科研的条件、平台、环境都非常好。所以年轻人要励志，我相信接下来几十年肯定会出好成果，这是毫无疑问的。

培养年轻人是我们老一辈科研人员应该做的事，也是我们的责任。现在年轻人素质都非常高，他们都很聪明，做事情也很认干，我觉得将来我们的稀土事业后继有人！

（来源：稀土信息）

一批稀土领域国家标准、国家标准样品和行业标 获得批准发布或下达研制计划

近期，国家标准化管理委员会批准发布了 548 项国家标准（2022 年第 21 号公告），其中涉及稀土领域的有 8 项；国家标准化管理委员会还下达了第三批 95 项国家标准样品的研复制计划（国标委发〔2022〕38 号），其中涉及稀土领域的有 5 项；工业和信息化部下达了 971 项行业标准制修订项目计划和 35 项外文版项目计划（工信厅科函〔2022〕312 号），其中涉及稀土领域 3 项产业优化升级标准项目计划和 1 项行业标准的外文翻译。详细情况见下表。

表 1 国家标准委批准发布 8 项稀土领域国家标准

序号	标准编号	标准名称	代替标准号	发布日期	实施日期
1	GB/T 12690.1-2022	稀土金属及其氧化物中非稀土杂质化学分析方法 第 1 部分：碳、硫量的测定 高频-红外吸收法	GB/T 12690.1-2015	2022/12/30	2023/7/1
2	GB/T 26416.1-2022	稀土铁合金化学分析方法 第 1 部分：稀土总量的测定	GB/T 26416.1-2010	2022/12/30	2023/7/1
3	GB/T 26416.2-2022	稀土铁合金化学分析方法 第 2 部分：稀土杂质含量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	GB/T 26416.2-2010	2022/12/30	2023/7/1
4	GB/T 26416.3-2022	稀土铁合金化学分析方法 第 3 部分：钙、镁、铝、镍、锰量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	GB/T 26416.3-2010	2022/12/30	2023/7/1
5	GB/T 26416.4-2022	稀土铁合金化学分析方法 第 4 部分：铁量的测定 重铬酸钾滴定法	GB/T 26416.4-2010	2022/12/30	2023/7/1
6	GB/T 26416.5-2022	稀土铁合金化学分析方法 第 5 部分：氧含量的测定 脉冲-红外吸收法	GB/T 26416.5-2010	2022/12/30	2023/7/1

7	GB/T 42160-2022	晶界扩散钕铁硼永磁材料		2022/12/30	2023/7/1
8	GB/T 41967-2022	各向异性钕铁硼永磁粉		2022/12/30	2023/7/1

表 2 第三批国家标准样品研复制计划项目（稀土）

序号	项目编号	项目名称	研/复制	项目周期 (月)	研制单位
1	S2022159	稀土型选择性催化还原 (SCR)脱硝催化剂成分标准 样品	研制	24 个月	包头稀土研究院
2	S2022160	钕铁硼合金成分系列标准样 品	研制	24 个月	包头稀土研究院
3	S2022161	钕钆合金中氧元素系列标准 样品	研制	24 个月	包头稀土研究院
4	S2022162	铈钆复合氧化物成分系列标 准样品	研制	24 个月	包头稀土研究院
5	S2022163	铈组混合稀土抛光粉成分标 准样品	研制	24 个月	包头稀土研究院

表 3 2022 年第三批产业优化升级标准项目计划表（稀土）

序号	计划号	项目名称	制修订	主管司局	主要起草单位
1	2022-1740-XB	铈镁合金	制定	原材料工 业司	山西景浩科技有限公司、晋中学院、湖南稀土金属材料研究院、包头稀土研究院
2	2022-1741-XB	镧铈铝合金	制定	原材料工 业司	包头稀土研究院、瑞科稀土冶金及功能材料国家工程研究中心有限公司、湖南稀土金属材料研究院、中国科学院长春应用化学研究所

行业动态

3	2022-1742-XB	镨钕金属化学分析方法 碳、铁、钼、铝、硅和镨含量的测定 火花放电原子发射光谱法	制定	原材料工业司	钢研纳克检测技术股份有限公司、包头市中鑫安泰磁业有限公司、赣州晨光稀土新材料有限公司、甘肃稀土新材料股份有限公司
---	--------------	---	----	--------	--

表 4 2022 年第三批行业标准外文版标准项目计划表（稀土）

序号	外文版计划号	项目名称	标准号/计划号	翻译语种	主管司局	项目承担单位
1	2022-W062-XB	离子型稀土原矿化学分析方法 离子相稀土总量的测定	XB/T 619-2015(2020)	英文	原材料工业司	赣州有色冶金研究所有限公司

(来源：包头稀土研究院)

江西省科技厅组织召开省稀土产业科技创新联合体联席会第一次会议

近日，江西省稀土产业科技创新联合体联席会第一次会议以视频方式召开。江西省科技厅党组成员、副厅长鄢帮有主持会议，江西省工信厅党组成员、副厅长谢志锋，江西省地方金融监督管理局党组成员、副局长徐鹤飞出席会议。

会议选举产生了联席会第一召集人、第二召集人和秘书处秘书长，确定了联席会、专家咨询委员会、秘书处组成人员名单，审议通过了江西省稀土产业科技创新联合体组织机构及运行机制、科技研发管理办法、成员单位加入及退出管理办法等。

中国科学院赣江创新研究院党委书记、院长齐涛作为当选的联席会第一召集人介绍了联合体的工作进展及下一步工作计划，并表示作为中国稀土科研的“排头兵”，赣江创新研究院积极参与主导稀土产业科技创新联合体建设，切实担负起赣江创新研究院作为联合体牵头单位的责任，始终与联合体各成员单位同心共赢、同创共进，为推动江西稀土产业转型升级与创新发​​展作出赣江创新研究院贡献。

最后，鄢帮有副厅长提出几点希望，**一是**希望牵头单位树立强烈的社会责任感和奉献精神，认真理解联合体建设的宗旨和定位，发挥好总体协调调度作用，真正实现围绕产业链布局创新链。**二是**希望牵头单位带领成员单位，不断探索创新联合体协同创新的新机制、新模式、新方法，争取探索出一条新路径。**三是**希望牵头单位牵头认真梳理四图四清单为核心的任务清单，特别是问题清单，关键技术清单，这是联合体作用是否能够发挥出来的关键所在。**四是**希望各成员单位积极支持秘书处的工​​作，帮助梳理产业链问题、凝炼攻关指南，对联合体运行提出意见建议。他表示江西省科技厅将尽最大努力为各联合体做好服务。

科技创新联合体牵头单位负责同志、各成员单位代表、专家咨询委员会委员代表，江西省科技厅、工信厅、江西省地方金融监督管理局相关处室负责同志参加了会议。

（来源：CBC 金属网）

奋力打造稀土领域重要人才中心和创新高地

为全面贯彻党中央、国务院关于人才工作的决策部署，贯彻落实中央人才工作会议和中央企业人才工作会议精神，近日，中国稀土集团在总部召开人才工作会议，系统总结集团公司人才工作成效，研究部署集团公司新时期人才工作任务，纵深推进新时代人才强企战略。中国稀土集团党委书记、董事长敖宏出席会议并讲话，党委副书记、总经理刘雷云主持会议，党委副书记、工会主席、董事杨国安传达学习党的二十大关于人才工作部署要求、中央人才工作会议精神和中央企业人才工作会议精神，党委领导王涛、覃荆文出席会议。

会议认为，一年来，中国稀土集团党委深入贯彻落实“重要指示批示”精神，牢固树立“人才是第一资源”理念，人才工作实现良好开局，人才强企战略初见成效，党对人才工作的领导全面加强，人才发展体系建设初步成型，高精尖缺人才培养有序开展，人才队伍建设取得积极成效。

会议强调，做好人才工作，必须坚持党管人才，政治引领。要坚持党委对人才工作的统一领导，确保人才工作方向明确，路线正确；必须坚持企业发展，人才先行。要把人才工作摆在更加突出位置，将人才工作紧紧嵌入企业改革发展大局，形成企业依靠人才发展、人才与企业共同成长的良性循环；必须坚持突出重点，整体推进。要围绕高质量发展需要，扩大人才总量，优化人才布局，重点培养复合型管理人才、创新型科技人才、工匠型技能人才；必须坚持完善机制，激发活力。要健全完善人才工作机制，优化人才发展环境，建立考核与奖惩评价制度，充分激发各类人才活力。

会议要求，集团公司各级党组织要坚决扛起为党育才、为国育人、为企业育人的主体责任，深入实施新时代人才强企战略，奋力打造稀土领域重要人才中心和创新高地。一要持续引进顶尖人才和紧缺人才，持续利用外部资源集聚人才，打好关键人才引进“重点战”；二要培养造就复合型管理人才队伍、创新型科技人才队伍、工匠型技能人才队伍，打好人才队伍建设“攻坚战”；三要完善人才职业发展通道，完善人才评价机制，完善人才精准激励机制，打好人才发展机制体制改革“突破战”。

会上，该集团所属广西稀土、湖南江华稀土、江西离子型工程中心三家企业作交流发言，分享了人才工作经验。

会议采用“主会场+分会场”视频形式召开。该集团总部各部门负责人、人力资源部和科技创新与信息化部全体人员，直管企业及部分重点三级企业领导班子、组织人事和科技管理部门负责人参会。

（来源：CBC 金属网）



瑞典发现欧洲最大规模稀土矿床

斯德哥尔摩消息：据报道，瑞典国有矿业公司卢奥萨山-基吕纳山公司 1 月 12 日宣布，该公司在瑞典北部发现一个稀土矿床，其中有超过 100 万吨的稀土氧化物，这是欧洲已知最大规模的稀土矿床。

卢奥萨山-基吕纳山公司在一份声明中说，这是个好消息，不仅对公司、对该地区和瑞典人民而言，而且对欧洲和气候来说也是好消息。它将成为生产关

键原材料的重要组成部分，而这些关键原材料对绿色转型来说又是至关重要的。

该公司表示计划在今年提交开采特许权申请，但预计至少需要 10 年至 15 年才可能进行开采并为市场供应矿产。

报道称，北欧国家对于新矿山的审批过程漫长而严格，因为开采往往会增加影响所在地区水资源和生物多样性的风险。

报道还说，稀土对许多高科技制造来说至关重要，被用于电动汽车、风力涡轮机、便携式电子产品、麦克风和扬声器等。欧洲目前不开采稀土矿产，主要依赖从其他地区进口，而由于电动汽车和可再生能源使用的增加，欧洲未来对稀土的需求预计会出现增长。

（来源：CBC 金属网）



德联邦统计局：德国超六成稀土进口来自中国

据德国联邦统计局统计，2022 年 1 月至 11 月，德国共进口了约 5300 吨稀土，其价值高达 4930 万欧元，其中将近三分之二（65.9%）都来自中国。

而在某些类别的稀土材料进口上，德国对中国的依赖更甚。例如，94.4% 的金属钪和钇都是从中国进口的。此外，包含着稀土元素镧、钕、镨和钐的化合物的最大进口国也是中国，其份额高达 75.4%。

2021 年，中国也是德国市场最重要的稀土来源国。当时德国就从中国进口了近 3800 吨、价值 1320 万欧元的稀土，占总进口量的 66%。

其次是奥地利和爱沙尼亚，比例分别为 21% 和 6%。统计局表示：“尽管最近在瑞典发现了十分丰富的稀土资源，其储藏量能让它成为迄今为止欧洲最大的稀土国，但瑞典在 2021 年并没有向德国出口这些资源。

(来源：每日新闻)

越南为亚太稀土供应链提供新动能

随着下游市场对稀土需求的增加，地缘政治担忧促使人们呼吁扩大稀土供应来源，越南正在将自己定位为在扩大全球稀土供应链中发挥关键作用。

据美国地质调查局数据显示越南拥有仅次于中国的世界第二大可开采稀土资源国，其储量为 2200 万吨，而中国为 4400 万吨。朝鲜拥有被认为是世界上最大的矿藏，但政治制裁阻止了其加入全球稀土供应链的资格。

尽管进行了多年的探索，但迄今为止，越南仍无法挖掘出其稀土供应的潜力。美国地质调查局的数据显示，2021 越南仅开采了 400 吨稀土，低于 2020 年的 700 吨，相比之下，中国稀土矿供应量从 2020 年的 14 万吨增至 2021 的 16.8 万吨。

越南经济增长迅速——惠誉解决方案机构预计 2022 年经济增长预计达到 7.8%，今年将达到 6.5%。在中美贸易紧张局势、后疫情时代供应链多样化和中国劳动力成本上升的现状来看，越南正成为一个越来越有吸引力的稀土供应地。越南正在成为东南亚重要的电子元件和设备生产基地，也是增长最快的可再生能源市场之一。几个国家正在与越南政府和私营公司建立伙伴关系，以期

建立稀土和其他关键材料的综合供应链。

12月初，越南贸易部长与韩国贸易部长签署了一项协议，就在越南勘探和开发包括稀土在内的核心矿产进行合作，以提供稳定的全球供应链。韩国贸易、工业和能源部长李昌阳（Lee Chang-yang）8月曾提议加强稀土供应合作，并派出了一个调查小组，探讨如何发展稀土行业。

澳大利亚公司也在探索对越南矿业的投资，包括澳大利亚战略矿产公司（ASM），该公司于12月中旬与越南稀土公司签署了一项协议，长期供应稀土氧化物，以便在其Dubbo矿山开始运营前为ASM的韩国金属厂提供原料。

根据《跨太平洋伙伴关系自由贸易协定》，加拿大增加了与越南的贸易。去年12月，加拿大萨斯喀彻温省派出代表团前往越南，讨论更多机会。萨斯喀彻温省的贸易和出口部长指出，两国在绿色能源方面具有合作的潜力，包括可持续采矿业务和稀土元素的开发。

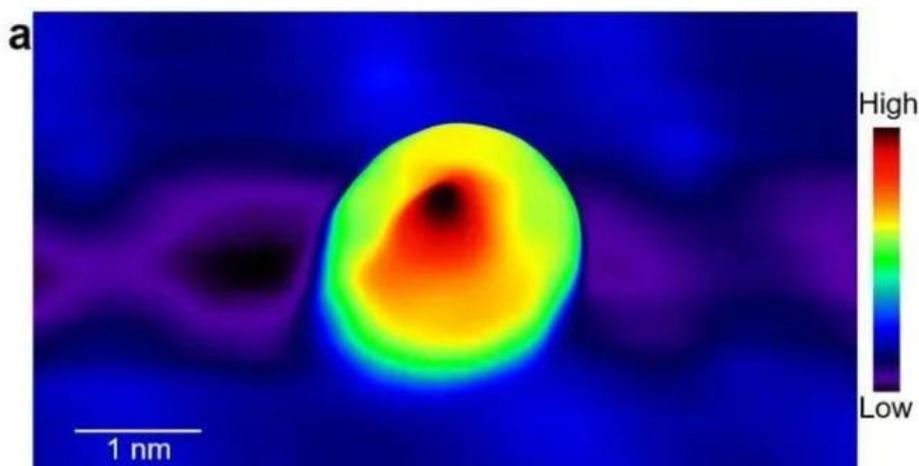
（来源：阿格斯金属）

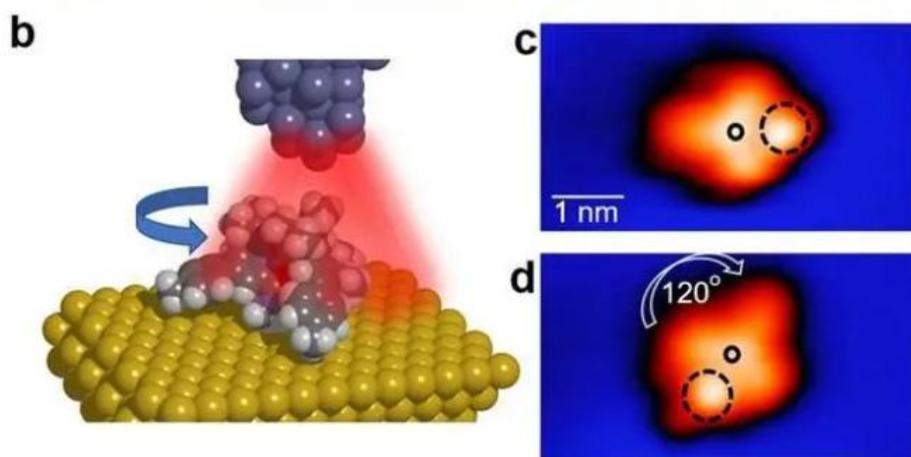
科学家首次在金属表面形成带电的稀土分子并使其旋转

科学家们首次在金属表面形成一个带电的稀土分子，并使用扫描隧道显微镜对其进行旋转。来自俄亥俄大学、阿贡国家实验室和伊利诺伊大学芝加哥分校的科学家们使用扫描隧道显微镜在金属表面形成一个带电的稀土分子，并在不影响其电荷的情况下顺时针和逆时针旋转它。他们的发现为研究对未来很重要的材料的原子尺度操纵开辟了新的途径，这些材料包括从量子计算到消费电子。

稀土元素对高科技应用至关重要，包括手机、高清电视等等。团队负责人 Saw-Wai Hla 说：“这是首次在金属表面形成带有正负电荷的稀土复合物，也是首次展示对其旋转的原子级控制，”他拥有阿贡大学科学家和俄亥俄大学文理学院物理和天文学教授的双重身份。

该实验在阿贡和俄亥俄大学进行，利用了两个不同的低温扫描隧道显微镜（STM）系统。STM 实验的环境要求在超高真空中的温度约为 5 摄氏度（-450 华氏度）。样品分子的大小大约为 2 纳米。





(a) 旋转的 Eu 复合物的 STM 图像在 Au(111) 上显示为一个圆盘形状。(b) 通过从 STM 尖端提供电能来进行控制旋转。(c), (d) 分别是一个复合物旋转前和旋转后。虚线圈表示用于控制的反离子。

Hla 说：“在两个地方都取得了相同的结果，这确保了实验的可重复性。”

俄亥俄州的实验室由 Hla 小组的学生操作，该小组与纳米和量子现象研究所有关。

这些科学家的研究最近发表在《自然通讯》杂志上。

研究人员组装的稀土复合物是带正电的铈基分子与带负电的反离子在黄金表面上。通过应用从 STM 尖端发出的电场，利用下面的反离子作为支点，导致复合物的旋转。研究人员证明了对这些稀土复合物旋转的 100% 的方向控制。

俄亥俄大学化学系教授兼 Roenigk 主席 Eric Masson 是该项目的共同研究者之一，他设计了这些稀土复合物，他在俄亥俄大学的小组合成了这些复合物。阿贡的科学家和伊利诺伊大学芝加哥分校化学工程系副教授 Anh Ngo 的小组利用阿贡的 BEBOP（迄今为止美国最强大的超级计算机）进行了密度函数理论计算。计算结果显示，在分子-基质界面上只有微不足道的电荷转移，这意味着复合物在表面上仍然带电。

Hla 和合作者在阿贡高级光子源用一种被称为同步辐射 X 射线扫描隧道显微

镜的新生实验方法确定了吸附在表面上的复合物中的 Eu 离子的化学状态，他们确认分子在金表面带正电。STM 图像显示该结构是一个带有三条臂的扭曲的三角形。用创纪录的 8000 个光谱帧获得的 STM 电影证明了下面的反离子的加入。然后，Hla 小组使用 STM 操作进一步证明了控制旋转，它显示了顺时针和逆时针的随意旋转。

“这些发现对于开发纳米机械装置可能是有用的，在这些装置中，复合体中的各个单元被设计为控制、促进或限制运动，” Hla 说。“我们已经证明了带电稀土复合物在金属表面的旋转，现在可以对它们的电子和结构以及机械性能进行一次复合调查。”

(来源：产业前沿)



中科院新疆理化所在光-电多功能耦合陶瓷方面 取得进展

随着电子器件的小型化和集成化，单一功能的材料不再能满足电子设备的小型化和一体化的发展趋势。新型固溶体材料由于其独特的结构特性在材料的多功能化方面显示出巨大的潜力。尤其是 Ca-Ln-Nb-M-O(Ln 为镧系元素，M=Mo 或 W)基材料，可根据成分设计为单相固溶体，其固溶结构有着很高的结构容忍度和优异的高温稳定性，同时该固溶结构也使得元素分布更加均匀。然而，目前对 Ca-Ln-Nb-M-O 基材料研究的仅集中在单一的电性能或发光特性上，阻碍了其在多功能器件领域的应用。

为了解决这一问题，新疆理化所敏感材料与器件团队设计出了一种集光致发光与热敏特性于一体的多功能耦合陶瓷。通过调制 Ca-Eu-Nb-Mo-O 固溶成分

比例被证明能够改变白钨矿基固溶体的晶体结构、进而引起电输运性质以及光致发光性能的变化。结果表明，通过固溶体成分的比例进行结构调制，不仅可以有效降低电阻率来调节电性能、拓宽应用温区；而且由于 Eu^{3+} 的引入，还可以引入发光特性，所有的陶瓷都表现出强烈的红色光致发光。该陶瓷材料表现出的光致发光和半导体特性为光-电多功能耦合陶瓷提供了新的设计思路，有望在近紫外发光二极管和高温热敏电阻领域应用。

相关研究成果发表在《美国陶瓷学会会志》(J. Am. Ceram. Soc.)上，中科院新疆理化技术研究所为第一完成单位，硕士研究生孙皓为第一作者，新疆理化技术研究所张博研究员和长春应用化学研究所张粟研究员为通讯作者。该研究工作得到中科院西部之光、中科院青促会等项目的资助。

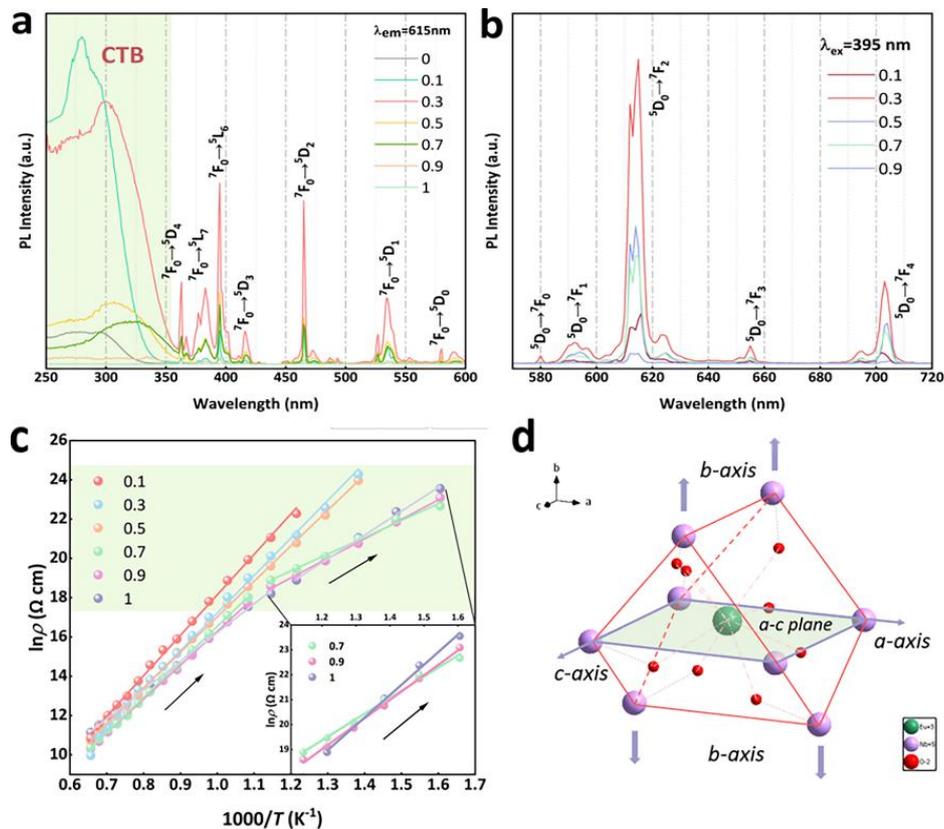


图 Ca-Eu-Nb-Mo-O 固溶体陶瓷的光致发光及电性

(来源：中科院新疆理化所)

江西印发《江西省氢能产业发展中长期规划 (2023-2035年)》支持稀土储氢技术路线加快发展

1月31日，江西省发改委、江西省能源局印发《江西省氢能产业发展中长期规划（2023-2035年）》。

《规划》提到，依托稀土等矿产资源优势，大力发展储氢新材料产业，实现重点细分领域突破。稀土储氢材料是氢能利用的重要功能材料和储氢载体，具有广阔的发展和应用前景。稀土矿产是江西省的优势资源，也是发展稀土储氢新材料的重要基础。充分利用省内丰富的稀土矿产资源，以及省内有关企业、高校、研究机构在稀土新材料方面领先的技术创新和产业化实力，在固态储氢领域加速布局，提高稀土新材料原始创新能力和高端应用水平，进而发展基于新型稀土储氢材料的高能量密度、快动态响应固态储氢装备产业。力争用10-15年时间，将江西省稀土储氢新材料技术及产业打造成为具有国内领先地位的细分领域。

（来源：江西省发改委）

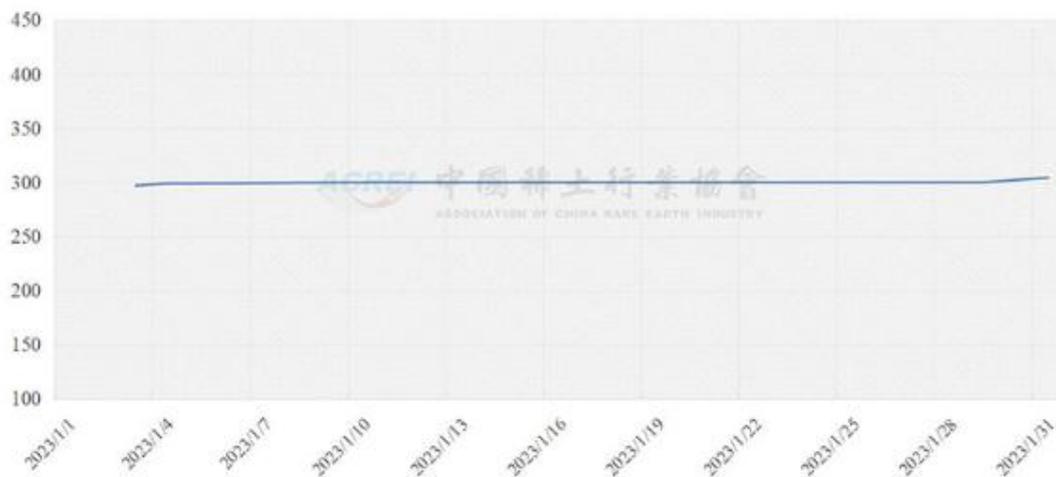
2023年1月稀土价格走势

一、稀土价格指数

1月份，稀土价格指数基本保持平稳，月末略有上扬。本月平均价格指数为299.9点。价格指数最低为1月3日的297.0点，最高为1月31日的304.2点。

高低点相差7.2点，波动幅度为24%。

2023年1月稀土价格指数走势图



二、中钷富钷矿

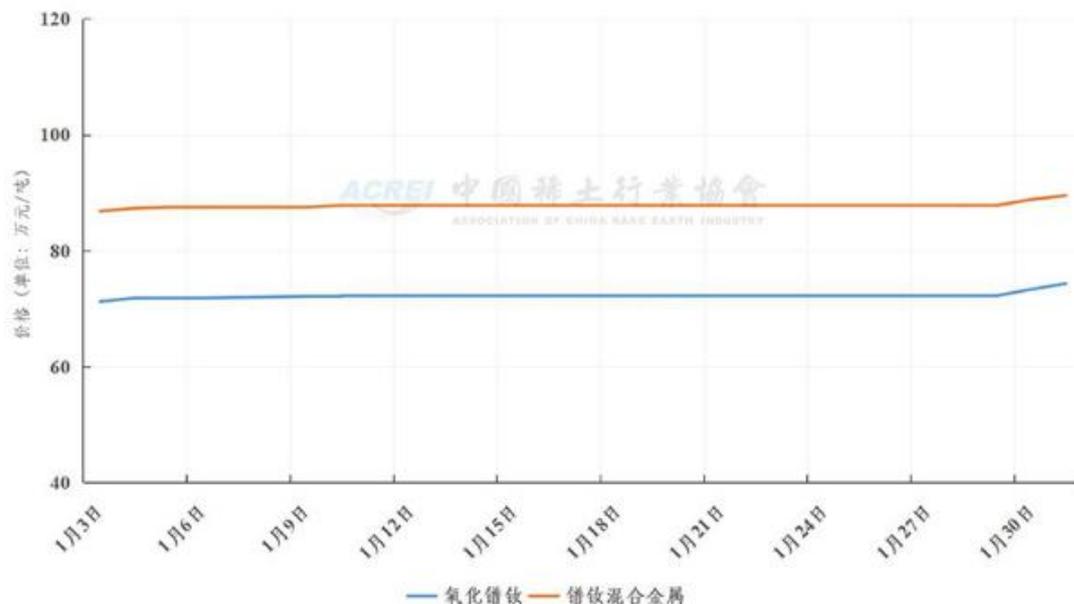
中钷富钷矿1月份均价为31.45万元/吨，环比上涨2.8%。

三、主要稀土产品

(一) 轻稀土

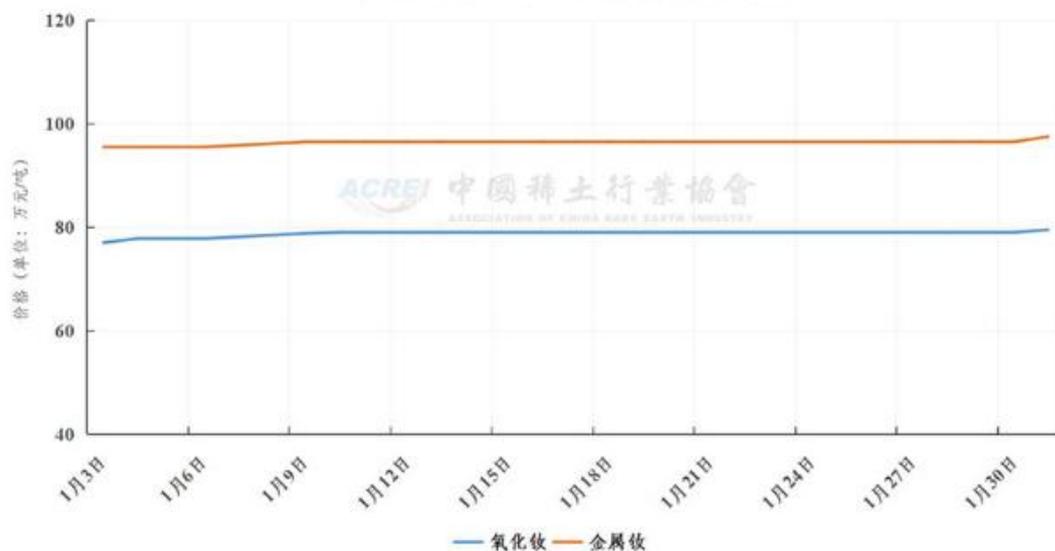
1月份，氧化镨钕均价为72.25万元/吨，环比上涨4.6%；金属镨钕均价为87.82万元/吨，环比上涨4.9%。

2023年1月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



1月份，氧化钕均价为78.71万元/吨，环比上涨4.0%；金属钕均价为96.33万元/吨，环比上涨3.3%。

2023年1月氧化钆、金属钆价格走势

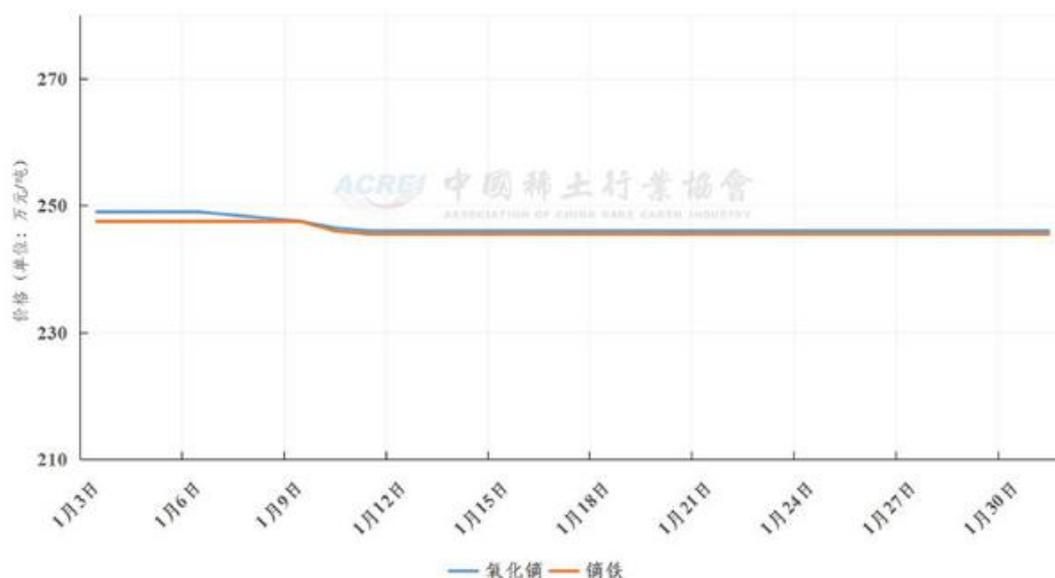


1月份，氧化镨均价为70.33万元/吨，环比上涨2.4%。99.9%氧化镧均价为0.70万元/吨，环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为19.80万元/吨，环比与上月持平。

(二) 重稀土

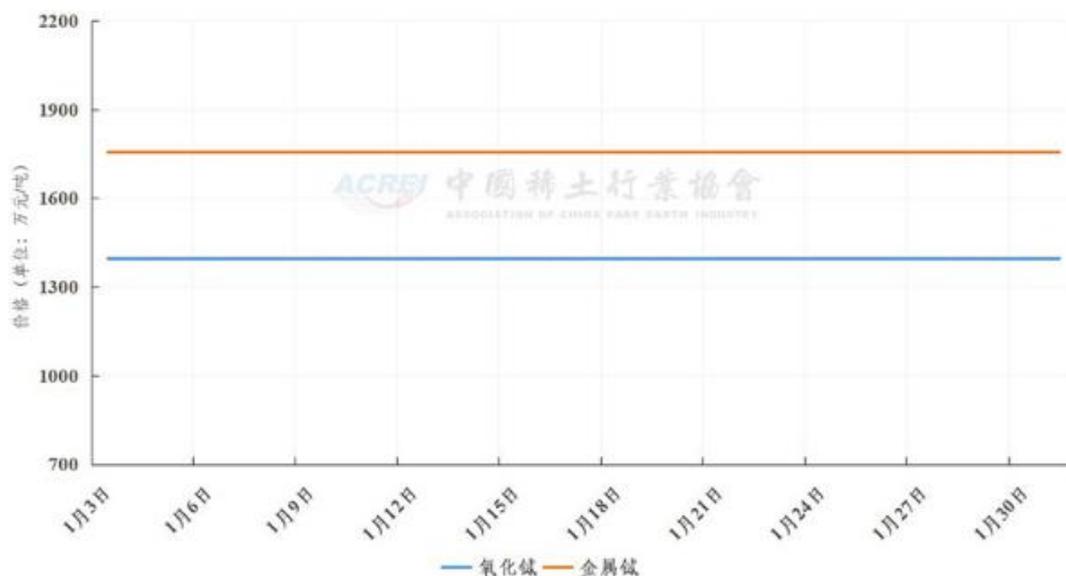
1月份，氧化镝均价为246.78万元/吨，环比上涨1.8%；镝铁均价为246.08万元/吨，环比上涨2.3%。

2023年1月氧化镝、镝铁价格走势



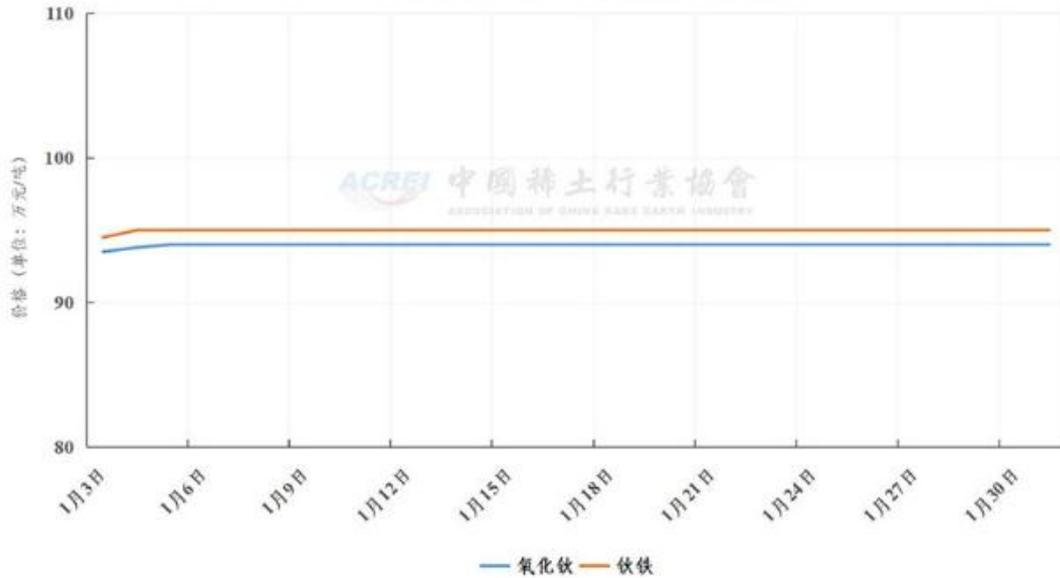
1月份，99.99%氧化铽均价为1395.00万元/吨，环比上涨2.4%。金属铽均价为1755.00万元/吨，环比上涨2.8%。

2023年1月氧化铽、金属铽价格走势



1 月份，氧化钬均价为 93.96 万元/吨，环比上涨 11.1%，钬铁均价为 94.97 万元/吨，环比.上涨 11.0%。

2023年1月氧化钬、钬铁价格走势



1 月份，99.999%氧化铒均价为 5.30 万元/吨，环比下跌 2.3%。氧化铒均价为 29.50 万元/吨，环比.上涨 2.6%。

表 1：2023 年 1 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	2022 年 12 月平均价	2023 年 1 月平均价	环比
氧化镧	≥ 99%	7.00	7.00	0.00%
氧化铈	≥ 99%	8.00	8.00	0.00%
氧化镨	≥ 99%	686.95	703.33	2.38%
氧化钕	≥ 99%	757.09	787.06	3.96%
金属钕	≥ 99%	932.86	963.33	3.27%
氧化钐	≥ 99.9%	17.09	17.00	-0.53%
氧化铈	≥ 99.99%	198.00	198.00	0.00%
氧化钐	≥ 99%	408.05	444.67	8.97%
钐铁	≥ 99%Gd 75% ±2%	387.82	423.94	9.31%
氧化铽	≥ 99.9%	13625.68	13950.00	2.38%
金属铽	≥ 99%	17073.41	17550.00	2.79%
氧化铕	≥ 99%	2423.64	2467.78	1.82%
铕铁	≥ 99%Dy80%	2404.55	2460.83	2.34%
氧化钬	≥ 99.5%	845.82	939.61	11.09%

市场行情

钬铁	≥99%Ho80%	855.64	949.72	11.00%
氧化铒	≥99%	287.41	295.00	2.64%
氧化镱	≥99.99%	96.00	96.00	0.00%
氧化镱	≥99.9%	5850.00	5850.00	0.00%
氧化钇	≥99.999%	54.23	53.00	-2.27%
氧化镨钕	≥99% Nd ₂ O ₃ 75%	691.00	722.50	4.56%
镨钕金属	≥99%Nd75%	837.27	878.17	4.88%

(来源：中国稀土行业协会)

稀土采选冶绿色标准现状

基于稀土元素丰富而独特的磁、光、电、催化等物理化学性质，稀土材料已成为中国2030年国家远景发展规划的高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、电力装备、农机装备、生物医药及高性能医疗器械、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电子信息、国防军工等10个重点发展领域的关键支撑材料，正展现出广阔的市场前景和发挥着关键的战略作用。中国稀土工业经过60多年的发展，已经形成了集资源采选、冶炼分离、材料加工、终端应用为一体的稀土产业体系，产业链完整且齐全。其中，稀土采选冶是稀土新材料及应用发展的重要物质保障和支柱环节。

针对不同类型稀土资源的禀赋特点，中国开发了一系列具有原创性的稀土采选冶技术并大规模用于工业生产，其中包头混合型稀土矿主要采用露天开采、弱磁-强磁-浮选、第三代硫酸法等主要单元生产稀土化合物产品，氟碳铈稀土矿主要采用露天/井下开采、磁选-重选-浮选、氧化焙烧-盐酸浸出-萃取分离等主要单元生产稀土化合物产品，离子型稀土矿主要采用原地浸取、沉淀/萃取富集、萃取分离等主要单元生产稀土化合物产品[4-11]。总体来看，中国稀土采选冶技术世界领先，具备国际话语权。随着中国稀土产业的快速发展，稀土采选冶过程面临一些新问题，主要体现在化工材料消耗高、资源循环利用率低、三废排放量大等。近年来涌现出一批稀土提取分离新技术，如非皂化

萃取分离稀土新技术、离子型稀土原矿浸萃一体化新技术、碳酸氢镁法分离提纯稀土新技术、模糊/联动萃取分离技术等，促进了中国稀土采选冶技术的绿色化、清洁化发展，但是推广应用力度尚需进一步加强。

绿色化已成为稀土行业发展的主导基调和必然趋势，全面推行绿色制造，除了加快稀土行业绿色采选冶技术改造升级，促进稀土资源高效清洁开发利用，构建绿色标准体系也是其中重要组成部分。2016年，国务院办公厅发布了《关于建立统一的绿色产品标准、认证、标识体系的意见》，明确提出建立统一的绿色产品标准、认证、标识体系；2021年国务院印发了《国家标准化发展纲要》，明确了未来5年标准化工作目标，指出了完善绿色发展标准化保障等总体标准化工作方向。因此，稀土行业尤其是采选冶领域亟需建立健全完备的绿色标准体系，充分发挥标准的引领、门槛和规范作用，推动绿色采选冶技术推广应用，减少污染物排放，引领稀土行业绿色高质量发展。本文首先对稀土采选冶绿色标准体系框架进行了介绍，在此基础上梳理了相关标准并对其中重要标准进行了分析，最后研判稀土采选冶绿色标准的发展趋势。

1 稀土采选冶绿色标准体系

目前，中国正在逐步健全稀土采选冶绿色标准体系，现有体系主要由绿色评价标准体系、节能与综合利用标准体系两个类别构成。

绿色评价标准体系聚焦于产品绿色设计与清洁生产，主要由绿色产品、绿色工厂、绿色园区、绿色供应链等四个细分领域的子体系构成。其中，绿色产

品子体系包括产品绿色设计、评价等管理和基础，以及检测和分析等方面的标准；绿色工厂子体系包括工厂规划、评价等管理和基础，以及生产过程和控制等方面的标准；绿色园区子体系包括园区公共和基础设施共享，以及资源和环境协同处理等方面的标准；绿色供应链子体系包括物流和仓储，以及采购和回收方面的标准。截至 2022 年 8 月 底，稀土采选冶绿色评价标准体系已囊括 8 项标准（包括在研计划），其中行业标准 7 项，团体标准 1 项，均为绿色产品、绿色工厂领域的标准，但是绿色园区、绿色供应链领域的标准尚未制定。

节能与综合利用标准体系立足于节能降耗与循环经济，主要由资源节约、能源节约、清洁生产、温室气体与减排、资源综合利用五个细分领域的子体系构成；其中，资源节约子体系包括节地、节材、节水等方面的标准；能源节约子体系包括产品能耗限额和生产设备等方面的标准；清洁生产子体系包括生态设计及评价要求、生产过程清洁技术、排污许可等方面的标准；温室气体与减排子体系包括温室气体减排基础和核算方法等方面的标准；资源综合利用子体系包括工业三废、再生资源综合利用等方面的标准。截至 2022 年 8 月 底，稀土采选冶节能与综合利用标准体系已囊括 18 项标准（包括在研计划），其中国际标准 5 项，国家标准 3 项，行业标准 10 项；以标准领域划分，资源节约领域 3 项，能源节约领域 1 项，清洁生产领域 3 项，资源综合利用领域 11 项，但是温室气体与减排领域的标准尚未制定。

2 稀土采选绿色标准现状及分析

2.1 稀土采选现有绿色标准梳理

通过对现有稀土采选标准进行梳理，截至2022年8月底，稀土采选绿色标准仅有4项，均为行业标准，其中稀土采选绿色评价标准3项（含绿色产品领域标准2项，绿色工厂领域标准1项，如下表1所示），稀土采选节能与综合利用标准1项（资源节约领域，见表2所示）。可见稀土采选相关的绿色标准数量较少，尚未构建起完整的绿色标准体系，尤其是节能与综合利用领域需要进行加快布局。

表1 稀土采选绿色评价标准体系

Table 1 Green evaluation standards system for rare earth mining and beneficiation

领域	标准名称	标准编号	标准性质	标准状态
绿色产品	离子型稀土矿混合氯化稀土溶液	XB/T 235-2020	行业标准	发布
	绿色设计产品评价技术规范 离子型稀土矿产品	XB/T 804-2021	行业标准	发布
绿色工厂	稀土采选冶行业绿色工厂评价导则	XB/T 803-2021	行业标准	发布

表2 稀土采选节能与综合利用标准体系

Table 2 Energy saving and comprehensive utilization standards system for rare earth mining and beneficiation

领域	标准名称	计划编号	标准性质	标准状态
资源节约	稀土采选生产废水处理回用技术规范	2022-1004T-XB	行业标准	在研

2.2 稀土采选重点绿色标准分析

2.2.1 稀土采选绿色评价标准体系

(1) 绿色产品标准《离子型稀土矿混合氯化稀土溶液》由工信部2020年12月9日发布并于2021年4月1日实施，适用于以离子型稀土矿稀土浸出液为原料，经化学法或萃取法富集制得的离子型稀土矿混合氯化稀土溶液，主要用作稀土分离提纯的原料。该标准立足离子型稀土矿绿色提取富集的需求，规定了离子型稀土矿混合氯化稀土溶液的要求、试验方法、检验规则与标志、包装、运输、贮存及质量证明书。该标准明确了离子型稀土矿混合氯化稀土溶液

产品质量及相应的化学分析方法，有助于提升中国离子型稀土矿提取与分离技术水平和产品质量，推动宝贵的离子型稀土资源高效绿色开发利用，增强国内稀土行业在全球的核心竞争力。

《绿色设计产品评价技术规范离子型稀土矿产品》由工信部 2021 年 5 月 17 日发布并于 2021 年 10 月 1 日实施，适用于采用溶液浸矿方式浸取离子型稀土原矿，再采用化学方法富集生产的离子型稀土矿产品的绿色设计产品评价。依据绿色发展理念，离子型稀土矿产品评价需考虑原材料选用、生产、销售、使用、回收、处理等各个环节对资源环境造成的影响，力求最大限度降低资源消耗、减少污染物产生和排放，实现环境保护。该标准规定了离子型稀土矿绿色设计产品评价的术语和定义、评价要求、评价方法和流程，以及产品生命周期评价报告编制方法，其中评价指标要求中的二级指标设置充分体现了离子型稀土矿产品绿色评价的特色，如稀土回收率、水重复利用率、矿区污染物有组织排放指标、除杂渣产生量、单位产品综合能耗、产品杂质含量、产品放射性比活度等，可全面反映离子型稀土矿产品资源属性、环境属性、能源属性、产品属性的指标。该标准有力推动中国离子型稀土绿色提取富集技术的快速推广应用，指导中国离子型稀土矿产品的绿色化生产，保持中国在离子型稀土矿采选领域的领先地位。

(2) 绿色工厂标准《稀土采选冶行业绿色工厂评价导则》由工信部 2021 年 5 月 17 日发布并于 2021 年 10 月 1 日实施，是稀土行业首个绿色工厂评价标

准，适用于稀土采选冶行业中从事稀土采矿、选矿、冶炼及二次资源综合利用的绿色工厂评价，并作为稀土采选冶行业制定绿色工厂评价要求的总体要求。稀土采选冶行业属于节能减排重点行业，绿色低碳循环发展，是稀土采选冶行业高质量发展的重要内容。该标准着眼于规范稀土采选冶工厂实现用地集约化、原料无害化、生产洁净化、废物资源化、能源低碳化，满足绿色工厂基本要求、基础设施、管理体系、能源与资源投入、产品、环境排放、绩效的综合评价要求。该标准规定了稀土采选冶行业绿色工厂评价的术语和定义、总则、评价要求、评价程序和评价报告等，采用定量与定性评价相结合、过程与绩效相结合的方式，科学确定稀土采选冶绿色工厂评价的关键阶段和关键指标，建立完整的综合性评价指标体系。该标准对于稀土采选冶行业绿色升级改进具有很强的指导意义，并为后续采选冶细分领域的绿色工厂评价要求提供了依据和导引。

2.2.2 稀土采选节能与综合利用标准体系

《稀土采选生产废水处理回用技术规范》正处于报批阶段，该标准适用于稀土采选生产废水处理与回用。中国稀土矿种类多样，稀土采矿、选矿企业的生产工艺流程和产排污情况差异显著，生产过程中废水种类多、成分复杂，因此通过标准规范并推广高效、低成本、实用的废水处理及回用技术，是中国稀土工业发展面临的重大研究课题。该标准规定了稀土采选企业生产过程中产生的废水处理回用的总体要求、工艺技术要求、主要工艺设备和材料、检测与过程

控制、施工与验收、运行与维护等内容，详细梳理了目前应用于工业生产的各类稀土矿（包括岩矿型稀土矿和离子吸附型稀土矿）的采选工艺流程并分析其生产废水种类与主要污染物，要求稀土遵循一水多用和综合利用的原则，加强稀土采选生产中各类生产废水的处理和回用。该标准确定了统一、高效、低成本、实用的废水处理回用技术，提高资源利用率、水及物料循环利用，指导解决稀土采选生产废水对环境的污染问题，进一步促进稀土采选工艺绿色可持续发展，加快循环经济发展，对于实现总量控制和污染物消减目标等具有重要意义。

3 稀土冶炼绿色标准现状及分析

3.1 稀土冶炼现有绿色标准梳理

通过对现有稀土冶炼标准进行梳理，截至 2022 年 8 月底，稀土冶炼绿色标准共有 23 项，包括 5 项国际标准，3 项国家标准，14 项行业标准，1 项团体标准。其中稀土冶炼绿色评价标准 6 项（含绿色产品领域标准 3 项，绿色工厂领域标准 3 项，见表 3 所示），稀土冶炼节能与综合利用标准 17 项（含资源节约领域 2 项，能源节约领域 1 项，清洁生产领域 3 项，资源综合利用领域 11 项，见表 4 所示）。可见稀土冶炼相关的绿色标准数量相对较多，绿色评价领域标准基本完善，节能与综合利用领域需要加快制定双碳系列标准以及健全资源回收利用方面的标准。

表3 稀土冶炼绿色评价标准体系

Table 3 Green evaluation standards system for rare earth metallurgy

领域	标准名称	标准/计划编号	标准性质	标准状态
绿色产品	绿色设计产品评价技术规范 稀土湿法冶炼分离产品	T/CNIA 0005-2018	团体标准	发布
	绿色设计产品评价技术规范 稀土火法冶炼产品	XB/T 805-2021	行业标准	发布
	绿色设计产品评价技术规范 稀土硅铁合金产品	2021-0053T-XB	行业标准	在研
绿色工厂	稀土采选冶绿色工厂评价导则	XB/T 803-2021	行业标准	发布
	稀土湿法冶炼绿色工厂评价要求	2021-1803T-XB	行业标准	在研
	稀土火法冶炼绿色工厂评价要求	2021-0051T-XB	行业标准	在研

表4 稀土冶炼节能与综合利用标准体系

Table 4 Energy saving and comprehensive utilization standards system for rare earth metallurgy

领域	标准名称	标准/计划编号	标准性质	标准状态
资源节约	取水定额第43部分：离子型稀土矿冶炼分离生产	GB/T 18916.43-2019	国家标准	发布
	稀土冶炼生产废水处理回用技术规范	2022-1005T-XB	行业标准	在研
能源节约	稀土冶炼加工企业单位产品能源消耗限额	GB 29435-2012	国家标准	发布
清洁生产	排污许可证申请与核发技术规范 稀有稀土金属冶炼	HJ 1125-2020	环保标准	发布
	排污单位自行监测技术指南 稀有稀土金属冶炼	HJ 1244-2022	环保标准	发布
	稀土可持续性—第一部分—采矿、分离和加工	-	国际标准	在研
资源综合利用	稀土元素回收利用—提供工业废物和报废产品稀土元素回收信息的要求	ISO 22450-2020	国际标准	发布
	稀土元素回收利用—工业废物和报废产品中稀土元素的测量方法	ISO 22451-2021	国际标准	发布
	工业废物和报废循环产品中稀土元素的信息交换	ISO 22453-2021	国际标准	发布
	稀土—钕铁硼磁体废料—分类、一般要求和验收条件	ISO/AWI 24544	国际标准	在研
	钕铁硼生产加工回收料	GB/T 23588-2020	国家标准	发布
	钕铁硼生产加工回收料稀土元素回收利用技术规范	XB/T 806-2021	行业标准	发布
	稀土火法冶炼回收料	XB/T 517-2021	行业标准	发布
	硅酸钇镨晶体回收料	XB/T 516-2021	行业标准	发布
	废旧稀土回收处理第1部分：废旧显示器中稀土的回收技术要求	XB/T 802.1-2015	行业标准	发布
	废旧稀土回收处理第2部分：废弃荧光灯中稀土的回收技术要求	XB/T 802.2-2015	行业标准	发布
	稀土肥料回收料	2021-1800T-XB	行业标准	在研

3.2 稀土冶炼重点绿色标准分析

3.2.1 稀土冶炼绿色评价标准体系

(1)绿色产品标准 《绿色设计产品评价技术规范 稀土湿法冶炼分离产品》由中国有色金属工业协会、中国有色金属学会 2018 年 6 月 15 日发布并于 2018 年 7 月 1 日实施，是中国稀土行业的第一个绿色产品评价标准，适用于稀土精矿或含稀土的物料冶炼分离生产的 稀土化合物或稀土富集物的绿色设计产品评价。该标准规定了稀土湿法冶炼分离绿色设计产品评价的术语和定义、评价要求、产品生命周期评价报告编制方法，以及评价方法和流程。该标准采用生命周期评

价与指标评价相结合的原则、环境影响种类最优选取原则以及持续改进原则，统筹考虑资源、能源、环境、产品等属性，契合《稀土冶炼行业清洁生产评价指标体系》的先进指标，科学确定稀土湿法冶炼分离绿色产品评价的关键阶段和关键指标，建立评价方法与指标体系。该标准有力地推动中国稀土绿色湿法冶炼分离技术的快速推广应用，指导中国稀土湿法冶炼分离产品的绿色化生产，进一步巩固和提升中国在稀土湿法冶炼分离领域的主导地位。

《绿色设计产品评价技术规范稀土火法冶炼产品》行业标准由工信部 2021 年 5 月 17 日发布并于 2021 年 10 月 1 日实施，适用于稀土火法冶炼工艺（熔盐电解法、金属热还原法、真空蒸馏法等）生产的稀土金属及合金产品的绿色设计产品评价。该标准规定了稀土火法冶炼绿色设计产品评价的术语和定义、评价要求、产品生命周期评价报告编制方法以及评价方法和流程，涵盖了火法冶炼的 99%~99.99% 的全部稀土金属及合金，产品品种齐全，且囊括了稀土火法冶炼的全部主流工艺，应用服务范围广。该标准指标体系全面，评价方法准确，实际可操作性强，有力推动稀土火法冶炼企业持续改进以实现绿色升级。

（2）绿色工厂标准

《稀土湿法冶炼绿色工厂评价要求》正处于报批阶段，该标准适用于从事湿法冶炼生产稀土化合物企业的绿色工厂评价。中国在稀土湿法冶炼领域具有绝对技术优势并持续改进提升，为该标准制定提供了有力技术支撑。该标准规定了稀土湿法冶炼绿色工厂评价的术语和定义、总则、评价要求、评价程序和评价报

告等。该标准在《稀土采选冶行业绿色工厂评价导则》基础上突出了稀土湿法治炼的特点，一是全面梳理了稀土湿法治炼工厂的典型工艺流程，由于中国稀土湿法治炼工厂生产采用的原料和冶炼工艺不同，生产过程中原辅材料及污染物排放存在差异，因此该标准分析了混合型稀土精矿酸法治炼工艺，混合型稀土精矿、独居石/磷钇矿精矿碱法治炼工艺，氟碳铈稀土精矿冶炼工艺，离子型稀土精矿/稀土富集物、离子型稀土矿混合氯化稀土溶液冶炼工艺，稀土二次资源冶炼工艺，为稀土湿法治炼绿色工厂评价指标的使用和计算提供更好的指导；二是通过设置绿色冶炼技术相关指标、调整指标权重等，使评价指标体系能够更准确反映出工厂的绿色程度。该标准可指导中国稀土湿法治炼的绿色化生产，引导和规范工厂实现绿色制造，推动双碳目标的实现，进一步巩固中国稀土湿法治炼领域的国际竞争力和话语权。

3.2.2 稀土冶炼节能与综合利用标准体系

(1) 资源节约标准

《稀土冶炼生产废水处理回用技术规范》正处于报批阶段，该标准适用于稀土冶炼生产废水处理与回用。由于中国稀土冶炼企业的原料、生产工艺流程和产污情况差异显著，废水具有产生量大、种类多、成分复杂的特点，因此通过标准筛选和评估废水减排、治理及回用技术，对促进稀土冶炼工艺绿色可持续发展具有重要意义。该标准规定了稀土冶炼企业生产过程中产生的废水处理回用的总体要求、工艺技术要求、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、施工与验收、

运行与维护等内容,详细分析了目前采用不同原料进行稀土湿法冶炼生产和稀土火法冶炼生产的工艺流程、废水来源、种类及主要污染物。废水种类分为尾气/废气喷淋废水、碱法分解废水、氨氮废水、含盐废水、草酸沉淀废水、浓缩结晶废水、实验室废水等,并相应梳理出废水处理回用工艺流程图;废水主要污染物根据产生生产单元的不同包含 COD,总磷,SS, pH, NH₃-N,重金属离子, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, F等成分中的多种。该标准有助于稀土冶炼企业规范并推广高效、低成本、实用的废水减排、治理及回用技术,实现水资源的高效循环利用和可持续发展,进一步促进稀土冶炼工艺绿色可持续发展。

(2) 能源节约标准

《稀土冶炼加工企业单位产品能源消耗限额》由国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会 2012 年 12 月 31 日发布并于 2013 年 10 月 1 日实施,适用于稀土冶炼加工产品(化合物、金属及合金、荧光粉、抛光粉)生产能耗的计算与考核,不适用于稀土废料的综合回收工艺的产品。该标准规定了稀土冶炼加工产品(化合物、金属及合金、荧光粉、抛光粉)生产能源消耗限额的技术要求、统计范围、计算方法、计算范围、节能管理与措施。该标准分别对现有稀土冶炼加工企业单位产品能耗限定值、新建稀土冶炼加工企业单位产品能耗准入值和稀土冶炼加工企业单位产品能耗先进值进行了限定,对不同产品能耗限额根据单一稀土氧化物、镨钕氧化物、荧光机氧化钇铈、灯用稀土三基色荧光粉、稀土抛光粉、单一稀土金属、合金、混合稀土金属进行了划分。该标准

要求企业建立节能考核制度、能耗统计体系、能源计量管理制度，并配备余热回收等节能设备，以推动企业达到单位产品能耗先进值，实现节能降耗的目的。

(3) 清洁生产标准

《排污许可证申请与核发技术规范稀有稀土金属冶炼》由生态环境部 2020 年 3 月 27 日发布并同时实施，适用于指导稀有稀土金属冶炼排污单位填报《排污许可证申请表》及在全国排污许可证管理信息平台申报系统中填报相关申请信息，同时适用于指导核发机关审核确定稀有稀土金属冶炼排污单位排污许可证许可要求。排污许可制度的建立和实施是国家的法律要求，但不同稀土金属种类加工方式和排放特征不同，其原料类型、生产工艺、设备装备水平、资源能源消耗、产排污节点及特征污染物、污染治理设施等都存在很大的不同，排污许可实施难度较大，需要具体的技术规范来支撑相关工作开展。该标准规定了稀土金属冶炼排污单位排污许可证申请与核发的基本情况填报要求、许可排放限值确定、实际排放量核算、合规判定的方法以及自行监测、环境管理台账与排污许可证执行报告等环境管理要求，提出了稀土金属冶炼排污单位污染防治可行技术要求。该标准可以指导和规范稀土金属业冶炼排污单位排污许可证的申请与核发工作，科学有效地实施排污许可制度，为环境影响评价、排放标准、总量控制、环境监测、环境监察等管理提供支持，也有利于促进行业的降耗减排。

(4) 资源综合利用标准

3 项国际标准《Recycling of rare earth elements —Requirements for providing

information on industrial waste and end-of-life products》,《Recycling of rare earth elements—Methods for the measurement of rare earth elements in industrial waste and end-of-life products》,《Exchange of information on rare earth elements in industrial wastes and end-of-life cycled products》由韩国牵头起草,于2020年和2021年发布,分别规定了包括磁材、荧光粉、镍氢电池、抛光粉、催化剂、激光晶体及其它稀土废料的典型稀土废料的分类及编号,稀土废料的取制样方法、检测方法和检出限,以及稀土废料的信息交换方法、内容、流程,用以指导企业建立稀土废料追溯系统。国际标准《Rare earth-Neodymium iron boron (NdFeB) magnet wastes-Classification, general requirements and acceptance conditions》由中国牵头起草,该标准规定了钕铁硼加工过程废料及报废产品废料的分类方法、废料形态、含量、来源、牌号等内容。可见,稀土标准的国际化已成为全球关注焦点。

《钕铁硼生产加工回收料》由国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会2020年11月19日发布并于2021年10月1日实施,适用于钕铁硼生产过程中产生的各类可回收废料的回收、加工与贸易。《稀土火法冶炼回收料》、《硅酸钇镧晶体回收料》由工信部2021年5月17日发布并于2021年10月1日实施,分别适用于采用熔盐电解或热还原工艺生产的稀土火法冶炼回收料的回收、加工与贸易,以及硅酸钇镧晶体生产、加工过程中产生的各类可回收物料的回收、加工与贸易。《稀土靶材回收料》正处于报批阶段,该标准适用于稀土

靶材生产、加工、使用过程中产生的各类可回收物料（以下简称回收料）的回收、加工与贸易。以上标准分别规定了钕铁硼生产加工回收料、稀土火法冶炼回收料、硅酸钇镧晶体、稀土靶材回收料的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及随行文件等，并对各回收料的分类、品名、来源工序、特点、组成进行了详细梳理，为典型稀土二次资源的回收、加工与贸易提供了标准化依据，有力促进稀土二次资源的回收和循环利用，实现中国宝贵稀土资源的集约化高效高值利用，并为未来国际范围内稀土资源的回收利用奠定基础。

（来源：中国稀土学报）