

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2023年 第09期 总第119期

本期要闻

- ◎ 我国成功研发新型稀土开采技术
- ◎ 供给层面出现一定扰动 预计短期稀土价格有望震荡走强
- ◎ 江西赣州经开区推动稀土产业绿色高质量发展
- ◎ 工业和信息化部 自然资源部关于下达2023年第二批稀土开采、冶炼分离总量控制指标的通知

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 1-10

- ◎ 我国成功研发新型稀土开采技术
- ◎ 供给层面出现一定扰动 预计短期稀土价格有望震荡走强
- ◎ 江西赣州经开区推动稀土产业绿色高质量发展
- ◎ 挪威有望成为首个深海采矿国
- ◎ 美国稀土公司揭示提取和分离稀土元素的生物技术
- ◎ 马来西亚同意禁止稀土原材料出口建议

◇ 科技前沿 11-22

- ◎ 山东大学在基于稀土掺杂 YAG 单晶薄膜的固态微腔激光研究中取得新进展
- ◎ 北京大学黄闻亮课题组实现稀土元素的单中心两电子氧化
- ◎ 福建物构所实现稀土掺杂 KMgF_3 纳米晶的高阶光子雪崩上转换
- ◎ 大连民族大学在稀土掺杂钙钛矿领域取得重要进展

◇ 政策法规 23-25

- ◎ 工业和信息化部 自然资源部关于下达 2023 年第二批稀土开采、冶炼分离总量控制指标的通知

◇ 市场行情 26-30

- ◎ 2023 年 9 月稀土价格走势

◇ 稀土知识 31-33

- ◎ 稀土元素在催化剂中的作用
- ◎ 稀土有机电致发光材料

◇ 文章摘要 34-36

- ◎ 不同前驱体对聚丙烯酰胺凝胶法制备氧化钪稳定氧化锆纳米粉体的影响
- ◎ 稀土掺杂单色上转换发光纳米晶材料研究进展
- ◎ 乙酸对稀土浸出液中和除铝过程的影响
- ◎ 硫化物渣中有价元素高效回收工艺研究

☆ 期刊目录

37-38

◎ 中国稀土学报 (2023 No.3)

◎ 稀土 (2023 No.5)

我国成功研发新型稀土开采技术

9月15日，在广东省梅州市举行的科技成果评价会上获悉，我国科学家成功研发出风化壳型稀土矿电驱开采技术，稀土回收率提高约30%，杂质含量降低约70%，开采时间缩短约70%。

据了解，风化壳型稀土矿是我国的特色资源。目前普遍采用的铵盐原地浸取技术在生态环境、资源利用效率、浸出周期等方面存在的问题制约了我国稀土资源的高效绿色利用。

针对相关问题，中国科学院广州地球化学研究所何宏平团队基于风化壳型稀土矿中稀土赋存状态的研究，研发了风化壳型稀土矿电驱开采技术。模拟实验、放大试验和场地示范等表明，与现有开采工艺相比，风化壳型稀土矿电驱开采技术在稀土回收率、浸取剂用量、开采周期以及杂质去除等方面均有显著优化，是风化壳型稀土矿开采的高效绿色新技术。

相关成果在《自然·可持续性》等期刊发表高水平论文11篇，获授权发明专利7件，并建成了5000吨土方规模的示范工程。研究团队表示，将加紧完善技术集成，加快推进相关成果的产业化应用。

上述科技成果评价会由来自国内高校、科研院所及企业的院士和知名专家参加。

（来源：新华网）



供给层面出现一定扰动 预计短期稀土价格有望震荡走强

华泰证券发布研究报告称，稀土供应端近期出现一些扰动：1）8月底龙南

地区环保整改，部分企业将停产减产；2) 缅甸封关消息传出。目前停产及封关时间均无法确认，因此暂无法确认对供给的冲击，但该行预计情绪面有一定提振作用。此外受十一节前备货影响，往往 9 月起下游逐渐进入旺季，供给扰动叠加需求有望复苏，该行预计短期稀土价格有望震荡走强。考虑到 23 年第二批配额尚未下达，且配额对国内供需格局影响较大，后续需关注第二批配额制定情况。

华泰证券主要观点如下：

供给层面出现一定扰动，期待 Q4 传统旺季需求复苏

据 SMM 等消息，近期有缅甸封关消息传出。据海关统计平台，23 年 1-7 月中国累计进口未列名氧化稀土 2.67 万吨，同比增加 554%。据 SMM，这部分进口量大部分来自缅甸，占比约 97%。目前暂时无法确认缅甸封关对进出口的影响及封关时间，但因占比相对较大，该行预计情绪面有一定提振作用，后续需关注事件进一步进展。此外，受十一节前备货影响，行业往往 9 月起下游逐渐进入旺季，历史上价格多走强。近期供给现扰动叠加需求有望复苏，该行预计短期稀土价格有望震荡走强。

北方稀土 9 月挂牌价为 23 年内首次上调

北方稀土挂牌价为月度定价，一般在月初公布本月价格，因北方稀土在配额中占比较大，因此其挂牌价对现货市场价格有一定的指导作用。据包头稀土产品交易所，23 年以来，北方稀土挂牌价数次下调，反映出市场供给略过剩的状态，而 9 月首次上调挂牌价，镨钕系产品售价均有小幅上调，一定程度上反映出头部生产企业对后市价格偏乐观。

国内配额直接影响国内稀土供给，需关注第二批配额制定情况

国家对稀土开采、稀土冶炼分离实行总量指标管理，23年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标于3月24日发放，其中矿产品、冶炼分离产品（折稀土氧化物）配额分别为12、11.5万吨，分别同比19%、18%。目前23年第二批配额尚未下达。国内配额直接影响国内稀土供给，因此第二批配额的情况将直接影响23H2稀土供需格局，进而影响价格走势。

人形机器人等新兴领域有望长期提振稀土需求

十四五以来，中央和地方陆续推出支持人形机器人产业发展的政策，该行认为人形机器人的发展将成为稀土永磁需求新的增长点。以特斯拉人形机器人擎天柱为例，无论用到何种电机，永磁体必不可少。钕铁硼具备高效低能耗、控制性能好、稳定性强等优点，是较好的选择。钕铁硼的直接原料为稀土，该行认为以人形机器人为代表的新领域有望持续拉动稀土下游需求增长。

风险提示

第二批配额超预期、供给扰动不及预期、需求恢复不及预期等。

（来源：华泰证券）

江西赣州经开区推动稀土产业绿色高质量发展

稀土被誉为现代工业的“维生素”，江西省赣州市素有“稀土王国”的美誉。如今，赣州市稀土产业规模已占到全国总量的三分之一，形成了链条完整、特色鲜明的稀土产业体系，已发展成为我国重要的离子型稀土产品生产基地及新材料产业基地。站在新的历史起点，赣州市致力于打造“中国稀金谷”，促进稀土产业发展实现绿色化、高端化、国际化。

近日，赣州市富尔特电子股份有限公司（以下简称富尔特公司）新设立的年产 5000 吨高端绿色稀土永磁材料建设项目设备正陆续进场安装调试，准备试生产，这标志着国内首条智能化、绿色一体化高端钕铁硼生产线诞生。

该项目将建设智能立库，打造无人 AGV 小车运营高智能化生产线。同时，该生产线将实现稀土永磁固废绿色短流程高效再生，稀土资源总回收率达到 90% 以上，且再生磁体性能不低于原生磁体，碳排放减排率达到 67% 以上，减少稀土资源再生利用过程中对环境的污染，助推稀土永磁材料绿色可持续发展。

近年来，赣州经开区以稀土永磁产业绿色高质量提升为重点，加快培育一批技术先进、质量水平高的稀土永磁优势企业，不断做大产业集群，稀土永磁产业已成为江西赣州经开区“2+N”产业体系中的重要一环，先后培育了金力永磁智能工厂、睿宁新材料二期、中车生一伦电机、澳克泰改造扩产等一批稀土永磁产业重点项目。

富尔特公司是江西赣州经开区以绿色智能推动稀土产业迈向高质量发展的一个鲜活样本。坚持走绿色低碳发展道路，积极开发绿色技术，制订绿色标准，建设绿色工厂，积极探索绿色设计与制造一体化新模式，通过绿色设计平台建设、绿色关键工艺突破、系统节能改造等方式，持续淘汰落后产能，减少工序链，不仅增加了该企业的知名度，提升了其在行业内的影响力，同时也降低了企业运营成本，提高了经济效益。2015—2022 年期间，富尔特公司年营业收入复合增长率达到 31.7%。

“企业要想高质量发展，创新是关键，标准化是重要手段。企业掌握了标准的制订权，就掌握了行业的话语权、市场的主动权。”富尔特公司总经理喻玺说，富尔特公司近年主导和参与了《绿色设计产品评价技术规范再生烧结钕铁硼永磁

材料》《废旧烧结钕铁硼磁体再生利用技术规范》等标准的制订和建立，凭借标准的特殊地位和作用，有效地推动了稀土产业绿色健康发展，也扭转了人们对稀土行业高污染、高排放的固有印象。当前，富尔特公司生产的高性能稀土永磁材料已被广泛应用于新能源汽车、手机、风力发电、轨道交通等众多领域。

为提高江西稀土企业绿色智能化水平，赣州经开区成立了稀土永磁产业标准联盟，建立了企业标准“领跑者”制度，并与中国标准化委员会签订服务协议，推动企业积极参与行业标准、国家标准乃至国际标准的制修订工作。目前，赣州经开区稀土企业已主导或参与国际标准制修订 2 项，国家标准制修订 70 余项，行业标准制修订 20 余项。

只要功夫深，稀土变“稀金”。未来，江西赣州经开区将持续助推稀土企业技术改造和产业绿色转型升级，助力“中国稀金谷”成为辐射全国、面向世界的重要绿色稀土产业基地。

（来源：中国有色金属报）



挪威有望成为首个深海采矿国

据 Mining.com 网站援引路透社报道，尽管国际社会呼吁全球暂停深海采矿，但如果挪威议会批准政府的一项提案开放一片面积超过英国的海域，那么该国可能成为首个开始商业性深海采矿的国家。今年秋天，议会将对政府的提案进行讨论。

为什么挪威希望开采海底矿产？

挪威政府称，深海采矿能够帮助欧洲减少动力电池、风力涡轮发电机和太

太阳能板等生产所需关键矿产对外依赖。这也是挪威政府开发新的海洋产业战略的一部分，该国最大出口商品海上油气生产将逐渐萎缩。挪威政府的提议是什么？工党为首的少数派政府提出开放扬马延岛与斯瓦尔巴德群岛之间的 28 万平方公里（10.8 万平方英里）海域用于采矿。这项计划与油气勘探海区的开放原则相似，可以采取整个海区、较小的区域或区块等方式出让给公司进行勘探开发。虽然海底矿产开采的国际规则尚未制定，但挪威不需要等待，因为该国计划在大陆架延伸带上勘探矿产。

挪威希望从海底开采什么矿产？

政府主导的一项调查发现“大量”的金属和矿物，从铜到稀土元素。这些矿物发现在多金属硫化物中，或所谓的“黑烟囱”，它们位于 3000 米（9842 英尺）深。此处海水与从构造裂隙上升至海底的岩浆接触反应，然后携带溶解金属和硫沉积成矿。稀土元素，比如钪也发现在锰结壳中，锰结核以每一百万年一厘米（0.4 英寸）的速度生长。挪威调查证实结壳矿床沉积厚度高达 40 厘米。

海底有生命吗？

1000 米（0.62 英里）深处没有光，温度接近零，水压力高。不过在该深度存在生命。科学家在活动深海热泉周边发现独特物种，例如珊瑚，管虫与微生物。关于这些生态系统的知识欠缺。

对环境的风险是什么？

挪威政府委托进行的一项环评认为，深海采矿影响仅限于局部，即开采区域周边，对渔业的影响不大。公司称，他们计划从不活动的热泉开采矿产，其生物多样性少。但是，一些科学家称他们担心实际开采过程中会毁灭这些物种，甚至在它们被发现之前。挪威政府的提议遭到一些绿色组织的批评，比如

世界野生动物基金会（World Wildlife Fund），甚至其国内环境机构也提出了批评意见，他们认为关于深海生态的认识严重不足，无法决定是否开放。

其他国家怎么说？

丹麦表示，挪威对该地区开放深海采矿的环境研究不足，而冰岛则质疑挪威在北极斯瓦尔巴特群岛附近勘探海底矿产的专属权利。挪威不是欧盟成员，但却是欧洲单一市场的一员。一些分析人士表示，欧盟对这一问题的看法对挪威政府的计划至关重要。挪威受到欧盟实现关键矿产进口多元化和提高本土产量的计划鼓舞。不过，欧盟议会也呼吁成员国支持全球暂停海底采矿。欧盟委员会也一直在呼吁在更多了解风险之前暂停深海采矿。

如何从海底开采矿产？

虽然世界其他地方已经建造机器进行了试生产，但挪威尚未有商业性开发技术。挪威研究人员采用了海底机器人和钻探设备采集了海底矿物样品。在提升到海面之前，挪威海底开采矿产需要对掩饰进行切割和破碎。提供石油工业技术和服务的一些挪威企业也希望进军深海采矿。

（来源：全球地质矿产信息系统）



美国稀土公司揭示提取和分离稀土元素的生物技术

American Rare Earths Ltd（ASX:ARR,OTCQB:ARRNF）是一家专注于稀土元素提取和生产的公司，推出了一种突破性的生物技术方法，以更具成本效益和可持续的方式提取和分离这些有价值的矿物。该公司正在与宾夕法尼亚州立大学和劳伦斯利弗莫尔国家实验室的研究人员合作开发这种创新方法。

稀土元素作为电动汽车电池、风力涡轮机、航空航天和国防等各个行业的重要组成部分，其需求量越来越大。然而，目前这些元件的全球供应链严重依赖中国，中国占据了 85% 以上的市场份额。这种对单一来源的依赖给供应链带来了重大风险，特别是考虑到最近的地缘政治紧张局势和中国政府实施的出口管制。

为了满足不断增长的需求和国内稀土供应的需要，美国稀土公司计划利用其位于怀俄明州的旗舰哈勒克溪项目。该项目拥有惊人的 14.6 亿吨稀土矿物储量，其中包括钕和镨等重要的磁性金属。通过实施新开发的生物技术方法，该公司希望以可持续且环保的方式提取这些稀土元素。

这项突破性技术依赖于一种名为兰莫杜林的蛋白质，该蛋白质源自细菌。宾夕法尼亚州立大学的研究人员发现兰莫杜林具有与特定稀土元素结合并将它们彼此分离的独特能力。与较重的稀土元素（如镨）相比，该蛋白质在与较轻的稀土元素（例如钕）结合时表现出不同的行为。这种差异允许使用兰莫杜林选择性提取和分离不同的稀土元素。

传统的稀土分离方法涉及使用有毒化学品和复杂的工艺，既耗能又对环境有害。相比之下，美国稀土公司开发的生物技术方法提供了一种更环保、更高效的替代方案。基于蛋白质的方法无需使用有毒化学品，并且可以在室温下操作，从而简化了分离过程并降低了相关成本。

研究小组创新地使用从英国橡树芽中分离出的细菌中提取的兰莫杜林，在区分稀土元素方面显示出有希望的结果。通过利用蛋白质的独特性质并优化分离过程，美国稀土公司旨在为国内稀土生产建立可扩展且可持续的解决方案。

美国稀土公司致力于开发更清洁、更具成本效益的稀土加工方法，这与其满足关键工业和国家安全要求的目标是一致的。该公司积极参与美国政府资助的研究计划，以推进稀土采矿领域的生物技术和可持续实践。

凭借其旗舰哈莱克溪项目以及亚利桑那州拉巴斯和内华达州探照灯等其他项目，美国稀土公司准备为减少对外国稀土供应的依赖做出重大贡献，并建立可靠的低成本和环保稀土来源北美元素。

兰莫杜林的利用和美国稀土公司开发的生物技术方法代表了稀土元素提取和分离方面的重大进步。通过将科学创新、可持续发展和国内生产相结合，该公司有望对稀土行业产生重大影响，并为全球关键行业确保更具弹性的供应链。

(来源：产业前沿)



马来西亚同意禁止稀土原材料出口建议

科学、工艺及革新部部长郑立慷表示，该部同意首相拿督斯里安华制定禁止稀土原材料出口政策的建议，以确保协助发展大马稀土的下游工业。他指出，如果大马将稀土原材料出口，这无法协助大马发展与稀土有关的工业。

“为了让我们（的工业）增值，我们必须发展下游工业，禁止稀土原材料出口。”“在一些国家确实有这（禁止出口）政策，例如印尼也禁止镍矿石原材料出口。”

他今午在务边乡区转型中心主持务边国会选区“科学、工艺、工程及数学”

(STEM) 嘉年华 2.0 闭幕礼后，被媒体询及政府建议禁止稀土原材料出口一事，如是指出。出席者包括务边国会议员陈家兴、霹雳州行政议员黄诗情、郑国霖和阿兹兰希尔米、新邦波赖州议员黄彩仪、前务边国会议员李文材、马来西亚联邦农业销售局霹雳州局长诺善、金宝县议会主席阿末苏卡里等。

另外，郑立慷指出，科学、工艺及革新部正与多个部门合作，成立一个跨部门委员会，以探讨解决 STEM 学生减少的问题。“STEM 对大马要达到 2030 年成为发达国家的宏愿非常重要，因此，我们已与教育部、人力资源部、经济事务及财政部，合作成立一个委员会探讨有关问题。”

较早前，他致辞时指出，为了成为一个发达和高收入国家，我国需要改变劳动力的模式，从依赖劳动力转型为高技能和应用新技术的模式，并且需将我国从技术使用者转变为技术创造者和技术开发者，因此掌握科学、工艺、工程与数学非常重要。

他说，我国面临著科技领域技术人员短缺的问题，无法满足行业的需求，特别是在新兴技术领域。因而，在充满技术和数字挑战的时代，科学、工艺、工程及数学教育对于培养有能力、有竞争力的新一代是至关重要。

他表示，与此同时，现今世界还面临气候变化、粮食安全危机、疾病暴发等各种威胁，所以科学、工艺、工程与数学专家和研究人员需要提出能够克服这些紧迫的问题、保证人们生活质量，并推动世界各地积极变革的解决方案。

(来源：马来西亚建筑通)

山东大学在基于稀土掺杂 YAG 单晶薄膜的 固态微腔激光研究中取得新进展

近日,山东大学物理学院陈峰教授团队在晶体薄膜制备和微腔激光方面取得新进展,提出了一种名为“离子注入增强选择性腐蚀方法”的技术,用于制备稀土元素掺杂的钕铝石榴石(YAG)单晶薄膜,并基于该材料制备微腔固态激光器,实现毫瓦级的激光输出。相关研究成果以"Optically pumped Milliwatt Whispering-Gallery microcavity laser"为题发表在光学领域期刊 *Light:Science & Applications*(影响因子 19.4)。该论文的第一作者是博士研究生李慧琦,通讯作者为谭杨教授、陈峰教授,合作作者包括王磊教授和博士研究生王赵聪。山东大学是该论文的第一作者单位和唯一通讯作者单位。

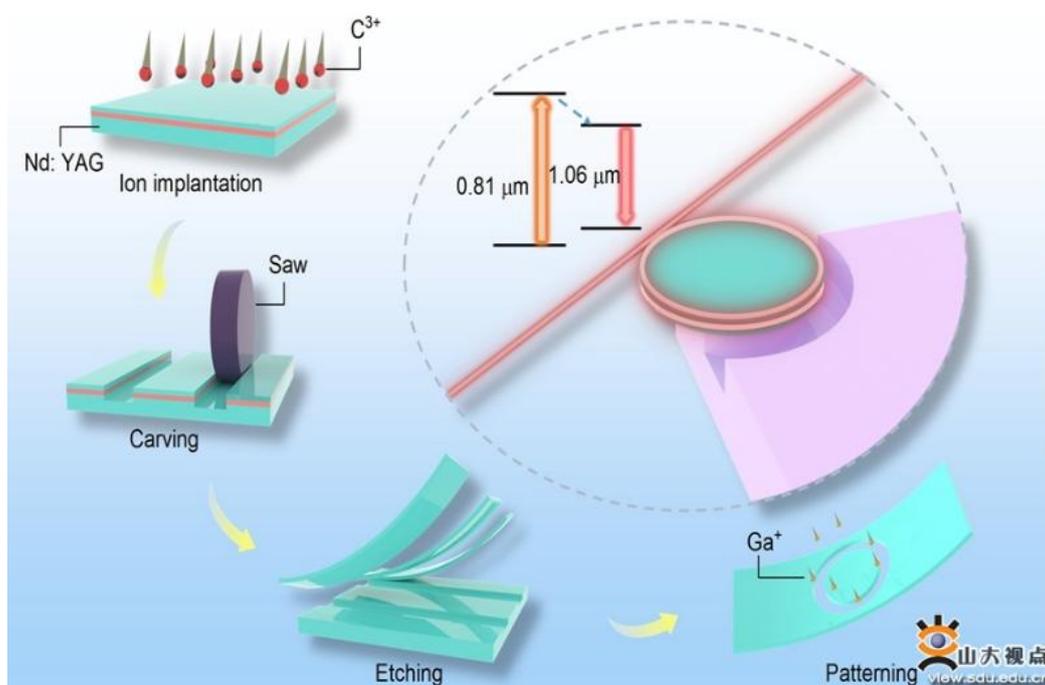


图 1 微腔固态激光器制备流程

稀土元素掺杂的 YAG 晶体是最优秀的固态激光增益介质之一,具有高增益、

高硬度、良好的化学稳定性和高热传导性等特点。通过掺杂各种稀土元素，可以在近红外至中红外波长范围(1 微米至 3 微米)内发射激光，在传统的固体激光器中有广泛的应用。然而，YAG 晶体的高稳定性和高硬度使得它难以通过化学和物理手段进行微纳加工，从而限制了其在微纳激光系统中的应用。为了解决这个问题，研究团队将碳离子注入到 Nd:YAG 晶体内，形成了一个缺陷层，利用这个缺陷层加速了化学腐蚀作用，成功地将厚度为 1 微米的 Nd:YAG 单晶薄膜从 Nd:YAG 块状晶体中剥离出来，最大剥离面积为 $10 \times 0.1 \text{ mm}^2$ 。基于这个晶体薄膜，他们制备了直径为 30 微米的耳语回廊模式固态微腔激光器，微腔的 Q 值为 2.8×10^5 。微腔激光的最大输出功率为 1.1 mW，最大光转化效率为 12.4 %，这些参数是目前报道的微腔固态激光器的最大值。此外，研究人员还制造了独特的偏心微腔，实现了有效的自由空间泵浦光耦合，促进了微腔与波导的集成。这项研究为构建紧凑型光子源提供了一个新路径。

该工作得到了国家自然科学基金的资助，以及晶体材料国家重点实验室的支持。

(来源：山东大学)



北京大学黄闻亮课题组实现稀土元素 的单中心两电子氧化

两电子氧化在合成和催化中无处不在，并起着举足轻重的作用。对于过渡金属和钢系元素来说，两电子氧化常发生在单个金属中心，如氧化加成反应和氧原子转移反应等(图 2a)。然而，由于缺乏可变氧化态，稀土元素的氧化反应局限于

单电子过程，如常用的单电子还原剂 SmI_2 和单电子氧化剂 $(\text{NH}_4)_2[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]$ ，而两电子过程则需要两个或以上金属中心的参与(图 2b)。近年来，稀土元素非寻常氧化态化学的发展为实现单一稀土元素中心的两电子过程提供了可能。但是，非正三价稀土离子的不稳定性以及不同价态稀土离子间的巨大差异阻碍了这一目标的实现。近日，北京大学化学与分子工程学院黄闻亮课题组利用三脚架型三胺基芳烃配体成功稳定了铈的三种氧化态(+2 到+4 价)，并首次实现了从 $\text{Ce}(\text{II})$ 到 $\text{Ce}(\text{IV})$ 的两电子氧化(图 2c)。该成果以"Two-electron oxidations at a single cerium center"为题，于 2023 年 9 月 22 日在《美国化学会志》(Journal of the American Chemical Society)上在线发表，并被选为封面文章。

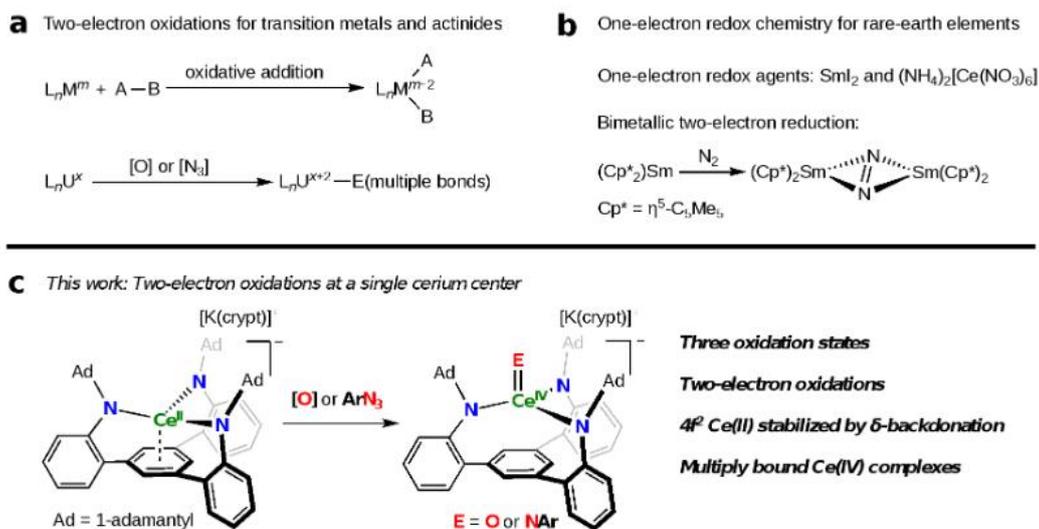


图 2 稀土元素与过渡金属和镧系元素氧化还原化学的比较

该课题组近年来基于“f 区金属 - 芳烃协同作用”的概念，发展了一类三脚架型三胺基芳烃配体并将其引入 f 区金属配位化学(图 3a)。最近，利用金刚烷基取代的配体($(^{\text{Ad}}\text{TPBN}_3)^{3-}$)来稳定铈的五种氧化态(+2 到+6 价)，并证实了底座芳环能够起到同时稳定低价和高价铈离子的作用(图 3b)。在此工作中，作者利用该配体稳定铈的三种氧化态，+2 到+4 价，并首次实现了从 $\text{Ce}(\text{II})$ 到 $\text{Ce}(\text{IV})$ 的两电子

氧化反应(图 3c)。

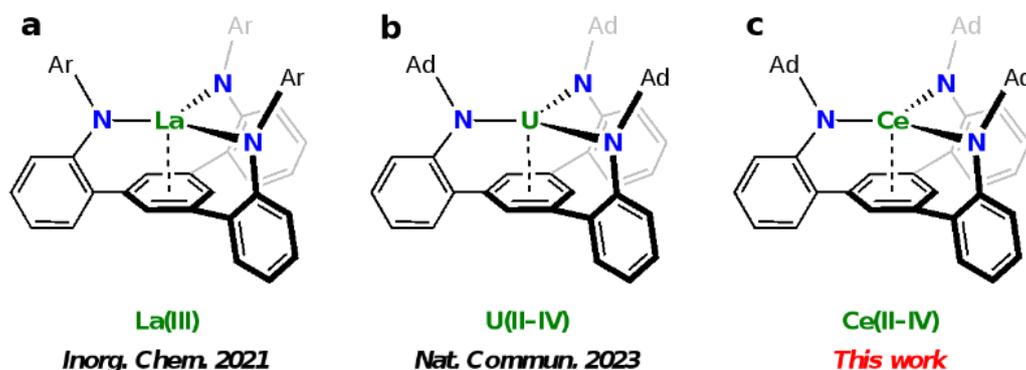


图 3 三脚架型三胺基芳烃配体支撑的 f 区金属配位化学

从配体钾盐 $K_3(^{Ad}TPBN_3)$ 和三价铈前驱体 $CeX_3(THF)_4$ ($X=Br$ or I) 出发, 通过盐复分解反应可得三价铈的配合物 $(^{Ad}TPBN_3)Ce(III)$ (1)。电化学测试结果显示, 1 在 -2.68 V (vs. Fc^+/Fc) 处有一个可逆的还原峰, 而在 -0.26 V (vs. Fc^+/Fc) 则有一个不可逆的氧化峰, 表明 1 的化学还原和氧化是可行的。用 $KC_8/crypt$ (穴醚 222) 还原 1 可以得到二价铈的配合物 $[K(crypt)][(^{Ad}TPBN_3)Ce(II)]$ (K[2])(图 4a)。核磁氢谱显示, 2 中底座芳烃的氢位于极高场 -178 ppm, 表明铈与底座芳烃存在较强的轨道相互作用。尽管 1 与一些常用氧化剂无法得到明确的结果, 但利用 $TeCl_4$ 氧化后再加 Me_3SnF 处理的方法, 可以得到稳定的四价铈的氟化物 $(^{Ad}TPBN_3)Ce(IV)F$ (4); 此外, 1 与 KO^tBu 反应后再通入氧气可以得到四价铈的叔丁氧配合物 $(^{Ad}TPBN_3)Ce(IV)O^tBu$ (5)(图 4b)。这些结果表明 $(^{Ad}TPBN_3)$ 能够稳定铈的三种氧化态(+2 到+4 价), 为进一步尝试从二价铈到四价铈的直接两电子氧化打下了基础。K[2] 与吡啶氧化物或 3,5-双(三氟甲基)苯基叠氮($N_3Ar^{CF_3}$) 反应, 能够得到四价铈的末端氧配合物 $(^{Ad}TPBN_3)Ce(IV)O$ (K[7]) 或末端亚胺配合物 $(^{Ad}TPBN_3)Ce(IV)NAr^{CF_3}$ (K[8])(图 4c)。这是首个稀土元素的单中心两电子氧化反应。

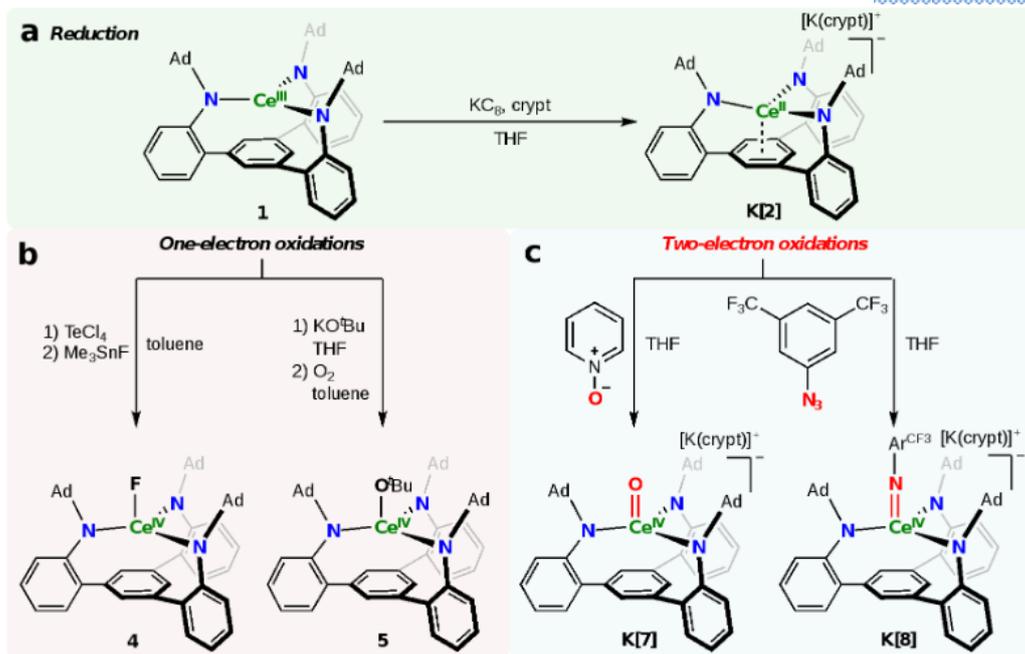
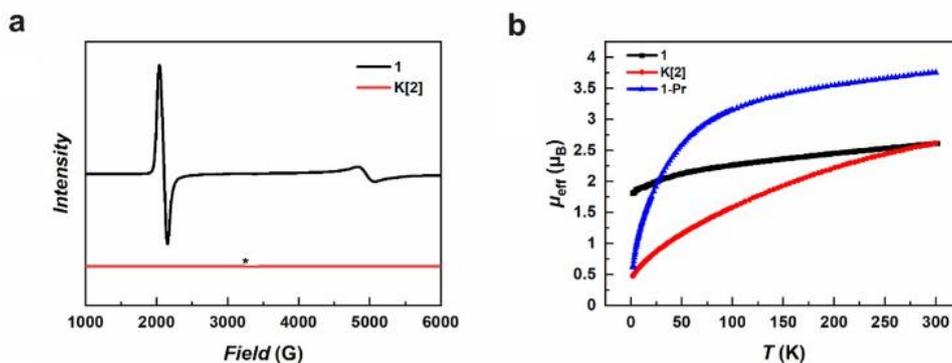


图4 铈配合物的合成及其氧化还原化学：a 三价铈还原为二价铈；b 三价铈的单电子氧化反应；c 二价铈的两电子氧化反应

作者对铈配合物进行了全面的谱学、结构和磁性表征，包括核磁共振波谱、紫外-可见-近红外吸收光谱、红外光谱、单晶 X 射线衍射、超导量子干涉仪磁学(SQUID)和电子顺磁共振(EPR)的表征，来探究其电子结构。二价铈配合物 K[2] 的变温磁化率测试表明，在低温下其磁矩趋近于零，符合 $4f^2$ 电子构型对应的 3H_4 非磁基态；但在室温下其磁矩显著低于“自由 $4f^2$ ”的三价铈离子，表明 $4f$ 轨道可能参与成键。低温 EPR 测试显示，K[2] 的固体样品没有 EPR 信号，而冻溶液样品仅有微弱的可归属于溶剂化电子的信号，排除了 K[2] 为三价铈离子和芳烃自由基阴离子的可能，进一步支持 K[2] 为 $4f^2$ 电子构型的二价铈配合物。



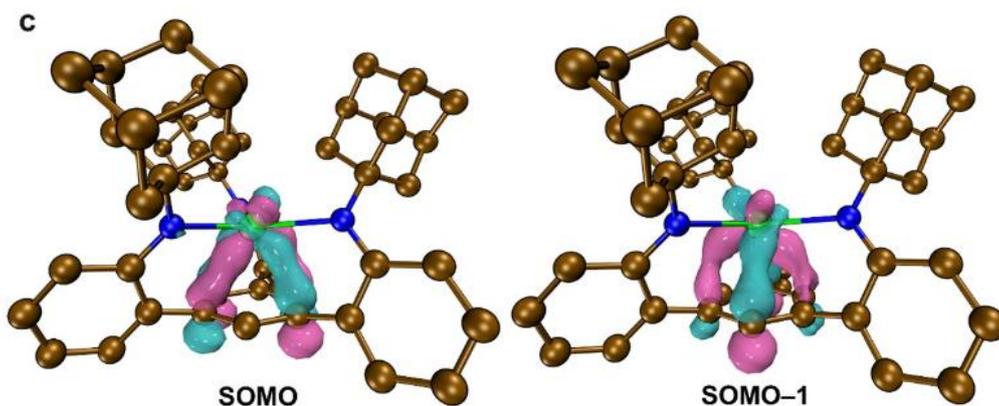


图5 二价铈配合物 K[2]的电子结构：a1 和 K[2]的固体样品在 10 K 下的 EPR 谱；b1, K[2]和 1-Pr 在 1kOe 条件下的变温磁化率数据；c K[2]的 SOMO 和 SOMO-1 轨道

为了进一步探究 K[2], K[7]和 K[8]的电子结构和成键性质,作者进行了基于密度泛函理论(DFT)的计算研究。DFT 计算结果显示,[2]的 SOMO 和 SOMO-1 轨道为近简并的铈 4f 轨道和底座芳烃 π^* 轨道的 δ 相互作用,且铈的 4f 轨道占比要高于底座芳烃 2p 轨道的占比。这一结果表明对二价铈配合物电子结构的最恰当表示是通过 δ 反馈键稳定的 $4f^2$ 电子构型,与文献报道的大多数非传统二价稀土离子 $4f^n 5d^1$ 的电子构型迥异。K[2]特殊的 $4f^2$ 电子构型与配合物结构有关:在近似 C_{3v} 的配位场下,配体底座芳烃的 π 给电子性大幅抬高了 d_{σ} 轨道的能量,而 d_{π} 和 d_{δ} 轨道则参与了与配体胺基氮原子的成键,因此铈的 5d 轨道能量过高无法填充电子;另一方面,还原后铈与底座芳烃的距离显著缩短,在小幅抬高 f_{σ} 轨道能量的同时,通过铈与底座芳烃的 δ 成键作用大幅降低了 f_{δ} 轨道的能量(图 6a)。这一系列因素最终促使二价铈离子采用 $4f^2$ 的电子构型。此外,作者还对四价铈的末端氧配合物 K[7]和末端亚胺配合物 K[8]的铈-氧和铈-氮多重键性质进行了自然局域分子轨道(NLMO)的分析。分析表明,在铈-氧三重键中,两个近简并的 π 键能量显著低于 σ 键,这在多重键中并不常见,之前仅见于铈酰等少数例子中,凸显了铈-氧多重键的强度。与之相反,在铈-氮多重键中, σ 键能量远低于 π 键,而且计算得到的 Wiberg 键级 1.23 也显著低于铈-氧键的 1.58。

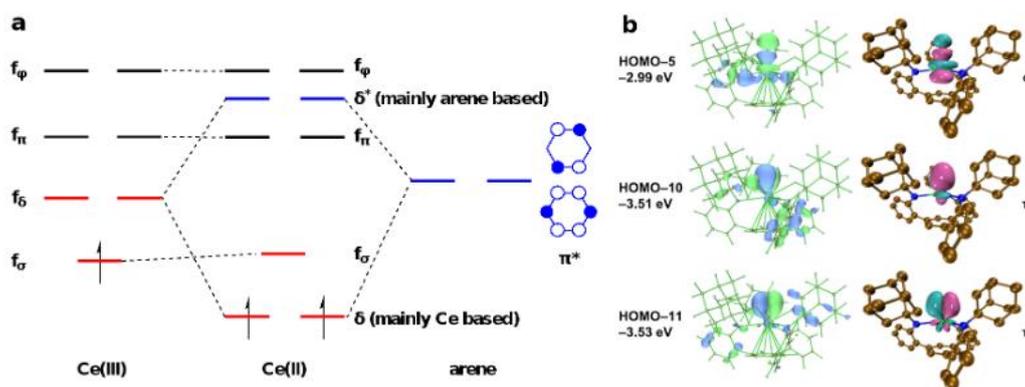


图 6 a 还原前后价层轨道能量和电子排布的变化；b 四价铈末端氧配合物的铈氧 $\pi^4\sigma^2$ 三重键

综上，该项工作合成了一系列三脚架型三胺基芳烃配体支撑的铈(II-IV)配合物，并首次实现了稀土元素的单中心两电子氧化。实验表征和理论计算共同表明，二价铈配合物的电子结构为 δ 反馈作用稳定的 $4f^2$ 电子构型。此外，成键分析揭示了四价铈末端氧和末端亚胺配合物的铈-氧和铈-氮键多重键的特征。这些研究成果开启了稀土氧化还原化学的新篇章，也展示了“金属-芳烃协同作用”这一策略在稳定多种氧化态和构建金属多重键方面的广阔前景。

该论文的第一作者为北京大学化学与分子工程学院博士研究生王怡，博士研究生梁杰锋、邓翀、孙荣、付鹏翔为该工作做出了贡献，王炳武研究员和高松教授为共同作者，黄闻亮研究员为通讯作者。该研究得到了国家自然科学基金、国家重点研发计划、北京大学、北京分子科学国家研究中心等的资助，并得到了北京大学分析测试中心、北京大学高性能计算平台等的支持。

(来源：北京大学)

福建物构所实现稀土掺杂 KMgF_3 纳米晶 的高阶光子雪崩上转换

稀土掺杂光子雪崩上转换纳米晶在超分辨成像、微型激光器、单分子示踪

和量子光学等前沿领域具有广阔的应用前景。然而，由于纳米晶表面和内部羟基缺陷等荧光猝灭效应，目前在常温下实现稀土纳米晶的高阶非线性光子雪崩上转换仍然是稀土发光领域的一个重大挑战。

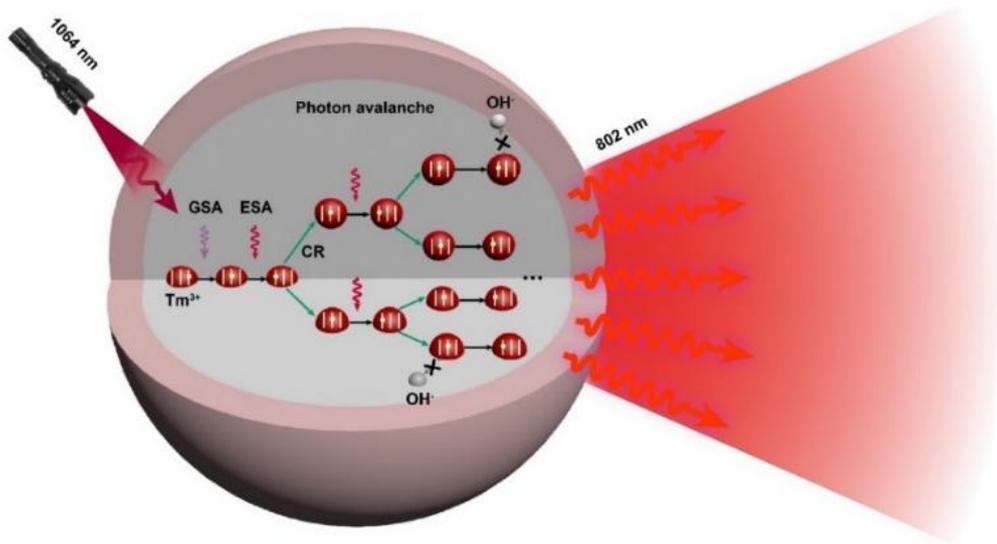


图 7 $\text{KMgF}_3:\text{Tm}^{3+}$ 纳米晶的光子雪崩上转换发光示意图

近日，中国科学院福建物质结构研究所/闽都创新实验室陈学元团队郑伟研究员等提出一种 KHF_2 热分解合成新方法抑制纳米晶表面和内部的 OH^- 缺陷，实现了稀土掺杂 KMgF_3 纳米晶的可控制备和高效发光。通过抑制 OH^- 缺陷，并利用 Tm^{3+} 的异价掺杂加快 Tm^{3+} 之间的交叉弛豫，可实现 $\text{KMgF}_3:\text{Tm}^{3+}$ 纳米晶在 1064 nm 连续半导体激光器激发下 $\text{Tm}^{3+}:\text{802 nm}$ 的 27 阶光子雪崩上转换(图 7)。

团队首先通过设计系列对照实验，采用不同氟源制备 $\text{KMgF}_3:x\%\text{Ln}^{3+}$ 纳米晶，证明了 KHF_2 作为氟源不仅可以诱导自发生成 $\text{KMgF}_3:x\%\text{Ln}^{3+}@\text{KMgF}_3$ 类核壳结构纳米晶，还可以有效抑制纳米晶内部 OH^- 缺陷的产生，从而避免 OH^- 对稀土发光的猝灭，极大地提高了材料的发光性能(图 8)。基于 KHF_2 热分解合成的 $\text{KMgF}_3:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 和 $\text{KMgF}_3:\text{Yb}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$ 纳米晶在 980 nm 激光激发下可分别产

生很强的上转换红光和绿光发射，其上转换发光绝对量子产率分别达到 3.8% 和 1.1% (980 nm@20 W cm⁻²)，是目前已报道的稀土异价掺杂上转换纳米晶最高值。

随后，团队通过抑制纳米晶表面和内部的 OH⁻ 缺陷，并利用 Tm³⁺ 在 KMgF₃ 纳米晶中的异价掺杂形成局部聚集来加快 Tm³⁺ 之间的交叉弛豫过程，实现了常温下 Tm³⁺ 的高阶光子雪崩上转换。在 1064 nm 激发下，Tm³⁺ 通过非共振基态吸收 (GSA: ³H₆ → ³H₅)、共振激发态吸收 (ESA: ³F₄ → ³F_{2,3}) 和交叉弛豫过程 (CR: ³H₄ + ³H₆ → ³F₄ + ³F₄) 形成能量循环，使得 ³H₄ 能级的电子布居数急剧增大，产生 Tm³⁺ 在 802 nm (³H₄ → ³H₆) 的雪崩发射。上转换光谱和功率依赖关系表明，随着纳米晶内部 OH⁻ 的减少，Tm³⁺ 的 802 nm 发光逐渐增强，且非线性阶数 (s) 显著增大 (图 9)，表明对纳米晶内部 OH⁻ 缺陷的抑制可以有效提升稀土离子的光子雪崩上转换。进一步地，团队还研究了 Tm³⁺ 掺杂浓度对光子雪崩上转换的影响。随着 Tm³⁺ 掺杂浓度增大，Tm³⁺ 之间的交叉弛豫加快，光子雪崩的非线性斜率随之增大，阈值功率降低。当 Tm³⁺ 的掺杂浓度为 5.0 mol% 时，非线性阶数达到 27 阶，阈值功率降低至 16.6 kW cm⁻²，响应 (上升沿) 时间为 281 ms (图 10)。由于 Tm³⁺ 的异价掺杂引起的聚集效应，在 KMgF₃ 纳米晶中低浓度的 Tm³⁺ (1.0 mol%) 掺杂即可实现高阶 (s = 23.4) 光子雪崩；而在传统的 NaYF₄ 纳米晶中，Tm³⁺ 的掺杂浓度需要 >8.0 mol% 才可观测到光子雪崩现象，表明稀土离子异价掺杂的 KMgF₃ 体系有望作为比同价掺杂的 NaYF₄ 更加高效的光子雪崩基质材料。

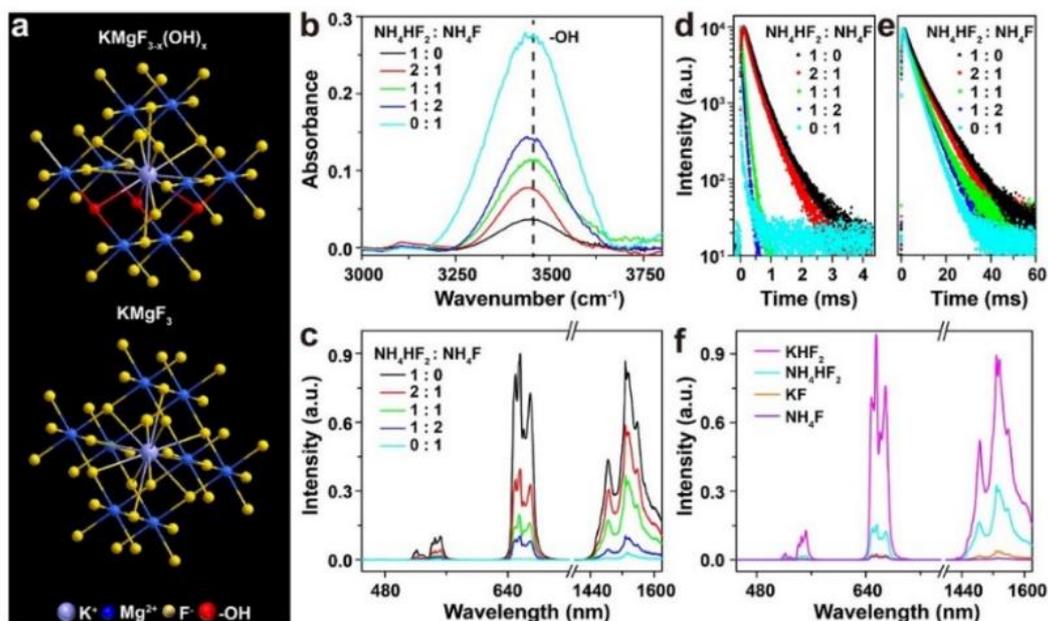


图 8 不同氟源 ($\text{NH}_4\text{HF}_2/\text{NH}_4\text{F}$) 制备 $\text{KMgF}_3:\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 纳米晶: 结构示意图、红外光谱、980 nm 激发下的上转换/近红外二区发射光谱和荧光寿命

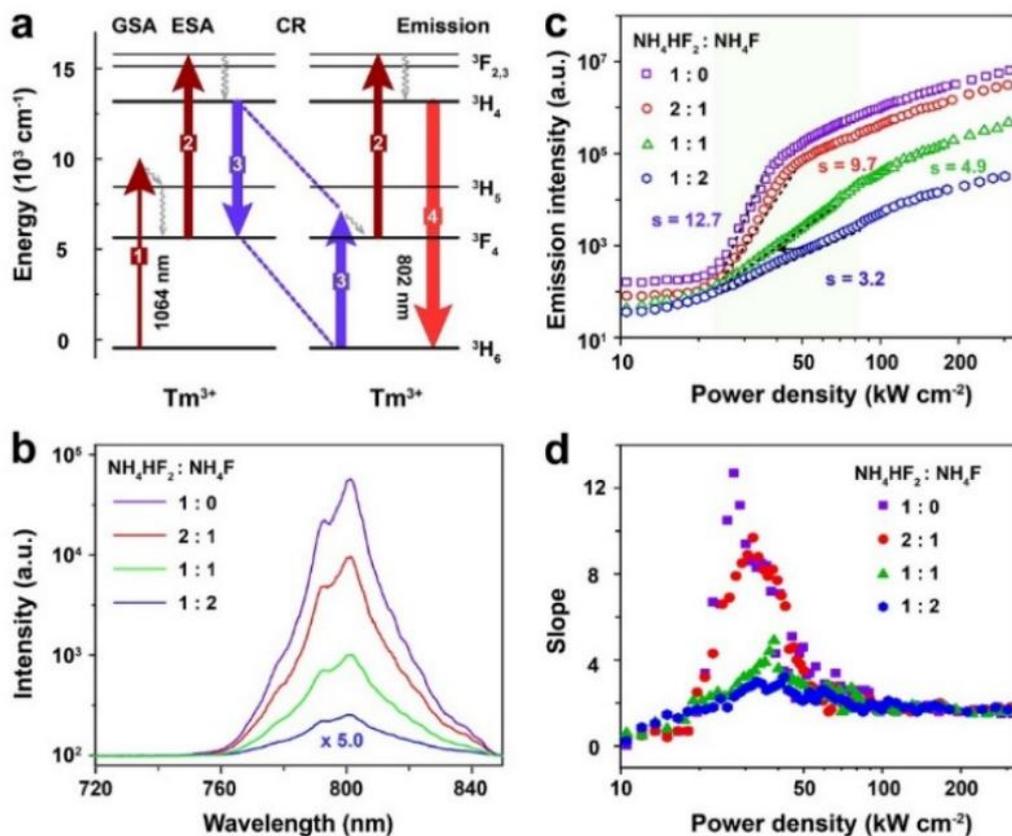


图 9 不同氟源 ($\text{NH}_4\text{HF}_2/\text{NH}_4\text{F}$) 制备 $\text{KMgF}_3:\text{Tm}^{3+}$ 纳米晶的光子雪崩上转换: 1064 nm 激发下, Tm^{3+} 的电子跃迁和光子雪崩过程; Tm^{3+} 的上转换发射光谱; Tm^{3+} 的 802 nm 发射强度及对应的非线性斜率与激发光功率的依赖关系

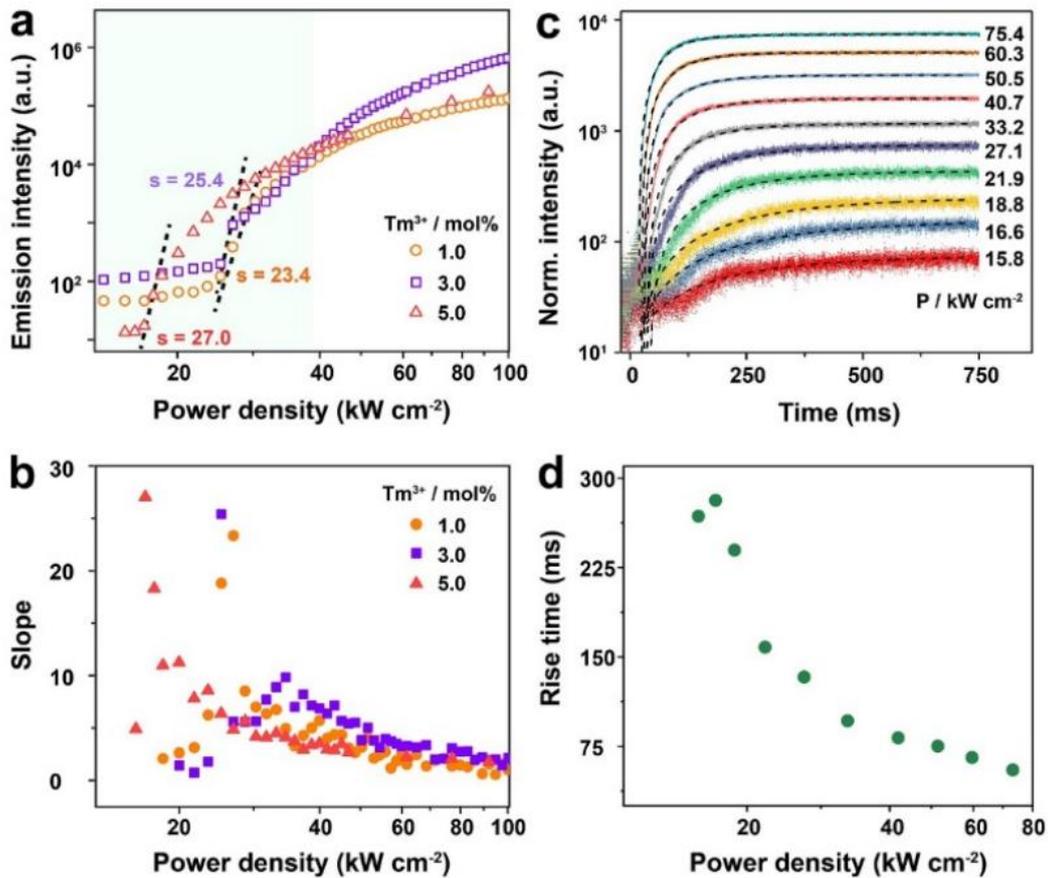


图 10 不同 Tm^{3+} 掺杂浓度 $\text{KMgF}_3:x\%\text{Tm}^{3+}$ 纳米晶的光子雪崩上转换：1064 nm 激发下， Tm^{3+} 的 802 nm 发射强度及对应的非线性斜率与激发光功率的依赖关系；不同激发功率密度下， $\text{KMgF}_3:5\%\text{Tm}^{3+}$ 纳米晶 Tm^{3+} 的 802 nm 发射强度随时间变化曲线； Tm^{3+} 的 802 nm 发射上升沿时间随激发光功率变化关系

该研究不仅提出了一种抑制稀土上转换纳米晶内部羟基缺陷的有效方法，还提供了一种通过稀土离子异价掺杂实现高阶非线性光子雪崩上转换的新策略，为新型高效光子雪崩上转换纳米晶的设计合成及其在超分辨成像和单分子示踪等前沿领域的应用开发提供了新思路。相关结果发表在纳米领域旗舰期刊《纳米快报》。论文的第一作者是中国科学院福建物构所 2020 级博士研究生张美然，通讯作者是中国科学院福建物构所/闽都创新实验室郑伟研究员、商晓颖副研究员和陈学元研究员。该工作得到科技部国家重点研发计划稀土新材料专项、国家自然科学基金和福建省基金等项目支持。

(来源：中科院福建物构所)

大连民族大学在稀土掺杂钙钛矿领域取得重要进展

近日，大连民族大学徐文教授和董斌教授科研团队在稀土掺杂钙钛矿高分辨表征研究领域取得重要进展，相关成果以"Atomic-scale imaging of ytterbium ions in lead halide perovskites"为题发表在国际顶级期刊 Science Advances 上。

稀土掺杂卤化铅钙钛矿已在光电应用中展示出巨大的潜力。然而，长期以来，关于稀土离子 (Ln^{3+}) 的存在与否一直存在争议。我校与东北大学科研团队合作，利用最先进的球差电镜和三维原子探针断层扫描 (APT) 技术，在原子尺度上直接识别了 CsPbCl_3 钙钛矿中的掺杂的 Yb^{3+} 。此外，通过 APT 技术，在近原子尺度上观测到 CsPbCl_3 单晶的团簇现象，并结合密度泛函理论模型进一步证实并解释了相关机制。该研究结果在原子尺度上揭示了钙钛矿中稀土离子的掺杂机制，解决了长期以来钙钛矿中稀土离子存在形式的学术争议。

该研究得到了国家自然科学基金、辽宁省兴辽英才计划、辽宁省和大连市科技项目，以及学校多层面、全方位的支持。

(来源：大连民族大学)

工业和信息化部 自然资源部 关于下达 2023 年第二批稀土开采、冶炼分离总量 控制指标的通知

9月25日，工业和信息化部、自然资源部发布《关于下达2023年第二批稀土开采、冶炼分离总量控制指标的通知》，具体如下：

工信部联原〔2023〕159号

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、厦门钨业股份有限公司、广东省稀土产业集团有限公司，有关省、自治区工业和信息化主管部门、自然资源主管部门：

现将2023年第二批稀土开采、冶炼分离总量控制指标下达给你们。有关事项通知如下：

一、2023年第二批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为120000吨、115000吨。2023年前两批合计稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为240000吨、230000吨。2023年设有预留指标，全年指标数量将综合考虑市场需求变化和各稀土集团指标执行情况等因素最终确定。

二、各稀土集团要在指标下达后，及时商下属企业所在省（自治区）工业和信息化、自然资源主管部门，于10个工作日内完成指标分解下达，并报工业和信息化部、自然资源部及所在省（自治区）工业和信息化、自然资源主管部门备案。

三、指标应集中配置给技术装备先进、安全环保水平高的重点骨干企业，有下列情况之一的企业，不得分配指标：

(一)矿山企业没有采矿许可证、安全生产许可证，超出批准期限的回收利用稀土资源项目或有关部门明确要求停产整改的；

(二)冶炼分离企业使用已列入禁止或淘汰目录的落后生产工艺和冶炼分离产能低于2000吨（折稀土氧化物）/年的，或有关部门明确要求停产整改的；

(三)达不到《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011)和放射性防护等环保要求的，或未按照排污许可证规定排放污染物的；

(四)不符合《尾矿库安全监督管理规定》等尾矿库管理要求的；

(五)长期停产，不具备生产条件的。

四、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。各稀土集团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，不断提升技术工艺水平、清洁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）；利用境外稀土资源要严格遵守进出口有关管理规定。

五、有关省（自治区）工业和信息化、自然资源主管部门要密切配合，进一步加强沟通协调和信息共享，提升依法监管能力，充分利用稀土产品追溯系统等信息化手段，按月调度检查辖区内企业的指标执行情况，不定期开展随机抽查，及时上报抽查结果。

六、各稀土集团须按时上报指标执行情况，以及利用进口矿、独居石等其它各类原料的冶炼分离生产情况；加快企业内部产品追溯系统建设，不得伪报、瞒报、随意更改数据；要切实履行数据安全保护义务，建立健全全流程数据安全管理制度，保障企业生产数据安全。

七、请各稀土集团按照调度报表要求，于每月10日（节假日顺延）前向工业和信息化部上报上月生产数据（含追溯系统数据填报）。

2023年第二批稀土开采、冶炼分离总量控制指标

序号	稀土集团	矿产品 (折稀土氧化物, 吨)		冶炼分离产品 (折稀土氧化物, 吨)
		岩矿型稀土 (轻)	离子型稀土 (以中重为主)	
1	中国稀土集团有限公司	26086	5576	29895
2	中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司	85707		78831
3	厦门钨业股份有限公司		1474	1707
4	广东省稀土产业集团有限公司		1157	4567
	其中: 中国有色金属建设股份有限公司			1555
合计		111793	8207	115000
总计		120000		115000

注: 以上不包含已下达的2023年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标。

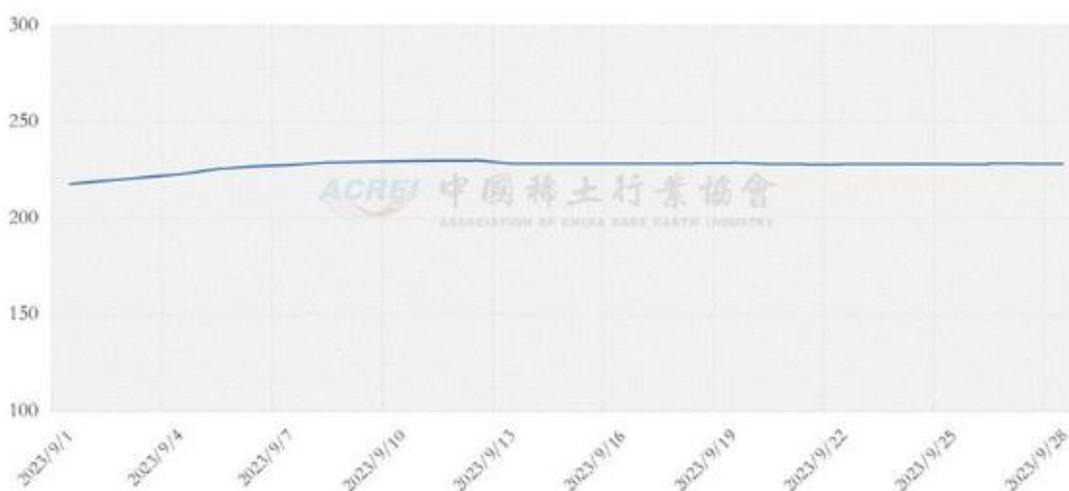
(来源: 中国稀土)

2023年9月稀土价格走势

一、稀土价格指数

9月份，稀土价格指数呈现出前半月缓慢上行，后半月基本平稳的变化态势。本月平均价格指数为227.1点。价格指数最高为9月12日的229.9点，最低为9月1日的217.5点。高低点相差12.4点，波动幅度为5.5%。

2023年9月稀土价格指数走势图



二、中钇富铈矿

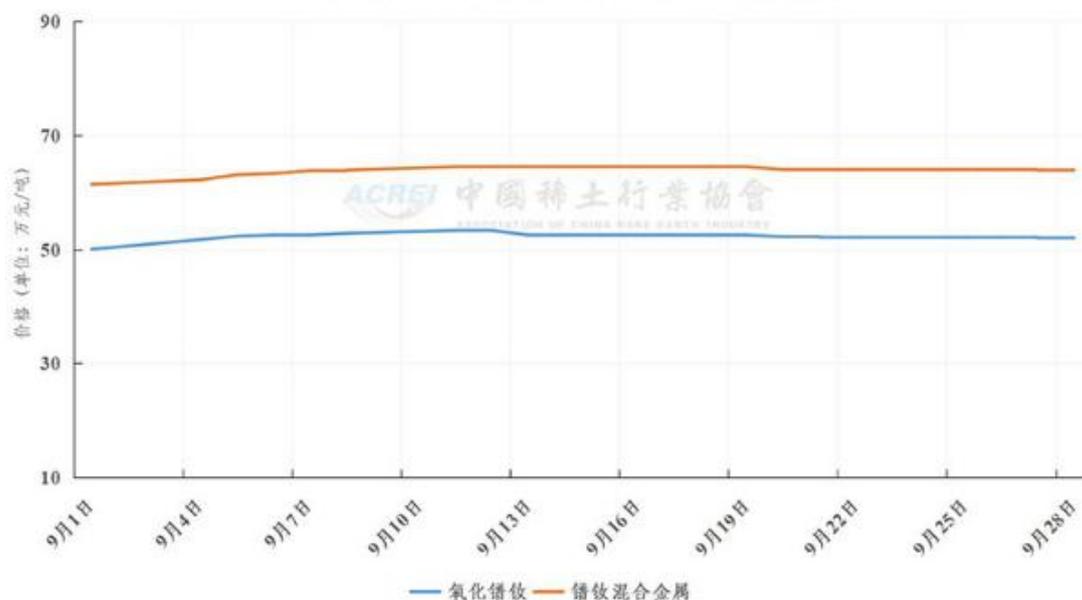
中钇富铈矿9月份均价为24.43万元/吨，环比上涨11.1%。

三、主要稀土产品

(一) 轻稀土

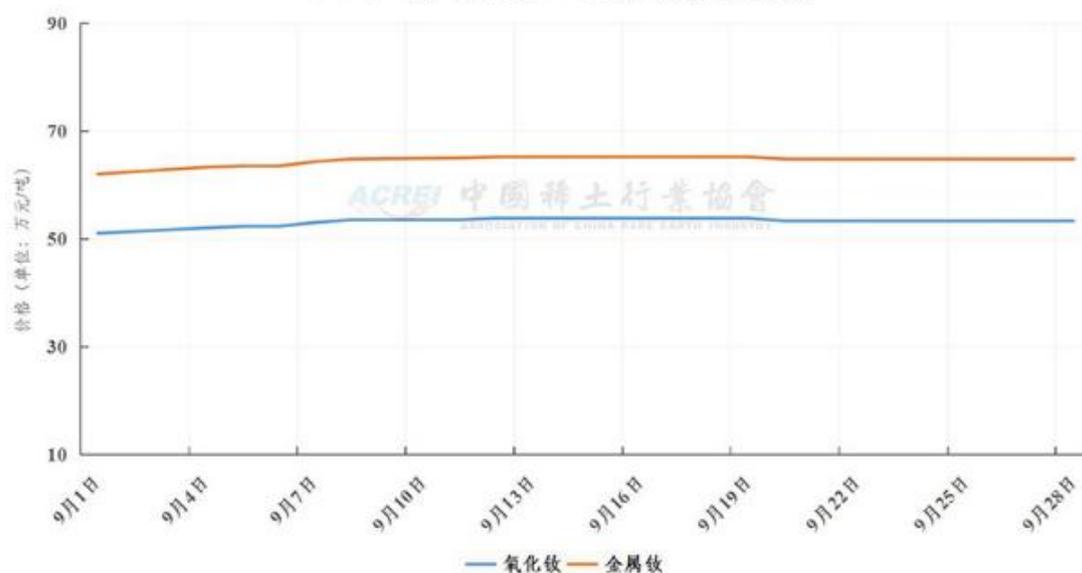
9月份，氧化镨钕均价为52.28万元/吨，环比上涨8.0%；金属镨钕均价为63.85万元/吨，环比上涨7.6%。

2023年9月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



9月份，氧化钕均价为 53.18 万元/吨，环比上涨 7.4%；金属钕均价为 64.56 万元/吨，环比上涨 7.7%。

2023年9月氧化钕、金属钕价格走势

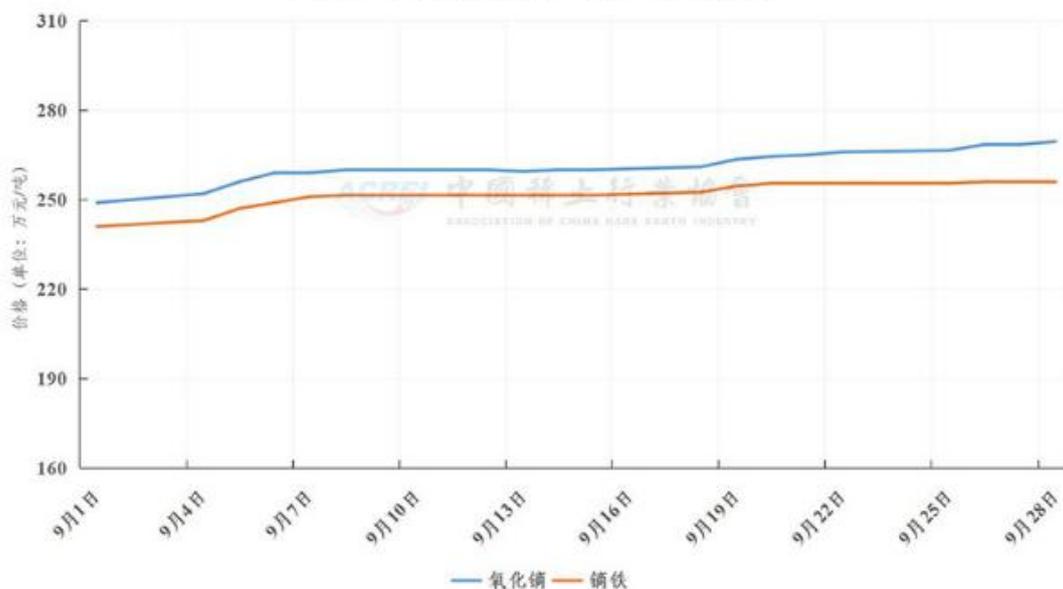


9月份，氧化镨均价为 52.33 万元/吨，环比上涨 5.9%。99.9%氧化镧均价为 0.50 万元/吨，环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为 19.80 万元/吨，环比与上月持平。

(二) 重稀土

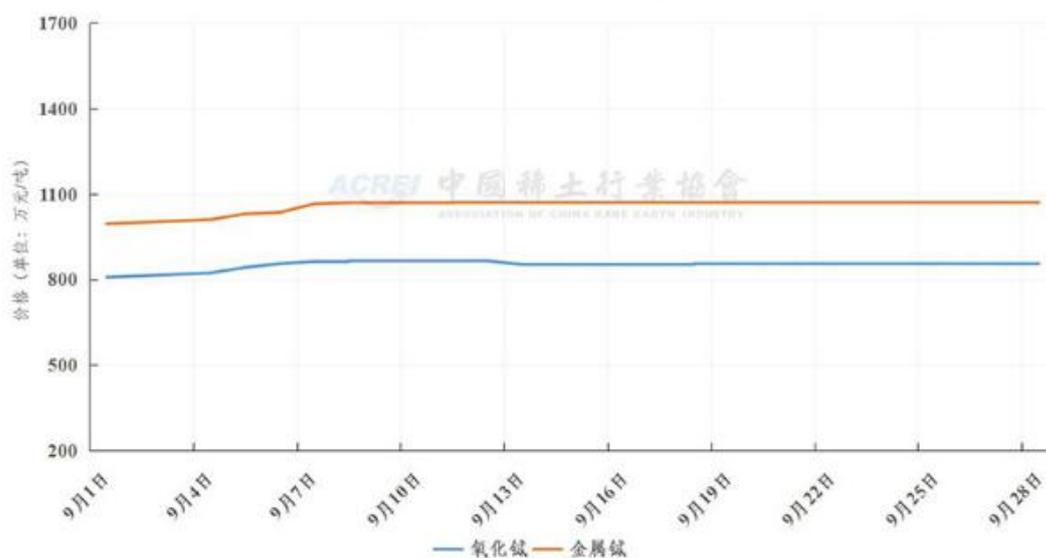
9月份，氧化镝均价为261.38万元/吨，环比上涨10.0%；镝铁均价为251.85万元/吨，环比上涨10.3%。

2023年9月氧化镝、镝铁价格走势



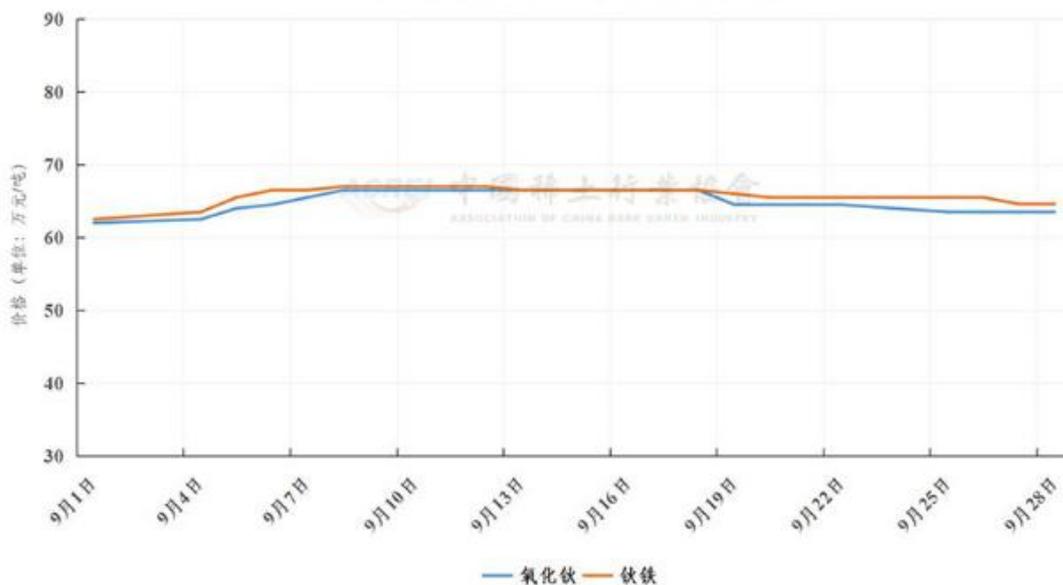
9月份，99.99%氧化铽均价为851.80万元/吨，环比上涨13.9%；金属铽均价为1059.20万元/吨，环比上涨11.9%。

2023年9月氧化铽、金属铽价格走势



9月份，氧化钬均价为64.80万元/吨，环比上涨12.3%；钬铁均价为65.71万元/吨，环比上涨12.9%。

2023年9月氧化钬、钬铁价格走势



9月份，99.999%氧化钇均价为4.50万元/吨，环比下跌4.6%。氧化铥均价为30.29万元/吨，环比上涨13.0%。

表1 2023年9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	2023年8月平均价	2023年9月平均价	环比
氧化镧	≥99%	5.00	5.00	0.00%
氧化铈	≥99%	5.00	5.00	0.00%
氧化镨	≥99%	493.96	523.30	5.94%
氧化钕	≥99%	495.04	531.75	7.42%
金属钕	≥99%	599.57	645.60	7.68%
氧化钐	≥99.9%	15.00	15.00	0.00%
氧化铕	≥99.99%	198.00	198.00	0.00%
氧化钆	≥99%	277.83	307.05	10.52%
钆铁	≥99%Gd75%±2%	262.22	290.05	10.61%
氧化铽	≥99.9%	7476.09	8518.00	13.94%
金属铽	≥99%	9465.43	10592.00	11.90%
氧化镱	≥99%	2375.65	2613.75	10.02%
镱铁	≥99%Dy80%	2282.61	2518.50	10.33%
氧化钬	≥99.5%	577.00	648.00	12.31%
钬铁	≥99%Ho80%	582.22	657.10	12.86%

市场行情

氧化钬	≧99%	268.04	302.90	13.01%
氧化镱	≧99.99%	97.09	101.00	4.03%
氧化镱	≧99.9%	5445.65	5550.00	1.92%
氧化钇	≧99.999%	47.17	45.00	-4.60%
氧化镨钕	≧99%Nd ₂ O ₃ 75%	483.91	522.75	8.03%
镨钕金属	≧99%Nd75%	593.61	638.50	7.56%

(来源：中国稀土行业协会)

稀土元素在催化剂中的作用

近半个世纪以来，人们对稀土元素(主要是氧化物和氯化物)的催化作用进行了广泛的研究，得到了一些规律性的结果，归纳起来主要是：

1.在稀土元素电子结构中，4f 电子位于内层，受 5s 及 5p 电子的屏蔽，而决定物质化学性质的外层电子的排布又都相同，因此，和 d 过渡元素的催化作用相比没有明显的特性，且活性都赶不上 d 过渡元素；

2.在大多数反应中，各稀土元素之间的催化活性变化不大，最大不超过 12 倍，尤其是重稀土元素之间几乎没有活性变化，这和 d 过渡元素完全不同，它们之间的活性有时甚至可相差几个数量级；

3.稀土元素的催化活性基本上可以分为两类，一类是和 4f 轨道中电子数(1~14)相对应呈单调变化，如加氢、脱氢等，另一类是和 4f 轨道中电子的排布(1~7, 7~14)相对应呈周期变化，如氧化；

4.大量研究表明，含稀土的工业催化剂大多只含较少量的稀土，一般只用作助催化剂或混合催化剂中的一种活性组分。

从本质上讲，催化剂是一种特殊功能材料。稀土化合物在这类材料开发和应用中具有特别重要的意义，这是因为稀土化合物具有广泛的催化性能，包括氧化——还原和酸——碱性能，而且，在许多方面鲜为人知，有许多待开发的领域；在许多催化材料中，稀土元素和其他元素之间有很大的互换性，即可以作为催化剂中的主要成分，又可以作为催化剂的次要成分或助催化剂，用稀土化合物可制成功能各异的催化剂材料，供不同的反应使用；稀土化合物，特别是

氧化物，具有相对高的热稳定性和化学稳定性，为广泛使用这类催化剂材料提供了可能性。稀土催化剂性能好、种类多、催化应用领域非常广泛。

就目前来讲，稀土催化剂材料主要用于石油裂化和重整，汽车尾气净化，合成橡胶以及诸多的有机化工和无机化工领域。

(来源：中国稀金谷大数据)



稀土有机电致发光材料

有机电致发光 (organic electroluminescence,OEL)是指发光层为有机材料，而且属于在电场作用下(载流子注入)结型的激光所产生的发光现象。它是一种主动发光型 FPD20 世纪 80 年代末发展起来的有机电致发光是惟一被公认能够同时拥有低压直流驱动功能优良的发光性能及宽视角(可达 160°)的近代显示技术。OEL 器件可与集成电路匹配，易实现彩色平板大面积显示等优点。与无机 EL 器件相比，OEL 器件具有加工简便、力学性能好、成本低廉、发光波长易于调节;与液晶显示器相比，OEL 器件响应速度快、视角宽对比度高等特点。因此，OEL 材料是目前国际上的一个热点研究课题，被誉为“21 世纪的平板显示技术”。

有机电致发光材料主要有两类：

1.小分子化合物，包括金属整合物和有机小分子化合物。它们各具特色，互为补充但是这些材料的一个普遍特点是利用共轭结构 $\pi \rightarrow \pi^*$ 跃迁产生发射，光谱谱带宽(100~200nm)，发光的单色性不好，难于满足显示对于色纯度的要求。

2.稀配合物(主要是稀金属合物),其发射光谱谱带尖锐,半峰宽度窄(不超过10nm),色纯度高,这一独特优点是其他发光材料所无法比拟的,因而有可能作为OEL器件的发光层材料,用以制作高色纯度的彩色显示器,作为OEL器件的发光材料,稀土配合物还具有内量子效率高、荧光寿命长和熔点高等优点。1993年Kido等人首先报道了具有窄发射的稀土OEL器件。目前,彩色显示器所需的红色、绿色、蓝色三基色的稀土配合物及相应的OEL器件的研究和开发应用均有报道。

(来源:中国稀金谷大数据)

不同前驱体对聚丙烯酰胺凝胶法 制备氧化钇稳定氧化锆纳米粉体的影响

采用聚丙烯酰胺凝胶法制备氧化钇稳定氧化锆(YSZ)纳米粉体。分别以氧氯化锆与氯化钇,硝酸锆与硝酸钇作原料合成凝胶前驱体,对两种凝胶的热分解过程及 YSZ 粉体的物相组成、形貌和烧结性能进行分析和表征。结果表明:不同前驱体对聚丙烯酰胺凝胶的热分解过程影响不同,以硝酸锆和硝酸钇为前驱体和以氧氯化锆和氯化钇为前驱体制得的凝胶内有机物最终热分解完全的温度分别为 680℃和 692℃。研究结果还表明:前驱体的种类影响 YSZ 粉体的晶化温度,以氧氯化锆和氯化钇为前驱体制备 YSZ 粉体时会在较低温度产生四方相氧化锆,在 800℃时 YSZ 粉体内会转变出部分单斜相;而以硝酸锆和硝酸钇为前驱体制备 YSZ 粉体时,虽然体系内四方相氧化锆晶化温度较高,但四方相稳定性较好。此外,两种不同前驱体均能制备出晶粒尺寸较小的 YSZ 粉体,且粉体内各元素的分布均匀,以硝酸锆和硝酸钇为前驱体制得的 YSZ 粉体团聚程度更小,烧结的 YSZ 陶瓷平均晶粒更小,相对密度可达 97.4%。

(来源:中国稀土学报)

稀土掺杂单色上转换发光纳米晶材料研究进展

稀土掺杂单色上转换发光纳米晶材料具有色纯度高、免受其他信号串扰的特点,在生物检测和荧光编码领域展现独特的优势。本文主要对调控稀土掺杂上转换发光纳米晶实现单色发光的途径以及稀土单色上转换红、绿、蓝光研究现状进行了较系统的总结,主要包括:引入其他离子改变能量传递方式、选择合适的基

质、包覆惰性壳层、引入第三种材料作为配体吸收杂峰发光。最后，提出了稀土单色上转换发光材料今后可能的研究和发展方向。

(来源：中国稀土学报)

乙酸对稀土浸出液中和除铝过程的影响

离子吸附型稀土矿稀土浸出液中和除铝过程存在 8%左右的稀土损失。为此，本文基于稀土离子和铝离子与有机羧酸络合能力的差异，提出在除铝过程加入有机酸去络合稀土离子，以延后稀土离子的沉淀 pH，扩大氢氧化稀土和氢氧化铝沉淀 pH 的差异，从而达到降低稀土共沉淀损失的目的。本文通过有机酸种类对 CaO 除铝的影响研究，发现乙酸(HAc)加入可有效降低除铝过程稀土损失。通过浸出液体系物种分布的计算和除铝渣的表征测试，明确了 HAc 的引入对 Al 的沉淀影响较小，但其会将 $\text{La}(\text{OH})_3$ 的沉淀 pH 从 8.5 延后至 8.6，由此减少稀土的共沉淀损失。在此基础上，获得了浸出液中和除铝的最佳条件，当稀土与乙酸摩尔比 R 为 1:1.1 时，稀土损失率仅为 3.56%，较无乙酸条件下可降低近 10%。本文提出了一种稀土浸出液除铝过程有效降低稀土损失率的方法，可提高稀土回收率，对离子吸附型稀土矿绿色高效提取具有重要推动作用。

(来源：中国稀土学报)

硫化物渣中有价元素高效回收工艺研究

以稀土铁硼废料湿法回收稀土工艺过程废水预处理产出的硫化物渣为研究

对象，因其含有一定量的钴、镍、铜、稀土等高值有价元素，为避免资源的浪费，本研究对硫化物渣进行深度处理回收其中有价元素。研究表明，硫化物渣先进行水洗以降低渣中可溶盐含量从而减少对后期各元素萃取分离过程的不利影响，水洗渣通过控制反应温度、反应时间、氧化剂加入量等条件进行酸溶，酸溶液中的有价元素通过萃取分离的方式回收。最后酸溶渣采用三级逆流酸洗涤的方式进行处理，将有价元素充分回收，最终渣中的稀土以硫酸稀土复盐形式存在。整体工艺中，硫化物渣中钴、镍、铜实现高效回收，稀土以微观结构规则、尺寸相近的硫酸稀土复盐晶体形式存在。

（来源：稀土）

中国稀土学报 (2023 No.3)

综合评述

稀土纳米材料在光催化二氧化碳还原中的应用

针对氨分解反应的稀土基催化剂研究进展

稀土金属催化极性乙烯基单体聚合的研究进展

稀土在汽油车尾气净化中的应用

富铁稀土金属间化合物永磁材料的研究进展

钐钴永磁合金吸放氢特性及应用研究进展

稀土钪基人工模拟酶调控细胞命运的研究进展

发光稀土配合物的生物功能分子传感研究进展

镍酸锂系正极材料倍率性能的研究进展

石榴石结构 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ 固态电解质掺杂改性研究进展

高核稀土嵌入的多酸材料的研究进展

中国稀土新材料重大发展需求和发展战略研究

稀土发光

Er^{3+} 掺杂 $\text{Cs}_2\text{Sn}_{0.9}\text{Te}_{0.1}\text{Cl}_6$ 钙钛矿材料应用于测温的探究

稀土催化

CeO_2 的形貌构筑及其对 1,2-二氯乙烷氧化过程的影响研究

磁学和磁性材料

铈、钛取代对高镨低硼烧结 Nd-Fe-B 磁体磁性能、微结构和力学性能的影响

稀土新材料

${}^6\text{LiI:Eu}$ 晶体的制备和闪烁性能研究

稀土化学与湿法冶金

离子吸附型稀土浸取试剂和富集回收技术的演变——从抑杂浸取到强化浸取及分阶段的选择-强化浸取

稀土萃取分离中混合澄清槽的仿真模拟系统

稀土应用

不同水合粒径的磷酸镧微粒对巨噬细胞 IL-1 β 分泌水平的影响以及与其入胞途径的相关性

(来源: 中国稀土学报)



稀土 (2023 No.5)

研究论文

白云鄂博稀土矿浮选降磷的氧化与抑制协同作用

氧化铈抛光液在醇-水体系中的分散悬浮性及其抛光性能研究

氨基酸功能化 Y(III) 交联 SA/硅藻土杂化球的制备及吸附性能

Y、Gd 及固溶处理对 AZ31D 镁合金组织和性能的影响

纳米氧化钆诱导大鼠多器官炎症中 miR-4326 和 miR-1299 的表达及意义

球形碱式碳酸钇的制备及其氟化转型合成氟氧化钇的研究

柴达木盆地西部砂岩型铀矿赋矿地层稀土元素地球化学特征及其地质意义

稀土矿山原地浸矿期间底板渗漏污染预测——以赣南某稀土矿区为例

高密度电法测量和钻探资料在离子吸附型稀土矿山的综合应用

离子型稀土镁盐浸矿不同深度矿土孔隙结构演化规律

行业动态

《稀土》期刊第19届优秀论文评选结果揭晓

宁波材料所在超高综合性能钕铁硼永磁体方面取得系列进展

东北大学在磁电子材料与器件研究领域取得重要进展

综合评述

稀土在聚乳酸中应用研究现状

元素替代在La-Mg-Ni系储氢合金中应用的研究进展

基于微生物法回收稀土元素的研究进展

研究简报

$\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ 制备及其电磁性能的研究

产业与市场

专利视角下中国稀土功能材料技术发展状况评估与启示

(来源：稀土)