

# 离子型稀土信息简报

## Ionic Rare Earth Information Bulletin

2021年 第03期 总第89期

### 本期要闻

- ◎ 储量“大爆发”？“围剿”已开始？稀土这块大饼，未来到底怎么啃
- ◎ 自然资源部：强化对稀土等国家战略性资源重要矿种的监管
- ◎ 全国人大代表罗振：大力发展稀土产业 推进资源资产价值化
- ◎ 江西省人民政府：关于印发2021年战略性新兴产业推进工作要点的通知

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](mailto:jxlzxt_2016@163.com)

◆邮编：341000

◆传真：0797-8160033

◆网址：<http://www.jxlzxt.com/>

# 目 次

◇ 行业动态	1-15
◎ 储量“大爆发”？“围剿”已开始？稀土这块大饼，未来到底怎么啃	
◎ 自然资源部：强化对稀土等国家战略性资源重要矿种的监管	
◎ 全国人大代表罗振：大力发展稀土产业 推进资源资产价值化	
◎ 江西省推出 1257 个重点招商项目	
◎ 赣州稀土集团荣获“2020 年江西 100 强企业” 谢志宏董事长荣获“新时代江西省杰出企业家”光荣称号	
◎ 江西理工大学“材料科学”学科首次进入 ESI 全球前 1%	
◎ 澳大利亚稀土生产商与韩国签署协议，将为 LG 和三星加工稀土	
◎ 美国宣布与缅甸暂停所有贸易	
◇ 科技前沿	16-21
◎ 宁波材料所在稀土磁制冷材料的调控微观组织与消除相变滞后研究上取得进展	
◎ 同济大学在稀土金属铈氟代硫酸盐二阶非线性光学晶态材料研究中获重大进展	
◇ 政策法规	22-28
◎ 江西省人民政府：关于印发 2021 年战略性新兴产业推进工作要点的通知	
◇ 市场行情	29-34
◎ 成交不佳 钹系稀土价格跌幅明显	
◇ 稀土知识	35-41
◎ 稀土元素的植物生理作用研究进展	

## 储量“大爆发”？“围剿”已开始？稀土这块大饼，未来到底怎么啃

“中东有石油，中国有稀土。”这是对中国稀土资源的描述里，最广为人知的一句话。

但是这句话成立的前提，是基于现有的经济技术手段。从地质学意义上来说，稀土元素在世界范围内的分布其实相当平均。这意味着，一旦技术手段取得突破，中国在稀土资源储备上的优势地位可能会被削弱。

日前，地质学知名期刊《地质》刊发了德国埃尔朗根-纽伦堡大学科学家的最新研究成果。根据这项研究，在世界范围内出现更多的、在经济上可行的稀土矿藏已成为可能。

而与此同时，欧美各国在稀土方面拉帮结派，动作不断。

美国总统拜登 2 月 24 日才签署行政令，要求联邦机构对包括稀土在内的 4 项关键产品供应链进行为期 100 天的审查；英国智库机构在 3 月 4 日称，格陵兰岛蕴藏大量稀土，“五眼联盟”应确保这个世界最大岛屿的“供货”，以减少对中国的依赖；3 月 12 日，美国、日本、澳大利亚和印度四国领导人又召开线上峰会，计划联手构建稀土供应链，研发低成本、低放射性废料排放的稀土精炼技术。

面对科技进步与政治斗争，我们究竟应该如何正确看待稀土这项资源以及它对于中国对外交往的影响？

### 中国的稀土，没那么多

中国的稀土资源占全世界已知储量的 80%，是人们时常在互联网上看到的一

句话。但这其实并不准确。让我们先看三份材料：

根据国务院新闻办 2012 年 6 月 20 日发布的《中国的稀土状况与政策》白皮书，我国当年实际上是以 23% 的稀土资源，供应了世界 90% 以上的市场需求。

中国地质大学教授徐广平等人的论文也指出，2016 年全球稀土矿产资源储量约有 12000 万吨，截至 2016 年底，中国稀土资源储量 4400 万吨，占世界稀土资源总储量的 37%。

根据彭博社日前报道，2008 年全球金融危机导致国际稀土需求锐减，价格下跌，中国进一步对稀土产业进行调控。2009 年，中国宣布出于保护资源和环境的考虑，开始减少稀土出口配额。得益于此，中国在全球稀土供应市场份额已经从 2010 年的 98% 下降到 2020 年的 58%。

就此，我们可以得出几个浅显但鲜明的结论。

第一，我国稀土储量在世界的份额虽位居第一，但多数可靠数据表明这种占比约在 30% 上下，而非 80% 这样的绝对优势；

第二，中国稀土资源在国际市场的影响力，更多的源于产量，而非储量本身；

第三，对于中国对稀土资源出口的调控与管制，国际媒体特别是西方舆论十分关注，也热衷炒作。

但在各自媒体的讲述下，中西方围绕稀土形成了两种印象截然相反，却又紧密相连的错误印象。在中国，许多人认为巨量的稀土储备，是可以影响大国博弈、甚至左右世界科技进步的杀手锏；而在西方世界，许多人对中国在稀土资源上的垄断地位感到恐慌，有意无意地认为中国在破坏市场规则。

## 世界的稀土，没那么少

事实上，稀土资源在某种意义上，一点也不“稀”。

首先，稀土元素并非都“稀”。稀土元素是元素周期表第Ⅲ族副族元素钪、钇和镧系元素共 17 种化学元素的合称。其中，储量最丰富的“稀土金属”铈比铅还要多，与铜接近。就连储量最少的“稀土金属”镱在地壳中的含量也比金也还要高出 200 倍。

其次，稀土之所以“稀”，是因为由于地球化学性质和现有技术条件限制，稀土元素很少富集到在经济上可以开采的程度。换句话说，一旦科学技术上出现新的突破性进展，将有更多的稀土资源可以被利用，稀土也就没那么“稀”了。

以此次德国科学家的发现为例，他们在对南非 Vergenoeg 萤石矿的岩石样本进行研究后发现，这种从花岗岩状岩浆的沉积物中开采的铁橄榄石晶体内，可能含有大量的稀土元素。

这种发现有两个潜在的重要影响：第一，铁橄榄石遍布全球的火成岩和深成岩中，分布范围可谓广大；第二，也更重要的是，这种矿石里基本以最为珍贵的重稀土元素为主。

稀土有轻重稀土之分。镧、铈、镨、钕等轻稀土在工业上被称为“假稀土”，存量较大、应用广，但价值相对低廉；而镝、钐、铕和钇等重稀土资源储量稀缺，可用于军事、国防、航天及新材料合成等高科技领域，价格昂贵，可替代性小。

更早之前，英国科学杂志《自然地球科学》2011 年 7 月还刊登了日本东京大学等研究团队的发现，表明大洋之中的稀土矿藏远比陆地丰富。这份研究显示，

太平洋的海底泥中藏有大量的稀土矿，储量约 800-1000 亿吨，且由于大洋主要是公海，矿藏位于 3500-6000 米的海底、厚约 2-70 米的泥土中，相对易于开采和精炼。

### 中国的优势，另在他处

即便抛开具备潜在开发价值的稀土矿藏不谈，在中国之外，目前也有不少储量丰富的稀土矿。

我们的邻国印度和俄罗斯，大洋彼岸的美国和加拿大，以及南半球的澳大利亚、南非等国，都有比较成熟的稀土矿。比如，位于加州的芒廷帕斯稀土矿，是世界上最大的稀土矿之一。再比如，美日等国资本近来大力投资开发的澳大利亚韦尔德山稀土矿，则被西方视为在中国稀土出口调控加强的情况下，满足自身需要的依仗。

据彭博社此前报道，现在仅上述两处矿山的稀土产量就达到了全球稀土供应的 1/4，已经能够满足美国的所有需要，包括军火巨头生产所需的 500 吨稀土原材料。而日本在 2011 年通过出资支援了澳大利亚最大的稀土生产企业莱纳斯矿业公司，也借此将对中国的稀土依赖从九成降至 2018 年的六成以下。

鉴于此，这是不是意味着中国的稀土优势已经不存在了呢？当然不是。

其实，中国在稀土资源上的优势并不在储量，而是在于产能和加工技术上。比如，美国芒廷帕斯稀土矿虽产量巨大，但囿于国内加工能力有限，不得不每年向中国出口近 5 万吨稀土浓缩物进行加工，之后再从中国进口。相比之下，莱纳斯公司虽然在马来西亚建有加工厂，但每年的处理能力只有约 2 万吨稀土浓缩

物，且时常遭到马来西亚当地环保人士的抗议。

根据彭博社的分析，中国稀土加工与提炼能力超过全球其他国家总和，如果美国要达到，需要花费好多年时间进行建设。同时，中国在稀土分离冶炼方面的技术储备也在追赶世界先进水平。据 BBC 报道，2011 年后，中国在稀土方面的专利申请数量迅速增加、超过世界其余国家相关专利的总合，仅 2011-2018 年间的申请量就增加了 250%。

此外，稀土虽不为中国独有，但中国是唯一能够提供所有 17 种稀土元素的国家。市场调研公司 TIN 的负责人卡斯提拉诺称，2019 年中国出口的 17 种稀土材料占全球稀土市场需求的 85%-95%，而且中国出口产品中的一半原料都不是来自国内，而是来自缅甸。

去年 7 月，为反制美国国会批准的一批价值 6.2 亿美元的对台军售合同，中国正式宣布对美国军火巨头洛克希德·马丁公司实行制裁。而洛·马公司，正是稀土产品的消费大户。

(来源：矿业汇)



## 自然资源部：强化对稀土等国家战略性资源重要矿种的监管

3 月 23 日，自然资源部办公厅发布关于开展 2021 年卫片执法工作的通知。通知明确，通过组织开展卫片执法工作，及时发现违法占用耕地、破坏耕地挖湖造景、在长江流域和黄河沿岸县域非法用地采矿以及非法开采稀土等战略性矿种



民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要（草案）》，全国人大代表、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司丹霞冶炼厂副厂长罗振关注到，在该纲要草案有关制造业核心竞争力提升的章节中，将“推动高端稀土功能材料”作为提升“高端新材料”的首要内容，结合从业经历，他围绕稀土产业的高质量发展提出有关建议。

“稀土之所以重要，是因为它是装备制造业、电子信息业、新能源、新兴产业等不可或缺的原材料，全球所有的高科技产品都离不开稀土，在新能源材料、激光、光纤通信、储氢能源、超导、光伏材料等领域有着不可替代的作用。稀土材料也是新能源产业的重要原料，因此，它也是 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的重要基石。”罗振在与本报记者连线中表示。

他指出，稀土资源丰富的粤北韶关，作为全国产业转型升级示范区、全国绿色矿业发展示范区、国家产融合作试点城市，正大力推进资源资产价值，着力制定合理体现资源价值、符合管理需求、简便易行的生态产品价值核算方法，吸引社会资本和专业运营商发展优势产业，提升生态产品的供给能力和整体价值，实现生态优先、绿色发展。这不仅为大力发展稀土产业、打造有色金属产业集群迎来机遇，也对加快发展现代产业体系，巩固壮大实体经济根基具有重要意义。

罗振指出，虽然稀土资源及其产业如此重要，在现实中，却和大家“稀缺”、“金贵”的印象大有不同，以最便宜的轻稀土原料氧化镧、氧化铈为例，目前每吨市场报价不到一万元人民币。同时，国内稀土大多生产初级原材料，处于整个产业链的中低端。

为此，他在大会中提出建议，希望尽快实施《稀土管理条例》，从国家战略层面加强统筹和顶层设计，进一步规范稀土行业管理，保障稀土资源的合理开发利用，促进稀土行业持续健康发展。同时，针对战略性新兴产业对新兴矿产需求的快速增长，实施新一轮找矿突破战略，加强基础地质工作，大力推进科技创新，提高矿产资源节约与综合利用率，推进绿色勘察和绿色矿山建设。“另外，我们还需要切实提升基础研究和创新能力，围绕稀土全产业链及高端应用进行攻关，不断提高开发利用水平，以高附加值的中高端产品为方向延伸产业链，培育和打造一批‘专精特新’企业，为‘资源换产业’奠定坚实基础。”罗振说道。

（来源：韶关发布）



## 江西省推出 1257 个重点招商项目

坚持“项目为王”理念，聚焦产业链精准招商，3月17日，江西省发改委发布《2021年江西省重点招商引资项目册》，聚焦重大基础设施、战略性新兴产业、大健康产业等六大领域，共推出1257个招商项目，总投资达6.4万亿元。

为更好地帮助投资者了解江西省产业发展方向和招商引资的重点领域，加快建设内陆开放型经济试验区，促进江西省经济高质量跨越式发展，此次发布的项目册，明确了江西省2021年对外招商引资的重要方向。在交通、水利、能源、城市基础设施等重大基础设施领域共推出75个项目，总投资超过1000亿元，包括分宜县、宁都县、龙南市通用机场及抚州机场项目等；在战略性新兴产业领域共推出426个项目，总投资达9386亿元，主要聚焦新一代信息技术、航空、先

进装备制造、节能环保、新能源、新材料等产业；大健康产业共推出 309 个项目，总投资达 4.67 万亿元，涉及生物医药、医疗服务、康体旅游、养生养老、健康管理等领域；现代服务业类招商项目 234 个，总投资 4155 亿元，涵盖文化暨创意、现代物流、商贸服务、科技服务、金融等领域；传统制造业项目相对较少，共有 138 个、总投资 1351 亿元，主要集中在江西省具有比较优势的钨、稀土及有色金属精深加工、纺织服装等领域；现代农业领域共推出 75 个项目，涉及富硒农业、智慧农业和农业休闲等领域。

（来源：南昌新闻网）

## 赣州稀土集团荣获“2020 年江西 100 强企业” 谢志宏 董事长荣获“新时代江西省杰出企业家” 光荣称号

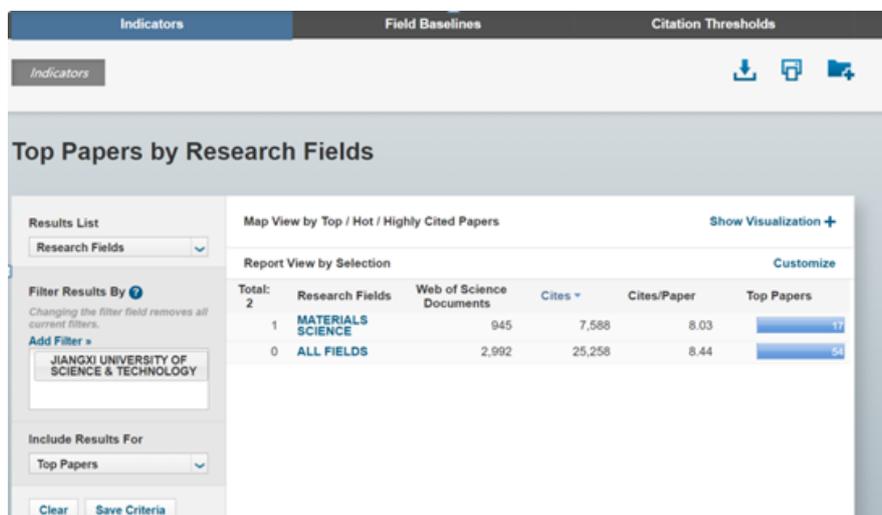
3 月 4 日，赣州市企联顾问、市人大原主任周英棠一行莅临赣州稀土集团考察期间，授予赣州稀土集团“2020 年江西企业 100 强”荣誉奖牌，并为赣州稀土集团党委书记、董事长谢志宏颁发 2019 年度“新时代江西杰出企业家”荣誉证书、佩戴荣誉奖章。周英棠对赣州稀土集团获得该荣誉表示热烈祝贺，希望赣州稀土集团秉承赣南老稀土人艰苦创业、开拓创新的精神，坚持干在实处、走在前列、勇立潮头，为奋力谱写全面建设社会主义现代化国家江西篇章、开创赣州高质量跨越式发展新局面作出新的更大贡献！



据悉,2021年1月,江西省企业联合会、江西省企业家协会向社会公布“2020年江西企业100强”榜单。赣州稀土集团因营业收入连年攀升,发展态势良好,企业后发优势显著,荣获江西100强企业第62位。2020年12月,江西省企业联合会、江西省企业家协会发布表彰决定,授予赣州稀土集团党委书记、董事长谢志宏等100名企业负责人为2019年度“新时代江西杰出企业家”光荣称号。

(来源:赣州稀土集团)

## 江西理工大学“材料科学”学科首次进入 ESI 全球前 1%



序号	学科	中文名称	说明
1	材料科学	同济大学	新晋1% <sup>o</sup>
2	计算机科学	华侨大学	新晋1%
3	计算机科学	曲阜师范大学	新晋1%
4	计算机科学	陕西师范大学	新晋1%
5	计算机科学	武汉理工大学	新晋1%
6	工程科学	辽宁大学	新晋1%
7	工程科学	厦门理工学院	新晋1%
8	工程科学	沈阳建筑大学	新晋1%
9	工程科学	天津城建大学	新晋1%
10	材料科学	北京邮电大学	新晋1%
11	材料科学	湖南师范大学	新晋1%
12	材料科学	江西理工大学	新晋1%
13	材料科学	上海工程技术大学	新晋1%
14	生物与生化	南京林业大学	新晋1%
15	环境/生态学	福建农林大学	新晋1%
16	环境/生态学	广州大学	新晋1%
17	环境/生态学	陕西师范大学	新晋1%
18	环境/生态学	深圳大学	新晋1%
19	环境/生态学	云南大学	新晋1%
20	微生物学	华中科技大学	新晋1%
21	微生物学	南开大学	新晋1%
22	分子生物与遗传学	南昌大学	新晋1%
23	一般社会科学	安徽医科大学	新晋1%
24	一般社会科学	西南大学	新晋1%
25	一般社会科学	中国矿业大学	新晋1%

3月25日，根据科睿唯安最新 ESI (Essential Science Indicators) 数据库显

示，江西理工大学“材料科学”学科首次进入ESI全球排名前1%，总被引7588次，在全球排名前1%的1033个机构中位居第1019位，标志我校“双一流”建设实现新突破。

近年来，我校加快推进有特色高水平大学建设，聚焦稀土领域世界一流学科建设目标，不断提升材料科学与工程、冶金工程、矿业工程三个省一流学科水平，着力补齐基础研究短板。学校实施人才战略与开放战略，全职聘任长江学者特聘教授、中科院百人计划、乌克兰国家科学院院士等高端人才10余人及相关团队；加强高水平平台建设，获批或组建国家稀土功能材料创新中心、教育部稀有稀土省部共建协同创新中心、中国稀金（赣州）新材料研究院、中澳REEM国际研究院、中乌新材料（江西）研究院等一批科技创新平台；围绕学科基础研究能力提升加强培育和引导，科学布局，系统推进，有效提升学科国际影响力和竞争力。通过多措并举，“材料科学”学科实现了从三年前ESI1%接近度只有35%左右到如今突破的快速发展。

另据ESI数据库显示，我校高倍引论文总数达54篇，位居全省高校第二；工程学、化学2个学科数据已十分接近全球前1%。

（来源：江西理工大学）



## 澳大利亚稀土生产商与韩国签署协议，将为LG和三 星加工稀土

澳大利亚稀土生产商澳大利亚战略材料公司（ASM）与韩国两个地区的政府达成协议，表示ASM将在韩国建立第一个稀土加工的工厂。

ASM 在澳大利亚新南威尔士州的一个矿区拥有锆、铌、钽和稀土资源，该公司周二与忠清北道政府和忠州市政府签署了一份工厂谅解备忘录。该协议的内容包括执照、许可证和补助金，允许 ASM 将工厂设在需要金属的韩国制造业企业附近，包括 LG 化学和三星 SDI。新工厂最初将生产高纯度钽铁硼粉和钽粉。

ASM 与韩国的关系可以追溯到 2019 年，当时 ASM 首次投资了当地公司 Zirconium Technology Corporation 的清洁金属加工技术。17 种稀土金属对许多关键行业至关重要，包括智能手机、电池、可再生风力涡轮机和武器的制造。目前，全球约 90% 的稀土供应都来自于中国。

中国自去年年底出台新的法律对稀土出口加以限制以来，稀土的产量小幅下降。澳大利亚等其他稀土生产国也一直在寻求提升其供应链的弹性。澳大利亚成立了“重要矿产促进办公室”，旨在资助在该国开采稀土矿产和建立下游加工的项目。该办公室成立后不久，官员们就表示有兴趣支持和资助 ASM 在新南威尔士州的稀土项目。

此外，在澳大利亚上市的莱纳化学冶金（Lynas）公司是中国以外最大的稀土生产商，该公司与美国签署了在美国建设稀土分离厂的协议。

（来源：腾讯）



## 美国宣布与缅甸暂停所有贸易

路透社消息，美国贸易代表办公室在一份声明中表示，暂停美国与缅甸的所有贸易往来，且立即生效。

据路透社报道，3 月 29 日，美国贸易代表凯瑟琳 泰宣布，美国根据 2013 年《贸易和投资框架协议》(TIFA)，决定暂停与缅甸的所有贸易往来，该决定立

即生效。凯瑟琳·泰称，这一暂停的决定将持续有效，直到缅甸民主选举的政府回归为止。

3月27日，缅甸国防军总司令敏昂莱表示，在紧急状态结束后，将重新举行大选，并移交国家权力。敏昂莱当天在首都内比都举行的缅甸第76届建军节阅兵式上说，军队是国家的组成部分，军人也是人民的一部分，希望共同努力实现安定繁荣的生活，军队将为国家的经济社会发展提供保障。

### 复杂局势波及稀土供应

3月29日，A股市场上的稀土永磁板一度拉升，随后很快就遭遇打压。分析人士认为，缅甸局势恶化可能会影响到重稀土的供应。

资料显示，靠近中国云南的缅甸地区是重稀土分布区之一。2018年，中国从缅甸进口重稀土矿2.58万吨，折合稀土氧化物2万吨，跟中国国内的配额相当。

由于当时全球稀土冶炼能力基本全在中国，可以认为，缅甸提供了全球一半的重稀土产量。从稀土总产量看，缅甸占比也达到10%以上，一跃成为仅次于中国的第二大稀土矿生产国。

据参考消息，有关企业自3月中旬以来就开始抱怨相关稀土运输的延误，据称这是因为缅甸的政治和经济形势不断恶化。媒体报道称这些因素对物流产生了影响。对稀土运输的影响，也是缅甸局势对其他国家产生影响的最新迹象。此前，有关国家曾就油气管道和其他在缅商业利益的安全表达过担忧。

2021年2月，荷兰阿达马斯商情公司总经理瑞安·卡斯蒂尤对路透社记者说，缅甸是“异常关键的原料供应商。该原料对高强度永磁材料而言是必不可少的，高强度永磁材料被用于电动汽车牵引电机、风力发电机、工业机器人和国防相关

的广泛设备”。

来自江西赣州的信息源称，今年2月稀土出口没有受到影响，因为大多数稀土矿场位于缅甸北部，那里的局势一直稳定，但最近几天情况恶化了。未来一段时间世界可能会面临稀土短缺的困境。

(来源：长江有色金属网)

## 宁波材料所在稀土磁制冷材料的调控微观组织与消除相变滞后研究上取得进展

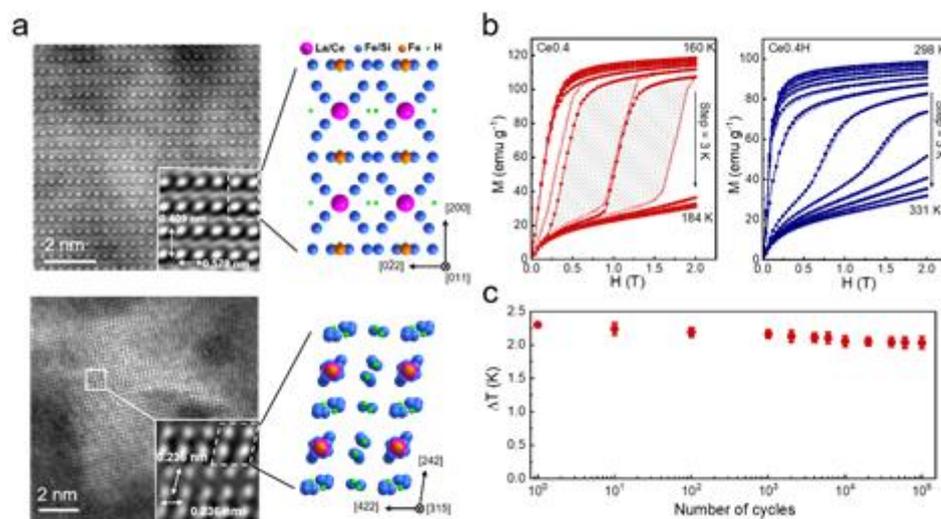
具有强磁晶耦合和大熵变的磁制冷材料一般呈现出较大的磁热相变滞后,限制材料对磁场的响应速度,导致能量损失,缩短材料服役命。以往大部分研究采用金属复合、聚合物粘接、设计多孔材料等方法,通过在磁制冷材料的晶粒间添加缓冲层来减小相变滞后。但是这些增相或增孔的组织调控技术很难彻底消除磁制冷材料的滞后,并且添加增强相会弱化磁制冷材料的磁热效应。因此,构建相变滞后新原理,在不削弱磁相变材料的制冷能力的前提下消除本征滞后是推动磁制冷技术应用的重要方向之一。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所磁性相变材料团队和浙江大学国家电子显微镜中心教授余倩合作,提出一种减小 La-Fe-Si 磁制冷材料相变滞后的新方法。轻稀土元素亚族中,Ce 元素与 La 元素的电负性与原子尺寸最为接近,因此 Ce 可以在 La-Fe-Si 中以较大的固溶度替代 La。在掺杂 Ce 后,稀土原子周围的 Fe-Fe 键拉长,局域环境发生变化。而团队前期的同步辐射实验直接证实了稀土原子局域环境影响着稀土原子与氢原子之间的价电子转移并决定容氢能力大小。因此,本工作通过 Ce 和 H 元素共掺杂方法,在纳米尺度下调控 La-Fe-Si 磁制冷材料的微观组织并基本消除其相变滞后。在 La-Fe-Si 中掺杂稀土 Ce 替代 La 后,由于  $Ce^{4+}$  与  $La^{3+}$  的化合价和尺寸差异,La-Ce-Fe-Si 基体中产生大量点缺陷。随后对 La-Ce-Fe-Si 进行氢化处理,在晶格内部引入填隙 H 原子。在充氢过程中,H 原子在缺陷处富集并导致内应力在晶粒中储存,从而产生巨大的应变能,使 La-Ce-Fe-Si-H 晶粒内生成自适应的错配缺陷,晶粒细化并析出大量 5~50nm 尺度且与主相晶体结构相同的纳米团簇。纳米晶界处的晶格和磁性无序降低了相变能垒,在晶粒内部广泛分布的纳米晶界为主相提供了大量形核点位,增强了主

相的相变形核能力。

另外,主相内部晶格的高度有序有利于新相的快速生长。因此,La-Ce-Fe-Si-H合金独特的微观组织可以将材料的滞后能量损失减小 98%。此外,纳米多晶化的合金仍然具有强一级相变,这赋予了其优异的磁制冷能力。因此,纳米晶化能在不稀释磁热效应的情况下,通过显著降低材料的滞后来提升材料的循环制冷能力和工作寿命。纳米晶化的 La-Ce-Fe-Si-H 合金具有 2.23 K 的绝热温变 (1.3 T),  $14 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  的等温熵变以及  $89.4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  的可循环制冷量 (2T)。在 10 万次磁场循环后,温变仅衰减约 8%,基本满足了 La-Fe-Si 合金在磁制冷机中循环稳定性的要求。这种基于共掺杂的内应力调控微组织的方法,对稀土基磁制冷材料的组织性能设计具有重要启发作用,也为开发其它高性能稀土基磁性材料提供了创新思路。

本研究工作受国家重点研发计划、国家自然科学基金、宁波自然科学基金和“科技创新 2025”重大专项资助,相关成果发表在 *Acta Materialia* (2021, vol.207, p116687)。



(a)母相与纳米晶的高角度环形暗场像及结构示意图; (b)Ce/H 共掺杂前后磁化曲线图 (阴影面积代表滞后损失); (c) 纳米多晶 La-Ce-Fe-Si-H 合金循环十万次绝热温变衰减状态

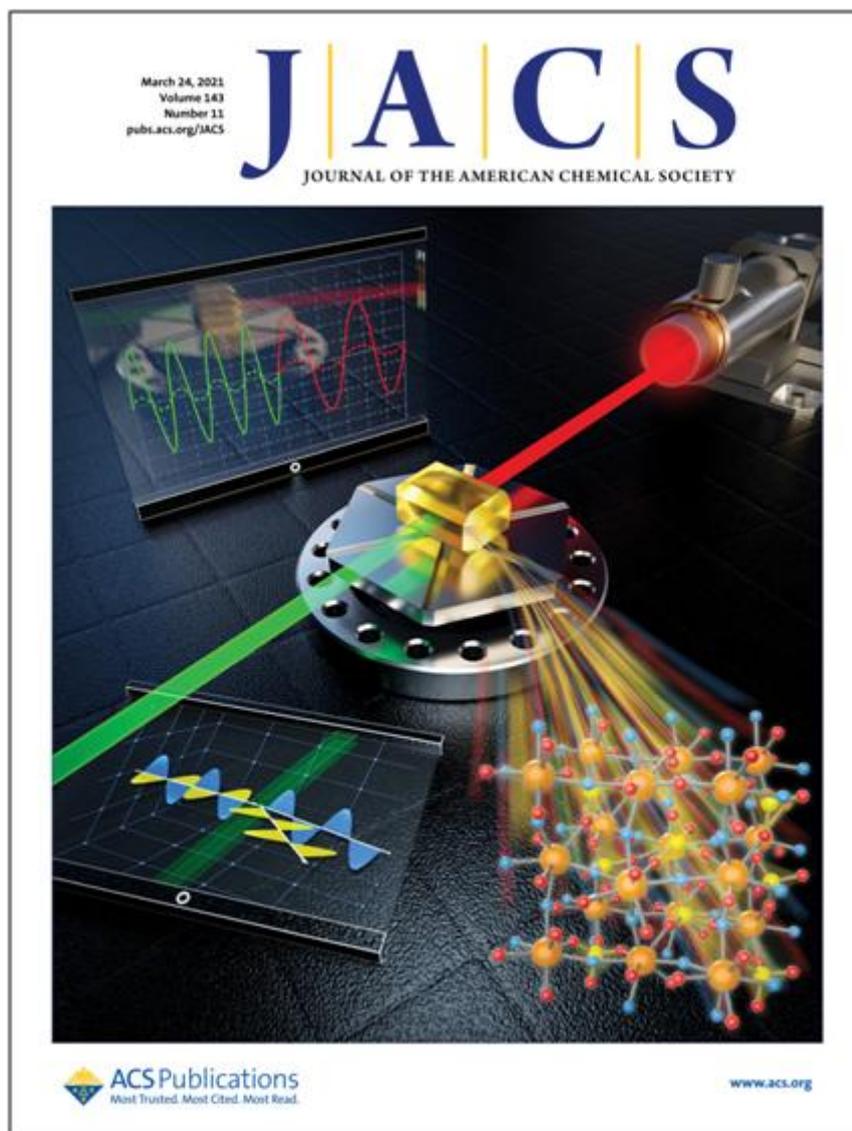
(来源: 中科院宁波材料所)

## 同济大学在稀土金属铈氟代硫酸盐二阶非线性光学晶态材料研究中获重大进展

非线性光学晶体材料为一类重要的光电信息功能材料,是实现以光电子技术为核心的现代信息技术的重要物质基础,在激光频率转换、光信号处理、光通讯、光开关等众多领域具有重要的科学价值和广阔的应用前景。随着现代光学技术日新月异的发展,研发高性能的非线性光学晶体材料是应对激光技术急需的有效策略,其中光学倍频响应和双折射率是非线性光学材料的两个至关重要的性能指标,但两者对晶态材料微观结构具有极不相同的结构要求,目前已发现的多数四面体基氧化物(如磷酸盐、硫酸盐、硅酸盐等)普遍存在着二阶非线性光学效应弱或双折射率小的缺点,严重限制了它们在激光技术中的实际应用,如何获得倍频效应和双折射率同步显著优化增益的氧化物晶态材料是当前非线性光学材料研究中的一个极具挑战的科学难题。

同济大学化学科学与工程学院张弛教授研究团队与中科院北京理化技术研究所和中科院福建物质结构研究所合作,以具有环境友好化学组成、宽光学透过范围和易于晶体生长的非 p 共轭硫酸盐为研究对象,提出了一种通过引入非二阶姜泰勒效应氟代稀土金属中心多面体以期提高晶态材料结构畸变的策略,设计创制了一例具有强倍频效应和巨大双折射率的高价稀土金属铈氟代硫酸盐晶态材料。相关成果“Large Second-Harmonic Response and Giant Birefringence of  $\text{CeF}_2(\text{SO}_4)$  Induced by Highly Polarizable Polyhedra”(高度可极化多面体诱导的高价铈氟硫酸盐晶体的大倍频效应和巨大的双折射)日前以 Communication 的形式

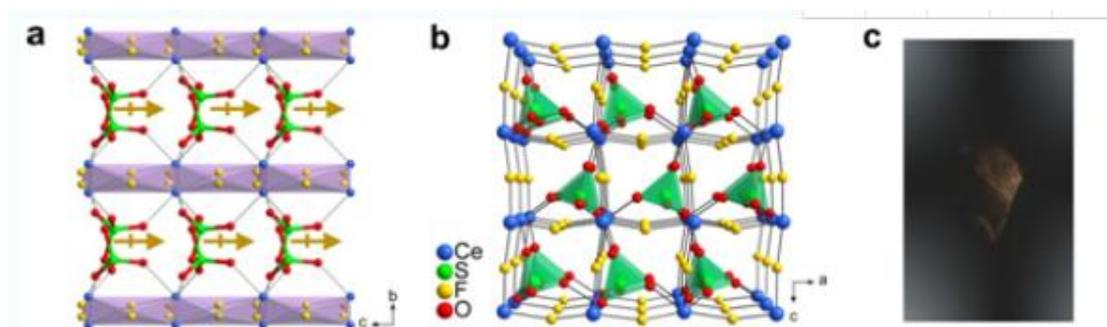
发表在国际化学领域最重要的学术期刊 Journal of the American Chemical Society (J. Am. Chem. Soc. 2021, 143(11), 4138-4142)上, 并因研究工作的重要创新性和同行专家的高度认同而被 JACS 编辑委员会遴选为期刊最新一期的封面文章。

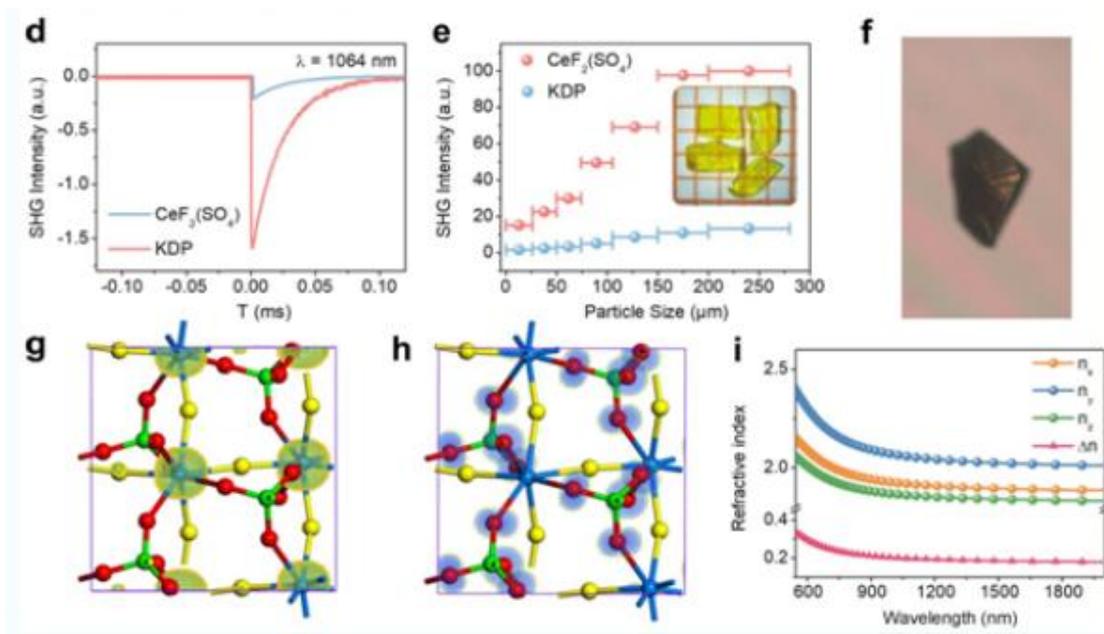


在这一研究中, 研究团队首次提出了一种通过引入非二阶姜泰勒氟化稀土金属中心多面体来增加结构畸变的策略, 作为增强非线性光学响应和双折射的方法。不同于二阶姜泰勒金属阳离子, 具有局域 4f 电子稀土金属阳离子可以诱导能带结构的显著差异, 从而潜在地改善材料线性和非线性光学性质; 将电负性大

的氟离子引入到稀土中心多面体中有利于形成高度极化的光活性构筑基元,可提高材料的倍频效应和光学各向异性;由极化金属中心多面体调控的四面体阴离子基团,当它们均匀排列时可表现出增强的光学各向异性和极化率,这有利于同时最大化倍频响应和双折射。基于这一增强畸变的策略,成功设计创制了第一例由高可极化多面体 $[\text{CeO}_4\text{F}_4]$ 和四面体 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 组成的三维结构四价稀土金属铈氟代硫酸盐  $\text{CeF}_2(\text{SO}_4)$ 。

研究团队还运用密度泛函理论方法结合材料单晶结构 X 射线衍射分析进行理论模拟计算,进一步探讨并阐明了  $\text{CeF}_2(\text{SO}_4)$ 具有强倍频效应和大双折射率同步增益的内在物理机制,提出了有利于获得较大倍频效应和双折射率增益的主要原因是高极化氟化铈氧多面体 $[\text{CeO}_4\text{F}_4]$ 的引入以及稀土金属多面体与 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 四面体基元的最优有序排列和密集堆积。该高价稀土金属铈氟代硫酸盐晶体  $\text{CeF}_2(\text{SO}_4)$ 表现出强的倍频效应( $8.0 \times \text{KDP}$ ),其倍频强度为目前已发现的无机硫酸盐体系最大值; $\text{CeF}_2(\text{SO}_4)$ 的双折射率( $0.361 @ 546 \text{ nm}$ )超过了目前已报道氧化物双折射率的极限值。该研究为新型高性能非线性光学晶体材料的设计创制提供了一个全新的示范。





同时,该研究团队近期还在紫外二阶非线性光学氧化物晶体的创制方面取得重要进展。他们通过采用等价氧阴离子取代策略,构建了首例复合型稀土金属碘酸-硝酸盐二维晶体材料  $\text{Sc}(\text{IO}_3)_2(\text{NO}_3)$ , 该氧化物晶体实现了紫外波段的巨大光学各向异性( $0.348@546 \text{ nm}$ ), 证实复合 p-共轭 $[\text{NO}_3]^-$ 和含孤对电子 $[\text{IO}_3]^-$ 两种氧阴离子策略可赋予晶态材料相比于传统单一氧阴离子金属氧化物增益的光学各向异性和倍频效应。相关工作发表于 *Angewandte Chemie International Edition* (2021, 60(7), 3464-3468)。

上述系列研究工作得到了国家自然科学基金重点项目、教育部长江学者创新团队、科技部重点领域创新团队、教育部-国家外专局高等学校学科创新引智计划和上海市教委科创计划重点项目等的支持,张弛教授为系列论文的通讯作者,吴超博士和博士研究生吴天辉为论文的共同第一作者,黄智鹏教授参与了部分相关工作。

(来源: 同济大学)

## 江西省人民政府：关于印发2021年战略性新兴产业推进工作要点的通知

3月11日，江西省人民政府发布“关于印发2021年战略性新兴产业推进工作要点的通知”，具体如下：

### 2021年战略性新兴产业推进工作要点

2021年是“十四五”起步之年，中国共产党成立100周年，是我国现代化建设进程中具有特殊重要意义的一年。总的工作要求是：以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻中央和省委省政府决策部署，聚焦航空、电子信息、装备制造、中医药、新能源、新材料六大优势产业，加强政策引领、坚持创新驱动、突出项目带动、强化企业培育、加快产业集聚、实施信息化建设和扩大开放合作，促进产业链供应链创新链价值链深度融合，切实推动战略性新兴产业高质量发展，建设全国新兴产业培育发展高地。

#### 一、加强政策引领

（一）制定实施倍增计划。结合“十四五”规划的制定和实施，科学谋划推进工作的中长期思路、目标、任务和政策措施，研究制定新一轮新兴产业倍增计划，启动实施六大优势产业补链延链强链专项行动。各市、县（区）制定相应实施工作方案。（责任单位：省工业和信息化厅、各设区市政府、赣江新区管委会按职责分工负责）

（二）完善“四图”“五清单”。深化细化产业链图、技术路线图、应用领域图、区域分布图“四图”，以及企业、项目、集群、问题和政策“五清单”，绘制产业链全景图并实施动态更新。（责任单位：省工业和信息化厅、省有关单位、

各设区市政府、赣江新区管委会按职责分工负责)

(三) 完善政策措施保障。加快落实首台(套)、首批次、首版次等鼓励政策;充分利用各级现有科技资金、产业发展资金等财政资金支持战略性新兴产业发展;充分发挥政府性产业基金作用,引导金融机构、社会资本向战略性新兴产业集聚。(责任单位:省发展改革委、省科技厅、省工业和信息化厅、省财政厅、各设区市政府、赣江新区管委会按职责分工负责)

## 二、坚持创新驱动

(四) 实施国家级创新平台攻坚行动。推进中科院赣江创新研究院、中国中医科学院江西分院、**国家稀土功能材料创新中心提能升级**,推动中国信通院江西分院建设与运行,推动中药制造工艺与装备国家技术创新中心、VR 国家制造业创新中心、国家工业互联网研究院江西分院等落地,推进中药国家大科学装置(本草物质科学研究设施)、省部共建轨道交通基础设施性能监测与保障国家重点实验室、北航江西研究院等建设。(责任单位:省发展改革委、省教育厅、省科技厅、省工业和信息化厅、省卫生健康委、省中医药局、省通信管理局、省科学院、南昌市政府、赣州市政府、赣江新区管委会按职责分工负责)

(五) 实施龙头骨干企业研发机构全覆盖行动。实施研发投入攻坚行动,鼓励和引导企业自建或共建重点实验室、制造业(技术、产业)创新中心、工程研究中心和企业技术中心等研发机构,争创国家企业技术中心 2-3 家,新增省级重点实验室和技术创新中心 30 家、工程研究中心 30 家、企业技术中心 50 家以上。

(责任单位:省发展改革委、省科技厅、省工业和信息化厅按职责分工负责)

(六) 实施重大技术攻关。实施关键共性技术攻关挂图作战、“揭榜挂帅”机制,围绕重点产业链,开展临门一脚关键技术攻关行动,突破一批核心技术,

加大共性技术供给。实施未来产业布局计划，抢占柔性电子、纳微光学、量子科技、生物技术和生命科学的细分领域制高点。（责任单位：省发展改革委、省科技厅、省工业和信息化厅按职责分工负责）

（七）推动创新成果转化。以战略性新兴产业为重点，实施10项重大科技专项，继续推进省重点创新产业化升级工程，实施一批重点产业创新成果产业化项目和重点产业骨干工程。积极鼓励企业申报省新产品、省级重点新产品，力争全年列入省新产品开发和试产计划项目达到300项以上，省级重点新产品立项500项以上。（责任单位：省科技厅、省工业和信息化厅按职责分工负责）

（八）加大人才引育力度。积极对接国家重大人才工程，以省“双千计划”为引领，实施各级各类人才计划，引进培养一批高层次人才和创新创业团队。面向国内外知名高校和人才聚集地，持续开展“才聚江西 智荟赣鄱”等各类线上线下引才活动，吸引更多国内外优秀高层次人才和急需紧缺人才来赣创新创业。

（责任单位：省委人才办、省教育厅、省科技厅、省工业和信息化厅、省人力资源社会保障厅、省国资委、省金融监管局按职责分工负责）

### 三、突出项目带动

（九）以开展国产民机创新及应用示范为契机，推动C919完工中心、商发空中试车平台等项目落地，推动重型直升机研制、初教六飞机军转民等项目实施，做强民机研发、零部件配套、总装试飞、检测维修、教育培训全产业链。（责任单位：省发展改革委、省工业和信息化厅、南昌市政府、景德镇市政府按职责分工负责）

（十）建成中林华中智能家居、丰达兴线路板制造等项目，加快康佳第三代半导体、格力电器南康智造、华勤研发生产基地二期、木林森LED全产业链、

康硕 3D 打印等项目建设。（责任单位：省工业和信息化厅、相关设区市政府按职责分工负责）

（十一）启动晶科能源三年千亿计划，推动晶科能源再倍增项目、赣锋锂电新型锂电池、爱康科技高效异质结太阳能电池、通瑞锂电池隔膜新材料等项目建设。（责任单位：省工业和信息化厅、相关设区市政府按职责分工负责）

（十二）支持江铜集团“三年创新倍增”，推动江钨集团加快发展，推进江钨集团异地搬迁整合技改项目，**推进赣州稀土永磁电机产业园、中国南方稀土集团中核独居石项目、中科三环高端磁材项目**等重大项目建设，启动江西省科新新材料有限公司 13 万吨/年生物可降解材料聚乳酸全产业链项目。（责任单位：省工业和信息化厅、省国资委、省科学院、赣州市政府按职责分工负责）

（十三）建成普瑞美废旧锂电池再生综合利用等项目，推动重点行业清洁生产和绿色化改造，推广一批技术优势和市场优势明显的节能环保装备和产品。（责任单位：省发展改革委、省工业和信息化厅、省生态环境厅、相关设区市政府按职责分工负责）

（十四）建成巴斯巴新能源汽车核心零部件等项目，加快充电桩、换电站等建设，促进新能源汽车消费。（责任单位：省发展改革委、省工业和信息化厅、相关设区市政府按职责分工负责）

（十五）实施新兴产业倍增项目。聚焦航空、电子信息、装备制造、生物医药（中医药）、新能源、新材料六大优势产业，扶持一批新兴产业“增品种、提品质、扩规模”重大项目。（责任单位：省工业和信息化厅）

#### 四、强化企业培育

（十六）开展领航企业培育行动。重点培育、动态更新制造业领航企业 100

家左右，支持构建与中小企业协同创新、共享资源、融合发展的企业集群。（责任单位：省工业和信息化厅）

（十七）培育中小企业。支持中小企业升规入统，并在优势领域精耕细作，力争净增规模以上工业企业 1000 家以上、制造业领航企业 100 家以上、“专精特新”企业 500 家以上、“小巨人”企业 50 家以上、制造业单项冠军 10 家以上。

（责任单位：省工业和信息化厅）

（十八）构建科技型企业培育体系。力争培育独角兽（含潜在、种子）企业 10 家，瞪羚（含潜在）企业 100 家，高新技术企业 1500 家；入库国家库科技型中小企业数突破 7500 家。（责任单位：省科技厅）

## 五、加快产业集聚

（十九）推动战略性新兴产业集群（集聚区）发展。实施产业集群提能升级计划，强化分类施策、分级管理，集中资源培育壮大优势产业集群（集聚区），推动优势产业集群创建国家级先进制造业集群和战略性新兴产业集群、省级产业基地向国家级示范基地进位，打造一批高质量跨越式发展示范园区。（责任单位：省发展改革委、省工业和信息化厅按职责分工负责）

（二十）推进低空空域管理改革试点工作，推动南昌航空城、景德镇航空小镇及南昌、景德镇通航产业综合示范区建设，打造世界先进直升机研发制造基地。

（责任单位：省委军民融合办、省发展改革委、省工业和信息化厅、南昌市政府、景德镇市政府按职责分工负责）

（二十一）推动电子信息“四城”“十基地”建设。以京九高铁沿线经济走廊为轴，持续做大南昌、九江、吉安、赣州等四城电子信息产业规模，不断增强电子信息产业基地和产业集群的创新能力。（责任单位：省工业和信息化厅、相

关设区市政府按职责分工负责)

(二十二) 推动赣州中国稀金谷建设, 支持鹰潭打造万亿有色产业集群核心区, 推动铜、钨和稀土等先进基础材料和高性能材料研发, 加快资源优势向研发优势转变、价值链低端向高端迈进。(责任单位: 省工业和信息化厅、赣州市政府、鹰潭市政府按职责分工负责)

(二十三) 抓好中国(南昌)中医药科创城建设, 加快实施樟树“中国药都”振兴工程建设, 支持南城“建昌帮中医药”振兴发展。(责任单位: 省工业和信息化厅、相关设区市政府、赣江新区管委会按职责分工负责)

## 六、实施信息化建设

(二十四) 发展数字经济。深入开展数字经济发展“八大行动”、企业“上云用数赋智”行动, 数字经济增加值占GDP比重持续提升。(责任单位: 省发展改革委、省工业和信息化厅、省通信管理局按职责分工负责)

(二十五) 完善应用产业支撑。实施VR、移动物联网、工业互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等产业培育工程和高端软件、电子信息制造业等产业提升工程。(责任单位: 省科技厅、省工业和信息化厅、省通信管理局按职责分工负责)

(二十六) 推进数字新基建。持续推进5G网络和千兆光网建设, 力争在南昌设立国家级互联网骨干直联点, 谋求国家级关键通信基础设施在江西布局。在符合条件的区域申报国际互联网专用数据通道, 提升重点城市和开发区产业升级和外向型经济发展。建成北斗综合应用示范项目, 开工中国(南昌)数字经济港、赣州大数据产业园、上饶一舟物联网智慧产业园、樟树樟帮数字经济产业园、仁和集团数字经济产业化等项目, 加快中国电信江西云和大数据中心、抚州卓朗联

通云计算数据中心等建设，支持建设工业互联网标识解析二级节点，建设江西区块链节点，夯实网络支撑基础。（责任单位：省发展改革委、省科技厅、省工业和信息化厅、省通信管理局按职责分工负责）

（二十七）推进03专项试点示范。实施提速增智、标杆引领、规模增效、提质升级、攻关突破、重点示范六大工程，实现“03专项”百万级应用3个以上。（责任单位：省科技厅、省工业和信息化厅、省通信管理局、南昌市政府、鹰潭市政府按职责分工负责）

## 七、扩大开放合作

（二十八）办好世界VR产业大会、世界赣商大会、江西（上海）跨国公司合作交流会、中国卫星导航年会、滕王阁创投峰会、南昌飞行大会等重大活动，举办全省大数据产业推进会、全球区块链创新发展大会、移动物联网博览会、江西公共安全创新创业大赛、“创客中国”大赛等专场活动。（责任单位：省委军民融合办、省科技厅、省工业和信息化厅、省商务厅、省金融监管局按职责分工负责）

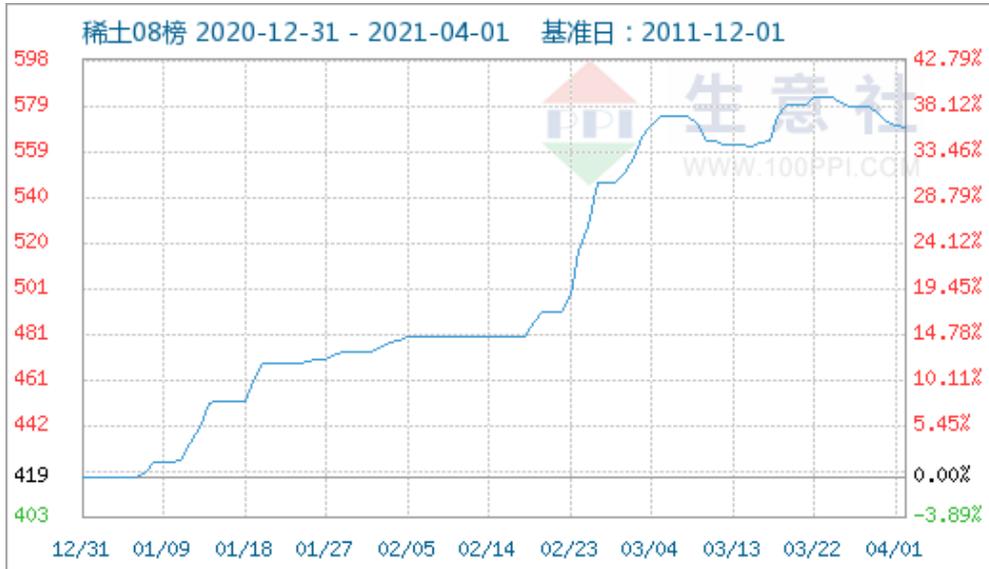
（二十九）组织参加中国国际进口博览会，做好对接粤港澳大湾区、对接长三角、赣京合作等产业推介活动。（责任单位：省工业和信息化厅、省商务厅按职责分工负责）

## 八、加强组织实施

（三十）省工业强省建设工作领导小组办公室负责统筹谋划、协调推进、督促落实。各地各部门按照工作安排，明确时间节点、细化责任分工，加大指导扶持力度，确保各项重点工作任务落到实处、取得实效。

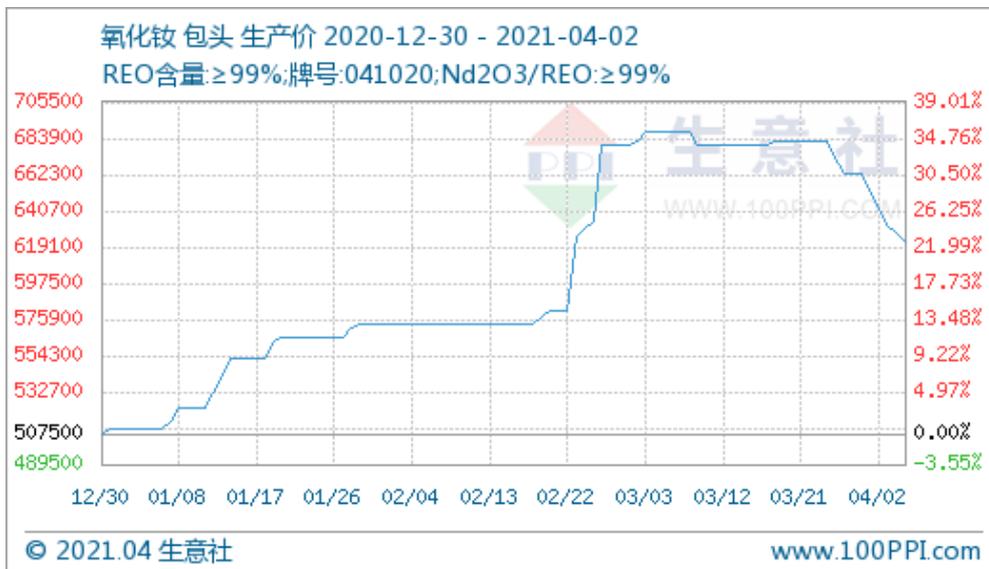
（来源：江西省人民政府）

## 成交不佳 钕系稀土价格跌幅明显

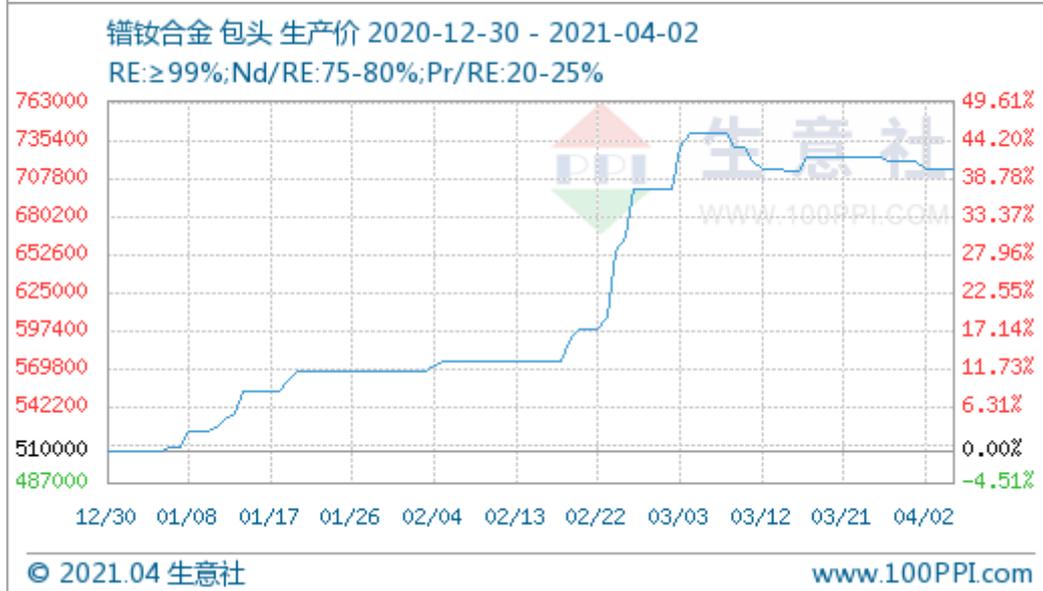
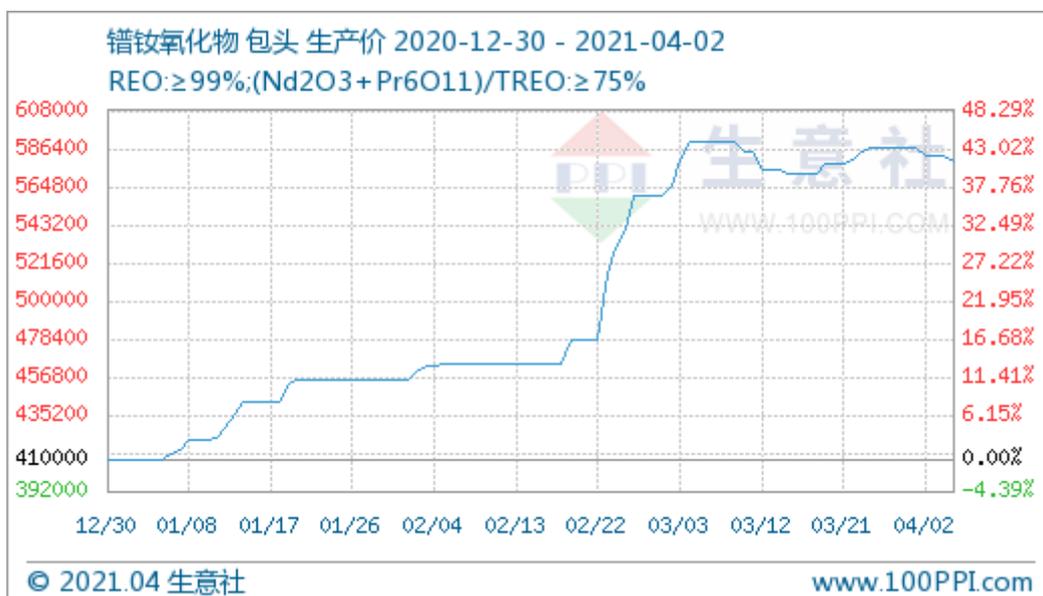
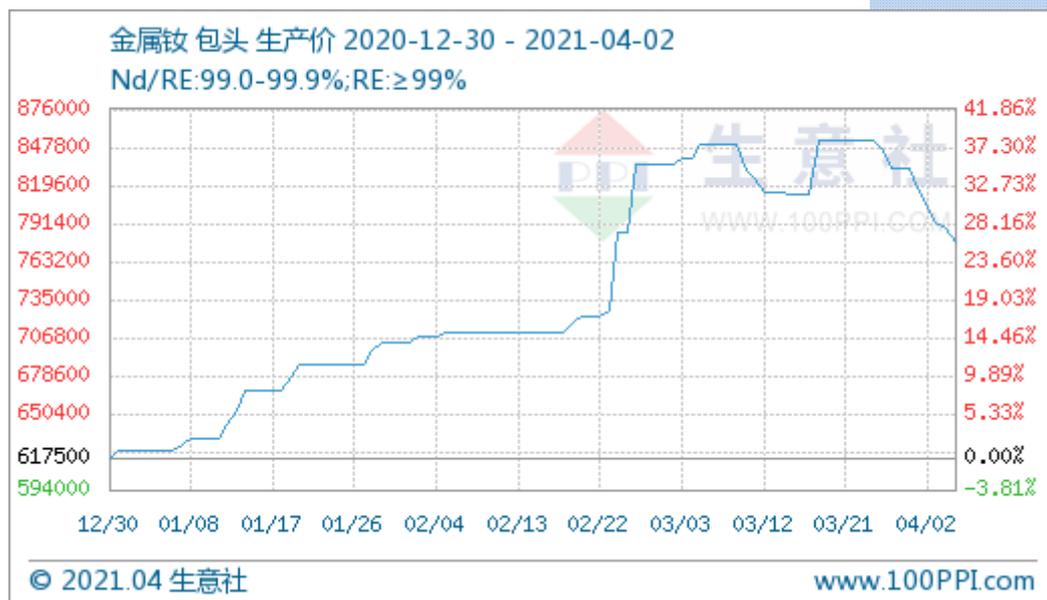


据生意社监测显示国内稀土市场价格指数走势小幅回落，国内镨钕系稀土价格走低，钕系价格跌幅明显，重稀土市场价格维持高位，国内稀土市场价格小幅回落，根据生意社稀土板块指数显示，4月1日稀土指数为569点，较昨日下降了1点，较周期内最高点1000点（2011-12-06）下降了43.10%，较2015年09月13日最低点271点上涨了109.96%。（注：周期指2011-12-01至今）。

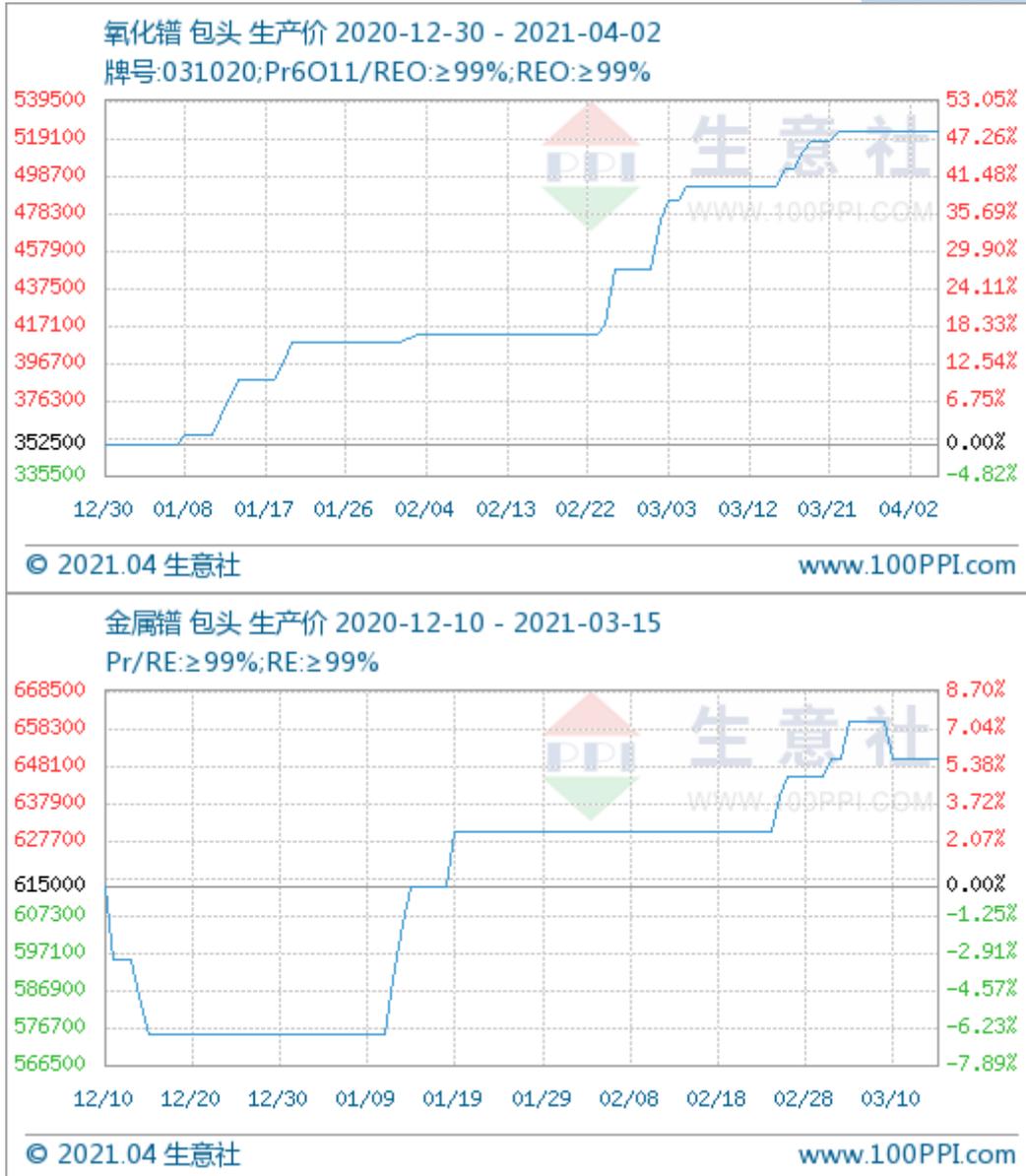
由稀土指数图上可以清晰的看出，国内稀土价格小幅回调，近期稀土市场部分价格走低，稀土市场行情降温。具体到产品来看：



## 市场行情

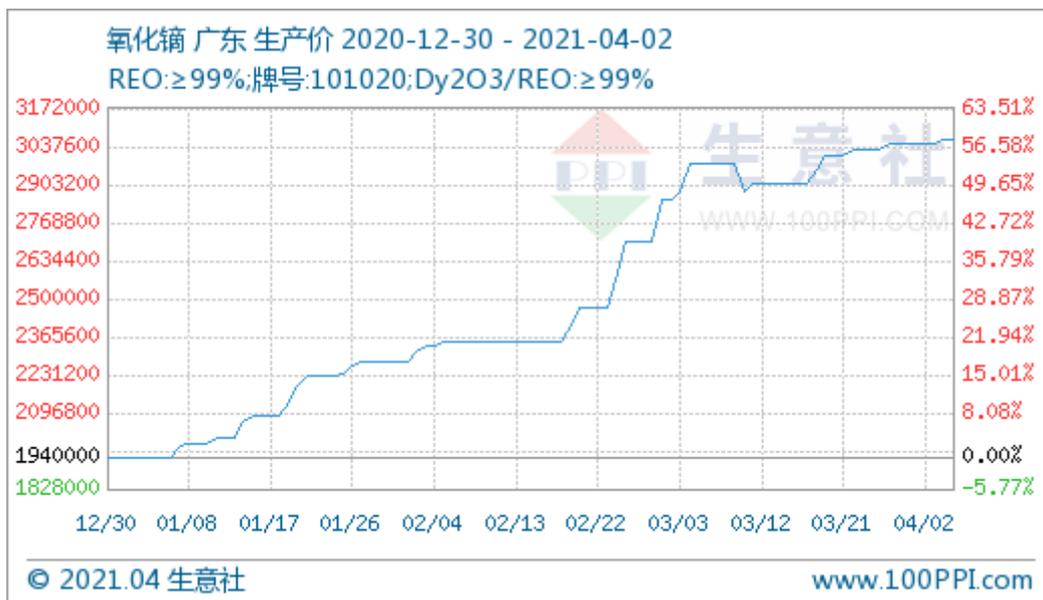


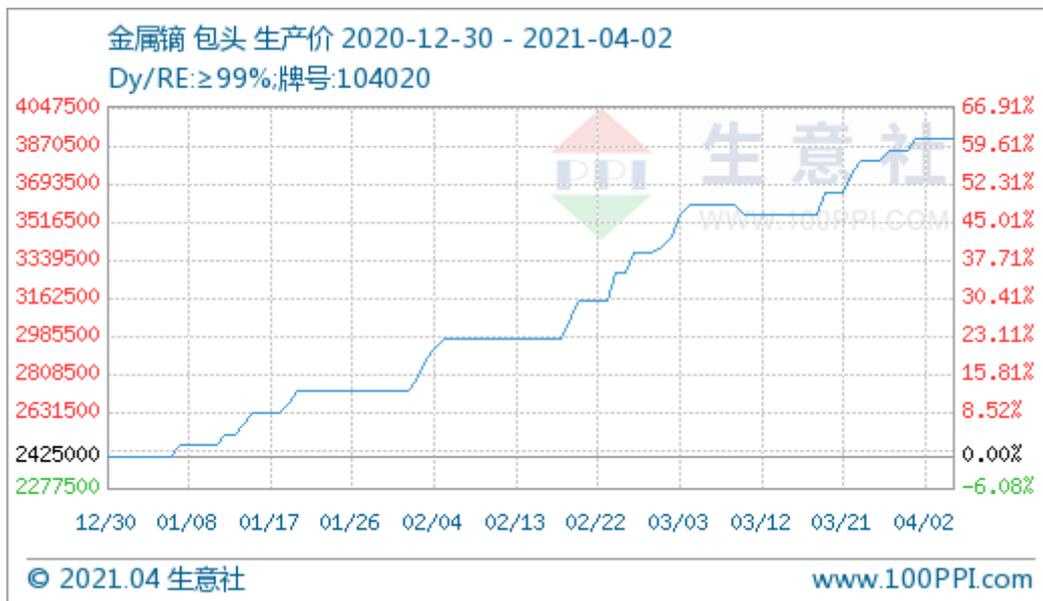
## 市场行情



由产品价格走势图可以清晰的看出，国内氧化钕和金属钕跌幅明显，镨钕氧化物，镨钕合金，氧化镨和金属镨等价格小幅回落，截止4月2日国内稀土中氧化钕价格为62.25万元/吨，较3月初价格下滑8.46%；金属钕价格为77.75万元/吨，较3月初价格下滑6.89%；镨钕氧化物价格为57.95万元/吨；镨钕合金价格为71.5万元/吨；氧化镨价格为52.25万元/吨；金属镨价格为67.5万元/吨，国内轻稀土市场行情小幅回落。

近期稀土市场震荡下滑，部分企业反馈，整体成交量有所下滑，下游永磁按需采购为主，但是前期厂家备货积极，场内库存增加，导致下游采购不积极，轻稀土市场价格走低。新能源汽车销售尚可，带动了多个行业的发展，据场内人士透露稀土缺口有可能会延续整个 2021 年。高性能钕铁硼主要稀土原料为轻稀土氧化镨钕、重稀土氧化镝及氧化铽，应用于新能源汽车、风电、节能变频空调、传统汽车等领域。据统计新能源汽车继续刷新单月销量历史纪录。中国汽车工业协会公布的数据显示，3 月上中旬，11 家重点企业汽车生产完成 126.7 万辆，同比增长 1.2 倍。其中，乘用车生产完成 101.3 万辆，同比增长 1.3 倍；商用车生产完成 25.4 万辆，同比增长 1 倍。下游按需采购为主，加之近期稀土大厂仍有挺价意向，国内轻稀土市场部分价格走势维持稳定。近期国内重稀土市场价格维持高位水平。





由走势图可以看出国内镨系价格维持高位水平，截止2日氧化镨价格为306万元/吨；镨铁合金价格为302万元/吨，金属镨价格为390万元/吨，国内铽系价格小幅回落，国内氧化铽价格为965万元/吨，金属铽价格为1225万元/吨。国内重稀土市场价格维持高位的原因包含缅甸政局震荡，全球稀土供给较为集中，缅甸是仅次于中美的产区之一。缅甸方面对于国内重稀土市场产品影响较大，进口货源大幅减少，国内重稀土市场供需矛盾尖锐，导致重稀土价格维持高位。加之

国内重稀土生产正常，对于国内重稀土需求的较大缺口可谓是有心无力，国内稀土收储计划是支撑国内重稀土价格的一大利好。

工信部公开征求对《稀土管理条例(征求意见稿)》的意见，提出国家对稀土开采、稀土冶炼分离实行总量指标管理，实行稀土资源地和稀土产品战略储备，并首次明确对违反规定企业的处罚条例。业内人士认为，征求意见稿反映出政府对稀土行业管控在加强，且对违规企业处罚首次做出明确，有利于行业健康发展。2021年以来，主流稀土品种价格呈上升态势，重稀土主流品种涨势明显。机构预计，2021年稀土价格有望开启长牛走势，稀土产业链上游龙头公司利润有望充分释放。

2021年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标大幅增加，与下游需求强劲有关，自然资源部下达2021年度稀土矿开采总量控制指标，2021年度全国第一批稀土矿（稀土氧化物 REO，下同）开采总量控制指标 84000 吨，其中离子型（以中重稀土为主）稀土矿指标 11490 吨，岩矿型（轻）稀土矿指标 72510 吨。第一批钨精矿（三氧化钨含量 65%，下同）开采总量控制指标 63000 吨，其中主采指标 46890 吨，综合利用指标 16110 吨。2021年继续对稀土矿、钨矿实行开采总量控制，国政政策利好，稀土市场大部分产品走势稳定为主。

随着稀土下游的新能源车、风电、变频空调领域持续放量，有望拉动需求进一步增长，全球稀土供给缺口有望持续扩大，国内稀土需求维持高位，国内稀土供应方面开工正常，但是近期场内成交不佳，采购不积极，生意社分析师陈玲预计后期稀土市场价格短期轻稀土市场价格或将小幅走低。

（来源：生意社）

## 稀土元素的植物生理作用研究进展

稀土农用研究在我国始于七十年代初。多年来，由研制稀土农用产品。到小区试验再扩展到大面积的使用，不仅在稀土农用技术，而且在基础理论的研究中都取得了一系列的重要突破。并产生了很大的经济效益。

从八十年代中期大面积推广使用稀土至今，已有几十年时间。这期间有多篇关于稀土农用的增产效果及稀土元素的生理效应的综合性的总结和综述。稀土元素植物生理作用的研究对于农业生产合理地使用稀土微肥具有重要的理论意义。本文就近年来有关稀土元素的植物生理效应的研究现状作一综述。

### 1.稀土元素在植物体内的含量，分布及存在状态

稀土元素在土壤中广泛存在，但植物体内稀土元素的含量与多种因素有关。土壤环境，植物的种类，气候条件等都会使植株内的稀土元素含量差异很大。同一植株的不同器官，不同生长部位的含量也不相同。从整体看，在自然状态下，植物从土壤中吸收稀土元素后，不同器官中稀土元素的含量由大到小的顺序是：根，叶，茎，花，果实。马玉增、劳秀荣、郝福玲等通过用稀土浸种，分别研究了花生，玉米和小麦对稀土的动态吸收过程和植物各器官对稀土的吸收量，结果表明，含量分布与在不施稀土的自然状态下相同。

对稀土元素在植物体内存在位置和存在状态的研究是探索稀土元素的植物生理功能的一条重要途径。周世恭利用电镜制片技术使进入小麦幼苗的镧离子固定在原有位置，采用扫描电镜与能谱分析相结合的方法进行研究。结果显示：进

入植物体的镧离子多数沉积在根尖细胞壁上,只有少量积累在生长区皮层细胞壁和叶肉细胞壁上细胞质中未检出。表明镧离子主要沿细胞壁和壁外途径传递和分布,未能通过质膜进入到细胞内。而李齐等以不同浓度  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$  处理 I-90 杨根,再经快速冷冻干燥,塑料真空渗透包埋,用透射电镜能量分散型 X 射线微区分析法对铈及其它离子在亚细胞微区间的分布和含量进行了测定。表明铈不但进入植物细胞,而且在细胞核内有明显富集。在此,是由于供试的稀土离子不同,植物的种类不同,还是实验条件的差别(如稀土处理样品的方法,植物的生长期不同等)而导致不同的结论,尚不清楚。这方面的工作还有待于进一步深入。

有关稀土在植物体内存在形式的研究工作并不多见。这几年来,只有钟淑琳报道了从未喷施过稀土的新鲜茶叶中分离出一种稀土-脂多糖,并测定了其分子量。这方面的工作进展缓慢可能是由于植物的组成成分复杂,且稀土-生物分子化合物含量甚微,现有的分离手段难以达到这样的要求,从而使得这方面的工作较为困难。

## 2. 稀土元素对植物种子萌发和生长发育的影响

大量试验表明,稀土元素对植物种子的萌发和根的生长有特殊的效应。刘恩侠研究了稀土对向日葵种子萌发和根系生长的影响。结果表明,稀土浸种对种子的发芽率影响不大。适当浓度稀土处理种子,可以提高种子活力,明显促进幼苗生长。但当浓度过高时,则产生抑制作用。可能是细胞膜或染色体组受到伤害所引起。潘登魁等将油松种子分别用不同浓度的  $\text{CeCl}_4$  和  $\text{PrCl}_3$  浸种处理,结果显示能诱导种子体内产生脂酶同工酶,有利于脂库油脂动员,促进种子萌发和幼苗

根系增长，同时根系脱氢酶活性增强，并诱导幼苗产生超氧化物歧化酶(SOD)同工酶。光合色素含量高于对照，Chla/b 值相对较低。沈博礼等从镧和铈对小麦幼苗过氧化物酶和淀粉酶活性及其同工酶的影响作了研究。结果发现过氧化物酶同工酶的活性，尤其是参与生长素代谢的酶的活性有所降低，从而促进植物的生长，这种现象在芽中尤为显著，另一方面， $\beta$  - 淀粉酶的活性增加，镧的作用大于铈，需要更深入的研究。而杨燕生等则从钙调素(CaM)水平的变化探讨了镧对小麦幼苗生长影响的内在原因。CaM 是动植物体中广泛存在的一种多功能的胞内  $\text{Ca}^{2+}$  受体，参与细胞增殖及多种生理过程的调控。而  $\text{La}^{3+}$  可显著地影响小麦幼苗 CaM 水平。但由于镧的定位在胞外，故推断  $\text{La}^{3+}$  通过某种机制将信号传递到胞内从而影响 CaM 基因表达。当促进 CaM 基因表达时（CaM 水平上升），蛋白质含量上升，加速细胞分裂，使小麦幼苗生长加快，苗高，苗重增加。反之，则出现相反的结果。杨汉民发现部分镧系元素能提高枸杞体细胞胚的诱导频率。原因可能是稀土提高了愈伤组织对养分和无机盐的吸收和利用，改善了细胞的生长环境，最终促进了胚性细胞向体细胞的转变和发育。

有关稀土与植物生长激素之间的关系也是人们感兴趣的一个方面。一般的结论是在适当浓度的稀土作用下，植物体内的生长素，赤霉素，细胞分裂素等激素的含量均有不同程度的增加。研究表明， $\text{LaCl}_3$  对生长素诱导的导管分化和形成有促进效应。王则民综述了稀土植物生长素类固体配合物的合成及其植物生理效应的研究进展情况。王辉合成了一系列化学组成为  $\text{REL}_{2,3}\text{H}_2\text{O}$  的固体配合物并应用于小麦胚芽鞘的生长研究，发现有促进作用，且作用大小顺序与这些配合物在

水中的溶解度大小顺序一致。配合物的作用效果并非是稀土离子与相应配体二者效果的加和，稀土离子与相应配体表现出明显的“协同”或“增效”作用。

### 3.稀土元素对植物矿质营养代谢的影响

大量研究资料表明，施用适当浓度稀土元素能促进植物对养分的吸收，转化和利用，这已得到许多实验结果的证实。用富镧稀土对春小麦喷施或拌种，采用 $^{15}\text{N}$ ， $^{32}\text{P}$ 示踪技术检测，实验结果显示春小麦生长发育得到促进，结实穗数和籽粒数也有所增加，表明使用稀土可提高春小麦对氮，磷肥的吸收，运转，利用，并减少土壤中氮素损失。聂呈荣发现，花生喷施稀土，对根瘤固氮活性和叶片硝酸还原酶活性均有显著的促进作用，从而提高了叶片氨态氮含量，降低了硝态氮含量，改善了植株的碳氮代谢，对改善品质，提高产量有利。常江发现镧( $10\text{mol/L}$ )和钙( $1\text{mol/L}$ )均可降低水稻根系对 $\text{K}^+$ 的亲合力，导致 $\text{K}^+$ 的吸收下降。镧可促进磷吸收，而钙则相反。廖铁军研究了稀土在氮，磷均衡营养供应的条件下，对几种作物的增产刺激作用。认为增产机理在于稀土可促进，协调作物对矿质养分的吸收，刺激酶活性。而且稀土是生理活性物质，必需与大量营养元素进行合理的配用，才能发挥效益。李元沅发现在灰泥田水稻分蘖始期和初穗期喷施稀土离子可使根际容积磁化率提高，并显著促进水稻对养分的吸收和生长发育。值得注意的是，这是为数不多的一篇涉及到生物磁性方面工作的文献。

### 4.稀土元素对植物光合作用的影响

光合作用对植物干物质的积累和作物产量均有决定性的作用。无论是大田实验，还是实验室实验都明确证明，稀土元素对植物的光合作用有明显的影

微学研究表明：稀土可增加叶肉组织中叶绿体的数量，提高微管束的排列密度，因此可提高光合作用效率。

稀土元素对糖用甜菜块根膨大期和糖分积累期光合产物分配的影响可利用CO<sub>2</sub>示踪法来检测。结果显示，喷施适当浓度稀土元素可提高甜菜同化CO<sub>2</sub>能力，提高根冠比，改善光合产物的分配，有利于光合产物向块根运输。用适当浓度稀土元素在苗期和花针期喷施花生时，可提高叶片叶绿素含量和净光合强度，因而增加花生荚果产量。刘洪章等用叶面喷施稀土方法，对黑穗醋栗生长进行了研究，发现低浓度(300-800ng/L)处理能显著增大叶面积，提高叶片叶绿素总量，对叶片光通量密度，气孔导度和蒸腾速率均有良好的影响，对提高座果率，单株产量等均有益处，而高浓度处理时则出现抑制作用。

有关稀土元素对光合作用产生影响的机理一直是受人关注的一个研究方面。但目前还没有一种被大家所一致公认的机理。有报道说，铈对黄瓜叶绿体中叶绿素蛋白质复合物的形成有影响。李赛君等则在甲醇和醋酸体系中合成得到叶绿素-铈配合物。通过研究叶绿素-铈和叶绿素 a 的紫外可见(UV-VIS)和瓷圆二色性谱(MAD)证明，铈离子已配位到叶绿素的卟啉环上，形成了叶绿素-铈的配合物。沈博礼等则认为稀土对植物光合能量代谢的影响，主要还是促使 PS II 蛋白质复合体的活性加强和电子传递链中电子传递速率加快，从而带动整个光能转换和光化学反应。还有的研究者发现稀土元素还可以改变叶绿素在细胞内的移动速率。

## 5.稀土元素对植物抗逆性的影响

大田作物栽培常会遇到诸如干旱，高温，低温，盐渍，病虫害等逆境条件。使用稀土，可以增强作物对上述不良环境条件的抵抗能力。用 300mg/Kg 稀土溶液处理棉花种子，枯萎病发病率可降低 18.96%--11.45%，病情指数降低 25.6%--17.43%，相对防效分别为 29.19%--39.3%。但高浓度稀土则效果不明显，甚至产生药害。其他作物施用稀土也都显示出不同程度的抗病性。对于稀土元素能增强作物的抗逆性和抗病性，宁加贲认为在于稀土离子能与细胞膜的磷脂结合，调节钙的代谢，并取代  $\text{Ca}^{2+}$  离子，参与与  $\text{Ca}^{2+}$  有关的许多生理过程，所以，稀土离子能维持细胞膜的通透性和稳定性，提高细胞膜的保护功能，增强作物对不良环境的抵抗能力。加强代谢过程中的氧化酶活性，有效地抑制病原体侵染，从而提高作物的抗病性。

## 6.稀土元素对植物的产量，品质的影响

稀土对农作物的效应不仅能提高作物的产量，也有改善品质的作用。这方面的报道很多。如使葡萄的果粒增大，糖酸比提高，改进风味。稀土拌种可使玉米的品质改善，产量提高。喷施稀土可使苹果和柑橘果实的 Vc 含量，总糖含量，糖酸比均有所提高，促进果实着色和早熟。并可抑制贮藏过程中呼吸强度，降低烂率。施用稀土复合肥还可减少蔬菜中硝酸盐的积累，而且降低幅度和趋势极为明显。另外还有稀土元素对啤酒花，水稻的产量与品质影响的报道。值得一提的是，胡瑞芝等从细胞膜透性的角度探讨了施用稀土对水稻产量影响的机理。实验结果表明：在水稻生长的中，后期，稀土离子能抑制叶片脂质过氧化产物丙二醛 (MAD) 的形成，使脂质过氧化作用减弱，延缓细胞膜的破损，穗长和每穗粒数明

显增加，从而增加水稻产量。何友昭等报道，小麦在拔节期喷施稀土可显著提高产量，他们认为是小麦穗粒数增加的结果，因为钱粒重的变化并不明显。同时他们还得到了小麦产量与喷施稀土浓度之间的二次曲线相关关系。

### 7.今后研究工作的方向

多年的研究表明，施用适量的稀土元素对提高作物的产量，品质是有益的。但还不能充分证明其对植物生长的必需性。稀土元素对植物体内的一些生理生化反应有一定的促进作用。但这些作用是植物体内各种影响因素共同作用的结果，而不是稀土元素的单独作用。今后的工作应进一步着眼于从细胞，亚细胞乃至分子水平上研究稀土元素的植物生理效应。如稀土离子在植物体内的运输方式，定位及存在形式，作用机制等。弄清楚这些问题不但有助于从理论上指导稀土的推广应用，而且对认识化学元素在生命科学中的作用也是有意义的。

(来源：中国稀土)