

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2022年 第12期 总第110期

本期要闻

- ◎ 稀土价格创半年新高!产业链利润有望释放
- ◎ 工信部印发《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录(2022年版)》 涉及稀土相关领域
- ◎ 2022年度智能制造示范工厂揭榜单位名单发布 涉及稀土相关领域
- ◎ 三部门联合印发《关于巩固回升向好趋势加力振作工业经济的通知》 涉及稀土等领域

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	1-11
◎ 稀土价格创半年新高!产业链利润有望释放	
◎ 工信部印发《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录(2022年版)》 涉及稀土相关领域	
◎ 2022年度智能制造示范工厂揭榜单位名单发布 涉及稀土相关领域	
◎ 赣州市稀土新材料及应用集群入选	
◎ 湖南省与中国稀土集团签署战略合作协议	
◎ 储量世界第二,仅次于中国,守着2200万吨金山,越南为什么不挖?	
◎ 日本最早2024年在南鸟岛海域试开采稀土	
◎ 加拿大威奇达稀土矿钻探见厚层矿体	
◇ 科技前沿	12-16
◎ 福建物构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	
◎ 南京师范大学研究团队在稀土能源电催化领域中取得重要研究进展	
◇ 政策法规	17-26
◎ 三部门联合印发《关于巩固回升向好趋势加力振作工业经济的通知》 涉及稀土等领域	
◇ 市场行情	27-31
◎ 2022年12月稀土价格走势	
◇ 稀土知识	32-41
◎ 稀土元素在水体富营养化治理中的应用	

稀土价格创半年新高!产业链利润有望释放

近日，稀土价格持续走高。

中国稀土行业协会数据显示，12月26日稀土价格指数报295.2点，环比上月同期涨8%，处于近4个月以来高点。

具体品种方面，氧化镨和氧化铽分别报2470元/公斤—2510元/公斤和13920元/公斤—13980元/公斤，创下了近6个月以来新高。

早在本月初，稀土价格便已企稳回暖。12月01日至15日，重稀土主要产品中，氧化镨最低价为242.0万元/吨，双周涨跌幅为5.91%;轻稀土氧化物中，氧化镨钆最低交易价格为68.3万元/吨，双周涨跌幅3.80%;氧化镨最低交易价格68.0万元/吨，双周涨跌幅2.26%;氧化铽最低交易价格75.5万元/吨，双周涨跌幅为4.14%。

据了解，稀土是我国重要的战略资源，有“工业黄金”之称，分为轻稀土和重稀土两类，重稀土主要应用于航天、军工及新材料合成等领域;轻稀土主要用于稀土永磁材料等领域，其下游主要是消费电子、节能设备、变频空调、风电设备、工业电机、新能源汽车以及机器人等。

中国银行研究院研究员叶银丹表示，近期稀土价格上涨主要与部分企业进入停产检修期、废料回收价格走高以及年底备货需求增加有关。

从供给端来看，进入12月份，随着生产指标的陆续用尽，部分企业相继进入停产检修期，稀土氧化物产量方面出现下滑。另一方面，虽然12月份恢复了缅甸稀土矿进口，但进口数量不多。此外，废料供应紧张且价格居高，废料回

收企业已经陆续减停产。综合来看，近期稀土氧化物产量整体呈下降趋势。

中长期来看，工信部、自然资源部2022年稀土开采指标为21万吨，同比增长25%，冶炼分离指标为20.2万吨，同比增长24.7%。根据按需投放的原则，预计2023年全年指标增速区间或为20%-30%。

从需求端来看，以稀土磁性材料为主的永磁电机，是新能源汽车、风电、工业机器人等领域的核心组成部分，随着这些高景气度领域需求的持续爆发，也带动了对上游稀土需求的高速增长。

根据比亚迪股份公告，2022年11月共销售230427辆新车，去年同期为98340辆；1-11月，总销量为1633346辆，同比增长154.80%，新能源汽车产销持续高增。此外四季度是消费电子、变频空调、风电等稀土永磁下游需求的传统旺季，叠加工业电机、机器人需求的支撑，12月稀土产业链相关企业开工率有望维持高位。

同时，随着时间进入年底，市场备货需求陆续显现，询单采购增加，多数商家看好后市需求，也推动了稀土价格的明显上涨，市场现货流通偏紧对成交价格走高形成了有力支撑。

中长期来看，根据弗若斯特沙利文预测，2025年我国及全球的稀土永磁材料产量将分别达到28.4万吨和31.0万吨，预计未来全球高性能钕铁硼供给增量或主要集中在中国；随着新能源汽车、工业电机、工业机器人、风力发电等下游需求高速增长，稀土价格或将高位运行，产业结构有望持续优化，稀土永磁行业集中度或进一步提升。

（来源：上海有色）

工信部印发《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录（2022年版）》 涉及稀土相关领域

为加快推广应用先进适用节能技术装备，促进企业节能降碳、降本增效，推动工业和信息化领域能效提升，工信部编制了《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录（2022年版）》，现予公告。

其中，在稀土相关领域，英智特（北京）科技发展有限公司申报的产品型号为“YTYP280M-8/1000”的实测能效指标效率为96.08%的“稀土永磁同步电机”、适用于工业拖动设备调速系统节能技术改造的“卧式油冷型永磁调速节能技术”位列其中。

（来源：工信部）



2022年度智能制造示范工厂揭榜单位名单发布 涉及稀土相关领域

2022年12月30日，工业和信息化部、国家发展和改革委员会、财政部以及国家市场监督管理总局发布“《“十四五”智能制造发展规划》”。

其中，在稀土相关领域，安泰科技股份有限公司的典型场景为“智能仓储、产品数字化研发与设计、在线运行监测、质量精准追溯、可制造性设计、智能协同作业、生产计划优化、能耗数据监测”的“稀土永磁制品智能制造示范工厂”位列其中。

（来源：工信部）

赣州市稀土新材料及应用集群入选

近日，工业和信息化部正式公布 45 个国家先进制造集群名单，赣州市稀土新材料及应用集群入选。

据悉，45 个国家级集群 2021 年主导产业产值达 19 万亿元，布局建设了 18 家国家制造业创新中心，占全部国家级创新中心数量的 70%，拥有国家级技术创新载体 1700 余家，培育创建了 170 余家国家级单项冠军企业、2200 余家国家级专精特新“小巨人”企业，成为推动制造业高质量发展的重要载体。

赣州每年产出占全球 70% 的中重稀土。近年来，我省坚持以创新引领产业升级，高标准推进国家稀土新材料技术创新中心等重大平台建设，培育壮大特色优势产业，打造具有全球影响力的稀土新材料产业集群。2021 年 12 月，中国稀土集团在赣州正式挂牌成立。今年 9 月，中国稀土集团与江铜集团战略合作签约暨中国稀土集团资源科技股份有限公司揭牌仪式举行。这对推动稀土产业专业化整合具有重要意义，也为赣州做大做强稀土产业集群带来了重大机遇。

下一步，工业和信息化部将紧紧围绕集群培育目标任务，加快构建省级——国家级——世界级集群梯次培育发展体系，完善央地联动、部门协同的工作机制，完善产业、创新、财政、金融、区域和公共服务等集群政策支持体系，促进集群交流与合作。

（来源：江西日报）

湖南省与中国稀土集团签署战略合作协议

近日，湖南省与中国稀土集团有限公司在长沙签署战略合作协议。省委书记、省人大常委会主任张庆伟会见中国稀土集团有限公司党委书记、董事长敖宏一行，省委副书记、省长毛伟明出席签约仪式。省领导谢卫江、陈飞参加会见或签约仪式。省国资委党委副书记、主任丛培模及省直相关部门负责人共同见证签约仪式。

张庆伟代表省委、省政府对敖宏一行的到来表示欢迎，对中国稀土集团给予湖南的支持帮助表示感谢。他说，当前全省上下正深入学习贯彻党的二十大精神 and 总书记对湖南重要讲话重要指示批示精神，全面落实“三高四新”战略定位和使命任务，坚定不移贯彻新发展理念，加快构建现代产业体系，把有色金属产业发展摆在突出位置，积极推动稀土产业高质量发展。湖南与中国稀土集团合作基础坚实、前景可期，希望中国稀土集团充分发挥央企优势，与湖南持续开展全方位深层次合作，共同做好顶层设计，强化整体研究，抓好战略合作协议落实，加大高附加值产品开发，推动稀土资源良好应用，促进湖南稀土产业集聚化、高端化、智能化、绿色化、规模化发展。湖南省委、省政府将全力支持中国稀土集团在湘投资发展，落实好有关政策，提供优质服务保障。

签约仪式上，毛伟明对中国稀土集团看好湖南、建设湖南、发展湖南的积极作为表示感谢。他说，湖南稀土产业发展基础好、潜力大，目前已形成从开采、冶炼分离到材料生产、终端应用等较为完善的产业链条。2021年，全省稀土产业实现营业收入35亿元，较上年增长12.9%，具有良好的增长空间和发展

前景。希望双方以协议签署为契机，充分发挥中国稀土集团资金、技术、人才、管理优势和湖南资源、产业优势，加快湖南稀土产业实质性整合，推进湖南稀土新材料产业园建设，在湘布局稀土深加工及高值应用产业，守牢生态环境安全底线，共同推动湖南稀土产业高质量发展。湖南将全力营造市场化法治化国际化一流营商环境、提供最暖心最优质服务，支持中国稀土集团在湘发展。

敖宏感谢湖南对中国稀土集团的关心支持。他说，近年来，湖南经济社会发展态势喜人，为中国稀土集团提供了广阔的发展前景。集团将与湖南全面加强合作交流，推进湖南稀土资源整合，共同做大产业园区，加强产品开发、技术攻关、人才培养等工作，实现互利共赢发展。

根据协议，双方将建立健全高层定期会晤机制和日常沟通协调机制，在加快稀土资源整合、推动稀土产业高质量发展、推进稀土创新体系及人才体系建设等方面加强合作，不断提升湖南稀土产业竞争力和影响力。

（来源：CBC 金属网）

储量世界第二，仅次于中国，守着 2200 万吨金山， 越南为什么不挖？

各个国家想要发展工业都离不开重金属，而越南的一种稀有金属就被澳大利亚盯上了。两国已约定要共同开采有着“工业黄金”之称的稀土资源。

这种“工业黄金”越南拥有 2200 万吨，储量仅次于中国。通过开采这些稀

土并出口能够让越南获得不菲的利润，甚至有可能让本国经济迎来高速发展。这就让很多人产生疑问，越南守着这 2200 万吨的金山为什么不自己开采呢？

一、越南稀土储量仅次中国

稀土这种资源中包含许多元素，在通过技术分解之后具有非常好的光电磁等物理特性，在电子、激光、冶金、农业、石油化工和军事等方面有着至关重要的作用。完全可以说一个国家掌握了稀土，也就掌握了重要的战略资源。

越南工业化学研究所曾发表了一份数据，从数据中能够看到越南的稀土资源储量已经达到了 2200 万吨，储量仅次于中国。如果越南能够开采这种“工业黄金”的话，其或许在经济方面会迎来高速发展。

越方对于拥有如此多的稀土资源也非常重视，其曾允许越南可以利用稀土资源来发展新能源实现经济的增长。但想要利用这些稀土却并不容易，直至今日越南也没有对这些稀土资源进行大规模开发。

二、越南为何不挖这些稀土

实际上越南的稀土所面临的问题，主要就是让稀土变得有用非常困难。稀土虽然被称为稀土，但实际上并不缺乏，想要将稀土变成有用的材料，程序十分复杂并且成本也非常高昂。

越南的工业发展速度较慢，因此基础非常薄弱，工业的加工和应用在世界上仍处于初级阶段。虽然越南非常想要利用稀土来发展本国经济，但是由于设备陈旧、开采能力不足等问题限制了稀土的发展。

想要分离稀土中的每一种元素也非常困难，稀土中的某些元素存在放射性，因此如果开采不当的话，很有可能会对环境造成严重的污染。不仅如此，

分离稀土的技术也非常困难，一旦操作不当，稀有金属就会在分离的过程中直接蒸发。

为了实现稀土的开发，越南便选择与其他国家签署协议合作完成开采。日本、韩国以及西方国家都曾决定帮助越南开采稀土，但是这些国家并不愿意将技术授予越南。这也使得越南至今都没有与其他国家合作开采稀土。

即便是与其他国家达成合作开采稀土的协议，越南的稀土出口量也很难大幅度提高。稀土元素分为重稀土元素和轻稀土元素，重稀土元素可以广泛用于高科技产业，而轻稀土元素的应用范围则非常少。这就让越南在与其他国家合作的过程中一直处于被动的一方。

实际上在过去几年里，西方国家就一直在鼓吹越南的稀土出口量将会赶超中国，但实际上这种行为只是在自欺欺人罢了。中国稀土大国的地位目前没有任何国家能够撼动。

三、中国稀土大国无法撼动

在 40 年前中国和越南一样稀土储量非常丰富，但是想要开采和使用稀土却非常困难。为了满足我国的工业需求只能从国外进口稀土，然而徐光宪的出现却让我国改变了这种现状。

为了能够更快的研发出稀土的萃取技术，徐光宪每周工作 80 个小时，经过多年的实验，最终研发出了能够广泛萃取、分离稀土的方法。这才让我国的稀土分离技术走在了世界的前列，摆脱了受制于西方国家的状况。

目前中国提取出来的稀土纯度已经超过了欧美国家的技术水平。由于我国的稀土物美价廉，西方国家甚至将自己的工厂关闭，从中国进口低价的稀土用

于储备。

据统计在 2021 年我国的稀土产量达到了 16.8 万吨，中国的稀土资源占据世界储量的 23%，而这 23%承担了世界 90%的供应量。为了避免我国稀土资源流失严重，国家颁布了多项出口禁令，如今中国在稀土方面甚至可以卡西方国家的“脖子”。

结语

越南守着这 2200 万吨“金山”却无法开采，让其感到非常头疼。目前越南正在不断的研发稀土的有关技术，但是想要成功把这座“金山”变成钱，似乎还存在着很长一段距离。或许随着时间的推移，越南会超过我国成为稀土出口大国也说不定。

（来源：网易）



日本最早 2024 年在南鸟岛海域试开采稀土

据《日本经济新闻》12 月 19 日报道，日本政府将着手研发开采小笠原诸岛·南鸟岛的深海稀土泥的技术，计划最早 2024 年开始试开采。目标是稳定在国内采购对纯电动汽车(EV)和混合动力车(HV)不可或缺的资源。

南鸟岛周边的海底有相当多含有高浓度稀土的泥。要想进行利用，就必须开发在水深 5000~6000 米的海底开采的技术。

日本已在之前的临时国会上通过的 2022 年度第 2 次补充预算中计入了 60 亿日元的相关经费。这笔经费将用于制作试开采使用的 6000 米级的吸泥管。

日本内阁府的“战略性创新创造项目”正在推进在该海域开发资源的研究。8~9月在水深2470米的海底抽取堆积物的实验已获得成功。

(来源：参考消息网)

加拿大威奇达稀土矿钻探见厚层矿体

国防金属公司（Defense Metals）在加拿大不列颠哥伦比亚省的威奇达（Wicheeda）稀土矿床钻探见到厚层矿体。该矿位于乔治王子岛东北8公里处。

加密钻孔 WI22-69 在白云岩中见矿 221 米，总稀土氧化物（TREO）品位 2.14%，其中包括 111 米、品位 3.52% 的矿体。

今年以来，公司已经钻探了 18 个孔，完成进尺 5500 米，其目的是圈定资源量和勘探露天采坑工程地质情况。公司已经公布了 7 个孔 2493 米的样品分析结果。其余 11 个孔共计 3017 米的结果将在未来几周或月内公布。

“2022 年钻探在白云质碳酸岩中持续见到高品位稀土矿化”，公司总裁路易莎·莫雷诺（Luisa Moreno）称。“最近的浮选实验表明此种类型矿石能够产生品位高于 40% 的稀土精矿，回收率超过 80%。”

威奇达稀土矿 2021 年完成的初步经济评价（PEA）显示，按照 8% 的折现率，该项目税后净现值为 5.17 亿加元，内部回收率为 18%。该项目一个独特的地方在于能够产生高品位的精矿。

初步经济评价假定每年选矿 180 万吨，露天剥采比为 1.75: 1，矿山生产寿命 19 年，年产稀土氧化物 25423 吨。矿山计划包括在第一年建设开采高品位地

表矿石的快速通道，5年内初步投资回报为4.4亿加元。

威奇达稀土矿推定矿石资源量为500万吨，稀土氧化物品位2.95%；推测矿石资源量为2950万吨，品位1.83%。

（来源：产业前沿）

福建物构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，中科院福建物构所张云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1）。

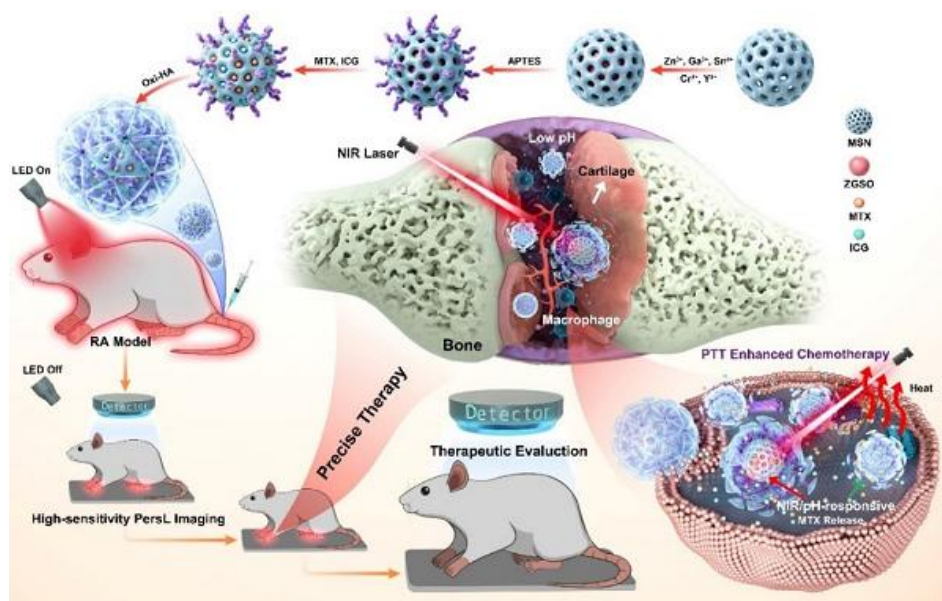


图1：首例稀土长余辉纳米平台实现RA的精准诊疗示意图

研究团队通过模板法合成了 Cr^{3+} 和 Y^{3+} 共掺杂的稀土长余辉纳米材料 $\text{Zn}_{1.3}\text{Ga}_{1.4}\text{Sn}_{0.3}\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}\text{Y}^{3+}$ ，将临床药物甲氨蝶呤（MTX）和近红外光响应分子吲哚菁绿（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 2）。

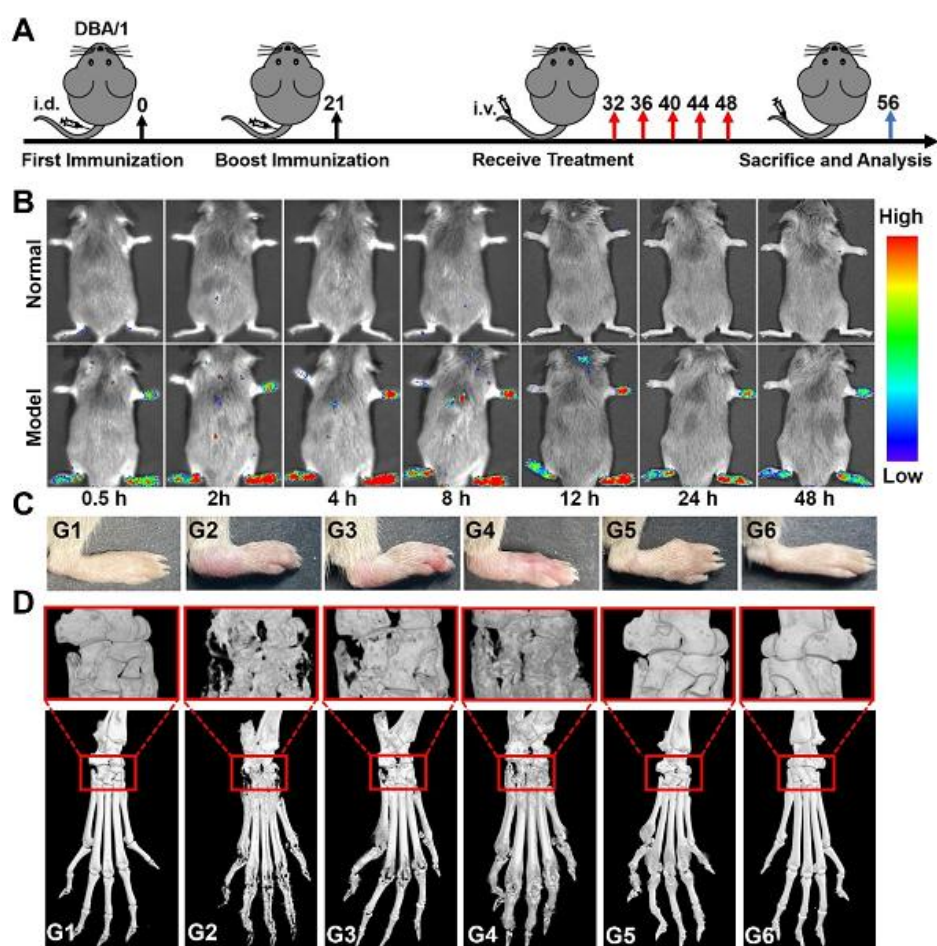


图 2：（A）RA 小鼠模型治疗示意图；（B）静脉注射稀土纳米探针之后，小鼠的代表性余辉成像图片；（C）治疗结束后，不同分组中小鼠的代表性右后爪照片；（D）治疗结束后，不同分组中小鼠的右后爪代表性微 CT 图像。其中 G1: 正常小鼠, G2: RA 小鼠接受 PBS 治疗, G3: RA 小鼠接受 PBS 加光照治疗, G4: RA 小鼠接受 ICG 加光照治疗, G5: RA 小鼠接受 MTX 药物治疗, G6: RA 小鼠接受 mZMI@HA 加光照治疗。

综上所述，该工作提供了一种高效且非侵入性的 RA 诊疗策略，对有效监测和控制 RA 的发展进程和优化治疗策略具有重要的意义。相关成果以研究论文形式发表在 *Advanced Science* (*Adv. Sci.* 2022, DOI: 10.1002/advs.202205320)，第一作者是物构所博士生王若平，通讯作者是史俊朋副研究员和张云研究员。

(来源：福建物构所)



南京师范大学研究团队在稀土能源电催化领域中取得重要研究进展

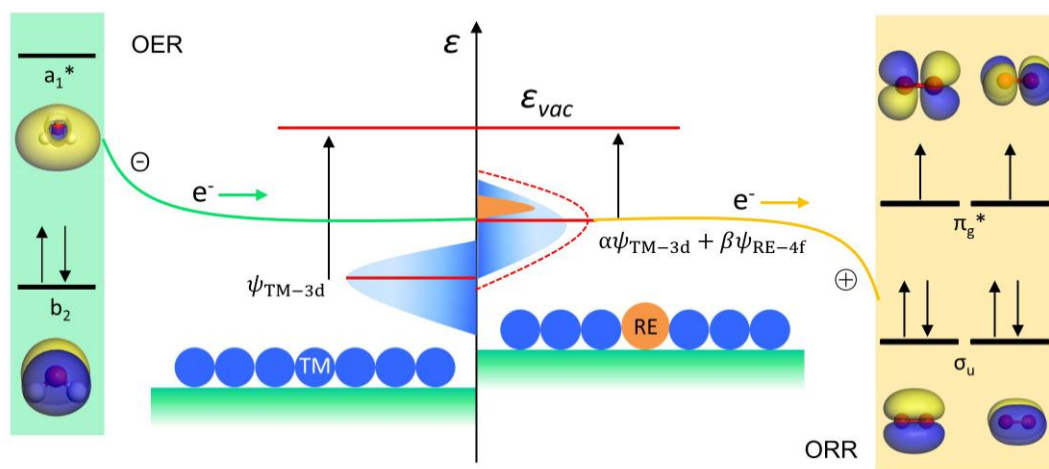
近日，南京师范大学化学与材料科学学院唐亚文教授与付更涛教授团队在稀土能源电催化领域中取得重要研究进展。相关成果以“Neodymium-Evoked Valence Electronic Modulation to Balance Reversible Oxygen Electrocatalysis”为题发表在 *Advanced Energy Materials* 上。*Advanced Energy Materials* 是 Wiley 出版社旗下能源领域的顶级期刊 (IF=29.368)，在能源材料领域具有重要影响力。博士研究生樊闯、王轩为该论文第一作者，唐亚文教授、付更涛教授为共同通讯作者。南京师范大学为唯一单位。

由于氧还原(ORR)和氧析出反应(OER)之间的竞争吸附，开发具有双功能性的可逆氧电催化剂对于金属-空气电池等能源转化技术具有重要意义。然而，ORR 和 OER 均涉及复杂的四电子途径和多步化学键断裂与形成过程，导致反应动力学缓慢与热力学限制。当前 Pt/C、 IrO_2 和 RuO_2 被认为是最好的 ORR 或 OER 催化剂，但其储量稀少、价格高昂、稳定性不足等问题极大地限制了在氧电催化反应中的实际应用。为开发贵金属催化剂的替代品，利用电子调控策略开发过渡金属 (TM) 催化剂作为氧电催化剂受到了广泛研究。对于过渡金属，杂原

子掺杂通过 d-d 和 d-p 轨道耦合作用可以扰动原始的 d 带电子结构，其中 d 带中心(ϵ_d)向费米能级(E_F)的相对位移决定了金属-氧共价性。通过调整电子结构，可以打破 TM 与 O 结合能的线性关系束缚，使其更接近贵金属基材料，从而表现出良好的氧电催化活性。不同于过渡金属的 d 和 p 轨道，具有高简并性和局域性 f 轨道的稀土元素在电催化领域近年来愈发受到重视。其独特的 $4f^x5d^y6s^2$ 价电子构型，由于价层的 f-d-p 轨道的有效耦合使得对氧电催化的灵活调控成为可能。然而，稀土类催化剂仍存在一些合成障碍和内在缺陷。例如其较大的原子半径导致在高温处理过程中倾向于迁移到催化剂表面，造成活性位点数量减少，同时稀土元素本身作为助催化剂几乎没有氧电催化活性。因此，同时实现保存催化剂表面足够的活性位点，充分利用稀土金属的促进作用，以及稀土与过渡金属的有效偶联仍然是一个亟待解决的问题。

基于此，南京师范大学唐亚文教授、付更涛教授团队报道了通过原子级稀土 Nd 掺杂调控 Co 位点电子结构，有效实现了氧电催化的可逆平衡。Nd 的引入是通过简单可行的 MOF 衍生策略，利用有机配体与金属离子的强配位作用实现了 Nd 和 Co 离子的强配位，保证了 Nd/Co@NC 中 Nd 和 Co 的强偶联和 Nd 的原子级分散。电化学结果表明，优化的 Nd/Co@NC 在碱性介质中表现出优异的双功能氧电催化活性，其中 OER 的过电位为 $288 \text{ mV}@10 \text{ mA cm}^{-2}$ ，ORR 的半波电位为 0.85 V ，均优于商业化的 RuO_2 和 Pt/C 催化剂。原位 Raman 揭示了 OH^- 通过 Co-O 的跃迁动态转变为 Co-OOH 的动态演变，证实了掺入 Nd 原子引起的电子重排优化了含氧中间体的吸附强度，促进了 OER 进程。对于 ORR 过程，在 Co@NC 表面引入 Nd 原子大大降低了其决速步从 *OOH 到 *O 的跃迁过程中相应的能垒，有效地推动结合能接近最佳 ORR 活度，使 Nd/Co@NC 表现出出色的

ORR 性能。密度泛函理论分析表明通过掺杂 Nd 原子进入 Co 的表面晶格成功实现 f-d 轨道耦合, 优化了含氧中间体的结合能, 平衡了 Co 的双功能氧电催化活性。在实用性方面, 所合成催化剂在锌-空电池中展现出较好的峰值功率密度、倍率性能, 以及长程循环稳定性, 显示出 Nd/Co@NC 在金属-空气电池方面的较大应用潜力。



我校化科院 20 级博士生樊闯与 22 级博士生王轩为本论文第一作者, 唐亚文教授与付更涛教授为共同通讯作者。南京师范大学为唯一单位。

该研究工作得到了国家自然科学基金、江苏省自然科学基金、江苏省生物医用功能材料工程技术研究中心、江苏省生物医用功能材料协同创新中心、江苏省生物功能材料重点实验室的支持。

(来源: 南京师范大学)

三部门联合印发《关于巩固回升向好趋势加力振作工业经济的通知》 涉及稀土等领域

近日，工业和信息化部、国家发展改革委、国务院国资委联合印发《关于巩固回升向好趋势加力振作工业经济的通知》，从多措并举夯实工业经济回稳基础、分业施策强化重点产业稳定发展、分区施策促进各地区工业经济协同发展、分企施策持续提升企业活力、保障措施等五方面提出了17项具体举措。

其中，在稀土等相关领域，《关于巩固回升向好趋势加力振作工业经济的通知》提出，推动原材料行业提质增效。聚焦产业基础好、比较优势突出、技术领先的行业细分领域或重点产品，发挥产业链龙头企业引领带头作用，支持形成一批石化化工、钢铁、有色金属、稀土、绿色建材、新材料产业集群。落实落细工业领域以及石化化工、钢铁、有色金属、建材等重点行业碳达峰实施方案，健全绿色制造体系，加快节能降碳装备技术推广应用。做好大宗原材料保供稳价，完善大宗原材料供给“红黄蓝”预警机制，下达化肥最低生产计划，灵活运用国家储备开展市场调节，促进价格运行在合理区间。提升战略性资源供应保障能力，进一步完善废钢、废旧动力电池等再生资源回收利用体系，研究制定重点资源开发和产业发展总体方案，开展光伏压延玻璃产能预警，指导光伏压延玻璃项目合理布局。加快国内（重点）铁矿石项目建设，推进智能矿山建设。优化布局建设国家新材料重点平台，深化实施首批次应用保险补偿机制，加快促进一批重点新材料产用衔接和市场应用推广。

附件：关于巩固回升向好趋势加力振作工业经济的通知

工信部联运行〔2022〕160号

各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设兵团工业和信息化主管部

门、发展改革委、国资委：

工业是经济增长的主体和引擎，振作工业经济是稳住经济大盘的坚实支撑。为深入贯彻党的二十大精神，认真落实党中央、国务院关于当前经济工作的决策部署，加快推动国务院扎实稳住经济一揽子政策和接续政策落地见效，巩固工业经济回升向好趋势，更好发挥稳住经济大盘“压舱石”作用，现将有关事项通知如下。

一、总体要求

坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻落实党的二十大精神，坚持稳中求进工作总基调，完整、准确、全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，着力推动高质量发展，全面落实“疫情要防住、经济要稳住、发展要安全”的要求，扛牢稳住经济大盘的政治责任，抓住当前经济恢复的重要窗口期，把稳住工业经济摆在更加突出位置，强化目标导向、问题导向、结果导向，压实主体责任，集聚各方力量，着力扩需求、促循环、助企业、强动能、稳预期，确保2022年四季度工业经济运行在合理区间，保持制造业比重基本稳定，为2023年实现“开门稳”、加快推进新型工业化打下坚实基础。

——坚持聚焦重点、加力提效。紧密衔接已出台的各项稳增长政策措施，保持政策的连续性、稳定性，聚焦重点领域和薄弱环节精准加力，形成政策叠加组合效应，推动工业经济加快恢复。

——坚持因地制宜、分业施策。支持有条件的地区特别是工业大省、重点行业和大型企业力争完成全年预期目标，为稳定全国工业经济挑大梁；其他面临困难的地区、行业和企业，要着力攻坚克难，全力以赴稳增长。

——坚持立足当前、兼顾长远。着重解决当前工业经济运行中存在的突出

困难和问题，力争取得最好结果，并用好产业结构调整有利时机，补短板、锻长板、强基础，推动制造业高质量发展。

——坚持底线思维、安全发展。更好统筹发展和安全，做好各类重大风险挑战应对预案，切实保障能源原材料安全和重点产业链供应链稳定，提高防范化解重大风险能力，牢牢把握经济安全和发展主动权。

二、多措并举，夯实工业经济回稳基础

巩固工业经济回升向好趋势，着力点在政策落实。要坚持系统观念、综合施策，以有力政策举措有效解决面临的突出问题，确保工业经济运行在合理区间。

（一）加快推动重大项目建设形成实物工作量。用好政策性开发性金融工具、设备更新改造再贷款和贴息、制造业中长期贷款等政策工具，加快“十四五”相关规划重大工程项目和各地区重大项目建设，协同做好用地、用能等要素保障，力争早开工、早见效。修订《工业企业技术改造升级投资指南》，实施工业企业技术改造升级导向计划，引导企业开展新一轮技术改造和设备更新投资。推动政府投资基金落实国家战略，扩大项目投资。

（二）深挖市场潜能扩大消费需求。进一步扩大汽车消费，落实好2.0升及以下排量乘用车阶段性减半征收购置税、新能源汽车免征购置税延续等优惠政策，启动公共领域车辆全面电动化城市试点。加快邮轮游艇大众化发展，推动内河船舶绿色智能升级。持续开展消费品“三品”全国行系列活动，加快创建“三品”战略示范城市创建，开展家电下乡和以旧换新活动，组织“百企千品”培优工程，打造中国消费名品方阵。实施原材料“三品”行动，指导地方开展绿色建材下乡活动。开展信息消费+乡村振兴系列活动，规范发展线上经济，引导电商平台和线下零售商开展促销活动，推动释放消费潜力。

(三)稳定工业产品出口。确保外贸产业链稳定，指导各地建立重点外贸企业服务保障制度，及时解决外贸企业的困难问题，在生产、物流、用工等方面予以保障。提升港口集疏运和境内运输效率，确保进出口货物快转快运。落实好稳外贸政策措施，进一步加大出口信用保险支持力度，抓实抓好外贸信贷投放。加快推动通过中欧班列运输新能源汽车和动力电池，支持跨境电商、海外仓等外贸新业态发展。推动各地积极利用外经贸发展专项资金等现有渠道，支持中小微企业参加境外展会扩大订单。办好第132届中国进出口商品交易会(广交会)线上展，扩大参展企业范围，延长线上展示时间，进一步提高成交实效。

(四)提升产业链供应链韧性和安全水平。各地要严格执行疫情防控“九不准”要求，指导企业建立闭环生产方案和应急处置预案，做好生产物资储备、员工到岗、生活和防疫物资供应相关工作，保障人流、物流畅通。建立应对重大突发事件冲击常态化稳定产业链供应链协调机制，聚焦重点区域、重点行业、重点企业，加强区域间、上下游联动，“点对点”、“一对一”帮助龙头企业和关键节点企业解决堵点卡点问题，保障重点企业稳定生产、重点产业链供应链稳定畅通。深入实施产业基础再造工程，加强关键原材料、关键软件、核心基础零部件、元器件供应保障和协同储备，统筹推动汽车芯片推广应用、技术攻关、产能提升等工作，进一步拓展供应渠道。充分发挥煤电油气运保障工作部际协调机制作用，加强资源统筹协调，制定能源保供应急预案，指导地方优化有序用电措施，保障迎峰度冬电力电煤供应安全，满足工业发展合理用能需求。

(五)持续壮大新动能。深入实施先进制造业集群发展专项行动，聚焦新一代信息技术、高端装备、新材料、新能源等重点领域，推进国家级集群向世界级集群培育提升。启动创建国家制造业高质量发展试验区，构建一批各具特

色、优势互补、结构合理的区域增长极。加强新技术新产品的推广应用，推动新一代信息技术与制造业深度融合，构建新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、高端装备、工业软件、绿色环保等一批新的增长引擎，大力发展新产业、新业态、新模式。加快发展数字经济，打造具有国际竞争力的数字产业集群。深入实施智能制造工程，开展智能制造试点示范行动，加快推进装备数字化，遴选发布新一批服务型制造示范，加快向智能化、绿色化和服务化转型。深入开展工业互联网创新发展工程，实施5G行业应用“十百千”工程，深化“5G+工业互联网”融合应用，加快5G全连接工厂建设，推动各地高质量建设工业互联网示范区和“5G+工业互联网”融合应用先导区。落实5G扬帆应用行动计划，深入推进5G规模化应用。

三、分业施策，强化重点产业稳定发展

巩固工业经济回升向好趋势，重点在行业。要统筹推进强基础、补短板、锻长板、育集群、建生态各项工作，深入推动产业基础高级化、产业链现代化，促进重点产业高端化智能化绿色化发展。

(六)推动原材料行业提质增效。聚焦产业基础好、比较优势突出、技术领先的行业细分领域或重点产品，发挥产业链龙头企业引领带头作用，支持形成一批石化化工、钢铁、有色金属、稀土、绿色建材、新材料产业集群。落实落细工业领域以及石化化工、钢铁、有色金属、建材等重点行业碳达峰实施方案，健全绿色制造体系，加快节能降碳装备技术推广应用。做好大宗原材料保供稳价，完善大宗原材料供给“红黄蓝”预警机制，下达化肥最低生产计划，灵活运用国家储备开展市场调节，促进价格运行在合理区间。提升战略性资源供应保障能力，进一步完善废钢、废旧动力电池等再生资源回收利用体系，研究制定重点资源开发和产业发展总体方案，开展光伏压延玻璃产能预警，指导

光伏压延玻璃项目合理布局。加快国内（重点）铁矿石项目建设，推进智能矿山建设。优化布局建设国家新材料重点平台，深化实施首批次应用保险补偿机制，加快促进一批重点新材料产用衔接和市场应用推广。

（七）巩固装备制造业良好势头。打好关键核心技术攻坚战，提高大飞机、航空发动机及燃气轮机、船舶与海洋工程装备、高端数控机床等重大技术装备自主设计和系统集成能力。实施重大技术装备创新发展工程，做优做强信息通信设备、先进轨道交通装备、工程机械、电力装备、船舶等优势产业，促进数控机床、通用航空及新能源飞行器、海洋工程装备、高端医疗器械、邮轮游艇装备等产业创新发展。发挥新能源汽车产业发展部际协调机制作用，突破关键核心技术，构建新型产业生态，完善基础设施建设，推动新能源汽车产业高质量可持续发展。组织农机装备补短板行动，一体化推动生产推广应用。加快能源电子产业发展，推动智能光伏创新发展和行业应用，完善光伏、锂电等综合标准化技术体系。优化实施首台（套）重大技术装备、重点新材料首批次保险补偿试点政策，深入开展政府采购支持首台（套）试点，推动首台（套）、首批次等创新产品研发创新和推广应用。

（八）促进消费品行业稳定恢复。深入实施增品种、提品质、创品牌“三品”战略，编制《升级和创新消费品指南》，促进产品迭代更新。抓紧制定发布地方特色食品产业培育、推动生物制造发展等政策文件，加快制修订家用电器、婴童用品、电动自行车等重点产品强制性国家标准。推动医药等重点产业链补短板，加快关键原辅料、设备配件和生产工艺研发攻关，促进集群化发展。支持纺织服装行业绿色化发展，加大再生纤维制品宣传推广力度，稳住轻工、纺织等劳动密集型产品出口，促进传统行业平稳运行。

四、分区施策，促进各地区工业经济协同发展

巩固工业经济回升向好趋势，关键在地方。各地要结合自身实际，加强央地联动、区域协作，充分发挥区位优势和比较优势，推动区域工业经济协调发展。

(九)东部工业大省主动发挥稳经济关键支撑作用。东部工业大省产业基础好、市场规模大、外资外贸占比高、带动性强，要勇挑大梁，推动工业经济加快恢复和高质量发展，为全国工业经济稳定增长多作贡献。大力发展高端制造业，培育壮大新兴产业，着力强化数字赋能，推进绿色低碳转型，塑造制造业高质量发展新优势。强化创新引领和产业转型，支持建设培育一批国家级产业技术创新平台、制造业创新中心、工业设计中心。深化“放管服”改革，扩大高水平开放，更大激发市场活力和社会创造力。强化与资源富集区、成本优势区等区域分工协作，推动部分产业向中西部和东北地区转移，增强全国工业经济弹性和韧性。

(十)中西部地区努力巩固较快增长态势。能源原材料大省要着力稳生产增效益，巩固较快增长势头。受电力短缺影响较大省份要对照增长目标，抓紧谋划用电高峰后的追平补齐措施。支持中西部承接产业转移，在有基础优势的地区，通过中央企业投资、国家产业转移基金重点支持等方式，促进西部地区转型升级，加快培育发展特色产业和集群。进一步优化西部地区营商环境，在满足产业、能源、碳排放等政策的条件下，支持符合生态环境分区管控要求和环保、能效、安全生产等标准要求的高载能行业向西部清洁能源优势地区集聚。

(十一)东北地区推动全面振兴取得新突破。东北地区要加快推进产业转型升级，充分发挥装备制造、能源原材料、农业及农产品加工等产业优势，大力推进技术创新，加快培育一批战略性新兴产业，积极发展生产性服务业。积极支持驻东北地区中央企业发展，防止因人才流失和人员老化导致创新能力减

弱，确保重点产业链供应链稳定安全。不断完善有利于民营经济发展的经济社会环境，提高对资本和人才的吸引力。

五、分企施策，持续提升企业活力

巩固工业经济回升向好趋势，主体是企业。要充分发挥不同规模、不同所有制企业的积极性，激发活力，增强信心，为工业经济稳定恢复提供有力支撑和保障。

(十二)充分发挥大型企业“顶梁柱”作用。大型企业要把稳增长放在更加突出位置，细化落实稳增长目标任务。特别是中央工业企业要发挥好对产业链主体支撑和融通带动作用；要加强生产运行调度，拓展挖潜增利空间，努力多作贡献；要在加快自身发展助力经济大盘稳定的同时，全力做好能源粮食安全托底和保供稳价，推动能源、物流和新型基础设施建设，释放采购需求；要积极为中小企业供应商提供项目、资金等支持，对中小企业账款“应付尽付、应付快付”，落实2022年减免房租政策对服务业小微企业和个体工商户房租“应免尽免、应免快免”。

(十三)加力支持中小企业和民营企业专精特新发展。充分发挥各级中小企业协调机制作用，抓好各项惠企政策落实，鼓励地方出台配套举措。加大国家小型微型企业创业创新示范基地和中小企业公共服务示范平台培育力度，加强产业技术基础公共服务平台能力建设投入，深入开展中小企业服务行动，推动优质中小企业对接多层次资本市场，强化对中小企业创业创新活动的支撑。深入实施优质中小企业梯度培育工程，组织开展中小企业数字化赋能专项行动、大中小企业融通创新“携手行动”、“千校万企”协同创新伙伴行动，大力促进中小企业特色产业集群发展，激发涌现一大批专精特新企业、“小巨人”企业和制造业单项冠军企业。扎实开展防范和化解拖欠中小企业账款专项行动、

涉企违规收费专项整治，抓好减轻企业负担综合督查发现问题整改，努力为中小企业和民营企业发展营造良好环境。

(十四)强化对外资企业的服务保障。建立健全与外资企业的常态化交流机制，强化用工、用能、物流等生产要素保障，积极协调解决合理需求，确保企业稳定生产和正常经营。指导外资企业落实好疫情防控工作指南，进一步便利外资企业商务、技术人员及家属出入境。鼓励和支持外资企业加大在华高新技术、中高端制造、传统制造业转型升级等领域的投资，支持外资企业在中国设立研发中心和参与承担国家科技计划项目。强化制造业重大外资项目服务保障，推动相关项目尽快落地。持续优化营商环境，提升知识产权保护水平和数据治理水平。

六、保障措施

巩固工业经济回升向好趋势，良好机制是保障。要锚定稳经济一揽子政策和接续政策措施，以及振作工业经济系列政策，细化配套措施，实化工作举措，努力为工业稳增长提供坚实的政策保障。

(十五)强化责任形成合力。各有关方面要坚决把思想和行动统一到党的二十大精神上来，统一到党中央对当前经济形势的重大判断和对下半年经济工作的决策部署上来，强化责任担当，积极主动作为，推动工业经济持续稳定增长。各地有关部门要充分发挥工业稳增长协调机制作用，加强组织领导，挖掘政策潜力，完善配套措施，狠抓政策落实，促进本地区工业经济平稳运行。各有关部门要结合职能职责，积极推出有利于促进工业经济平稳增长的政策举措，推动政策精准发力，进一步释放政策效应。

(十六)加大政策扶持力度优化发展环境。落实落细国务院稳住经济一揽子政策和接续政策，用足用好制造业留抵退税、研发费用加计扣除、制造业专项

贷款等财税金融政策。加强产业政策与金融政策协同，发挥产融合作平台作用，综合运用信贷、债券、基金、保险、专项再贷款等各类金融工具，促进集成电路、新能源汽车、生物技术、高端装备、绿色环保等重点产业创新发展。用好小微企业融资担保降费奖补资金，扩大政府性融资担保业务规模。鼓励地方安排中小企业纾困专项资金，对符合条件的企业给予资金支持。深入开展促进中小企业发展环境第三方评估。

（十七）完善监测调度和督导激励机制。聚焦重点地区、行业、企业和园区，完善不同频次监测调度机制，加强苗头性问题预警和分析研判，做好政策储备。组织开展“工业稳增长和转型升级成效明显市（州）”申报，对稳增长取得突出成效的地区在工作中给予优先支持。充分发挥制造业高质量发展指标体系的引导性作用，定期通报各地工业生产、效益、投资和制造业增加值比重等指标数据，加强目标管理和进度督促，推动各地采取有力措施促进工业经济平稳增长。大力挖掘各地工业稳增长典型案例，总结提炼和积极推广可借鉴的经验和做法，发挥好示范引领作用，进一步坚定信心、提振预期。

（来源：工信部）

2022年12月稀土价格走势

一、稀土价格指数

12月份，稀土价格指数呈现总体保持平稳、稳中有升的发展态势。本月平均价格指数为289.2点。价格指数最低为12月1日的278.7点，最高为12月30日的296.6点。高低点相差17.9点，波动幅度为6.2%。

2022年12月稀土价格指数走势图



二、中钷富钷矿

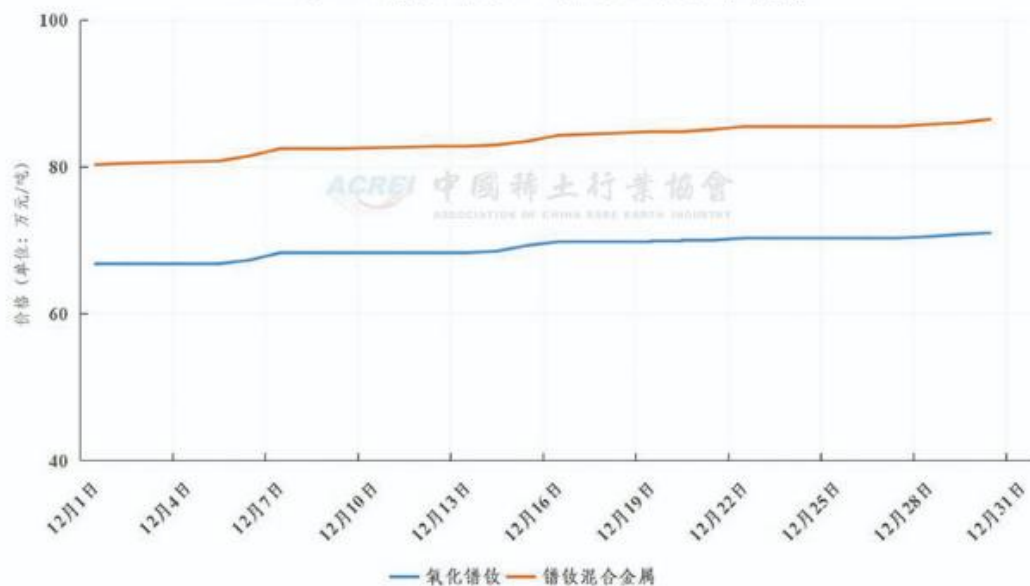
中钷富钷矿12月份均价为30.58万元/吨，环比上涨6.0%。

三、主要稀土产品

(一) 轻稀土

12月份，氧化镨钕均价为69.10万元/吨，环比上涨6.2%；金属镨钕均价为83.73万元/吨，环比上涨6.3%。

2022年12月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



12月份,氧化钕均价为75.71万元/吨,环比,上涨4.5%;金属钕均价为93.29万元/吨,环比上涨2.8%。

2022年12月氧化钕、金属钕价格走势

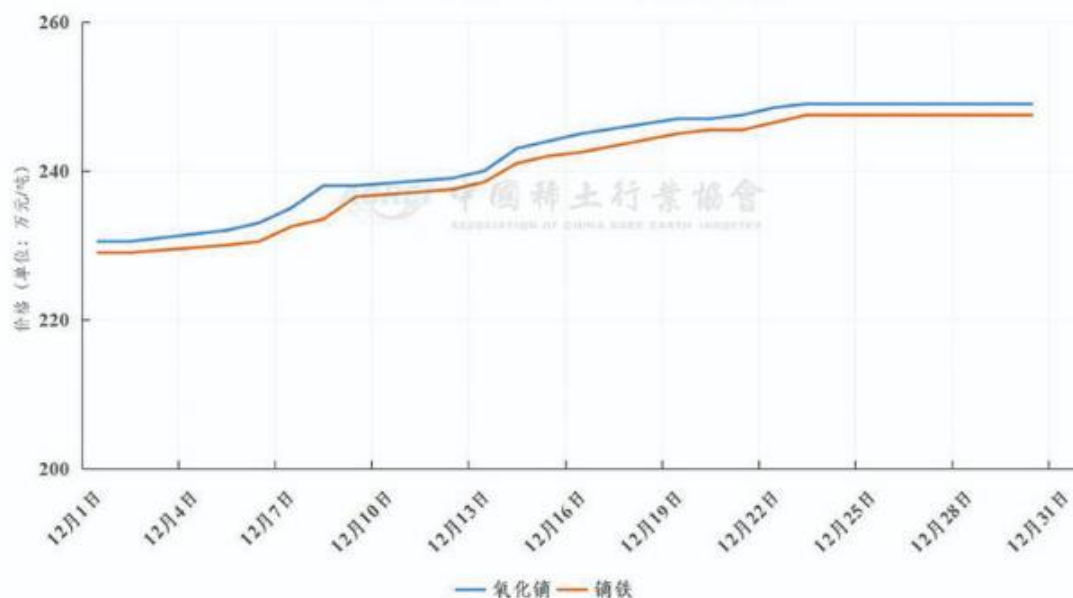


12月份,氧化镨均价为68.70万元/吨,环比上涨1.3%。99.9%氧化镧均价为0.70万元/吨,环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为19.80万元/吨,环比与上月持平。

(二) 重稀土

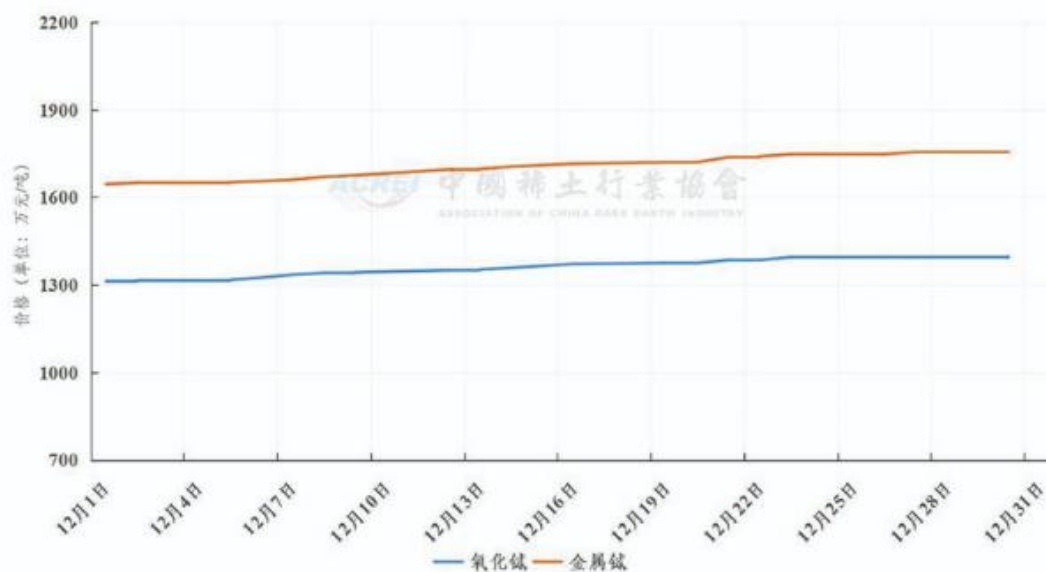
12月份，氧化镝均价为242.36万元/吨，环比上涨6.1%；镝铁均价为240.46万元/吨，环比上涨5.5%。

2022年12月氧化镝、镝铁价格走势



12月份，99.99%氧化铽均价为1362.57万元/吨，环比上涨3.6%。金属铽均价为1707.34万元/吨，环比上涨3.6%。

2022年12月氧化铽、金属铽价格走势



12月份，氧化钬均价为84.58万元/吨，环比上涨16.4%，钬铁均价为85.56万元/吨，环比上涨15.0%。



12月份，99.999%氧化铽均价为5.42万元/吨，环比下跌8.5%。氧化铽均价为28.74万元/吨，环比上涨10.3%。

表 1：2022 年 12 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	11 月平均价	12 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%	678.32	686.95	1.27%
氧化钕	≥99%	724.23	757.09	4.54%
金属钕	≥99%	907.36	932.86	2.81%
氧化钆	≥99.9%	18.00	17.09	-5.06%
氧化铈	≥99.99%	198.00	198.00	0.00%
氧化钐	≥99%	358.91	408.05	13.69%
钐铁	≥99%Gd 75%±2%	358.91	387.82	8.05%
氧化铽	≥99.9%	13151.14	13625.68	3.61%
金属铽	≥99%	16486.36	17073.41	3.56%
氧化镱	≥99%	2285.00	2423.64	6.07%
镱铁	≥99%Dy80%	2278.64	2404.55	5.53%
氧化钬	≥99.5%	726.41	845.82	16.44%

市场行情

钬铁	$\geq 99\% \text{Ho}80\%$	743.82	855.64	15.03%
氧化铟	$\geq 99\%$	260.68	287.41	10.25%
氧化镱	$\geq 99.99\%$	96.00	96.00	0.00%
氧化镱	$\geq 99.9\%$	5754.55	5850.00	1.66%
氧化铈	$\geq 99.999\%$	59.27	54.23	-8.50%
氧化镨钕	$\geq 99\% \text{Nd}_2\text{O}_3 75\%$	650.73	691.00	6.19%
镨钕金属	$\geq 99\% \text{Nd}75\%$	787.95	837.27	6.26%

(来源: 中国稀土行业协会)

稀土元素在水体富营养化治理中的应用

水体富营养化是水体中氮和磷等营养物质过多而导致的水体效应,主要表现为藻类和水生植物的异常增殖,水生态系统受到破坏。氮和磷的控制是治理和消除富营养化、恢复水生态的主要研究方向。我国稀土储量丰富,在环境保护领域尤其是水环境改善和治理中发挥着不可替代的作用。稀土元素及其化合物具有电、磁、光学和生物物理化学等特殊性质,化学性质活泼,选取稀土元素治理水体富营养化是一种比较有效的手段。

稀土作为优良的吸附剂对水体中各种氮和磷进行消除的同时,作为很好的屏蔽剂可以隔绝河底沉积物中的活性磷向水体中释放。稀土元素与土壤中的磷在地表径流中存在明显的共迁移特征,应用稀土多元素示踪农业面源磷素的迁移及水体中磷素的源头解析,为解决水体富营养化提供了一定的理论依据。稀土元素存在剂量-效应关系,微量时促进水生植物生长,但剂量超过限度时对生长产生抑制作用,选择不同植物的适宜浓度对减轻水体富营养化有着显著的意义。

1 吸附法去除水体中氮和磷

稀土元素具有吸附容量高、选择性好和易于再生等特点,在水环境治理中是一种优良的吸附材料。稀土作为吸附剂对水环境进行改善主要有两种方式,一种是利用稀土元素在水中形成带正电荷的水合氧化物或者氢氧化物,对水中阴离子类污染物如磷酸盐和含氮化合物等具有较强的吸附能力。另外一种是利用稀土

元素对各种吸附材料进行改性,采用化学键和、负载、掺杂等形式形成稀土复合吸附剂。复合吸附剂可以提高吸附基体的稳定性和吸附容量,吸附剂可以再生回收,拓宽了吸附剂的 pH 值使用范围,降低了使用成本。

1.1 稀土氧化物和氢氧化物

稀土元素中镧、铈、钇、钆、铈和镱的水合氧化物和氢氧化物具有强吸附性,比活性矾土的吸附能力大 4~6 倍。表面带有正电荷,稀土氧化物和氢氧化物对带有负电荷的阴离子具有强吸附能力,表面的羟基同时可以和阴离子污染物发生置换反应,形成较为稳定的配合物。非晶态尤其是多孔结构具有更大的表面积和更多的羟基作用位点,具有更强大的吸附能力。

稀土元素镧和铈体积小,离子化后价态高,用强碱进行处理可以再生,已经采用多种方法制备成优良的吸附剂,对于磷酸盐和氨氮展现出强大的吸附性能。镧的水合氧化物对磷的吸附在 pH 值为 3 时可达到最大值,同时抗干扰能力强,水体中常见的其他阴离子对其吸附影响不大。在中性或者碱性条件下,对聚磷酸盐没有明显的吸附效果,在企业外排废水中对总磷的去除效果有限。为了克服该缺点,在废水处理后端,将聚磷酸盐转化为正磷酸盐后,利用镧的水合氧化物进行处理,可以达到满意的效果。水合氧化铈具有优异的除磷特性,在较宽 pH 值范围内对磷酸根有较强的吸附能力,酸性条件更有利于吸附反应的进行,可控制处理后磷酸根质量浓度在 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,对于低浓度溶液,反应速度更快,更适合于总磷的深度去除。稀土元素镧和铈对磷酸盐的吸附均满足朗缪尔吸附

模型。

采用稀土元素对水中氨氮进行吸附具有独特的优势,在对氨氮进行高效去除的同时,对磷酸根也有不错的效果,引起富营养化的两种重要污染物可以同时高效去除。对氨氮进行吸附,吸附剂表面的羟基会被置换进入废水中,使得废水 pH 值升高,对于含有氨氮的酸性废水不需要另外加入药剂调节 pH 值,简化了处理工艺,节约了成本。

1.2 复合吸附剂

天然吸附材料对氮和磷具有较好的吸附能力,很多材料被研究出来用于水中磷酸盐和氮的消除。可供利用的材料有硅酸盐类如硅藻土、膨润土、凹凸棒石和沸石等,金属氧化物类如铁和锰的氧化物,固体废弃物类如粉煤灰和木槿皮,聚合物类如分子筛,生物吸附剂如骨炭和生物炭等。稀土元素对水中氮和磷具有天然的亲和性,利用稀土元素对多种天然材料改性已经应用于水体治理。硅藻土,主要成分是二氧化硅,表面活性和吸附能力主要作用位点是表面的硅羟基。稀土元素镧对硅藻土进行改性,可以有效的缓解孔堵塞,增加硅藻土的面积。同时,大孔硅藻土对镧具有稳定作用,使其在较宽的 pH 范围对磷吸附效果保持稳定,镧改性硅藻土吸附过程如图 3 所示。吸附剂在酸性环境中,通过静电相互作用形成外球复合物,配体交换作用形成内球复合物,在碱性环境中,由于去质子化而带上负电荷,通过路易斯酸碱作用形成络合物,在较宽的 pH 值范围内保持高而稳定的吸附效果。

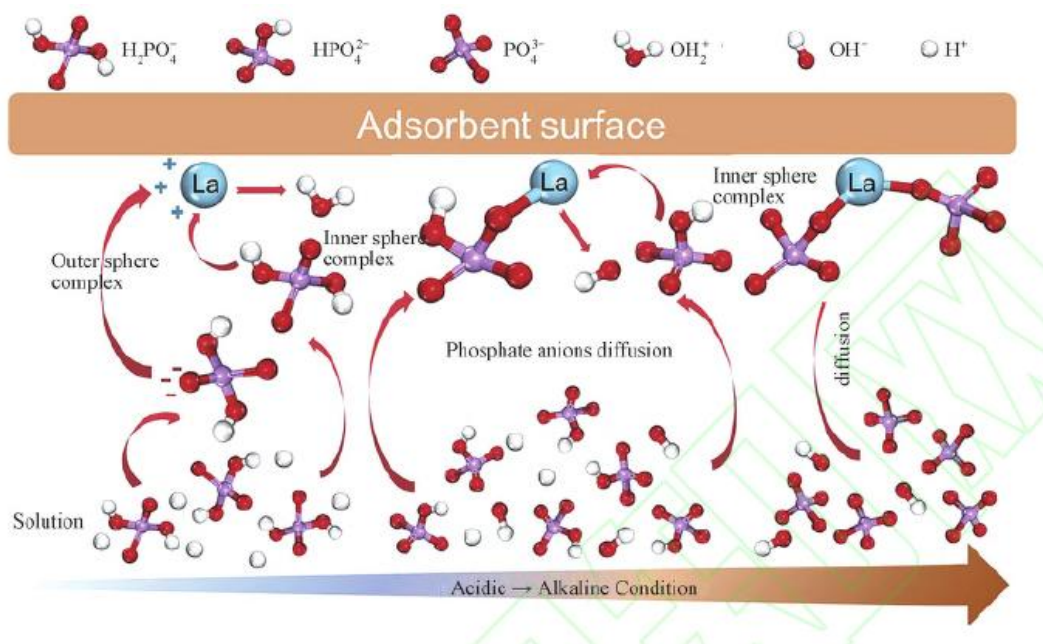


图3 镧改性硅藻土吸附过程

膨润土为硅酸铝盐矿物，天然膨润土对磷吸附能力差，利用镧对膨润土进行掺杂改性，削弱了膨润土中蒙脱石的层间键能，使其层间距增大、结构疏松，表面羟基数量增多，通过配位反应与磷酸根离子形成羟基络合物。络合反应和离子交换反应产生协同效果，提高了复合吸附剂的除磷性能。镧-膨润土复合吸附剂受水中有机物影响较大，镧易于从复合吸附剂中解吸，对水生生物产生危害，限制了广泛应用。凹凸棒石(ATP)是一种水合 Mg-Al 硅酸盐矿物，表面多孔，活性官能团多，阳离子交换能力强，采用酸、碱、金属或者高温煅烧对其进行处理可以大幅度提升凹凸棒石吸附能力，可以同时进行除磷和脱氮。李迎春等采用多种稀土对其改性，钇的改性吸附剂 Y-ATP 在 pH 为 3~9 时保持相对稳定的磷去除率，除磷效率随 pH 值的增加而降低，除磷主要遵循球内络合机理，表面羟基与磷酸根配体交换，磷酸根和稀土元素通过共价键形成稳定的双核双齿络合物。

天然沸石具有特定的分子筛结构，作为一种常见的硅酸铝盐矿物，常被用做水处理的吸附材料。稀土负载沸石后可以较好的应用于废水中总磷、氨氮和总氮的深度处理，具有吸附效率高、可以再生利用和简便易于操作的优点。磷酸盐的去除遵循内球络合机理，稀土-磷内球络合物的形成是去除磷酸盐的关键。将氧化镧通过水热法结合到多孔沸石上在较宽的 pH 范围内(3~7)能够有效的结合磷酸盐，除碳酸氢根外，其他共存离子对吸附效果没有显著影响，在废水处理中可以消除超过 95%的磷酸盐。牛利民等制备了氧化物稀土吸附剂，将稀土元素负载到沸石上对废水中磷的处理效果可达到 95%以上，特别适用于黄磷厂污水处理和深度脱磷。潘智勇以改性沸石对脱氮除磷进行了研究，对氮和磷的去除效果可以达到 80%和 99%，稀土吸附剂可以再生利用十次以上。

金属氧化物作为稀土元素的载体主要为铁和锰，铁氧化物表面积大、氧化还原性强，锰氧化物是由许多排列不规则的微晶组成，对大多数阴离子都有较强的吸附能力。铁氧化物可以和其他吸附材料共同作为基体，利用共混、酸改性、固化等方式制成多基体复合吸附剂。Shumei Xia 等利用共沉淀法制备了铁和锰 MnFe_2O_4 磁性纳米颗粒吸附剂，该吸附剂具备尖晶石结构，可以达到 96.06%的磷酸盐去除率，解吸溶液中的羟基磷灰石结晶回收了可持续的磷酸盐源，其中丰富的磷酸盐作为合适的回收条件的种子。Wu 等通过沉淀-水热法合成了具有不同 La/Fe 质量比的磁性 $\text{La}(\text{OH})_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ ，该纳米吸附材料具有 98%以上的磁分离效率和良好可重复利用性，在磷酸盐浓度为 $1.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的废水中， $0.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的

该吸附剂可以有效地将磷酸盐浓度降至 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下。该类吸附剂主要通过稀土元素和磷酸盐的配体交换和内球络合机制发挥作用,由于金属氧化物的存在,该类磁性吸附剂具有良好的回收利用性。

固体废弃物价格低廉,作为吸附载体,可以变废为宝。该类吸附载体孔道细密,易堵塞,并且与被吸附物存在静电排斥作用,需进行改性处理。粉煤灰是燃煤电厂、冶炼和化工等行业排放的固体废弃物,主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 和其他氧化物,对于质量浓度低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的含磷废水的效果并不显著,可对其进行热改性、酸改性、碱改性、盐改性和稀土元素改性。利用稀土元素对其改性,可以使粉煤灰形成羟基化表面,与磷酸盐发生配位络合反应,增强了粉煤灰的除磷效果。木槿皮在自然界广泛存在,具有纤维结构,对其进行改性成为良好的复合吸附剂。倪琳洁使用氯化镧摸索了最佳改性条件,对于磷酸盐去除率稳定在 95%左右。吸附反应是一个自发吸热熵增的过程,温度升高,平衡吸附量增加。

聚合物是有机单体通过化学作用形成长链或者网状结构高分子化合物,在大分子上可以共价键合各种官能团。该类吸附剂负载稀土后,酸性条件下,金属与磷酸盐离子发生配位反应,基底材料上羟基质子化,使羟基带正电,增加了磷的吸附位点,碱性条件下,稀土金属活性位点和磷酸根阴离子之间存在路易斯酸性反应,其吸附过程如图 4 所示。氢氧化铈负载在分子筛上对磷酸盐进行吸附,该吸附剂在较宽的 pH 范围内(4~11)具有较高的吸附效率和高度选择性,其他共

存阴离子不影响吸附作用。

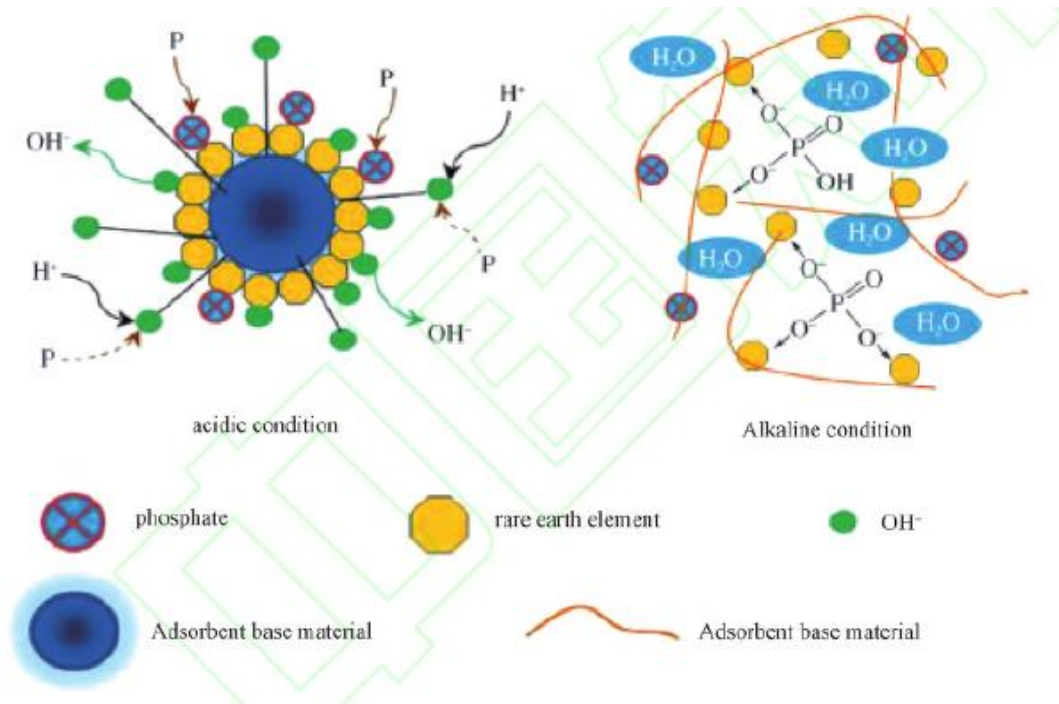


图4 聚合物吸附剂的吸附过程

生物吸附剂作为新兴的吸附材料具有成本低和环境友好的优点。采用稀土元素对其进行修饰，可以大大提高污染物的吸附能力。骨炭是一种无定形碳，主要成分是碳酸磷灰石，具有吸附能力的同时可以消除硬度的负面影响。对骨炭表面用铈进行改性，四价比三价具有更好的吸附性能，同时具有抗菌性能是该复合吸附剂独特的优势。生物炭是有限供氧条件下植物和动物生物质热解的产物，孔隙率高、比表面积大、稳定性好，可用于去除各种类型污染物。利用元素铈负载生物炭，表面覆盖大量羟基，对低浓度氨氮的去除效果较好，吸附量可达 $11.297 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2 沉积物中氮和磷的消除

水体中的磷会伴随沉淀进入底泥，湖泊和水库中的沉积物是营养物质的蓄积库，来自各个途径的营养物质，一部分会沉积于水体底部，成为水体营养物质的

内负荷。减少底泥中营养物质对于防治水体富营养化具有积极的意义。底泥营养物质原位控制技术主要包括生物刺激、人工曝气、破坏分层和原位覆盖等。稀土元素修复底泥的作用主要体现在两个方面，一方面是激发水体自我净化能力，提高营养物质吸收利用，另一方面是和基体合成复合材料，对底泥中的营养物质进行吸附和屏障作用。

Adsorbents	Dosage (g · L ⁻¹)	Initial phosphate concentration (mg · L ⁻¹)	pH	Sorption capacity (mg · g ⁻¹)
Lanthanum Hydrate	0.05	10	3~8	155
Hydrous ceric oxide	1	100	4~9	44
La-modified diatomite	0.03	2	5.6	58.7
La-modified bentonite	4	50	5~6	12.48
Y-ATP	0.3	5~50	3~9	12.94
La-modified porous zeolite	2	36	3~7	17.2
La(OH) ₃ /Fe ₃ O ₄	0.1	0.5~15	7.0	83.5
LaCl ₃ -bark of Hibiscus syriacus	0.35	5	7.0	13.57
H ₄ CeO ₄ -molecular sieve	0.39	5	4~11	12.2158

表1 不同稀土吸附剂对水中磷吸附能力

在富营养化水体中，稀土对加速微生物底泥中氮和磷的转化利用，全面提高水体自身净化能力有着重要作用。邓丽娟等发明了一种生物刺激底泥修复剂，该修复剂包含了基体、稳定剂、稀土元素和助溶剂等，稀土元素的使用，可使水体中的胶体物质沉积附着于底部，形成附着生物膜，全面提高净化能力，最终实现水体自净能力恢复。

张宵采用来源广泛的净水厂污泥为原料，用稀土元素镧与铜离子沉积在煅烧改性净水厂污泥中，合成了负载镧-铜-铁-铝氧化物的污水处理厂污泥复合材料，用该材料覆盖在水体底泥进行检测，磷酸盐浓度控制在 0.026 mg · L⁻¹ 左右，对氮的抑制率在 96%左右。Wang 等采用一锅法以镧改性沸石合成复合物，可以

有效降低水覆沉积物中磷的浓度，在 28 天的实验过程中，总磷和可溶性活性磷分别减少了 81. 1% 和 86. 9%。该复合物作用特点在于抑制沉积物中磷释放的同时可以吸附水中的磷，提高了沉积物中磷的滞留能力，使沉积物中可释放的磷转变为稳定态磷，沉积物中的磷失活。Kong 等首次探讨了采用镧改性膨润土(LMB)对沉积物和水界面有机磷的转化和封闭，通过微观实验研究了 LMB 对水体和沉积物中有机磷的固定作用和对各种有机磷形态之间的转化的影响，吸附机理如图 5 所示。一方面，该吸附材料表面有很多吸附位点，可以使水中和沉积物中有机磷显著减少。另一方面，通过抑制溶磷菌而改变微生物环境，对沉积物内部有机磷的循环和迁移产生影响，有利于湖泊富营养化的治理。

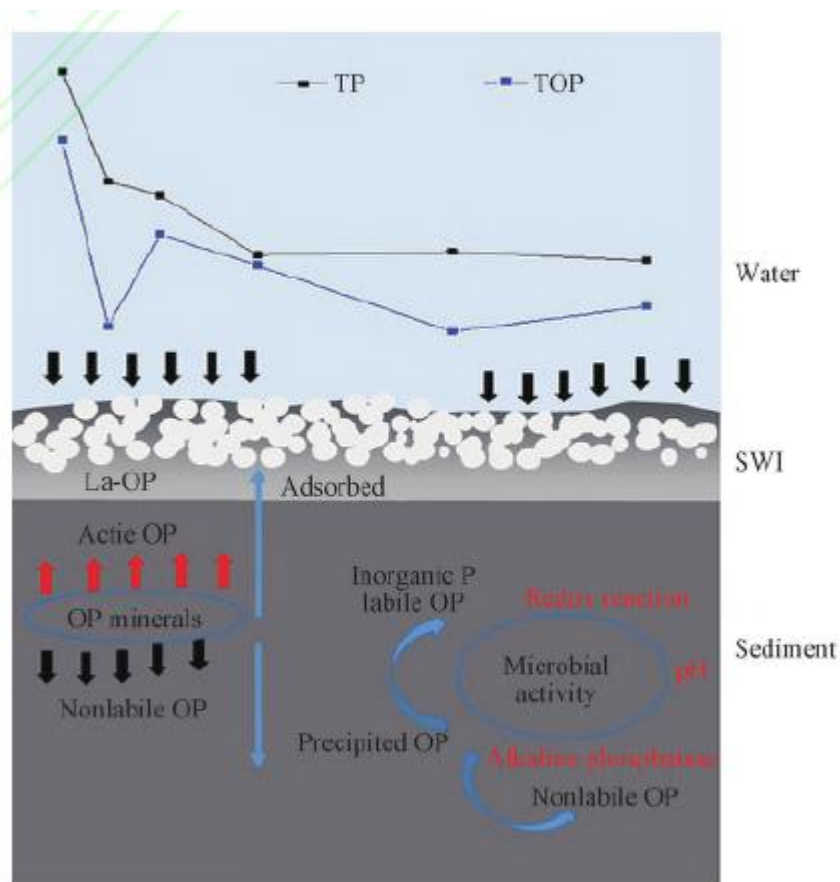


图 5 LMB 固定沉积物中有机磷的机理

Phoslock 商品名为锁磷剂，由澳大利亚发明制造，其主要成分是镧改性膨润土，该产品在底泥表面形成活性钝化层，与底泥内源释放的无机磷螯合，既可以吸附底泥中的磷，又可以起到屏障作用阻止底泥中的磷向水体释放，该锁磷剂在处理沉积物中磷的释放得到了广泛研究和应用。Yan 等利用 Phoslock 对沉积物顶部的静态层进行了研究,释放 Phoslock20 天，形成顶部的静态层后，沉积物中活性磷和可溶性磷大幅度减少，静态层的形成是 Phoslock 屏障效果的关键。零价铁对磷的去除主要依靠沉淀和共沉淀过程，Ding 研究了铁氧化还原循环在控制沉积物中磷的迁移中的作用,Phoslock 对 Fe 的吸附在稳定 LMB 结合 P 中起重要作用，LMB 与 Fe 的协同氧化还原作用，为 LMB 和零价铁对 P 的吸附机理研究提供了新的方向。在国内，杨洁等通过实验室模拟和现场示范工程，对 Phoslock 使用效果进行了研究，Phoslock 在抑制底泥释放磷是长期有效的，在厌氧、高 pH 和扰动的水体中也能持续发挥作用，有效的控制水体富营养化的发生，从根本上达到修复底泥的目的。

（来源：中国知网）