

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2021年 第11期 总第97期

本期要闻

- ◎ 自然资源部：鼓励行业协会制定稀土行业绿色矿山建设标准
- ◎ 稀土供给端管控加强 行业集中度有望提升
- ◎ 发改委：建立安全可靠的资源能源储备 加大铜、钨、稀土等战略矿产勘查
- ◎ 《赣州市“十四五”制造业高质量发展规划》出台 涉及稀土相关领域

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 1-13

- ◎ 自然资源部：鼓励行业协会制定稀土行业绿色矿山建设标准
- ◎ 稀土供给端管控加强 行业集中度有望提升
- ◎ 发改委：建立安全可靠的资源能源储备 加大铜、钨、稀土等战略矿产勘查
- ◎ 赣州稀土集团承办赣州市工业互联网赋能特色产业论坛暨稀土产业数字化峰会
- ◎ 江西省人民政府副省长罗小云一行莅临江西理工大学国家稀土功能材料创新中心调研指导
- ◎ 西澳库敏斯岭稀土矿见到厚富原矿体
- ◎ 英国：重启稀土永磁生产
- ◎ 南澳州全球征集关键矿产开发方案

◇ 科技前沿 14-19

- ◎ 南开团队利用自主开发烯基-二胺稀土催化体系实现内烯烃的硅氢化反应
- ◎ 福建物构所在稀土纳米材料用于癌症持久免疫治疗中取得新进展

◇ 政策法规 20-25

- ◎ 《赣州市“十四五”制造业高质量发展规划》出台 涉及稀土相关领域

◇ 市场行情 26-30

- ◎ 2021 年 11 月稀土价格走势

◇ 稀土知识 31-36

- ◎ 稀土储氢材料的研究与应用

自然资源部：鼓励行业协会制定稀土行业绿色矿山建设标准

自然资源部近日公布《关于政协十三届全国委员会第四次会议第0206号（资源环境类024号）提案答复的函》，对九三学社中央提出的《关于加快解决稀土行业突出环境问题的提案》涉及的相关建议予以答复。

稀土是我国优势资源，《矿产资源法》及其配套法规中明确，稀土是保护性开采特定矿种。自然资源部等部门将稀土作为国家层面重点管理和保护的對象，实行开采总量控制，引导稀土资源有序开发。一是自然资源部积极推动并配合国家发展改革委适度调整稀土产业政策。持续推进稀土资源开发整合，积极支持大型稀土企业集团整合重组，推进稀土资源优化配置，进一步提高稀土资源开发的规模化、集约化程度，稀土矿山“多、小、散、乱”的局面得到明显改观。二是自然资源部配合国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部贯彻落实中央领导同志关于稀土产业的重要指示批示精神。相关部门围绕我国中重稀土资源绿色开采与安全保障等问题，多次召开专题会议，研究提出了有关取代技术，从源头消除放射性废渣和氨氮污染以及浸矿液无组织渗流问题，实现我国中重稀土资源绿色开发水平的有效提升。

自然资源部表示，下一步，将继续配合国家发展改革委等部门做好中重稀土资源绿色开采核心技术攻关，加快推进新技术开发与规模化试验，在有色金属行业绿色矿山建设规范的基础上，鼓励行业协会结合稀土矿山开发特点，制定稀土行业绿色矿山建设标准，同时发挥现有稀土绿色矿山示范引领作用，带动其他稀土生产矿山升级改造。

（来源：中国矿业报）

稀土供给端管控加强 行业集中度有望提升

十月国内稀土各品种价格持续上涨。截止上周末，国内稀土中氧化镨钕价格 73.15 万元/吨，周环比上涨 12.28%；镝铁价格 285 万元/吨，周环比上涨 4.01%；四川氟碳铈矿价格 4.5 万元/吨，周环比上涨 2.27%。目前稀土各品种价格均创下九年新高，尽管采购商推迟大量补货，但供应商计划继续上调价格，稀土价格后市或继续上涨。

四季度是稀土下游需求的传统旺季，新能源汽车、风电、节能变频空调等下游企业补库需求开始启动，而国内部分厂商受限电限产的影响产量有所下滑，海外方面疫情影响缅甸稀土供给继续低位，供需基本面有望支撑稀土价格。

稀土供给端加强管控

根据国务院 6 月发布的《国务院 2021 年度立法工作计划的通知》，其中明确计划由工信部起草在 2021 年完成《稀土管理条例》的制定。此前，工信部已发布《稀土管理条例(征求意见稿)》，明确国内或将继续实行总量控制。

意见稿中表示，稀土是重要的战略资源，从法律上明确稀土管理各项制度，有利于维护我国国家利益和战略资源产业安全。明确稀土管理职责分工，加强稀土全产业链管理，规定稀土产品进出口企业应当遵守对外贸易、出口管制等法律法规。

此次立法有利于建立规范行业发展的长效机制，供给端继续加强管控，对相应的违规行为做出了明确惩罚措施，有利于打击违法违规的生产行为，优化未来的行业格局，行业集中度有望进一步提升。

国内稀土指标较为刚性

工信部、自然资源部日前发布《关于下达 2021 年度稀土开采、冶炼分离总量控制指标的通知》，2021 年度稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 16.8 万吨、16.2 万吨，较 2020 年增加约 20%。此前意见稿中明确，未取得核准任何单位或者个人不得投资建设稀土开采、稀土冶炼分离项目，并为后续国内稀土开采和分离确立了一个总基调，即继续实行总量指标控制。

从历史来看，“十二五”期间国内稀土行业面临着产能过剩问题，指标几无增长，而“十三五”期间国内稀土指标逐渐放开，但整体增长较为有序，冶炼指标及稀土矿开采指标增长均在 1 万吨 REO 左右。

2019 年全球稀土矿产量为 21 万吨，其中我国为最大的稀土生产国，占比达到 63%，美国、缅甸、澳大利亚产量占比分别达到 12%、11%、10%。国内稀土占到全球资源量的 37%，而产量目前占到全球的 63%，中国稀土供应全球可见一斑。

稀土永磁作为难以替代的磁性材料，广泛应用于生产、生活各个领域。近年来主要是新能源汽车带来稀土需求的持续放量，研报认为，新能源汽车需求已经占到高性能钕铁硼产品需求 10%，需求增量的 30%左右，未来 3 年新能源汽车在稀土需求的占比有望从 10%提升至 20%以上，将有力拉动稀土需求的提升。

（来源：百度新闻）



发改委：建立安全可靠的资源能源储备 加大铜、钨、稀土等战略矿产勘查

发改委印发《推进资源型地区高质量发展“十四五”实施方案》，方案指出

资源型地区是依托本地矿产、森林等自然资源开采、加工发展起来的特殊类型区域。推进资源型地区高质量发展，是维护国家资源能源安全的重要保障，是健全区域协调发展体制机制的重要环节，是加快补齐转型发展短板的重要举措。加强对战略性矿产资源调查评价、勘查和开发利用的统一规划，建立安全可靠的资源能源储备、供给和保障体系，提升资源能源供给体系对国内需求的适配性。

为保障国家资源能源安全，将加强对战略性矿产资源调查评价、勘查和开发利用的统一规划，建立安全可靠的资源能源储备、供给和保障体系，提升资源能源供给体系对国内需求的适配性。按照资源型地区资源环境特征，强化国土空间规划和用途管制，落实永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界等空间管控边界，确保资源能源的有序开发利用和保护。

未来将提高资源能源利用水平。提高重要矿产资源开采回采率、选矿回收率和综合利用水平，建立科学合理的循环利用模式。大力推进绿色矿山建设，加大已有矿山改造升级力度，新建、扩建矿山全部达到标准要求。推动战略性矿产资源开发与下游行业耦合发展，支持资源型企业的低碳化、绿色化、智能化技术改造和转型升级，统筹有序做好碳达峰碳中和工作。

此外，还将加强资源能源保障能力建设。依据资源禀赋、开发利用等情况，布局一批能源资源基地和国家规划矿区，打造战略性矿产资源稳定供应的核心区。实施矿产地储备工程，构建产品、产能和产地相结合的战略性的矿产资源储备体系。加大石油、天然气、铜、铬、钨、稀土、晶质石墨等战略性矿产资源勘查，做好重要矿产资源战略接续。

（来源：有色资讯）

赣州稀土集团承办赣州市工业互联网赋能特色产业论坛暨稀土产业数字化峰会



为深入实施工业互联网发展战略，加快推进赣州市稀土产业数字化转型升级，11月20日上午，由江西省工业和信息化厅指导、赣州市工业和信息化局主办，赣州稀土集团、中国电信赣州分公司承办的赣州市工业互联网赋能特色产业论坛暨稀土产业数字化峰会在赣州市隆重召开。



本次论坛以“智慧稀土、生态赋能”为主题。赣州市委常委、副市长何琦出

席并致辞，中国电信江西公司党委书记、总经理肖柳南，江西省工业和信息化厅信息化推进处处长高琨，赣州市工业和信息化局党组书记、局长梁丁盛，中国电信赣州分公司党委书记、总经理叶雪青参加会议。会上，赣州稀土集团党委书记、董事长谢志宏作发言，并与中国电信赣州分公司举行战略合作签约仪式，为双方共同合作成立的中国电信（江西）工业互联网研究院赣州分院及赣州稀土行业5G+工业互联网联合创新实验室举行揭牌仪式。



据悉，赣州稀土行业5G+工业互联网联合创新实验室的正式成立，将进一步拓展工业互联网平台应用，为赣州稀土行业企业搭建学习分享、信息交流、业务

合作的平台。对于推动赣州稀土产业数字化转型升级，引领稀土产业创新发展，进一步提升稀土行业智能制造水平，促进稀土行业持续健康发展具有重要意义。

本次峰会还邀请了赣州市稀土产业重点县市分管领导、工业和信息化局主要领导，部分重点企业代表等 100 余人参会。

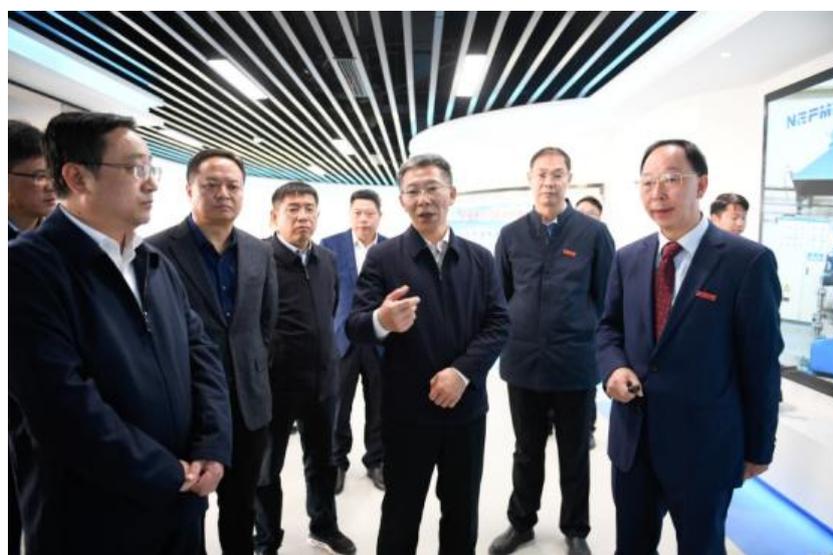
(来源：赣州稀土集团有限公司)



江西省人民政府副省长罗小云一行莅临江西理工大学国家稀土功能材料创新中心调研指导

近日，江西省人民政府副省长罗小云莅临我校国家稀土功能材料创新中心调研指导。省政府副秘书长杜章彪，省科技厅党组书记、厅长犹璿，赣州市委常委、市政府副市长何琦以及省生态环境厅、省工信厅、省政府办公厅、市科技局相关领导陪同调研。校党委书记杨斌，校党委常委、副校长邱廷省，校党委常委、副校长廖春发以及校科技处、国家稀土功能材料创新中心负责人出席调研活动。





罗小云从中心简介、功能定位、研发团队、科研成果转化孵化、技术创新平

台建设等方面详细了解了国家稀土功能材料创新中心发展情况并进行了指导。他对我校积极加强科技创新，为推动产学研用深度融合所做出的贡献表示高度肯定。

罗小云表示，走好实现第二个百年奋斗目标新的赶考之路，描绘好新时代江西改革发展新画卷，夺取全面建设社会主义现代化江西的伟大胜利，就要积极发挥科技创新生力军作用，让科技创新这个“关键变量”成为发展的“最大增量”；要深入实施创新驱动发展战略、科技强省战略、人才强省战略，坚定不移地推进江西高质量跨越式发展。

罗小云强调，国家稀土功能材料创新中心的创建是贯彻落实习近平总书记对稀土产业创新发展重要指示精神的具体行动，是江西突破稀土功能材料产业关键共性技术、推动江西稀土产业转型升级、高质量发展的重要举措。作为稀土领域唯一的国家级制造业创新中心，肩负着发挥好稀土作为不可再生重要战略资源的特殊价值，加快推进江西稀土产业高质量发展的重要使命。

针对国家稀土功能材料创新中心未来发展，罗小云提出了两点建设性意见：一是要加强人才引进与培养，着力建设高水平创新队伍。深入实施具有竞争力的高层次领军人才引进培养计划，大力引进培育战略型人才、科技领军人才和创新团队，打造集聚国内外优秀人才的科技创新高地。二是要建立健全完善的科技成果转化机制。借助专业力量搭建科技成果转化平台，积极推进科技成果转化应用，切实推动科技成果转化为实实在在的经济社会效益，促进科技与经济深度融合。

杨斌表示，国家稀土功能材料创新中心是第14个国家制造业创新中心。该中心是推动我国稀土产业高质量发展的重要举措，将极大推动技术成果转化和加快稀土功能材料领域共性关键技术突破，增强产业创新能力，支撑制造强国建设，更好服务江西有色金属产业高质量跨越式发展。学校作为牵头创建单位，一定将牢记初心使命，锐意开拓进取，以“作示范、勇争先”的姿态携手全体股东单位

一道，齐心协力建设好、发展好国家稀土功能材料创新中心。同时也恳请省、市政府能在资金、政策与环境等方面为创新中心建设发展提供更多的支持。

(来源：江西理工大学)

西澳库敏斯岭稀土矿见到厚富原矿体

莱尔克斯公司 (RareX) 在西澳州金伯利地区的库敏斯岭 (Cummins Range) 稀土项目见到原生矿化带，厚度之大、品位之高世界少见。

取样分析显示，矿化 103 米，总稀土氧化物 (TREO) 品位 1.6%，其中镨钕氧化物品位 0.3%，铈氧化物品位 0.4%。其中富矿段包括：

厚 47 米，TREO 品位 2%，镨钕氧化物品位 0.4%，铈氧化物品位 0.5%。

厚 9 米，TREO 品位 2.3%，镨钕氧化物品位 0.5%，铈氧化物品位 1%。

早期反循环钻探曾见矿 41 米，TREO 品位 2.4%。在此钻孔 35 米以下进行的金刚钻探见矿 22 米，TREO 品位 3.1%，其中包括 2 米厚、TREO 品位 10.6%、镨钕氧化物品位 1.8% 的矿化，目前仅 93-142 米深处的岩芯进行了采样，分析结果尚未完成。虽然仅对 5 个金刚钻孔岩芯进行了采样或部分采样，但 RareX 公司称，由于矿化范围大且分布连续，该项目资源量有望大幅增加。目前，该项目矿石资源量为 1880 万吨，TREO 品位 1.15%，铈氧化物品位 0.14%。公司认为，最近的钻探成果“令人意外”，意义重大，该项目实际规模应该比目前估计的更大、品位更高。

10% 的 TREO 品位是库敏斯地区自 1970 年代由 CRA 公司首次发现稀土矿床以来所探明的最富稀土矿，103 米的见矿厚度表明矿床规模是“世界级”的。另外，此次钻探发现了大范围原生矿化，而以前该矿床多被认为是风化矿。

公司表示，一旦钻孔全部采样完毕，公司将进行重新填图，主要考虑到在角

砾岩带发现了浅部大范围稀土和铌矿化，而且在矿体上部和下部都发现了新矿段。公司在2019年获得了该项目，并完成了该项目自2011年以来的首次钻探。公司称，该项目镨钕品位可以同莱纳斯稀土公司（Lynas Rare Earths）在西澳州的韦尔德山（Mt Weld）稀土矿相比，铌品位是目前资源量品位的两倍，并且可以加拿大的尼奥北克（Niobec）项目相比。公司认为，库敏斯岭稀土矿品位在澳大利亚诸多稀土矿中排名第三，仅次于韦尔德山稀土矿以及阿拉弗拉资源公司（Arafura Resources）在北领地尚未开发的诺兰斯（Nolans）稀土项目。

（来源：全球地质矿产信息系统）



英国：重启稀土永磁生产

援引外媒报道，英国目前使用的稀土超过九成来自中国加工，但随着需求不断增加，英国期盼早日摆脱对中国的依赖，并重启稀土永磁生产。

日前公布的一份英国政府调查报告说明，英国决心恢复生产发展电动车所需的高性能磁体，但认为要具有可行性，而业务模式就应当效仿中国的集中化策略。

早在4月，传闻指英国政府正寻找替代方案。8月，路透报道指两名看过相关计划但未获授权公开讨论的消息人士透露，欧盟正在考虑包括低成本融资和对原材料成本上升的补偿的提议以支持稀土磁体生产。

11月5日的路透报道引述消息人士传称，在英国政府支持下，本土将重启稀土英国永磁生产。报道表示，英国稀土生产商稀有金属公司（LCM）撰写的可行性研究报告由政府资助，该可行性研究报告同时列出了稀土永磁生产必须采取的步骤，以作为未来电动汽车马达和风力涡轮机的制造原料，并实现重要的碳减排。

LCM正在考虑寻找合作伙伴共同建厂，它是中国以外少数可将稀土原料转化成生产永磁体所需特殊化合物的公司之一。

外媒指消息人士称，该研究还概述了如何在 2024 年前，建造一座工厂、并最终生产出足够多的强力磁铁，以满足每年 100 万辆电动汽车的需求。该磁铁工厂也会为英国实现其目标，即到 2030 年禁止使用汽油和柴油车，到 2050 年将碳排放量降至净零水平。

去过中国 40 多次的希金斯称，中国稀土行业大致被垂直整合到六家政府授权的公司旗下。他认为，英国可望在 2024 年建设一家磁铁工厂，最终稀土磁铁年产量达到 2,000 吨，可满足大约 100 万辆电动汽车的需要。

这项研究还建议磁铁工厂的稀土原料从矿砂的副产品中获取，这比开采新的稀土矿的成本要低得多。

路透报道称一位发言人仅在电子邮件中说，英国政府将继续透过汽车转型基金（ATF）与投资者合作，推进在英国建立具有全球竞争力的电动汽车供应链的计划。

（来源：百度新闻）



南澳州全球征集关键矿产开发方案

据 MiningWeekly 报道，为促进南澳州关键矿产行业发展，该州政府与公众创新平台 Unerathed 共同启动一项全球在线竞赛计划。

“南澳政府在投资未来，目的是帮助该州发展关键矿产加工和制造能力”，负责矿产资源的该州能源和矿业部长亚历克斯·布拉德（Alex Blood）表示。“南澳关键矿产智库（TCSA，Thinking Critical South Australia）重点是全球个人和企业提出的最佳和最具创新的方案，支持他们在南澳州建设经营场地，为行业发展作出贡献。”

TCSA 将向五名决赛入围者给予奖励，并提供融资便利。Unerathed 创新系

统合伙人利兹·布鲁克曼（Lizzie Brookman）提示，这五名入围者将获得极具价值的奖励，包括营销推广、专业网络和业务发展。他们将获得总计为 25 万澳元的启动资金。

两轮挑战赛将于 11 月 3 日开始，非政府企业以及非营利组织可以注册参与。

南澳州的铜、钴、稀土、镁、锆石、石墨和高岭土资源非常丰富。该州拥有世界最大锆石矿山，以及澳大利亚最大石墨矿。。

（来源：MiningWeekly）

南开团队利用自主开发烯基-二胺稀土催化体系 实现内烯烃的硅氢化反应

稀土元素在我国储量丰富，是钪、钇和镧系共十七种元素的总称，被广泛应用于日常生活和工业生产，特别是新能源、新材料等高科技领域。由于稀土离子电子结构独特、半径大和 Lewis 酸性强，稀土有机配合物展示出许多不同于过渡和主族金属配合物的独特反应性。特别是近些年来，稀土有机配合物被用于活化小分子和惰性键、催化不饱和键的氢元素化以及烯烃的配位聚合等领域。在此背景下，开展稀土金属有机化学研究，有助于为设计和发展新型高效的稀土有机试剂和催化剂、以及合成高性能有机分子和材料的设计奠定基础，进一步促进我国稀土资源的高效利用。

1																	18				
1 H	2	稀土元素： 钪、钇和镧系共十七种元素														13 B	14 C	15 N	16 O	17 F	18 He
3 Li	4 Be											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar				
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn				
87 Fr	88 Ra	Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt													
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					

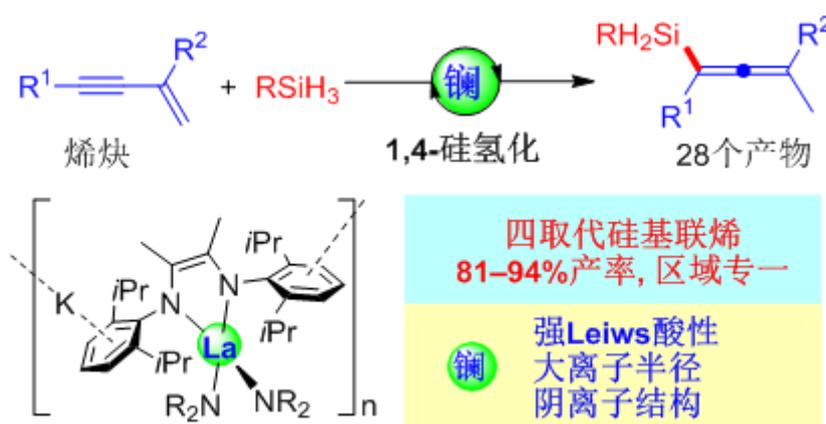
稀土元素

金属催化不饱和烃的硅氢化反应是制备有机硅化合物的最高效、最原子经济性的方法。其作为最重要的均相催化反应之一，在工业上已取得广泛应用。稀土

金属由于其特殊的电子结构,其在催化硅氢化反应中往往表现出新颖的选择性和底物适用范围,最近引起了化学家们的关注。近期,南开大学崔春明团队利用自主开发的烯基-二胺稀土催化体系实现了内烯烃的硅氢化反应(ACS Catal. 2018, 8, 2230),以及内炔烃的双硅氢化反应(Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 2365)。

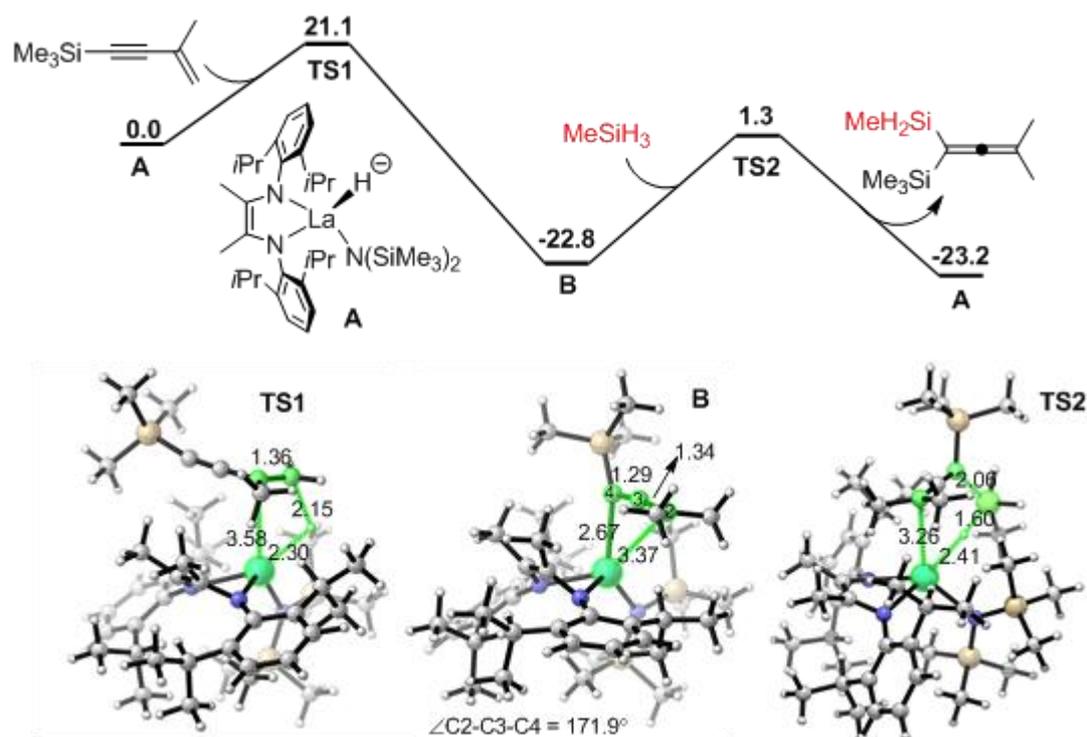
1,3-烯炔含有共轭的烯烃和炔烃单元,具有易制备、结构多样和反应性丰富等特点,是有机合成中重要的合成砌块。然而,1,3-烯炔的催化硅氢化反应面临着区域和立体选择性控制的问题,存在三种主要的竞争途径,即1,2-、1,4-和4,3-加成途径。然而,催化1,3-烯炔的1,4-硅氢化反应只有几例报道,且底物范围非常有限。

该团队在前期稀土催化硅氢化的基础上,使用阴离子型稀土配合物为催化剂,首次实现了支链1,3-烯炔的高效选择性1,4-硅氢化反应,在温和的反应条件下得到多种四取代硅基联烯。其中,稀土离子半径以及ate结构对反应起决定性作用。此外,结合氘代实验、动力学实验和DFT计算,提出了稀土催化1,3-烯炔的1,4-硅氢化的配位插入和 σ -键复分解反应机理。



稀土金属催化剂的结构以及催化硅氢化反应示意图

结合该团队前期的机理研究，研究人员认为稀土催化 1,3-烯炔的 1,4-硅氢化反应机理应如上图所示。首先，烯基-二胺配体稀土双胺基钾盐与硅烷反应产生阴离子稀土氢化物 A。之后，A 对烯炔双键末端位点进攻形成 η^3 配位的炔丙基镧中间体 B。最后，B 与硅烷发生 σ -键复分解形成硅基联烯产物及稀土氢化物，完成催化循环。



催化反应机理的理论研究：催化机理能量图以及过渡态和中间体的结构

研究人员认为，该工作利用稀土金属催化剂首次实现了选择性的烯炔 1,4-硅氢化，这为开发新型有机硅试剂和材料提供了新方法和新思路。

相关研究成果以“Rare-Earth-Catalyzed Selective 1,4-Hydrosilylation of Branched 1,3-Enynes Giving Tetrasubstituted Silyllallenes”为题，发表在 Journal of the American Chemical Society (J. Am. Chem. Soc. 2021, 143, 12913–12918)。通讯

作者为南开大学崔春明教授，李建峰副教授为共同通讯作者，博士研究生陈武丰为第一作者。该工作的理论计算部分得到许秀芳教授和姜春卉的帮助。上述工作得到国家自然科学基金的资助。

(来源：南开大学新闻网)

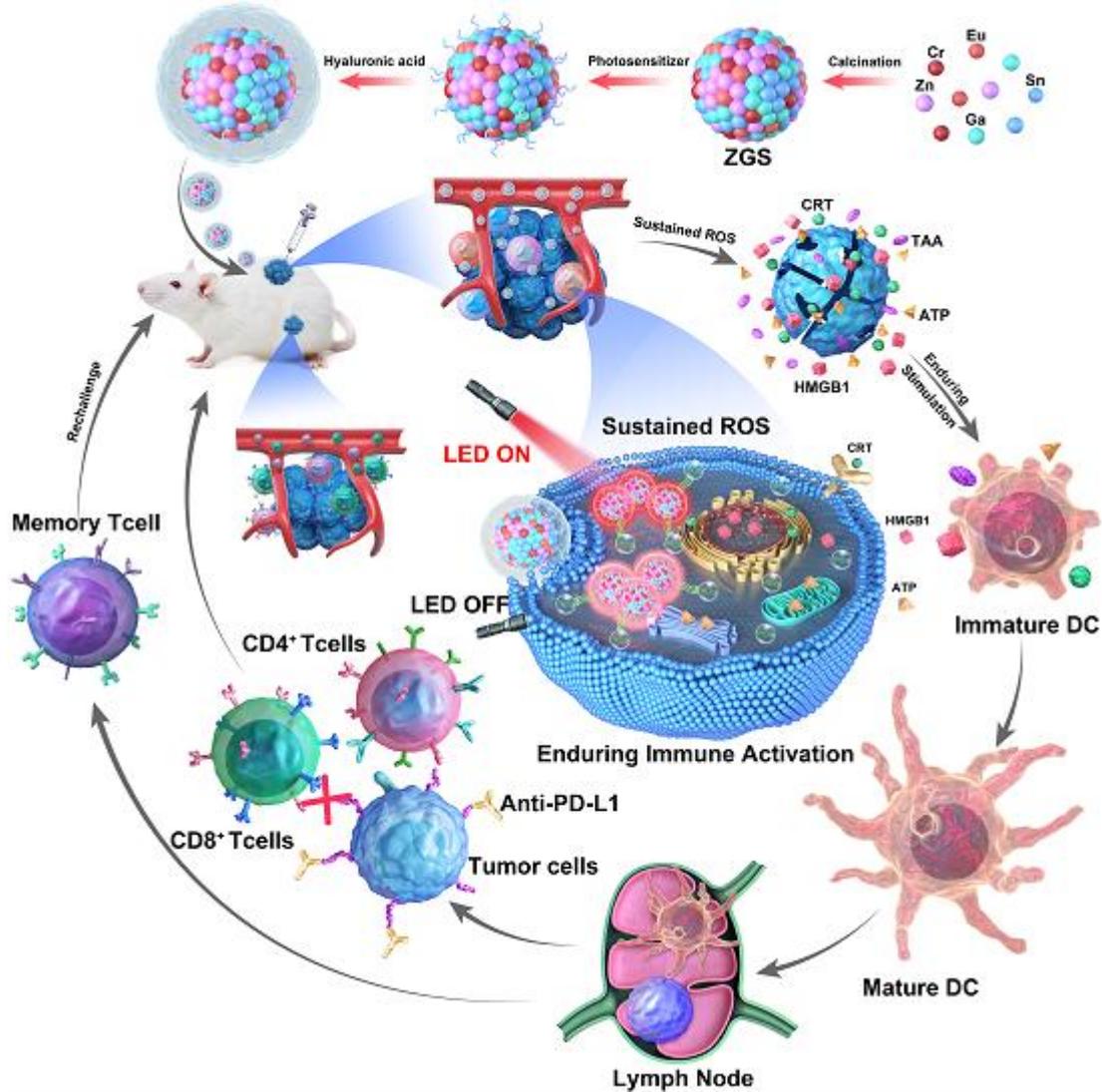


福建物构所在稀土纳米材料用于癌症持久免疫治疗 中取得新进展

利用人体免疫系统来对抗癌症的免疫治疗手段掀起了癌症治愈新的篇章，近日，国内首例免疫治疗的淋巴瘤患者，实现了2个月“癌细胞”清零出院。引发机体产生强烈、有效且持久的免疫响应是提高免疫治疗效果的关键。近年来，纳米材料因其独特的物理化学性质在免疫治疗领域占领了一席之地。然而目前报道的基于外源响应的纳米治疗体系受限于材料自身属性，仅能在外部刺激存在的情况下产生有限的免疫应答，这种短暂且有限的应答方式导致了长期免疫刺激不足，降低了癌症免疫治疗的疗效。因此，探索新型纳米材料并开发一种安全、高效且持久的免疫应答增强平台，对临床癌症免疫疗法具有重要意义。

长余辉材料是一种在外部光源关闭后仍能持续发出余辉的光学材料，因其无背景荧光干扰被广泛应用于生物检测和成像领域。此外，它还可以作为深层组织光动力治疗的重复性、可持续激发的内部光源，在癌症治疗领域具有潜在研究价值。鉴于此，中科院福建物构所张云团队基于长余辉材料持续发光这一特性，开发出一种新型的对生物窗口响应效率较高的稀土长余辉纳米材料并首次将其应

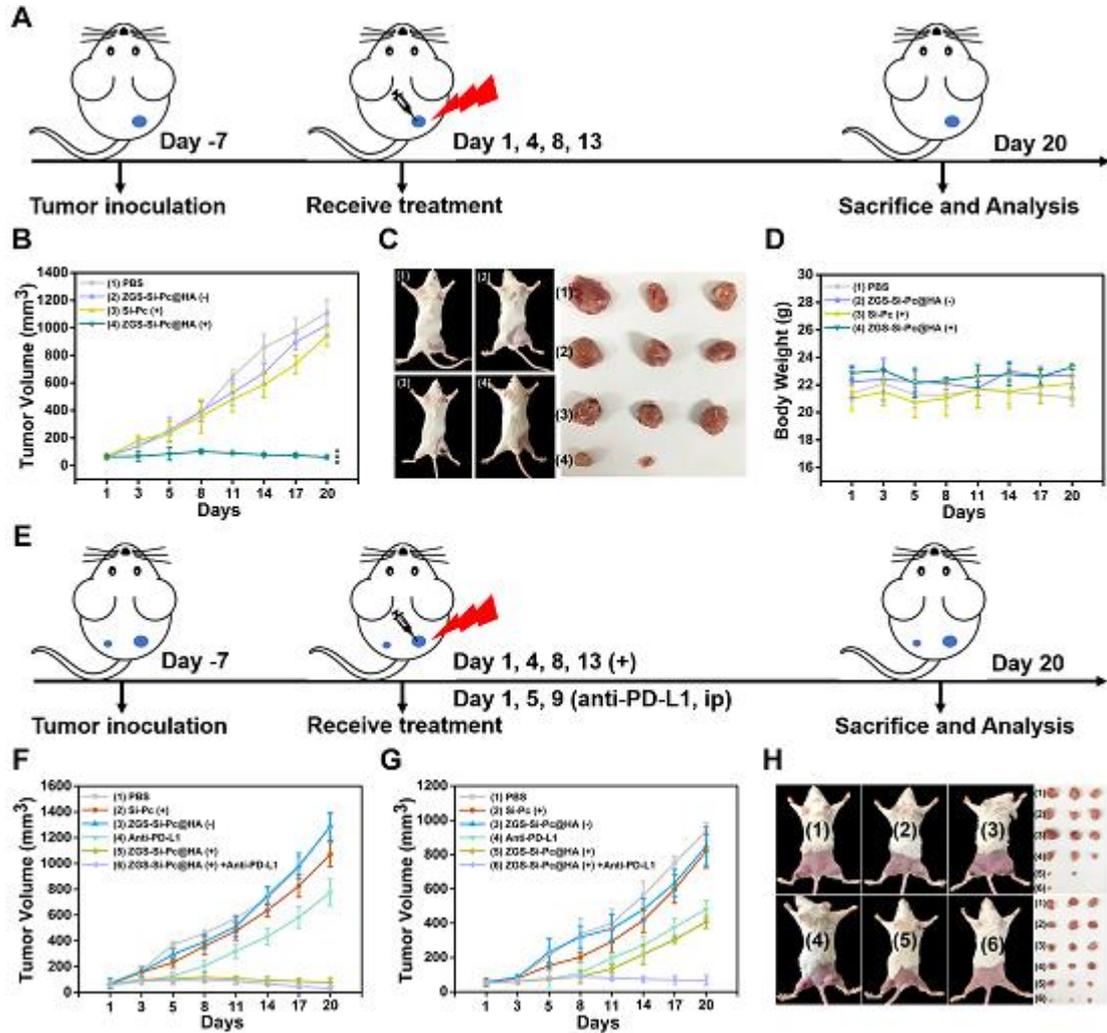
用于癌症免疫治疗领域，引发了机体强烈持久的免疫响应，实现了对肿瘤的高效抑制。



首例稀土长余辉纳米平台实现持久抗肿瘤免疫应答示意图

研究团队利用燃烧法合成了 Cr^{3+} 和 Eu^{3+} 共掺杂的稀土长余辉纳米材料，然后对其表面进行功能化修饰，赋予该材料靶向抗癌的能力。活体水平实验结果表明，该纳米治疗平台有效抑制了小鼠原位皮下肿瘤的生长，明显增强了效应 T 淋巴细胞在癌症部位的浸润。此外，当与免疫检查点抑制剂（Anti-PD-L1）联合治疗后，该体系对远端非治疗的肿瘤也呈现出优异的抑瘤效果，并产生了很强的

免疫记忆反应，实现了协同、高效、持久的抗肿瘤免疫响应。



(A) 单侧荷瘤模型治疗示意图; (B) 单侧皮下肿瘤生长曲线; (C) 小鼠在第 20 天的治疗效果图; (D) 小鼠体重生长曲线; (E) 双侧荷瘤模型治疗示意图; (F) 原位肿瘤生长曲线; (G) 远端肿瘤生长曲线; (H) 小鼠在第 20 天的治疗效果图。

综上所述，该工作提供了一种富有启发性的癌症免疫治疗策略，对肿瘤治疗和预防肿瘤复发具有重要意义。相关成果以研究论文形式发表在 *Advanced Functional Materials* (*Adv. Funct. Mater.* 2021, 2106884)，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：厦门稀土材料研究所)

《赣州市“十四五”制造业高质量发展规划》出台 涉 及稀土相关领域

一、编制背景

“十四五”时期是赣州与全国同步开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一个五年，是在新的历史起点上推动制造业高质量发展的关键五年。本规划以深入推进新时代赣南苏区振兴发展、打造对接融入粤港澳大湾区桥头堡、建设省域副中心城市“三大战略”为引领，根据《江西省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》《赣州市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》《赣州市主攻工业三年再翻番实施意见》《赣州市“1+5+N”工业倍增升级行动方案（2021-2023年）》等文件及市委、市政府对制造业高质量发展工作的部署要求，在深入调研、广泛征求意见、不断修改完善的基础上，历时一年多时间编制了《赣州市“十四五”制造业高质量发展规划》（以下简称《规划》）。

二、编制过程

（一）前期研究阶段。2020年4月，委托江西理工大学课题组启动《赣州市“十四五”制造业高质量发展规划前期研究》课题工作。2020年6月，形成课题研究报告。

（二）编制起草阶段。2021年5月初，启动《规划》编制工作，规划编制组多次前往各县（市、区）开展专题调研，收集资料，并听取了各县（市、区）

有关领导、部门及企业的意见建议，2021年5月底形成了《规划（初稿）》。2021年6-8月，通过多种形式，广泛征求市级相关部门及各县（市、区）及工业企业意见，同时与上级规划及各相关专项规划进行了衔接，吸纳相关单位意见，形成《规划》评审稿。

（三）论证完善阶段。2021年9月4日，组织召开专家评审会原则通过。根据评审会意见，进一步修改完善。9月，再次征求市级相关部门、各县（市、区）意见、市政府领导意见。9月25日，市政府常务会原则通过。

三、规划特点

一是对标上级规划。充分对标《江西省“十四五”制造业发展规划》以及市“十四五”规划《纲要》，确保在总体要求、空间布局、重点任务、项目专栏等方面保持方向一致。

二是突出特色优势。坚持以更大的力度推动工业倍增升级，聚焦大产业、大园区、大项目、大平台、大企业，围绕“1+5+N”产业体系，提出突出“衣食住行、金星点耀（金新电药）”（衣（纺织服装）食（绿色食品）住（家具家居）行（汽车及零部件），金（稀土、钨等稀有、有色金属）星（新能源、新材料）点（电子信息）药（医药））重点产业政策体系的顶层设计，明确制造业向数字化、网络化、智能化、平台化、绿色化转型，构建赣州特色现代产业体系。

三是坚持全面协调发展。提出统筹推动制造业创新能力提升、扩大制造业有效投入、培育制造业优质企业、实施产业链基础再造、加快制造业数字化升级、

园区创新绿色安全发展等6大行动，协调推进“一核两翼多园”各板块联动发展，推动赣州制造业高质量发展。

四、主要内容

主要包含五个部分，含9个专栏，4万2千余字。

第一部分 客观研判发展新阶段，综合分析发展基础。从发展基础、发展环境两大方面，分析研判“十四五”时期我市制造业发展面临的机遇和挑战。在发展基础方面，概述了“十三五”以来我市制造业发展取得综合实力明显增强、产业集群集聚效应显现、企业竞争力不断攀升、融合创新持续发力、绿色发展成效显著等五个方面成效。在发展环境方面，分析“十四五”时期我市制造业发展面临国家战略大调整、新一轮中央振兴政策、粤港澳大湾区及东部沿海等地区产业梯度转移、国家振兴中部发展提速、江西列入国家内陆开放型经济试验区、“一带一路”倡议、高铁经济带来的巨大红利、新基建带来的新兴产业发展等八大机遇，以及基础设施短板较多、工业基础仍然比较薄弱、产业总体竞争力还不够强、对外开放程度不高、人才严重缺乏、营商环境有待进一步优化等六大挑战。提出综合来看，我市“十四五”制造业发展总体趋势向好，机遇大于挑战，制造业高质量发展后劲足、大有可为。

第二部分 科学制定发展新目标，奋力担当发展使命。包括指导思想、基本原则、发展定位、发展目标、空间布局等五个方面。其中，基本原则4个，具体包括“坚持科学规划、坚持高质量发展、坚持重点倾斜、坚持绿色发展”；发展

定位，提出打造“两区一基地”，即“中部地区承接粤港澳大湾区产业梯度转移先行区、全国稀土稀有金属产业高质量发展引领区、中部地区重要的先进制造业基地”；发展目标，包括“扩总量、增实力、强创新、兴板块”四个方面，其中，核心目标是规模以上工业营业收入突破 8000 亿元；空间布局，提出打造中心城区产业核心增长极，河东、河西产业发展协作带，“会寻安”“大上崇”特色产业集聚区，构建“一核引领、两翼齐飞、多园并进”的产业空间布局。

第三部分 深度聚焦产业集群集聚，靶向定位发展重点。提出打造现代家居、有色金属两大全球有影响力的产业集群；打造全国服装制造之都；打造三条在国内有影响力的产业链条：一是在电子信息产业中做优做强显示模组、PCB 产业链条，二是在新能源及新能源汽车产业中打造锂离子动力电池全产业链条；打造医药食品、建材化工等一批特色产业集群。

第四部分 强化制造业基础支撑，系统谋划发展任务。提出我市制造业发展的六大重点任务。一是提高制造业创新能力，强化企业创新主体地位，加强关键共性技术攻关，全力建设协同创新平台，加快推进创新成果转化；二是扩大制造业有效投入，加快制造业重大项目引进，加大制造业技术改造投入，优化项目协调服务机制；三是培育制造业优质企业，培育制造业领航企业、优质中小企业，推动企业升规入统；四是实施产业链基础再造，筑牢产业链基础，提升产业链现代化水平，推动产业链供应链协同；五是加快制造业数字化升级，推进数字化基础设施建设，加快培育数字产业，推进产业数字化转型；六是推动园区创新绿色

安全发展，加快园区创新发展、绿色发展，提升工业生产安全防控能力。

第五部分 凝聚共识提振信心，狠抓规划落实。一是加强政策扶持，包括健全产业政策体系、推动产业政策落实。二是优化营商环境，包括构建一流营商环境、保护企业家合法权益；三是强化要素保障，主要是强化用地保障、财政金融支持、人才保障；四是加强组织实施，包括加强组织领导、推进规划实施。

其中，在稀土相关领域，《赣州市“十四五”制造业高质量发展规划》中有如下发展规划：

打造成全国稀土稀有金属产业高质量发展引领区。以建设国家级稀土集团为核心，发挥中国科学院赣江创新研究院、国家稀土功能材料创新中心等创新平台作用，引领高性能稀土钨功能材料、永磁电机、永磁变速器、稀土催化材料、硬质合金刀钻具、钴盐前驱体等产业高质量发展，将我市打造成为全国稀土稀有金属产业高质量发展引领区。

重点发展稀土高性能磁性材料、合金材料、催化材料、储氢材料等功能材料，向稀土永磁电机、永磁变速器等深加工及应用产品延伸。做大做强超粗（超细）高纯碳化钨粉、高性能钨硬质合金及硬面材料、切削工具等领域。打造全国最大的钴盐生产基地，推动钴产业向前驱体、正极材料、高温合金等领域延伸。发展铜基新材料、高纯超薄铜箔等产业。力争到2025年，全市有色金属产业集群产值超2000亿元。打造具有全球影响力的稀土稀有金属新材料产业集群。

加强关键共性技术攻关。强化重大科技攻关，加强关键共性技术平台建设，

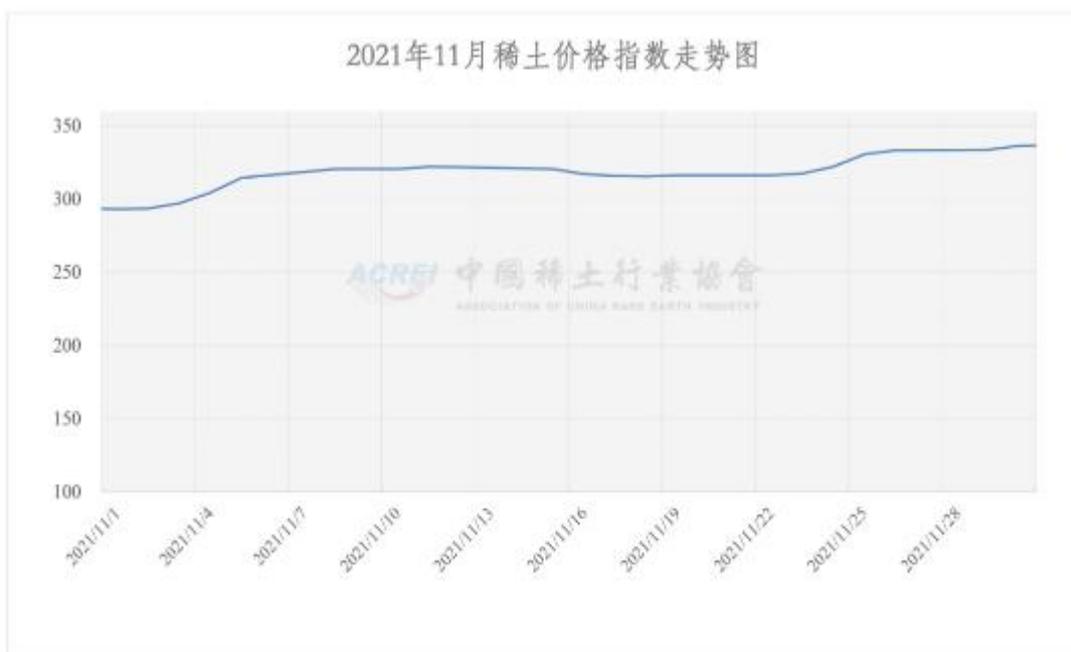
聚焦“1+5+N”产业链的关键领域，大力推进中科院赣江创新研究院、中国科技大学江西稀土学院、国家稀土功能材料创新中心、产业技术研究院建设，建成集创新研究、成果应用、人才培养一体的研发平台。加强原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新，完善关键核心技术攻坚机制，提升科技赋能能力，推广运用择优委托、“揭榜挂帅”等方式，试验首席科学家制度，形成一批专利产品群和高价值专利组合，推动产业技术进步。

（来源：赣州市人民政府）

2021年11月稀土价格走势

一、稀土价格指数

11月份，稀土价格指数整体呈现缓慢震荡上行趋势，总体保持在高位。本月平均价格指数为317.4点。价格指数最低为11月1日的293.1点，最高为11月30日的336.4点。高低点相差43点，波动幅度为13.6%。



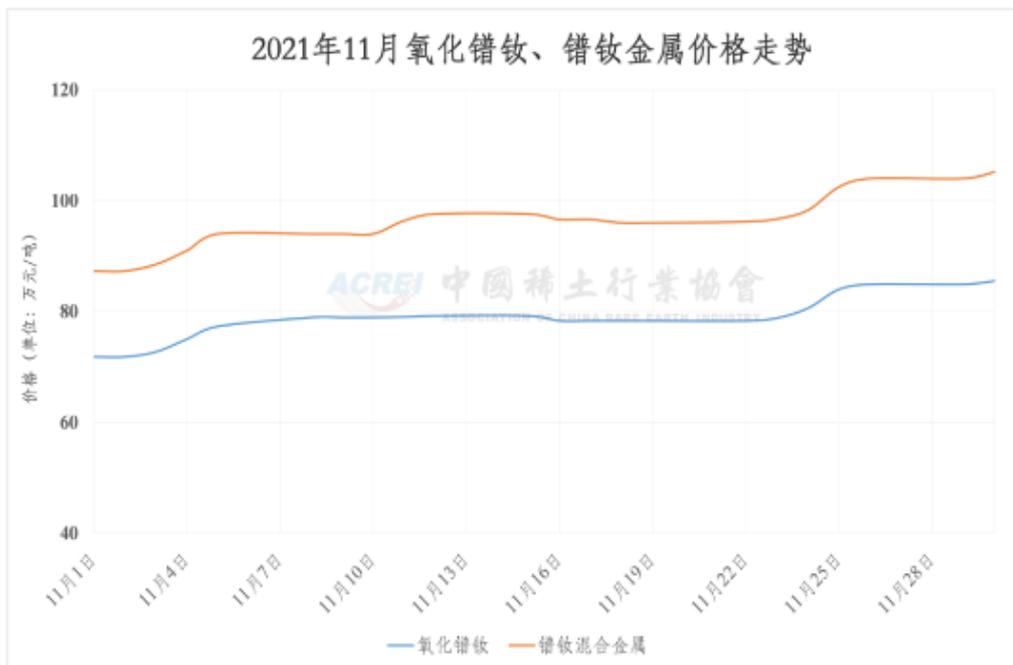
二、中钇富铈矿

中钇富铈矿11月份均价为32.41万元/吨，环比上涨16.96%。

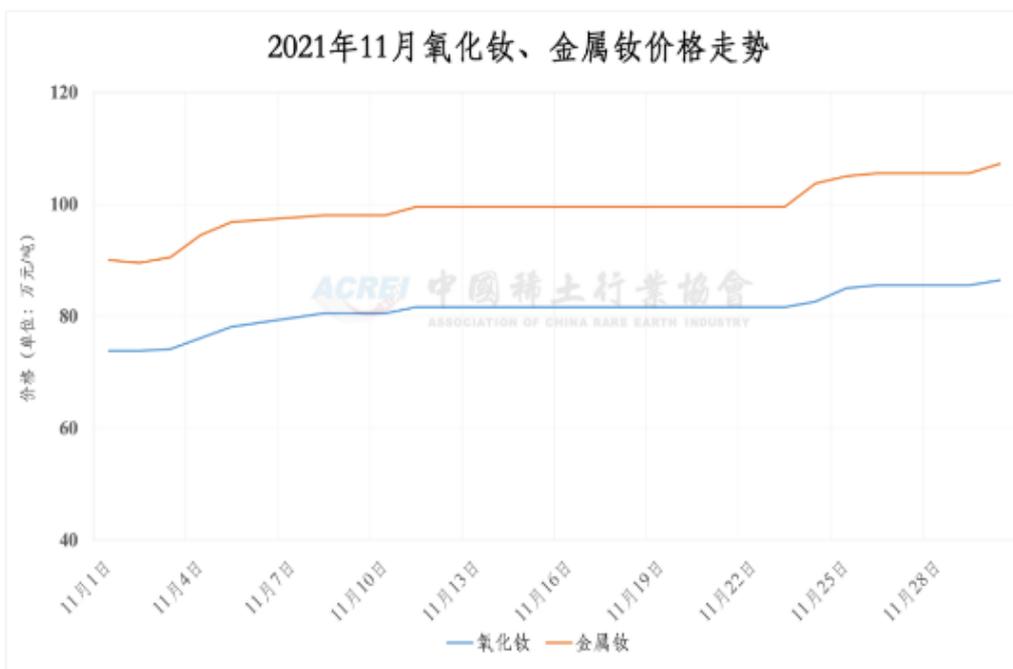
三、主要稀土产品

(一) 轻稀土

11月份，氧化镨钕均价为78.77万元/吨，环比上涨22.89%；金属镨钕均价为96.08万元/吨，环比上涨22.18%。



11月份,氧化钕均价为80.76万元/吨,环比上涨22.68%;金属钕均价为98.99万元/吨,环比上涨22.43%。



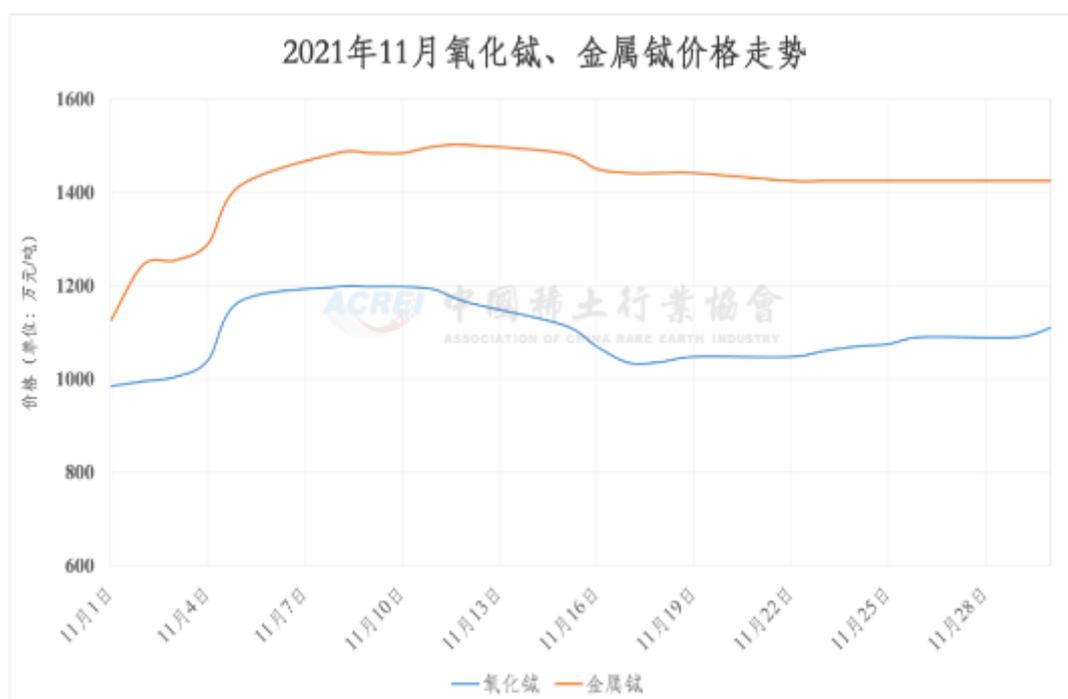
11月份,氧化镨均价为81.92万元/吨,环比上涨20.71%。99.9%氧化镧均价为1.00万元/吨,环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为19.80万元/吨,环比与上月持平。

(二) 重稀土

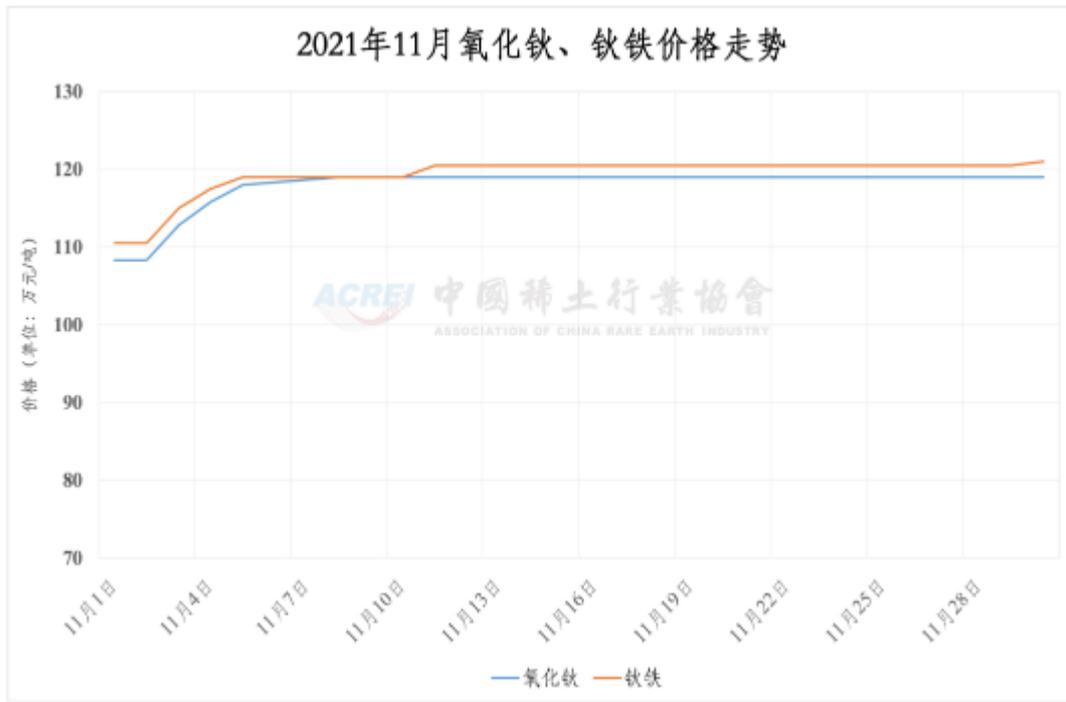
11月份,氧化镝均价为294.32万元/吨,环比上涨7.05%;镝铁均价为292.82万元/吨,环比上涨7.25%。



11月份,99.99%氧化铽均价为1090.52万元/吨,环比上涨20.06%。金属铽均价为1410.09万元/吨,环比上涨21.90%。



11月份,氧化钽均价为117.56万元/吨,环比上涨13.50%,钽铁均价为118.96万元/吨,环比上涨13.21%。



11月份,99.999%氧化铈均价为5.69万元/吨,环比上涨21.54%。氧化铟均价为34.20万元/吨,环比上涨25.99%。

表1: 2021年11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	10月平均价	11月平均价	环比
氧化镧	≥99%	10.00	10.00	0.00%
氧化铈	≥99%	10.00	10.00	0.00%
氧化镨	≥99%	678.65	819.23	20.71%
氧化钆	≥99%	658.35	807.64	22.68%
金属钆	≥99%	808.53	989.86	22.43%
氧化钇	≥99.9%	13.00	22.05	69.62%
氧化铈	≥99.99%	198.00	198.00	0.00%
氧化钐	≥99%	285.88	378.36	32.35%
钐铁	≥99%Gd 75% ±2%	282.12	373.14	32.26%
氧化铽	≥99.9%	9082.94	10905.23	20.06%
氧化铈	≥99%	11567.65	14100.91	21.90%
铈铁	≥99%Dy80%	2749.41	2943.18	7.05%
氧化钽	≥99.5%	2730.29	2928.18	7.25%

市场行情

钬铁	$\geq 99\% \text{Ho}80\%$	1035.76	1175.55	13.50%
氧化铟	$\geq 99\%$	1050.76	1189.55	13.21%
氧化镱	$\geq 99.99\%$	271.41	341.95	25.99%
氧化镱	$\geq 99.9\%$	102.00	102.00	0.00%
氧化钇	$\geq 99.999\%$	5050.00	5269.32	4.34%
氧化镨钕	$\geq 99\% \text{Nd}_2\text{O}_3 75\%$	46.82	56.91	21.55%
镨钕金属	$\geq 99\% \text{Nd}75\%$	640.94	787.68	22.89%

(来源: 中国稀土行业协会)

稀土储氢材料的研究与应用

前言

稀土元素位于元素周期表中的第三副族，其特殊的 4f 电子结构，使它具有了各种优异性能，并得到广泛应用。它的应用遍及了国民经济中的冶金、石油化工、光学、磁学、电子、生物医疗和原子能工业的各大领域的 30 多个行业。

氢是一种新型能源，具有储量丰富、燃烧放热量大、清洁、对环境无污染且可再生等优点，它的开发及利用能够为解决能源和环境问题提供巨大帮助。

稀土元素作为比较安全有效的吸氢物质，在固体储氢方面得到了极大应用，寻找新型稀土储氢材料受到科学界的广泛关注。稀土储氢合金是能源环保领域重要的功能材料之一。稀土储氢合金中稀土的重量百分含量约为 33%，主要以 La, Ce 轻稀土为主。储氢是 La, Ce 轻稀土的主要应用领域之一。有文献记载的可利用稀土元素的储氢材料类型主要包括间隙氢化物、化学氢化物、MOF 和复杂氢化物等几种类型。

1 稀土储氢材料概况

稀土储氢材料一般指的是稀土储氢合金粉，它是在稀土金属中加入某些第二种金属形成合金后，在较低温度下能可逆地吸收和释放氢气的材料。最早出现的稀土储氢合金是 CaCu₅ 型六方结构的稀土储氢合金 LaNi₅、CeNi₅。其中以 LaNi₅ 为典型代表，其在室温下可与几个大气压的氢反应被氢化，生成具有六方晶格结构的 LaNi₅H₆。

全球稀土储氢材料 95% 由中国和日本供应。2005 年以来中国稀土储氢材料

产量超过日本，达到全球总产量的70%。稀土储氢材料中的稀土为La、Ce、Pr、Nd等轻中稀土金属，含量为35wt.%左右。由于稀土永磁材料产业的发展使得镧、铈等稀土产品的大量积压，因此以镧、铈等高丰度稀土为主要组分的稀土储氢材料的研发及产业化，不仅可以推动混合动力汽车的发展，还将促进稀土资源的平衡利用和稀土行业的可持续发展。

2 稀土储氢材料类型

金属化合物储氢材料根据合金的成分可以分为：稀土系储氢合金、镁系储氢合金、钛系储氢合金、锆系储氢合金和钙系储氢合金。稀土储氢合金主要有两类：LaNi₅型储氢合金(AB₅型)和La-Mg-Ni系储氢合金(AB₃型、A₂B₇型)。

2.1 AB₅型稀土储氢合金

AB₅型稀土储氢合金是以LaNi₅为代表的稀土储氢合金，被认为是所有储氢合金中应用前景最好的一类。优点为：初期氢化容易，反应速度快，吸-放氢性能优良。其主要缺点为：循环退化严重，易粉化。通常采用调节A、B相的成分结构和非化学计量比以提高合金的储氢性能。

混合稀土(La, Ce, Sm)Mm可作为金属La的有效替代品，但吸放氢平台压滞后增大，给实际应用带来困难；第三组分元素M(Al, Cu, Fe, Mn, Ga, In, Sn, B, Pt, Pd, Co, Cr, Ag, Ir)替代部分Ni是改善LaNi₅和MmNi₅储氢性能的重要方法；另外A侧元素添加Mg, Ti等低电负性元素也可以改变其储氢性能。

2.2 镁基稀土储氢合金

金属Mg有很大的储氢容量，并且价格便宜、资源丰富，将Mg加入到合金中可以形成具有更大储氢容量的新型储氢合金。由Laves型[A₂B₄]和CaCu₅

型 $[AB_5]$ 亚单元以一定比率沿 c 轴有序堆垛而成的超点阵 $R-Mg-Ni$ 基储氢合金 (R =稀土元素、 Ca 元素), 因具有储氢容量高、可逆性好以及动力学与热力学行为温和可控等优势被认为是新一代镍氢电池最理想的候选负极材料。

3 新型稀土储氢材料

3.1 镁-镍系多元合金材料

三元体系: La_2MgNi_9 、 $La_5Mg_2Ni_{23}$ 、 La_3MgNi_{14} 、 $La_5Mg_2Ni_{23}$ 合金负极的放电容量高达 $410\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, 比 AB_5 型合金大 1.3 倍; 纳米晶结构的 $Mg-Ni-RE$ ($RE=La, Nd$) 系显示了极好的吸氢动力学与 $P-C-T$ (压强、组成、温度) 特征。

四元体系: 真空法制得的电极负极材料 $Mg_{1.95}Y_{0.05}Ni_{0.92}Al_{0.08}$ 初始容量达到 $380\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, 充放电循环 150 次时, 容量保持率 95%, 该材料不足之处是开路状态电荷存放期间自放电率高(12 天约保持 25%)。机械合金法制备的四元 $Mg_{35}Ti_{10}M_5Ni_{50}$ ($M=Y, Al, Zr$) 储氢电极表现出相当长的循环寿命。 $La_{1.8}Ca_{0.2}Mg_{16}Ni$ 铸锭机械研磨 40 小时后, 合金从晶态变成非晶态, 与晶态相比非晶态显示出更好的解析动力学和更高的储氢容量。

多元体系: $Ml(Ni\ Co\ Mg\ Al)_{5.1-x}Zn_x$ ($0.3 \geq x \geq 0$, Ml 代表富 La 混合稀土金属), $P-C-T$ 表明无 Zn ($x=0$) 情况下, 最高氢浓度 1.58% (质量分数), 随合金中 Zn 增加, 可减少到 1.19%, 测试表明合金的电化学容量达到了很高的水平, $x=0$ 时为 $380\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, 100 次充放电循环后容量衰减率从 16% 减到 4%。适当的 Zn 含量 ($0.2 > x > 0$) 对电化学容量产生较小的影响, 但改善了循环稳定性及放电能力, 特别是高倍率放电能力。

3.2 镁-镍系储氢合金电极材料的研究进展

稀土-镁-镍系储氢合金一般为 AB_3 型结构。 AB_3 结构由 $1/3$ 的 AB_5 和 $2/3$ 的 AB_2 结构组成。一般说来, 在吸放氢过程中由于其高的储氢量以及相对较低的成本, 显示出良好的应用前景。各种元素的替代对储氢合金的储氢容量以及电化学性质等都有明显的影响。复合体系的放电容量为此类合金中最大, 可达到 $1014\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, 主要原因是无定型结构的形成和表面状态的改变; 钙和钇的替代因改变了合金微观结构而提高了合金的吸氢量; 其次放电容量最大的合金为 $\text{La}_5\text{Mg}_2\text{Ni}_{23}$ 合金, 作为负极电极放电容量已达 $410\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$, 主要是由于其特殊的分子排列结构; 储氢容量最大的为 $\text{La}_{1.5}\text{Mg}_{17}\text{Ni}_{0.5}$ 合金, 储氢量为 5.40% , 主要原因是 LaNi^{5+} , LaH^{3+} , La 的催化能力以及在反应过程中出现的多相结构; 铈的替代可以改善合金循环寿命, 但是减少放电容量。其原因是铈的存在, 在金属表面生成了 CeO_2 膜抑制了腐蚀; Co 的替代增加合金循环稳定性的主要原因是在加氢/脱氢过程中电池体积的膨胀率 $\Delta V/V$ 明显的减少, 导致合金微粒粉化减少, 充放电效率增加和氧化/腐蚀率减小; Mn 的替代可以延长合金寿命是由于合金的点阵常数和晶包体积增大; 而 Fe, Al, Cu, B 均可以显著改善循环稳定性。原因是其氢化物比较小的体积变化和合金表面抗腐蚀层的形成; Al 的替代合金具有较高的储氢容量的原因是其中 AlNi 相态的出现改善了合金的催化活性。

4 稀土储氢材料的应用

4.1 稀土储氢材料用于蓄热泵

稀土储氢材料, 首先将其用于蓄热泵, 因为两种物性不同的稀土储氢合金, 当其吸放氢时反应热量值较高, 所以两者通过相互交换氢气, 以实现吸收或放出

热量，这就是金属氢化物蓄热泵的制热原理（如图）。通过稀土储氢材料可以将工厂的废热或低质热能加以回收利用，从而开辟了能源高效利用的新途径。其次利用稀土储氢材料吸收或放出氢时，所产生的压力效应，可以用作热驱动的动力，还可用做机器人内部系统的动力源。加之，该合金体积小、质量轻、输出功率大，可用于制动器升降装置和温度传感器、激发器或控制器等。

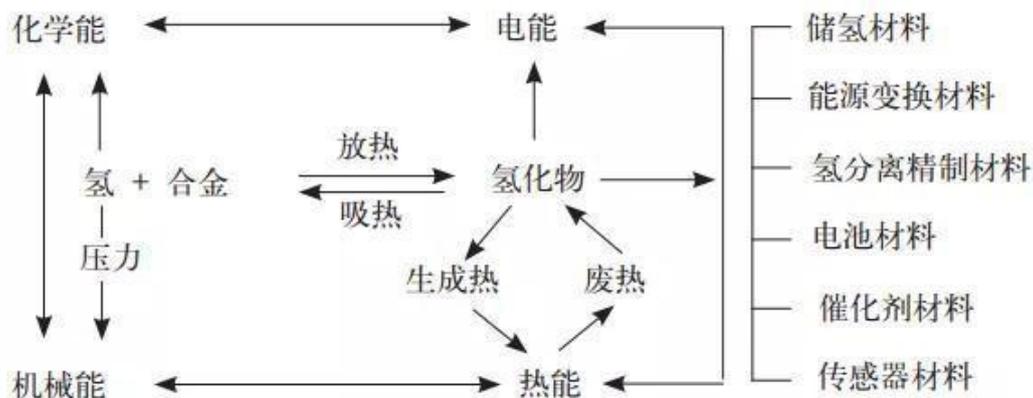


图 储氢装置工作原理图

4.2 稀土储氢材料用于镍氢电池

稀土储氢材料的另一个，也是最主要的用途就是用于镍氢电池。镍氢电池是在 1983 年研发出来的，镍氢电池具有能量密度高、循环寿命长、动力学性能好、环境友好和安全性好等优点，广泛应用于便携式电子设备、电动工具、混合动力车（HEV）。就技术水平看，在各类动力电池中，镍氢电池的综合优势最为明显。镍氢电池的工作原理：以氧化镍或者多孔金属镍作为电池的正极，以 LaNi_5 型储氢合金作为电池的负极，以氢氧化钾作为电池的电解液。于是 LaNi_5 在碱性电解液中，作为可逆的氢电极，通过电化学反应吸收和释放大量氢气，再由金属氢化物负极与镍正极实现充电和放电。在整个电化反应过程中，没有活性物质的

沉淀和溶解反应发生，从而也不会消耗和产生水。

小结

稀土储氢材料从应用到现在已经有二十几年的时间，作为氢能利用的重要功能材料和储氢载体，其仍然具有广阔的发展和应用前景。发展稀土储氢产业既有利于社会和经济的可持续发展，又能够促进我国稀土资源的高效高值均衡开发利用，而研究开发新组分、新结构稀土储氢材料是扩大材料应用范围的重要途径，也是拥有该领域原创知识产权的必由之路。

（来源：中国稀土行业协会）