

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2021 年 第 04 期 总第 90 期

本期要闻

- ◎ 稀土管理将纳入法制化轨道，助推产业链稳定发展
- ◎ 碳中和驱动稀土磁材需求加速增长
- ◎ 工信部：坚决打击垄断市场、恶意炒作等行为
- ◎ 2021 年稀土、钨矿开采总量控制指标研讨会召开

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 1-16

- ◎ 稀土管理将纳入法制化轨道，助推产业链稳定发展
- ◎ 碳中和驱动稀土磁材需求加速增长
- ◎ 工信部：坚决打击垄断市场、恶意炒作等行为
- ◎ 中国南方稀土集团牵头承担的国家重点研发计划项目正式启动
- ◎ 江西理工大学共同协办的第七届全国膜分离技术在冶金工业中应用研讨会在赣州顺利召开
- ◎ 托姆托尔铈和稀土金属矿床可能成为世界三大稀土矿床之一
- ◎ 日本拟检讨环境政策 推动扩大本国稀土生产规模
- ◎ 欧盟制定涉稀土《行动计划》

◇ 科技前沿 17-21

- ◎ 福州大学科研人员研发新型柔性 X 射线成像技术：暗室追“光”
稀土化身“夜明珠”
- ◎ 厦门稀土材料研究所用于导电和辐射屏蔽的稀土基高熵陶瓷材料研发取得最新进展

◇ 政策法规 22-22

- ◎ 2021 年稀土、钨矿开采总量控制指标研讨会召开

◇ 市场行情 23-27

- ◎ 2021 年 4 月稀土价格走势

◇ 稀土知识 28-33

- ◎ 稀土储氢材料的研究与应用

稀土管理将纳入法制化轨道，助推产业链稳定发展

稀土是不可再生的重要战略资源，是众多高科技领域多种功能性材料的关键元素，被广泛应用于智能设备、电动汽车、国防工业、尖端制造业等多个领域，其产业发展的一举一动都会引发各方关注。

1月15日，工信部就《稀土管理条例(征求意见稿)》(以下简称《条例》)公开征求意见，这释放出了我国规范稀土行业管理，推动产业高质量发展的信号。

《条例》一共29条，主要内容包括明确稀土管理职责分工、明确稀土开采、冶炼分离投资项目核准制度、建立稀土开采和冶炼分离总量指标管理制度，以及加强稀土行业全产业链管理。

工信部强调，对稀土的管理将坚持保护为先。稀土对传统产业改造、新兴产业发展和国防科技工业进步都具有不可替代的重要意义，必须予以特殊保护，对稀土开采和冶炼分离实施行政许可和项目核准。同时，要求做好与矿产资源管理、环境保护、企业投资项目核准备案、进出口管理等法律法规的衔接。

对稀土立法，是依法规范稀土生产经营秩序的需要。例如《条例》将针对现实中存在的私挖盗采、破坏性开采、无计划超计划生产、非法买卖稀土产品，破坏生态环境、扰乱生产经营秩序等问题，制定覆盖稀土全产业链的综合性法规，加强行业管理，依法查处违法行为。

一直以来，工信部、自然资源部每年都会下达全国稀土开采、冶炼分离总量控制指标，并强调稀土是国家严格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。对稀土资源实施总量控制，直接目的是防止过度开

采、盲目竞争，促进对优势矿产资源的有效保护、科学利用。

对此，《条例》第八条明确规定，建立稀土开采和冶炼分离总量指标管理制度。并要求国务院工业和信息化主管部门会同国务院发展改革、自然资源等部门研究拟定稀土开采总量指标和稀土冶炼分离总量指标，报国务院批准后向社会公布。

我国现行法律在规范稀土产业的基本原则、基本制度为稀土资源管理和开发提供了基本规范，是国家统一监管和行政区域联动监管稀土资源的重要依据、共同准则和区域间资源利益平衡之公器。而改变我国稀土资源的开发利用和出口贸易现状，必须从完善稀土资源保护法律体系着手。

首先，需要充分论证构建一套稀土保护立法体系的必要性和可行性，寻求其理论出发点，为稀土立法体系的健全提供坚实的理论支撑。其次，根据我国稀土资源保护的实际需要及国家建立可持续矿业的内在要求，明确稀土资源保护立法体系应秉承的立法理念和应确立的基本原则。

要实现稀土产业的长效整合和规制，行政协作固然重要，而法律才是最有效的工具。《条例》的制定，将助推稀土管理进一步纳入法制化轨道。虽然《条例》是征求意见，但它对规范稀土行业经营秩序等具有重要促进作用，也为推动产业链供应链稳定，促进产业协调发展增添助力。

（来源：中国产业发展研究网）



碳中和驱动稀土磁材需求加速增长

我国力争 2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和，是党中央经过深思

熟虑作出的重大战略决策，这一目标的实现将能在很大程度上提高稀土功能材料的需求，特别是稀土磁材。

碳中和，是指在规定时期内，二氧化碳的人为移除与人为排放相抵消。而实现碳中和的最根本方法就是从能源结构进行转型，用可再生能源、核能等清洁能源替代煤炭、石油、天然气等化石能源。当前，比较有代表性的例子就是用电动汽车代替燃油车，风力发电等。

《中国 2035 新能源汽车发展规划》里明确地提出，到 2030 年，纯电动汽车成为新销售车辆的主流。据业内人士预计，2021-2025 年新能源汽车行业将保持高速增长趋势，年复合增长率达到 35%，到 2025 年全球新能源汽车销量有望达到 1500 万辆以上，渗透率达到 15%-17% 左右；而国内新能源汽车在 2025 年超过 500 万辆，渗透率达到 15% 以上。

风电发展无论是从环境效益，还是从经济效益方面来看，风能市场的发展都是势在必行。业界人员预计 2021 年全球风电累计装机容量将达到 817GW，其中海上风电累计装机容量复合增速 20% 以上。值得一说的是，今年，我国风电、光伏发电发电量占全社会用电量的比重达到 11% 左右，后续逐年提高，到 2025 年达到 16.5% 左右。

然而，不论是新能源汽车还是风力发电，它们都离不开钕铁硼永磁体的应用。钕铁硼永磁体主要是用来生产高性能的小电机产品。

相对于钕钴稀土永磁材料，钕铁硼永磁材料中稀土金属占比相对较低，且综合素质和性价比更高。因此，使用烧结钕铁硼磁体能够大幅降低磁材使用量、缩小电机体积和重量，大幅提升电能-机械能转化效率，相对于普通永磁体能效提升 10%-15% 以上。

总的来说，钕铁硼永磁体是目前综合性能最好的永磁材料。按照生产工艺的不同，其可以划分为烧结钕铁硼、粘结钕铁硼和热压钕铁硼，其中烧结钕铁硼永磁体应用最为广泛、产量占比超过 95%。

据悉，新能源汽车驱动电机钕铁硼永磁体用量在 2.5Kg 左右。电动汽车一般使用单电机，部分高性能型号使用双电机，而一般驱动电机需要使用 2.5Kg 钕铁硼永磁体成材（具体用量需要根据汽车扭矩和功率计算）。

2020 年全球新能源汽车出货量为 324 万辆，同比增长 43.36%。如果按照新能源用直流同步电机用钕铁硼成品率在 70%，则全球新能源汽车对钕铁硼坯料的需求量约为 11520 吨，而国内需求量在 4900 吨。根据测算，业内人士预计到 2025 年全球仅永磁同步主电机所需的钕铁硼成材数量达到 3.94 万吨，对应钕铁硼毛坯的产量为 5.63 万吨，年复合增长率为 37.3%；而国内需求量将达到 1.68 万吨，对应毛坯的数量在 2.41 万吨，年复合增长率为 37.5%，新能源汽车将成为烧结钕铁硼磁材最重要的下游需求增量。

总之，钕铁硼永磁体的加速渗透有利于节能和减少碳排放，其除了可以应用在新能源汽车和风力发电中，还能应用于变频空调、消费电子等高端方面。

（来源：长江有色金属网）



工信部：坚决打击垄断市场、恶意炒作等行为

4 月 20 日，国新办就 2021 年一季度工业和信息化发展情况举行发布会。工业和信息化部新闻发言人、运行监测协调局局长黄利斌表示，今年以来，像钢铁、有色、石化等行业的主要产品价格延续了去年底上涨的态势，有色价格涨得比较

厉害。原材料价格大幅上涨，大概有以下几方面的原因：

一是原料成本上涨推动了大宗商品的价格普涨。头两个月，进口铁矿石、铜精矿的均价同比大幅增长 56.6%和 44%，幅度相当高。原油价格也创下了历史同期的最大涨幅，布伦特原油期货、纽约轻质原油期货涨幅均在 20%左右，原材料成本上升支撑了下游大宗商品的价格上涨。

二是下游行业生产恢复形成了供需紧张态势。一季度下游行业的空调、冰箱、洗衣机等轻工产品和一些主要机械产品产量都呈现了大幅的恢复性增长态势，增速远远超过了钢铁、铜、铝等原材料的产量增幅。另外，部分化工企业停产检修，美国极地风暴等导致部分产品产量锐减。

三是有色金属、部分化工产品等金融属性突出，宽松的货币政策、全球经济预期向好等推升了全球期货交易的活跃度，金融市场短期炒作也对价格上涨具有显著的放大效应。

我国工业体量庞大，部分大宗商品海外采购量也非常大，相关商品价格上涨对 PPI 影响非常直接，近几个月上游行业的产品出厂价格都呈现明显的上涨态势，并随着产业链向中下游传导，尽管部分上游企业盈利状况得到了一定程度的改善，但在相当程度上也加大了下游企业的成本压力，挤压了企业的利润空间。与此同时，我们也看到相关涨价因素多具有短期性和突发性，目前全球债务高企、贫富分化悬殊、老龄化问题突出这些结构性矛盾导致全球经济复苏艰难曲折，我们认为大宗商品价格不具备长期上涨的基础。我国具有充足的宏观调控政策空间和强大的国内市场潜力，制造业门类齐全、产能充沛、供给充裕，市场自我调整

的适应性较强，有关部门也已经在采取措施加强保供稳价的工作。总体看，本轮大宗商品价格上涨对制造业有影响，但是这种影响总体上还是可控的。

“下一步，我们将会同有关部门，积极采取举措推动稳定原材料价格：一是加强运行监测和价格监管，稳定市场预期，及时发布运行情况，做好舆情引导，防范市场恐慌性购买或者囤货。配合有关部门坚决打击垄断市场、恶意炒作等违法违规行。二是支持上下游企业建立长期的稳定合作关系，协同应对市场价格波动风险，鼓励冶炼企业及加工企业进行期货套期保值交易。”

（来源：同花顺）



中国南方稀土集团牵头承担的国家重点研发计划项目 正式启动

近日，由中国南方稀土集团牵头承担的国家重点研发计划“固废资源化”专项“赣南离子型稀土资源基地典型固废循环利用集成示范”项目启动暨实施方案论证会在中国南方稀土大楼召开。中国工程院院士干勇、黄小卫，中科院赣江创新研究院院长齐涛，江西省科技厅一级巡视员刘青、社会发展科技处处长刘清梅，赣州市政府副市长胡聚文，赣州市科技局副局长李银保，中国南方稀土集团董事长谢志宏、总经理李竹兴、副总经理叶春林、总工程师何巧燕，以及项目咨询专家组其他专家，各课题负责人和科研骨干等 80 多人参加了现场会议。二十一世纪议程管理中心全球环境处主管刘家琰以视频连线方式参会。

项目启动会由刘清梅主持，刘青、胡聚文、谢志宏等分别作致辞或发言。项

目实施方案论证会由黄小卫院士主持，项目负责人叶春林与其他课题负责人作了汇报，专家组经深入论证，通过了项目实施方案。



项目启动会



黄小卫院士主持项目论证会

刘家琰介绍了二十一世纪议程管理中心的基本情况，并从专项基本情况、项目管理要求、项目过程管理等方面作了关于“国家重点研发计划重点专项项目管理的注意事项”的讲话。

刘青在讲话中表示，该项目是江西省在中重离子型稀土开采和综合回收利用领域的又一积极探索，将立足解决稀土产业链中固废循环利用等关键问题，为稀土产业绿色可持续发展提供重要支撑。



刘青巡视员讲话

胡聚文在致辞中指出，该项目的实施，对解决困扰赣州稀土产业甚至有色金属产业几十年以来的固废处置具有重大意义，能够全面提升赣州固废资源化科技支撑与保障能力，大幅度提高我国资源利用效率。



胡聚文副市长致辞

谢志宏代表项目牵头承担单位发言。中国南方稀土集团亟需突破一批关键技术，建立健全高效转化、高值利用、全链条集成的技术体系。衷心感谢各位领导、院士专家为稀土产业把脉问诊、建言献策，指导帮助集团向绿色、可持续、高质量发展迈出坚实步伐。



谢志宏发言

为推动该项目高质量、高标准地完成，项目聘请干勇院士、黄小卫院士、李卫院士、沈保根院士、齐涛研究员、中科院过程所李会泉研究员、五矿集团何发钰研究员、北京工业大学吴玉锋教授、昆明理工大学杨斌教授、江西理工大学邱廷省教授、北京科技大学胡晓军教授、有研科技集团冯宗玉教授级高工、中科院海西研究院孙晓琦研究员、中国稀土学会牛京考教授级高工、江西稀土学会孟庆江教授级高工等 15 名知名专家组成项目咨询专家组，对项目及下设课题的实施方案逐一进行论证，帮助各课题组进一步完善课题技术路线，确保项目能够达到预期研究目标。会上同时举行了项目咨询专家聘任仪式，与会领导为到场专家颁发了聘书。



专家聘任仪式



项目论证会现场



叶春林汇报项目总体实施方案

项目咨询专家组认为该项目研究目标明确，思路清晰，实施方案紧密围绕课题目标、研究内容和考核指标，实施方案具体详细、具有可操作性和创新性，研究成果可为赣南离子型稀土资源基地及南方五省离子型稀土矿业特色产业集聚区固废

资源化利用提供良好的技术支撑，具有重要的科学意义和现实意义。

该项目由江西省科技厅定向推荐申报，由中国南方稀土集团牵头，联合中科院过程所、江西理工大学、北京工业大学、东北大学、江西省科学院、五矿稀土集团、有研稀土高技术有限公司、赣州稀土矿业有限公司、赣州齐飞新材料有限公司等国内稀土行业优势单位共同承担，项目总经费 6824 万元，其中国拨经费 2224 万元。

（来源：中国南方稀土集团）



江西理工大学共同协办的第七届全国膜分离技术在冶金工业中应用研讨会在赣州顺利召开

5月8日，由中国膜工业协会、中国科学院赣江创新研究院主办，我校共同协办的第七届全国膜分离技术在冶金工业中应用研讨会在赣州顺利召开。赣州市人民政府副市长李文信、中国科学院院士张锁江、中国科学院赣江创新研究院副院长万印华、中国膜工业协会理事长郑根江出席大会。我校党委常委、副校长廖春发应邀出席会议开幕式。



大会共设 1 个主会场和 2 个学术交流分会场，涉及膜技术在冶金废水处理及资源化中的应用、分离膜与膜过程及其应用等领域。来自清华大学、浙江大学、中国科学技术大学、四川大学、南开大学、天津大学、中南大学、华南理工大学、大连理工大学、中国科学院化学研究所、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、中国科学院生态环境研究中心等国内知名高校和科研院所、企业的 300 余名膜分离技术应用领域专家学者参加了本次会议，聚焦学科前沿，分享学术成果。我校罗仙平课题组做大会特邀报告、黄万抚课题组作大会报告，冶金工程、矿物加工工程、环境工程等相关学科 50 余名师生参加会议。



会议期间，百余名参会专家学者参观了我校稀土永磁磁浮轨道交通系统——“红轨”、工程研究院等科研平台，对我校在科技服务区域和成果转化方面取得的成绩表示赞赏。

（来源：江西理工大学）

托姆托尔铌和稀土金属矿床可能成为世界三大稀土矿床之一

俄罗斯多金属公司（Polymetal）日前宣布，远东地区的托姆托尔（Tomtor）

铈和稀土金属矿床可能成为世界三大稀土矿床之一。公司持有该项目少量股份。

托姆托尔是俄罗斯计划扩大稀土金属产量所希冀的主要项目。稀土用于国防工业和手机以及电动汽车的生产。

“托姆托尔的规模和品位都证实该矿是世界上最大的铈和稀土矿床之一”，多金属公司首席执行官维塔利·奈西斯（Vitaly Nesis）在公告中称。

多金属公司是一家大型金银生产商，持有开发该项目的三弧矿业公司（ThreeArc Mining Ltd）9.1%的股份。维塔利的兄弟——俄罗斯商人亚历山大·奈西斯，持有该项目和多金属公司多数股份。

三弧公司目前已经开始准备该项目的融资可行性研究，虽然从俄罗斯政府获得某些许可比较困难，而且因疫情延迟的设计仍面临挑战，多金属公司称。

受到疫情影响，托姆托尔项目已经延迟了 6 到 9 个月，这家银矿企业 1 月份时表示。之前曾预计该项目 2025 年投产，可年产矿石 16 万吨。

初步估计，托姆托尔符合澳大利亚联合矿石储量委员会（JORC）标准的储量为铈氧化物 70 万吨，稀土氧化物 170 万吨。

澳大利亚的芒特韦尔德（MT Weld）和格陵兰的科瓦内湾（Kvanefjeld）为另外两个最大稀土矿床。

（来源：我爱矿物）



日本拟检讨环境政策 推动扩大本国稀土生产规模

《产经新闻》13 日报导，为避免汽车、电子，甚至国防等重要产业，遭世界第一大稀土矿生产者中国大陆把持，日本政府将扩大境内的稀土精炼设施，配

合自澳洲进口的原料，进一步提升相关供应链的安全。

日本市场中所需要的稀土资源，有 60%以上由中国大陆企业供应。为避免北京政府能藉由管控稀土资源的出口，影响日本高科技产业的营运，甚至是政府决策等，日本正与澳洲企业合作，扩大位于后者境内的稀土矿区规模，以分散风险。

但《产经新闻》指出，由澳洲挖掘出的稀土原矿，大多都是在马来西亚、越南等人力与土地成本较为低廉的国家进行精炼，再将稀土磁铁等成品引进日本，日本境内仅有少量的小规模精炼设施。为进一步强化供应链安全性，日本政府将协助扩大本土精炼设施，并邀请更多国内企业投入该产业，也会检讨相关环保与消防法规，希望能在国内稳定生产稀土成品，并尽可能降低成本。

日本市场调查公司「全球信息」(Global Information) 同日也公布最新的调查报告，称由于全球工业自新冠肺炎 (COVID-19) 疫情影响中逐渐复甦，加上稀土成品能用于风力发动机、油电混合动力车、电动车等减碳产品，预估未来全球稀土需求将进一步增加；而中国大陆 2020 年的稀土生产量，虽然已较 2019 年有所减少，但仍占全球产量的 55%以上。

(来源：中国稀土)



欧盟制定涉稀土《行动计划》

为了减少对稀土的依赖，欧盟制定了一项提高国内稀土产量的行动计划。

《行动计划》将新采矿和加工方法的研发、新采矿项目的可持续融资以及回收利用机会列为减少对中国稀土依赖的措施之一。它还促成了欧洲原材料联盟 (European Raw Materials Alliance) 的成立，以促进欧洲稀土生产的广泛合作。然而，就目前而言，所有这些都是空谈而非行动。

与此同时，一家矿业公司在挪威发现了一项新发现，这对减少欧洲对中国的依赖大有裨益。挪威矿业公司在挪威西南部发现的磷矿可能是世界上储量最大的磷矿，它不仅含有磷酸盐(欧盟的关键材料清单上有磷酸盐)，还含有电池必需的钒和钛。

这一发现肯定赢得了布鲁塞尔和准备生产数百万辆电动汽车的汽车制造商总部的掌声——一旦芯片短缺得到解决，的确如此。

然而，挪威的稀土可能会比中国的稀土更贵：毕竟，中国拥有这些稀土中的大部分，能够以比挪威更低的成本生产、加工和出口它们，而挪威的稀土生产才刚刚开始，劳动力成本要高得多。此外，一项发现可能不足以确保欧洲所需的所有稀土资源，以实现其绿色新政的梦想。

欧洲媒体表示，这是欧盟第二次低估国内供应的重要性。第一次是欧洲电子制造商和汽车制造商开始依赖进口可充电电池。

现在，他们正试图通过在当地建立工厂来解决这个问题。不过他们认为稀土的问题更大：因为中国可能会干脆决定停止出口稀土。与此相比，俄罗斯关闭天然气供应的威胁只是个小小的不便，尤其是对一个更依赖风能和太阳能而不是天然气的大陆来说。

（来源：全球铁合金网）

福州大学科研人员研发新型柔性 X 射线成像技术：暗室追“光”，稀土化身“夜明珠”

福州大学科研人员突破 X 射线成像技术瓶颈，制备出高效的纳米闪烁体长余辉材料，据此研发新型柔性 X 射线成像技术。未来，人们有望直接用手机拍摄 X 光片。

自从一百多年前 X 射线被发现，“X 光”就与人们的生活息息相关。从简单的胸透到复杂的工业无损探伤，X 射线成像技术在许多领域发挥着巨大作用。

目前，我国高端 X 射线医学影像设备及关键元器件主要依赖于进口。但福州大学杨黄浩教授、陈秋水教授和新加坡国立大学刘小钢教授等领衔的研究团队研究发现的一类稀土纳米闪烁体长余辉材料，有望改变这一局面。

日前，这些追“光”者的原创性成果在国际权威科学杂志《自然》在线发表。《自然》同期发表的述评指出，此项研究极大推动了 X 射线成像技术的发展，标志着中国在柔性 X 射线成像技术方面进入国际先进行列。

探测器核心技术“卡脖子”

1895 年，德国科学家威廉·伦琴在暗室中研究阴极射线时意外发现了 X 射线，并于 1901 年获得第一届诺贝尔物理学奖。时至今日，在医疗诊断、工业探测、安检排爆等领域，X 射线的应用占据举足轻重的位置。

上世纪 90 年代中期后，间接型平板探测器的出现将 X 射线成像技术推向一个新的时代。通过一层闪烁体材料和一层晶体管（TFT）阵列，穿过目标物的 X 射线光子被转化为数字信号，从而实现目标物的数字化 X 射线成像。

“闪烁体是平板探测器的核心部件，被称为‘光子晶体’，其作用是将高能量 X 射线光子转为可见光，它的性能决定着整个设备的成像灵敏度和分辨率。但目前，国产平板探测器包括高性能闪烁体材料在内的核心部件绝大部分依靠进

口，还未实现自主国产化。”福建省闽江学者特聘教授，福州大学化学学院研究员、博士生导师陈秋水告诉记者。

依赖进口必然导致被他国掣肘，高端医学影像设备元器件就是“卡脖子技术”。此外，目前主流的闪烁体材料制备工艺复杂且带有较强的毒性，体积庞大且造价昂贵。面对外国的技术封锁，自主创新研发是唯一出路。

“意外”发现新型长余辉材料

近年来，各国科学家一直致力于研发柔性 X 射线平板探测器。然而，研发路上堵着两只“拦路虎”：一是难以制备大面积高效的柔性薄膜晶体管阵列，二是传统微米级闪烁体材料不适合制造柔性器件。换句话说，现有技术很难实现曲面以及不规则物体的三维成像。

经过长期研究，福大科研人员另辟蹊径，在稀土卤化物晶格中寻找灵感，制备出新型的稀土纳米闪烁体长余辉材料。这种闪烁体具有尺寸易调控、无色透明、分散性良好、余辉性能优异等特点。

“长余辉”指的是发光材料在紫外-可见光、X 射线、 γ 射线等辐射停止激发后，仍可有效储存激发能，持续发光几秒甚至几个小时的一类发光现象。比如，中国古代流传的珍宝“夜明珠”，以及安全警示牌上的发光涂料，都是典型的长余辉材料。

研究人员透露，发现的过程是个“意外惊喜”。2018 年初，研究团队的一位博士生（论文第一作者）在暗室中测试稀土纳米颗粒发光性能时发现，在 X 射线停止照射后，纳米颗粒仍然会持续发光。

“第一反应觉得这种长余辉现象可能是实验偏差。然而经过几次重复性实验，我们证实了在稀土纳米颗粒中长余辉现象的存在。我们意识到，这是个重大发现。”陈秋水回忆说。

通过选择合适的卤化物基质晶格、掺杂高效的稀土发光离子、巧妙地设计核

壳结构，研究人员采取低温共沉淀法制备出高效的纳米闪烁体长余辉材料。实验证明，该粒子在 X 射线关闭后可持续发光 30 天以上，具有优异的长余辉发光性能。由此，珍贵的稀土又激发了比肩“夜明珠”的神奇性能。

原理和工艺“打开另一扇窗户”

经过谨慎求证，研究团队提出了基于高能量 X 射线光子诱导缺陷产生长余辉发光的机理。在此基础上，他们将纳米闪烁体长余辉材料与柔性基质相结合，成功研制出了透明、可拉伸、高分辨的柔性 X 射线成像设备，并开发了 X 射线发光扩展成像新技术。

简单来说，这一研究成果实现了两个突破。首先，长余辉材料首次作为 X 射线成像设备的核心部件；其次，打破了传统刚性平板探测器的固有限制，在设计原理和制备工艺上打开了另一扇窗户。

“我们平时常见的 CT 机、安检仪等设备大多体积巨大且对工作环境要求较为严苛，这是因为光电转换过程非常复杂，需要大量的集成电路协同工作。”杨黄浩教授介绍说。

而新型稀土纳米长余辉材料作为 X 射线能量存储的介质时，其光学记忆功能可以保存 X 射线能量，替代复杂的集成电路装置。

研究人员发现，其尺寸、形貌、发光性质都更可控，适合用于制造柔性设备。这为制备新一代轻薄、便携、低成本的 X 射线探测器和成像装置提供了新思路 and 途径。打个比方，拿一部手机拍摄，就能实现 X 射线柔性成像，不需要庞大规模的集成电路。

“想象一下，如果 X 光机实现便携化，就能造福更多人。比如，比赛中运动员受伤了，现场就能进行快速处理。这项技术将在国防军工、应急救援、乳腺成像、牙科全景成像、工业探伤、高能物理等领域展现巨大的潜力和应用价值。”杨黄浩教授说。

《自然》杂志的同期述评指出，长余辉发光纳米晶体制造的柔性 X 射线探测器能够产生对高度弯曲的三维目标物进行高分辨成像，性能优于商业化平板探测器。

目前，福大领衔的研究团队正在进行跨学科合作，推进高端 X 射线影像设备的国产化。

“长期以来，我们从国外进口设备受到采购周期长和价格高等限制。我们希望推动更多科研团队参与这个领域的开发，让国产高端 X 射线影像设备在探索中不断进步。”杨黄浩教授说。

（来源：福建日报）

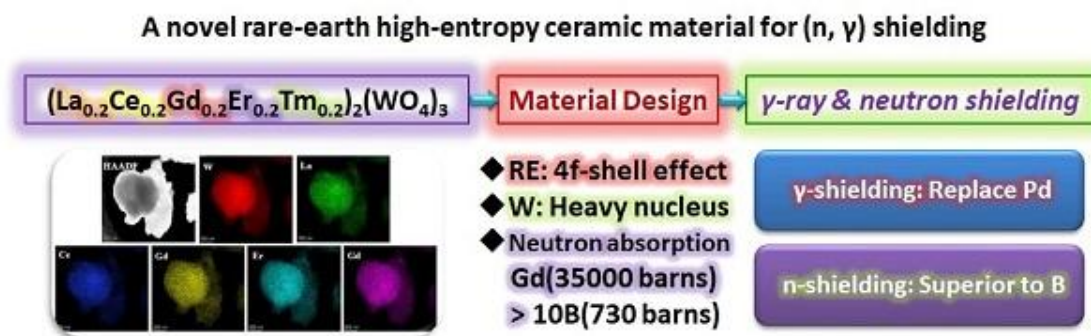


厦门稀土材料研究所用于导电和辐射屏蔽的稀土基 高熵陶瓷材料研发取得最新进展

近年来高熵陶瓷因其优异的物理化学性能而备受关注。相较传统陶瓷材料，高熵陶瓷具有相稳定、热导率低、电导率高等优点。基于此，厦门稀土材料研究所杨帆课题组分别设计开发了新型 $(\text{La}_{0.2}\text{Y}_{0.2}\text{Nd}_{0.2}\text{Gd}_{0.2}\text{Sr}_{0.2})\text{CrO}_3$ 高熵导电陶瓷和 $(\text{La}_{0.2}\text{Ce}_{0.2}\text{Gd}_{0.2}\text{Er}_{0.2}\text{Tm}_{0.2})_2(\text{WO}_4)_3$ 辐射屏蔽高熵陶瓷。

采用溶胶凝胶法结合部分烧结工艺制备 $(\text{La}_{0.2}\text{Y}_{0.2}\text{Nd}_{0.2}\text{Gd}_{0.2}\text{Sr}_{0.2})\text{CrO}_3$ 多孔导电高熵陶瓷，其具有高孔隙率、低电阻率、低热导率等特点，可用于新一代催化剂载体、发热器件和热电材料等。该研究成果以全文形式发表在《Journal of Alloys and Compounds》期刊上 (<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158763>) 发表，第一作者为在读硕士张雪松，杨帆研究员为通讯作者。

随着核能的发展，开发一种无毒、轻质、可同时屏蔽中子和 γ 射线的新型辐射屏蔽材料的需求愈发紧迫。稀土元素因具有优异的耐辐照能力（Ce）、大的热中子俘获截面（Sm、Eu、Gd）、轻毒及无弱吸收区等特点，可作为铅基屏蔽材料的良好替代。杨帆课题组采用高温固相合成制备 $(\text{La}_{0.2}\text{Ce}_{0.2}\text{Gd}_{0.2}\text{Er}_{0.2}\text{Tm}_{0.2})_2(\text{WO}_4)_3$ 高熵陶瓷粉体并与环氧树脂进行复合得到辐射屏蔽材料。中子照相结果显示，2 cm 厚度的复合材料的中子阻隔效率大于 99%。 γ 射线屏蔽测试表明，该材料在铅的弱吸收区（44 - 80 keV）具有很高的铅当量（0.4340 mmPb），在中低能区的线性衰减系数明显高于 Ta_2O_5 、 Bi_2O_3 、 HfO_2 、 WO_3 等重金属氧化物。该成果以全文形式在 SCI 一区期刊《Materials & Design》上（<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109722>）发表第一作者为在读硕士张雪松，杨帆研究员为通讯作者。



研究工作得到国家重点研发计划、中国科学院计划-战略性先导科技专项 A、厦门市科技计划项目等的支持，并于中国核动力研究设计院展开深入合作。

（来源：厦门稀土材料研究所）

2021 年稀土、钨矿开采总量控制指标研讨会召开

4 月 22 日，自然资源部矿业权管理司在北京组织召开了“2021 年稀土、钨矿开采总量控制指标研讨会”，宋全祥副司长、吴峻处长、部属司局有关单位和工信部原材料司及 17 个省区 5 个协会、学会有关负责人出席会议。王史堂处长主持会议。中国稀土学会牛京考秘书长、石杰主任参加会议。

会上，各协会学会、六大集团、有关省区、工信部原材料司、自然资源部矿保司等单位参会的同志相继发言，分别汇报了 2020 年开采总量控制指标执行情况，并就 2021 年控制总量提出了建议。认为随着稀土永磁材料的广泛应用，未来对稀土开采总量将有较大需求，应在满足市场需求并符合法规前提下，加大供给和监管力度，优化平衡元素开发利用，注重生态优先绿色发展，有效促进国内国际双循环，着力提高稀土产业核心竞争力。

（来源：中国稀土协会）

2021 年 4 月稀土价格走势

一、稀土价格指数

4 月份，稀土价格指数缓慢下行。本月平均价格指数为 246.8 点。价格指数最低为 4 月 30 日的 233.7 点，最高为 4 月 1 日的 257.6 点。

2021 年 4 月稀土价格指数走势图



二、中钇富铈矿

中钇富铈矿 4 月份均价为 26.12 万元/吨，环比上涨 4.45%。

三、主要稀土产品

（一）轻稀土

4 月份，氧化镨钕均价为 56.40 万元/吨，环比下跌 2.80%；金属镨钕均价为 69.36 万元/吨，环比下跌 3.71%。

2021年4月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



4月份,氧化钕均价为 57.82 万元/吨,环比下跌 14.45%;金属钕均价为 73.78 万元/吨,环比下跌 12.07%。

2021年4月氧化钕、金属钕价格走势



4月份,氧化镨均价为 53.23 万元/吨,环比上涨 5.07%。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 21.16 万元/吨,环比下跌 9.02%。

（二）重稀土

4月份，氧化镝均价为294.86万元/吨，环比下跌1.31%；镝铁均价为291.27万元/吨，环比下跌1.12%。

2021年4月氧化镝、镝铁价格走势



4月份，99.99%氧化铽均价为901.46万元/吨，环比下跌8.84%。金属铽均价为1135.41万元/吨，环比下跌9.41%。

2021年4月氧化铽、金属铽价格走势



4 月份，氧化钬均价为 88.18 万元/吨，环比下跌 12.13%；钬铁均价为 89.32 万元/吨，环比下跌 12.23%。

2021年4月氧化钬、钬铁价格走势



4 月份，99.999%氧化钇均价为 3.78 万元/吨，环比下跌 13.28%。氧化铒均价为 21.59 万元/吨，环比上涨 8.40%。

表 1：2021 年 4 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	3 月平均价	4 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%	506.61	532.32	5.07%
氧化钆	≥99%	675.87	578.23	-14.45%
氧化钇	≥99.9%	13.00	13.00	0.00%
氧化铕	≥99.99%	220.00	211.59	-3.82%
氧化钐	≥99%	237.91	216.45	-9.02%
钆铁	≥99%Gd 75%±2%	236.96	217.45	-8.23%
氧化铽	≥99.9%	9889.13	9014.55	-8.84%
氧化镱	≥99%	2987.83	2948.67	-1.31%
镱铁	≥99%Dy80%	2945.65	2912.73	-1.12%
氧化钬	≥99.5%	1003.52	881.77	-12.13%
钬铁	≥99%Ho80%	1017.65	893.23	-12.23%
氧化铒	≥99%	199.13	215.86	8.40%
氧化镱	≥99.99%	102.00	102.00	0.00%

市场行情

氧化镧	≥99.9%	4923.91	5175.00	5.10%
氧化钇	≥99.999%	43.61	37.82	-13.28%
氧化镨钕	≥99% Nd ₂ O ₃ 75%	580.17	563.95	-2.80%
镨钕金属	≥99%Nd75%	720.35	693.64	-3.71%

(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 CaCu_5 型六方结构的稀土储氢合金 LaNi_5 、 CeNi_5 。其中以 LaNi_5 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 LaNi_5H_6 。

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 $[A_2B_4]$ 和 $CaCu_5$ 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 $410mA \cdot h \cdot g^{-1}$ ，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 $380mA \cdot h \cdot g^{-1}$ ，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： $Ml(NiCoMgAl)_{5.1-x}Zn_x$ ($0.3 \geq x \geq 0$, 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。

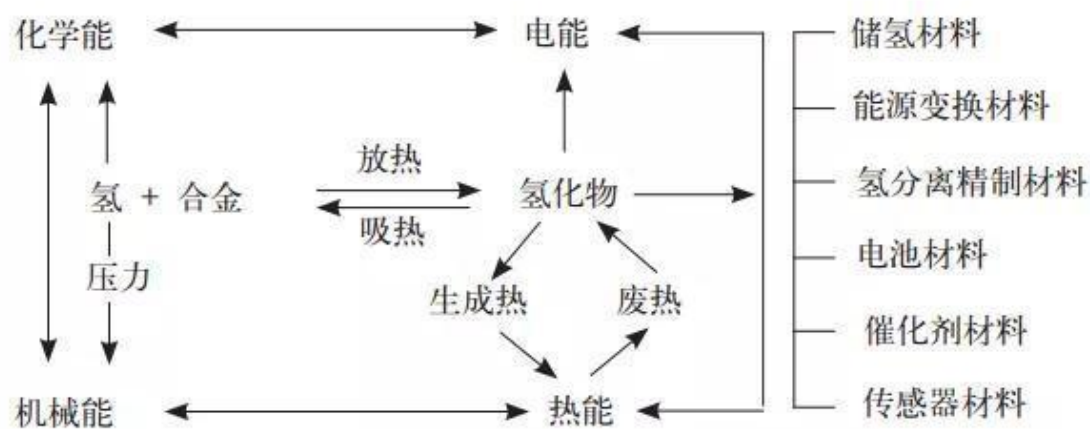
3.2 镁-镍系储氢合金电极材料的研究进展

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。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，还可用作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。



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

电动车（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）