

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2021 年 第 06 期 总第 92 期

本期要闻

- ◎ 中国稀土产业竞争格局及市场份额情况
- ◎ 2021 年中国稀土产业全景图谱
- ◎ 稀土产业链全景梳理及区域热力地图
- ◎ 国务院办公厅关于印发国务院 2021 年度立法工作计划的通知将制定稀土管理条例等

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 1-15

- ◎ 中国稀土产业竞争格局及市场份额情况
- ◎ 2021 年中国稀土产业全景图谱
- ◎ 稀土产业链全景梳理及区域热力地图
- ◎ 以项目为载体推动稀土产业绿色发展——中科院赣江创新院万印华副院长一行调研稀土矿山
- ◎ 江西理工大学 14 项科技成果喜获江西省 2020 年度科学技术奖
- ◎ 俄罗斯对稀土等金属的进口极其依赖
- ◎ 稀土永磁体行业正在迎来海外新玩家
- ◎ 拜登政府正在考虑征收中国制造的稀土磁铁关税

◇ 科技前沿 16-19

- ◎ 同济大学闫冰课题组稀土功能化氢键有机框架基水凝胶薄膜材料应用研究取得重要进展
- ◎ 中科院城市环境所在探究稀土掺杂的双模式发光材料方面取得进展

◇ 政策法规 20-28

- ◎ 国务院办公厅关于印发国务院 2021 年度立法工作计划的通知
将制定稀土管理条例等

◇ 市场行情 29-33

- ◎ 2021 年 6 月稀土价格走势

◇ 稀土知识 34-42

- ◎ 稀土生产与分离

中国稀土产业竞争格局及市场份额情况

中国作为稀土主要的资源供应国，也是主要的稀土生产国，在稀土资源开发与利用等方面持续改革。目前，中国稀土采取开采总量控制措施，全国稀土开采、冶炼分离由六大集团完成。中国稀土产业竞争格局及市场份额情况主要有以下几点：

稀土产业主要上市公司：目前国内稀土产业的上市公司主要有北方稀土、广晟有色、五矿稀土、厦门钨业。

1、中国稀土产业竞争梯队

近年来，国家持续加强了对稀土行业的规范管理，并相继实施了稀土环保核查、稀土行业准入、严控稀土生产总量控制计划、稀土专用发票改革、取消出口配额限制、资源税从价计征改革以及稀土大集团整合等系列政策、措施。

由于我国对稀土采取开采总量控制措施，全国稀土开采、冶炼分离国家规定由中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司、中国南方稀土集团有限公司、中国稀有稀土股份有限公司、广东省稀土产业集团有限公司、五矿稀土集团有限公司和厦门钨业股份有限公司六大稀土集团完成。

稀土产业依据企业的注册资本划分，可分为 3 个竞争梯队。其中，注册资本大于 30 亿元的企业仅有中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司；注册资本在 10-30 亿元之间的企业有五矿稀土集团有限公司、厦门钨业股份有限公司、中国稀有稀土股份有限公司、广东省稀土产业集团有限公司；中国南方稀土集团有限公司注册资本在 10 亿元以下。

2、中国稀土产业市场集中度及市场份额

我国稀土产业存在严格的准入资质，进入壁垒极高。2020 年，我国稀土开采总量控制指标在 14 万吨，其中中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司稀土开采分配总量最多，稀土矿与冶炼分离产品合计总量为 137334 吨，占比达到 47.25%。

其次是中国南方稀土集团有限公司和中国稀有稀土股份有限公司，合计总量分别为 27112 吨和 23879 吨，占比分别为 20.08%和 17.69%。

广东省稀土产业集团有限公司、五矿稀土集团有限公司和厦门钨业股份有限公司市占率分别为 7.85%、4.19%和 2.94%。

从趋势上看，2018-2020 年中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司市场份额逐年下滑，稀土产业 CR2、CR3 和 CR4 的集中度也整体呈现波动下滑趋势。

3、中国稀土产业企业布局及竞争力评价

在中国稀土产业中，中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司是中国乃至全球最大的轻稀土供应商。稀土原料产品包括稀土盐类、稀土氧化物及稀土金属，2020 年该业务营收为 54.19 亿元，占整个公司营收的 57.06%。

从企业稀土业务的竞争力来看，中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司、中国南方稀土集团有限公司、中国稀有稀土股份有限公司竞争力排名较强；其次是广东省稀土产业集团有限公司、五矿稀土集团有限公司、厦门钨业股份有限公司。

4、中国稀土产业竞争状态总结

从五力竞争模型角度分析，目前，我国稀土产业属于国家战略性新兴产业，替代品威胁较小；现有竞争者数量有限，市场集中度高；稀土开采、冶炼工作由六大稀土集团进行，不存在议价情况，而下游消费市场主要是稀土产品加工，对

下游议价能力较强；同时，因产业存在严格的准入资质门槛，潜在进入者威胁较小。

（来源：前瞻产业研究院）



2021 年中国稀土产业全景图谱

产业概况

——稀土是现代工业的维生素

稀土是一组典型的金属元素，有着“工业维生素”的美称。简单来说，稀土元素是指元素周期表中原子序数为 57 到 71 的 15 种镧系元素氧化物，以及与镧系元素化学性质相似的钪(Sc)和钇(Y)共 17 种元素的氧化物。根据稀土元素原子电子层结构和物理化学性质，以及它们在矿物中共生情况和不同的离子半径可产生不同性质的特征，十七种稀土元素通常分为轻稀土和中重稀土。

稀土由于独特的电子层结构和耐热特性，在石油、化工、金、纺织、陶瓷、玻璃、永磁新材料等领域都得到了广泛的应用。全球稀土下游应用中，磁材占比最高达到 25%，其次为石油硫化裂化等稀土传统应用催化材料占比达到 22%，冶金材料(含储氢合金)和抛光材料，占比分别为 18%和 14%。

综合而言，稀土已成为极其重要的战略资源，被称为“万能之土”。

——稀土产业链剖析

稀土从资源开发到应用主要分为开采、冶炼、分离、加工等步骤。首先从稀土矿山中开采得到稀土原矿，再通过冶炼、分离方法得到单一稀土金属、混合稀土金属、稀土氧化物。对于稀土金属及氧化物，又可进一步精密加工成稀土磁性

材料、稀土发光材料、稀土催化材料、稀土合金材料和稀土储氢多种下游材料，最后被广泛应用于风力发电、新能源汽车、节能变频空调、节能电梯、机器人及智能制造等。

此外，由于稀土资源不可再生，近年来国家积极推动稀土回收利用，因此稀土回收也成为了稀土产业链重要的一环。

目前，我国对稀土开采、冶炼实行总量可控，由六大集团完成，因此我国稀土产业上游和中游参与者仅为这六大集团。稀土产业链下游稀土精密加工成稀土功能材料的代表性企业有中科三环、领益智造、银河磁体等。稀土回收代表性企业有华宏科技、南方稀土。

中国稀土产业发展历程

被称作“工业维生素”的稀土产业在我国的发展可追溯到 1949 年，当年国家有关部委组织北京地质研究所白云鄂博调查队对白云鄂博进行了大规模地质勘查与研究。随后于 20 世纪 60 年代我国才正式建成稀土生产线。我国稀土正式由实验室走向产业化。

截止目前，我国稀土产业的发展大致可分为四个阶段，目前正处在调整优化阶段。

中国稀土产业发展现状

1、供给情况

——**储量：全球第一，占比超过三分之一**

我国是全球最大的稀土储备国，2020 年全球稀土储备量为 1.2 亿吨(以稀土氧化物 REO 计)，而我国稀土储量为 4400 万吨，占比超过全球三分之一。

——**产量：实施开采总量控制措施，产量占全球一半以上**

凭借着我国稀土资源的天然优势以及先进的稀土关键分离技术，我国成为全球稀土市场上最重要的卖家，也是世界上唯一能够提供全部 17 种稀土金属的国家。我国对稀土采取开采总量控制措施。根据最新数据显示，2020 年我国稀土矿产量为 14 万吨，占全球稀土矿总产量的一半以上。

2、需求情况

——表观消费量年均 15 万吨以上

稀土作为“现代工业维生素”，其应用范围非常广泛。伴随着我国现代工业不断发展，我国对稀土的需求日益扩大。2018-2020 年，我国稀土表观消费量在 15 万吨以上。2020 年，我国稀土表观消费量更是高达 18.45 万吨。

注：1)表观消费量=产量-出口量+进口量；

2)稀土产量数据来自于 USGS，进口量和出口量数据来自于中国稀土行业协会。

——稀土磁性材料需求最大，2020 年疫情影响下游需求

稀土下游需求主要为稀土磁性材料、稀土催化材料、稀土储氢材料、稀土抛光材料、稀土发光材料、稀土合金材料等稀土功能材料。目前稀土磁性材料对稀土原材料需求最大，2020 年稀土磁性材料产量超过 20 万吨。

2020 年，受疫情影响，2020 年第一季度大部分稀土功能材料工厂处于停工停产状态，第二季度才基本恢复至同期水平，下半年稀土功能材料的发展才整体保持回稳态势。整体来看，2020 年，大多数国内稀土功能材料产量较上年有所下降，其中长余辉荧光粉产量降幅最大，降幅超过 50%，产量为 242.8 吨。仅有储氢材料和烧结钕铁硼磁体(毛坯)产量较上年有所增长，这两大产品产量分别为 10092 吨和 178500 吨，增速分别为 16.7%和 45%。

3、价格情况

——2020 年疫情使得稀土产品价格波动较大

2020 年，受疫情影响，主要稀土产品市场价格波动较大，轻稀土产品与中重稀土产品价格延续分化走势；轻稀土产品中镨钕类产品震荡上行，镧铈类产品持续走低。二季度以来，随着国内疫情得到有效控制，企业逐步复工复产，经济持续恢复，下游需求逐步释放。

镨钕类产品供需处于紧平衡状态支撑价格震荡上行；镧铈类产品受疫情影响供需矛盾突出，价格持续承压下行；中重稀土产品受供应趋紧、需求稳定等多重因素支撑，价格整体高位运行。整体来看，大多数稀土氧化物 2020 年均价均较上年有所提高，仅氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕、氧化铟、氧化铽和氧化钇七大产品均价较 2019 年有所下降。

中国稀土产业竞争格局

——区域竞争：呈现“北轻南重”特点

我国主要稀土资源分布在内蒙古、江西、广西、四川、山东等地区，形成北、南、东、西的分布格局，并具有“北轻南重”的分布特点。轻稀土主要分布在内蒙古包头的白云鄂博矿区，其稀土储量占全国稀土总储量的 83%以上，居世界第一。

离子型中重稀土则主要分布在江西赣州、福建龙岩等南方地区，尤其是在南岭地区分布可观的离子吸附型中稀土、重稀土矿，易采、易提取，已成为我国重要的中、重稀土生产基地。整体来看，内蒙古包头、四川凉山、江西赣州三大稀土生产基地生产稀土占比分别为 58%、23%和 7%左右。

——企业竞争：六大集团同台竞争，北方稀土优势明显

全国稀土开采、冶炼分离规定由中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司、中国南方稀土集团有限公司、中国稀有稀土股份有限公司、广东省稀土产业集团有限公司、五矿稀土集团有限公司和厦门钨业股份有限公司六大稀土集团完成。2020 年,我国稀土开采总量控制指标在 14 万吨,其中中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司稀土开采分配总量最多,稀土矿与冶炼分离产品合计总量为 137334 吨,占比达到 47.25%;其次是中国南方稀土集团有限公司和中国稀有稀土股份有限公司,合计总量分别为 27112 吨和 23879 吨,占比分别为 20.08%和 17.69%。

中国稀土产业发展前景

——应用作用将日益凸显,稀土供需紧张将催生更多稀土回收需求

稀土是不可再生的重要战略资源,是改造传统产业、发展新兴产业及国防科技工业不可或缺的关键元素。随着世界科技革命和产业变革的不断深化,以及我国“一带一路”、“中国制造 2025”、“互联网+”等国家战略的深入实施,将持续为新能源、新材料等战略性新兴产业、高技术产业发展注入发展新动能,稀土在国民经济和社会发展中的应用价值将进一步提升、作用更加凸显。

另一方面,由于稀土不可再生,而过去我国“黑稀土”现象严重影响我国稀土产业的发展。为推动产业发展,国家近年来积极整顿行业乱象,大力推进稀土产业供给结构优化。预计在未来较长时间,国家将会继续实行国内稀土开采、冶炼分离总量控制,国内稀土产业发展将进一步规范。

此外,由于稀土市场供需紧张,近年来国家积极推动稀土资源节约和综合再利用,稀土废料回收成为新需求。稀土废料回收即从稀土生产中产生的废料以及终端含稀土商品中提取稀土元素生成稀土氧化物的过程,稀土氧化物在进一步加

工后可得到稀土金属。未来，在国家管控稀土产量、下游稀土需求不断扩大的背景下，市场将催生更多稀土回收需求。

（来源：前瞻产业研究院）



稀土产业链全景梳理及区域热力地图

稀土产业链全景梳理：稀土回收成重要一环

稀土从资源开发到应用主要分为开采、冶炼、分离、加工等步骤。首先从稀土矿山中开采得到稀土原矿，再通过冶炼、分离方法得到单一稀土金属、混合稀土金属、稀土氧化物。对于稀土金属及氧化物，又可进一步精密加工成稀土磁性材料、稀土发光材料、稀土催化材料、稀土合金材料和稀土储氢多种下游材料，最后被广泛应用于风力发电、新能源汽车、节能变频空调、节能电梯、机器人及智能制造等。

此外，由于稀土资源不可再生，近年来国家积极推动稀土回收利用，因此稀土回收也成为了稀土产业链重要的一环。

目前，我国对稀土开采、冶炼实行总量可控，由六大集团完成，因此我国稀土产业上游和中游参与者仅为这六大集团。稀土产业链下游稀土精密加工成稀土功能材料的代表性企业有中科三环、领益智造、银河磁体等。稀土回收代表性企业有华宏科技、南方稀土。

稀土产业链区域热力地图：内蒙古分布最集中

从我国稀土产业链企业区域分布来看，稀土产业链企业主要分布在内蒙古地

区，其次是在广东、江西、江苏、山西、山东等地区；其余地方，如吉林、青海、黑龙江、西藏等省份虽然有企业分布，但是数量极少。

从代表性企业分布情况来看，内蒙古、广东、江西、江苏、山西、山东等地代表性企业较多，同时北京也拥有较多代表性企业，如五矿稀土集团有限公司、中国稀有稀土股份有限公司、中科三环、北矿科技等。

（来源：前瞻产业研究院）



以项目为载体推动稀土产业绿色发展——中科院赣江创新院万印华副院长一行调研稀土矿山

近日，中科院赣江创新研究院万印华副院长一行到定南稀土矿山开展调研，定南县政府副县长汪世海，赣州稀土集团党委委员、副总经理钟瑞林等陪同调研。



万印华一行与定南县政府、稀土集团召开座谈会，洽谈开展离子型稀土绿色

采选冶技术研究及工程示范项目，拟通过项目为载体，进一步完善离子型稀土矿山绿色开采技术体系，助力离子型稀土矿山绿色开采迈上新台阶。座谈会后，万印华一行深入矿山，对项目选址、设计等进行现场考察。

（来源：中国南方稀土集团）

江西理工大学 14 项科技成果喜获江西省 2020 年度科学技术奖



6月28日，2020年度江西省科学技术奖励大会在南昌省行政会议中心举行，省委书记、省人大常委会主任刘奇出席会议，省长易炼红讲话，省委副书记叶建春主持。省领导刘强、吴浩、马志武、罗小云、陈俊卿和中科院院士黄路生、江风益出席会议。我校校长温和瑞、副校长罗仙平与学校获奖代表共同出席奖励大会。

本次我校共有 14 项成果获得奖励，其中以第一完成单位获得奖励 11 项（一

等奖 2 项，二等奖 4 项，三等奖 5 项)，获奖数量创历史新高，继 2015 年以来再次以第一完成单位同时获得自然科学奖和科学技术进步奖两项一等奖，获奖总数位居全省第二。



据悉，2020 年度江西省科学技术奖共授奖 146 项，其中自然科学奖 47 项（一等奖 6 项，二等奖 17 项，三等奖 24 项）；技术发明奖 7 项（一等奖 2 项，二等奖 1 项，三等奖 4 项）；科学技术进步奖 92 项（一等奖 15 项，二等奖 26 项，三

等奖 51 项)。

(来源：江西理工大学)

俄罗斯对稀土等金属的进口极其依赖

俄罗斯议会的财务管控机构、联邦审计院表示，俄罗斯超过三分之一的战略金属、超过 60%的稀土金属来自进口，其中一些几乎 100%依赖进口。俄罗斯的钢铁和国防工业严重依赖这些战略金属和稀土金属的供应。

目前，俄罗斯政府还没有针对这些矿物的进口替代品的实际计划。此外，联邦审计院指出，俄罗斯在开发和使用原料浓缩和加工技术方面落后。俄罗斯从苏联继承下来的科学中心也消失了。稀土金属以及锆和锰、铬等黑色金属的生产已经减少或完全停止。

“面对当前限制俄罗斯获得现代技术的制裁和潜在的新限制，对某些战略矿物和稀土矿物的依赖给俄罗斯经济的各个部门带来了风险，”联邦审计院警告说。

报告称：“在这方面，矿产和原材料基地面临着失去对世界主要大宗商品国家竞争力的风险。”

(来源：产业前沿)

稀土永磁体行业正在迎来海外新玩家

2020 年，中国、日本、德国之外的钕铁硼生产正在推进。根据外媒报道，在实验室生产和应用于实践中都有所进步。

(1) 俄罗斯 TVEL——2020 年 11 月 5 日莫斯科 Neftegaz.RU 消息。俄罗斯国家原子能集团公司(ROSATOM)的 TVEL 燃料子公司已经开始逐步将用于风力发电场发电机的稀土磁体本地化,第一批磁铁已经制造出来并运送给客户。莫斯科, 11 月 5 日-Neftegaz.RU 消息。Elemash Magnit(莫斯科地区 Elektrostal TVEL 的一家企业)和 Red Wind B.V. (NovaWind 和荷兰公司 Lagerwey 的一家合资企业)之间的合同预计将生产和供应 200 多套磁铁。每一套都为生产一台发电机而设计。TVEL 总裁 Natalia Nikipelova 评论道,“该项目包括逐步在俄罗斯实现磁铁制造本地化,减少对进口的依赖。我们认为磁铁生产是 TVEL 冶金业务发展的一个有前景的领域。在这方面,TVEL 拥有所有必要的科学和技术能力、创造出俄罗斯首个大规模全循环稀土永磁体的生产能力。”TVEL 掌握了一项独特的技术,用于生产风力发电机用的磁体。

(2) 合资公司 ASM——援引澳媒报道,澳大利亚战略材料公司(ASM)生产了 6 公斤用于永磁体的关键——钕铁硼合金,地点在韩国稀有金属研究所(KIRAM)。此前不久,ASM 成功制造出钕铁合金。ASM 董事总经理 David Woodall 表示:“NdFeB 合金的成功生产是 ASM 的一个重要里程碑,为将关键的稀土永磁合金生产整合进我们正在发展的金属业务铺平了道路。”Woodall 还说,下一步是进一步生产 7 公斤的合金,用于转化为初始永久磁铁样品,供韩国磁铁工业评估。当前,ASM 还在研究在韩国开发更大规模连续金属生产厂的潜力,其中包括生产更多钕铁硼合金。(ASM 正通过其拥有 95%股份的合资伙伴 Ziron Tech,与韩国工业技术研究院(Korea Institute of Industrial Technology, KITECH)达成一项协议,为韩国工业生产 600 公斤永磁体样品。)

这个事件当然也要关注——在 2020 年 4 月,美国稀土有限责任公司宣布购

买了由美国日立金属有限公司（HML）在北卡罗来纳州拥有和运营的钕铁硼（NdFeB）永磁体制造设备。

（来源：网易新闻）

拜登政府正在考虑征收中国制造的稀土磁铁关税

拜登政府正在考虑对主要在中国传统制造的稀土磁铁的进口征收关税，目前拟对是否可以构成一个国家经济安全威胁进行分析调查。白宫表示，商务部将审查企业是否对钕磁铁进行研究调查，钕磁铁用于生产制造从智能发展手机到电动汽车发动机的所有这些产品。因为忧虑过度依附中国，总统乔拜登正在思量将此举作为白宫宣布的步伐的一部分，以提高美国在稀土、食品和制药等领域的供应链弹性。

政府将决定是否根据 1962 年贸易法第 232 条调查进口钕磁铁对国家安全的影 响，前总统特朗普曾用该条款为从美国盟友进口的钢铁和铝加征关税辩护。

当拜登下令检查供应链时，他的重点是半导体，稀土，药品和电动汽车电池。官员们表示，政府将把《国防生产法》作为 1950 年朝鲜战争时期的一项法律，允许美国迫使工业界优先考虑政府合同，以帮助国家安全，从海外归还 50-100 种关键毒品的生产。美国能源部计划启动一项为期 10 年的计划，为电动汽车至关重要的锂离子电池开发国内供应链，并将立即部署一项 170 亿美元的贷款设施来支持这一努力。农业部将分别投资 40 亿美元，帮助加强美国食品供应链并使其多样化。拜登还将尝试与盟友举办一个论坛，以促进供应链合作。预计他还将在下周于布鲁塞尔举行的欧美峰会上讨论这一问题。此前，七国集团（G7）将在康沃尔召开会议。

拜登还将试图与盟友举行一个论坛，以促进供应链合作。在康沃尔举行的七国集团会议之后，预计他将在下周的 EU-美国峰会上讨论这个问题。这位官员说，政府还将成立一个由美国贸易代表凯瑟琳戴领导的“贸易罢工力量”，并提议对从事不公平贸易做法和削弱美国供应链灵活性的国家采取执法行动。

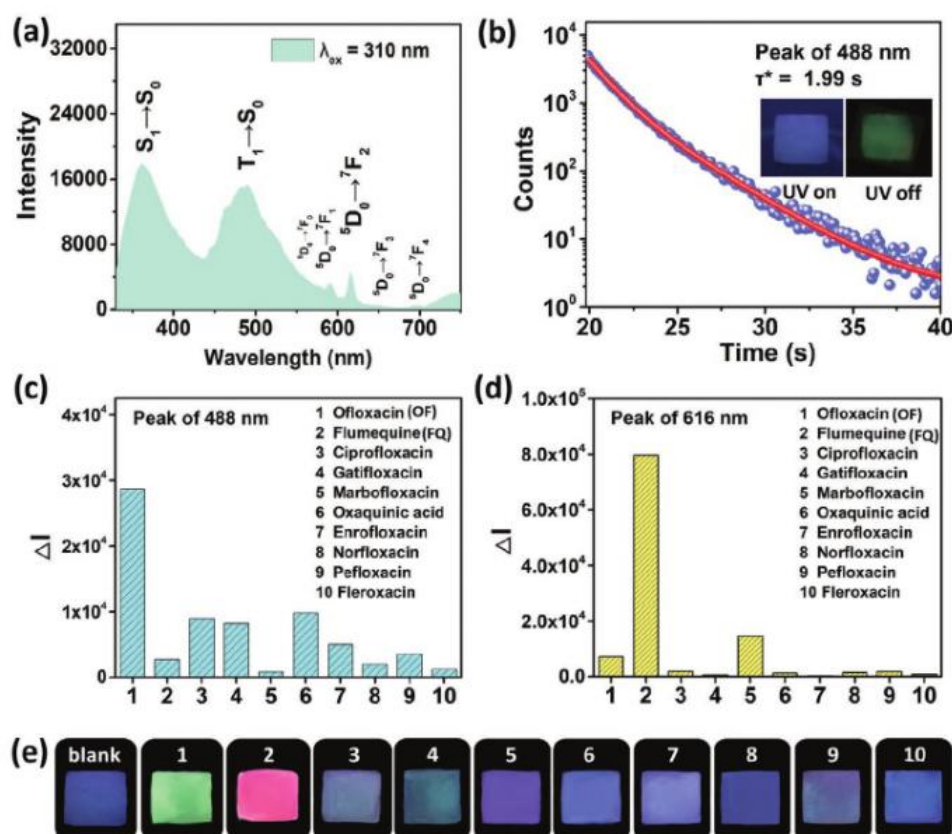
（来源：矿道网）

同济大学闫冰课题组稀土功能化氢键有机框架基水凝胶薄膜材料应用研究取得重要进展

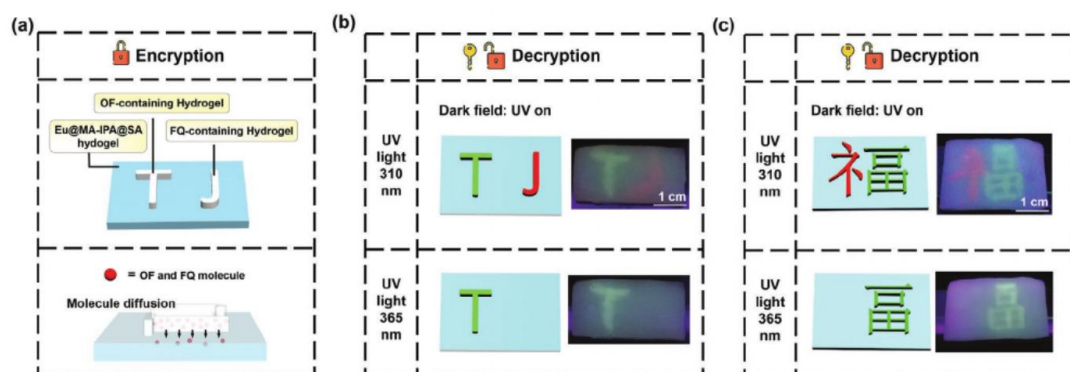
近日,化学科学与工程学院闫冰教授课题组以氢键有机框架材料为功能化对象,制备了一种铈离子功能化的氢键有机框架水凝胶薄膜,该薄膜具有长达 1.99 秒的长余辉,可用于两种喹诺酮(氧氟沙星和氟甲喹)的荧光检测,并且可以通过利用对两种喹诺酮独特的荧光响应实现信息的加密、解密和解码。相关研究成果在线发表于国际知名期刊《先进功能材料》(Advanced Functional Materials) (IF = 16.836) (DOI: 10.1002/adfm.202103321)。

智能可以被定义为感知、存储、分析和响应周围环境或信息的一种能力。由于其智能光学应用,如荧光传感、防伪、生物成像、荧光标签、光电设备和微芯片等,智能发光材料已经成为了材料科学中的一个研究热点。对于智能发光材料来说,荧光响应是赋予发光材料智能的关键因素,常常表现为通过荧光增强、猝灭以及发射峰的移动来输出信号。而荧光传感和化学防伪技术均可利用荧光响应来实现。可发光的铈系功能化的氢键有机框架基水凝胶薄膜作为智能发光材料,不仅制备简单、携带方便,而且可以提高防伪技术的安全等级。因此,制备双发射的铈系功能化的氢键有机框架基水凝胶薄膜在应用前景上显示出了巨大的优势。

化学科学与工程学院闫冰教授课题组在多年开展金属有机框架功能化组装稀土光功能杂化材料研究的基础上,逐渐拓展至非金属的有机框架晶态基元杂化材料的构筑及功能化。比如,在共价有机框架材料的后合成功能化方面取得了系列进展(J. M. Wang, B. Yan*, et al., Inorg. Chem. 2019, 58, 9956-9963; Anal. Chem. 2019, 91, 13183-13190; ACS Appl. Mater. Interface 2020, 12, 12990-12998; Anal. Chem. 2021, 93, 4308-4316; J. Mater. Chem. C 2021, accepted)。



在该项研究工作中，研究团队基于原位合成方法成功地制备了氢键有机框架基水凝胶，然后通过铈离子与海藻酸钠水凝胶的交联反应制备出具有双发射铈系功能化氢键有机框架基薄膜。该薄膜关闭紫外线灯后显示蓝绿色长余辉，长余辉寿命达到 1.99 秒。根据荧光响应的不同，该薄膜作为荧光传感器在 10 种喹诺酮中对氧氟沙星和氟甲喹有很好的选择性并且遵循色度和比率传感模式。低检出限分别达到 0.443 ppm 和 0.114 ppm。研究团队还利用能量转移过程深入探讨了薄膜对两种喹诺酮的荧光响应机制。薄膜在血清和尿液中对氧氟沙星和氟甲喹也有很强的检测能力。为了进一步实现该薄膜的光学应用，研究人员利用对氧氟沙星和氟甲喹不同荧光响应机制，制备了荧光膜阵列和激发光调控的光学防伪薄膜，它们可以应用于多重信息的加密、解密和解码。该研究工作提出了一种制备新型双发射铈系功能化氢键有机框架基薄膜的简单方法，同时提供了智能发光材料用于荧光传感和光学防伪技术的一个典型案例。



该项研究工作得到了国家自然科学基金项目和同济大学发展科学基金项目的支持。闫冰教授为该论文的唯一通讯作者，博士生徐鑫为该论文的第一作者，博士生王金敏参与了相关工作。

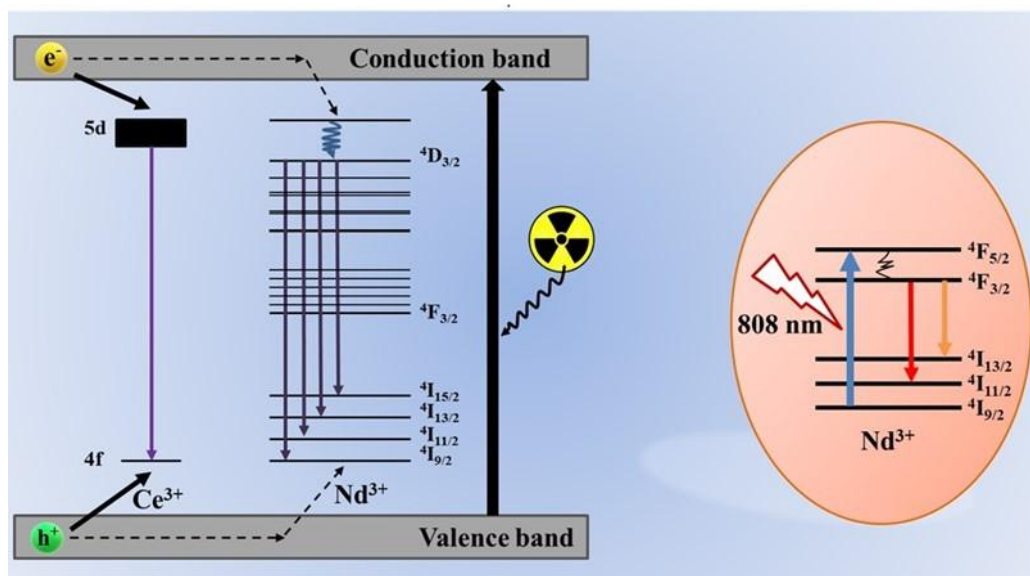
(来源：同济大学)

中科院城市环境所在探究稀土掺杂的双模式发光材料方面取得进展

近年来，双模式发光多功能材料因其在防伪、显示、固态激光、太阳能电池、发光二极管、生物医学等领域的潜在应用而备受关注。其中，稀土掺杂的发光材料由于稀土离子具有丰富的电子跃迁能级，可产生从紫外、可见到近红外的发射光，引起了国内外学者的极大兴趣。

近期，中国科学院城市环境研究所环境安全监测研究组（张洪武团队）设计合成了一种高效的稀土掺杂双模式发光材料。研究选取 NaLuF_4 为基质，将 Ce^{3+} 和 Nd^{3+} 共掺杂，通过简便的水热方法成功合成了 $\text{NaLuF}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$ 荧光粉，在不同的激发条件下实现了通过在单粒子内的高效的双模式紫外光(UV)和近红外二区光(NIR-II)的发射。

研究发现,较高的 NaF/LnCl_3 比值不仅能促进 $\text{NaLuF}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$ 荧光粉的晶相从四方相向六方相转变、形貌由纳米颗粒向微棱镜的形状演变,还能提高 $\text{NaLuF}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$ 荧光粉的紫外和 NIR-II 发光性能。一方面,在 X 射线照射下,由于 Ce^{3+} 和 Nd^{3+} 共掺杂的 NaLuF_4 荧光粉具有 $5d \rightarrow 4f$ 跃迁发射,显示出较强的宽带紫外辐射;另一方面,在 808 nm 激光的激发下,由于 Nd^{3+} 离子的 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$ 和 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ 电子跃迁, Ce^{3+} - Nd^{3+} 共掺杂 NaLuF_4 样品产生了较强的 NIR-II 发射。同时,结合全面的光学性能测试,探讨了 X 射线和 808 nm 激光激发下 Ce^{3+} 和 Nd^{3+} 之间可能的发射和能量传递机制。详细的能量传递机制如下图所示。



$\text{NaLuF}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$ 在 X 射线和 808 nm 激光激发下的 UV 和 NIR-II 发射机理和能量传递机制

该研究不仅为今后双模式发光材料的研究奠定了理论基础,而且也为双模式发光材料在深部组织高分辨生物成像和治疗方面的潜在生物应用提供了新思路。相关研究成果以 NIR-II luminescence and X-ray induced UV luminescence from $\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$ co-doped NaLuF_4 phosphors 为题发表在 Journal of Alloys and Compounds 上。研究工作得到国家自然科学基金、福建省国际合作重点项目等的资助。

(来源:中科院城市环境所)

国务院办公厅关于印发国务院 2021 年度立法工作计划的通知 将制定稀土管理条例等

国务院 2021 年度立法工作计划

2021 年是中国共产党成立 100 周年，是实施“十四五”规划和 2035 年远景目标的开局之年，开启全面建设社会主义现代化国家新征程，向第二个百年奋斗目标进军。国务院 2021 年度立法工作的总体要求是：在以习近平同志为核心的党中央坚强领导下，高举中国特色社会主义伟大旗帜，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入学习贯彻习近平法治思想，全面贯彻落实党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神，坚定不移走中国特色社会主义法治道路，坚持党的领导、人民当家作主、依法治国有机统一，坚持稳中求进工作总基调，立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局，推动高质量发展，系统谋划、统筹推进立法工作，加强重点领域、新兴领域、涉外领域立法，不断提高立法质量和效率，为推进国家治理体系和治理能力现代化、全面建设社会主义现代化国家提供有力法治保障，以优异成绩庆祝建党 100 周年。

一、深入学习贯彻习近平法治思想

中央全面依法治国工作会议明确了习近平法治思想在全面依法治国中的指导地位。习近平法治思想内涵丰富、论述深刻、逻辑严密、系统完备，从历史和现实相贯通、国际和国内相关联、理论和实际相结合上深刻回答了新时代为什么实行全面依法治国、怎样实行全面依法治国等一系列重大问题。习近平法治思想是顺应实现中华民族伟大复兴时代要求应运而生的重大理论创新成果，是马克思主义法治理论中国化最新成果，是习近平新时代中国特色社会主义思想的重要组

成部分，是全面依法治国的根本遵循和行动指南。要认真学习领会习近平法治思想，吃透基本精神、把握核心要义、明确工作要求，切实把习近平法治思想贯彻落实到行政立法工作全过程和各方面。

要坚持党对立法工作的领导，推进党的领导制度化、法治化，通过法治保障党的路线方针政策有效实施。要坚持以人民为中心，积极回应人民群众新要求新期待，系统研究谋划和解决立法领域人民群众反映强烈的突出问题。要坚持推进科学立法，加快形成完备的法律规范体系，积极推进国家安全、科技创新、公共卫生、生物安全、生态文明、防范风险、涉外法治等重要领域立法，健全国家治理急需的法律制度、满足人民日益增长的美好生活需要必备的法律制度，以良法善治保障新业态新模式健康发展。要贯彻落实建设法治中国、法治政府、法治社会相关规划纲要，有效发挥法治固根本、稳预期、利长远的保障作用。

二、围绕“十四五”时期经济社会发展目标任务，科学合理安排立法项目

党的十九届五中全会明确了未来五年经济社会发展的指导思想、基本原则、目标要求、主要任务和重大举措，描绘了到 2035 年基本实现社会主义现代化的远景目标。在行政立法工作中，必须主动对标“十四五”时期经济社会发展目标任务，加强重要领域立法，为促进经济社会平稳健康发展提供有力法治保障。

为推动经济发展取得新成效，提请全国人大常委会审议粮食安全保障法草案，制定国务院关于加强农产品批发市场监督管理的规定、供销合作社条例、稀土管理条例，修订商用密码管理条例。计量法修订草案、公路法修订草案、铁路法修订草案预备提请全国人大常委会审议。预备修订收费公路管理条例。

为推动改革开放迈出新步伐，提请全国人大常委会审议增值税法草案、消费税法草案、关税法草案、反垄断法修正草案，制定市场主体登记管理条例、非存

款类放贷组织监督管理条例、私募投资基金监督管理条例、证券期货行政执法当事人承诺制度实施办法，修订企业信息公示暂行条例。发展规划法草案、电信法草案、统计法修正草案、中国人民银行法修订草案、商业银行法修订草案、反洗钱法修订草案、保险法修订草案、招标投标法修订草案预备提请全国人大常委会审议。预备制定非银行支付机构条例。健全规范平台企业发展、数据收集使用管理等方面的法律制度。

为推动社会文明程度得到新提高，提请全国人大常委会审议文化产业促进法草案，修订水下文物保护管理条例、地名管理条例。广播电视法草案预备提请全国人大常委会审议。

为推动生态文明建设实现新进步，提请全国人大常委会审议黄河保护法草案，制定地下水管理条例、河道采砂管理条例、碳排放权交易管理暂行条例，修订土地管理法实施条例、放射性同位素与射线装置安全和防护条例。能源法草案预备提请全国人大常委会审议。

为推动民生福祉达到新水平，提请全国人大常委会审议社会救助法草案、突发公共卫生事件应对法草案、传染病防治法修订草案、国境卫生检疫法修订草案、职业教育法修订草案、农产品质量安全法修订草案，制定消费者权益保护法实施条例、社会保险经办管理服务条例、生物技术研究开发安全管理条例、生物医学新技术临床研究和转化应用管理条例、社会组织登记管理条例、建设工程抗震管理条例，修订人体器官移植条例、殡葬管理条例。学前教育法草案、药师法草案、进出境动植物检疫法修正草案预备提请全国人大常委会审议。

为推动国家治理效能得到新提升，提请全国人大常委会审议国务院组织法修订草案、突发事件应对法修订草案、治安管理处罚法修订草案、行政复议法修订

草案、审计法修正草案，制定关键信息基础设施安全保护条例、数据安全条例、领事保护与协助条例、无人驾驶航空器飞行管理暂行条例。原子能法草案、机关运行保障法草案、仲裁法修订草案、人民警察法修订草案、监狱法修订草案预备提请全国人大常委会审议。研究推进网络犯罪防治立法。

深化国防和军队改革需要提请全国人大及其常委会审议的法律草案，以及需要制定、修订的行政法规，适时提请国务院、中央军委审议。

抓紧做好政府职能转变、“放管服”改革、“证照分离”改革、优化营商环境等涉及的法律法规清理工作。

为实行高水平对外开放，开拓合作共赢新局面，推动构建新型国际关系和人类命运共同体，开展有关国际条约审核工作。

对于党中央、国务院交办的其他立法项目，抓紧办理，尽快完成起草和审查任务。

对于其他正在研究但未列入立法工作计划的立法项目，由有关部门继续研究论证。

三、完善立法体制机制，以良法善治推动高质量发展

坚持党中央对立法工作的集中统一领导。党的领导是推进全面依法治国的根本保证。要增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”，自觉把立法工作放在党和国家工作大局中来考虑、来谋划、来推进，确保党中央重大决策部署在立法工作中得到全面贯彻落实。要严格执行重大立法事项向党中央请示报告制度，凡需要由党中央研究的重大立法事项，以及立法中涉及重大体制、重大政策调整问题的，按照规定及时向党中央请示报告。立法工作计划、重要立法项目按照要求提交中央全面依法治国委员会审议。

把新发展理念贯穿到立法工作全过程和各方面。发展是我们党执政兴国的第一要务。在行政立法工作中，要立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局，为推动高质量发展提供有力保证。要坚持在法治下推进改革，在改革中完善法治，坚持立法先行，立改废释并举，推动改革决策与立法修法协调联动。要坚持系统观念，加强前瞻性思考、全局性谋划、战略性布局、整体性推进，系统开展立法工作和配套制度建设。要统筹发展和安全，增强机遇意识和风险意识，树立底线思维，防范化解立法领域重大风险挑战。

抓住提高立法质量这个关键。发展要高质量，立法也要高质量。要提高科学立法水平，改进调查研究工作，加强立法效果评估，增强法律法规的及时性、系统性、针对性、有效性。要深化民主立法实践，充分发挥人大代表、政协委员等的的作用，积极探索有效听取公民、企业、社会组织意见建议的方式和渠道，加强基层立法联系点建设。要提升依法立法能力，全面准确把握宪法精神和上位法规定，及时修改清理不符合上位法规定的法规规章，确保法律体系内部衔接协调。

提升法规规章备案审查工作质效。备案审查是一项符合中国国情的重要立法监督制度。要加强备案审查制度和能力建设，全面完善制度规范、理顺工作机制、贯通工作体系、强化制度刚性，不断提高法规规章备案审查工作科学化、制度化、规范化水平。要着重对地方性法规、地方政府规章、部门规章是否与党中央的重大决策部署不相符或者与国家的重大改革方向不一致，是否违反法定程序、是否超越法定权限、是否违反上位法规定等进行审查，对发现的问题坚决依法作出处理，切实维护国家法制统一、尊严、权威。

加大行政立法宣传力度。立法宣传是推动全民守法的有效途径。要讲好立法故事，引导社会各方面广泛参与立法，把立法过程变为宣传法律法规的过程。要

创新方式方法，运用新媒体、新技术做好立法宣传工作，加强对新出台法律法规的解读，回应群众关切，增进社会认同，推动全民守法。要加强对民法典和疫病防治、野生动物保护、公共卫生安全等与经济社会发展和人民群众利益密切相关的法律法规的宣传和解读工作，不断提升全体公民法治意识和法治素养。

四、抓好立法工作计划的贯彻执行

国务院各部门要高度重视立法工作计划的贯彻执行，加强组织领导、完善工作机制、压紧压实责任、密切沟通协调，推动行政立法工作加速、提质、增效。

起草部门要提高送审稿质量，严格按照立法法、行政法规制定程序条例等的规定，做好向社会公开征求意见工作，及时上报送审稿、立法评估报告等材料，为审查、审议等工作预留合理时间。送审稿涉及其他部门的职责或者与其他部门关系紧密的，应当与有关部门充分协商，涉及部门职责分工、行政许可、财政支持、税收优惠政策的，应当征得机构编制、审改、财政、税务等相关部门同意。上报送审稿前，起草部门应当与司法部做好沟通，如实说明征求意见、协调分歧等情况。未沟通就报送送审稿的，司法部可以就是否启动审查工作向国务院提出建议。

司法部要加强与起草部门的沟通，及时跟踪了解立法工作计划执行情况，加强组织协调和督促指导。有关部门报送的送审稿存在行政法规制定程序条例规定的退件情形的，司法部可以按照规定将送审稿退回起草部门重新研究。对于争议较大的立法事项，司法部要加大协调力度、提高协调层级、妥善处理分歧。经过充分协调仍不能达成一致意见的，司法部、起草部门应当及时按程序报告。

附件：《国务院 2021 年度立法工作计划》明确的立法项目及负责起草的单位

《国务院 2021 年度立法工作计划》明确的立法项目及负责起草的单位

一、拟提请全国人大常委会审议的法律案（18 件）

1. 粮食安全保障法草案（发展改革委、粮食和储备局起草）
2. 增值税法草案（财政部、税务总局起草）
3. 消费税法草案（财政部、税务总局起草）
4. 关税法草案（财政部、海关总署起草）
5. 文化产业促进法草案（文化和旅游部起草）
6. 黄河保护法草案（水利部、发展改革委起草）
7. 社会救助法草案（民政部、财政部起草）
8. 突发公共卫生事件应对法草案（卫生健康委起草）
9. 反垄断法修正草案（市场监管总局起草）
10. 传染病防治法修订草案（卫生健康委起草）
11. 国境卫生检疫法修订草案（海关总署起草）
12. 职业教育法修订草案（教育部起草）
13. 农产品质量安全法修订草案（农业农村部起草）
14. 国务院组织法修订草案（国务院办公厅、司法部起草）
15. 突发事件应对法修订草案（司法部组织起草）
16. 治安管理处罚法修订草案（公安部起草）
17. 行政复议法修订草案（司法部起草）
18. 审计法修正草案（审计署起草）

此外，发展规划法草案、电信法草案、广播电视法草案、能源法草案、学前教育法草案、药师法草案、原子能法草案、机关运行保障法草案、计量法修订草

案、公路法修订草案、铁路法修订草案、统计法修正草案、中国人民银行法修订草案、商业银行法修订草案、反洗钱法修订草案、保险法修订草案、招标投标法修订草案、进出境动植物检疫法修正草案、仲裁法修订草案、人民警察法修订草案、监狱法修订草案等预备提请全国人大常委会审议。

二、拟制定、修订的行政法规（28 件）

1. 国务院关于加强农产品批发市场监督管理的规定（司法部起草）
2. 供销合作社条例（供销合作总社起草）
3. 稀土管理条例（工业和信息化部起草）
4. 市场主体登记管理条例（市场监管总局起草）
5. 非存款类放贷组织监督管理条例（人民银行起草）
6. 私募投资基金监督管理条例（证监会起草）
7. 证券期货行政执法当事人承诺制度实施办法（证监会起草）
8. 地下水管理条例（水利部起草）
9. 河道采砂管理条例（水利部起草）
10. 碳排放权交易管理暂行条例（生态环境部起草）
11. 消费者权益保护法实施条例（市场监管总局起草）
12. 社会保险经办管理服务条例（人力资源社会保障部、医保局起草）
13. 生物技术研究开发安全管理条例（科技部起草）
14. 生物医学新技术临床研究和转化应用管理条例（卫生健康委起草）
15. 社会组织登记管理条例（民政部起草）
16. 建设工程抗震管理条例（住房城乡建设部起草）
17. 关键信息基础设施安全保护条例（网信办、工业和信息化部、公安部起

草)

18. 数据安全条例(网信办组织起草)
19. 领事保护与协助条例(外交部起草)
20. 无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(中央军委联合参谋部、交通运输部起草)

21. 商用密码管理条例(修订)(密码局起草)
22. 企业信息公示暂行条例(修订)(市场监管总局起草)
23. 水下文物保护管理条例(修订)(文化和旅游部、文物局起草)
24. 地名管理条例(修订)(民政部起草)
25. 土地管理法实施条例(修订)(自然资源部起草)
26. 放射性同位素与射线装置安全和防护条例(修订)(生态环境部起草)
27. 人体器官移植条例(修订)(卫生健康委起草)
28. 殡葬管理条例(修订)(民政部起草)

此外,预备制定非银行支付机构条例,修订收费公路管理条例。

三、拟完成的其他立法项目

1. 深化国防和军队改革需要提请全国人大及其常委会审议的法律草案,以及需要制定、修订的行政法规
2. 政府职能转变、“放管服”改革、“证照分离”改革、优化营商环境等涉及的法律法规清理项目
3. 党中央、国务院交办的其他立法项目

(来源:国务院)

2021 年 6 月稀土价格走势

一、稀土价格指数

6 月份, 稀土价格指数稳中有降, 到月末略有回升。本月平均价格指数为 203.7 点。价格指数最低为 6 月 25 日的 200.9 点, 最高为 6 月 1 日的 211.1 点。6 月 30 日收于 203.0 点。

2021年6月稀土价格指数走势图



二、中钇富铈矿

中钇富铈矿 6 月份均价为 21.67 万元/吨, 环比下跌 7.74%。

三、主要稀土产品

(一) 轻稀土

6 月份, 氧化镨钕均价为 47.22 万元/吨, 环比下跌 6.47%; 金属镨钕均价为 58.22 万元/吨, 环比下跌 6.55%。



6月份, 氧化钕均价为 47.93 万元/吨, 环比下跌 7.60%; 金属钕均价为 59.40 万元/吨, 环比下跌 7.02%。



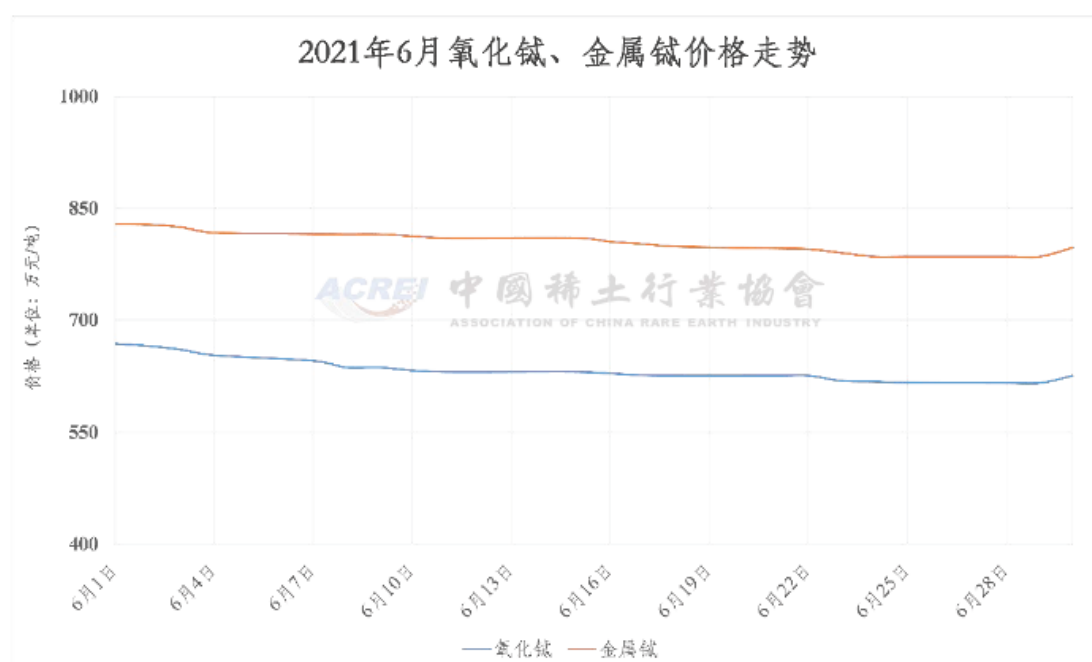
6月份, 氧化镨均价为 52.07 万元/吨, 环比下跌 1.00%。99.9%氧化镧均价为在 1.00 万元/吨, 环比与上月持平。99.99%氧化铈均价为 19.80 万元/吨, 环比下跌 1.23%。

（二）重稀土

6 月份，氧化镝均价为 233.74 万元/吨，环比下跌 4.59%；镝铁均价为 231.95 万元/吨，环比下跌 4.52%。



6 月份，99.99%氧化铽均价为 632.79 万元/吨，环比下跌 8.85%。金属铽均价为 804.74 万元/吨，环比下跌 8.61%。



6 月份，氧化钬均价为 65.08 万元/吨，环比下跌 6.45%，钬铁均价为 66.05 万元/吨，环比下跌 6.59%。



6 月份，99 999%氧化铈均价为 3.50 万元/吨，环比下跌 2.92%。氧化铈均价为 19.47 万元/吨，环比下跌 5.70%。

表 1：2021 年 6 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	5 月平均价	6 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%	526.00	520.71	-1.01%
氧化钆	≥99%	518.74	479.33	-7.60%
氧化钕	≥99.9%	13.00	13.00	0.00%
氧化铕	≥99.99%	200.47	198.00	-1.23%
氧化钇	≥99%	189.68	188.00	-0.89%
钆铁	≥99%Gd 75%±2%	191.84	189.81	-1.06%
氧化铽	≥99.9%	6942.37	6327.86	-8.85%
氧化镱	≥99%	2449.74	2337.38	-4.59%
镱铁	≥99%Dy80%	2429.21	2319.52	-4.52%
氧化钬	≥99.5%	695.63	650.76	-6.45%
钬铁	≥99%Ho80%	707.16	660.52	-6.60%
氧化铒	≥99%	206.47	194.71	-5.70%

市场行情

氧化镱	≥99.99%	102.00	102.00	0.00%
氧化镨	≥99.9%	5175.00	5175.00	0.00%
氧化钇	≥99.999%	36.05	35.00	-2.91%
氧化镨钕	≥99% Nd ₂ O ₃ 75%	504.89	472.24	-6.47%
镨钕金属	≥99%Nd75%	623.00	582.19	-6.55%

(来源：中国稀土行业协会)

稀土生产与分离

稀土市场是一个多元化的市场，它不只是一个产品，而是 15 个稀土元素和钇、铈及其各种化合物从纯度 46%的氯化物到 99.9999%的单一稀土氧化物及稀土金属，均具有多种多样的用途。加上相关的化合物和混合物，产品不计其数。首先从最初的矿石开采起，我们逐一介绍稀土的分离方法和冶炼过程。

一、稀土选矿

选矿是利用组成矿石的各种矿物之间的物理化学性质的差异，采用不同的选矿方法，借助不同的选矿工艺，不同的选矿设备，把矿石中的有用矿物富集起来，除去有害杂质，并使之与脉石矿物分离的机械加工过程。

当前我国和世界上其它国家开采出来的稀土矿石中，稀土氧化物含量只有百分之几，甚至有的更低，为了满足冶炼的生产要求，在冶炼前经选矿，将稀土矿物与脉石矿物和其它有用矿物分开，以提高稀土氧化物的含量，得到能满足稀土冶金要求的稀土精矿。稀土矿的选矿一般采用浮选法，并常辅以重选、磁选组成多种组合的选矿工艺流程。

内蒙古白云鄂博矿山的稀土矿床，是铁白云石的碳酸岩型矿床，在主要成分铁矿中伴生稀土矿物（除氟碳铈矿、独居石外，还有数种含铈、稀土矿物）。采出的矿石中含铁 30%左右，稀土氧化物约 5%。在矿山先将大矿石破碎后，用火车运至包头钢铁集团公司的选矿厂。选矿厂的任务是将 Fe_2O_3 从 33%提高到 55%以上，先在锥形球磨机上磨矿分级，再用圆筒磁选机选得 62~65% Fe_2O_3 的一次

铁精矿。其尾矿继续进行浮选与磁选，得到含 45%Fe₂O₃ 以上的二次铁精矿。稀土富集在浮选泡沫中，品位达到 10~15%。该富集物可用摇床选出 REO 含量为 30%的粗精矿，经选矿设备再处理后，可得到 REO60%以上的稀土精矿。

二、稀土冶炼方法

稀土冶炼方法有两种，即湿法冶金和火法冶金。

湿法冶金金属化工冶金方式，全流程大多处于溶液、溶剂之中，如稀土精矿的分解、稀土氧化物、稀土化合物、单一稀土金属的分离和提取过程就是采用沉淀、结晶、氧化还原、溶剂萃取、离子交换等化学分离工艺过程。现应用较普遍的是有机溶剂萃取法，它是工业分离高纯单一稀土元素的通用工艺。湿法冶金流程复杂，产品纯度高，该法生产成品应用面广阔。

火法冶金工艺过程简单，生产率较高。稀土火法冶炼主要包括硅热还原法制取稀土合金，熔盐电解法制取稀土金属或合金，金属热还原法制取稀土合金等。火法冶金的共同特点是在高温条件下生产。

1. 稀土精矿的分解

稀土精矿中的稀土，一般呈难溶于水的碳酸盐、氟化物、磷酸盐、氧化物或硅酸盐等形态。必须通过各种化学变化将稀土转化为溶于水或无机酸的化合物，经过溶解、分离、净化、浓缩或灼烧等工序，制成各种混合稀土化合物如混合稀土氯化物，作为产品或分离单一稀土的原料，这样的过程称为稀土精矿分解也称为前处理。

分解稀土精矿有很多方法，总的来说可分为三类，即酸法、碱法和氯化分解。

酸法分解又分为盐酸分解、硫酸分解和氢氟酸分解法等。碱法分解又分为氢氧化钠分解或氢氧化钠熔融或苏打焙烧法等。一般根据精矿的类型、品位特点、产品方案、便于非稀土元素的回收与综合利用、利于劳动卫生与环境保护、经济合理等原则选择适宜的工艺流程。

碳酸稀土和氯化稀土的生产：

这是稀土工业中最主要的两种初级产品，一般地说，目前有两个主要工艺生产这两种产品。

一个工艺是浓硫酸焙烧工艺，即把稀土精矿与硫酸混合在回转窑中焙烧。经过焙烧的矿用水浸出，则可溶性的稀土硫酸盐就进入水溶液，称之为浸出液。然后往浸出液中加入碳酸氢铵，则稀土呈碳酸盐沉淀下来，过滤后即得碳酸稀土。

另一种工艺叫烧碱法工艺，简称碱法工艺。一般是将 60% 的稀土精矿与浓碱液搅匀，在高温下熔融反应，稀土精矿即被分解，稀土变为氢氧化稀土，把碱饼经水洗除去钠盐和多余的碱，然后把水洗过的氢氧化稀土再用盐酸溶解，稀土被溶解为氯化稀土溶液，调酸度除去杂质，过滤后的氯化稀土溶液经浓缩结晶即制得固体的氯化稀土。

2. 稀土元素的分离

目前，除 Pm 以外的 16 个稀土元素都可提纯到 6N（99.9999%）的纯度。由稀土精矿分解后所得到的混合稀土化合物中，分离提取出单一纯稀土元素，在化学工艺上是比较复杂和困难的。其主要原因有二个，一是镧系元素之间的物理性质和化学性质十分相似，多数稀土离子半径居于相邻两元素之间，非常相近，在

水溶液中都是稳定的三价态。稀土离子与水的亲和力大，因受水合物的保护，其化学性质非常相似，分离提纯极为困难。二是稀土精矿分解后所得到的混合稀土化合物中伴生的杂质元素较多（如铀、钍、铈、钽、钛、锆、铁、钙、硅、氟、磷等）。因此，在分离稀土元素的工艺流程中，不但要考虑这十几个化学性质极其相近的稀土元素之间的分离，而且还必须考虑稀土元素同伴生的杂质元素之间的分离。

现在稀土生产中采用的分离方法（湿法生产工艺）有：（1）分步法（分级结晶法、分级沉淀法和氧化还原法）；（2）离子交换法；（3）溶剂萃取法。

（1）分步法

从 1794 年发现的钇（Y）到 1905 年发现的镧（Lu）为止，所有天然存在的稀土元素间的单一分离，还有居里夫妇发现的镭，都是用这种方法分离的。分步法是利用化合物在溶剂中溶解的难易程度（溶解度）上的差别来进行分离和提纯的。方法的操作程序是：将含有两种稀土元素的化合物先以适宜的溶剂溶解后，加热浓缩，溶液中一部分元素化合物析出来（结晶或沉淀）。析出物中，溶解度较小的稀土元素得到富集，溶解度较大点的稀土元素在溶液中也得到富集。因为稀土元素之间的溶解度差别很小，必须重复操作多次才能将这两种稀土元素分离开来，因而这是一件非常困难的工作。全部稀土元素的单一分离耗费了 100 多年，一次分离重复操作竟达 2 万次，对于化学工作者而言，其艰辛的程度，可想而知。因此用这样的方法不能大量生产单一稀土。

（2）离子交换法

由于分步法不能大量生产单一稀土，因而稀土元素的研究工作也受到了阻碍，第二次世界大战后，美国原子弹研制计划即所谓曼哈顿计划推动了稀土分离技术的发展，因稀土元素和铀、钍等放射性元素性质相似，为尽快推进原子能的研究，就将稀土作为其代用品加以利用。而且，为了分析原子核裂变产物中含有的稀土元素，并除去铀、钍中的稀土元素，研究成功了离子交换色层分析法（离子交换法），进而用于稀土元素的分离。

离子交换色层法的原理是：首先将阳离子交换树脂填充于柱子内，再将待分离的混合稀土吸附在柱子入口处的那一端，然后让淋洗液从上到下流经柱子。形成了络合物的稀土就脱离离子交换树脂而随淋洗液一起向下流动。流动的过程中稀土络合物分解，再吸附于树脂上。就这样，稀土离子一边吸附、脱离树脂，一边随着淋洗液向柱子的出口端流动。由于稀土离子与络合剂形成的络合物的稳定性不同，因此各种稀土离子向下移动的速度不一样，亲和力大的稀土向下流动快，结果先到达出口端。

离子交换法的优点是一次操作可以将多个元素加以分离。而且还能得到高纯度的产品。这种方法的缺点是不能连续处理，一次操作周期花费时间长，还有树脂的再生、交换等所耗成本高，因此，这种曾经是分离大量稀土的主要方法已从主流分离方法上退下来，而被溶剂萃取法取代。但由于离子交换色层法具有获得高纯度单一稀土产品的突出特点，目前，为制取超高纯单一稀土产品以及一些重稀土元素的分离，还需用离子交换色层法分离制取。

（3）溶剂萃取法

利用有机溶剂从与其不相混溶的水溶液中把被萃取物提取分离出来的方法称之为有机溶剂液—液萃取法，简称溶剂萃取法，它是一种把物质从一个液相转移到另一个液相的传质过程。

溶剂萃取法在石油化工、有机化学、药物化学和分析化学方面应用较早。但近四十年来，由于原子能科学技术的发展，超纯物质及稀有元素生产的需要，溶剂萃取法在核燃料工业、稀有冶金等工业方面，得到了很大的发展。我国在萃取理论的研究、新型萃取剂的合成与应用和稀土元素分离的萃取工艺流程等方面，均达到了很高的水平。

溶剂萃取法其萃取过程与分级沉淀、分级结晶、离子交换等分离方法相比，具有分离效果好、生产能力大、便于快速连续生产、易于实现自动控制等一系列优点，因而逐渐变成分离大量稀土的主要方法。

溶剂萃取法的分离设备有混合澄清槽、离心萃取器等，提纯稀土所用的萃取剂有：以酸性磷酸酯为代表的阳离子萃取剂如 P204、P507，以胺为代表的阴离子交换液 N1923 和以 TBP、P350 等中性磷酸酯为代表的溶剂萃取剂三种。这些萃取剂的粘度与比重都很高，与水不易分离。通常用煤油等溶剂将其稀释再用。

萃取工艺过程一般可分为三个主要阶段：萃取、洗涤、反萃取。

3. 稀土金属的制备

稀土金属的生产又叫稀土火法冶金生产。稀土金属一般分为混合稀土金属和单一稀土金属。混合稀土金属的组成与矿石中原有的稀土成份接近，单一金属是各稀土分离精制的金属。以稀土氧化物（除钐、铈、镱及铕的氧化物外）为原料

用一般冶金方法很难还原成单一金属，因其生成热很大、稳定性高。因此目前生产稀土金属常用的原料是它们的氯化物和氟化物。

（1）熔盐电解法

工业上大批量生产混合稀土金属一般使用熔盐电解法。这一方法是把稀土氯化物等稀土化合物加热熔融，然后进行电解，在阴极上析出稀土金属。电解法有氯化物电解和氧化物电解两种方法。单一稀土金属的制备方法因元素不同而异。钐、铈、镨、铕因蒸气压高，不适于电解法制备，而使用还原蒸馏法。其它元素可用电解法或金属热还原法制备。

氯化物电解是生产金属最普通的方法，特别是混合稀土金属工艺简单，成本便宜，投资小，但最大缺点是氯气放出，污染环境。

氧化物电解没有有害气体放出，但成本稍高些，一般生产价格较高的单一稀土如钕、镨等都用氧化物电解。

（2）真空热还原法

电解法只能制备一般工业级的稀土金属，如要制备杂质较低，纯度高的金属，一般用真空热还原的方法来制取。一般是把稀土氧化物先制成氟化稀土，在真空感应炉内用金属钙进行还原，制得粗金属，然后再经过重熔和蒸馏获得较纯的金属，这一方法可以生产所有的单一稀土金属，但钐、铈、镨、铕不能用这种方法。

钐、铈、镨、铕与钙的氧化还原电位仅使氟化稀土产生部分还原。一般制备这些金属，是利用这些金属的高蒸汽压和镧金属的低蒸汽压的原理，将这四种稀土的氧化物与镧金属的碎屑混合压块，在真空炉中进行还原，镧比较活泼，钐、

铈、镨、钕被镧还原成金属后收集在冷凝器上，与渣很容易分开。

三、稀土产品的分类方法

稀土的产品种类很多。按加工深度，我们将其分为选冶产品和应用产品。前者指稀土矿山和冶炼企业生产的稀土精矿、单一和混合的稀土氧化物、金属及其合金、单一及混合稀土盐类等，共计 300 多个品种、500 多个规格。后者指一切含稀土的制成品，如稀土永磁体、稀土荧光粉、稀土抛光粉、稀土微肥、稀土激光晶体、稀土贮氢材料等。目前没有统一的分类法，也没有统一的叫法，界限也不明确，大家熟悉的叫法：矿产品，初级产品（或粗产品）称上游产品；深加工产品（或叫单一产品、高纯产品）称中游产品；应用材料和应用产品（或器件）称下游产品。其中单一稀土氧化物、稀土金属、混合稀土氧化物、混合稀土金属主要用途见表。

稀土产品用途一览表

单一稀土氧化物	混合稀土氧化物	单一稀土金属	混合稀土金属
La_2O_3 :光学玻璃、陶瓷电容器、催化剂、热电子发射体等。 Ce_2O_3 :玻璃脱色剂、催化剂、光学玻璃、抛光粉等。 Pr_2O_3 :颜料、永磁体、催化剂等。 Nd_2O_3 :永磁体、玻璃添加剂、陶瓷电容器、激光器等。 Sm_2O_3 :永磁体、陶瓷电容器、催化剂。 Eu_2O_3 :红色荧光粉、原子反应堆控制材料等。 Gd_2O_3 :原子反应堆控制材料、GGG 磁光材料、磁致	抛光粉 平板玻璃、电视显像管、照相机镜头、眼镜片等。 催化剂 石油裂化催化。	钇: 耐热钢添加剂、电子材料、核反应堆材料、铝导线。 镧: 贮氢合金、电子射线源、吸气剂、铝合金。 铈: 永磁合金、磁致冷合金。 钕: 永磁合金、磁光存贮材料 钐: 永磁合金等。 铈: 火石合金、冶金添加剂。 钐: 原子能、磁致冷材料、磁光存贮材料。 铈: 永磁合金、磁光存贮材料、磁致冷、磁致伸缩材料。 铈: 磁致伸缩材料等。 铈: 磁致伸缩材料、磁光存贮材料。	发火合金、钢铁和有色金属的添加剂、贮氢合金等。

冷材料、光学玻璃。 Tb ₄ O ₇ :高显色灯、磁光存储材料、磁致伸缩材料。 Dy ₂ O ₃ :永磁体、磁致冷材料等。 Ho ₂ O ₃ :颜料、激光器等。 Er ₂ O ₃ :光学玻璃、半导体、光导纤维。 Tm ₂ O ₃ :激光器等。			
--	--	--	--

从稀土原料直至最终产品分为几个阶段，越接近最终产品，技术含量越高，其附加值越高。从稀土原料到最终成品要经过从原料、材料、器件到产品，且每一个环节都有关键的技术，越接近最终产品，其技术含量也越高，当然附加值也就越高。所以发展稀土应用产品和高附加值产品是中国稀土未来的希望。

（来源：中国稀土）