

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2023 年 第 04 期 总第 114 期

本期要闻

- ◎ 2022 年稀土市场分析
- ◎ 让稀土成为“王牌” 需从技术、管理、定价权等多角度努力
- ◎ 轻稀土价格续跌 部分重稀土反弹 二季度能否迎转机
- ◎ 江西：推动金属行业碳达峰 加快铜、钨、稀土等产业生产工艺流程改造

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 1-31

- ◎ 2022 年稀土市场分析
- ◎ 自然资源部地质矿产科学数据中心成立
- ◎ 让稀土成为“王牌” 需从技术、管理、定价权等多角度努力
- ◎ 轻稀土价格续跌 部分重稀土反弹 二季度能否迎转机
- ◎ 中国稀土集团与北京大学深入交流合作事宜
- ◎ 印度稀土矿商 IREL 发力清洁能源领域 拟将开采产能提升 400%
- ◎ 英国资助稀土回收研究
- ◎ 澳大利亚将与德国加强关键矿产合作

✧ 科技前沿 32-38

- ◎ 中科院广州地球化学所：稀土元素稳定同位素分析技术取得重要进展
- ◎ 上海大学：在纳米晶多硬相复合稀土永磁材料研究方面取得重要进展

✧ 政策法规 39-46

- ◎ 江西：推动金属行业碳达峰 加快铜、钨、稀土等产业生产工艺流程改造

✧ 市场行情 47-51

- ◎ 2023 年 4 月稀土价格走势

✧ 稀土知识 52-60

- ◎ 稀土尾矿在无光釉中的应用研究

2022 年稀土市场分析

2022 年，中国稀土行业依然保持了高位运行态势，走势方面出现了登顶后回落的趋势。2022 年不同稀土产业链间的差异加大，从镨、钕、铽、镝、钐到稀土永磁材料，再到稀土永磁电机和新能源等产业链，在新能源汽车强势增长推动下保持了可观的增长。但是，受到全球经济发展不断走弱，美国等市场的通胀不断扩大，欧洲市场受到战争波及造成产业、资本外流和通胀加剧，以及美元强势加息等因素的影响，从铈到抛光粉，再到 3C 应用产业链；从镧、铈到催化材料，再到石油化工和燃油车尾气净化产业链等需求端成长出现了较大的阻力，甚至下行。同时，国内稀土资源产量增速较快，加大了稀土元素间结构性供需差异扩大，镧铈产品价格出现了下跌，突破了 5 年来的稳定区间。

在国际贸易方面，2022 年我国稀土产品出口态势保持了较高的增长，但是在 11 月和 12 月出现量价走弱的趋势，显示了国外需求出现波动的明确信号。进口方面，2022 年我国进口各类稀土产品超过 12 万吨，其中稀土金属矿和稀土基础原材料 7~9 万吨，我国仍然保持全球稀土加工中心的地位。

一、稀土开采、冶炼分离总量控制指标及相关政策

2022 年的全球稀土格局依然是中国、美国、澳大利亚和缅甸为主导，东南亚、非洲等地补充的多元供应格局，其中泰国等地的供应量有一定的增长。

2022 年工信部和自然资源部分别于 2019 年 1 月 28 日和 2022 年 8 月 2 日，分两次下达了“稀土开采、冶炼分离总量控制指标”。2022 年度全国稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为 210000 吨、202000 吨，均比 2021 年增加 25%，增幅较大。离子型稀土矿的开采指标连续第三年未做调整，保持了 2019 年的水平。岩矿型稀土矿调整增量仍然不是在各大集团间进行平均分配，而是根据实际情况进行了增减调整。2022 年我国总共处理的稀土资源量近 30 万吨，包括从

美国、缅甸等国进口的稀土资源，占全球份额 95%以上。值得注意的是，美国芒廷帕斯矿和澳大利亚莱纳斯所属矿山的产量并未增加，显示这些主要国外稀土资源供应商快速增加产能的潜力尚不足。由此也说明，2022 年稀土产品价格平抑的决定性因素是我国加大了稀土资源的投放量，导致我国资源供应量占比再次超过 70%。我国以负责任的态度维持了全球稀土产业链的供应稳定。

在政策层面，2022 年 1 月 26 日，工信部组织召开“促进稀土应用产业发展座谈会”。对稀土价格大幅度上涨及对上下游产业影响非常关注，并汇集各方意见与建议，与国家相关部委协商协调，采取适当方式进行调控，根据市场需求，增加配额供给，全面促进和推动稀土永磁产业链协调健康、可持续发展。

2022 年 3 月 3 日，工信部稀土办公室约谈中国稀土集团、北方稀土集团、盛和资源公司等重点稀土企业。要求有关企业要切实增强大局意识、责任意识，正确把握当前与长远、上游与下游的关系，确保产业链供应链安全稳定；要加强行业自律，进一步规范企业生产经营、产品交易和贸易流通等行为，不得参与市场炒作和囤积居奇；要充分发挥示范带头作用，推动健全稀土产品定价机制，共同引导产品价格回归理性，促进稀土产业持续健康发展。

2022 年 4 月 12 日，原材料工业司召开新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料上下游合作机制工作会议。

2022 年 4 月 19 日，工业和信息化部新闻发言人在国新办举行的一季度工业和信息化发展情况新闻发布会上表示，工信部将适度加快国内资源开发进度，会同有关部门坚决打击囤积居奇、哄抬物价等不正当竞争行为，推动原材料价格尽快回归理性。

2022 年 7 月 7 日，工业和信息化部有关负责人介绍，支持新能源汽车购买使用是稳定和扩大汽车消费、保障产业平稳运行的有效途径。工信部会同相关部门促进新能源汽车进一步扩大推广规模，为促进汽车消费、稳定经济大盘作

出积极贡献。

我国政策保持了一贯的稳定性，积极推动全产业链平稳发展，持续控制造成稀土价格剧烈波动的因素，为新能源汽车在内的下游产业提供了更加稳定的发展基础。

二、2021 年稀土市场趋势分析

2022 年稀土产品价格受到稀土资源供应量调整的影响，出现了中期波动，不同品类间的产品价格趋势分化较大。年初，稀土产品延续了 2021 年年末的上升势头，给稀土永磁材料及其下游产业带来了较大的压力，引起行业管理部门的重视。为保证行业健康发展、维护全球稀土市场稳定，2 月份我国发布稀土总量控制指标再次调增稀土资源供应量，稀土产品价格开始出现波动下行的局面。但是，起始于 2020 年 9 月的这一轮稀土产品价格上行调整的根本原因是新需求爆发带来的需求快速增长，并且这一增长趋势在 2022 年全年都保持了强劲的势头，因此我国稀土资源的增量投放并没有导致价格大幅下落。新能源汽车和风电等需求在二、三季度快速增加，稀土产品价格企稳回升。总体来看，2022 年我国的稀土管理政策达到了预期目的，平抑了市场价格，预防了供应不足带来的炒作风险，为全球稀土市场平稳运行做出了大的贡献。

随着新能源汽车市场的快速增长，国内新能源汽车销量从 2019 年的 100 余万辆，快速增长到了 2022 年的近 700 余万辆，累计增加了近 7 倍。同期国外新能源汽车销量也有可观的增长，且增速增加。稀土永磁材料的需求随之出现大幅度增加，镨、钕、铽、镝、钆等相关稀土原料供应趋紧，应用于稀土永磁材料的铈等相对富裕稀土元素的研究和产业化也迅速推广，并催化了稀土永磁材料废料回收行业的蓬勃发展。为了平衡市场供需关系，在 2021 年和 2022 年我国连续两年投放了规模可观的新增稀土资源供应，并迅速发挥了作用，如图 1 所示，稀土矿产品价格在三季度末基本达到供需平衡。

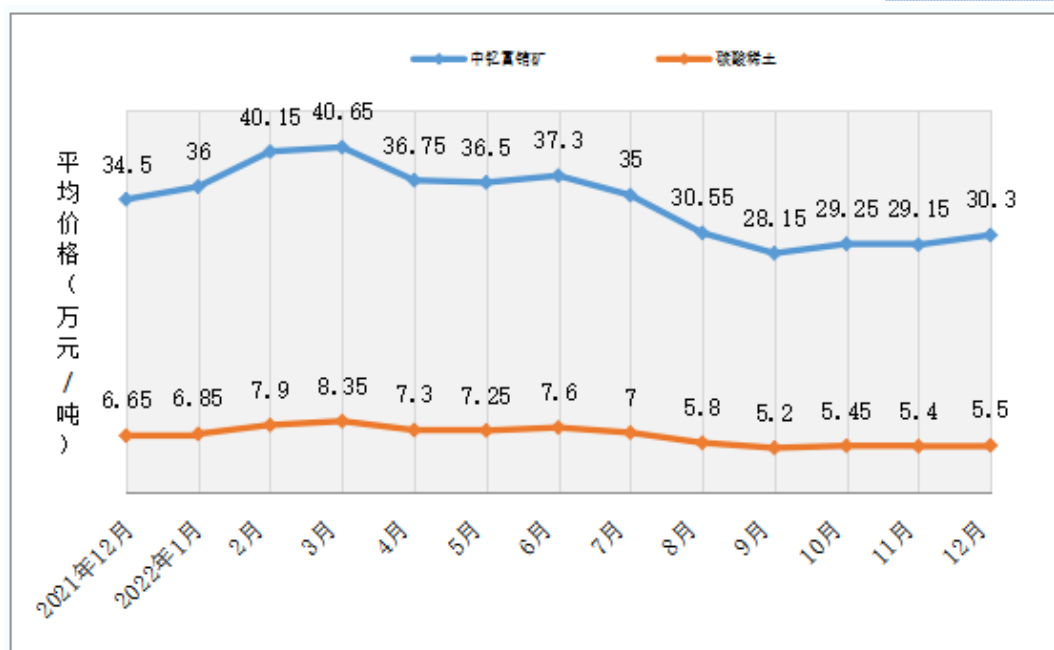


图 1 2022 年稀土矿产品价格走势

如图 1 所示，2022 年一季度，中钺富销矿接续上涨，3 月份开始出现增速放缓，4 月份向下调整后连续 3 个月保持相对稳定，二季度末和三季度出现了速度和幅度较快的下行，并达到了年度最低位。四季度基本持平，年末出现微弱上扬。碳酸稀土总体趋势上与中钺富销矿相似，走势更加平滑。

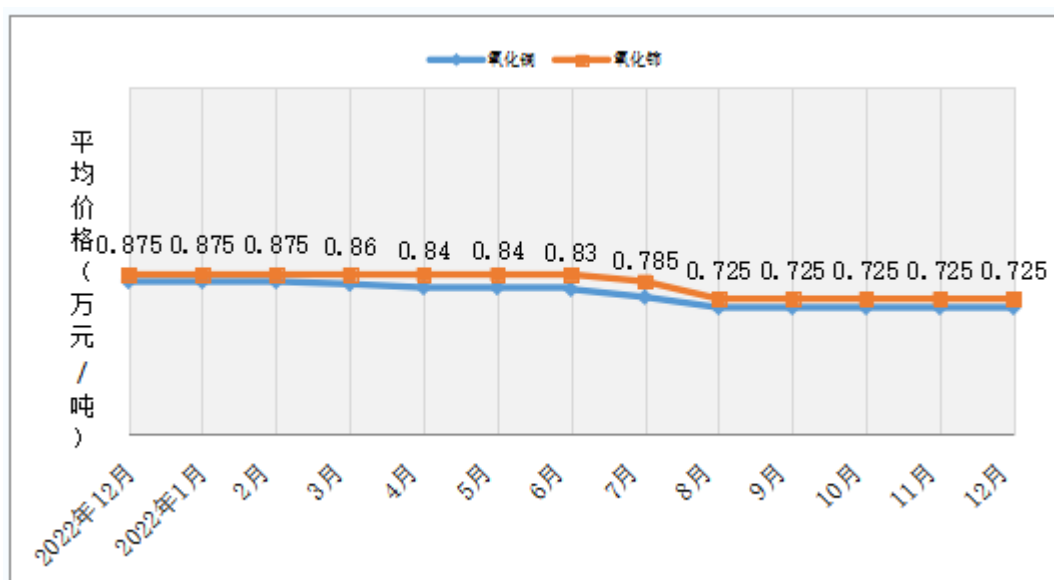


图 2 2022 年氧化镧产品价格走势

如图 2 所示，由于长期的结构性过剩特征，在稀土矿产品因为价格增长而扩

大供应量的时，镧铈产品价格反而出现下行的趋势。2022 年这一趋势非常明显，镧铈产品的需求难以抵消供应扩大带来的影响，催化、抛光、稀土储氢材料产量下降也映证了这一现象。

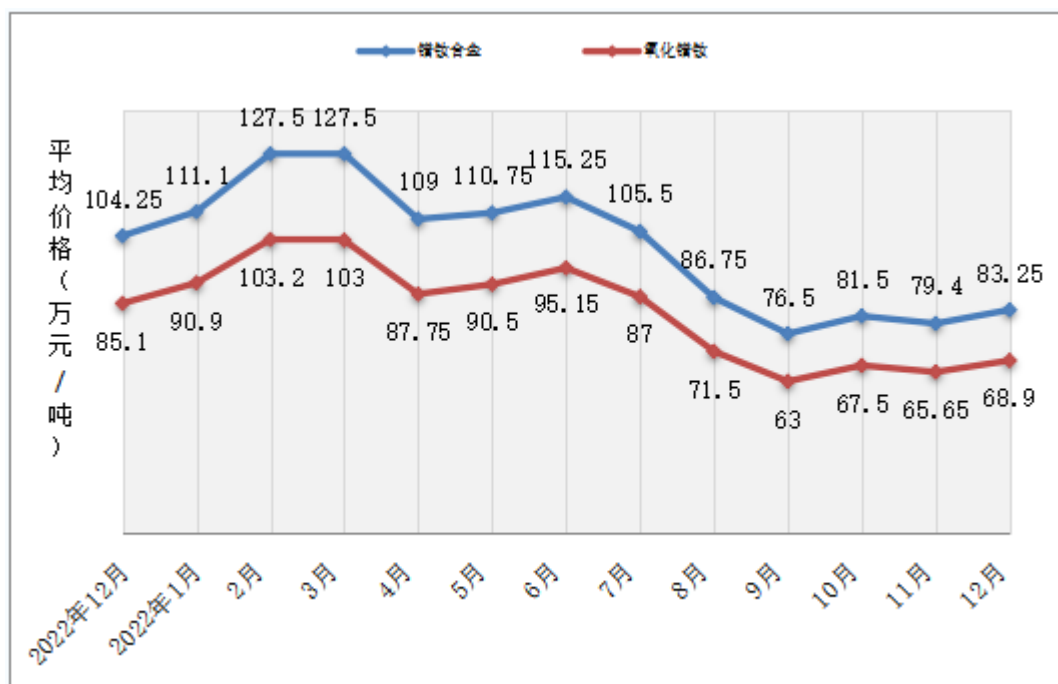


图 3 2022 年镧铈产品价格走势

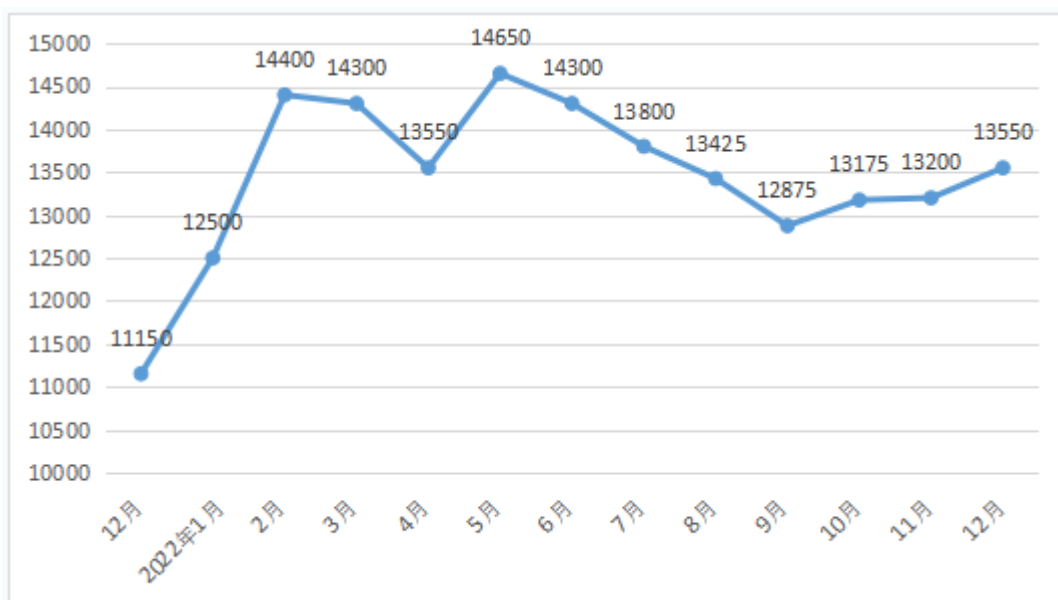


图 4 2022 年氧化铈产品价格走势

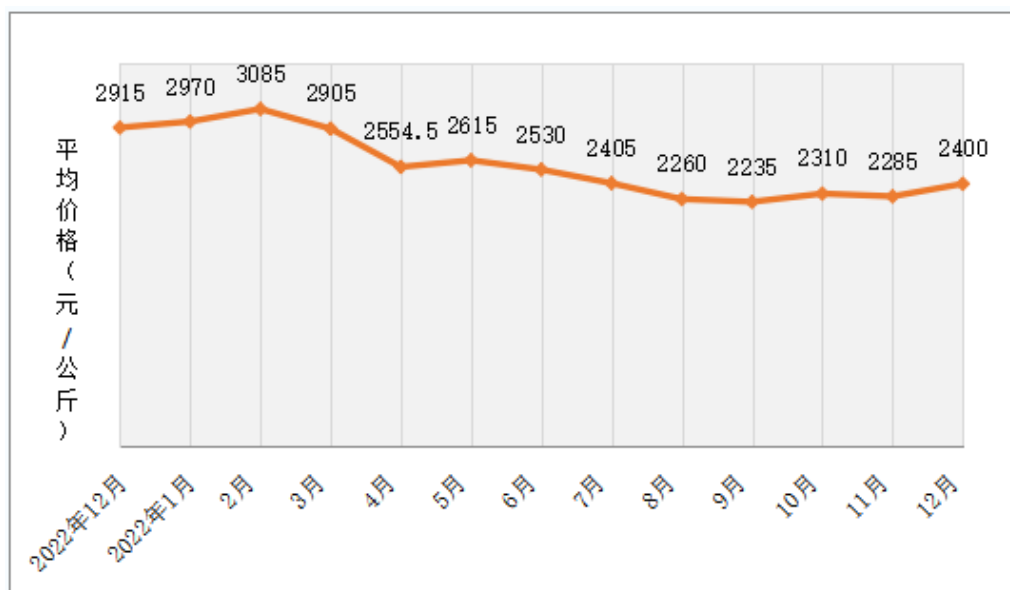


图 5 2021 年氧化镧价格走势

如图 3~5，与磁性材料相关的镨钕、镨铈产品价格，在 2022 年初达到年度最高点，随后分两阶段出现下行态势。第一段是供应量预期增大后的即期反应，但是由于年中新能源汽车等需求增长力强劲，同时扩产需要时间，抵消了下行预期的部分作用。第二段出现在下半年，主要因素是新能源汽车预期增速放缓。

铽、镱产品在大趋势上和镨钕产品基本一致，但是铽产品比镨产品的波动幅度大，上涨的刚性更强。主要是由于铽比镨的可替代性更低，且稀缺性更高。由此可见，富含重稀土的离子型稀土矿依然是非常宝贵的资源，需要更多保护。同时，要大力拓展国外同类资源的开发、进口和利用。

如图 6 所示，受用量限制，氧化铈产品在上半年没有显著变化，下半年出现了下跌。

总之，2022 年稀土产品的分化来源于下游需求领域大相径庭的表现。随着我国疫情防控政策的调整，稀土磁性材料需求在 2023 年将会发生一定的变化，分化的趋势有可能得到缓解。

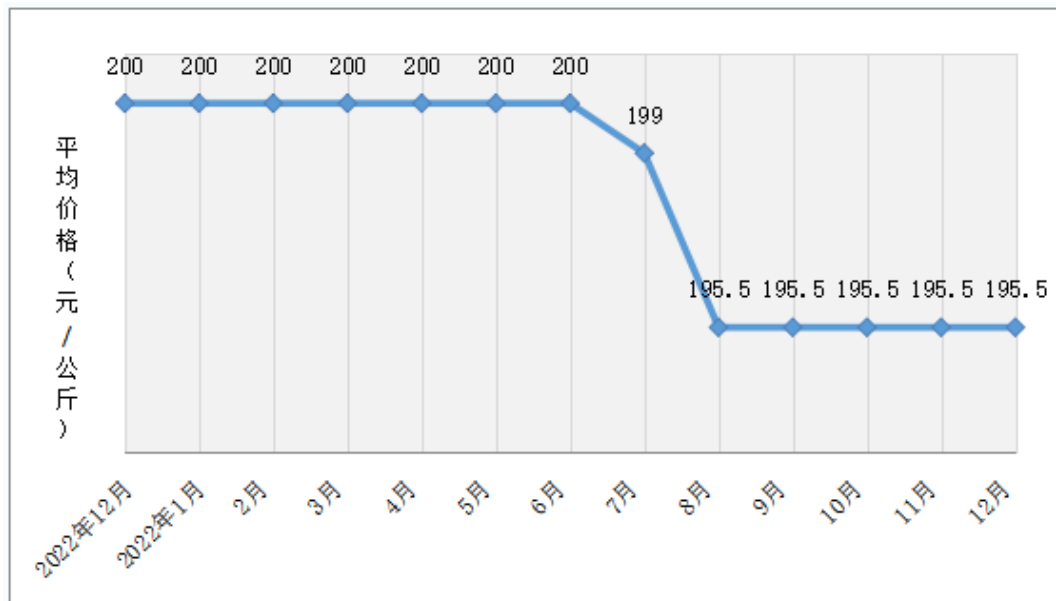


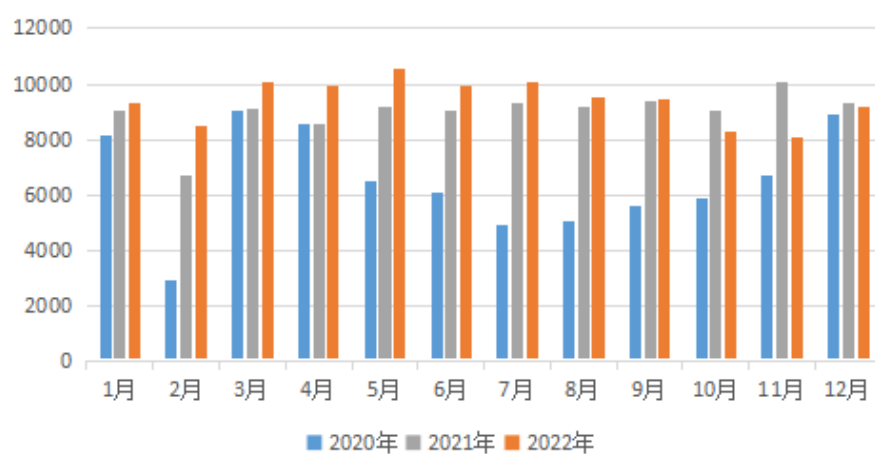
图 6 2021 年氧化铈产品价格走势

三、2022 年稀土出口情况分析

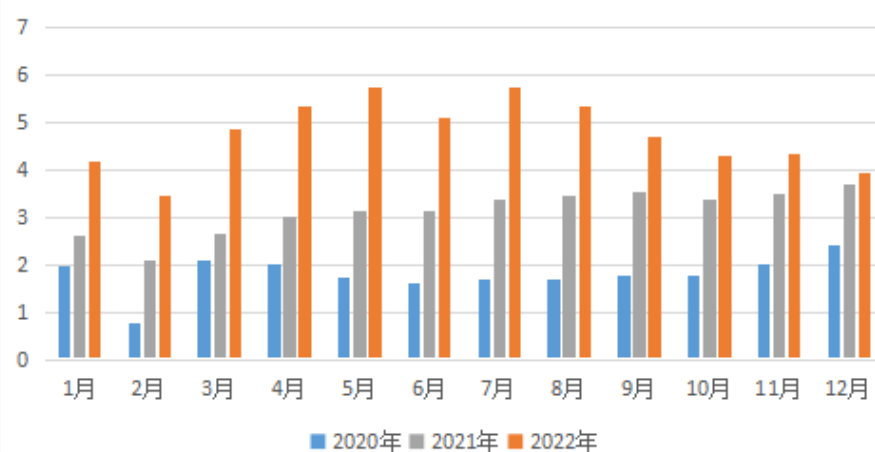
2022 年稀土出口情况良好，有较大幅度增长。据海关公布的统计数据显示，2022 年全年共出口稀土及其制品 11.29 万吨，较 2021 年 10.79 万吨增长了 4.63%。出口金额约 57.17 亿美元，较 2021 年 37.73 亿美元增长了 51.52%。其中出口稀土 4.87 万吨，较 2021 年 4.89 万吨减少了 0.41%。出口金额约 10.70 亿美元，较 2021 年 6.34 亿美元增长了 116.09%。稀土在出口量和出口金额两方面的占比分别为 43.14%和 18.72%，均有所增长，其中出口金额涨幅较大。折算后，每吨稀土平均价格为 2.66 万美元，上涨幅度 104.62%。

2022 年稀土及其制品的出口规模和价值同步上涨，其中价值增长更快，这与国外的芒廷帕斯、韦尔德山等稀土资源供应没有增加有直接关系，我国稀土资源供应量增加的同时，我国稀土资源的使用量也进一步增加，推动了稀土出口价格不断上升。2022 年，稀土产品的出口量略微降低，但是出口金额大幅度增加。这是由于国外稀土资源供应量增量有限，而全球稀土产品加工制造大部分集中在我国，国外稀土资源供应量增量有限。

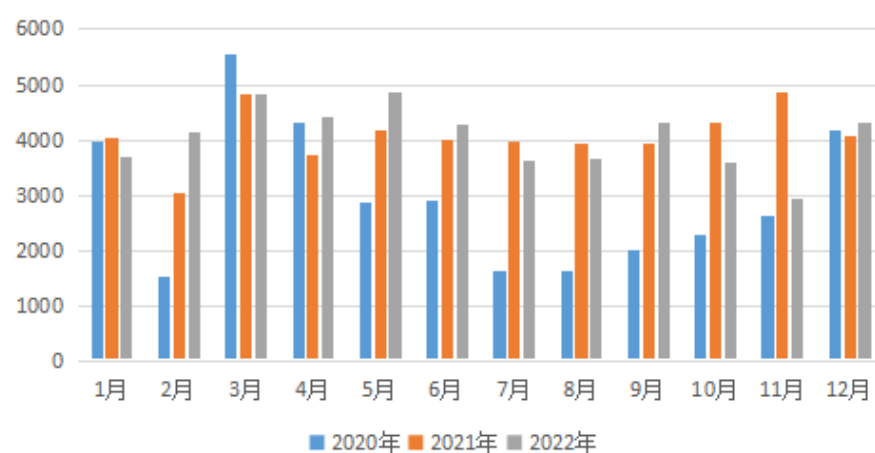
2020-2022稀土及其制品出口量对比（吨）



2020-2022稀土及制品出口金额对比（亿美元）



2020-2022年稀土出口量（吨）



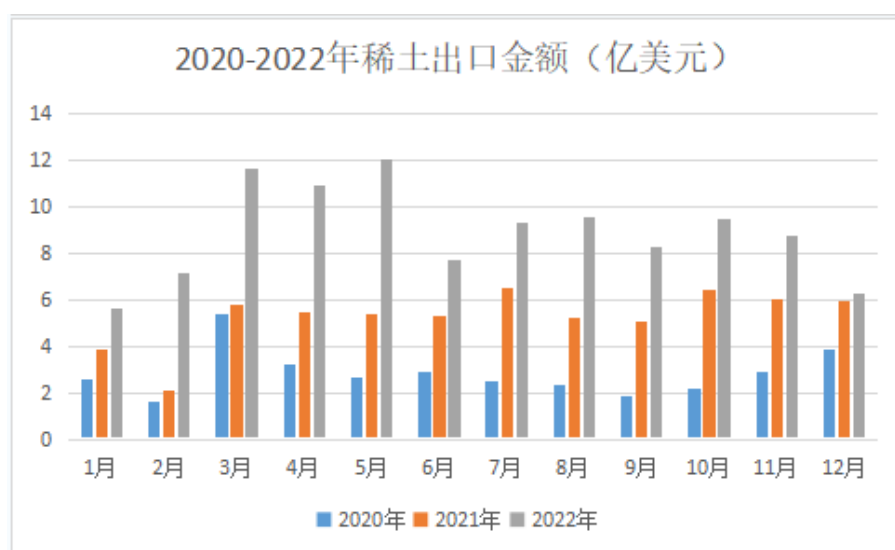


图 7-10 2020-2022 年稀土、稀土及其制品出口对比图

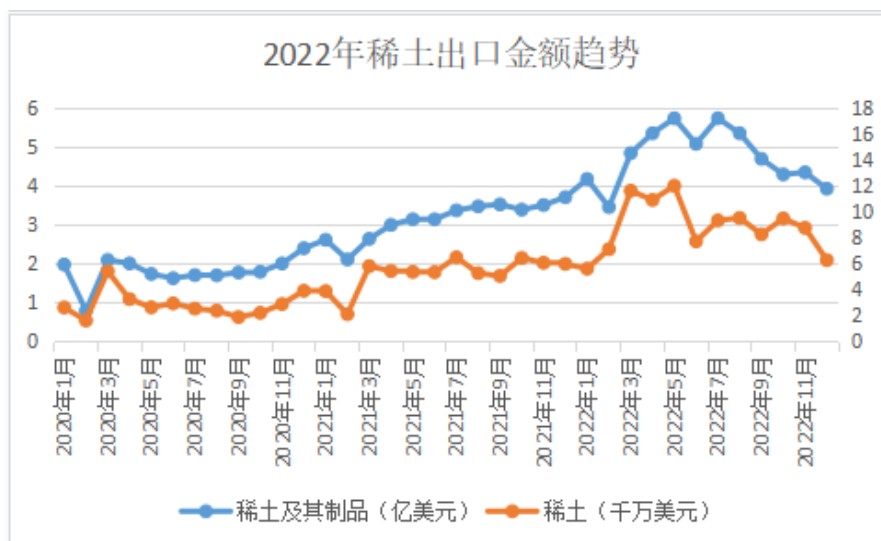
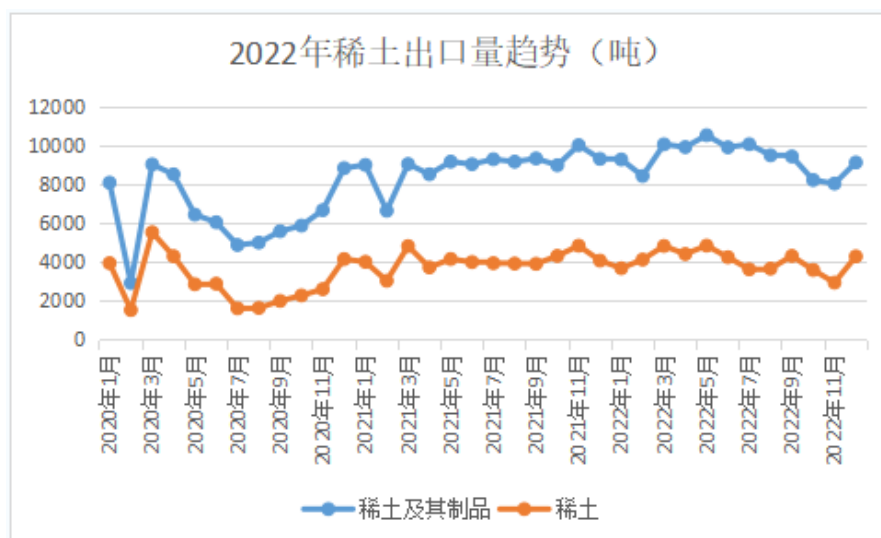


图 10-11 2022 年稀土出口量和出口金额趋势图

从时间角度看，稀土、稀土及其制品的出口量在 2022 年基本上保持了 2021 年的水平，分月度的波动幅度高于 2021 年。特别是 2022 年四季度出现了明显的下跌，这与当时全球经济状况变化趋势密切相关。出口金额方面，2022 年呈冲高回落的走势，尤其 12 月出口金额出现大幅下跌。从出口量和出口金额在年末的变化趋势，可以看出国外需求的支撑和预期明显走弱。

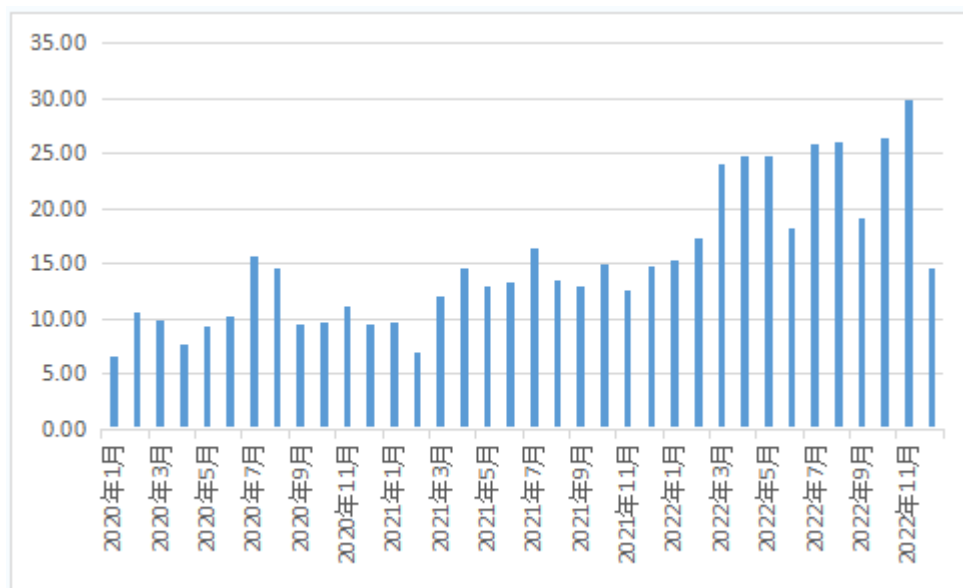


图 12 2020-2022 稀土产品出口单价

2022 年稀土出口价格波动远高于 2021 年，在年中不断波动攀升后，年末再次回归到 2021 年年末的水平。这与全球范围内经济前景预期不佳有直接关系，特别是国外总体需求面临下降风险，对稀土下游产品的出口减弱。预计美、欧、日等国的需求快速企稳后，稀土产品出口价格有可能回温。

四、2023 年稀土市场展望

2023 年，专业机构对全球主要经济体的预期已经出炉，大部分经济体的预期不尽如人意。如 IMF 预测全球增长 2.9%，其中发达国家增速 1.2%，发展中国家增速 4%。发达国家中，美国预测增速仅有 1.4%，日本 1.8%，德国 0.1%，英

国-0.6%。发展中国家中，印度 3.1%，巴西 1.2%，我国的 IMF 预测数据则为 5.2%。由于稀土产业链主体的绝大部分都在我国，2023 年受我国经济复苏的刺激，稀土及其产业链将获得发展的新机遇。但是，市场方面会迎来国外市场增长乏力、内需市场刚刚起步等带来的挑战。

值得注意的方面有三点。第一，新能源汽车国内渗透率接近 30%后，其增长速度将有所放缓。如中国汽车工业协会预测，2023 年国内新能源汽车的增长率为 30%，远低于 2022 年 100%的增长率。同时，国外新能源汽车的市场增量受到国外经济状况抑制，预期有所减弱。这将大大减弱近两年稀土产业最大的需求推动力，稀土产品的价格支撑在 2023 年将有所弱化。

第二，受到 2021 年和 2022 年市场需求的推动，国内外磁性材料产业出现了产能新增潮，其中大部分的新增产能预期在 2023 年上半年集中爆发。需求增速下降和产能爆发有可能在今年上半年叠加，从而导致稀土永磁材料企业双重承压，国内稀土永磁材料企业的洗牌窗口期再次出现。

第三，由于目前稀土产品价格已经走弱，国内稀土资源供给增量预期可能会减弱。少量国外稀土资源开发进展有望在 2023 年发生效果，特别是东南亚地区的离子型稀土矿有望在今年进入市场，对重稀土的供需关系产生较大的影响。

总体而言，稀土产业链在 2023 年将面临一定的挑战，外部市场将会对 3C、燃油车催化、风电等领域的应用造成持续压力，新能源汽车市场的增速相对放缓将对镨钕主产业链形成新的压力。协同产业链上下游，共同出海或许是破局的最佳方法。不过，中国经济的韧性已经在 2023 年第一个月充分显现，春节期间旅游和商务旅行显著增长，国内需求恢复的态势明显。我们相信，立足于国内大循

环，通过产业链密切协作，稀土及其相关产业链将在 2023 年获得广阔的成长空间。

（来源：中国稀土网站）

自然资源部地质矿产科学数据中心成立

4月6日，自然资源部地质矿产科学数据中心在中国地质调查局发展研究中心（全国地质资料馆）正式成立。

为贯彻落实党中央、国务院对科学数据管理的要求，进一步加强和规范自然资源科学数据管理，促进开放共享，自然资源部着力构建科学数据管理运行机制，在自然资源领域推动建设一批科学数据中心。

自然资源部地质矿产科学数据中心的主要职责是建成完善的地质矿产科学数据汇交、安全保管、分析挖掘、共享服务等管理体系和业务技术体系，提升科学数据的治理能力；围绕国家能源资源安全保障和重大需求，全面做好地质矿产科学数据的开放共享，向社会提供便捷的科学数据服务，提升科学数据共享服务能力；建立完善各类地质矿产科学专题数据库，开展数据挖掘、产品开发、知识发现等增值服务，推进开放实验室建设和行业学术交流，成为国内权威的地质矿产科学数据创新应用与服务平台。

据悉，下一步，该中心将坚持“开放协作、合作共建、资源共享、科技引领”的原则，坚持业务工作与上级要求对接、与科研业务需求对接，重点推进五方面工作：一是开展自然资源部系统形成的地质矿产科学数据摸底调查，摸清地质矿产科学数据的数量、管理和汇交状况，提出数据管理方案；二是制定地质矿产科学数据管理的系列制度，包括科学数据中心的运行机制、数据汇交制

(来源：自然资源部)

让稀土成为“王牌” 需从技术、管理、定价权等多角度努力

两部门：严格按指标组织生产稀土 任何单位和个人不得无指标和超指标生产

工信部、自然资源部3月24日发布关于下达2023年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标的通知：2023年第一批稀土开采、冶炼分离总量控制指标分别为120000吨、115000吨。通知提出，稀土是国家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。各稀土集团要严格遵守资源开发、节约能源、生态环境、安全生产等有关法律法规，按指标组织生产，不断提升技术工艺水平、清洁生产水平和原材料转化率；严禁采购加工非法稀土矿产品，不得开展稀土产品代加工（含委托加工）业务；综合利用企业不得采购加工稀土矿产品（含富集物、进口矿产品等）；利用境外稀土资源要严格遵守进出口有关管理规定。

稀土的地位极其重要，其实翻阅自然资源部关于稀土开采指标的相关文件

可以看到，每一次的文件都有类似的表述：稀土是国家严格实行开采、冶炼分离总量控制管理的产品，任何单位和个人不得无计划和超计划生产。

除了稀土矿的开采和冶炼受到重视，其实稀土开采和冶炼分离的技术也值得重视。毕竟正所谓：工欲善其事必先利其器。中国作为拥有全产业链技术的国家也更应该重视对稀土技术的保护。这也让人想到此前我国商务部拟禁止/限制出口涉及稀土相关技术等的 139 项技术。

商务部拟禁止/限制出口 139 项技术 涉及稀土相关技术

中国禁止出口限制出口技术目录（征求公众意见版）

（禁止出口部分）

11	有色金属 冶炼及压 延加工业	213301J	稀土的提炼、加 工、利用技术	1. 稀土萃取分离工艺技术 2. 稀土金属及合金材料的生产技术 3. 钐钴、钕铁硼、钕磁体制备技术 4. 稀土硼酸氧钙制备技术
----	----------------------	---------	-------------------	--

（限制出口部分）

32	黑色金属 冶炼和压 延加工业	053201X	钢铁冶金技术	1. 耐温≥850℃高温合金生产技术 2. 军用隐身材料的配方及生产技术 3. 耐温≥2000℃的发散（汗）冷却材料的配方及生产技术
33	有色金属 冶炼和压 延加工业	213301X	有色金属冶金技术	1. 无毒（不含氟化物）堆浸提金技术及配方 2. 氧化铝生产中以种分母液回收原液中铝的“溶解法”工艺 3. 强度≥520MPa 铍材制备的制粉和固结工艺 4. 同时具有下列特性的高温超导线、带制造技术 （1）临界温度>77K，长度>100m，临界电流密度>1×10 ⁴ A/cm ² （在77K，自场强下） 5. 同时具有下列特性的高温超导薄膜制造技术 （1）临界温度>77K，面积>5cm ² ，临界电流密度>1×10 ⁶ A/cm ² （在77K，零场强下） 6. 稀土的采矿、选矿、冶炼技术（已列入禁止出口的技术除外） 7. 稀土萃取剂的合成工艺及配方 8. 金属材料的稀土改性添加技术
34		053302X	非晶、微晶金属 冶金技术	1. 非晶材料的卷取技术 2. 自蔓延高温合成与制备技术 （1）硬质耐冲击材料制备技术 （2）纳米级晶粒制备技术 3. 纳米级超细粉的制备技术

35	金属制品业	053401X	热处理技术	1. 模具热处理技术 (1) 稀土 - 硼共渗剂配方 (2) 稀土 - 硼共渗处理工艺 2. 稀土、碳、氮共渗和稀土、碳共渗的配方及工艺 3. 装载机斗齿材料的配方及热处理工艺
----	-------	---------	-------	--

1 月 28 日,我国商务部会同科技部等部门关于《中国禁止出口限制出口技术目录》修订公开征求意见的意见反馈正式截止。本次修订拟删除技术条目 32 项,修改 36 项,新增 7 项,修订后《目录》共 139 项,包括禁止出口技术 24 项,限制出口技术 115 项。与 2020 年版本相比,此次修订进行了较大幅度删减,细化部分技术条目控制要点,为加强国际技术合作创造积极条件。

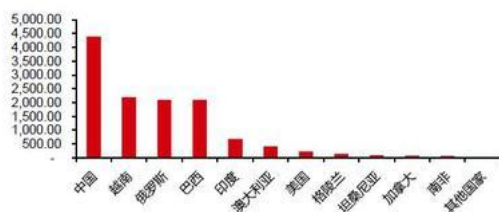
根据征求公众意见版,禁止出口部分拟涉及稀土、集成电路、无机非金属材料、航天器等技术。其中第 11 项是禁止稀土的提炼、加工、利用技术的出口。具体来看要点有四个,一是稀土萃取分离技术;二是稀土金属及合金材料的生产技术;三是钕钴钕铁硼、钕磁体制备技术;四是稀土硼酸氧钙制备技术。SMM 认为,稀土作为不可再生的宝贵资源,其战略地位尤为显著,此次修订或许将加强我国对稀土产品及技术的出口限制。SMM 将继续关注《中国禁止出口限制出口技术目录》修订版的正式发布。

中金在其题为《我国拟限制出口稀土技术,有望进一步压制海外稀土供应弹性》的研报中指出,第一,中国对全球稀土产业具备全面的控制力,分别在储量、矿产量、冶炼和磁材供应方面占全球的 37%、60%、94%和 93%,同时,由于徐光宪院士在稀土串级萃取方面做出重大技术突破,中国在稀土萃取分离及具体的金属和合金生产技术上处于全球领先。在这种的全面控制力基础之上,我国将相关技术史上第一次明确列为禁止出口,是对海外产业封锁的有力反制

措施。第二，中国优势技术的禁止出口，对海外稀土产业链在当前稀土价格中枢抬升背景下的供应弹性将产生明确的压制，再考虑到万物电驱时代下游新需求方兴未艾，稀土维持高位的稳定性有望得到进一步的夯实，中国稀土全产业链的市场份额和控制也将得到进一步的维持。这对稀土和磁材板块的业绩和估值均带来正向影响。

全球：2022 年稀土资源总储量约为 1.3 亿吨 稀土矿产量为 30 万吨

2022年主要国家稀土矿储量（单位：万吨）



资料来源：USGS，中信证券研究部

2022年主要国家稀土矿分布



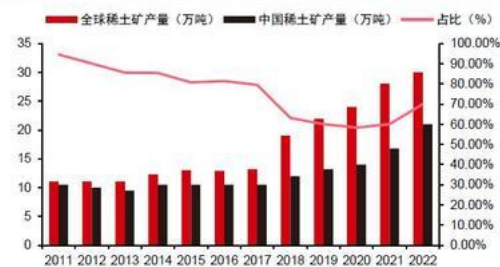
资料来源：USGS，中信证券研究部

2021年主要国家稀土矿产量分布



资料来源：USGS，中信证券研究部

全球与中国稀土矿产量情况（万吨）



资料来源：USGS，中信证券研究部

根据美国地质调查局（USGS）公布数据显示，从全球储量来看，2022 年全球稀土资源总储量约为 1.30 亿吨，中国储量为 4400 万吨（占比 35.01%），越南储量为 2200 万吨（占比 17.50%），巴西储量为 2100 万吨（占比 16.71%），俄罗斯储量为 2100 万吨（占比 16.71%），四国总计占全球储量的 85.93%，其余国家占比 14.07%。

根据 USGS 公布数据显示，从全球产量来看，2022 年全球稀土矿产量为 30

万吨，其中，中国产量为 21.0 万吨，占全球总产量的 70%。其余国家中，2022 年美国稀土产量为 4.3 万吨（占比 14%），澳大利亚产量为 1.8 万吨（占比 6%），缅甸产量为 1.2 万吨（占比 4%）。

通过近三年稀土出口数量来看 2021 年有较高增长 2022 年同比微降



中信证券在其研报中表示，2011 年全球稀土矿产量由 11.1 万吨提升至 2022 年的 30.1 万吨，其中，中国稀土矿产量从 10.5 万吨提升至 21.0 万吨，占比从 94.59%下降至 70%，占比虽然下降，但仍是世界最大稀土矿生产国，海外稀土矿产量不断攀升，突显对稀土资源的重视。

据海关总署数据统计，中国 2020 年稀土出口 35448 吨。2021 年我国稀土的出口量增至 48918 吨，同比增长 38.0%。而 2022 年 1-12 月中国稀土累计出口量 48727.8 万吨，同比下降 0.4%。

进入 2023 年，据海关总署最新的数据统计显示，2023 年我国 1-2 月份共计进口稀土 27381.8 吨，同比增长 63%；共计出口稀土约 7391.2 吨，同比减少了 5.6%。从以上数据可以看出，1-2 月份我国稀土进口量有大幅增长的同时，海外

的稀土需求量有一定程度的缩减。

近年来不少国家为稀土产业链做出“努力”中国凭产量和技术仍占据主导地位

政策方面：稀土作为重要的战略元素，被多国重视，美国、日本和德国等国家积极把稀土资源作为本国经济和科技发展的重要战略资源。美国此前公布了 35 个战略元素，日本也公布了 26 个高技术元素，他们公布的这些元素中全都包含了稀土元素。2022 年初，欧洲颁布《芯片法案》旨在把欧盟芯片产能从占全球 10%提升到 2030 年的 20%；2022 年下半年，冯德莱恩宣布了《欧洲关键原材料法案》，目的是使欧盟的锂和其他稀土供应链朝着“值得信赖的合作伙伴”实现多元化，并进行战略储备。韩国国际广播电台 27 日消息，韩国产业通商资源部 27 日公布关键矿物保障战略，将锂、镍等 10 种半导体、蓄电池生产所需矿物指定为关键矿物并予以重点管理。韩国产业部在半导体、蓄电池等国家尖端产业所需矿物中选定 33 种，并将其中 10 种指定为“十大战略关键矿物”，予以重点管理。这十大矿物包括锂、镍、钴、锰、石墨、稀土等。韩国政府将制定关键矿物全球矿产地图和供需地图，并建立预警系统。

合作方面：自 2019 年澳大利亚与美国签署了稀土合作协议后，澳洲就已经急忙定下了 15 个包括稀土在内的重要矿产项目，计划与美国合作，以保障自己的稀土供应。2020 年底，美国就已经与澳大利亚、日本、印度等 3 个国家达成了协议，加强稀土合作。据日经中文网 2020 年 9 月 22 日报道，由美国提供资金援助，澳大利亚的大型稀土企业莱纳斯（Lynas）将与美国蓝线公司（Blue Line）合作，在美国德克萨斯州建设用于高性能磁铁的镝等重稀土类生产工厂。美国稀

土企业 MP Materials 与日本贸易巨头住友商事发布声明称，MP Materials 将把稀土分离厂加工后的矿产直接卖给住友商事，在日本分销，协议将“稳定、扩大和夯实对日本制造业至关重要的供应链”。澳大利亚 Lynas 的 Mt Weld 和美国 MP 的 Mountain Pass 已实现量产：Mt Weld2021 年稀土氧化物总产量约 1.58 万吨（+8.23%），氧化镨钕产量 5461 吨（+17.29%）；Mountain Pass2021 年稀土氧化物总产量 4.24 万吨。目前公司进行第三阶段，拓展到下游高强度稀土永磁体加工，来促进整个美国磁性供应链的恢复，与通用汽车达成协议于 2023 年开始每年生产约 1000 吨成品钕铁硼。

蒙古国政府的公告显示，韩国将和蒙古国合作，为稀土金属增加新的潜在来源。蒙古国和韩国官员已同意建立一个研究中心，探索建立稀土供应链的机会，并在蒙古国高级官员访问首尔期间签署了谅解备忘录。签署双方为蒙古国矿业和重工业部长 Ganbaatar Jambal 和韩国产业通商资源部第二次官 Iljun Park。蒙古国总理奥云额尔登本周在向韩国企业代表论坛讲话时，建议把蒙古国列为稀土以及铜和萤石的来源。

技术方面：稀土冶炼分离技术也成为澳大利亚、美国等关注的焦点。美国不具备先进的稀土加工技术。即便与其合作的莱纳斯的稀土加工技术与世界先进水平也有一定的差距。据悉，澳洲稀土公司 Ionic 此前正在考虑开发一个稀土分离和冶炼设备，年产量达 4000t，用于生产关键的稀土氧化物和重稀土氧化物。据 Mining Weekly 报道，日前在珀斯举行的关键矿产圆桌会议上，澳大利亚联邦、州和领地资源和矿业官员同意协调努力支持该国关键矿产行业发展。

商务部拟禁止出口我国稀土产业链提炼、加工、利用等技术，东莞证券研报

认为：此举将有效保证我国稀土产业技术的领先优势。虽然美国、澳大利亚相继开发本国稀土资源，但短时间内难以形成较大供应，且缅甸由于多年开采，中重稀土的产量及矿石品位均出现下滑。按照美国地质调查局的数据，2022 年全球除中国外的国家稀土矿产量为 90000 吨，较 2021 年的 112000 吨减少 22000 吨。虽然美国及澳大利亚等国相继开始打造本国稀土产业链，但短期难以形成较大供应，缅甸由于多年开采，稀土产量及品位均呈下滑，中国稀土仍将占据全球主导地位。

总之，稀土的开采和分离过程工艺复杂，且对环境保护方面造成较大压力，许多国家虽然稀土储量并不低，但稀土的产量却是极少的，如：越南稀土储量约为 2200 万吨，2021 年全年的稀土产量却仅有 400 吨。可见，稀土冶炼和分离的技术对于产量来说十分重要。目前来看，虽然多国都在做与稀土相关的努力，但是考虑到想要建完整的提炼稀土的生产线，以及储备经验丰富技术工人都尚需时日。尤其部分稀土加工技术甚至需要中国专利。稀土产品还可以去其他国家购买，但是中外技术上的差距，使得其他国家在发展稀土产业链时依然需要借助中国的技术。而我国如果能把做好相关技术的保密工作，就掌握了制胜法宝。商务部拟禁止出口我国稀土产业链提炼、加工、利用等技术，是处于国家安全和发展的考虑。

除了技术 还应在定价权、管理方式等方面加强对稀土的保护和治理

曾经我国的稀土储量一度高达 6558 万吨，现在仅有 4400 万吨。其主要原因就是我国此前过度开采稀土资源，更是有不少黑稀土流出。中国稀土产业一直在打黑防止重要资源贱卖，但是可能惩罚的力度不够，需加强立法，把稀土列入重

要的战略资源位置。

我国在稀土的定价权方面，话语还不高，要努力改善这一现状，充分发挥稀土交易所商品定价的作用，从而提高稀土定价的话语权。

建议有关部门进一步明确稀土产业的管理边界、改变管理方式，加强法律地处置和惩罚力度，加强稀土的集中度，通过产量指标的把控，进而能更精准的把握稀土的产出情况，通过稀土打黑行动和企业核查，进而更有力地打击“黑稀土”。

近年来稀土开采指标尤其是中重稀土开采指标的下降也是保护中重稀土资源的一种举措。我们应继续加强对中重稀土的保护。SMM 认为，在目前全球稀土供应难增的现状下，稀土等关键原材料的战略地位凸显，我国的稀土出口受到更加严格的监督管理也是大势所趋！

（来源：SMM）



轻稀土价格续跌 部分重稀土反弹 二季度能否迎转机

跌跌不休的稀土让市场一再叹息！轻稀土仍在续跌的时候，近来部分重稀土品种迎来了上涨，氧化钬在经历了之前几日的止跌企稳之后，4 月 21 日迎来了上涨。氧化镨、中钆富铈矿已经迎来了两连阳。稀土一季度的价格可谓是一波三折，进入传统淡季的二季度，稀土能告别跌跌不休迎来反转吗？在 4 月已经过去的 20 多天时间里，稀土市场先后经历了市场需求不足带来的下跌、市场长单采购补货带来的止跌以及部分重稀土受市场消息影响迎来的上涨。在 SMM 看来，二季度能否出现转机，关键还是要看需求能否改善。

轻稀土仍下跌 部分重稀土连涨两日

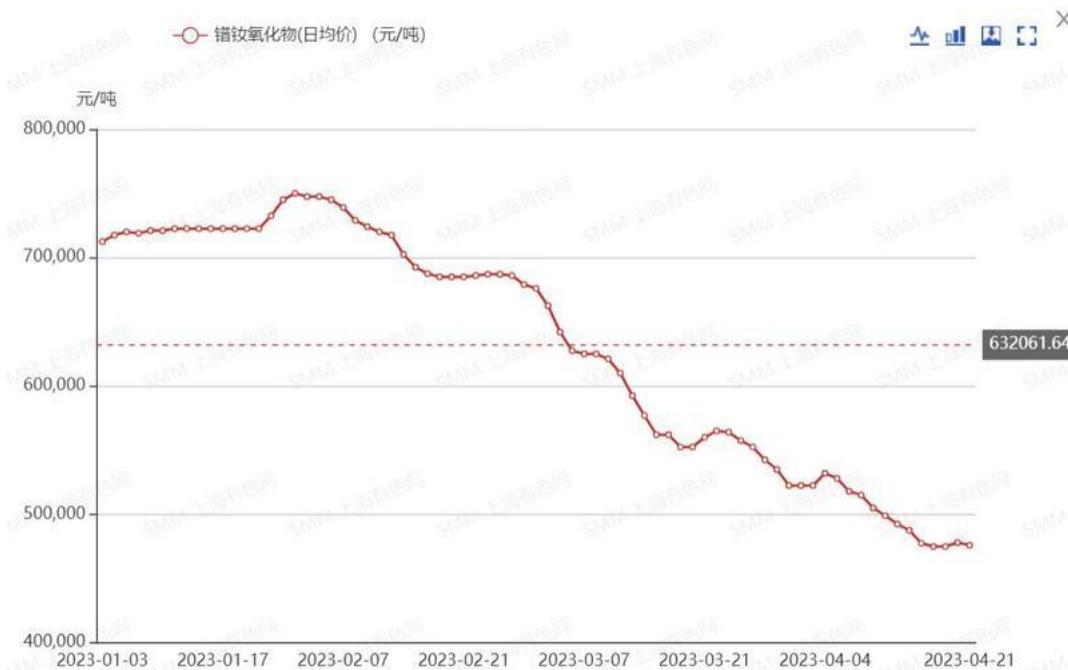
稀土现货价格					
名称	价格范围	均价	涨跌	单位	日期
碳酸稀土	38400~38700	38550	-200	元/吨	04-21
中钇富铈矿	212000~214000	213000	+500	元/吨	04-21
稀土盐					
名称	价格范围	均价	涨跌	单位	日期
碳酸铈	1600~2000	1800	0	元/吨	04-21
碳酸铈	2900~3100	3000	0	元/吨	04-21
氧化物					
名称	价格范围	均价	涨跌	单位	日期
氧化镧	5100~5500	5300	0	元/吨	04-21
氧化铈	5300~5700	5500	0	元/吨	04-21
氧化镨	480000~490000	485000	0	元/吨	04-21
氧化铈	490000~500000	495000	0	元/吨	04-21
氧化钆	14000~16000	15000	0	元/吨	04-21
氧化铈	190~200	195	0	元/千克	04-21
氧化钆	260000~265000	262500	0	元/吨	04-21
高纯氧化钆	280000~290000	285000	0	元/吨	04-21
氧化铈	8600~8700	8650	0	元/千克	04-21
氧化铈	1920~1950	1935	+45	元/千克	04-21
氧化铈	258000~260000	259000	0	元/吨	04-21
氧化铈	49000~50000	49500	0	元/吨	04-21
镨钕氧化物	474000~478000	476000	-2000	元/吨	04-21
氧化铈	590000~600000	595000	+10000	元/吨	04-21

一季度稀土的跌跌不休，让市场之前对本就是传统稀土淡季的二季度愈发悲观。不过最近部分重稀土产品的上涨，让市场能感受到些许暖意。据 SMM 最新的报价显示，4 月 21 日，氧化镨均价报 1935 元/千克，较前一交易日上涨 45 元/千克，涨幅为 2.38%。受市场消息影响，其迎来了近来的两连涨。主产重稀土的中钇富铈矿也迎来了自己的两连涨。然而与重稀土不同，主产轻稀土的碳酸稀土 4 月 21 日，迎来了下调。碳酸稀土 4 月 21 日的均价报 38550 元/吨，较前一交易日下跌 200 元/吨。镨钕氧化物 4 月 21 日的均价下跌了 2000 元/吨。

稀土的跌跌不休，已经逐渐抹杀了市场对于 2022 年稀土主流产品价格整体宽幅震荡运行走势的记忆。以 2022 年可谓是风生水起的氧化镨钕的走势为例。据 SMM 统计，2022 年国内毛坯钕铁硼需求量突破 30 万吨，对氧化镨钕产生的

需求量超过 10 万吨，而 2022 全年氧化镨钕总产量约 7.7 万吨。由于下游钕铁硼磁材企业扩产以及终端需求快速发展，上游主流稀土产品氧化物、金属供应相对较紧，使得镨钕氧化物直到供需双弱的四季度依然维持了稳中偏强的走势。

价格回顾：稀土一季度整体均先扬后抑



先扬后抑的走势基本上适用于一季度的稀土市场。不管是轻稀土还是重稀土在春节前还维持着高位窄幅波动的走势，然而春节后，尤其是在 2 月初触及了近期的高点之后，就出现了整体一路下行，跌跌不休的走势。

以氧化镨钕的一季度均价走势为例，与其均价在去年四季度一直稳中偏强的走势不同，其均价走势进入 2023 年一季度先涨后跌。进入 2023 年，氧化镨钕迎来了一个良好的开局，1 月 3 日其均价报 712500 元/吨，比前一交易日上涨 1500 元/吨，开门红的走势也给氧化镨钕带来不少信心，尤其是春节节前下游磁材企业均有不同程度的备货，也给氧化镨钕带来了一些上涨的动力。节后归来，氧化镨钕延续涨势，更是在 2 月 1 日触及了其均价 750000 元/吨的高点。不过，

随后由于市场需求冷清，稀土价格在接下来的日子里便一路下行。3 月 31 日，氧化镨钕的平均价报 522500 元/吨，与 2 月 1 日的高点 750000 元/吨相比，下跌了 227500 元/吨，跌幅为 30.33%。

产量：氧化镨钕前三个月均出现环比增长



当然，氧化镨钕一季度的价格下跌需求不足是主因。尤其在其产量出现增加，需求显得愈发不足。2023 年 1 月国内氧化镨钕产量 5622 吨，环比增长 9.5%。福建、两广、江西、江苏和山东等地均有不同程度的增产。去年 12 月分离厂和废料回收企业由于年底检修、原料倒挂、新工厂调试等原因减停产较多，稀土市场上氧化镨钕现货供应紧缺情况严重，氧化镨钕价格持续上涨。但进入 2023 年 1 月，大多数企业已于今年 1 月份陆续恢复正常生产，两广地区产量增长较多，广西地区产量环比增长 150%，广东地区产量环比增长 50%。江苏地区生产情况也已基本恢复，其产量环比增长约 97%。少数企业生产部门在春节期间有放假减产，但也将于本月恢复正常运行。

2023 年 2 月国内氧化镨钕产量 5767 吨，环比增长 2.6%。广西、四川、江西、和江苏地区均有不同程度的增产。据 SMM 调研了解，由于氧化镨钕价格持续下跌，金属厂采购也较为谨慎，分离厂和废料回收企业实际成交情况不容乐观。但由于 1 月份有部分厂家春节放假，产量较低，大部分已于 2 月完全恢复正常生产。广西地区产量增长较多，环比增长 20%；江苏和江西地区产量环比均有 10% 左右的增长。

2023 年 3 月国内氧化镨钕产量 6011 吨，环比增长 4%。山东和江苏地区均有不同程度的增产，江西地区有小幅减产。据 SMM 调研了解，由于进口稀土矿增量较大，且稀土需求情况仍有待恢复，稀土价格走势整体承压运行。第一季度氧化镨钕价格整体呈下跌趋势，在需求持续冷清的现状下，部分金属厂开始减产，其采购积极性也有所下降。废料回收企业倒挂情况依然存在，其经营状况短期或将仍旧难言好转。由于需求情况较差，江苏地区氧化镨钕产量环比缩减了 3%。但有部分分离厂由于生产计划限制以及生产情况进一步恢复，其产量反而有较大幅度的增长：3 月，江苏地区氧化镨钕产量环比增长 39%，山东地区环比增长 17%。

后市：需求改善是二季度价格能否反转的关键

据 SMM 最新调研了解，目前，市场信心依旧较弱，下游需求情况尚未恢复，金属厂订单较为冷清，加之严重的原料倒挂，金属厂对高价氧化物接受程度不高。虽然稀土市场本周询单情况较为活跃，但实际成交量并未有明显好转。SMM 预计，短期稀土价格整体或将继续低位震荡运行。

至于二季度稀土市场能否告别传统淡季效应迎来反转，在 SMM 看来，主要要看市场需求能否改善。市场需求发生改善的关键主要还是关注新能源汽车以及风电装机等能否带来新的需求。倘若二季度市场需求没有出现明显的改善，可

能稀土市场的价格反转还需要寄希望于传统旺季的三季度。此外，南方即将进入雨季，稀土进口量将较以往有所缩减，或许也能给稀土市场带来一些提振。SMM建议后市多关注市场需求和供应的变化情况。

（来源：SMM）

中国稀土集团与北京大学深入交流合作事宜

4月10日，中国稀土集团党委书记、董事长敖宏一行与北京大学校长、中国科学院院士龚旗煌，党委常委、副校长、中国科学院院士张锦座谈交流，共同推动企校深度合作。

会上，双方就如何进一步强化沟通交流，建立更加紧密的合作关系；如何谋划推进人才联合培养，推动人才、科研、项目一体化发展，加快培养稀土领域卓越工程师等方面进行了交流探讨。

敖宏简要介绍了中国稀土集团成立一年多以来的重点工作。他表示，中国稀土集团经过一年多来的深度整合融合，正处于创新发展、动能转换的“窗口期”，发展势能积蓄迸发。携手前行方能致远，凝心聚力便可成势。中国稀土集团与北京大学合作渊源深、时机好、前景广，深化企校双方合作将大有可为，也必将大有作为，中国稀土集团将成为北京大学广大教授、学子施展才华的舞台、成就科研事业的沃土。中国稀土集团将与北京大学一道，在稀土技术研发、人才交流、创新协同等方面加强合作，将北大领先全球的稀土采选冶技术优势和既有的稀土资源禀赋结合起来，打造人才培养新样板、企校合作新典范。

龚旗煌对敖宏一行的来访表示热烈欢迎，他指出，北京大学在国内最早开展稀土研究，徐光宪先生开展的稀土分离理论及其应用研究使中国实现了由稀土资源大国向稀土生产大国、出口大国的飞跃。他表示，北京大学愿与中国稀土集团深化合作，围绕国家战略人才需求，依托北京大学强大的科研力量和中国稀土集团全产业链发展能力，下大力气解决稀土的开发利用技术和“卡脖子”技术难题，促进国家稀土科技高水平自立自强，为推进我国从“稀土大国”迈向“稀土强国”作出新的贡献。

会后，敖宏一行在张锦的陪同下参观了北京大学材料科学与工程学院、化学与分子工程学院稀土材料化学及应用国家重点实验室，详细了解北京大学在稀土研究领域的科研进展。

集团公司人力资源部、科技创新与信息化部、新材料与终端应用事业部、研究院负责同志，北京大学化学与分子工程学院、材料科学与工程学院、研究生院、国内合作委员会办公室、科技开发部等相关院系部门负责人参加。

（来源：中国稀土集团）



印度稀土矿商 IREL 发力清洁能源领域 拟将开采产能提升 400%

印度唯一的稀土生产商 IREL (India) Ltd. 希望在未来 10 年将其稀土矿石开采能力提高 400%，以帮助该国锁定清洁能源转型所需的关键稀土的供应国。据悉，印度国有企业 IREL 的董事长 D. Singh 在接受媒体采访时表示，该公司计划在 2032 年年底前每年开采 5000 万吨含稀土矿石，高于目前的 1000 万吨，

而这一步伐将使印度每年的精炼稀土产量从目前的 5000 吨提高到大约 1.3 万吨。

现在，全球向清洁能源的转型趋势正在引发对自然资源——稀土元素的剧烈竞争。与其他主要经济体一样，印度正在努力解决如何确保稀土和锂等能源转型所需原材料的供应问题，在摆脱化石燃料的过程中，这些材料将会被大量需要。Singh 表示：“未来，这些材料的缺乏可能会阻碍印度实现其清洁能源目标。”他同时敦促印度当局为该公司计划中的新矿山开采加速审批许可。

在印度打造国内稀土产业面临着诸多挑战：从历来谨慎的采矿许可方式，到稀土矿石质量低下和下游精炼产能相对落后。Singh 表示，IREL 旗下的稀土矿精炼厂被困在不超过 40%的产能限制，因为公司目前未能开采足够的稀土矿石来满足精炼需求。

根据美国政府的统计数据，印度拥有全球第五大稀土储量，但是产量并不高。Singh 还表示，他希望印度能够发展更大规模的稀土下游产能，并指出这是中国稀土在全球占主导地位的关键。

Singh 表示：“虽然印度有采矿、加工和精炼能力，但在该行业的中下游部门产能非常缺乏。”他表示，开发下游产能以吸收 IREL 采矿计划的最终产量，将会耗资大约 300 亿卢比(大约 3.65 亿美元)至 500 亿卢比。

Singh 表示，目前日本 Toyota Tsusho Corp.旗下的印度公司(Toyotsu Rare Earths India Pvt.)是唯一的私营性质的精炼厂，其开采的稀土矿石主要由 IREL 供应。他表示，印度的矿石质量是一个重大挑战，这使得处理要求更高、成本更高。几年前，当 IREL 招标合作伙伴建造一个下游工厂时，尽管有一些潜在的合作商表达了合作兴趣，但最终没有单位愿意接受招标。

IREL 是印度原子能部门旗下的国有企业，成立于 1950 年，负责加工独居石，其中含有用于核工业的稀土和钍。该公司在印度奥里萨邦(Odisha)、泰米尔纳德邦(Tamil Nadu)和喀拉拉邦(Kerala)经营着 8 座矿山，并正准备在未来 4 年再增加三份租约。

(来源：智通财经)

英国资助稀土回收研究

从电动汽车到洗衣机和笔记本电脑等产品都需要稀土元素，预计到 2040 年全球市场需求将翻两番。

“俄罗斯在乌克兰的战争对能源的影响是及时的”商业和贸易部长努斯拉特加尼说。“这就是为什么我们专注于为不断增长的绿色产业确保稳健的供应链，这些产业将为英国带来就业机会和繁荣”

这些材料的供应链很复杂，市场也很不稳定，其中大部分来自少数几个国家。去年夏天，政府启动了第一个关键矿产战略，以确保供应安全。

循环关键材料供应链计划（气候）将通过投资者合作伙伴关系为研究和开发提供资金，这将利用私人投资。它还将制定标准、建立国际伙伴关系和发展技能。

Innovate UK 是英国研究与创新的一部分，它本身是一个由科学、创新和技术部赞助的非部门公共机构。预计第一场资助竞赛将于春季开始，最初的重点是用于磁铁的稀土元素。Innovate UK 净零执行董事 Mike Biddle 表示，我们的气候计划将开展一系列活动，从资助竞赛到网络活动和研讨会，所有这些活动旨

在推动该行业的增长并建立有弹性的供应链，以帮助我们加强经济并实现我们的环境目标。

稀土勘探公司 Pensana 于 7 月在东约克郡启动了耗资 1.45 亿英镑的磁铁材料精炼厂，而 Green Lithium 于 11 月宣布将在提赛德建造英国第一家大型锂精炼厂。这两项投资均由政府的汽车转型基金提供支持。

英国地质调查局已被任命运营关键矿产情报中心，为决策者提供全球市场的最新信息。

（来源：产业前沿）

澳大利亚将与德国加强关键矿产合作

据 Mining.com 网站援引路透社报道，4 月 6 日，澳大利亚资源部长发表声明称，将与德国合作为关键矿产的研究创造新的机会，共同实现气候和能源目标。

随着世界各国削减碳足迹，未来几年绿色能源转型对稀土和锂、钴和镍等矿产需求将大幅增长。

澳大利亚将寻求同友好国家构建提高附加值的产业。

“澳大利亚和德国都认识到构建多样化、弹性和可持续关键矿产价值链带来的重要机遇”，澳大利亚资源和北澳事务部长玛德琳 金（Madeleine King）在声明中称。

此项协议有助于澳大利亚研究关键矿产行业的发展，也有助于德国这个欧

洲最大经济体为制造业提供稳定和所希望的关键矿产供应。

几周前，西澳政府同韩国政府支持的研究组织签署合作协议，双方将交换关键矿产开发的科学和技术知识。

（来源：全球地质矿产信息系统）

中科院广州地球化学所：稀土元素稳定同位素分析技术取得重要进展

稀土元素是非常重要的地球化学示踪体系，其配分模式、轻重稀土分异、异常、放射性同位素等指标已经被广泛应用于行星科学、地球科学、海洋科学、环境科学和矿床学等诸多科研领域。稀土元素本身还具有非常丰富的稳定同位素，其特有的指纹特征能极大扩展地球化学示踪能力。然而，迄今为止，稀土元素稳定同位素地球化学研究却鲜有报道。究其原因，由于相邻稀土元素之间的同质异位素干扰非常普遍，而其物理化学性质又非常相似，因此分离提纯单一稀土元素极其困难，极大妨碍了稀土元素稳定同位素地球化学学科方向的发展。

针对这一技术性难题，中国科学院广州地球化学研究所稳定同位素地球化学学科组白江昊博士生在韦刚健研究员、马金龙正高级工程师、林莽研究员和张乐高级工程师等老师的指导下，同时与广东省科学院生态环境与土壤研究所钟松雄博士、中国科学院地球化学研究所刘承帅研究员及其课题组成员、广州海洋地质调查局邓义楠博士等团队合作，研发了基于 AG50W-X12+TODGA 树脂的联合化学分离技术，实现了 La、Ce、Pr、Nd 和 Sm 单一稀土元素的化学提纯，达到了单个稀土元素的回收率高于 99%，且干扰元素的残留率极低的效果，满足了相应稀土元素高精度稳定同位素组成测试的要求。在质谱测试过程中，应用样品标准间插和内标结合法（C-SSBIN）校正 MC-ICP-MS 仪器的质量歧视效应，显著地提高了稀土元素稳定同位素的测试精度，获得了 $\delta^{142/140}\text{Ce}$ 、

$\delta^{146/144}\text{Nd}$ 、 $\delta^{152/149}\text{Sm}$ 长期外部精度分别优于 0.04‰、0.03‰ 和 0.04‰ 的结果。

利用搭建的分析测试平台，测定了火成岩、土壤、沉积物以及白云岩等多种地质参考物质的稀土元素稳定同位素组成，发现稀土元素稳定同位素的分馏幅度可达到其测试精度的数倍。这一发现暗示着稀土元素的稳定同位素分馏是非常有效的示踪剂，有望与传统稀土元素指标一道，为理解早期太阳系形成、地球宜居性、海洋及全球稀土循环、稀土成矿机制等地球系统科学研究提供新的认识。

相关分析技术成果发表在分析化学权威期刊《Journal of Analytical Atomic Spectrometry》(3 篇，其中 1 篇入选封面文章)和《Geostandards and Geoanalytical Research》，该研究受到广东省基础与应用基础研究重大项目(2019B030302013)、国家自然科学基金项目(41991325; 41803026)、广东省科学院科技发展项目(2019GDASYL-0301002)、国家自然科学基金委创新群体项目(42021002)、南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队重大专项(GML2019ZD0308)、广东省自然科学基金(2021A1515110574)、自然资源部海底矿产资源重点实验室开放基金(KLMMR-2022-G08)等联合资助。

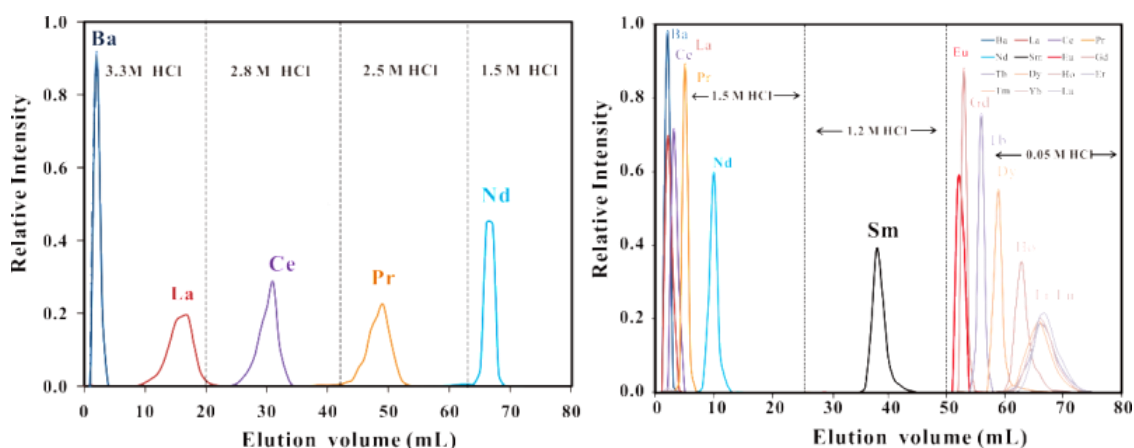


图 13 稀土元素分离的淋洗曲线

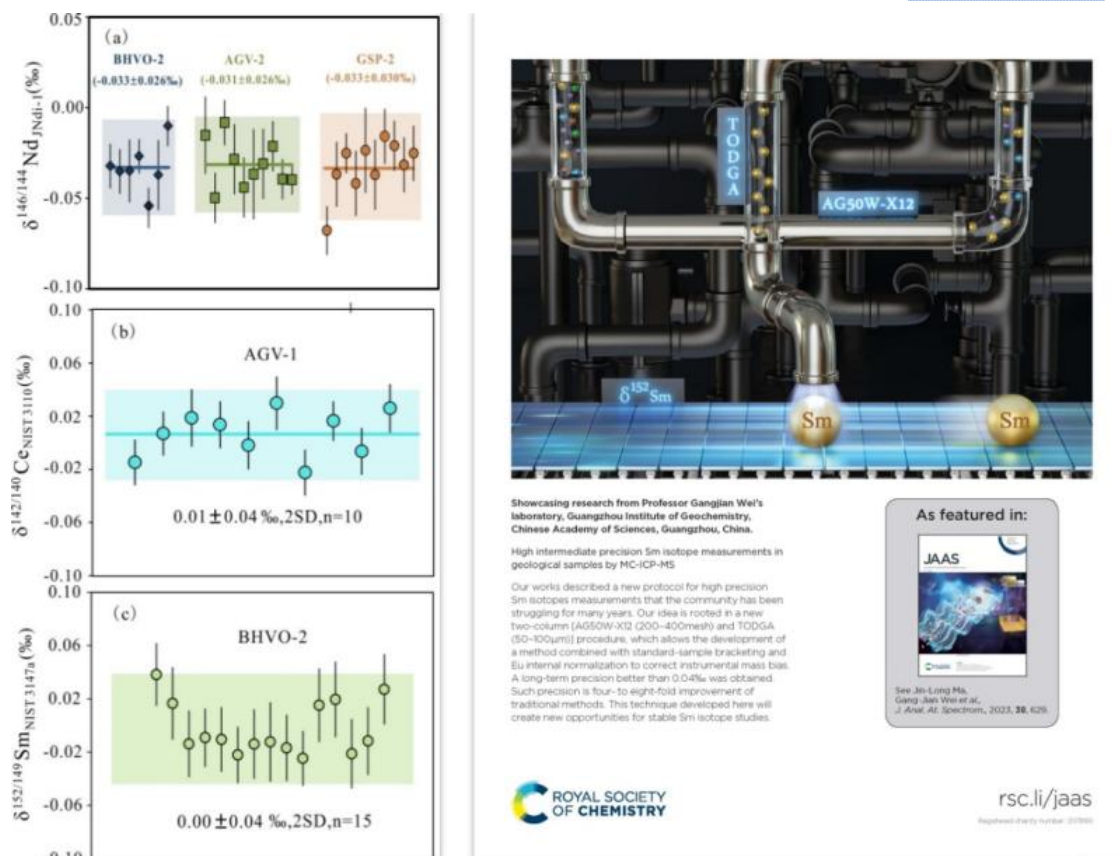


图 14 Nd-Ce-Sm 稳定同位素的外部重现性

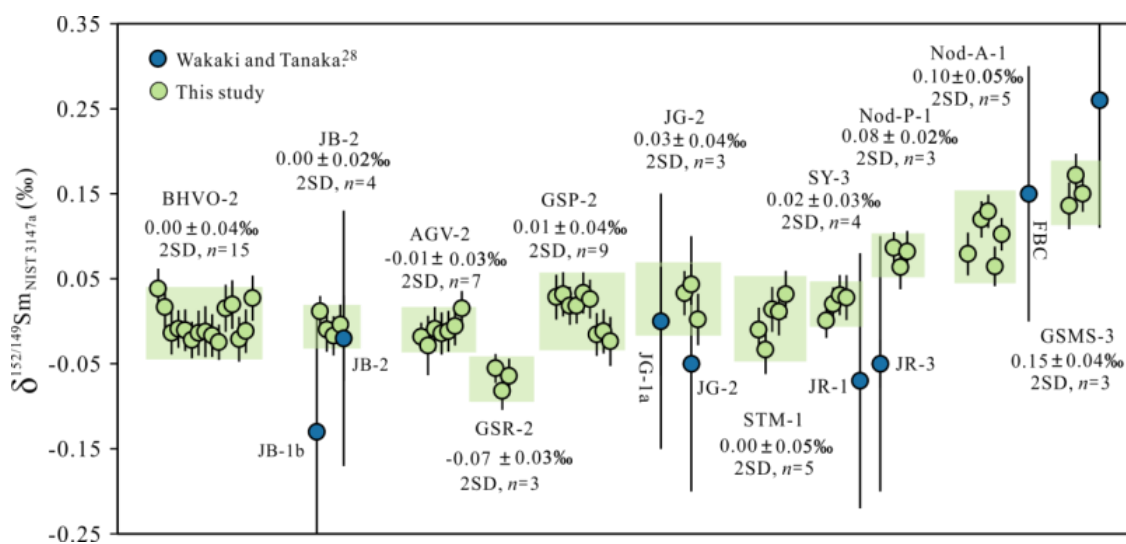


图 15 地质参考物质的稳定 Sm 同位素组成

(来源: 中科院广州地化所)

上海大学：在纳米晶多硬相复合稀土永磁材料研究方面取得重要进展

近日，上海大学材料学院杜娟教授团队和中国科学院宁波材料技术与工程研究所边宝茹副研究员等合作在国际著名期刊 *Materials Today Physics* 发表题为“Tripling magnetic energy product in magnetic hard/soft nanocomposite permanent magnets”以及 *J.Mater.Sci.Technol.* 上发表题为“High magnetic energy product in isotropic nanocomposite powders with high percent of soft phase towards ultrastrong magnets”研究论文。全伟、马龙飞和樊金奎为论文共同第一作者，杜娟教授和郑强教授为共同通讯作者。

具有超高磁能积和低稀土含量的软硬纳米复合永磁材料是最有可能实现的新一代永磁材料。纳米复合稀土永磁薄膜已经获得了远高于单相磁体的高磁能积，实现了性能上的突破。然而在纳米复合磁粉及块状磁体的物理法制备方面却遇到了瓶颈，这主要是因为纳米结构微观组织调控上存在诸多困难，包括软硬磁相的尺寸难以控制（通常 $>20\text{nm}$ ）、合适的相组成及高的软磁相含量（通常 $<28\%$ ）难以获得，导致软硬磁相难以达到理想的耦合条件。国内外在各向同性的 $\text{SmCo}/\text{Fe}(\text{Co})$ 纳米复合稀土永磁材料中获得的磁能积最大仅为 19.2MGOe ，甚至低于实验室和商业 SmCo_5 单相各向异性磁体所能获得最大值。杜娟教授多年来从事纳米晶磁性材料研究，研究团队通过多相纳米晶材料两步制备新工艺制备出了最高磁能积大于 29MGOe 的各向同性 SmCo/FeCo 复合材料，突破了 SmCo_5 单相各向同性稀土永磁材料 25MGOe 的最大值。这是纳米复合稀土永磁材料研究领域里程碑式的重要进展。

杜娟教授研究团队基于近期系列研究成果提出了多硬相复合来提高稀土永磁体剩磁的途径，发展了具有剩磁增强效应的多相硬纳米晶粉体和块体的可控

制备新方法。对于永磁材料来说，多硬相复合材料包括多硬相的硬-硬相复合永磁材料和多硬相的软-硬相纳米复合永磁材料。团队发展了多硬相纳米晶材料的两步制备新工艺：第一步采用两种以上原材料通过优化的球磨工艺制备出高度均匀分散的非晶纳米晶基材，第二步利用低温退火或低温多级温压工艺制备纳米晶复合粉体和高致密度的纳米晶复合块体材料。该工艺制备出来的纳米晶材料可实现所含多相颗粒的均匀分布；所含相含量连续可调（0~50%）；晶粒可实现<20nm 的纳米晶尺寸。

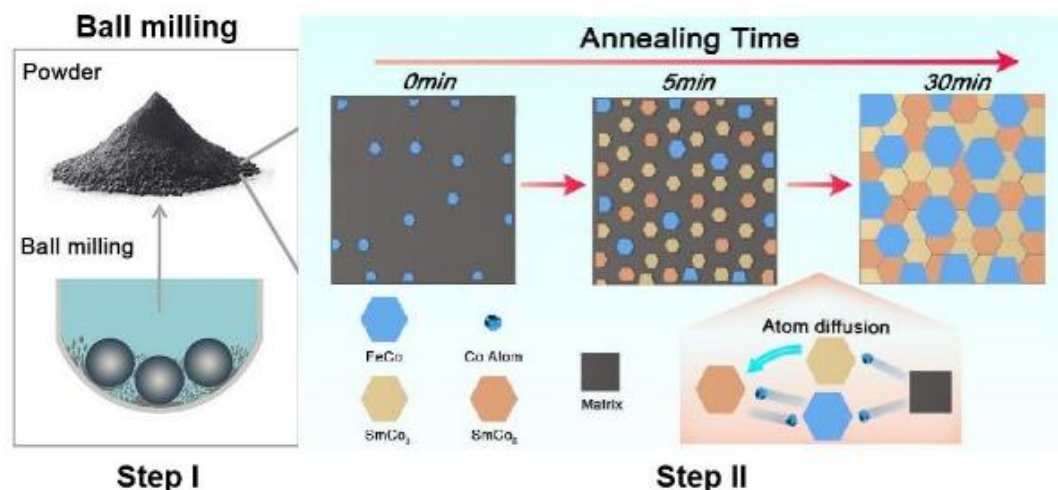


图 16 多硬相纳米复合稀土永磁材料的制备过程及微结构演变示意图

研究团队基于多相纳米晶材料可控制备工艺，利用 Sm-Co 合金和 Fe 粉为原材料，成功制备出磁能积为 23.6~29.1MGOe 的各向同性多硬相 SmCo/FeCo 粉体和块体材料，超过了 SmCo₅ 单相各向异性磁体 25MGOe 的最大值，所获得的各向同性 SmCo/FeCo 复合材料的磁能积是各向同性 SmCo₃ 单硬相磁能积的 9 倍，是各向同性 SmCo₅ 单相磁能积的 3 倍。该研究所获得的最大磁能积是目前各向同性纳米复合稀土永磁材料的磁能积记录（见图 17）。多硬相 SmCo/FeCo 纳米晶复合材料的高磁能积的获得源于其特殊的微观组织结构：多硬相 SmCo 主要包括 1:3 和 1:5 相，还有少量的 1:7 相和 2:17 相 Sm-Co，硬相成分中含有 Fe 元素；软相是具有高饱和磁化强度的 FeCo 相（纳米复合材料的微观组织结构见图

18)。其中硬相的平均晶粒尺寸 $<10\sim15\text{nm}$ ，软相的平均晶粒尺寸 $<15\sim20\text{nm}$ 。当软磁相 FeCo 达到 25~50%时，磁能积能达到 25MGOe 以上的水平。

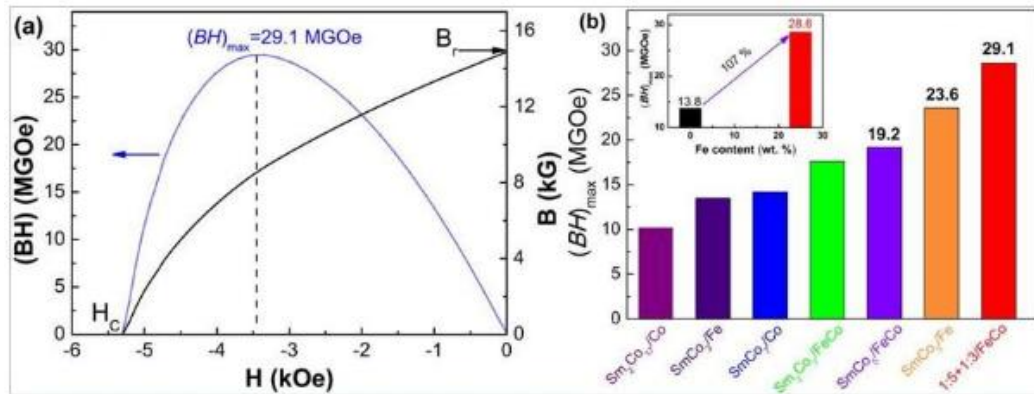


图 17 各向同性多硬相 SmCo/FeCo 纳米复合材料的最大磁能积 (a)，与报道的各向同性纳米复合磁体的代表性磁能积对比 (b)

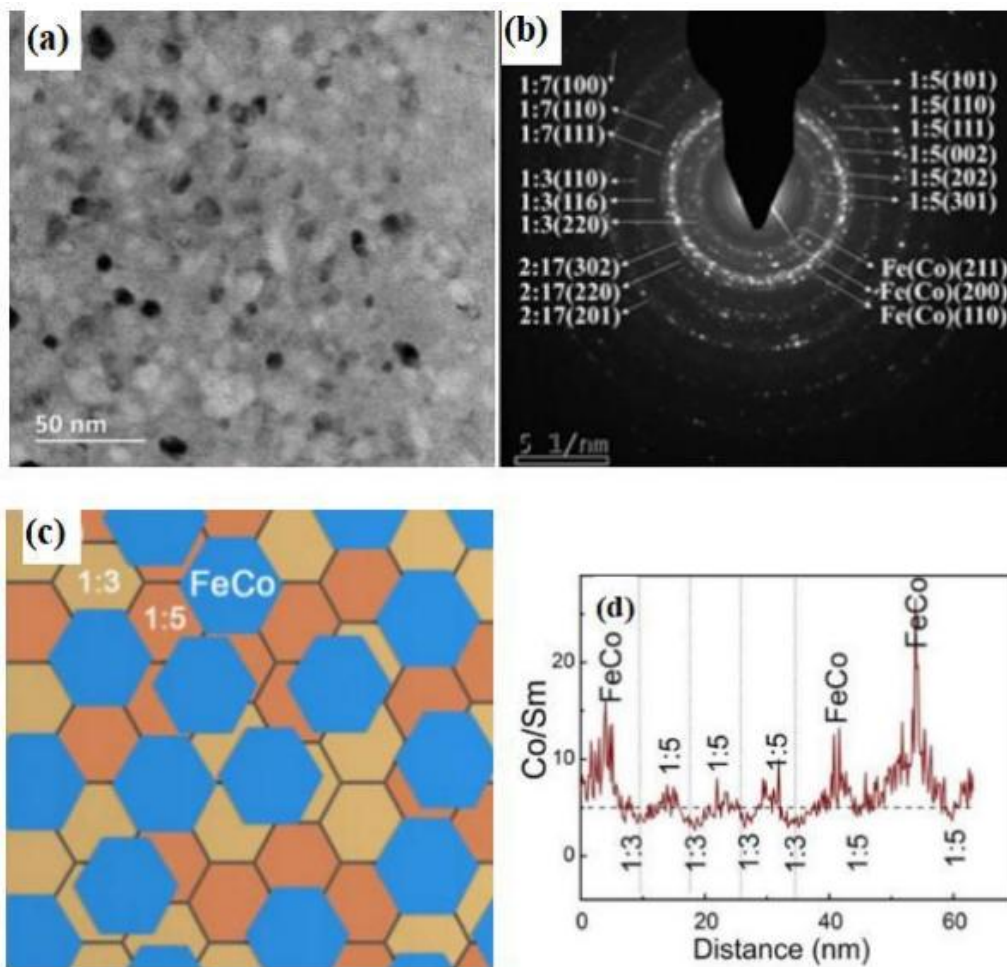


图 18 SmCo/FeCo 纳米复合材料的微观组织结构 (a)，所含相组成 (b)，所含主要硬相和软相的微观组织示意图 (c)，成分线扫描 (d)

研究团队基于以上工作发表的代表性 SCI 论文：J. Mater. Sci. Technol. 144(2023)161；Materials Today Physics, 26(2022)100750；J. Mater. Sci. Technol. 37(2020)181；35(2019)560。该工作得到了国家自然科学基金面上项目（No.52171184）和浙江省自然科学基金重大项目(No.LD19E010001)的支持。

（来源：上海大学）

江西：推动金属行业碳达峰 加快铜、钨、稀土等 产业生产工艺流程改造

日前,《江西省人民政府关于印发江西省碳达峰实施方案的通知》发布,通知称将推动金属行业碳达峰,加快铜、钨、稀土等产业生产工艺流程改造,推广绿色制造新技术、新工艺、新装备,推进清洁能源替代,提升余热回收水平,推动单位产品能耗持续下降。推进有色金属行业集中集聚集约发展和生产智能化、自动化、低碳化,建设以鹰潭为核心的世界级铜产业集群和以赣州为核心的世界级特色钨、稀土产业集群,打造以新余、宜春为核心的全球锂电产业高地。加快再生有色金属产业发展,提高再生铜、再生铝、再生稀贵金属产量。引导有色金属生产企业建立绿色低碳供应链管理体系。

主要目标

“十四五”期间,产业结构和能源结构明显优化,重点行业能源利用效率持续提高,煤炭消费增长得到有效控制,新能源占比逐渐提高的新型电力系统和能源供应系统加快构建,绿色低碳技术研发和推广应用取得新进展,绿色生产生活方式普遍推行,有利于绿色低碳循环发展的政策体系逐步完善。到 2025 年,非化石能源消费比重达到 18.3%,单位生产总值能源消耗和单位生产总值二氧化碳排放确保完成国家下达指标,为实现碳达峰奠定坚实基础。

“十五五”期间,产业结构调整取得重大进展,战略性新兴产业和高新技术产业占比大幅提高,重点行业绿色低碳发展模式基本形成,清洁低碳安全高效的能源体系初步建立。经济社会发展全面绿色转型走在全国前列,重点耗能行业能

源利用效率达到国内先进水平。新能源占比大幅增加，煤炭消费占比逐步减少，绿色低碳技术实现普遍应用，绿色生活方式成为公众自觉选择，绿色低碳循环发展政策体系全面建立。到 2030 年，非化石能源消费比重达到国家确定的江西省目标值，顺利实现 2030 年前碳达峰目标。

重点任务

（一）能源绿色低碳转型行动。能源是经济社会发展的重要物质基础，也是碳排放的主要来源。要坚持安全平稳降碳，在保障能源安全的前提下，大力实施可再生能源替代，加快构建清洁低碳安全高效的能源体系。

1. 推动化石能源清洁高效利用。**有序控制煤炭消费增长，合理控制石油消费，大力实施化石能源消费减量替代。**统筹煤电发展和保供调峰，做好重大风险研判化解预案，保障能源安全稳定供应。大力推动化石能源清洁高效利用，积极推进现役煤电机组节能降碳改造、灵活性改造和供热改造“三改联动”，推动煤电向基础性和系统调节性电源并重转型。推进瑞金二期、丰城三期、信丰电厂、新余二期等已核准清洁煤电项目建设，支持应急和调峰电源发展。统筹推进煤改电、煤改气，推进终端用能领域电能替代，推广新能源车船、热泵、电窑炉等新兴用能方式，全面提升生产生活终端用能设备的电气化率。严格控制钢铁、建材、化工等行业燃煤消耗量，保持非电用煤消费负增长。加快全省天然气的发展利用，有序引导天然气消费，优化天然气利用结构，优先保障民生用气，支持车船使用液化天然气作为燃料。

2. 大力发展新能源。**以规划为引领，加大新能源开发利用力度，大力推进光伏开发，有序推进风电开发，统筹推进生物质和城镇生活垃圾发电发展。**坚

持市场导向，集中式与分布式并举，创新“光伏+”应用场景，积极推进“光伏+水面、农业、林业”和光伏建筑一体化（BIPV）等综合利用项目建设。积极对接国家核电发展战略，稳妥推进核电。加大地热能勘查开发力度，因地制宜采用太阳能、风能、地热能、生物质能等多种清洁能源与天然气、电力耦合供热。鼓励利用可再生能源电力实现建筑供热(冷)、炊事、热水，推广太阳能发电与建筑一体化。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量 达到 0.6 亿千瓦，生物质发电装机容量力争达到 150 万千瓦左右。

3. 加快建设新型电力系统。推动能源基础设施可持续转型，建立健全新能源占比逐渐提高的新型电力系统。优化提升能源输送网络，加快构建“1 个中部核心双环网+3 个区域电网”的供电主网架、“十”字形输油网架、多点互联互通“县县通气”的输气网架。加快能源基础设施智能化改造和智能系统建设。大力提升电力系统综合调节能力，加快灵活调节电源建设，引导自备电厂、传统高载能工业负荷、工商业可中断负荷、电动汽车充电网络、虚拟电厂等参与系统调节，建设坚强智能电网。鼓励投资建设以消纳可再生能源为主的智能微电网。加强赣南等原中央苏区、罗霄山脉片区和其他已脱贫地区等区域农网改造。积极引入优质区外电力，新建通道可再生能源电量比例原则上不低于 50%。加快拓展清洁能源电力特高压入赣通道，推进闽赣联网工程。加强源网荷储协调发展、新型储能系统示范推广应用，发展“新能源+储能”，推动风光储一体化，推进新能源电站与电网协调同步。推动电化学储能、抽水蓄能等调峰设施建设，提升可再生能源消纳和存储能力。到 2025 年，新型储能装机容量达到 100 万千瓦。到 2030 年，抽水蓄能电站装机容量力争达到 1000 万千瓦，全省电网具备 5%左右的尖峰负

荷响应能力。

4. 全面深化能源制度改革。持续深化电力体制改革，探索建设江西电力现货市场，丰富交易品种，完善交易机制，扩大电力市场化交易规模、交易多样性和反垄断性。稳步推进省级天然气管网改革，加快以市场化方式融入国家管网，推动管网基础设施公平开放。探索城镇燃气特许经营权改革。创新能源监管和治理，完善能源监测预警机制，做好精准科学调控。

（二）工业领域碳达峰行动。工业是二氧化碳排放的主要领域之一，对全省实现碳达峰具有重要影响。要加快工业低碳转型和高质量发展，推进重点行业节能降碳。

1. 推动工业低碳发展。优化产业结构，依法依规淘汰落后产能，打造低碳产业链。聚焦航空、电子信息、装备制造、中医药、新能源和新材料等优势产业，延伸产业链、提升价值链、融通供应链。强化能源、钢铁、石化化工、建材、有色金属、纺织、造纸、食品等行业间耦合发展，推动产业循环链接，支持钢化联产、炼化一体化、林纸一体化等模式推广应用。鼓励龙头企业联合上下游企业、行业间企业开展协同降碳行动，构建企业首尾相连、互为供需、互联互通的产业链。建设若干制造业高质量发展中心，培育一批绿色工厂、绿色设计产品、绿色园区和绿色供应链企业。大力实施数字经济做优做强“一号发展工程”，推进制造业数字化智能化迭代升级，推动先进制造业和现代服务业深度融合，推广协同制造、服务型制造、智慧制造、个性化定制等“互联网+制造”新模式。优化工业能源消费结构，推动化石能源清洁高效利用，提高可再生能源应用比重。

2. 推动钢铁行业碳达峰。深入推进钢铁行业供给侧结构性改革，严格执行

产能置换政策，严禁违规新增产能，依法依规淘汰落后产能，优化存量。依托重点骨干企业，重点开发先进制造基础零部件、新能源汽车、高端装备、海洋工程等用钢和其他高品质特殊钢技术和产品。推进上下游产业链整合，提高产业集中度和产业链完整度。促进工艺流程结构转型，推进风能、太阳能、氢能等清洁能源替代。推广绿色低碳技术与生产工艺，有序推进钢铁行业超低排放改造。开展非高炉炼铁技术示范，完善废钢资源回收利用体系，推进废钢铁利用产业一体化，提升技术工艺和节能环保水平，积极发展全废钢冶炼。

3. 推动有色金属行业碳达峰。加快铜、钨、稀土等产业生产工艺流程改造，推广绿色制造新技术、新工艺、新装备，推进清洁能源替代，提升余热回收水平，推动单位产品能耗持续下降。推进有色金属行业集中集聚集约发展和生产智能化、自动化、低碳化，建设以鹰潭为核心的世界级铜产业集群和以赣州为核心的世界级特色钨、稀土产业集群，打造以新余、宜春为核心的全球锂电产业高地。加快再生有色金属产业发展，提高再生铜、再生铝、再生稀贵金属产量。引导有色金属生产企业建立绿色低碳供应链管理体系。

4. 推动建材行业碳达峰。坚持绿色、高端、多元发展方向，做优水泥等传统基础产业，做强玻璃纤维、建筑陶瓷等特色优势产业，大力发展非金属矿物及制品、新型绿色建材等新兴成长产业。

5. 推动石化化工行业碳达峰。优化产业布局，推进化工园区达标认定和规范建设，提高产业集中度和化工园区集聚水平。鼓励石化企业和化工园区建设能源综合管理系统，实现能源系统优化和梯级利用。严格项目准入，落实国家石化、煤化工等产能控制政策，深入推动炼化一体化转型，鼓励企业“减油增化”，有

效化解结构性过剩矛盾。鼓励企业以电力、天然气作为煤炭替代燃料。加大富氢原料使用，提高原料低碳化比重，推动化工原料轻质化。加强有机氟硅材料应用开发，发展高端专用化学品和精细化学品，优化氯碱产品结构，着力提升石油化工、有机硅、氯碱化工、精细化工等优势产业链。鼓励企业实施清洁低碳生产升级改造，全流程推动工艺、技术和装备升级，推进余热余压利用和物料循环利用。到2025年，原油一次性加工能力控制在0.1亿吨，主要产品产能利用率稳定在80%以上。

（三）城乡建设碳达峰行动。加快推动城乡建设绿色低碳发展，在城市更新和乡村振兴中落实绿色低碳要求。大力优化建筑用能结构。深化可再生能源建筑应用，推广光伏发电与建筑一体化应用。

（四）交通运输绿色低碳行动。

（五）节能降碳增效行动。落实节约优先方针，完善能源消费强度和总量双控制度，严格能耗强度控制，加强高耗能、高排放、低水平项目管理，合理控制能源消费总量，推动能源消费革命，建设能源节约型社会。

（六）循环经济降碳行动。抓住资源利用这个源头，大力发展循环经济，优化资源利用方式，健全资源利用机制，全面提高资源利用效率，充分发挥减少资源消耗和降碳的协同作用。

（七）科技创新引领行动。充分发挥科技创新引领作用，完善科技创新体制机制，强化创新能力，推进绿色低碳科技革命。

1. 加快绿色低碳技术研发推广应用。实施省级碳达峰碳中和科技创新专项，加快能源结构深度脱碳、高效光伏组件、生物质利用、零碳工业流程再造、安

全高效储能、固碳增汇等关键核心技术研发，推动低碳零碳负碳技术实现重大突破。聚焦可再生能源大规模利用、节能、氢能、永磁电机、储能、动力电池等重点领域深化研究。瞄准储能电池中关键基础材料，集中力量开展关键核心技术攻关。积极发展氢能技术，推进氢能在工业、交通、建筑等领域规模化应用。鼓励重点行业、重点领域合理制定碳达峰碳中和技术路线图，在钢铁、有色金属、建材等重点行业实施全流程、集成化、规模化示范应用项目。完善绿色技术目录，加大绿色低碳技术推广，开展新技术示范应用。

2. 推进碳捕集利用与封存技术攻关和应用。加大二氧化碳捕集利用与封存技术研发力度，针对碳捕集、分离、运输、利用、封存及监测等环节开展核心技术攻关。加强成熟二氧化碳捕集利用与封存技术在全省电力、石化、钢铁、陶瓷、水泥等行业的应用。开展全省碳封存资源分布及容量调查，适时启动碳封存重大工程。鼓励开展二氧化碳资源化利用技术研发及应用，积极探索二氧化碳资源化利用的产业化发展路径。

3. 完善绿色低碳技术创新生态。采取“揭榜挂帅”等创新机制，持续推进低碳零碳负碳和储能关键核心技术攻关。

4. 支持绿色低碳创新平台建设。全面推进鄱阳湖国家自主创新示范区建设，深入实施国家级创新平台攻坚行动、引进共建高端研发机构专项行动，扶持节能降碳和能源技术产品研发重大创新平台和新型研发机构。发挥省碳中和研究中心、南昌大学流域碳中和研究院等创新平台作用，积极争创国家科技创新平台。推动创新要素向科创城集聚，支持赣州、九江、景德镇、萍乡、新余、宜春、鹰潭立足本地优势创建科创城。依托中科院赣江创新研究院、国家稀土功能材料创

新中心，全面提升有色金属领域创新能力。引导有色金属、建材等行业龙头企业联合高校、科研院所和上下游企业共建绿色低碳产业创新中心、协同创新产业技术联盟。

（来源：江西省人民政府）

2023 年 4 月稀土价格走势

一、稀土价格指数

4 月份，稀土价格指数呈缓慢下行趋势。本月平均价格指数为 208.6 点。价格指数最高为 4 月 4 日的 226.0 点，最低为 4 月 28 日的 192.9 点。高低点相差 33.1 点，波动幅度为 15.9%。

2023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 21.46 万元/吨，环比下跌 12.0%。

三、主要稀土产品

（一）轻稀土

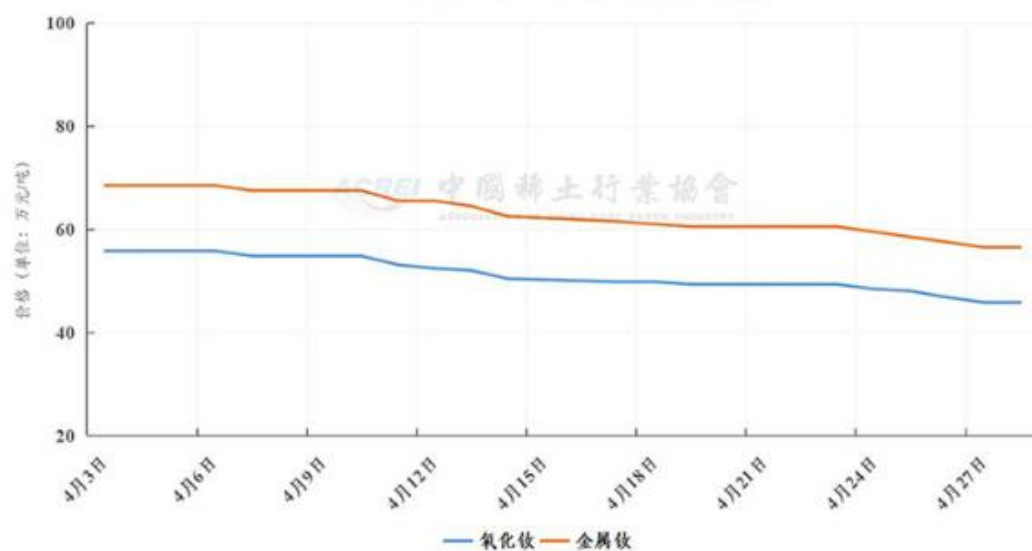
4 月份，氧化镨钕均价为 48.68 万元/吨，环比下跌 18.0%；金属镨钕均价为 59.26 万元/吨，环比下跌 17.3%。

2023年4月氧化镨钕、镨钕金属价格走势



4月份，氧化钕均价为 50.83 万元/吨，环比下跌 19.8%; 金属钕均价为 62.58 万元/吨，环比下跌 18.9%。

2023年4月氧化钕、金属钕价格走势



4月份，氧化镨均价为 49.57 万元/吨，环比下跌 18.2%。99.9%氧化镧均价为 0.63 万元/吨，环比下跌 9.9%。99.99%氧化铈均价为 19.80 万元/吨，环比与上月持平。

（二）重稀土

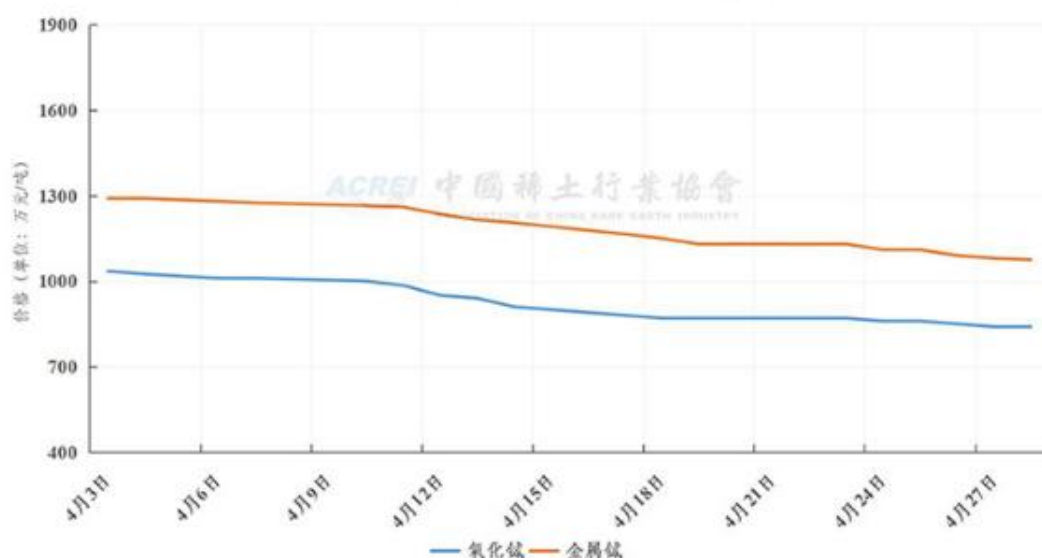
4 月份，氧化镝均价为 194.23 万元/吨，环比下跌 2.1%；镝铁均价为 191.50 万元/吨，环比下跌 2.7%。

2023年4月氧化镝、镝铁价格走势



4 月份，99.99%氧化铽均价为 917.25 万元/吨，环比下跌 11.5%；金属铽均价为 1180.73 万元/吨，环比下跌 11.5%。

2023年4月氧化铽、金属铽价格走势



4 月份，氧化钬均价为 60.27 万元/吨，环比下跌 2.7%；钬铁均价为 61.83 万元/吨，环比下跌 3.0%。



4 月份，99.999%氧化铒均价为 5.00 万元/吨，环比下跌 2.2%。氧化铒均价为 26.10 万元/吨，环比下跌 1.0%。

表 1 2023 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	2023 年 3 月平均价	2023 年 4 月平均价	环比
氧化镧	≥ 99%	7.00	6.31	-9.86%
氧化铈	≥ 99%	7.50	6.51	-13.20%
氧化镨	≥ 99%	605.75	495.70	-18.17%
氧化钕	≥ 99%	633.90	508.25	-19.82%
金属钕	≥ 99%	771.85	625.75	-18.93%
氧化钐	≥ 99.9%	15.00	15.00	0.00%
氧化铈	≥ 99.99%	198.00	198.00	0.00%
氧化钐	≥ 99%	297.15	266.60	-10.28%
钐铁	≥ 99%Gd75% ±2%	284.70	256.70	-9.83%
氧化铽	≥ 99.9%	10367.50	9172.50	-11.53%
金属铽	≥ 99%	13340.00	11807.25	-11.49%
氧化镱	≥ 99%	1984.50	1942.25	-2.13%
镱铁	≥ 99%Dy80%	1967.75	1915.00	-2.68%
氧化钬	≥ 99.5%	619.10	602.65	-2.66%

市场行情

钬铁	≥99%Ho80%	637.65	618.25	-3.04%
氧化铒	≥99%	263.70	261.00	-1.02%
氧化镱	≥99.99%	96.00	96.00	0.00%
氧化镱	≥99.9%	5850.00	5782.50	-1.15%
氧化钕	≥99.999%	51.10	50.00	-2.15%
氧化镨钕	≥99%Nd ₂ O ₃ 75%	593.35	486.80	-17.96%
镨钕金属	≥99%Nd75%	716.80	592.55	-17.33%

(来源：中国稀土行业协会)

稀土尾矿在无光釉中的应用研究

1 前言

我国作为稀土资源大国，因为对稀土资源的随意消耗和浪费，稀土尾矿堆积数量不断增加，大量的稀土尾矿未经利用就排放到山区，对周围环境造成了严重的污染。因此，这引起了人们的高度关注，稀土尾矿的综合回收利用已经成为研究者们重点关注问题。在 20 世纪 90 年代的时候，袁定华就开始使用稀土尾矿作为原料使用在陶瓷坯釉中，首次以稀土尾矿作为主要原料烧制出了热稳定性好，色泽新颖古雅的高稀土尾矿青瓷，为以后的研究者们利用稀土尾矿制作新型陶瓷提供了想法。江民涛也是以稀土尾矿为主要原料，制备出了成瓷较好、吸水率低的紫砂红地砖，其性能比国家要求的标准性能指标都要好。查越以赣南稀土尾矿为主要原料，通过改善工艺等方法制备出了性能良好的抛光砖。谢俊等采用烧结法制备稀土尾矿微晶玻璃板材，以 20wt%稀土尾矿为原料，制备出晶体生长比较完整、外表美观、性能优良的微晶玻璃。本实验以稀土尾矿、钾长石、石灰石、石英、高岭土等为主要原料来制备低成本的陶瓷无光釉。

2 实验

2.1 实验原料

此次实验所用到的原料及其化学成分如表 2、表 3。

表 2 稀土尾矿化学组成（wt%）

稀土尾矿	CaO	La ₂ O ₃	Cl	MgO	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
含量	47.54	16.54	9.74	8.04	6.72	3.30	3.17	1.57	0.81

表 2 稀土尾矿化学组成（wt%）(续)

稀土尾矿	PbO	Y ₂ O ₃	F	BaO	TiO ₂	K ₂ O	Tm ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	PtO ₃
含量	0.32	0.32	0.15	0.23	0.09	0.07	0.22	0.06	0.01

表 2 稀土尾矿化学组成（wt%）(续)

稀土尾矿	MnO	ZnO	U	CuO	SrO	WO ₃	P ₂ O ₅	Yb ₂ O ₃
含量	0.33	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.47	0.20

表 3 原料的化学组成（wt%）

原料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	BaO	IL
钾长石	64.42	17.78	0.06	0.93	0.07	0.03	14.3	1.09		1.07
方解石	0.25	0.15	0.10	55.39	0.04			0.21		43.81
滑 石	63.3	0.28	31.30	2.67	0.10	0.01				2.23
石灰石	0.75	0.15	0.10	55.39	0.04			0.21		43.86
高岭土	48.15	36.37	0.01		0.44	0.02	0.48			13.73
碳酸钡									77.66	22.34
烧高岭	56.61	43.39								
石英	98.99									1.01
氧化铝		99.00								

2.2 实验仪器

表 4 主要仪器设备

仪器	型号	生产厂家	用途
电子天平	YP/JA 型	常州市宏衡电子仪器厂	称量
电热鼓风干燥箱	101-1A	湘潭市仪器仪表有限公司	干燥
快速球磨机	BIH-QMJ-1	景德镇百陶会陶艺装备有限公司	球磨
手动制样机	SDJ-10	湘潭市仪器仪表有限公司	打饼
半自动高温电炉	GD-MFZ	景德镇市光达陶瓷设备厂	烧成
白度仪	WSD-2	上海昕瑞仪器仪表有限公司	检测白度
光泽度	BZ45	湘潭市仪器仪表有限公司	检测光泽度

2.3 实验过程

实验将釉用原料按照料：球：水=1:2:0.7 放入快速球磨机球磨 10min，出磨后经过筛、除铁，将釉浆比重调至 1.6~1.7g/cm3，对产品进行施釉，釉层厚度 1~2mm，干燥后放入高温电炉内以室温~300℃，100min；300~1000℃，100min；1000~1300℃，60min；保温 20min 升温制度烧制样品。

3 结果分析与讨论

3.1 稀土尾矿在钙无光釉中的应用

表 5 钙无光釉配方（wt%）

名称	钾长石	石英	石灰石	氧化铝	滑石	硅酸锆	高岭土
配方	21.4	35.7	11.4	17.2	4.3	4.3	5.7

实验以表 5 为钙无光釉基础配方，通过外加与替换的方式探究稀土尾矿在钙无光釉中的应用。3.1.1 稀土尾矿外加对钙无光釉釉面的影响实验以表 5 为钙无光釉基础配方，外加稀土尾矿釉面效果如表 6 和图 19 所示：

表 6 稀土尾矿外加对釉面效果的影响

配方	稀土尾矿	白度	光泽度	釉面特征
C-1	5	73.9	32.0	釉面平整，平滑
C-2	10	80.9	30.1	釉面平滑，细腻
C-3	15	75.6	22.2	釉面平整，但有少许针孔
C-4	20	71.0	29.8	釉面平整，但有较多针孔
C-5	25	70.2	14.5	釉面粗糙，且有很多针孔
C-6	30	68.4	9.9	釉面不平整，并且釉面有很多针孔
C-7	35	67.2	11.3	釉面不平整，并且釉面有很多针孔
C-8	40	63.0	12.4	釉面不平整，并且釉面有很多针孔
C-9	45	62.6	9.2	釉面不平整，并且釉面有很多针孔
C-10	50	61.1	8.7	釉面不平整，并且釉面有很多针孔

表 6 中显示的是不同含量的稀土尾矿对钙质无光釉的影响，从表中数据结合图 19（b）可以看出，随着外加稀土尾矿的含量越来越多，釉面白度和光泽度整体都是呈现下降的趋势。但当稀土尾矿加入量为 10wt%时，釉面白度最高为 80.9%。由图 19（a）釉面效果来看，随着稀土尾矿加入量的增多，釉面越来越粗糙，也越来越来不平整，当稀土尾矿加入量为 10wt%时即 C-2 配方，釉面对

比其他样品更加细腻和平滑。因为稀土尾矿中含有 47.54% 的 CaO ， CaO 不仅起助熔作用，可降低釉熔体的高温黏度，还可提高釉面的光泽度，但在 SiO_2 过多或过少的釉中， CaO 含量过多，易引起釉面粗糙，析晶。因此，稀土尾矿加入量为 10wt% 时，釉面效果最好。

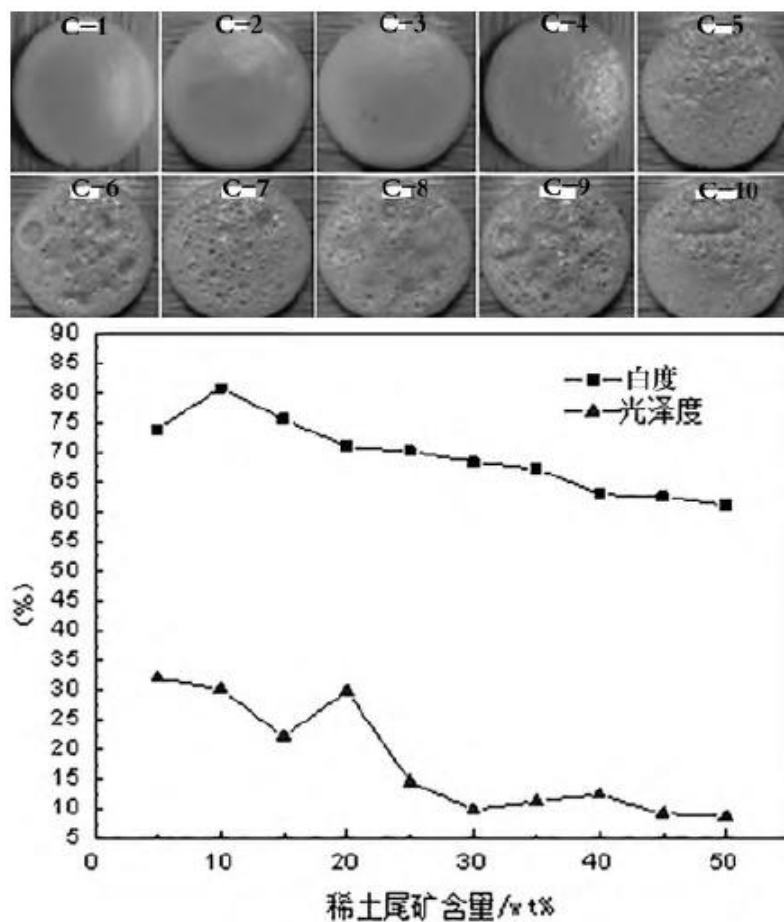
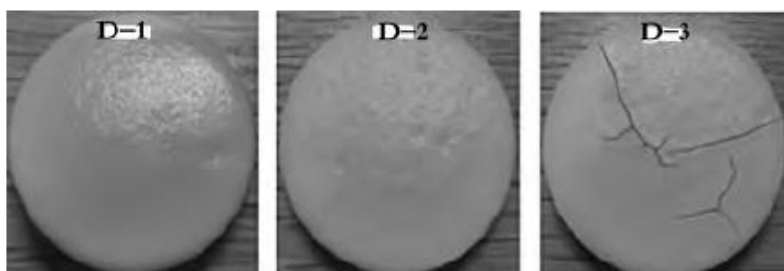


图 19 稀土尾矿外加对釉面的影响 (a 釉面效果图; b 白度和光泽度曲线图)

3.1.2 稀土尾矿替换石灰石对钙无光釉釉面的影响



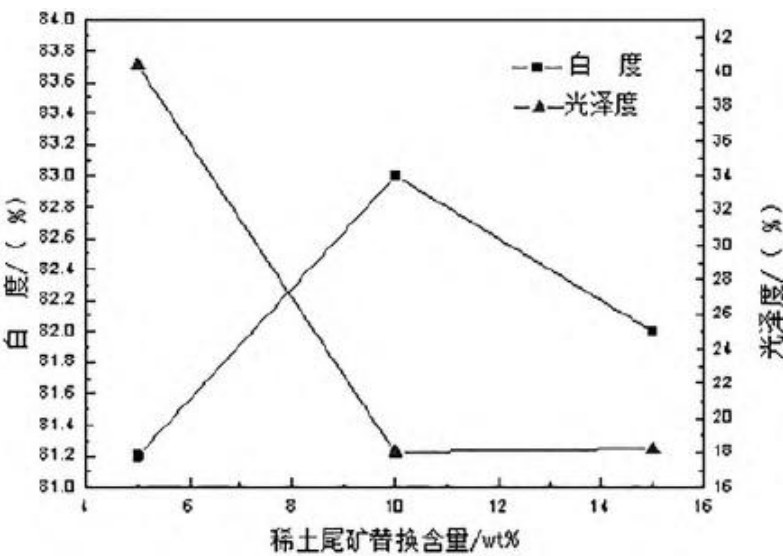


图 20 稀土尾矿含量对釉面的影响（a 釉面效果图；b 白度和光泽度曲线图）

表 7 稀土尾矿含量替换对釉面白度与光泽度的影响

配方	石灰石	稀土尾矿	白度	光泽度	釉面特征
D-1	6.4	5	81.2	40.4	釉面平整，釉面较好
D-2	1.4	10	83.0	18.0	釉面略显粗糙，不平滑
D-3	0	15	82.0	18.2	釉面开裂

实验以表 5 所示为钙无光釉基础配方，用稀土尾矿替换石灰石釉面效果如表 7 和图 20 所示：表 7 中显示的是稀土尾矿替换石灰石对钙质无光釉的影响，从表中数据结合图 20（b）可以看出，随着稀土尾矿替换石灰石的含量从 5wt% 到 10wt%，釉面白度提高，光泽度降低；当替换含量从 10wt%到 15wt%时，白度降低，光泽度略有提高。因此当稀土尾矿替换量为 10wt%时，釉面白度最高，光泽度也较低。且结合图 20（a）釉面效果来看，随着稀土尾矿替换含量的增加，釉面越来越粗糙，D-3 釉面甚至开裂。故当稀土尾矿替换量为 5wt%时，

釉面效果稍好一些。在稀土尾矿替换石灰石实验中的釉面效果并没有稀土尾矿外加实验的效果好，可能是稀土尾矿含有的其他成分的影响。

3.2 稀土尾矿在镁无光釉中的应用

实验以表 8 所示为镁无光釉基础配方，通过外加与替换的方式探究稀土尾矿在镁无光釉中的应用。

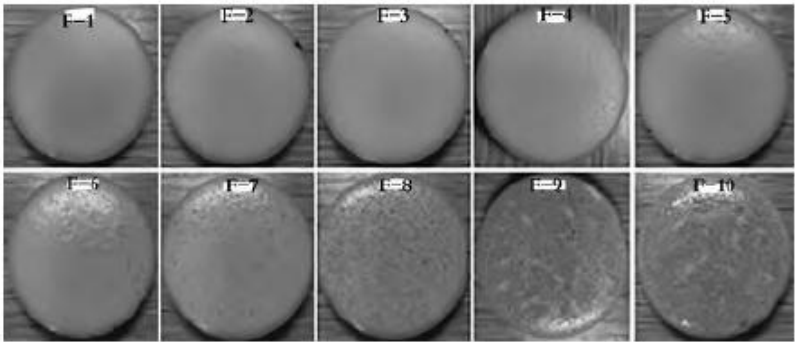
表 8 镁无光釉配方（wt%）

名称	钾长石	石英	方解石	滑石	高岭土
配方	36.6	15.5	11	28.6	8.3

3.2.1 稀土尾矿外加对镁无光釉釉面的影响

根据表 9 和图 21（b）中数据可知，随着稀土尾矿的含量的增加，釉面白度整体呈下降趋势，光泽度整体呈现上升趋势。但当稀土尾矿加入量为 10wt% 时，白度最高，光泽度最低。结合图 21（a）釉面效果来看，F-1 到 F-5 之间的配方白度和光泽度都较好，主要是釉面逐渐粗糙。F-1 到 F-3 之间的配方的釉面都较光滑，因此，稀土尾矿外加最大可达 15wt%。因为稀土尾矿中含有 47.54% 的 CaO，CaO 不仅起助熔作用，可降低釉熔体的高温黏度，还可提高釉面的光泽度。随着稀土尾矿的含量的增加，釉面析晶越来越少的现象，有可能是烧滑石含量中镁的含量减少，致使析晶减少。

3.2.2 稀土尾矿替换方解石对镁无光釉釉面的影响



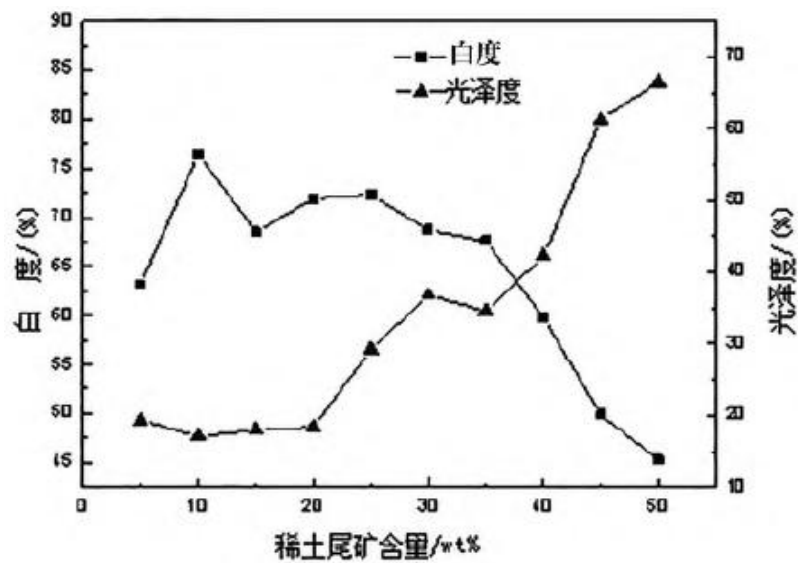


图 21 稀土尾矿含量对釉面影响（a 釉面效果图；b 白度和光泽度曲线图）

表 9 不同稀土尾矿含量对釉面白度与光泽度的影响

配方	稀土尾矿	白度	光泽度	釉面特征
F-1	5	63.2	19.3	釉面平整平滑，较好
F-2	10	76.4	17.1	釉面略显粗糙，有较多针孔
F-3	15	68.5	18.0	釉面有点粗糙，有少许针孔
F-4	20	71.9	18.4	釉面粗糙，有大量针孔
F-5	25	72.3	29.2	釉面粗糙，针孔较多
F-6	30	68.7	36.8	釉面平整，但没有完全析晶
F-7	35	67.6	34.6	釉面平整，有较多没有析晶
F-8	40	59.8	42.2	釉面平滑，有很多没有析晶
F-9	45	49.9	61.3	釉面平滑，有很多没有析晶
F-10	50	45.3	66.4	釉面平滑，有很多没有析晶

表 10 为稀土尾矿替换方解石实验数据，由表中数据和图 22（b）可知，随着稀土尾矿替换含量的增多，釉面白度越来越高，光泽度越来越低。但是，结合图 22（a）釉面效果来看，随着稀土尾矿含量的增加，釉面却越来越粗糙，越来越不平整。可能的原因有，虽然稀土尾矿和方解石两者含有的 CaO 含量差不

多，但稀土尾矿含有 16.54wt%的 La_2O_3 是方解石所没有的，因此，影响到了釉面的效果。最后稀土尾矿替换方解石含量 5wt%时，釉面效果稍好一点。

表 10 稀土尾矿含量替换对方解石白度与光泽度的影响

配方	方解石	稀土尾矿	白度	光泽度	釉面特征
G-1	1	10	67.1	44.6	釉面平整，但有少量气孔
G-2	0	15	71.4	19.5	釉面粗糙，有较多气孔
G-3	0	20	74.9	12.8	釉面膨胀，有很多气孔

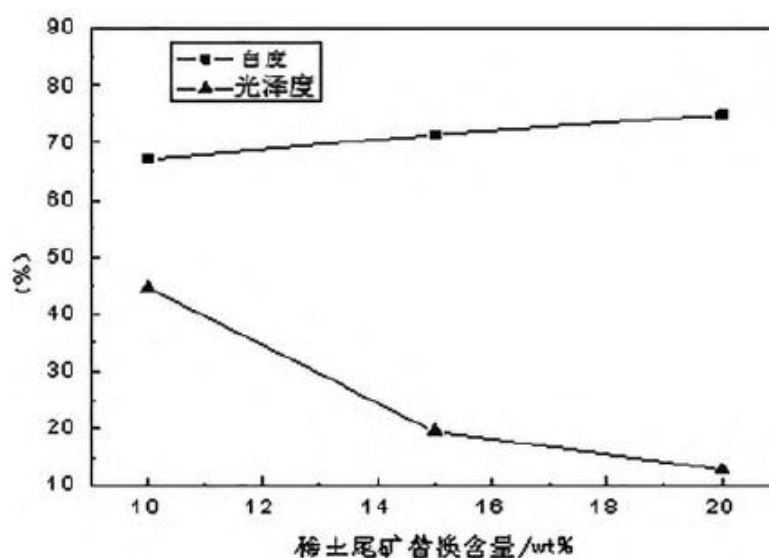
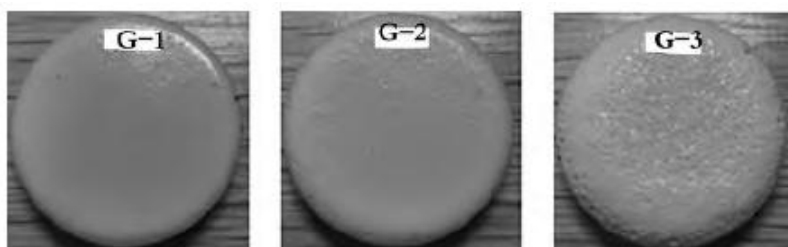


图 22 稀土尾矿含量对釉面影响 (a 釉面效果图; b 白度和光泽度曲线图)

4 结论

(1) 在钙无光釉配方中随着稀土尾矿的增加釉面出现大量的气泡并且粗糙不平整，当加入量在 10wt%时不影响釉面无光的效果；

(2) 在镁无光釉配方中随着稀土尾矿的加入釉面从无光变成有光泽，在加入量 15wt%时不影响釉面无光效果；

(3) 以配方组成为 36.6wt%钾长石、15.5wt%石英、11wt%方解石、28.6wt%滑石、8.3wt%高岭土外加 15wt%稀土尾矿球磨 10min，釉层厚度 1~2mm，烧成温度为 1300℃，保温 20min 的条件下可制备出白度 68.5%、光泽度 18.0%釉面细腻的镁质无光釉。

(来源：佛山陶瓷)