

离子型稀土信息简报

Ionic Rare Earth Information Bulletin

2020 年 第 09 期 总第 83 期

本期要闻

- ◎ 战略金属储备有望入选“十四五”规划 稀土价值或持续提升
- ◎ 《镉、铋金属靶材》行业标准喜获报批公示
- ◎ 结束金属矿山百年“手选”历史 江钨新一代智能矿石分选机成功研发投用
- ◎ 江西省自然资源厅 江西省工业和信息化厅关于下达 2020 年度稀土矿钨矿开采总量控制指标的通知

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

- ◎ 战略金属储备有望入选“十四五”规划 稀土价值或持续提升
- ◎ 《镓、锑金属靶材》行业标准喜获报批公示
- ◎ 新兴产业推动稀土消费量显著增长
- ◎ 赣州稀土与钨有色金属产业迎发展契机
- ◎ 结束金属矿山百年“手选”历史 江钨新一代智能矿石分选机成功研发投用
- ◎ 欧盟公布 2020 版关键矿产资源清单
- ◎ 美议员提交降低稀土对外依赖法案
- ◎ 研究人员在马达加斯加寻找稀土元素 可用于电动汽车等技术

◇ 科技前沿 14-18

- ◎ 福建物构所基于近红外稀土纳米晶/量子点双激发解码策略实现精准测温
- ◎ 北京大学化学学院黄春辉课题组利用稀土铈(III)配合物在蓝光 OLED 研究中取得突破

◇ 政策法规 19-20

- ◎ 江西省自然资源厅 江西省工业和信息化厅关于下达 2020 年度稀土矿钨矿开采总量控制指标的通知

◇ 市场行情 21-24

- ◎ 2020 年 8 月稀土价格走势

◇ 稀土知识 25-29

- ◎ 稀土湿法冶金废水处理

战略金属储备有望入选“十四五”规划 稀土价值或持续提升

据媒体报道，参与制定十四五规划的人士称，我国计划把加强能源、战略金属和粮食储备写入正在制定中的国民经济和社会发展第十四五规划之中。以确保重要资源物资储备充足，不会因供应紧缺而影响经济和社会稳定。

稀土永磁材料产业是我国少数具备全球竞争力的产业之一。我国已经成为全球最大的稀土永磁材料生产基地和出口基地，产能占全球 80% 以上，高端产能也接近全球一半。2019 年我国稀土永磁产品出口 100 多个国家，德国、美国、日本占据了我国出口量的前三甲。

目前，稀土的产量正在受到越加严格的控制。日前，工信部下达了 2020 年度第一批稀土开采、冶炼分离总量控制计划，并要求，稀土作为国家严格实行生产总量控制管理的产品，任何单位不得无计划和超计划生产。



资料来源：中国稀土行业协会

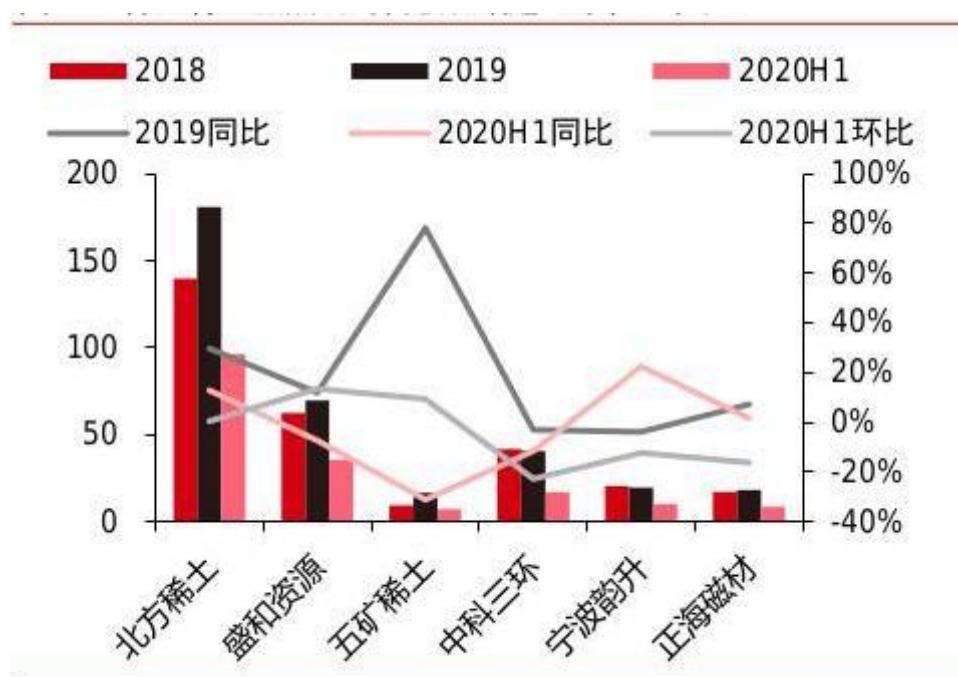
稀土价格走势

关于稀土板块近期的行情，8 月下旬，稀土价格高位震荡，轻重稀土有所分化，近期建议关注缅甸稀土供给变化对于市场的影响。9 月，整体资金面或随

着财政资金的不断释放而边际宽松，流动性宽松环境持续。

中长期看，预计 2021 年全球稀土消费量将达 19.9 万吨，即 2017-2021 年全球稀土消费量复合增长率将为 7%。叠加中美贸易摩擦、打黑、环保高压等因素影响，预计全球稀土供给将会持续受限，供需基本面有望逐步改善，逆全球化下稀土资源的战略价值或将持续提升。

我国稀土产业链上中游优势明显，在政策的引导下，预计下游将持续往精深加工方向发展，稀土价格或将迎来长牛。



资料来源：Wind、中信证券研究部

稀土行业重点公司营收及增速

同时，上周资源税法开始正式施行，中重稀土实行固定税率，由原来的 27% 降至 20%；轻稀土实行幅度税率，税率为 7%-12%。建议关注：轻稀土标的：北方稀土，中重稀土标的：五矿稀土，以及优质磁材标的：金力永磁。

（来源：上海有色网）

《镱、铽金属靶材》行业标准喜获报批公示

近日，工业和信息化部科技司发布 19 项涉及稀土相关领域的行业标准报批公示，由稀土院主笔起草的行业标准《镱、铽金属靶材》位列其中。

本标准规定了镱、铽金属靶材的要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及质量证明书，适用于真空冶炼法制得的镱、铽金属靶材，主要用于制备钕铁硼磁控溅射镀膜等。本标准内容与企业需求紧密结合，科技成果易于转化为现实生产力，形成技术与经济创收转化，产业化前景良好。不但为镱、铽金属靶材产品的指标控制提供新的指导意义，还可促使生产方正确采用原材料，合理调整生产工艺，完善检测手段，为用户生产出更满意的产品来，对国内生产企业及相关行业的技术进步将产生积极的推动作用，并为生产、使用、贸易三方提供更高的技术依据。本产品完全满足钕铁硼磁控溅射镀膜生产需求，具有较高的推广价值。推广应用该标准后，不仅可以规范我国镱、铽金属靶材的生产，还将促进国内生产企业及相关行业的技术进步和产品质量的提高，并为镱、铽金属靶材产品贸易提供仲裁的依据，同时对发展具有我国自主知识产权的钕铁硼防护技术，提高产品档次，加强产品国际市场竞争力，发挥稀土大国的资源优势，提升企业技术含量，创造更大的经济效益，具有重要意义。

（来源：稀土功能材料研究所）



新兴产业推动稀土消费量显著增长

在当今世界范围内，我国不仅是稀土生产量最大的国家，而且也是全球最大的稀土消费国。据《2019 年中国稀土产业全景图谱》中的资料，中国的稀土消

费量约为全球的 57%。之后是日本，占到全球稀土消费量的 21%左右。

今年 6 月，中国工业创下自 2019 年 12 月以来最快增速，我国新兴产业将成为推动稀土需求增长的主要因素。自 6 月下旬开始，虽然国内轻稀土市场价格大幅走低，如：氧化钕价格从 38 万元/吨下滑至 30.45 万元/吨，但是中重稀土市场受供需方面影响，价格较为坚挺。

目前，我国制造业和基建、医药均为稀土的主要消费领域。我国稀土资源类型多、储量大、稀土矿物种类丰富，是唯一能够提供全部 17 种稀土金属的国家。许多迹象表明，几乎每隔 3 至 5 年，科学家们就能够发现稀土的新用途，每一个科技革新的到来，都有稀土的存在。

在 5G 技术方面，5G 技术可以帮助稀土企业的生产操作变得更加灵活和高效，提高安全性并降低维护成本。与此同时，还将使稀土企业能够加强利用自动化、人工智能及现实和物联网的“智能工厂”。

5G 不是某一项技术的突进或突变，而是一系列新技术的创新集成，除美国之外，中国已经占据了 5G 技术的主动权。

例如，5G 手机摄像头应用了稀土镧的玻璃，也称为镧系光学玻璃，在其组分中含有较多的稀土氧化镧(La_2O_3)，具有高折射率低色散的特性，它是制作光电产品读写镜头和成像镜头必备的高品质光学玻璃新材料，能有效地扩大镜头的视场，改善仪器的成像质量，使镜头小型化、轻量化。

在新能源汽车领域，工信部去年 12 月发布的《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》（征求意见稿）指出，新能源汽车新车的生产和销售占比由原来计划的 20%提高到 25%，到 2025 年，中国将新能源汽车的销量从 2017 年

公布的 20%提高到 25%。

新能源汽车的发展势必将成为未来汽车行业发展的的大趋势，该行业的发展势必带动稀土业等一大批相关产业的蓬勃发展。特别是对混合动力车、电动汽车、燃料电池汽车来说，小型化大功率的驱动电机是必须的，而现在这些电机又要大量使用稀土。

在医药领域，稀土元素及其化合物由于物理化学性质较为特殊的原因，近几年来，被广泛应用于医学与生物化学领域。例如，中国科学院包头稀土研发中心联合中国科学院理化技术研究所王乃兴研究员团队，成功研发出一种稀土化学位移试剂，主要作为核磁共振成像仪耗材，提高核磁共振成像系统的信号清晰度和信噪比的效果。

业界人士分析，未来我国七大战略新兴产业发展中，几乎每一个产业都要用到稀土，而且这种需求往往是不可替代的，即使替代以后也会带来牺牲环境、性能等负面效应。从数量和体量上看，以新兴产业为代表的未来产业或许是我国产业结构中最小的一部分，但从潜力和前景来看，培育未来产业就是抢占前沿技术产业化先机，增强企业的核心竞争力。

（来源：上海有色网）



赣州稀土与钨有色金属产业迎发展契机

9 月 25 日至 26 日，2020 江西智库峰会暨国家级大院大所产业技术进江西——赣州“稀土与钨有色金属产业”专项对接会在赣州市召开，首批科技合作 6

个项目现场签约。赣州市委副书记、市长曾文明出席开幕式并致辞。省科技厅党组成员、副厅长席宏，省科学院党组成员、总工程师古和今，赣州市领导胡聚文、蓝赟，9 个国家级大院、大所，33 名高层次人才出席相关活动。

对接会上，矿冶科技集团有限公司党委委员、副总经理战凯，中科院长春应用化学研究所研究员陈继分别作专题报告。

据了解，近年来，赣州市坚持把稀土与钨有色金属产业作为战略性新兴产业来抓。目前，赣州已形成集矿山开采、分离、冶炼、深加工及应用、产品检测、研发设计、教育培训等为一体的完整产业体系，在光电材料、陶瓷材料、永磁材料、永磁电机等新材料及应用领域具备较好的基础，全市稀土产业集群产值突破 1000 亿元。今后，赣州市将充分利用“稀土与钨有色金属产业”专项对接会的有利条件，大力引进稀土、钨产业等高层次人才，不断提升稀土、钨产业的精深加工产业规模，帮助企业提升自主创新能力，积极引领我市稀土、钨产业高质量发展。

（来源：中国江西网-江南都市报）

结束金属矿山百年“手选”历史 江钨新一代智能矿石分选机成功研发投用

智能识别、实时监测、模块化结构设计、机体缩小 30%，处理量提升 8%，新一代智能矿石分选机的应用，结束了金属矿山近百年的“手选”历史。9 月 19 日，江西钨业控股集团有限公司召开新一代智能矿石分选机推介会，目前，这款产品已在江钨研发成功并投入使用。

“在科技兴企的路上，江钨人没有停止创新脚步，而是坚持创新驱动发展战略，不断提高自主创新能力，紧盯市场需求，不断推陈出新。”江西钨业控股集团有限公司党委书记、董事长周少兵在推介会上表示。

据了解，新一代智能矿石分选机由我国最早成立的三所有色冶金科研院所之一——江钨控股集团赣州有色冶金研究所自主研发设计。该设备集机械化、自动化、智能化于一体，改变过去传统人工分选工艺，对经过筛分清洗、由振动给料机输入分选机皮带的运动中原矿，通过 X 射线采集矿石信息、系统精确识别和机器学习，采用高速执行机构，实现原矿中有用矿石与废石选别分离，矿石分选粒度 10mm~100mm，最大矿石处理量达 160 吨/小时。

新一代智能矿石分选机的成功应用，把作业人员从劳动强度大、作业环境差的工作中解脱出来，用机械化操作和智能化处理手段，实现选矿预抛废和预富集，大大提高了劳动生产率和选矿回收率。

周少兵表示，经过不断的发展，江钨控股集团已形成钨、稀土、钽铌锂三大有色金属产业板块和机械制造、科研服务、国内外贸易三个非金属产业板块相互支撑的产业体系。其中机械制造板块是江钨控股集团“从无到有、从弱到强”的一个重要特色板块。

江钨研制出的第一代、第二代分选机广泛应用于钨、锡、钼、铜、铅、锌、锑、金等多个矿种的选矿预抛废和预富集，有效提高选矿效率和效果。在此基础上，又研制出的新一代智能矿石分选机对比二代机具备小型化、智能化、远程化等优势，能智能识别分选多金属矿物，达到实时监测与故障预警，实现“机械化换人，自动化减人，智能化无人”。

中国工程院院士邱冠周高度评价智能矿石分选机的研发使用对提高矿产资

源开发效率和利用水平具有重大意义。他表示，江钨控股集团在选矿技术及其装备领域一直具有举足轻重的影响。2020 年，为适应网络化、智能化的发展要求，江钨在第二代分选机应用的基础上，引用工业设计和人工智能理念，开发第三代智能矿石分选机，实现智能识别分选多金属矿物和实时监测与故障预警，模块化结构设计大大提升了系统集成度。他希望研发团队精益求精，立足于行业需求，充分利用先进的 5G 技术和探测技术，进一步实现设备轻量化和终端系统智能化。

目前，该产品在大吉山钨业、漂塘钨业、荡坪钨业、铁山垅钨业、盘古山钨业等重点钨矿山已经完成分选试验，正式进入批量安装调试阶段，同时在其他 10 多个不同矿石类型的矿山完成应用试验。据介绍，江西一年采选 80 万吨的大型钨矿使用智能矿石分选机作业后，作业回收率达到 97% 以上，粗选成本降低 30.04%。

业内权威专家、行业协会领导，中南大学、江西理工大学、中国瑞林等高等院校、研发机构及设计单位有关人员，厦门钨业、中钨高新、江西铜业、云南锡业、湖南有色、中钢集团、马钢集团、攀钢集团等业内知名企业、重要合作伙伴共约 70 余人参加会议。

（来源：中国产业经济信息网）



欧盟公布 2020 版关键矿产资源清单

欧盟于 2020 年 9 月 3 日公布了最新修订的关键矿产资源清单（EU 2020 critical resources list），共有 30 种对欧盟而言具有重大经济和战略价值的矿产被列入该清单。

欧盟 2008 年第一次公布关键矿产资源清单之后，每 3 年进行一次例行更新；最近的一次更新是 2017 年。与 2017 年比较，本次清单删除了氦，新增了锂、锶、钛和铝土矿。

欧盟 2020 版关键矿产资源清单如下：

锶、钛、铝土矿、锂、锑、轻稀土元素、磷、重晶石、镓、镁、钪、铍、锆、天然石墨、含硅金属矿物（Silicon metal）、铋、铅、天然橡胶、钽、硼酸盐、铌、钨、钴、重稀土元素、铂族金属、钒、焦煤、铟、磷酸盐岩、萤石。

本次从原有清单中唯一剔除的是氦；但鉴于氦的供应集中度过高，欧盟将继续关注全球氦资源和产业的动态。

虽然每次更新都会对原有部分矿种进行剔除，并增加新的矿种，但总体趋势是，清单中的关键矿产资源数量越来越多：2011 年为 14 种；2014 年增加到 20 种；2017 年增至 27 种；本次更是达到了 30 种。说明欧盟对关键矿产资源的依赖越来越严重，对保障资源安全供给越来越焦虑。

2020 版清单重点考虑了对外依存度较大的矿种，如 98% 的稀土来自中国，98% 的硼酸盐来自土耳其，93% 的镁来自中国，80% 的铌来自巴西，71% 的铂族金属来自南非。世界上超过 60% 的钴来自刚果民主共和国，而在变成电池可用的化学物质之前，超过 80% 的钴是在中国进行加工的。

清单中也包括未来需求增长迅速的矿种。如，锂作为高科技新兴产业必备的原材料和民众生活必须的常规材料，被誉为“21 世纪的能源金属”，今年首次上榜。欧盟预测，到 2030 年，欧盟的锂需求将增加 18 倍；到 2050 年，将增加 60 倍。同期，欧盟对钴的需求将分别增加 5 倍和 15 倍；对石墨的需求将分别增加 4 倍和 14 倍。

最终上榜的关键矿产资源主要集中在稀土（包括轻稀土和重稀土）、铌、钽、铍、钨、锂、锆等稀有金属，铟、镓、锗等稀散元素，以及焦煤、石墨、天然橡胶和铝土矿等。

公告认为，这些矿产既有重大经济价值又蕴含供给风险，对欧盟的产业布局和投资具有重大影响。

欧盟同时也将采取必要的措施，力求扩大供应商网络，减少对单一国家的依赖，重点是减少对中国的依赖。主要措施有：

（1）组建关键矿产资源联盟，成员包括行业成员、投资者、欧洲投资银行、欧盟国家，以及其他能够帮助保障欧盟的关键矿产资源供应的国家，以便采取共同行动，增加欧盟在关键矿产资源产业链中的韧性；

（2）建立国际战略合作伙伴关系，从 2021 年开始，加强与加拿大和非洲相关国家的矿业合作，促进当地矿业可持续发展，保障关键矿产资源对欧盟的供给；

（3）加强欧盟内的矿产资源开采、加工和冶炼，降低对外依存度；

（4）加强资源的回收和利用，特别是稀土元素的回收和利用，目前的回收利用还不足 1%。

（来源：中国地质调查局）



美议员提交降低稀土对外依赖法案

据 Mining.com 网站报道，美国众议院两党议员共同提交法案，要求减少对进口稀土的依赖。

此议案由来自德克萨斯州的共和党议员兰斯·古登（Lance Gooden）和民主

党议员维森特·冈萨雷斯（Vicente Gonzalez）共同提出，与参议员泰德·克鲁斯（Ted Cruz）在 5 月份的提案类似。

此项议案是美国国会改善原材料，特别是对国防极为重要的工业原料供应链战略的一部分，其目的是减少对进口依赖，支持企业回归美国国内。这项努力已经获得美国国内稀土公司的广泛支持。

正在开发朗德托普（Round Top）山稀土矿床的美国稀土公司（USA Rare Earth）首席执行官皮尼·奥特豪斯（Pini Althaus）在接受电话采访时表示，提案中的税收激励政策就是要降低美国国内稀土项目从矿产开采到永久磁体的生产成本，提高稀土企业的国际竞争力。

稀土由 17 种金属元素组成，用途广泛，从电子产品，到导弹以及涡轮风力发电机。2019 年，由于担心贸易战升级使得稀土进口受限，稀土供应安全更加得到关注。特朗普总统命令国防部加大稀土永磁体的生产。

即将担任 MP 材料公司首席执行官的吉姆·利丁斯基（Jim Litinsky）在接受电话采访时表示，如何降低成本提高竞争力是美国国内稀土企业所面临的重要挑战。

共和党议员威尔·赫德（Will Hurd），罗杰·威廉姆斯（Roger Williams），皮特·奥尔森（Pete Olson）和兰迪·韦伯（Randy Weber）以及民主党参议员亨利·库埃拉（Henry Cuellar）都是该法案的共同发起人。以上人士都来自德克萨斯州。

（来源：自然资源部）

研究人员在马达加斯加寻找稀土元素 可用于电动汽车等技术

据外媒报道，苏格兰圣安德鲁斯大学（University of St Andrews）和英国布莱顿大学（University of Brighton）领导的一项研究发现了稀土金属的新来源，而稀土金属对可再生能源生产、移动电话、笔记本电脑、电动汽车和电视等现代技术而言至关重要。

该项研究调查了现代技术中日常广泛使用的重稀土金属的替代来源，主要关注的是马达加斯加北部的亚热带土壤。

利用风能和水能等可再生资源生产绿色能源等现代技术需要大量的稀有金属，即电子技术金属。但是，开采此类金属的成本很高，对环境造成的挑战也很大，而且属于能源密集型产业，特别对于产自古代山带或火山岩石中的金属而言。必须挖掘、压碎、加工此类岩石，才能够将有价值的金属从岩石的其他部分中分离出来。虽然有时大自然会将难以粉碎的矿物分解成更软的材料，方便人们以更高效、更可持续性地方式提取出有价值的商品。

该项研究由圣安德鲁斯大学地球与环境科学学院的研究人员与布莱顿大学研究人员共同领导，重点是追踪一种称为稀土元素的特殊金属，包括钕、镨和镱，此类金属都是手机、计算机、军事或医疗器械、风力涡轮机和电动汽车等技术的关键成分。

未来几十年内，随着各种清洁能源项目（如欧盟绿色协议）在全球展开，对稀土金属的需求将呈指数级增长。不过，大多数国家仍严重依赖从中国进口稀土金属。目前，中国的稀土元素产量占全球的 77%。最稀有的稀土元素，尤其是用

于永磁体的稀土主要来自中国南方的花岗岩、正长岩等热带风化形成的离子吸附粘土矿床或红土。

该研究团队采用名为“同步加速器”的强 X 射线源，从原子尺度揭示了稀土元素在土壤中的位置。研究小组发现，稀土松散地附着在粘土颗粒的表面。通过比较马达加斯加风化后的火山土壤与在中国开采的样品，该项研究为如何生产容易获取、经济可行的稀土矿床提供了关键的见解。

（来源：盖世汽车）

福建物构所基于近红外稀土纳米晶/量子点双激发解码策略实现精准测温

近红外荧光比率型温度传感具有较大的组织穿透深度、较低的背景荧光干扰及无创探测等优点，因而在生物医学领域具有广阔的应用前景。为了避免荧光探测信号相互串扰，传统的近红外荧光比率型温度探测模式采用两个无交叠的荧光发射的强度之比作为温敏参数。然而，光在生物组织中的衰减系数具有波长依赖性，因而两个无交叠的荧光发射的强度之比这一温敏参数不仅受温度调制，还与荧光信号在组织中的衰减系数及穿透深度有关。因此，利用传统的近红外荧光比率型温度探测模式进行生物组织内温度探测时，所获得的温敏参数会因为光在组织中的衰减而偏离真实值，导致产生温度测量偏差。因此，如何实现生物组织内准确的温度探测依然是一个严峻的挑战。

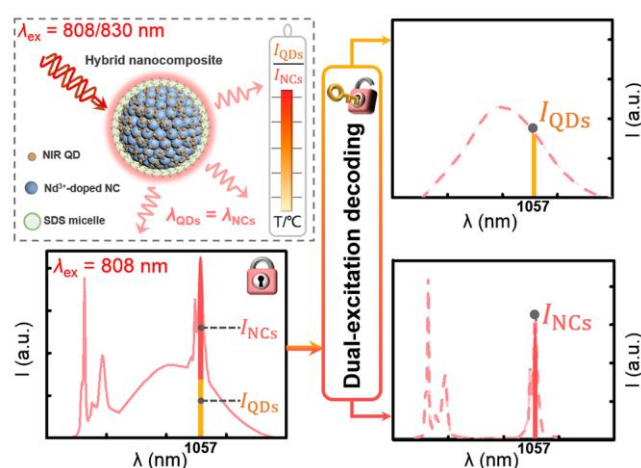


图 1 基于稀土纳米晶/量子点复合材料的双激发解码策略实现精准温度探测的示意图

中国科学院功能纳米结构设计与组装/福建省纳米材料重点实验室陈学元团队首次提出了利用基于稀土纳米晶/量子点复合物探针的双激发解码策略来实现生物组织内精准温度探测（图 1）。首先，利用核壳结构 $\text{NaLuF}_4: \text{Nd}^{3+}, \text{Gd}^{3+} @ \text{NaGdF}_4$ 稀土纳米晶和 $\text{PbS} @ \text{CdS} @ \text{ZnS}$ 量子点在两亲分子形成的胶束中进行自组装来构建稀土纳米晶/量子点复合物微球，并将在 808 nm 激光激发下，波

长均位于 1057 nm 处的两个分别来自于纳米晶中 Nd^{3+} 离子及量子点的发射的强度之比定义为温敏参数。随后, 该团队巧妙地利用 Nd^{3+} 离子与量子点不同的光吸收特性, 选用与 808 nm 激光波长相近且共路的另一束 830 nm 激光来单独激发出复合物中量子点的发光, 最终通过此种双激发策略将 1057 nm 处重叠的发射信号进行分离, 并计算其发射强度比值作为温敏参数。

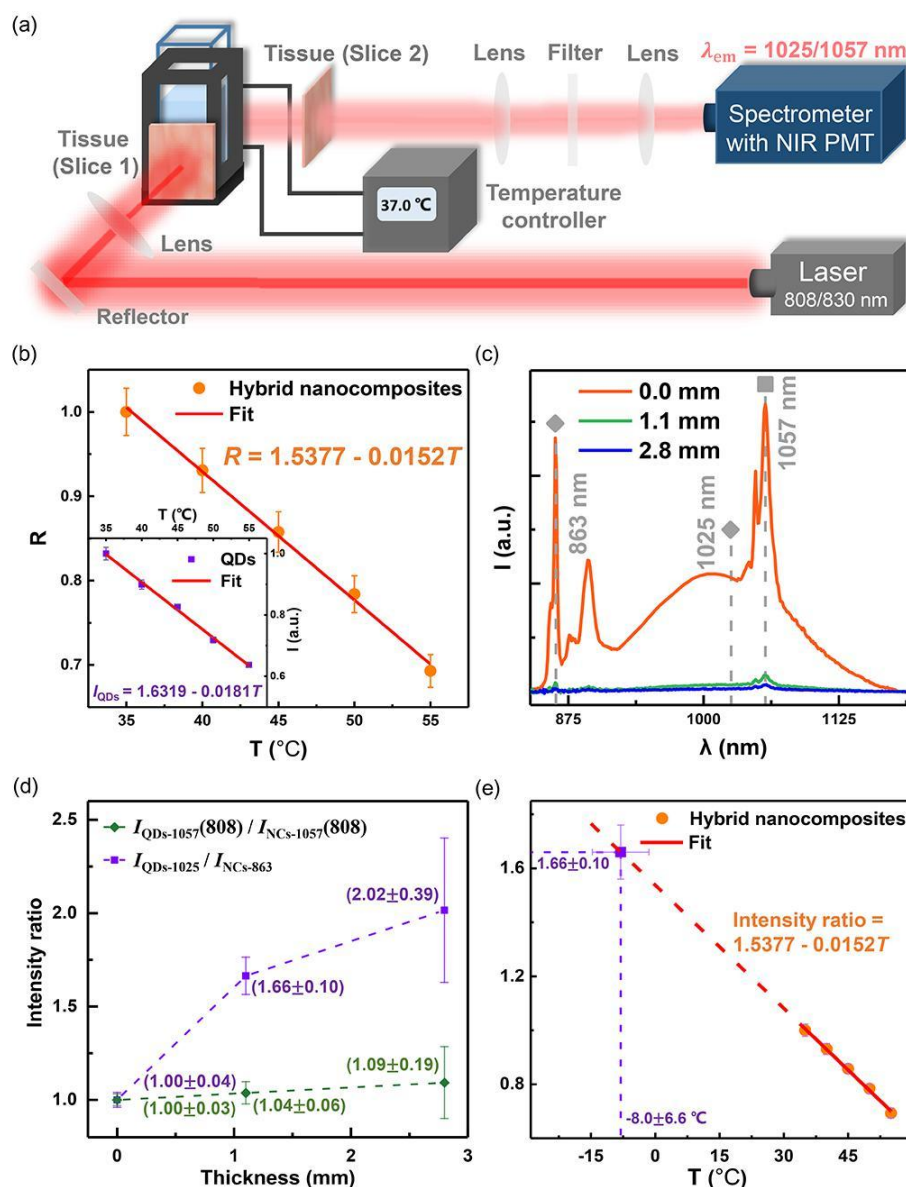


图 2 a) 生物组织内温度探测的体外模拟实验光路图; b) 稀土纳米晶/量子点复合物探针的温敏特性; c) 复合物探针在不同厚度组织下的发射谱; d) 双激发解码策略的温敏参数和传统近红外荧光比率型温度探测模式的温敏参数随组织厚度的变化情况; e) 当组织厚度为~1.1 mm 时, 利用传统近红外荧光比率型温度探测模式所产生的温度偏差达~43° C

进一步地, 该团队从实验上验证了双激发解码策略相较于传统的近红外荧光

比率型温度探测模式在生物组织内温度探测的准确度方面的优越性（图 2）。例如，当组织探测深度为~1.1 mm 时，若采用传统的近红外荧光比率型温度探测模式，也即采用稀土纳米晶/量子点复合物中位于 863 nm 处的 Nd^{3+} 离子荧光发射和 1025 nm 处的量子点荧光发射的强度之比作为温敏参数，则所产生的测量偏差为~43 °C。在同一实验条件下，若采用双激发解码策略进行温度探测，所测温度与实际温度偏差仅为~2.3 °C。该研究工作突破了传统的近红外荧光比率型温度探测模式在生物组织内部温度探测中存在测量偏差这一瓶颈问题，为实现组织内温度精准探测提供了新思路，并对其它类型的比率型荧光生物检测也具有方法论意义。相关结果以全文形式发表于《先进科学》杂志（Advanced Science, 2020, 202001589. DOI: 10.1002/advs. 202001589），该论文的第一作者是福建物构所博士研究生余少桦和徐金副研究员，通讯作者为涂大涛副研究员和陈学元研究员。研究得到中科院战略性先导科技专项、国家重点研发专项等项目支持。

此前，陈学元团队在近红外纳米荧光材料的电子结构、光学性能和生物应用研究方面取得了一系列重要进展。例如，揭示了 Nd^{3+} 在 LiLuF_4 纳米晶中的局域电子能级结构并实现高灵敏温度探测（Adv. Sci. 2019, 6, 1802282）；发展了一种近红外双激发比率型上转换荧光策略实现细胞内生物分子的精准检测（Adv. Sci. 2019, 6, 1901874）；开发出了 CuInSe_2 基新型高效近红外二区发光量子点生物探针，并将其应用于循环肿瘤细胞检测和肿瘤靶向实时成像（Nano Today 2020, 35, 100943）。

（来源：福建物构所）

北京大学化学学院黄春辉课题组利用稀土铈(III)配合物在蓝光 OLED 研究中取得突破

自诞生以来，有机发光二极管（Organic light-emitting diode, OLED）在 30 年间已经发展成为一个价值数百亿美元的产业。在实际应用中，具有 100% 激子

利用率的高效磷光材料已经能够满足三基色红光和绿光器件的需求,但是较长的激发态寿命(通常长于 1 微秒)和较高的激发态能量使得基于蓝色磷光材料的器件稳定性不佳。因此,目前产业中使用的蓝色发光材料仍是激子利用率较低但激发态寿命较短(纳秒)的荧光材料。

传统的 f-f 跃迁稀土配合物兼具 100%激子利用率和可实现高色纯度红光、绿光的优点,是一类比磷光材料更早应用于 OLED 研究的发光材料。然而, f-f 跃迁本征毫秒级的激发态寿命限制了器件性能的提升,使得多年来稀土配合物电致发光研究领域的进展非常缓慢。

最近,北京大学化学与分子工程学院黄春辉课题组合成了两种具有纳秒级短激发态寿命的 d-f 跃迁稀土铈(III)配合物 Ce-1 和 Ce-2 (图 3),紫外激发下分别发射深蓝色和天蓝色光,光致发光量子产率均超过 90%。经过优化,两种材料在 OLED 中均实现了高效蓝色发光,首次证明了铈(III)配合物在 OLED 中具有 100%的激子利用率。此外,相较于发光颜色相近的传统的磷光铱(III)配合物器件,基于铈(III)配合物器件的工作稳定性提高近 70 倍。

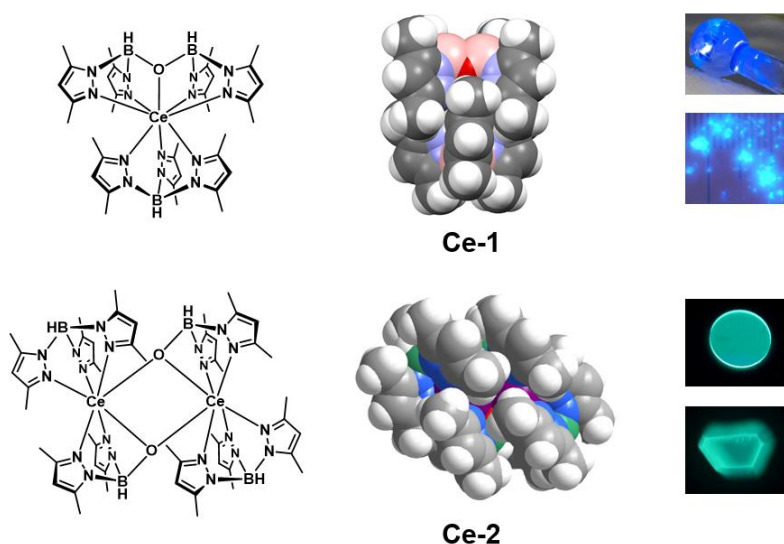


图 3 配合物 Ce-1、Ce-2 的分子结构和发光颜色

作者认为,器件中的配合物可以通过具有单电子的铈(III)离子直接俘获电子和空穴,形成二重态激子并辐射发光(图 4),从而绕过传统闭壳层发光材料中自旋统计限制,实现高激子利用率的目标,而自旋和宇称允许的 d-f 跃迁所伴随

的短激发态寿命则是器件稳定性提高的根源。

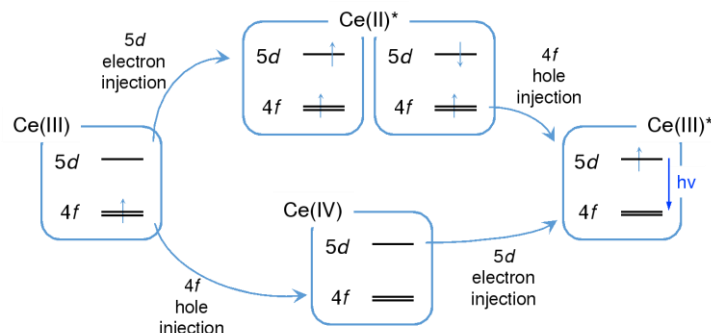


图 4 铈(III)配合物电致发光机理

考虑到铈(III)配合物还具有可调的发射光谱（d 轨道受配体场影响显著）和较低的原料成本（铈在地壳中的含量是铱的近 60000 倍，高于铜），此类发光材料不仅有望解决实际应用中高效蓝光 OLED 存在的难题，同时还有潜力成为新一代发光材料应用于 OLED 全色显示和照明。这项工作对于实现我国稀土资源高价值利用，发展具有自主知识产权的 OLED 发光材料具有重大意义。

上述深蓝光 OLED 工作以“Deep-blue organic light-emitting diodes based on a doublet d - f transition cerium(III) complex with 100% exciton utilization efficiency”为题发表在 Light: Science & Applications，天蓝光 OLED 工作以“Efficient rare earth cerium(III) complex with nanosecond d-f emission for blue organic light-emitting diodes”为题发表在 National Science Review。化学学院博士后赵子丰和博士研究生王李玓为两篇论文的共同第一作者，刘志伟副教授为通讯作者。相关工作已经申请专利“基于 d-f 跃迁的电致发光材料及器件”并获得授权（专利号：201910407555.0）。上述研究得到国家重点研发计划、北京市自然科学基金、中国博士后基金资助。

（来源：北京大学化学与分子工程学院）

江西省自然资源厅 江西省工业和信息化厅关于下达 2020 年度稀土矿钨矿开采总量控制指标的通知

各有关设区市自然资源主管部门、工业和信息化主管部门：

根据《自然资源部 工业和信息化部关于下达 2020 年度稀土矿钨矿开采总量控制指标的通知》（自然资发〔2020〕108 号）规定，现将 2020 年度稀土矿钨矿开采总量控制指标下达给你们，有关事项通知如下：

一、稀土、钨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计划和超计划生产。本次下达指标均含已下达的第一批指标。

二、各设区市自然资源主管部门于 9 月 30 日前将稀土矿钨矿开采总量控制指标分解下达给各有关企业，分解下达的情况于 10 月 15 日前报省自然资源厅。

三、为合理利用稀土矿、钨矿开采总量指标，有关企业可在不突破下达给其所属钨矿、稀土矿开采指标总量的前提下，在公司内部调剂使用。

四、为提高指标利用率，2020 年度钨矿、稀土矿实际开采量未达到下达指标 90%的，2021 年度指标按照 2020 年度指标的 90%下达。

五、有关企业要严格按指标组织生产，遵守环保、资源开发等有关法规；各设区市自然资源主管部门、工信主管部门要严格按照《江西省人民政府办公厅关于进一步加强稀土生产经营管理的通知》（赣府厅字〔2017〕112 号）、《关于持续加强稀土行业秩序整顿的通知》（赣工信有色字〔2019〕366 号）要求，督促指导企业开展生产。

六、各稀土企业应于每月 10 日（节假日顺延）前按属地原则将上月数据和生产情况报送至当地市级工信主管部门，不得伪报、瞒报、随意更改填报数据。

中国南方稀土集团要按工业和信息化部要求及时上报有关情况。

七、各设区市自然资源主管部门要督促矿山企业建立联络员制度，指定专人负责统计报表等工作，加强信息沟通，确保矿山企业在每月2日前报送上月稀土矿和钨矿生产量、销售量、销售对象等情况。各市、县（区）自然资源主管部门要认真执行稀土月报和钨矿季报制度，及时、准确、规范开展网上直报工作。

2020年江西省稀土矿、钨矿开采总量控制指标

序号	设区市	钨矿（三氧化钨65%，吨）		离子型稀土指标 (REO, 吨)
		主采钨精矿指标	综合利用钨精矿指标	
1	赣州市	23570	2410	8490
2	吉安市	2365	20	10
3	九江市	7995	160	
4	宜春市	150		
5	上饶市	20	600	
6	抚州市	130		
7	新余市	20		
8	景德镇市		210	
9	丰城市	1700		
10	鄱阳县	30		
	省厅预留	70		
合计		36050	3400	8500

（来源：江西省自然资源厅）

2020 年 8 月稀土价格走势

一、稀土价格指数

8 月的稀土价格指数曲线呈现先升后降的态势。本月平均价格指数为 152.1 点。价格指数最低为 8 月 3 日的 143.4 点，最高为 8 月 20 日的 156.8 点。



二、中钇富铈矿

8 月中钇富铈矿均价为 14.90 万元/吨，环比上涨 4.00%。

三、主要稀土产品

（一）轻稀土

8 月份氧化镨钕均价为 33.42 万元/吨，环比上涨 13.70%；金属镨钕均价为 42.26 万元/吨，环比上涨 13.94%。



8 月份氧化钕均价为 35.20 万元/吨，环比，上涨 15.03%；金属钕均价为 44.37

万元/吨，环比上涨 13.65%。



8 月份氧化镨均价为 32.78 万元/吨，环比上涨 9.81%。99.9%氧化镨均价为 1.04 万元/吨，环比下跌 5.64。99.99%氧化镨均价为 21.50 万元/吨，环比与上月持平。

(二) 重稀土

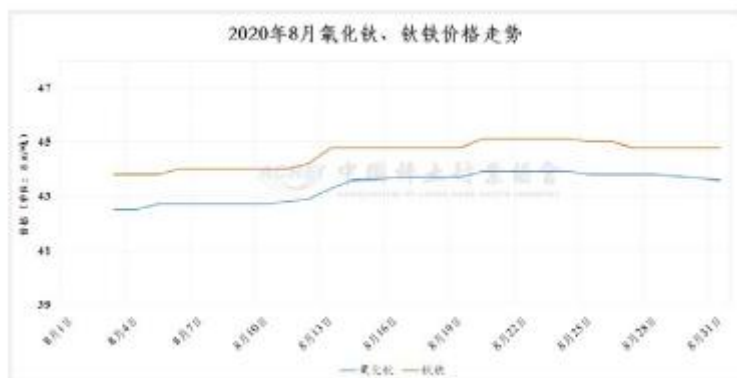
8 月份氧化镝均价为 183.95 万元/吨，环比下跌 1.05%；镝铁均价为 182.48 万元/吨，环比下跌 1.02%。



8 月份 99.99%氧化铽均价为 481.88 万元/吨，环比上涨 4.44%。金属铽均价为 610.14 万元/吨，环比上涨 4.43%。



8 月份氧化钽均价为 43.33 万元/吨，环比，上涨 3.14%，钽铁均价为 44.54 万元/吨，环比上涨 3.05%。



99.999%氧化钪均价为 2.00 万元/吨，环比与上月持平。氧化铪均价为 16.18 万元/吨，环比下跌 0.15%。

表 1：2020 年 8 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	7 月平均价	8 月平均价	环比
氧化镧	≥99%	11.00	10.38	-5.64%
氧化铈	≥99%	11.00	10.38	-5.64%
氧化镨	≥99%	298.52	327.81	9.81%
氧化钆	≥99%	305.96	351.95	15.03%
氧化钇	≥99.9%	13.00	13.00	0.00%
氧化铈	≥99.99%	215.00	215.00	0.00%
氧化钆	≥99%	179.39	186.10	3.74%
钆铁	≥99%Gd 75%±2%	180.65	186.95	3.49%
氧化铽	≥99.9%	4614.13	4818.81	4.44%
氧化镱	≥99%	1859.13	1839.52	-1.05%
镱铁	≥99%Dy80%	1843.48	1824.76	-1.02%
氧化钽	≥99.5%	420.13	433.33	3.14%

市场行情

钬铁	$\geq 99\% \text{Ho} 80\%$	432.22	445.38	3.04%
氧化铟	$\geq 99\%$	162.00	161.76	-0.15%
氧化镱	$\geq 99.99\%$	102.00	102.00	0.00%
氧化镱	$\geq 99.9\%$	4250.00	4250.00	0.00%
氧化钕	$\geq 99.999\%$	20.00	20.00	0.00%
氧化镨钕	$\geq 99\% \text{Nd}_2\text{O}_3 75\%$	293.91	334.19	13.70%
镨钕金属	$\geq 99\% \text{Nd} 75\%$	370.87	422.57	13.94%

(来源：中国稀土行业协会)

稀土湿法冶金废水处理

稀土湿法冶金过程中的废水污染问题受到各方面的关注。我国稀土湿法冶金的原料主要是氟碳铈矿、氟碳铈矿和独居石的混合矿（以下简称混合稀土精矿）及广东、江西等地的离子吸附型稀土矿。离子吸附型稀土矿采用原地浸矿、碳铵沉淀工艺制备碳酸稀土产品，氟碳铈矿主要采用氧化焙烧工艺分解，而混合稀土精矿主要采用浓硫酸高温焙烧分解（以下简称酸法分解工艺）和液碱法分解两种工艺制备碳酸稀土和氯化稀土初级产品，然后由初级产品再通过萃取分离生产不同纯度的单一稀土产品。本文对稀土矿物的 3 种分解工艺及萃取分离制备单一稀土工艺等湿法冶金过程中的废水分类及研究现状作简单综述。

1 稀土湿法冶金过程废水的分类

1.1 混合稀土精矿的分解

1.1.1 酸法分解工艺

混合稀土精矿浓硫酸高温焙烧分解工艺是以混合稀土精矿为原料的稀土企业的主体分解工艺。该工艺在冶金过程中产生酸性废水 A ($\rho(\text{F}^-)=2\sim 5\text{ g/L}$, $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)=15\sim 25\text{ g/L}$) 和含硫酸铈的氨氮类废水 B ($\text{pH}=7\sim 8$, $\rho(\text{NH}_4^+)=5\sim 18\text{ g/L}$)。初级产品碳酸稀土还可以进一步萃取分离单一稀土产品并产生相应的废水。

1.1.2 液碱法分解工艺

液碱法分解工艺是分解混合稀土精矿的另一个主要工艺，目前仍有少部分企业采用该工艺生产。该工艺产生两种废水：酸性废水 C（含钙镁离子和盐酸，盐

酸浓度约 $1\sim 2\text{ mol/L}$ 和碱性废水 D (含 NaOH , Na_3PO_4 和 NaF 等, $\rho(\text{F}^-) = 0.4\sim 0.6\text{ g/L}$, $\rho(\text{NaOH}) = 100\sim 400\text{ g/L}$, $\rho(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 20\sim 30\text{ g/L}$, $\text{pH} = 10\sim 11$)。初级产品氯化稀土还可以进一步萃取分离出单一稀土产品。

1.2 氟碳铈矿的分解——氧化焙烧分解工艺

氧化焙烧分解工艺是四川氟碳铈矿的主要分解工艺, 主要产生两种废水, 一种是酸性废水 E, $\rho(\text{F}^-) = 4\sim 6\text{ g/L}$, $\rho(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 25\sim 35\text{ g/L}$, $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8\%\sim 10\%$ 和 Na_2SO_4 及少量的 P_2O_5 等; 一种为碱性废水 F, 主要是含 Na_2SO_4 , $\rho(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 40\sim 50\text{ g/L}$, $\rho(\text{F}^-) = 0.3\sim 0.8\text{ g/L}$, $\text{PH} = 9\sim 10$, 同时还有少量氟。少柿氯化稀土还可以继续萃取分离单一稀土产品。

1.3 萃取分离制备单一稀土产品工艺

我国稀土企业分离单一稀土产品主要是萃取分离工艺, 由于各企业的具体萃取工艺不同产生的废水种类较多, 主要是大量的各种含氨氮类废水 G, $\text{pH} = 3\sim 5$, $\rho(\text{NH}_4^+) = 8\sim 15\text{ g/L}$, 氯化铵; 少量酸性废水 H, $c(\text{HCl}) = 1.0\sim 2.0\text{ mol/L}$, $\rho(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 12\sim 15\text{ g/L}$; 氨氮类废水 1, $\text{pH} = 7\sim 8$, $\rho(\text{NH}_4^+) = 8\sim 15\text{ g/L}$, 氯化铵。

2 稀土湿法冶金过程废水处理的主要方法

2.1 酸法分解工艺废水的处理

硫酸法处理混合稀土精矿尾气喷淋吸收得到的二次酸性废水 A, 主要污染物是氟和硫酸, 其中 $\rho(\text{F}^-)$ 为 $2\sim 5\text{ g/L}$, $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 为 $15\sim 25\text{ g/L}$ 。常规方法是采用熟石灰中和沉淀法处理, 处理后废水可达标排放。该法处理工艺简便易行, 适合于小型企业, 但成本较高, 产生的大量废渣处理不当会造成二次污染。

文献报道了在废水中加入 SiO_2 和硫酸钠反应合成回收氟硅酸钠和硫酸，或加入 SiO_2 、氢氧化铝和碳酸钠合成回收氟铝酸钠和硫酸，回收处理后的少量废水（约原废水量的 10%）采用中和絮凝处理达标排放的综合回收利用的处理工艺。该工艺在处理废水的同时回收氟硅酸钠或氟铝酸钠以及硫酸，既处理了废水又回收了其中的有价物质，当处理稀土精矿能力大于 5000 t/a 时采用该工艺处理废水具有一定的经济效益。

2.2 碱法分解工艺废水的处理

碱性废水 D 的处理有比较成熟的工艺，可采用浓缩-苛化法，先浓缩使 Na_2CO_3 、 Na_3PO_4 和 NaF 结晶析出，过滤分离 NaOH 液和晶体，再以水溶解晶体，加入石灰进行苛化，过滤得到 NaOH ，碱的总回收率达到 96% 以上。回收的碱返回碱分解工序再利用。

酸性废水 C 一般采用中和混凝沉淀处理，处理后的废水达标排放，已得到工业应用。

2.3 氧化焙烧分解工艺废水的处理

对酸性废水 E 和碱性废水 F，文献报道了用铁屑反应-浓缩结晶法回收工业硫酸亚铁治理酸性废水 E，浓缩结晶法回收工业 Na_2SO_4 处理碱性废水 F，处理后的酸性母液和碱性母液混合后加入硫酸铝回收冰晶石。回收的硫酸亚铁和硫酸钠都是冶炼过程中需要的化工原材料，可用于再生产。硫酸、硫酸钠和氟的回收率分别达到了 75%，80% 和 86%，有较好的经济效益。对于酸性废水 E 也可以采用中和混凝沉淀处理工艺使其达标排放，流程简单，处理效果稳定。

2.4 萃取分离工艺废水的处理

萃取分离工艺中主要产生各类氨氮废水,该类废水是稀土湿法冶金过程中产生的主要废水,占稀土企业废水总量的 60%~70%,只要涉及稀土湿法冶金几乎都要产生氨氮废水。氨氮废水的处理历来是污水处理的重点和难点,随氨氮废水的种类、氨氮含量的不同主要有物理化学法、化学法、生物法等多种处理工艺。对于稀土企业含氨氮的废水目前尚无理想的处理工艺。对该类废水的治理可以采用蒸发浓缩法、电渗析-蒸发浓缩法、碱性蒸氨法和化学沉淀法等。

①蒸发浓缩法:废水直接蒸发浓缩回收按盐,工艺简单,废水可以回用实现“零排放”,对各类氨氮废水均适用,但因能耗高,未见有企业应用的报道。

②电渗析-蒸发浓缩法:是对蒸发浓缩法的改进,采用电渗析的方法使废水中的铵盐浓缩,处理后的废水可以直接回用,渗析得到的浓缩液经进一步蒸发浓缩回收铵盐。该方法已完成了处理氨氮类废水 G 的工业实验,但该工艺对废水水质要求苛刻,对钙镁杂质较高的硫酸铵废水 B 不适用,且电渗析设备一次性投资高。

③碱性蒸氨法:包括蒸汽吹脱法和空气吹脱法,其机理是高浓度氨氮在碱性条件下转变为游离氨,被气体由液相吹到气相而分离的方法。蒸汽吹脱法氨氮去除效率高,可以回收氨水加以利用,空气吹脱法相对比较经济,操作方便,但氨氮去除效率比前者低,尤其是高浓度的氨氮废水不能够一次吹脱达到排放标准。该工艺在北方地区冬季需保温厂房,增加了一次性投资。未见工业应用报道。

④化学沉淀法:该法是上世纪 90 年代出现的处理氨氮废水的新方法,利用 NH_4^+ 和 Mg^{2+} , PO_4^{3-} 在适当的 pH 值下可以生成 MgNH_4PO_4 沉淀而去除氨氮,经笔者对碳铵沉淀工艺氯化铵废水 I 的研究表明,该法对氨氮的去除率可达 98% 以

上,得到的 MgNH_4PO_4 是一种长效缓释复合肥,肥效利用率高,对作物无伤害,可做堆肥和花园土壤、也可以作为结构制品的阻燃剂或做耐火砖等。处理后的水偏碱性,可用于酸性废水的中和、尾气喷淋吸收等。该法对于稀土湿法冶金中产生的几类氨氮废水(硝酸铵除外)都可以适用,是一个比较好的处理方法,尚未工业应用。

另外:还有人研究了离子交换法,采用天然沸石做吸收剂吸附氨氮,对氨氮的去除率只有 50%。由于该法适合于低浓度的氨氮废水,对高浓度的稀土氨氮废水的处理不适用,可以作为一种辅助方法考虑使用。

稀土分离过程中草酸沉淀得到的酸性废水 H, 主要含 $c(\text{HCl}) = 1.5 \sim 2.0 \text{ mol/L}$, $\rho(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 12 \sim 15 \text{ g/L}$ 。蔡英茂等采用蒸馏冷凝、浓缩结晶的方法回收盐酸和草酸,盐酸和草酸的回收率分别为 93% 和 98%,回收的盐酸和草酸再回用于生产中,有较好的经济效益和社会效益。但对设备的耐腐蚀性要求比较高。

3 对稀土湿法过程中废水处理的建议

稀土湿法冶金工业因生产工艺的不同、处理稀土原料的不同和产品结构的不同所产生的废水的种类是不同的,因此不可能有统一的废水处理模式,对不同的企业应该有不同的处理工艺来优化处理废水问题。目前虽然有很多废水处理的研究和成熟的处理工艺,但大部分稀土企业只进行了部分处理,对环境造成了污染,不利于稀土工业的可持续发展,因此建议加强对稀土废水的处理:①分类治理,回收化工副产品综合利用。②以废治废,降低成本,提高废水的回用率。③开展清洁冶炼 工艺 研究,从源头解决污染问题。

(来源:中国污水处理工程网)