2024年

第06期

先进制造与新材料

ADVANCED MANUFACTURING & NEW MATERIALS BRIEFING

上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)

稀土永磁材料地位稳固，新型无稀土永磁材料尚待突破

编者按

永磁材料是经过充磁以后能对外提供永久磁场的材料。其中，稀土永磁具有优良的永磁性能，被广泛用于航空航天、计算机、医疗、通信等高科技领域。

凭借稀土资源的丰富、技术的不断精进以及市场规模的不断扩大，中国在稀土永磁这个资源技术密集型产业上实现做大做强的目标。在当今席卷全球的双碳＋智能制造浪潮下，中国凭借稀土产业这一王牌，迎来新能源汽车、工业机器人等一批朝阳产业的崛起。同时，多年来，中国、美国、日本和欧洲的科技机构以及企业都一直在努力尝试开发非稀土，或少用稀土的永磁材料，进行大量的研发工作，但是以目前情况看，新型无稀土永磁材料的性能和稳定性方面仍存在诸多挑战，有待未来进一步突破，永磁电机依然处于“稀土依赖”状态。

本期《先进制造与新材料》简报对稀土永磁材料的相关政策、技术和产业动态进行介绍。

目 录

政策.....1

美欧关键矿产战略中的中国因素.....1

美国欲建稀土供应链挑战中国主导地位.....2

美国“冲突矿产”合规监管呈扩大化趋势.....3

技术.....7

关于电机少稀土化未来趋势的推测.....7

上海大学团队研发新型纳米晶永磁材料，磁能积比同类材料高出三倍.....8

产业.....10

稀土产业链国际格局现状分析.....10

政策

美欧关键矿产战略中的中国因素

在美欧关键矿产战略中，中国被视为主要对手，成为影响其战略方向和措施的重要因素，这一点在美国的战略中尤为明显。

1、视中国为关键矿产安全的主要威胁

近年来，在美欧关键矿产安全的政府文件和学术文献中，2010 年中国和日本的稀土供应争端是被提及频度最高的所谓安全事件，并且将对中国供应的依赖描述为主要供应风险来源。美欧在制定关键矿产清单时，将大量高度依赖中国供应的资源品种列入其中，声称这些资源具有高供应风险。据统计，美国 2022 年正式公布的 50 种关键矿产中，中国是最大生产国的有 30 种，占 60%；中国是最大进口国来源国的有 26 种，占比 52%。欧盟 2020 年版“关键原料清单”所列的 30 种原料可展开为 44 种产品。其中，中国是最大生产国的有 29 种，占 66%；中国是最大进口来源国的有 17 种，占 44%。

与欧盟相比，美国对中国的敌对态度更为明确。2020 年 9 月，时任美国总统特朗普签署《解决依赖外国对手关键矿物对国内供应链构成威胁的总统行政命令》，明确提出中国是美国关键矿产安全的主要威胁。在这份总统令中，中国是唯一被提及的所谓“对手国家”，且在文中出现多达 11 次，毫不掩饰对中国供应的不信任和敌视。

2、将中国作为全球关键矿产的主要争夺者

对西方国家而言，作为全球关键矿产的主要消费国之一，中国的需求加剧部分关键矿产资源供应的紧张形势，对西方国家关键矿产供应构成威胁。美国地质调查局研究人员 Gulley 等在《美国国家科学院院刊》发文认为，中国和美国将会为获取战略性新兴产业发展不可或缺的矿产展开竞争，并将铌、铬、铂、钯、铑、铼、钽、钛、锰、锂、锆等 11 种矿产列为争夺的焦点对象。美国地质调查局作为美国资源战略制定工作的重要参与机构，其学者的观点无疑会对美国关键矿产战略的取向产生影响。

3、把遏制中国发展作为其关键矿产战略内在目标

关键矿产竞争，本质上是战略性新兴产业竞争的延伸。中国的快速崛起，特别是新兴技术领域的进步，使美国等西方传统强国感受到威胁。目前，遏制中国发展已成为美国国会两党共识和对华基本战略，新能源、新能源汽车、高端制造、信息技术等战略性新兴产业则是美国打压中国的主要领域；而在作为产业链源头的资源供应领域，“打压中国”被视作遏制中国的有效手段。

近年来，美国以推行“负责任”“可持续”方式开采矿产资源的名义，通过某些东道国政府对我国海外矿业企业施压。2022 年 8 月，美国国务卿布林肯在对刚果（金）进行外交访问期间，将刚果（金）采矿业改革列为重要议题；出访前夕，美国国务院发文称支持刚果（金）政府审查采矿合同和加强该部门的问责制决定，并且正在提供超过 3000 万美元援助，以帮助刚果（金）政府促进负责任和可持续的采矿实践。据报道，部分在刚果（金）的中资矿业企业已经开始受到相关调查。不排除美国此举是针对中国企业在刚果（金）建立的钴资源产

品供应链，意在通过限制中国获取钴资源的能力，来削弱中国在动力电池领域已取得的全球优势地位，并进一步遏制中国新能源汽车产业的发展。

资料来源：李建武, 马哲, 李鹏远. 美欧关键矿产战略及其对我国的启示. 中国科学院院刊, 2022, 37(11): 1560-1565

美国欲建稀土供应链挑战中国主导地位

美国国会两党议员于 2023 年提出《2023 年稀土磁铁制造生产税收减免法案》(Rare Earth Magnet Manufacturing Production Tax Credit Act of 2023)，计划对在美国生产的稀土磁铁提供每公斤 20 美元税务抵免。

稀土是清洁能源转型的关键材料之一，美国总部位于内华达州 Las Vegas 市的美国稀土材料公司 MP Materials 正在努力建立美国本土供应链，随着近年稀土元素的身价倍增，曾是全球第一大稀土产地的 Mountain Pass 矿场正在努力恢复过去的巅峰地位。该矿场目前正在寻求重返稀土磁铁生产竞争。该矿场在本世纪初遭遇一些财务及环境困境后，于 2002 年暂停开采，之后于 2017 年被 MP Materials 公司收购并重新开采。

目前，中国控制全球 91%的精炼业务、87%的氧化物分离业务及 94%的磁铁生产业务。MP Materials 公司于 2017 年末在 Mountain Pass 矿场重新开始开采稀土，到 2019 年，其生产的稀土精矿占全球市场供应总量的 15%。其目标是在 2023 年底前在该稀土矿场建造一个精炼厂，并投资 7 亿美元在德州 Fort Worth 市建造一个稀土磁铁制造工厂。

2023 年 2 月，MP Materials 与日本住友商事株式会社签订稀土氧化物承购协议，2022 年 2 月，该公司从美国国防部获得数千万美元资金，用于设计及建造一座工厂处理重稀土元素。2021 年，通用汽车公司和 MP Materials 同意建立长期合作伙伴关系，MP Materials 的德州工厂开始向通用汽车提供合金及磁铁。但是，稀土供应链每一个步骤的建立都需要 10+亿美元。如果错过一个步骤，就不会得到一条安全的供应链。

除中国之外的参与者都处于边走边学的状态，这对建立完整供应链这一目标构成了另一种障碍。Defense Metals 总裁 Luisa Moreno 表示，除中国之外的企业都缺乏完整供应链知识，企业必须努力学习大量的相关专业知识。

资料来源：Yusuf Khan. The U.S. Wants a Rare-Earths Supply Chain. Here's Why It Won't Come Easily.2023-04-25. https://www.wsj.com/articles/the-u-s-wants-a-rare-earths-supply-chain-heres-why-it-wont-come-easily-dfc3b632

美国“冲突矿产”合规监管呈扩大化趋势

由于被欧美国家、地区及有关国际组织认定为有可能加剧严重的暴力冲突和人权侵犯等，“冲突矿产”的范围逐渐在传统监管含义下被扩大解释。近年来，该等矿产所涉及的“冲突矿产”问题，也已从资源矿产蔓延到电子产业、通信技术工业、汽车工业、医疗器械、航空航天等众多应用领域。

1、“冲突矿产”监管的背景

2001 至 2007 年间，刚果（金）内各武装组织为了争夺当地丰富的矿产资源而引起的暴力冲突多达 2000 多起。为了获取利益，当地非政府军事团体鼓动非法开采，促使局部冲突进一步加剧，大量儿童、战俘被强迫到矿场高强度劳

作，基本人权难以保障，由德国联邦地球科学和自然资源研究院（BGR）、非洲大湖地区国际联合会（ICGLR）、全球见证（Global Witness）、国际人权联合会（FIDH）等国际机构通过联合国际的力量试图阻止冲突地区当地的矿产品贸易，以断绝武装集团的财政来源。

而后，刚果（金）地区冲突矿产所涉的劳工人权问题引起了国际社会的广泛关注，国际组织试图阻止与干预该类情况的进一步恶化。此外，相关矿产资源作为支撑国家经济发展的重要基础，伴随经济全球化的加深和国际贸易的发展变得越来越重要，各国之间的资源争夺也愈发激烈，因此，对于冲突矿产合规问题的管控逐渐形成针对冲突矿产及其衍生品供应链的监管与改善机制。

2、“冲突矿产”可能涉及的行业领域

“冲突矿产”概念所涵盖的锡、钽、钨、金 4 种金属矿物在集成电路、汽车制造以及奢侈品行业用处颇多——锡大量用于焊料、电阻器、电容器、电感器、半导体和电池等产品；钽是射频滤波器和电容器等产品的主要原材料；钨在振荡器和集成电路等产品中发挥着关键作用；金在工业上常用于印刷电路板的电镀、集成电路的键合线与连接器，与此同时也是最为重要的贵金属之一，被广泛运用于奢侈品行业。

此外，诸如锂、钴、镍、石墨、稀土、铝、铜、铅矿石等金属和/或非金属矿产，也被纳入监管范围，衍生领域产品涵盖新能源电池、锂电池、零部件铝制品、轮胎、座垫、电路板电镀、电子元件等，并纵向辐射至更为宽泛的产业链相关行业，包括电子产品、航空航天、新能源汽车、工业机械制造业、光伏

新能源、生物医药、医疗植入物、半导体行业、珠宝首饰行业、全球黄金贸易投资等各领域。

此外，一些看似与上述原材料矿产并没有直接关系的下游成品制造企业，也可能因为自身发展需求，例如境外上市、供应商入库考核或出于其他社会责任要求，而必须披露并确保自身及整体供应链的采购中均无涉及“冲突矿产”的因素。这使得关注“冲突矿产”政策及发展变化逐步成为更多的企业在日常经营中亟待提上日程的关键事项。

3、“冲突矿产”监管的扩大化趋势

（1）定义范围扩大

尽管目前美国和欧盟相关法案中所明确的“冲突矿产”矿种仅有 3TG，但随着欧美均已出现通过判定相关国家/地区具有所谓“冲突特征”（武装冲突、暴力活动等，也包括治理不力、人口歧视、人权问题）而扩大“冲突矿产”所涉地区范围的趋势。据此，“冲突矿产”的矿种也有随之被扩大解释的趋向，未来的“冲突矿产”种类在 3TG 及其产品（如矿石、精矿、金属、衍生物和副产品）之外可能会扩展到钨、锡、钽、金、钴、铜、铝、铅、锌、镍、钼、稀土、锂、云母、重晶石等各类金属。例如，业内认可度较高的 RMI，在其官网上矿产尽职调查一页除了传统的冲突矿产 3TG，还列出了钴、金、云母和其他金属，这意味着其成员国可能已经有其他金属尽职调查的需求。以钴为例，刚果（金）作为重要的钴矿产地，从那里开采的钴需要证明其矿区的清洁性（不涉及人权和非法暴行等因素）。在全球能源转型的大环境下，钴作为新能源电池（三元锂电池）重要的负极材料之一，其需求被大大提升，但受各类因素的推动，亦有非

政府组织或行业倡议组织正在推动将钴纳入冲突矿产范围。相关企业还需关注冲突矿产类别的变化。

（2）监管重心下延，监管对象全链化

美国《多德弗兰克法案》的监管涵盖所有在美国上市的公司，《欧盟冲突矿产条例》主要面向进口量超过一定阈值的欧盟矿产或金属进口商。这两个方案对冲突矿产尽职调查要求目前因后续监管和执法不充分也遭到诟病。有学者和非政府组织一直在要求扩大监管范围，使其尽可能涵盖到所有冲突地区出产的矿物，以尽可能减少冲突矿产产业链上助长非法组织或侵犯人权的做法。

欧盟各国已开始加强和完善监管所需的法律依据，如 2017 年法国颁布《公司警戒义务法》（Loi n 2017-399 relative audevoir de vigilance des sociétés mères et des entreprises donneuses d'ordre），2019 年荷兰通过《童工尽责法案》（Wet Zorgplicht Kinderarbeid），2021 年德国通过《供应链法》或称《尽职调查法案》（Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten）。以德国为例，其《供应链法》已于 2023 年 1 月 1 日生效。根据该法，所有员工数超过 3000 的公司，以及自 2024 年起所有员工数超过 1000 的公司都须履行尽职调查义务，无论其位于供应链的什么位置，都须避免其供应链上出现童工、强迫劳动、奴役、环境破坏、工资剥削、员工歧视等行为。可以想象，届时大型企业肯定会将法律规定的义务转嫁给供应商，这意味尽职调查义务将从供应链源头一路延伸到其终端，全链的企业都会被施以供应链尽职调查的义务。

（3）“冲突矿产”合规正成为 ESG 评估重要一环

由于供应链 ESG 风险能够影响生产型企业的生产周期、产品的合规性和安全性，企业的供应链安全也成为当下热门话题。部分企业已明确将冲突矿产合规纳入 ESG 评估之中。通过对企业所制定的《供应商管理制度》《供应商审核管理制度》《合作伙伴行为准则》等公开制度的观察，企业正在优化供应商引入、审核、质量管理和提升等方面的管理与流程，并建立与业务相适应的合规标准和道德要求。同时制定并要求供应商签署《不使用冲突矿产承诺书》。

资料来源：走出去智库（CGGT）. 美国又出限制政策，“冲突矿产”合规监管呈扩大化趋势.2024-01-12. https://www.sohu.com/a/753586559_610982

技术

关于电机少稀土化未来趋势的推测

2023 年，特斯拉负责动力总成业务的副总裁 Colin Campbell 表示，公司下一代电机将完全不使用稀土材料。这条讯息就像投入平静湖面的一颗石子，在行业内引起一阵骚动。据悉，2017-2022 年，由于提高了传动系统的效率，特斯拉已成功地使 Model 3 驱动模块的稀土使用量减少了 25％。而在 2020 年，特斯拉方面就曾透露，正在开发一种新型无磁电机——表面永磁体开关磁阻（SPSRM）电机，它结合永磁电机和开关磁阻（SRM）电机的优点，同时避免了两者的缺点，可以在不使用稀土材料的情况下，实现高效率、高功率密度和高扭矩密度。

特斯拉下一代电机将完全不使用稀土材料的主张，似乎让永磁电机和稀土材料的地位有所动摇。从技术和市场的角度来看，行业的趋势到底应该怎么解读？其实，特斯拉并不是惟一一家提出电机不用稀土的企业。2021 年，德国汽车零部件公司马勒开发出一款无需稀土材料的新型电机；随后在 2022 年，宝马也推出第 5 代无稀土电机。业内人士认为，特斯拉等企业急于开发无稀土电机，与其说是技术发展使然，不如说更多是出于对地缘政治因素的考量。

作为电动汽车的领军者，特斯拉的动向引起整个电机行业的关注。关于不使用稀土的下一代特斯拉电机，博格华纳工程部经理霍从崇有三个猜想。

第一，“不使用稀土”可能指的是不使用重稀土，而非所有稀土。霍从崇表示：“通常意义上，电机使用的稀土多是指重稀土，如铽（Tb）、镝（Dy）、

钬（Ho）、钕（Nd）、镨（Pr）等元素。不同电机采用的重稀土元素不同，因为其存量少、成本高。现在，企业开始转向更多使用轻稀土，减少重稀土使用量。”

第二，采用电励磁同步电机替代永磁同步电机也是一种可能的方式。电励磁电机的核心是用电励磁线圈代替永磁铁，通过调整线圈的电流量来改变磁力强度，从而实现不同车速下的不同动力性能要求。同时，电励磁线圈可以消除永磁铁在高温下退磁和失速的缺点，高转速下减小励磁电流就可以实现弱磁，通过控制励磁强度可实现转速变化，安全性也更好。宝马的第 5 代无磁电机采用的就是这种方式。

电励磁电机与永磁电机的最大区别在于转子，前者的原理是转子上增加线圈，利用碳刷装置将励磁电流引入。但是，这又带来了一个新的问题，碳刷的可靠性和耐久性会对电机的工作效率产生很大影响。

第三，混合励磁的方式原则上也可以实现。这种新型电机在保持较高效率的前提下，改变拓扑结构，由两种励磁源共同产生主磁场，实现调节和控制，改善电机调速、驱动性能或调压特性。即永磁体不采用稀土材料，而是用铁氧体，再加入一些电励磁等，但这种方案磁性不好，工作效率有限，若想保证工作效率就要牺牲电机的精巧度，电机需要做得更大、更重。

“当然，我们目前还无法排除特斯拉在新材料上取得重大突破的可能性；但如果没有，这 3 种方案我认为还是第一种的可能性最大。”霍从崇表示，目前已有美国企业可以研发出电机“零”重稀土使用量的方案，相信这对特斯拉而言也不是什么困难的挑战。

资料来源：张雅慧. 无稀土不电机？听国内供应商解读电机少稀土化来龙去脉.2023-04-15. https://finance.sina.cn/2023-04-15/detail-imyqneun9957394.d.html?from=wap

上海大学团队研发新型纳米晶永磁材料，磁能积比同类材料高出三倍

上海大学研究团队造出一种新型纳米晶稀土永磁材料，它基于 SmCo/FeCo 多硬相的软硬纳米复合稀土，其磁能积是各向同性 SmCo5 的三倍之多。

五钴化钐（SmCo5）合金，具备较高的磁晶各向异性场、以及较高的居里温度，故其拥有较高的温度稳定性，因而在高温领域、高速电机等领域展现出独特的优势。然而，SmCo5 合金的剩磁较低，磁能积只有钕铁硼（NdFeB）的一半。一直以来，提高 SmCo5 磁体的剩磁和磁能积，始终是稀土永磁领域的重要课题。经过几十年的发展，单相 SmCo5 磁体的剩磁和磁能积已经接近理论值，因此亟需发展可以进一步提高其性能的新方法。简单来说，凭借软硬磁性相在纳米尺寸上的复合能力，再综合硬磁相的高矫顽力、以及软磁相的高剩磁，就能大幅提高永磁材料的磁能积。

该团队研发的各向同性 SmCo/FeCo 复合磁体，其磁能积可以达到 25MGOe 以上的水平，并且铁含量也相对更高，因此可以提高磁体的韧性和加工性能，进而降低材料的制备成本。下一步，研究团队打算制备出高性能纳米晶块体。要想从粉体做到块体，如何保留住微观组织结构将是必须面对的挑战，而这也是她即将启动的新课题。

资料来源：Ma, L., Quan, W., Fan, J., Chen, Y., Zheng, Q., Bian, B., ... & Du, J. (2023). High magnetic energy product in isotropic nanocomposite powders with high percent of soft phase towards ultrastrong magnets.Journal of Materials Science & Technology, 144, 161-167.

产业

稀土产业链国际格局现状分析

一、稀土资源储量环节

稀土不稀，全球分布。据美国地质调查局（USGS）数据显示，在 20 世纪 80—90 年代，全球稀土储量为 1 亿吨（以稀土氧化物 REO 计算，下同），其中我国占比 43%左右；2011 年之后，我国稀土储量维持在 4400 万吨，而我国以外的稀土资源储量从 4000 万吨增长了 1 倍多，达到 9800 万吨。2021 年，按已实际开采并探明储量的矿山计算，全球稀土资源总储量约为 1.2 亿吨，其中我国约占 36.7%。整体而言，我国是全球稀土储量最大的国家，比排在第 2 位的越南高出 1 倍多。但是，从稀土矿品位来看，我国整体并不乐观，与美国、澳大利亚、俄罗斯、巴西等国和非洲部分国家有差距。

二、稀土开采选矿环节

20 世纪 60-70 年代，美国主导了全球稀土矿的供应；1986 年，我国稀土矿产量首次超过美国，并在之后的 30—40 年内成为全球稀土供应主要来源；2011

年以后，美国、澳大利亚等国开始建设/重建本土稀土开采项目，全球稀土逐步转向多元化供应时代。2021 年，全球稀土矿产品产量约为 28 万吨，我国产量占 60%；而美国位居第 2 位，占全球总产量的 15%。据稀土企业公开数据显示，我国境外正在推进的稀土矿开采项目及计划年产能总和达 16.7 万吨（2019 年数据），占比位列前 3 位的分别是澳大利亚格陵兰矿业公司（2.4 万吨）、加拿大商业资源公司（1.7 万吨）和澳大利亚阿拉弗拉资源公司（1.3 万吨）。随着稀土需求日益上涨，我国境外稀土资源开采规模将进一步扩张。

三、稀土冶炼分离环节

从 20 世纪 80 年代起，得益于稀土串级萃取理论的创建并大规模应用，我国稀土冶炼分离产能大幅提升。在 20 世纪 90 年代，我国稀土氧化物产量首次超过美国，成为全球最大的稀土氧化物和金属生产国。2000-2015 年，在环保及市场等因素限制下，国外稀土冶炼分离企业陆续关闭。例如，美国为规避放射性废弃物污染曾先后关闭 Mountain Pass 矿场的冶炼分离厂和采矿厂。与此同时，我国稀土冶炼分离产品产量在全球占比不断上升，最高达 97%左右。之后，其

他国家开始建设/重建稀土分离冶炼产能；2020 年，我国冶炼分离产能全球占比下降到 88%，但相较开采端而言，比例仍然很高。由此可见，我国在冶炼分离环节具有巨大优势，而国外稀土产业链大多缺失该环节，这使得境外开采的稀土矿也需要在我国境内进行冶炼分离。

四、稀土功能材料制备环节

稀土功能材料种类繁多、功能各异。以稀土永磁体为例，21 世纪以来，在稀土供应受限等因素约束下，美西方永磁体生产难以为继，全球稀土永磁体产业向中国转移基本完成。例如，日本精工爱普生集团、日本尼兰德磁业公司等就将永磁体生产业务转移到中国；美国永磁体企业麦格昆磁也将工厂搬到天津，而美国其他永磁体企业则被迫关闭。我国快速形成以宁波、京津地区、包头和赣州为主的永磁产业集群，稀土永磁体产能全球占比由 2005 年的 78%上升至 2020 年的 92%。除稀土永磁体外，我国还生产了全球 70%的稀土储氢合金和 45%的稀土催化材料。整体而言，我国已成为多数稀土功能材料的全球最大生产国，规模优势突出。但在高端稀土材料领域与美西方还有差距，以我国具有

优势的永磁体产业为例，我国高端稀土永磁体产量仅占全球的 23%左右。

五、稀土终端应用环节

稀土功能材料可应用于冶金、石化等传统领域，以及电子信息、新能源、航空航天等诸多高科技领域。传统领域稀土应用量小且稳定，而高科技领域稀土用量大且增长快。据测算，世界稀土消费从 1997 年的 6.6 万吨增长到 2020 年的 16.7 万吨，年均增长 4%。我国自 2002 年之后就成为世界稀土最大消费国，消费量由 2010 年的 8.7 万吨增长到 2020 年的 11.5 万吨；其中，永磁是我国最大应用领域（占国内消费量的 42%），其次是冶金机械、石油化工。相较而言，世界其他国家稀土消费量相对较低且增长缓慢，由 2010 年的 3.8 万吨上升到 2020 年的 5.2 万吨。据美国地质调查局数据显示，美国稀土消费量由 2010 年的 1.5 万吨下降到 2020 年的 0.54 万吨，且其消费集中在传统部门（如石油化工占比 75%，玻璃陶瓷占比 6%，抛光占比 5%，冶金机械占比 4%）。随着我国“双碳”目标的提出，风电、新能源汽车、节能电机、变频空调等将会持续成为稀土元素应用规模最大、增长速度最快的终端应用领域。我国“双碳”相关领域的稀

土消费量已经超过稀土消费总量的 40%左右，并在引领稀土大规模应用。

六、稀土循环回收环节

稀土可以通过生产废料和末端产品两条主要途径进行循环回收。在我国，稀土回收以从永磁体生产加工过程中产生的碎屑、边角料、研磨压制的生产侧废料回收为主。2021 年，我国从生产侧废料回收稀土 2.7 万吨，占稀土氧化物生产总量的（17 万吨）的 16%。在报废永磁体等末端产品回收方面，全球稀土回收前景巨大，但产量仍然较少。为此，美国、欧盟大力开展稀土回收技术研发并进行产业扶持。例如，欧盟宣布投资 SUSMAGPRO 项目（包括 19 个子项目，覆盖 9 个国家，总金额 1.4 亿欧元），开展稀土永磁体的可持续回收、再加工和再利用等方面研究。相对而言，我国对稀土末端循环回收的战略意识及企业布局仍显不足。

在全球层面，稀土产业链关键环节仅有少数国家具备生产能力。在“五眼联盟”（美国、英国、加拿大、澳大利亚、新西兰）中，美国、澳大利亚仅具备稀土矿开采能力，英国仅能够生产稀土金属；在欧盟国家中，法国、爱沙尼亚具备稀土冶炼分离能力，德国拥有稀土永磁体生产能力。可见“五眼联盟”和欧盟

能够在联盟内部构建完整的稀土产业链。在东南亚国家中，马来西亚和缅甸具有稀土开采和冶炼分离能力，越南能够生产稀土金属和永磁体。此外，日本在稀土产业链下游的稀土金属和永磁体环节具备生产能力；俄罗斯、印度也能够进行稀土开采和冶炼分离；非洲国家布隆迪具备稀土矿开采能力。目前，我国是全球唯一具备稀土全产业链各类产品生产能力的国家，美西方稀土产业链的整体规模远低于我国，且其产业链均不完整并存在明显短板。

资料来源：吴一丁, 彭子龙, 赖丹, 赵燊, 王路, 陈伟强, 汪鹏. 稀土产业链全球格局现状、趋势预判及应对战略研究. 中国科学院院刊, 2023, 38(2): 255-264

地址：上海市永福路 265 号
邮编：200031
编辑：温一村
责编：崔晓文
编审：林鹤
电话：021-64455555
邮件：istis@libnet.sh.cn
网址：www.istis.sh.cn