

稀土功能材料 2035 发展战略研究

朱明刚¹, 孙旭¹, 刘荣辉², 徐会兵²

(1. 钢铁研究总院, 北京 100081; 2. 有研稀土新材料股份有限公司, 北京 100088)

摘要: 稀土功能材料作为我国最具有资源特色的关键战略材料之一, 是支撑新一代信息技术、航空航天与现代武器装备、先进轨道交通、节能与新能源汽车、高性能医疗器械等高技术领域的核心材料。本文介绍了稀土功能材料产业的背景和发展现状, 分析了我国稀土功能材料产业发展存在的问题, 提出了面向新材料强国 2035 发展战略的发展思路和重点发展方向, 从强化稀土领域的战略预判和政策扶植、加强稀土领域的基础研究和应用基础、加强稀土优势团队和人才建设等方面提出政策建议, 为促进稀土功能材料的领域发展, 实现我国从稀土大国向稀土强国的战略性转变提供参考。

关键词: 稀土功能材料; 关键战略材料; 新材料强国 2035

中图分类号: O614.33; TG146.4; TB34 **文献标识码:** A

Development Strategies for Rare Earth Functional Materials by 2035

Zhu Minggang¹, Sun Xu¹, Liu Ronghui², Xu Huibing²

(1. Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081, China; 2. Griem Advanced Materials Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: Rare earth functional materials are critical and strategic in supporting the high-tech fields such as new-generation information technology, aerospace and modern weaponry, advanced rail transit, energy-saving and new energy vehicles, and high-performance medical devices. In this article, the development status and trends of the rare earth functional materials industry in China are introduced and the problems of the industry are analyzed. To promote the competitiveness of the rare earth functional materials in China, some policy suggestions are proposed, including strengthening strategic prediction and policy support, promoting basic research and application, and enhancing the construction of advantageous teams and the development of personnel in the rare earth field.

Keywords: rare earth functional materials; critical and strategic materials; new materials power strategy 2035

一、前言

稀土元素 (15 个镧系元素、钪、铀共 17 个元素的总称) 因其独特的电子层结构, 使其具有优异的磁、光、电等物理和化学特性, 在新能源汽车、

新型显示与照明、工业机器人、电子信息、航空航天、国防军工、节能环保及高端装备制造等战略性新兴产业中均发挥着重要的作用, 是不可或缺的核心基础材料 [1]。

以稀土功能材料为代表的稀土新材料已成为全

收稿日期: 2020-07-16; 修回日期: 2020-08-12

通讯作者: 朱明刚, 钢铁研究总院教授, 主要研究方向为稀土功能材料; E-mail: mgzhu@126.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“新材料强国 2035 战略研究”(2018-ZD-03)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

球竞争的焦点之一。欧美和日本等发达国家和地区均将稀土元素列入“21 世纪的战略元素”，进行战略储备和重点研究。美国能源部制定的“关键材料战略”、日本文部科学省制定的“元素战略计划”、欧盟制定的“欧盟危急原材料计划”均将稀土元素列为重点研究领域。特别是，近年来美国重启稀土产业来获得可用于军事用途的稀土磁铁。可以说，稀土永磁材料已成为稀土功能材料领域的“上甘岭”。

正因如此，我国将稀土列为国家重点管控和发展的战略资源，并在《中国制造 2025》等国家中长期发展规划中将稀土功能材料列为关键战略材料予以重点发展。《国务院关于促进稀土行业持续健康发展的若干意见》等相关规定也有利地推动了稀土功能材料领域科技创新，优化稀土产业结构，促进了我国稀土功能材料发展水平和质量的不断提升。

二、稀土功能材料的发展现状

稀土是我国具有国际话语权的重要战略资源和优势领域。我国是世界稀土资源储量大国，据探测全球稀土资源总储量约为 1.2×10^8 t，其中我国储量达到 4.4×10^7 t，占比约为 37.8% [2,3]，是全球最大的稀土矿生产国。2019 年全球稀土矿产量为 2.1×10^5 t，其中，我国的稀土矿产量达到 1.32×10^5 t，约占全球稀土矿产量的 63%。同时，我国也是具有完整独立工业体系的稀土产业化国家，涵盖从上游的选矿，中游的冶炼分离、氧化物和稀土金属生产，下游的稀土新材料以及应用的全部产业链。2018 年中国稀土产业链产值约为 900 亿元，其中稀土功能材料占比为 56%，产值约为 500 亿元，冶炼分离占比为 27%，产值约为 250 亿元。其中，稀土功能材料中占比最高的是稀土永磁材料，占 75%，产值约为 375 亿元，催化材料占比为 20%，产值约为 100 亿元。以稀土功能材料在我国的稀土消费结构来看，稀土永磁材料受益于新能源汽车和电子工业等领域的高速发展，在消费结构中的占比最高超过 40%；冶金和机械、石油化工、玻璃陶瓷占比分别为 12%、9% 和 8%，储氢材料和发光材料各占比约 7%；催化材料、抛光材料和农业轻纺各占 5% [4]。

（一）稀土冶炼分离领域

1988 年，我国稀土产量超过了美国，成为世界第一稀土生产国。我国稀土冶炼分离水平全球领先并延续至今，控制着高纯单一稀土的全球市场。目前，我国稀土冶炼分离企业主要集中于中国的六大稀土集团：北方稀土高科技有限责任公司（集团）、中国南方稀土集团有限公司、广东省稀土产业集团有限公司、中国稀有稀土股份有限公司、五矿稀土集团有限公司、厦门钨业股份有限公司。国外的稀土冶炼分离项目主要有美国钼公司的 Mountain Pass 项目（盛和资源控股股份有限公司收购）、澳大利亚 Lynas 在马来西亚关丹的冶炼分离项目、比利时索尔维集团（Solvay）项目等。

（二）稀土永磁材料领域

稀土永磁材料不仅是整个稀土领域发展最快、产业规模最大最完整的发展方向，是国防工业领域不可替代和不可或缺的关键原材料，也是稀土消耗量最大的应用领域。自 2000 年以后，我国稀土永磁材料应用的产业规模不断扩大，烧结钕铁硼磁体毛坯产量由“十二五”初期的 8×10^4 t 增加到 2019 年的 1.8×10^5 t，增幅超过 1 倍，占全球产量的 85% 以上；钕钴永磁材料的产量为 2400 t，占全球产量的 80% 以上。

烧结钕铁硼磁体在风力发电、混合动力和电动汽车等新能源汽车、节能家电、工业机器人、高速和磁悬浮列车等高新技术行业中的广泛发展，为稀土永磁材料行业发展提供了重要支撑以及较为可观的行业增长潜力。我国在高性能稀土永磁材料、重稀土减量化技术、高丰度稀土永磁材料的平衡利用和磁体回收利用技术等领域都接近世界同行先进水平。

尽管我国已成为全球最大的稀土永磁材料生产国，以高丰度稀土永磁材料为代表的部分稀土永磁制备技术已处于世界领先地位，但我国的稀土永磁材料产品，目前还无法满足高档机器人、第五代移动通信技术（5G）、光刻机等新兴产业对高端永磁体的技术需求。同时，在整个稀土永磁材料的核心知识产权、热压\热变形、晶粒细化等最先进的制备技术及连续化智能化装备等领域，仍然同美国、日本等发达国家存在不小的差距。

（三）稀土发光材料领域

随着半导体材料在照明、显示和信息探测领域的加速渗透，市场对光源的品质化需求也越来越高。在照明领域，目前实现全光谱照明被认为是新一代白光 LED 照明的主导方向。在其他发光材料领域，近红外探测器件是物联网的重要组成部分，已成为全球关注的焦点，在安防监控、生物识别、食品医疗检测等领域具有很大的应用前景 [5]。

在发光材料领域，以白光发光二极管（LED）用照明与显示材料来说，三菱化学株式会社、电气化学株式会社、日亚化学工业株式会社等日本企业在全世界的生产量、销售量、资产总额等方面占据绝对优势。而我国的白光 LED 荧光粉国产化率也从 2000 年的不足 5% 提升至目前的约 85%，但在创新驱动与自我提升能力方面，我国企业与国外仍有一定的技术差距。目前，我国较有行业影响力的企业主要有有研稀土新材料股份有限公司、江苏博睿光电有限公司、江门科恒实业股份有限公司。

（四）稀土晶体材料领域

稀土晶体材料主要包括稀土激光晶体和稀土闪烁晶体两大类，在国防军工、尖端科学装置、医疗、探测、安全检查等领域具有广泛应用。近年来，正电子发射计算机断层显像（PET-CT）等高端医疗诊断设备发展迅速，对以硅酸钇镧（LYSO）晶体为代表的高性能稀土闪烁晶体产生了强劲需求，以中国为代表的新兴经济体未来的市场潜力尤为巨大。按照每百万人 1 台的拥有量计算，我国需新增约 1000 台 PET-CT 设备，对稀土闪烁晶体的需求量将超过 30 亿元。

（五）稀土催化材料领域

稀土催化材料在国民经济中占据重要地位，可以广泛应用于环境和能源，促进高丰度轻稀土元素镧、铈等大量应用，有效缓解并解决我国稀土消费失衡，提升能源与环境技术，改善人类生存环境。石油裂化催化剂和机动车尾气净化催化剂是稀土催化材料用量最大的两个应用领域，包括石油裂化催化剂、移动源（机动车、船舶、农用机械等）尾气净化催化剂、固定源（工业废气脱硝、天然气燃烧、有机废气处理等）尾气净化催化剂等。

与世界同类催化剂相比，国产裂化催化剂在使

用性能上已达到相同水平。但在机动车尾气净化催化剂、火电厂用高温工业废气脱硝催化剂领域，如铈钨稀土储氧材料、改性氧化铝涂层等关键材料，大尺寸、超薄壁载体（>600 目）规模化生产，以及系统集成关键技术与装备等方面，与国外先进水平仍有一定差距。

（六）高纯稀土金属及靶材领域

高纯稀土金属是研究开发高新技术材料的核心原料，广泛应用于磁性材料、光功能材料、催化材料、储氢材料、功能陶瓷材料、电子信息用溅射靶材等领域。进入 20 世纪末期，日矿金属株式会社、东曹株式会社、霍尼韦尔国际公司等日本和欧美企业已经由高纯金属的制备转而进入产业化开发和新材料应用阶段，为 7 nm 以下高阶制程集成电路、5G 通信器件、大功率器件及智能传感器件、固态存储器等先进电子信息产品提供配套关键材料。世界知名的高纯稀土金属及靶材制造企业主要是日本东曹株式会社、美国霍尼韦尔国际公司等世界 500 强企业。我国高纯稀土金属及靶材制造企业主要包括有研稀土新材料股份有限公司、湖南稀土金属材料研究院等，在技术创新、先进装备、前沿基础研究等方面还存在差距。我国目前已突破超高纯稀土金属制备技术，但距离实现产业化，保障集成电路等电子信息产业发展还有一定的距离。

三、稀土功能材料发展的困难与挑战

基于以上稀土功能材料的研究现状，可以发现，稀土资源作为不可再生的全球稀缺战略资源，一直是全球关注的焦点之一。自中美贸易摩擦以来，稀土和稀土永磁材料成为国内外媒体经常提起的“关键词”，究其原因在于中国稀土及稀土永磁材料产业链的主导地位和稀土永磁材料科技的发展速度让美国倍感担忧。尽管我国的稀土资源和稀土采选冶等工艺技术处于国际领先地位，同时也拥有一系列原创技术，然而在整个稀土功能材料发展中仍然面临着不少困难和挑战。

稀土功能材料的外部挑战，主要来源于美国以“举国体制+全球阵营”，试图通过“全面脱钩”方式摆脱对中国稀土永磁产品的依赖，同时煽动其他国家放弃应用中国的稀土永磁材料，以此来

围堵和遏制我国稀土科技和应用产业的快速发展。另一方面，在稀土功能材料的中下游应用领域，我国大部分研究开发处于跟随国外领先技术方式状态。尽管近年来我国在稀土材料领域的专利申请量快速上升，但绝大部分属于改进型专利或边缘专利，拥有核心自主知识产权的成果尤其是具有原创性的国际专利还不多，很多核心技术受国外专利技术壁垒的制约，严重影响了稀土产业的高质量发展和国际化步伐。

稀土功能材料的内部挑战，主要来自于稀土产业基础短板问题突出，“锻长板”重视程度不足；企业和科研机构更倾向于支持短期见效的研仿型技术，对开发难度大、开发成本高、技术突破周期长的原创技术的支持力度不足；稀土功能材料领域的多学科、跨行业协同研发能力有待加强。归根到底，还是我国的原始创新能力不足，对稀土功能材料核心技术的掌控能力较弱。

因此，着眼于 2035 的稀土功能材料发展，应更加注重全球化视角下的稀土功能材料的自主创新能力建设，包括核心技术的掌控、与国际先进技术的学习和融合，以及稀土功能产业优势的坚守和做大做强。

四、稀土功能材料未来发展思路、重点发展方向和发展目标

（一）发展思路

紧密结合国家战略，结合未来智能机器人、智慧城市、海洋与星际开发、大数据社会和人机对接等应用场景，重点开展工程化及产业化关键技术研究，着力突破稀土永磁材料、稀土发光材料、稀土催化材料、稀土晶体材料、高纯稀土金属及靶材等先进稀土功能材料的核心制备技术、智能生产装备、专用检测仪器及其应用技术；通过全产业链同步创新，推进先进成果推广实施，保障战略性新兴产业、国防军工、智能制造等重大战略需求的关键材料的有效供给，最终实现高端应用稀土功能材料的自主供给；开展前沿基础理论和实验研究，通过科学问题的深入探究和积累，提出更多原创理论，做出原创发现，获得一批稀土新材料和新应用原创性成果；实现我国从稀土大国向稀土强国的战略性转变，引领未来稀土科技和产业发展，

为实现我国“到 2035 年跻身创新型国家前列”的战略目标提供材料支撑。

（二）重点发展方向

1. 超高性能稀土永磁材料制备及稀土高效平衡利用关键技术

针对未来智能社会对具有更高磁性能永磁材料的期待和新技术装备对永磁材料功能多样性的要求，结合知识更新与技术变革的历史规律，以及当前对发展高性能稀土永磁材料晶粒细化和晶界优化等关键技术的认识，拟定重点发展内容。

（1）钕铁硼永磁材料方面：重点开展高综合性能烧结钕铁硼的制备技术研究，重稀土在烧结钕铁硼磁体中晶界扩散机理研究，烧结钕铁硼回收技术及应用研究，烧结钕铁硼磁体服役性能预测技术与理论研究等。

（2）钕钴永磁材料方面：重点开展高剩磁钕钴磁体的元素调控机制研究，开展高性能钕钴永磁工程化制备中纳米结构及微区成分调控研究，高使用温度钕钴抗氧化技术研究，高温钕钴永磁表面防护技术研究等。

（3）热压永磁材料方面：重点开展薄壁热压磁环各向异性形成机理研究，热压磁环用高性能磁粉制备技术研究，高性能热压永磁环制备技术及应用，高性能热压磁环工程化制备装备及工艺技术开发等。

（4）高丰度永磁材料方面：重点开展高丰度（La、Ce 等）稀土在永磁材料中的平衡利用，双主相钕磁体结构与矫顽力机理及矫顽力提升技术研究等。

（5）结合材料基因、机器学习等方法，开展具有普适性的磁性功能材料结构设计和性能计算等分析方法及软件的研究；针对第一代稀土永磁材料高磁能积和高矫顽力的关键性能指标，开展材料新体系和新结构的探索。

（6）针对磁性功能材料的特点，研究测试检测新原理、新设备，逐步摆脱分析检测装备对国外的依赖。

2. 新型稀土永磁材料及定制化应用关键技术

在低碳经济席卷全球的大势之下，世界各国都把环境保护、低碳排放作为关键科技领域给予关注。重点发展内容包括：开发智能轨道交通与智能工业制造体系；开发以永磁悬浮轴承技术、永磁涡流传

动技术、永磁涡流制动技术等为代表的节能高效的永磁材料及磁动力系统；开发具备海洋腐蚀环境服役的高耐蚀性永磁直驱发电机用稀土永磁材料及风电系统；开发机器人与智慧城市等应用场景的高磁能积、高矫顽力、小型化、高精度的永磁材料。

3. 高端稀土发光材料及其关键制备技术和装备

随着半导体照明市场对光源的品质化需求越来越高，需要重点发展高端稀土发光材料及其关键制备技术和装备，以满足照明、显示和信息探测等领域的应用。重点发展内容包括：重点突破高效发射非可见光和上转换发光等新型稀土发光材料及其制备技术，开发紫光-蓝光激发下红外发射效率增强理论和技术途径；开发蓝光激发下发射高效窄带发射、高色纯度绿色和红色发光材料及其制备技术；利用结构相似相容和同位替换原则设计开发新型具有自主知识产权的材料体系，开展基于高通量材料结构设计，获得一系列新型稀土发光材料。

4. 稀土催化材料关键制备技术

稀土催化材料是促进高丰度轻稀土元素镧、铈等大量应用，有效缓解并解决我国稀土消费失衡，提升能源与环境技术，促进民生，改善人类生存环境的高科技材料。重点发展内容包括：开发高效、节能、长寿命的石油化工稀土催化材料、清洁能源合成稀土催化材料、机动车尾气污染治理及工业废气排放污染治理稀土催化材料及产业化关键技术；重点发展纳米笼分子组装及高比表面积铈锆材料制备等关键技术，研制出超高性能稀土催化材料，并在固定源及移动源排气系统高效稀土催化净化部件中规模应用，实现国产化。

5. 先进稀土晶体材料及其产业化制备技术

稀土晶体材料在国防军工、尖端科学装置、医疗、探测、安全检查等领域具有广泛应用。开展稀土晶体材料及其产业化制备技术是未来主要发展趋势。

稀土激光晶体方面重点发展方向包括：开发大尺寸、高质量稀土激光晶体生长和加工技术及装备；开发高质量稀土激光晶体、激光光纤的高效制备技术；基于稀土激光晶体的各种新型激光应用技术。

稀土闪烁晶体方面：重点开发高性能稀土闪烁晶体及其高效制备技术；高能量分辨率稀土闪烁晶

体及其大尺寸单晶生长技术；新型高性能稀土闪烁晶体的高通量制备及表征技术。

6. 高纯稀土金属及靶材制备技术

新一代信息电子及能源材料是高纯稀土金属及靶材产品的主要应用方向，未来对高纯稀土金属材料重点研究方向包括：进一步提高稀土金属的纯度，达到 4N5 (99.995%) 以上水平，发展低成本、规模化制备超高纯稀土金属技术，为研制高纯稀土靶材提供关键的原材料；精细提纯控制工艺及大型高真空提纯装备如大型区熔炉、单晶提纯炉等高端装备开发；发展超高纯稀土金属及靶材中痕量杂质元素分析检测技术。

(三) 发展目标

1. 2025 年目标：完成稀土产业由跟跑到并跑的过渡

到 2025 年，迈入稀土功能材料领域强国行列。面向新一代信息技术、现代交通、新一代照明及显示、节能环保、集成电路、生物医药、国防军工等领域的重大发展需求，初步掌握具有自主知识产权的稀土磁性材料及其制造装备的关键核心技术，新能源汽车、航空航天、工业伺服电机等高端磁性材料应用领域，稀土永磁材料换代达标率达到 70%。突破稀土发光材料的批量、稳定制备技术，国产化率提高到 80% 以上；突破高性能稀土晶体材料、高纯稀土金属及靶材等新型稀土功能材料关键制备技术，达到高端医疗装备、智能探测、集成电路等的要求，部分替代进口；开发出新型稀土功能材料及其制备技术，并拓展新的应用领域。到 2025 年，掌握一批重点稀土新材料的关键核心技术，优势领域形成一批具有较强国际竞争力的跨国公司和产业集群，在全球产业价值链中的地位明显提升，完成稀土产业由跟跑到并跑的过渡。

2. 2030 年目标：初步建成世界稀土强国

到 2030 年，在稀土功能材料领域，创新能力得到大幅提升，能够实现引领全球稀土永磁材料研究和产业发展，初步实现世界稀土产业强国目标。超高性能永磁体在机器人、医疗装备、航空航天、物联网、舰船、石油化工等重大装备和工程上得到全面应用，掌握具有自主知识产权的稀土磁性材料及其制造装备的关键核心技术，在新能源汽车、航

航空航天、工业伺服电机等高端磁性材料应用领域，稀土永磁材料换代达标率达到 80%。

3. 2035 年目标：建成世界稀土强国

到 2035 年，在稀土功能材料领域取得重大突破，创新能力大幅提升，稀土新材料领域的整体创新水平达到世界高水平国家行列，整体竞争力明显加强，部分优势方向形成全球创新引领能力，全面建成世界稀土功能材料强国。

稀土永磁材料、催化材料、发光材料等达到国际先进水平，实现完全自给，国防应用的光功能晶体、超纯稀土等自给率大于 95%；实现稀土磁性材料及其制造装备的关键核心技术和知识产权的自主可控，在新能源汽车、国防军工、航空航天、智能制造、医疗卫生、海洋工程等高端磁性材料领域，稀土永磁材料换代达标率达到 85%，形成一批原创型稀土功能材料并实现应用，其中将新一代稀土永磁材料的原创知识产权掌握在中国手中。中国自主制定的标准在国际标准中的占比达到 30% 以上，拥有高端材料标准制定中的话语权；培养稀土功能材料创新人才及创新团队，实现以稀土功能材料带动新应用的新发展模式，建立全球领先的技术创新体系和产业体系，为原创技术提供平台。

五、政策建议

面向稀土功能材料的 2035 发展战略，加快构建稀土功能材料科技创新的新发展格局，优化稀土优势地域的科技资源和人才资源，夯实稀土领域“长板”优势。应着力提升原始创新能力、规模工程化和成果转化能力，推进稀土功能材料的绿色制造，大力发展满足高端应用的具有自主知识产权的高性能稀土磁、光、电等新型功能材料及应用技术，建立我国先进稀土材料的“产学研用”创新平台，构建稀土材料及应用的低碳经济产业链，形成具有我国自主知识产权的高性能稀土材料战略性新兴产业，逐步实现我国由稀土生产大国迈向稀土强国。具体的政策措施建议如下：

（一）加强国家层面的稀土功能材料领域战略预判研究和政策保障能力

第一，加快建立国家层面统筹的稀土功能材料

的知识产权体系、技术体系、人才体系、平台体系。

第二，加强国家稀土功能材料领域中长期规划实施的连续性和延续性，形成长期稳定的国家支持，避免间歇性支持。

第三，加强稀土功能材料领域知识产权的保护意识，完善知识产权保护相关法律体系及其执行机制，加强和落实对职务发明人创新活动的激励措施，激发稀土功能材料及其产业的内生动力和新技术涌现。

（二）加强稀土领域的基础研究和应用基础研究，促进原创性成果出现

第一，启动稀土新材料重大专项或重点项目，前瞻性布局稀土新材料，加强新领域应用技术基础的研究布局，加强新一代稀土功能材料的研发，布局并加强稀土功能新材料制备新技术和新装备的研发，使国家新基建、重大工程应用的稀土功能材料可以无间断地延续和适应国家 2035 发展战略的应用需求。

第二，利用赣州、包头两地区的稀土资源优势，宁波、山东、京津冀等地区的新材料高技术产业集群优势，北京科技资源优势和高校院所遍及的人才优势，上海、广州、深圳等稀土新材料下游应用产业优势，尽快在北京建立国家稀土新材料科技创新中心，形成从冶炼分离、材料加工到下游应用和科技创新的稀土新材料产业链集群和大数据中心，同时尝试布局海外稀土新材料科技研究分院，以规避科技封锁，加强全球合作研发能力。

第三，加强稀土功能材料的个性化产业化基础研究，依据质量优先原则，保障各类重大工程的“有材可用”；继续支持国防装备用特种永磁新材料的开发，加强量大、面广的工业电机等应用稀土永磁材料的迭代应用。

（三）加强稀土优势团队的支持和人才梯度建设，提升稀土功能材料的可持续创新能力

第一，对稀土领域优势研究机构和优势团队进行长期稳定支持，尽快建立不同层面的国家稀土功能材料的科技创新平台基地。

第二，充分发挥老中青年专家在人才梯队建设中的作用，避免出现人才断层和人才资源浪费。

第三,着重培养稀土功能材料领域的青年骨干和专职技术人员。对于优秀技术人才,可以适当放宽评定政策门槛,只要做出贡献都有机会实现个人价值,进而促使领军人才在科研和创新活动中能够自发涌现。

(四) 加强稀土功能材料领域国际合作,提升我国稀土功能材料领域的全球竞争力

第一,在当前的国际环境下,应尽可能利用各种机会,采取多渠道,进行国际人员交流和稀土科技信息交流;管理部门应努力为国际科技交流提供便利条件,放宽科研人员出国参加学术会议和技术交流的次数限制,避免因地方和部门的利益纠葛,导致科研人员的技术研发陷入“闭门造车”和自我封锁的境地。

第二,依据当前的国内外形势,在加强国内稀土功能材料领域内循环的同时,努力拓展国际新市场,扩大国际外循环。一方面,加强对外开放水平,留住和创造条件引进稀土新材料高端应用企业,主动形成并建立全球稀土新材料产业新格局和稀土科技命运共同体;另一方面,适度放宽稀土原材料进口,以减轻国内环保和资源消耗的压力;同时,鼓励我国稀土企业走出去,在国外收购、入股和创建像机器人伺服电机、电动汽车驱动电机等稀土新材料高科技应用产品的优势企业,改善国内外的营商和科技发展环境,以提升我国稀土功能材料产业链和供应链的全球竞争力。

致谢

感谢屠海令院士、李仲平院士、李卫院士和黄小卫院士在本项目进展过程中给予的帮助。

参考文献

- [1] 中国科学技术协会,中国稀土学会. 稀土科学技术学科发展报告(2014—2015) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.
China Association for Science and Technology, The Chinese Society of Rare Earths. Report on advances in rare earth science and technology (2014—2015) [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2016.
- [2] 中国科学技术协会,中国稀土学会. 稀土科学技术学科发展报告(2016—2017) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018.
China Association for Science and Technology, The Chinese Society of Rare Earths. Report on advances in rare earth science and technology (2016—2017) [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2018.
- [3] 国家发展和改革委员会创新和高新技术发展司, 工业和信息化部原材料工业司, 中国材料研究会. 中国新材料产业发展报告(2018) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
Innovation and High Technology Development Division of National Development and Reform Commission, Department of Raw Material Industry of Ministry of Industry and Information Technology of the PRC, Chinese Material Research Society. China new material industry development report (2018) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2018.
- [4] 于佳欣. 2019年稀土市场分析 [J]. 稀土信息, 2020 (4): 28–34.
Yu J X. Analysis of rare earth market in 2019 [J]. Rare Earth Information, 2020 (4): 28–34.
- [5] 中国半导体照明工程研发战略联盟. 2017年中国半导体照明产业发展现状与趋势(上) [J]. 新材料产业, 2018 (5): 46–52.
China Semiconductor Lighting Engineering R & D Strategic Alliance. Development status and trend of China's semiconductor lighting industry in 2017 (I) [J]. Advanced Materials Industry, 2018 (5): 46–52.