

## 附件 2

# **“稀土新材料”重点专项 2022 年度 项目申报指南**

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“稀土新材料”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：面向事关国计民生的新一代信息技术、先进轨道交通、节能与新能源汽车、生态环境、高端医疗器械与健康、先进制造等领域对稀土新材料的迫切需求，发展具有我国资源特色和技术急需的稀土新材料，加强稀土新材料前沿技术基础、工程化与应用技术创新，提升稀土新材料原始创新能力、产业核心竞争力和高端应用水平。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕稀土永磁材料强基及变革性技术、新型高效稀土光功能材料及应用技术、高效低成本稀土催化材料及应用技术、稀土材料绿色智能制备和高纯化技术、稀土物化功能材料及应用技术、稀土新材料及材料基因工程等新技术应用、特种稀土功能材料及专材专用技术 7 个技术方向，按照基础研究类、共性关键技术类、应用示范类三个层面，拟启动 31 项指南任务（其中包括 2021 年度指南的流转指南任务 7 项），拟安排国拨经费 3.64 亿元。其中，拟部署 8 个

青年科学家项目，拟安排国拨经费 2400 万元，每个项目 300 万元。应用示范类项目配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 1~2 项，每个项目实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 年 1 月 1 日以后出生，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 稀土永磁材料强基及变革性技术**

### **1.1 钕铁硼基相调控及性能提升技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对无人机、高端机器人等应用领域对超高性能钕铁硼永磁材料产品的迫切需求，围绕钕铁硼基相成分、跨尺度

结构调控、重稀土掺杂与磁性能关联、内禀矫顽力与剩磁去耦合等基础性、前瞻性科学问题，开展需要长期演进的产业新技术和新产品研究，解决高内禀矫顽力、高剩磁磁体制备等产业重大共性关键技术问题；制备超高综合性能磁体。

考核指标：高内禀矫顽力高综合性能磁体取向度 $\geq 99\%$ ，最大磁能积 $\geq 40$  兆高奥，内禀矫顽力（千奥斯特）+最大磁能积（兆高奥） $\geq 83$ ；标准永磁样品在磁化方向施加  $1.0 \times 10^4$  奥斯特的外加磁场后在 200 摄氏度保温 3 小时，其热减磁 $< 3\%$ 。高剩磁烧结钕铁硼磁体剩磁 $\geq 1.46 \times 10^4$  高斯，内禀矫顽力 $\geq 1.8 \times 10^4$  奥斯特。申请发明专利 $\geq 5$  项。

## **1.2 高性能永磁材料及热压流变取向新技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对新能源汽车驱动电机的高耐温、高功率密度、高耐蚀、降成本等技术和市场要求，研发高性能异形热压磁体。通过成分和工艺的优化，突破热压磁体的技术瓶颈，开展长片状、环形等不同形状磁体各向异性形成机理研究，解决异形热压磁体成型困难、均匀性差的难题；研发制备具有高磁能积、高耐温性、高均匀性、良好耐蚀性、高材料利用率的长片状、环形等热压磁体的制备技术及装备。

考核指标：形成 $\geq 2$  种环状或块体热压热流变取向产品的新技术；热压磁体的最大磁能积 $\geq 54$  兆高奥；热压磁环直径 $< 6$  毫米，剩磁 $\geq 1.27 \times 10^4$  高斯，表磁不均匀性 $\leq 5\%$ ；长度方向 $\geq 40$  毫米的长片状磁体：室温最大磁能积 $\geq 40$  兆高奥，内禀矫顽力 $\geq$

1.8×10<sup>4</sup> 奥斯特@ (无镨、铽), 磁体磁性能的内部偏差率优于±4%, 内禀矫顽力 ≥ 7×10<sup>3</sup> 奥斯特@150 摄氏度。申请发明专利 ≥ 5 项。

### 1.3 烧结钕铁硼磁体批量一致性 & 先进制备流程技术 (应用示范类)

研究内容: 针对传统烧结钕铁硼产业各工序环节人为影响因素大、磁体批量一致性差的技术难题, 开发材料制备流程各环节的智能化生产技术, 重点突破晶界扩散技术在产业化制备过程的智能转运和数字化管理技术, 实现关键制备节点和工艺制度调整的智能化, 提升材料规模化生产一致性。

考核指标: 批量制备磁体的剩磁偏差在±100 高斯 (或±1%) 以内, 矫顽力偏差在±500 奥斯特 (或±2%) 以内。实现晶界扩散环节的数字化控制及产品的智能转运, 建成 3000 吨烧结钕铁硼制备高自动化及智能化示范线, 智能制造成熟度达到三级以上 (GB/T39117-2020《智能制造能力成熟度评估方法》)。制定国家标准 ≥ 2 项。申请发明专利 ≥ 5 项。

## 2. 新型高效稀土光功能材料及应用技术

### 2.1 超高能量分辨及多模探测用稀土卤化物闪烁晶体制备技术 (共性关键技术类)

研究内容: 针对深海深空探测、反恐等领域对高性能闪烁材料的迫切需求, 探索超高能量分辨、中子-伽马多模探测用稀土卤化物闪烁晶体成分/结构设计、性能调控核心规律; 开发相关晶体高纯原料批量制备、单晶高效生长、晶体防潮加工及封装关键

制备技术；开发基于高性能稀土卤化物闪烁晶体的新型辐射探测器件制备技术。

考核指标：开发出  $\geq 2$  种超高能量分辨（能量分辨率  $< 2.5\% @ 662$  千电子伏）和中子—伽马多模探测（中子—伽马甄别品质因子  $\geq 2.5$ ）稀土卤化物闪烁晶体新材料，形成晶体高纯原料制备—单晶生长—加工封装全链条关键技术，晶体器件直径  $\geq 3$  英寸；开发出  $\geq 2$  种满足温度  $\geq 50$  摄氏度、相对湿度  $\geq 80\%$  环境使用的辐射探测器件。申请发明专利  $\geq 10$  项。

## 2.2 特种信息探测用稀土发光材料及制备技术（基础研究类）

研究内容：面向医用诊疗和高端装备等特种信息探测领域对新型稀土发光材料的重大应用需求，设计和制备新型高效稀土纳米发光材料，构建对生物介质灵敏探测的稀土发光纳米探针，研究稀土纳米发光材料在生物体内可控降解性。设计和制备新型高效温敏探测用稀土发光材料，研究发光材料的光谱特征和荧光寿命对温敏特性等的影响规律，开展高端装备用荧光温敏探测应用技术研究。

考核指标：研制出  $\geq 3$  种新型稀土纳米发光材料，发光波长覆盖可见到近红外光范围，量子产量  $\geq 15\%$ ，稀土发光纳米探针对于心脑血管炎症标志物的检测限  $< 1 \times 10^{-2}$  纳克/毫升，可控降解的稀土纳米发光材料在生物体内 72 小时代谢排出率  $> 80\%$ 。研制出  $\geq 3$  种新型温敏探测用稀土发光材料，发光峰值波长位于 400~1000 纳米范围，应用于温敏器件的温度检测范围为 -50 摄氏

度~150 摄氏度，相对灵敏度<1%，测量精度优于 0.2 开尔文。申请发明专利 ≥ 10 项。

### **2.3 新型窄谱发射绿色与红色发光材料及制备技术（基础研究类）**

研究内容：针对超高色域液晶显示技术发展需要，建立发光性能高通量计算设计的筛选因子集，研究稀土发光材料的基质晶体结构与发光离子能级结构的高效匹配规律，设计适合蓝光（440~460 纳米）高效激发的新型窄谱发射绿色与红色发光材料；研发其光谱特性调控和发光效率提升的关键技术；开展发光材料在 LED 封装器件中的应用研究。

考核指标：完成 ≥ 10<sup>4</sup> 个样本的高通量计算筛选预测，研制出 ≥ 2 种新型窄谱发射稀土发光材料，绿色发光材料在蓝光激发下的外量子效率 ≥ 50%，色品坐标  $y \geq 0.67$ ，半高宽 < 45 纳米；红色发光材料在蓝光激发下的外量子效率 ≥ 50%，色品坐标  $x \geq 0.70$ ，半高宽 < 10 纳米。采用其制成的 LED 封装器件（1 瓦）显示色域 ≥ 100%NTSC、光效 ≥ 150 流明每瓦。申请发明专利 ≥ 5 项。

### **2.4 超快稀土闪烁晶体及其关键制备技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对核医学成像和高能物理重大应用需求，开展新型超快稀土闪烁晶体材料设计与性能调控研究，探索超快闪烁发光新机制和材料新体系，突破超快稀土闪烁晶体材料制备和器件集成关键技术；研究超快稀土闪烁晶体与硅光电倍增管、超快光电倍增管等新型光电探测器件的匹配应用技术，开发基于超快

稀土闪烁晶体的飞行时间—正电子发射断层扫描成像(TOF-PET)探测器、吉赫兹高重复频率 X 射线自由电子激光探测器等先进辐射探测器件。

考核指标：提出超快闪烁发光新机制并研制出新型超快闪烁材料；开发出光产额 $\geq 20000$  光子/兆电子伏、衰减时间 $<10$  纳秒和光产额 $\geq 2000$  光子/兆电子伏、衰减时间 $<5$  纳秒的超快稀土闪烁材料至少各 1 种，晶体尺寸 $\geq 2$  英寸；研制出符合时间分辨率 $<100$  皮秒的 TOF-PET 探测器、重复频率 $\geq 1$  吉赫兹的 X 射线自由电子激光探测器至少各 1 款。申请发明专利 $\geq 10$  项。

### **3. 高效低成本稀土催化材料及应用技术**

#### **3.1 稀土分子筛催化新材料制备关键技术及应用（应用示范类）**

研究内容：针对催化裂化装置中催化材料高活性与低焦炭产率难以兼顾的难题，研发稀土离子落位可控的低焦炭产率超稳 Y 分子筛催化材料，构建多级孔催化剂新体系；研究稀土分子筛催化材料抑焦机理；掌握稀土元素配分、定位分布与催化功能的构效关系；研制稀土高效负载新技术，开发提升稀土催化材料的催化活性和选择性的新方法；建立基于外场强化手段的催化剂宏量制备新技术，在催化剂生产装置和催化裂化装置中实现应用示范。

考核指标：开发 $\geq 3$  类典型稀土配分的催化剂，其磨损指数 $<2.5\%$ ，比表面 $\geq 260$  平方米/克，800 摄氏度、100%水蒸气老化 17 小时微反活性 $\geq 60\%$ 。新型催化剂在百万吨级催化裂化装置实现应用示范，较传统催化剂的活性提高 $\geq 10\%$ 、三烯产率提升 $\geq$

2%、焦炭产率降幅 $\geq 15\%$ 。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

### 3.2 双燃料船舶发动机尾气净化稀土催化剂（应用示范类）

研究内容：针对新型天然气/柴油双燃料船舶发动机后处理面临的甲烷低温氧化、甲烷逃逸、 $\text{NO}_x$  低温还原等问题，探索发动机低负荷低温条件下甲烷催化氧化机理，突破甲烷的低温高效催化氧化关键技术，开发宽温度窗口高效选择性催化还原（SCR）技术，实现甲烷和  $\text{NO}_x$  的高效协同净化；开发发动机与稀土催化剂集成技术，探究发动机精确燃料喷射控制策略和催化剂边界性能的关系；开发船舶发动机搭载后处理系统的标定策略与精准匹配技术，实现船舶发动机的高效稳定排放控制。

考核指标：获得低温高性能甲烷氧化催化剂，甲烷起燃温度 $\leq 300$  摄氏度，甲烷净化效率 $\geq 90\%$ ；研制出宽温度窗口高效 SCR 催化剂，200 摄氏度~500 摄氏度内  $\text{NO}_x$  转化效率 $\geq 95\%$ ，可满足未来十年内船舶发动机排放标准；在 $\geq 2$  台船舶双燃料微喷样机上搭载国产化催化转化装置，排放符合项目期内国际内河近海最严限值要求，获船级社认证；实现双燃料发动机配套稀土催化剂技术的应用示范。

### 3.3 复杂排放工况 VOCs 高效净化关键稀土催化材料（共性关键技术类）

研究内容：针对石化、涂装、包装印刷等行业复杂工况下 VOCs 的净化难题，研究分子筛的结构和表面性质对 VOCs 吸/脱附性能的影响规律，研究分子筛吸附材料的成型技术，开发大容



量、易再生、高效吸附 VOCs 的分子筛材料及规模化生产技术；研究稀土对催化剂活性中心的结构和稳定性的作用机制以及贵金属减量化技术，开发广谱、高效的低贵金属含量稀土复合催化剂及其规模化生产技术；针对 VOCs 排放的复杂工况，研究开发适用于大风量、低浓度 VOCs 的吸附—浓缩—催化净化材料和装备。

考核指标：分子筛基吸附材料：相对湿度 80% 时的吸附效率  $\geq 90\%$ ，最高耐受温度  $\geq 500$  摄氏度，寿命  $\geq 1$  年；广谱 VOCs 净化稀土复合催化剂：贵金属减量  $\geq 20\%$ ，对三苯、乙酸乙酯、丙烷等的起燃温度 ( $T_{50}$ )  $< 250$  摄氏度，对含氯 VOCs 的  $T_{50} < 300$  摄氏度，净化效率  $\geq 99\%$ ，选择性  $\geq 95\%$ ；开发出  $\geq 4$  种工业废气净化稀土基催化剂，在石化、涂装、包装印刷等重点行业开展应用示范，净化效率  $\geq 98\%$ ，满足国家最新环保标准。

#### 4. 稀土材料绿色智能制备和高纯化技术

##### 4.1 二次资源中稀土及有价元素综合回收技术（共性关键技术类）

研究内容：针对稀土二次资源现行回收技术资源循环利用率低、环境负担重、能耗高等问题，研究稀土金属及合金废料、晶体废料、稀土抛光废料、稀土磁性废料及稀土基废旧催化剂等典型稀土二次资源的物化性质；开发典型稀土二次资源的智能识别与精细分选技术及装备，研究典型稀土二次资源的快速检测技术；开发典型稀土二次资源中稀土及有价组分提取与杂质高效去除技术；开发典型稀土二次资源固废减量与资源化利用技术。

考核指标：开发出 $\geq 4$ 种典型稀土二次资源绿色循环利用关键技术，稀土金属及合金废料、稀土磁性废料、晶体废料中稀土及高价值元素综合回收率 $\geq 95\%$ ；稀土抛光废料中稀土回收率 $\geq 95\%$ ，固废在现有未利用基础上减量 $\geq 90\%$ ；废旧稀土催化剂中贵金属回收率 $\geq 98\%$ ，高价值稀土回收率 $\geq 85\%$ ；在 $\geq 2$ 条生产线上示范应用并实现上述指标。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

#### 4.2 特种高纯稀土金属及合金靶材规模化制备技术（共性关键技术类）

研究内容：面向芯片、传感器、发光及显示等电子信息器件应用需求，开发镧、钕、钷等稀土金属的分离提纯新方法、新工艺，开发放射性核素、碱金属等关键杂质的精准去除技术；开发成份稳定、均质、高纯大尺寸稀土合金可控熔炼技术，研究靶材塑性变形加工中晶粒尺寸、结晶取向与组织均匀性变化规律；开发靶材精密机加工、异质金属背板大面积焊接等关键技术。

考核指标：金属镧纯度 $\geq 5N$ ，其中 Li、Na、K 等均 $\leq 0.05\text{ppm}$ ，Ni、W 等均 $\leq 0.5\text{ppm}$ ；金属钕、钷纯度 $\geq 4N5$ ，其中 Li、Na、K、Mg、Co、Mn、Zn、Th、U 等均 $< 0.5\text{ppm}$ ；金属镧靶纯度 $\geq 4N5$ ，尺寸 $\geq 18$ 英寸，晶粒平均尺寸 $< 100$ 微米；铝钕合金靶纯度 $\geq 4N$ ，成分偏差 $\pm 0.3\%$ （重量百分比），尺寸 $\geq 25$ 英寸，电阻率 $\leq 4.5$ 微欧·厘米；铝钷合金靶纯度 $\geq 4N$ ，氧含量 $< 300\text{ppm}$ ，钷含量 $\geq 30\%$ （原子百分比），成分偏差 $\pm 0.5\%$ （原子百分比），尺寸 $\geq 12$ 英寸，焊合强度 $\geq 10$ 兆帕；靶材制品在高密度存储芯片、新型显示面板、

高频滤波器等领域实现应用；建成年产能百片级的特种高纯稀土金属及合金靶材生产线。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

#### **4.3 稀土绿色分离与材料制备一体化技术及装备（共性关键技术类）**

研究内容：针对稀土材料绿色短流程制备与高值利用的战略需求，研究稀土分离提纯过程物料高效循环利用技术，开发稀土萃取分离过程酸、碱循环利用技术与装备；研究稀土分离料液的基础物性，开发稀土分离料液纯化与新型分解转化工艺及装备；研制稀土分离料液直接制备高质化稀土化合物材料的短流程、高效率技术与装备。

考核指标：形成 $\geq 2$ 项新型稀土材料绿色化制备技术及装备，装备处理能力达到5立方米每小时以上；稀土分离提纯与材料制备过程中物料循环利用率 $\geq 60\%$ ；以稀土分离料液为原料，直接制备出 $\geq 3$ 种物性可控高质化稀土化合物，其中氧化钇、氧化镨等纳米稀土氧化物D50粒径 $<100$ 纳米，氧化钙、三氧化二铁杂质含量均 $<10\text{ppm}$ ，二氧化硅杂质含量 $<20\text{ppm}$ ，氯离子杂质含量 $<100\text{ppm}$ 。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

### **5. 稀土物化功能材料及应用技术**

#### **5.1 高品质速凝铸片及智能流程技术（应用示范类）**

研究内容：针对各种稀土功能合金对高品质速凝合金铸片需求，研究微晶合金的喷射速凝技术以及晶粒生长控制技术，探索树枝晶间隔均匀微观结构的制备技术，开发富稀土相均匀分布及

粗大树枝晶抑制技术，研发速凝新设备，开发速凝制备工艺流程智能化控制技术，实现浇铸自动化及温控、抽样、检测和筛分等过程的智能控制，开发低氧含量、低缺陷速凝铸片。

考核指标：速凝铸片树枝晶间隔为 2~3 微米，微晶尺寸为  $0.9\pm0.1$  微米，通过成分与微结构的在线检测和智能化流程控制，提高合格产品收得率 3%。速凝微晶合金粉尺寸为 0.8~2.0 微米。技术成果在年产千吨生产线示范应用。申请发明专利  $\geq 5$  项。

## **5.2 高能量密度新型稀土储氢材料及应用技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对氢能及储能领域产业技术需求，发展兼具高有效储氢容量和优良平台特性的新型稀土储氢材料，研究材料成分和结构对储氢动力学及热力学性能的影响机制，研究材料结构稳定性、粉化和杂质气体等对循环寿命的影响规律，开发成分和相结构可控的低成本批量制备技术，研制基于新型稀土储氢材料的高能量密度、快动态响应固态储氢装置。

考核指标：新型稀土储氢材料的有效储氢容量  $\geq 1.7\%$ （重量百分比），室温放氢平台压力  $\geq 0.3$  兆帕斯卡，2000 次吸放氢循环后容量保持率  $\geq 80\%$ ；固态储氢材料的有效储氢容量  $\geq 2\%$ （重量百分比），循环 1000 次储氢量保持在 90% 以上。高密度固态储氢装置的重量的储氢密度  $\geq 1.4\%$ （重量百分比），体积储氢密度  $\geq 55$  公斤/立方米。制定储氢动力学评价标准  $\geq 1$  项。申请发明专利  $\geq 10$  项。

### 5.3 高频器件用稀土强磁铁氧体材料研究与技术开发（共性关键技术类）

研究内容：针对 5G 通信微波器件小型化、高频化和高度集成化的发展趋势，研究多元稀土及其它离子组合掺杂对强磁铁氧体饱和磁化强度和剩磁比的影响，开发高饱和磁化强度铁氧体材料的关键制备技术；揭示磁晶各向异性场、铁磁共振线宽、微观结构对器件隔离度 $|S_{12}|$ 和插入损耗 $|S_{21}|$ 的机制；研究关键工艺参数对剩磁温度系数和耐击穿电压的影响；开发基于稀土强磁铁氧体的高性能微波吸收/屏蔽材料，研究稀土离子代换对自然共振频率、吸波有效带宽和微波吸收/屏蔽强度的影响。

考核指标：5G 环行器/隔离器用自偏置稀土强磁铁氧体材料饱和磁化强度 $\geq 3500$  高斯，剩磁比 $\geq 0.9$ ，铁磁共振线宽 $\Delta H \leq 500$  奥斯特，基于自偏置稀土强磁铁氧体的 5G 环行器/隔离器 $|S_{12}| \geq 20$  分贝@Ka， $|S_{21}| \leq 1.0$  分贝，工作带宽 $\geq 1$  吉赫兹，剩磁温度系数 $|\alpha(\text{Br})| \leq 0.2\%/^\circ\text{C}$ （-55~+85 摄氏度），耐击穿电压  $U_{AC} \geq 1.5$  千伏特；关键技术成果在环行器/隔离器千万只生产线上实现转化。吉赫兹高频稀土铁氧体强磁吸波/屏蔽材料，宽频吸波有效带宽 $>10$  吉赫兹@（厚度 $\leq 2$  毫米），吸波/屏蔽强度优于 40 分贝。申请发明专利 $\geq 10$  项。

### 5.4 绝热及气体传感稀土陶瓷及其关键制备技术（共性关键技术类）

研究内容：面向燃气轮机、民航发动机等用超高温热障涂层

及车用高端气体传感器的应用需求，开展稀土陶瓷材料设计，开发组成、结构可控的高性能稀土陶瓷粉体制备技术；开发热障涂层用稀土陶瓷靶材制备技术，以及超高温、长寿命涂层制备工艺；开发气体传感用稀土陶瓷电解质膜带成型及高温共烧技术，以及高精度、高灵敏气体传感器制备技术。

考核指标：绝热稀土陶瓷粉体相变温度 $\geq 1500$  摄氏度；涂层服役温度 $\geq 1400$  摄氏度，1000 摄氏度时热导率 $<1.0$  瓦/（米·开尔文），1400 摄氏度时热冲击寿命 $>2000$  次，服役时间（1100 摄氏度热循环） $\geq 1000$  小时。气体传感器用稀土陶瓷粉体一次粒径 $50\pm 10$  纳米，比表面积 $8\pm 1$  平方米/克；高传感陶瓷 850 摄氏度电导率 $\geq 50$  毫西门子/厘米，抗弯强度 $\geq 500$  兆帕；制成的传感器对 $\text{NO}_x$ （500ppm~1500ppm 体积浓度）和 $\text{O}_2$ （5%~21%体积浓度）的测量精度分别为满程偏差 $\pm 12\%$ 和满程偏差 $\pm 2.5\%$ ，响应时间 $<3800$  毫秒。申请发明专利 $\geq 10$  项。

### 5.5 磁编码器用辐射取向磁环（共性关键技术类）

研究内容：针对磁编码器体积小、精密度高、分辨率高等应用需求，研制整体辐向高性能磁环。开发提升磁环辐向方向取向度技术；揭示周向磁体密度不均匀和取向磁场不均匀影响因素，开展跨尺度范围磁性能的一致性提升技术研究。开发磁环轴向磁性能均匀化提升技术，提出磁极磁场强度分布的精确控制方法。构建周向磁极均匀性调控及编码器输出波形信号的关联模型，研究磁极与编码器分辨率关联关系，在小体积磁编码器中应用考核。

考核指标：磁环性能：剩磁 $\geq 1.3 \times 10^4$ 高斯，内禀矫顽力 $\geq 1.5 \times 10^4$ 奥斯特，最大磁能积 $\geq 40$ 兆高奥；圆周方向均匀性指标：辐射取向磁环充磁成多极后，磁极间的磁场强度沿圆周360度的差值 $< 1.5\%$ ；轴向均匀性指标：辐射取向磁环充磁成多极后，轴向2毫米距离内对应磁极的磁场强度差值 $< 1\%$ 。编码器在分辨率保持不变的条件下，体积减小10%；形成 $\geq 100$ 万只/年的磁环产能。

## **6. 稀土新材料及材料基因工程等新技术应用**

### **6.1 极低温绝热去磁制冷和磁热材料及关键技术（基础研究类）**

研究内容：利用材料基因工程技术方法等开展极低温稀土磁制冷材料的高通量成分筛选，设计低磁场下具有大磁熵变材料；研究晶体结构和磁性原子间耦合作用对磁转变温度和磁热性能等参数的影响规律，开展低驱动场高性能极低温磁制冷材料研究；研究极低温磁制冷材料物性对制冷系统级间匹配的影响关系，筛选出系列材料，研制多级连续绝热去磁制冷原理样机。基于多孔介质传热理论和数值传热学方法，建立磁热模块复合传热的三维数值分析模型，研制新型高性能磁热模块；开发磁热材料的热磁发电新应用，研制室温~300摄氏度低品位温区余热回收材料与技术。

考核指标：根据计算结果设计 $\geq 50$ 种稀土磁制冷材料，实现磁制冷材料磁相变温度的调控。稀土基磁制冷材料相变温度在50毫开尔文~0.5开尔文；在 $1.0 \times 10^4$ 奥斯特磁场下的最大磁熵变值 $\geq 20$ 焦耳/(千克·开尔文)。多级绝热去磁制冷原理样机：无液氮不间断连续运行，无负荷最低温度 $\leq 50$ 毫开尔文，单级相对卡诺

效率 $\geq 70\%$ 。制备出 $\geq 3$ 类相变温度在室温 $\sim 300$ 摄氏度具有自主知识产权的热磁发电材料。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

## **6.2 稀土金属功能材料智能生产及全寿命周期的工艺数据平台（共性关键技术类）**

研究内容：通过机器学习、知识图谱等新一代信息技术、多场跨尺度高通量计算与稀土金属功能材料成分设计、制造工艺的深度融合，研究铸片熔炼、制粉、磁场取向和烧结等关键环节与最终材料性能的关系，构建从材料研发、生产到服役应用的数据采集交换、集成处理、建模分析、应用反馈和全寿命的数据模型，验证稀土金属功能材料“成分—工艺—组织—性能”的全局优化和智能化产业技术路线；以稀土金属功能材料及制备技术需要长期演进的研发特点为背景，建立材料成分组合与制造工艺环节的流程质量控制和工艺评价模型，搭建基于区块链的材料全寿命周期的闭环大数据共享及应用平台。

考核指标：建立涵盖铸片熔炼、制粉、磁场取向成型等不少于5个粉末冶金制造环节（包含 $\geq 12$ 个工艺特征参量）的工艺流程的数据模型；实现磁能积 $\geq 50$ 兆高奥材料成分—工艺的智能匹配和敏捷设计，最佳工艺实施时间比项目实施前减少15%；建立基于区块链的数千吨级稀土磁性功能材料工艺流程大数据共享平台，与项目申请前一年的规模化生产能源消耗对比，实现单一品种制备能源消耗减少 $\geq 20\%$ 。制定行业标准 $\geq 2$ 项。申请发明专利 $\geq 5$ 项。



### 6.3 高矫顽力无镨钕稀土钴基磁性材料及制备技术（基础研究类）

研究内容：利用材料基因工程技术，开展无镨钕的稀土钴基  $R_{n+1}Co_{5n-1}$  等硬磁性相基元的成分设计，探索不同结构的磁性相基元的稳定机理、制备技术和本征磁性，研究多相共存时的内禀磁性和相互作用机制，揭示成分梯度、界面特性、晶粒尺寸对稀土合金磁性的影响规律，开发制粉以及磁体致密化等新技术。研究高温服役条件下磁体成分、微观结构和磁性能的稳定性机理，开发磁体高温抗氧化技术，实现磁体的宽温区应用。

考核指标：通过高通量技术筛选  $\geq 100$  种材料成分，获得  $\geq 3$  种单一无镨钕稀土基磁性相及组合性能：磁能积  $\geq 25$  兆高奥，矫顽力  $\geq 20$  千奥斯特。无镨钕的稀土钴基磁体的室温以上特殊应用温度范围  $\Delta T \geq 400$  摄氏度，稀土合金高温氧化增重  $\leq 0.5$  毫克/平方厘米@100 小时，磁能积减少  $\leq 5\%$ 。不小于 0.3 兆帕纯氢气环境服役时间提升 200% 无破碎。申请发明专利  $\geq 5$  项。

## 7. 特种稀土功能材料及专材专用技术

### 7.1 磁悬浮等轨道交通系统用高可靠性稀土永磁材料制备技术（应用示范类）

研究内容：基于永磁悬浮轨道交通应用及稳定性需求，研究晶界调控对磁体的强韧性和磁性的影响机理，构建特殊结构的晶界相，探索材料的功能结构一体化制备技术，实现重稀土的高质化应用；开发新型永磁表面防护技术，满足轨道磁体在极端环境

下的使用需求；根据车辆和轨道结构设计的不同需求，实现不同类型材料的可控制备。形成磁体生产示范线，磁体应用到磁悬浮轨道交通工程中。

考核指标：研制出磁悬浮等轨道交通系统用高可靠性永磁材料，剩磁为  $(1.38 \pm 0.05) \times 10^4$  高斯，永磁悬浮对的悬浮力  $\geq 230$  千克/立方分米，轨道磁体悬浮单节车厢重量  $\geq 16$  吨，悬浮高度  $\geq 10$  毫米；磁体在 3.5%（重量百分比）氯化钠环境下加压实验 96 小时无锈痕和裂痕；形成年产千吨级轨道交通用钕含量  $< 0.5\%$ （重量百分比）的烧结磁体生产示范线，实现磁体在永磁悬浮轨道交通系统中的优化设计及应用。申请发明专利  $\geq 10$  项。

## 7.2 特微磁性材料制备关键技术（应用示范类）

研究内容：针对高端智能电子器件微型化、服役场景多样化的应用要求，开发高剩磁、高精度特微磁性材料批量稳定制备及应用技术。研究晶界/晶粒表层复杂物相的形成、微区分布以及与主相的磁耦合机理，实现磁硬化下的高剩磁设计；研究特微磁体极优剩磁获得与性能均匀性提升技术，开发新型制粉和近终成型特微磁体的致密烧结技术等；开发特微磁体防护与性能的高效检测技术；开发磁体应用与器件设计技术。

考核指标：突破任一方向尺寸  $< 0.5$  毫米的近终成型特微磁体关键制备技术；特微磁体剩磁  $\geq 1.45 \times 10^4$  高斯，内禀矫顽力  $\geq 1.9 \times 10^4$  奥斯特；成品磁性能偏差  $< 3\%$ ；失效强度  $\geq 14.25$  牛顿（三点抗弯测试），失效位移  $\geq 0.2$  毫米；特微磁体在 105 摄氏度条件

下热减磁率 $<3\%$ ；突破特微磁体的缺陷检测技术，成品粗糙度 $Ra<0.3$  微米。实现高磁通密度、低损伤特微磁体在高端智能电子器件领域示范应用。申请发明专利 $\geq 6$  项。

## **8. 青年科学家项目**

### **8.1 高电阻率稀土合金研究**

研究内容：研究设计材料成分、复合结构与电阻率的关联，构建高电阻率稀土磁性材料的电阻模型，通过机器学习，实现对成分数据、工艺参数和最终性能的正关联，获得符合实际应用的精准模型。研究不同类型的高电阻率稀土磁性材料，优化微观结构，在提高电阻率的同时进一步改进其磁性能。研究高电阻率稀土磁性在实际电机中的应用技术，研究其在不同类型电机及其负载功率下的实际服役温度及磁性能变化规律。

考核指标：稀土合金电阻率较当前相同牌号材料提高 $\geq 300\%$ ，最大磁能积在 35~40 兆高奥范围内可调控；电阻率达到 1.5 毫欧姆厘米时磁体的最大磁能积 $\geq 40$  兆高奥；研制出 $\geq 1$  台实验电机，进行磁体的温升和磁性等服役性能考核。

### **8.2 高性能稀土磁性薄膜材料及应用技术研究**

研究内容：针对器件高效、小型化对高性能稀土磁性材料的需求，研究微米级高剩磁、高矫顽力稀土磁性薄膜。阐明微米级稀土磁性薄膜的矫顽力机制和磁化翻转机制等基础磁性问题。开发微纳加工新技术，设计制备适用于微机电系统或微型伺服电机的稀土磁性薄膜原型器件。

考核指标：建立 $\geq 2$ 种制备不同尺寸和形状的微米级稀土永磁薄膜器件的新方法。高性能稀土磁性薄膜：厚度 $\geq 10$ 微米，矫顽力 $\geq 1.5 \times 10^4$ 奥斯特，饱和磁化强度 $\geq 1.0 \times 10^4$ 高斯，剩磁比 $\geq 0.9$ 。

### 8.3 共伴生混合稀土磁性材料及制备技术

研究内容：针对白云鄂博矿共伴生混合稀土资源特色，研究白云鄂博矿共伴生混合稀土在永磁材料中的高效利用技术，研究单、双主相工艺等制备混合稀土磁体的显微结构、元素占位和晶界相与性能之间的关联，研究磁化与反磁化过程及机理。当白云鄂博矿混合稀土占稀土总量从100%（重量百分比）降低至15%（重量百分比）时，开发磁能积一定范围内可调的混合稀土磁性材料，获得中试生产关键技术。

考核指标：开发 $\geq 4$ 种磁能积在11~50兆高奥可调的白云鄂博矿共伴生混合稀土标志产品及关键制备技术，如，磁能积 $\geq 45$ 兆高奥@共伴生混合稀土占稀土总量 $\geq 20\%$ （重量百分比）；磁能积 $\geq 35$ 兆高奥@混合稀土占稀土总量 $\geq 50\%$ （重量百分比）。申请发明专利 $\geq 3$ 项。

### 8.4 化学法制备超高矫顽力多元轻稀土—铁—氮纳米磁体及技术

研究内容：面向高能效微型精密电机等应用需求，开发新型多元轻稀土—铁—氮基纳米永磁材料；发展轻稀土—铁—氮单畴单晶单分散颗粒的可控化学法制备及调控技术；阐明稀土元素占位、电子结构等对其成相规律以及磁结构的作用机制，揭示影响磁晶各向

异性及矫顽力的机制；发展各向异性粘结纳米磁体的取向成型技术；开发耐氧化型轻稀土—铁—氮粘结纳米永磁体及微纳永磁器件。

考核指标：获得 $\geq 2$ 种多元轻稀土—铁—氮单畴单晶单分散尺寸为150~800纳米磁粉及其各向异性粘结纳米磁体；磁粉内禀矫顽力 $\geq 2.5 \times 10^4$ 奥斯特，剩余磁化强度 $\geq 8000$ 高斯；粘结磁体磁能积 $\geq 15$ 兆高奥，内禀矫顽力 $\geq 2.5 \times 10^4$ 奥斯特，取向度 $\geq 80\%$ ；在空气下100摄氏度30天磁能积衰减 $< 10\%$ ；获得磁粉公斤级制备的关键技术；获得直径 $\leq 10$ 毫米、厚度 $\leq 1$ 毫米的微纳永磁器件。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### **8.5 稀土掺杂亚铁磁薄膜材料及超高速存算一体化新技术**

研究内容：通过界面调控，实现垂直磁各向异性的稀土掺杂亚铁磁薄膜材料的大面积制备，研究稀土元素类型和掺杂比例对材料磁学物性的影响；通过化学界面调控、离子注入等方式实现在微观尺度下对亚铁磁材料磁学物性的调控，探索物性调控的微观机理；研发基于亚铁磁磁性薄膜材料的自旋电子学器件，实现超高速的磁畴存算一体化性能。

考核指标：获得稀土掺杂的亚铁磁薄膜材料的生长技术；实现对材料磁学物性的调控，磁各向异性调控范围 $\geq 10^5$ 焦耳每立方米，磁补偿温度调控范围 $\geq 100$ 开尔文；实现磁畴存储逻辑一体化器件，单次运算速度 $< 10$ 纳秒。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### **8.6 柴油机尾气净化用 NO 催化氧化新材料设计与研制**

研究内容：针对柴油机尾气净化对低温高活性 NO 催化氧化

材料的迫切需求，开展新型稀土基 NO 催化氧化材料的结构设计研究，建立耦合反应模型；探索稀土基催化材料表界面活性氧的高效传输机制和 NO 低温氧化反应机理，开发高稳定性复合结构稀土基 NO 催化氧化材料可控制备新技术；开展上述材料应用于低贵金属柴油机氧化型催化剂的技术研究。

考核指标：设计出  $\geq 2$  种新型稀土基 NO 催化氧化材料。制备的氧化型催化剂在柴油机台架低温工况下（ $\leq 250$  摄氏度）、空速  $> 80000$ /小时、贵金属含量  $\leq 20$  克/立方英尺时，出口尾气中  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ （体积比）最大值  $\geq 30\%$ ；催化剂经  $650$  摄氏度、 $10\%\text{H}_2\text{O}$ 、 $100$  小时老化后，出口尾气中  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ （体积比）最大值  $\geq 15\%$ 。获得实验室成果向年产百吨级生产线转化的关键技术，并应用于柴油机后处理系统。申请发明专利  $\geq 5$  项。

### 8.7 超低放射性高纯稀土氧化物制备新技术

研究内容：针对电子领域所需高纯稀土材料  $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$  低放射性要求，开发高纯稀土氧化物中放射性元素深度去除新技术，耦合外场强化手段，构建新的纯化理论与技术体系，制备超低放射性稀土氧化物。

考核指标：开发出  $\geq 2$  种稀土氧化物中放射性元素深度去除新技术， $\text{La}_2\text{O}_3$  和  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  纯度  $\geq 5\text{N}5$ ，其中钷、铀等放射性核素杂质含量  $< 0.2\text{ppm}$ 。申请发明专利  $\geq 5$  项。

### 8.8 新型稀土卤化物固态电解质材料设计与性能调控

研究内容：面向全固态电池的应用需求，开发具有高离子电

导率、高氧化稳定电位的新型稀土卤化物固态电解质材料，研究材料晶体结构与电化学性能之间的构效关系，探索材料成分、缺陷、水氧关键杂质等对电化学性能的影响机制，开展稀土卤化物固态电解质的高效制备技术研究，开发基于其匹配技术及固态电池组装技术。

考核指标：开发出 $\geq 2$ 款新型稀土卤化物固态电解质材料，室温离子电导率 $\geq 5 \times 10^{-3}$  西门子/厘米，氧化稳定电位 $\geq 4.5$  伏特；掌握稀土卤化物固态电解质公斤级稳定制备技术；制备出基于稀土卤化物固态电解质的全固态锂离子电池样品，比能量 $\geq 400$  瓦时/公斤。申请发明专利 $\geq 5$  项。