

## **“稀土新材料”重点专项 2021年度项目申报指南建议**

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“稀土新材料”重点专项。本重点专项总体目标是：面向新一代信息技术、航空航天、先进轨道交通、节能与新能源汽车、高端医疗器械、先进制造等高新技术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且不可或缺的稀土新材料，以稀土新材料战略化、高质化、前沿化、平衡化应用为重点，通过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和高端应用水平，推动我国稀土资源优势向技术和战略优势转变。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署遵循“基础研究、共性关键技术、典型应用示范”全链条创新设计、一体化组织实施原则，拟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、稀土物化功能基元材料及应用技术、特种稀土功能材料及专材专用技术、稀土新材料及材料基因工程新技术应用 7 个技术方向，启动 34 个指南任务。

## 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）

**研究内容：**针对无人机、高端机器人等应用领域的迫切需求，围绕内禀矫顽力与剩磁去耦合的科学问题，开发超高性能钕铁硼永磁材料；开展晶粒细化对钕铁硼磁体综合性能影响研究，解决高内禀矫顽力、高剩磁磁体制备的共性关键技术问题；研究钕铁硼基相成分、跨尺度结构调控、重稀土掺杂与磁性能关联等科学问题，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 $\geq 40$  MGOe，内禀矫顽力(kOe)+最大磁能积(MGOe) $\geq 80$ ；在 $200^{\circ}\text{C}$ 、 $10$  kGs 外加磁场下 $3$  h，标准永磁样品热减磁 $< 3\%$ 。高剩磁烧结钕铁硼磁体易磁化方向与难磁化方向磁粗糙度比 $\geq 4.5$ ，剩磁 $\geq 14.6$  kGs，内禀矫顽力 $\geq 18$  kOe，满足器件小型化、高功率密度需求。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### 1.2 重稀土极致应用与钕铁硼磁体选区扩散技术（共性关键技术）

**研究内容：**面向新能源车用低成本、高稳定性磁体应用需求，研究重稀土元素在永磁材料中极致效应，提升重稀土资源高效利用水平，开发微结构重构及高矫顽力磁体的低成本制备技术；研究烧结态、回火态等不同工艺过程重稀土扩散的动力学问题，开发磁体的选区精准渗透及微结构控制技术，在千吨级生产线实现技术推广。

**考核指标：**实现新能源汽车驱动电机用磁体重稀土减量应用，千吨生产线制备磁体的剩磁 $\geq 12.8$  kGs，内禀矫顽力 $\geq$

28 kOe，镨用量 < 3.5 wt%、铽用量 < 0.6 wt%。低成本、高稳定性稀土永磁体内禀矫顽力温度系数 $|\alpha(H_{cj})| < 0.40 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ 。剩磁温度系数 $|\alpha(B_r)| < 0.08 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ 。建立稀土永磁晶界扩散质量评价技术国家标准，制定稀土永磁高温检测方法国家标准。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### 1.3 烧结钕铁硼磁体批量一致性及其先进制备流程技术（典型应用示范）

**研究内容：**针对烧结钕铁硼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关键技术，重点突破晶界扩散过程的智能转运和靶材的数字化管理技术，实现关键制备节点的智能化，提升材料规模化生产一致性。

**考核指标：**批量磁体性能一致性，剩磁 $\pm 100\text{Gs}$ （或 $\pm 1\%$ ）和矫顽力 $\pm 500\text{Oe}$ （或 $\pm 2\%$ ）以内，实现晶界扩散过程产品的智能转运及晶界扩散环节的靶材智能监控和寿命预测。建成3000吨烧结钕铁硼制备高自动化及智能化示范线，数控率达到90%，生产效率提高10%，单产能耗降低7%。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### 1.4 微特电机专用粘结磁体高性能化技术（典型应用示范）

**研究内容：**针对新型微特电机小型化、高速化、长寿命的发展要求，开发高性能粘结磁粉流程化制备技术；研究核心微量元素对微观组织的调控机理；研究表面处理、晶界扩散对磁体磁性能、加工性及耐热性的影响规律和机理，开发新型复合粘结剂体系；开发取向磁环关键成型技术，研究多

场耦合磁粉取向与磁化规律，掌握充退磁夹具设计技术以及整体器件的一体化生产技术。

**考核指标：**突破高性能粘结磁粉及其关键制备技术，磁粉综合磁性能（内禀矫顽力(kOe)+最大磁能积(MGOe)） $\geq 58$ ；突破高温稳定性辐射取向粘结磁环关键成型技术，环形磁体最大磁能积 $\geq 20$  MGOe，内禀矫顽力 $\geq 12$  kOe，内禀矫顽力温度系数 $|\alpha(H_{cj})| < 0.45$  %/°C(室温至 120°C)；开发出高性能粘结磁环成套应用设计技术。申请发明专利 $\geq 10$  项。

### **1.5 高性能永磁材料及热压流变取向新技术（共性关键技术）**

**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，研发高性能异性热压磁体。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、均匀性差的难点；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：**高磁能积热压磁体的最大磁能积 $\geq 54$  MGOe；长度方向 $\geq 40$  mm 的无重稀土长片状磁体，室温最大磁能积 $\geq 40$  MGOe，内禀矫顽力 $\geq 18$  kOe，磁体磁性能的内部偏差率优于 $\pm 4\%$ ，内禀矫顽力 $\geq 7$  kOe@150°C。申请发明专利 $\geq 5$  项。

### **1.6 多尺度功能基元构筑的高性能稀土永磁材料（基础研究）**

**研究内容：**基于不同尺度相互作用机理的差异，开展层

状原子结构、纳米晶粒、微米或毫米颗粒等多尺度功能基元构筑的新型稀土永磁材料的原理和验证研究。研究基元的成分和结构对材料磁性的影响和调控作用；开发包括纳米尺度硬磁基元的取向技术和多种功能基元的三维可控构筑技术，揭示制备工艺-微结构-宏观磁性之间的关系；以磁能积超过现有材料的理论值为导向，探索基于功能基元的新概念永磁材料的新原理、新技术或新方法。

**考核指标：**用于微型永磁电机或者微机电系统的RE-TM-B(RE-稀土，TM-过渡金属)系列微纳尺度的永磁基元的内禀矫顽力 $\geq 12$  kOe。RE-TM-B/RE-Co全致密多基元杂化磁体的最大磁能积 $\geq 35$  MGOe，使用温度 $\geq 180^\circ\text{C}$ 。各向异性多基元(RE-Fe-N/RE-TM-B)磁粉的最大磁能积 $\geq 40$  MGOe，矫顽力温度系数 $|\alpha(H_{cJ})| < 0.57\% / ^\circ\text{C}$ （温度区间 20~120 $^\circ\text{C}$ ）。研制新型永磁材料 $\geq 2$ 种。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

## 2. 新型高效稀土光功能材料及应用技术

### 2.1 新型高效深红-近红外发光材料及应用技术（共性关键技术）

**研究内容：**面向安防监控、现代农业、食品安全和光伏等领域对荧光转换型深红-近红外发光材料的重大需求，采用第一性原理计算及高通量材料设计技术，筛选高效匹配的基质材料和发光中心，设计适合近紫外-蓝光激发的新型高效深红-近红外发光材料；研究其发射光谱定向调谐及发光效率增强技术，粒度、形貌等可调控的关键制备技术；研究其在热、湿、光辐照下的光色衰减机理，开发材料耐候性提升技术；

开发基于深红-近红外发光材料的应用技术。

**考核指标：**研制出 $\geq 5$ 种（发射峰值波长不同）近紫外-蓝光激发下峰值波长范围为 700~1100 nm 的新型深红-近红外发光材料，其外量子效率 $\geq 35\%$ 、其中至少 3 种 $\geq 40\%$ ，热猝灭特性 $\geq 90\% @ 100^\circ\text{C}$ ；形成 $\geq 3$ 个应用场景。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

## **2.2 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）**

**研究内容：**针对国土安全、深海深空探测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；开发相关晶体高纯无水原料批量制备、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先进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 $< 2.5\% @ 662\text{keV}$ ）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 $\geq 50^\circ\text{C}$ 、湿度 $\geq 80\text{RH}\%$ 环境使用的辐射探测器件。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

## **2.3 紫光激发新型高效稀土发光材料及应用基础（基础研究）**

**研究内容：**面向类太阳光 LED 健康照明迫切需求，建立发光性能高通量计算设计的筛选因子集，研究发光材料基

质的组分、结构、缺陷等因素与发光、热猝灭性能的构效关系，设计和开发适用于紫光（400~420 nm）激发的新型高效稀土发光材料；研究晶体场对光谱调谐及发光效率增强的共性规律；研究温度、湿度等多场耦合条件下发光材料的失效基础理论及可靠性提升关键技术，探索其封装应用技术方案。

**考核指标：**完成 $\geq 10^5$ 个样本的高通量计算筛选预测，研发出 $\geq 5$ 种适合紫光激发的新型多色稀土发光材料，蓝色、青色、绿色和长波红色发光材料的发射峰值波长分别位于450~480 nm、485~500 nm、510~540 nm和650~680 nm，其中 $\geq 4$ 种外量子效率 $\geq 60\%$ ，热猝灭特性 $\geq 80\% @ 120^\circ\text{C}$ ，LED封装器件（0.5 W）的 $R_a \geq 95$ （ $R_g \geq 100$ 和 $R_f \approx 100$ ）时光效 $\geq 120$  lm/W。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 机动车尾气高效净化稀土催化材料及应用技术（典型应用示范）

**研究内容：**针对机动车后处理高效、长寿命的应用需求，开发高性能铈基储氧材料、高稳定稀土改性氧化铝材料可控制备技术；开发柔性贵金属催化剂涂层技术以及低贵金属稳定负载技术；研究稀土调控分子筛催化活性及稳定性的作用机制；开发新型稀土基分子筛脱硝催化材料及应用技术；突破非对称、大尺寸陶瓷载体技术难题；开发长寿命、低贵金属机动车尾气净化催化剂产业化制备技术；开发低成本、短周期的汽油车、柴油机后处理系统匹配与集成技术，开展规模应用示范。

**考核指标：**铈基储氧材料经 1100°C、10 h 高温老化后比表面积 $\geq 28 \text{ m}^2/\text{g}$ ，静态储氧量 $\geq 500 \text{ }\mu\text{mol/g}$ ；稀土改性氧化铝材料经 1200 °C、10 h 高温老化后比表面积 $\geq 80 \text{ m}^2/\text{g}$ ；稀土基分子筛催化材料经 800°C/10%H<sub>2</sub>O/16 h 水热老化后，150~500°C NO<sub>x</sub> 的脱除率 $\geq 80\%$ ；新型稀土基 NO 氧化催化剂经 650°C/10%H<sub>2</sub>O/100 h 水热老化后，150~400°C NO 的氧化转化率 $\geq 40\%$ ；催化剂贵金属减量 $\geq 20\%$ 。实现汽油车和柴油机各 10 万台/套的应用示范。申请发明专利 $\geq 20$  项。

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

**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，研发高性能超稳 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，开发稀土催化材料提升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；催化剂磨损指数 $< 2.5\%$ ，比表面 $\geq 260 \text{ m}^2/\text{g}$ ，800°C、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。

### 3.3 复杂工况工业烟气深度净化稀土脱硝催化剂及应用 (共性关键技术)

**研究内容:** 针对非火电行业(钢铁、有色、化工及水泥等)高温高硫、低温高湿、高碱尘、高空速等复杂工况下的工业烟气脱硝应用需求,研究稀土基及稀土掺杂催化剂在低温反应性能提升、高温抗烧结及抗活性组分流失、耐碱尘/重金属中毒等方面的独特性能,并探究其强化机制。开发非火电行业复杂烟气深度净化用无钒稀土基脱硝催化剂,实现共性关键技术的规模化应用。

**考核指标:** 形成 $\geq 2$ 种无钒稀土基脱硝催化剂;水汽含量(体积) $\geq 15\%$ 条件下,脱硝工作温度 $< 150^{\circ}\text{C}$ ;宽温脱硝工作温度 $150\sim 350^{\circ}\text{C}$ ;在非火电行业实现 $\geq 2$ 个领域的应用示范,稳定运行 $\geq 1$ 年,满足国家或地方行业最新排放标准。申请发明专利 $\geq 10$ 项。

### 3.4 多孔稀土催化与稀土-贵金属催化材料开发(基础研究)

**研究内容:** 针对传统催化剂开发成本高、周期长的问题,采用材料基因工程关键技术,开展多孔稀土催化材料、稀土-贵金属催化材料等的高通量计算预测、实验筛选,构建包含电子态特征、合成策略与催化性能等参数的稀土催化材料数据库;开发高通量、高精度的稀土催化材料表征、评价技术;建立“预测-合成-评估-优化”的数字化研发技术,开发“低成本、短周期”的新型稀土催化材料。

**考核指标:** 实现多孔稀土催化材料 $\geq 10^3$ 量级的高效计算,

构效模型  $R^2 \geq 0.8$ ，构建  $\geq 10^5$  条数据的专用数据库，多孔材料比表面积  $\geq 1200 \text{ m}^2/\text{g}$ ，应用于高品质航空燃油制备，反应温度  $< 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 、底物转化率  $\geq 99\%$ 、产物选择性  $\geq 99\%$ ；研制出稀土-贵金属催化材料四通道催化活性评价装置、六通道快速老化装置各一套，精密度偏差  $< 5\%$ ，建立  $\geq 3$  款车型/机型稀土-贵金属催化材料的仿真模型，完成系统仿真设计与匹配标定，瞬态测试循环实测结果误差  $< 10\%$ 。申请发明专利  $\geq 10$  项。

#### 4. 稀土材料绿色智能制备和高纯化技术

##### 4.1 可再生稀土功能材料二次利用技术(共性关键技术)

**研究内容：**针对我国可再生稀土功能材料现行回收技术能耗高、环境负担重、二次循环率低等问题，采用多级物理和化学工艺，开发基于稀土功能产品加工油泥和废旧产品的绿色高值化再生利用技术，包括高纯度稀土铁硼基超细粉和稀土化合物的制备；采用无压烧结、纳米颗粒改性、晶界扩散等工艺，研制高磁性能再生烧结稀土功能产品；开发可再生稀土功能材料的绿色高值化再生利用全套产业化技术与装备。

**考核指标：**获得从稀土功能产品加工油泥、废旧产品到再生稀土功能产品的短流程制备产业化新技术；稀土及其它有价元素综合回收率  $\geq 95\%$ ；再生稀土功能粉末的饱和磁化强度  $\geq 15.5 \text{ kGs}$ ，粒度  $D_{50} < 2 \text{ }\mu\text{m}$ 。原产品与再生产品的主要性能指标的差值  $< 3\%$ 。申请发明专利  $\geq 5$  项。

## 4.2 超高纯稀土氧化物/氟化物制备基础（基础研究）

**研究内容：**面向高功率激光光纤、激光晶体、光学镀膜等对超高纯稀土化合物的迫切需求，开展稀土氧化物/氟化物中杂质深度去除过程与机理研究；开发超高纯稀土氧化物的高效分离提纯及其高温稳定性稀土配合物制备新方法；开发超高纯稀土氟化物的制备及深度脱水除氧新方法；开发高纯稀土氧化物/氟化物的分析方法。

**考核指标：**探明主元稀土与稀土杂质、碱土/过渡族等非稀土杂质之间分离的基本规律，获得超高纯稀土氧化物/氟化物制备及分析新方法；获得 $\geq 5$ 种高于5N纯度稀土氧化物，其中钙含量 $< 1$  ppm、硅含量 $< 1.5$  ppm及Fe、Ni、Cu含量均 $< 0.05$  ppm； $\geq 2$ 种6N稀土有机配合物， $200^{\circ}\text{C}$ 时分解率 $< 5\%$ ； $\geq 3$ 种4N高纯稀土氟化物，总氧含量 $< 50$  ppm。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

## 4.3 特种稀土功能合金及制备技术（共性关键技术）

**研究内容：**面向车辆轻量化、核安全屏蔽、高性能电机等领域的材料需要，开发新型特种稀土功能合金，研究稀土元素对合金氧化腐蚀性能、导电性能及磁性等影响规律及机理；开发稀土合金均质铸造、变形加工及微观组织控制技术，研究其组织结构、体密度等对阻燃性、核屏蔽性、导电性及磁性等关键性能的影响；研制新型多元稀土合金；开展稀土合金关键制备技术及应用研究。

**考核指标：**获得稀土特种功能合金的成分-组织-特种性能等关键性能间的变化规律。稀土铜合金电导率 $\geq 50\%$ IACS，

电磁屏蔽性能 $\geq 90$  dB，抗拉强度 $\geq 800$  MPa；阻燃稀土镁合金的燃点 $\geq 900^\circ\text{C}$ ，中性盐雾寿命 $\geq 1000$  h，抗拉强度 $\geq 300$  MPa；核屏蔽镍基稀土合金（5 mm 厚板）的热中子衰减系数 $\geq 10^{-5}$ 以上，腐蚀速率 $< 0.01$  mm/a，体密度 8.0~11.0 g/cm<sup>3</sup>，抗拉强度 $\geq 600$  MPa。多种富稀土含量合金纯度 $\geq 3\text{N}5$ 。申请发明专利 $\geq 10$  项。

## 5. 稀土物化功能基元材料及应用技术

### 5.1 高能量密度新型稀土储氢材料及应用技术（共性关键技术）

**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 $\geq 1.7\text{wt}\%$ ，室温放氢平台压力 $\geq 0.3$  MPa，2000 次吸放氢循环后容量保持率 $\geq 80\%$ ；高密度固态储氢装置的重量储氢密度 $\geq 1.4\text{wt}\%$ ，体积储氢密度 $\geq 55$  kg/m<sup>3</sup>。制定储氢动力学评价标准。申请发明专利 $\geq 10$  项。

### 5.2 高端显示玻璃基板用稀土抛光材料及其应用关键技术（共性关键技术）

**研究内容：**针对新型显示用高世代 TFT 和 OLED 玻璃

基板等用稀土抛光材料完全依赖进口的现状，研发高分散、超细、类球形稀土抛光粉的可控制备技术；开发粉体高悬浮稳定、易清洗抛光浆料配方设计等关键技术；开发高世代 TFT 和 OLED 玻璃基板等的精密抛光工艺，建立性能检测与评价方法规范。

**考核指标：**抛光粉体呈纳米类球形颗粒，体粒径  $D_{\max} < 6 \mu\text{m}$ ，大颗粒数量  $< 300 \text{ ppm}$ ，粒度分布  $(D_{90}-D_{10})/(2D_{50}) < 1$ ；抛光浆料抛光速率  $\geq 500 \text{ nm/min}$ ，波纹度  $W_a < 0.02 \mu\text{m}$ ，粗糙度  $R_a < 0.01 \mu\text{m}$ 。申请发明专利  $\geq 5$  项。

### 5.3 高品质速凝铸片及智能流程技术（典型应用示范）

**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速凝结构的制备技术，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：**速凝片树枝晶间隔为  $2\sim 3 \mu\text{m}$ ，晶粒结构接近磁体单畴颗粒尺寸 ( $0.9 \mu\text{m}$ )，富稀土相分布均匀，无粗大树枝晶。速凝微晶合金粉尺寸为  $0.8\sim 2 \mu\text{m}$ ，通过智能化流程控制，提高产品收率 3%，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。

## 6. 稀土新材料及材料基因工程等新技术应用

### 6.1 新型稀土相变制冷材料（基础研究）

**研究内容：**揭示晶体结构、磁性原子间相互作用、磁晶

各向异性等对磁转变温度、磁熵变、饱和磁场的影响规律，设计新型高性能磁制冷材料；研究磁热、电热、压热等热效应的耦合原理，获得增强材料热效应的新方法；研究铸造或粉末冶金高通量合成技术及材料均匀批量化的可控制备技术，获得公斤级可直接应用的制冷材料。

**考核指标：**研制出多种新型磁制冷材料，在磁场变化 1 kGs 时，材料的可逆熵变 $\geq 15 \text{ J}/(\text{kgK})$ ；建成集磁场、电场、应力场的单/多效稀土固态制冷的功能评测平台；获得公斤级磁致冷材料制备技术。设计出性能不低于原材料 95%，单元微尺度小于 500 微米的制冷器件和磁制冷样机；获得新型稀土相变制冷材料一次高通量合成数量 $\geq 50$  个样品的技术。申请发明专利 $\geq 10$  项。

## 6.2 新型易面型稀土基高频材料开发及应用研究（基础研究）

**研究内容：**针对电力电子、5G 通讯等领域对高频材料的高饱和磁感应强度、高磁导率和高截止频率的迫切需求，开发新型易面或者易锥面的稀土基高频材料，阐明具有高饱和磁化强度的各磁性相的成相规律以及相转变机制；开展稀土高频材料的内禀磁性设计与可控制备技术研究，并完成小批量试制。

**考核指标：**获得 $\geq 2$  类稀土基高频材料；稀土基高频材料/粘接剂复合体的磁导率在 0.5 MHz 达到 20，在 30 MHz 达到 10；高频损耗 $< 5000 \text{ mW}/\text{cm}^3$  (1~5 MHz, 50 mT)；高频电磁波吸收材料工作频率达到 X 波段，有效带宽 $\geq 8 \text{ GHz}$ ，最大吸

收强度达到-40 dB。申请发明专利≥10 项。

### 6.3 新型稀土超磁致伸缩材料（共性关键技术）

**研究内容：**面向换能、驱动、传感等功能器件宽温域应用的发展需求，研究高磁致伸缩系数、高电阻率、低磁致伸缩温度系数的新型稀土磁致伸缩合金成分高通量筛选与设计；建立高性能磁致伸缩材料组分-结构-磁致伸缩性能关系图；研究高电阻高磁致伸缩材料制备新方法；研究强磁场对凝固过程中熔体和生成相产生的作用效果，突破大尺寸高磁致伸缩晶体材料的取向生长、组织结构调控关键技术；实现高性能稀土磁致伸缩材料在石油增采方面的典型应用。

**考核指标：**发展出≥2 种新成分稀土磁致伸缩材料；低温系数磁致伸缩材料：磁致伸缩温度系数 $\Delta\lambda/\Delta T \leq 1.8 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ，室温磁致伸缩性能 $\lambda_s \geq 1650 \text{ ppm}$ 。高电阻磁致伸缩材料：电阻率 $\rho \geq 1.0 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$ ；80 kA/m 磁场、10 MPa 预压力下，磁致伸缩性能 $\geq 800 \text{ ppm}$ 。大尺寸磁致伸缩晶体材料：直径 $\geq 30 \text{ mm}$ ，长度 $\geq 300 \text{ mm}$ ；80 kA/m 磁场、10 MPa 预压力下，磁致伸缩性能 $\geq 1250 \text{ ppm}$ ；制备的 Tb-Dy-Fe 合金中 Laves 相沿 $\langle 111 \rangle$ 方向的晶体取向度和排列程度均 $\geq 80\%$ ；不同批次、沿轴向磁致伸缩性能一致性偏差均小于 10%。应用于石油开采增采率 $\geq 5\%$ 。

### 6.4 数据驱动的新稀土功能材料与应用（基础研究）

**研究内容：**针对稀土功能材料成分和含量敏感、电子结构复杂和数据稀疏等特点，发展稀土光功能、稀土硬磁功能、稀土力热功能、稀土催化功能和稀土磁电功能等新材料数据

提取、质量评估与控制技术和方法；发展基于主动学习的多目标协同优化理论、算法和软件，研发材料高通量计算与大数据技术相互融合和迭代的稀土新材料智能化设计和研发技术；构建具有物理可解释性的材料特性参量与目标性能的机器学习模型和数学表达；建设典型稀土功能材料高精度专题数据库，在基于 4f 电子的磁性材料等研发中进行应用，研发出具有自主知识产权和应用前景的新一代稀土功能材料。

**考核指标：**建成基于材料 3d-4f 电子相互作用理论模型与大数据有机融合的新稀土功能材料智能设计平台和专题数据库；形成 $\geq 3$ 项稀土材料特征参量优化筛选方法、多目标优化方法，并获得应用；利用机器学习、材料基因工程技术等多种方法并结合第一性原理计算，设计、计算模拟出 $\geq 4$ 种具有自主知识产权的新概念稀土功能化合物材料；获得 $\geq 2$ 种新材料的实验验证数据；申请发明专利或著作权登记 $\geq 10$ 项。

## 7. 青年项目

### 7.1 元素双梯度钴基复合磁体变温磁耦合机制及调控技术

**研究内容：**研究元素交叉梯度及界面特征对 2:17R 相、1:5H 相及复合体系的内禀磁参量的影响规律及其随温度的演变行为，澄清不同温度下钴基复合磁体磁耦合作用类型及其演化调控理论，揭示磁耦合类型、元素梯度分布和微观结构的最佳组合方式，为高工作温度磁体开发提供理论支撑。

**考核指标：**获得超高温稀土永磁检测技术。在室温至 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 范围，剩磁温度系数 $|\alpha(B_r)| < 0.04\%/^{\circ}\text{C}$ ，内禀矫顽力温

度系数 $|\alpha(H_{cJ})| < 0.18\%/^{\circ}\text{C}$ ；无镀层状态下高低温循环热冲击 50 次后，室温内禀矫顽力衰减率  $< 20\%$ 。申请发明专利 $\geq 5$  项。

## 7.2 新型高性能稀土激光荧光材料的研制与应用

**研究内容：**针对新一代超高亮度、超大功率激光照明对关键荧光材料的重大需求，揭示高功率密度激光激发下荧光材料的失效机制，建立科学评价激光荧光材料性能的方法；掌握激光荧光材料的可控制备技术，探索其成分、微观结构与发光效率及可靠性之间的关联关系；开展基于上述材料的白光光源应用研究。

**考核指标：**掌握激光荧光材料的设计准则，建立激光荧光材料的发光和可靠性评价方法；研发出 $\geq 3$  种新型高性能激光荧光材料；制备出耐入射蓝光激光功率密度 $\geq 20 \text{ W/mm}^2$  的荧光材料；基于上述材料的激光白光光源的显色指数 $\geq 80$ 、光效 $\geq 150 \text{ lm/W}$ 、光通密度 $\geq 500 \text{ lm/mm}^2$ ；申请发明专利 $\geq 5$  项。

## 7.3 新型 d-f 跃迁稀土发光材料的设计与应用

**研究内容：**面向智能透光膜及透明显示器件等领域对光转换型发光材料的迫切需求，研究湿热稳定性好、发光效率高、紫外耐受性强的新型稀土发光配合物。研制基于配体三线态的 d-f 跃迁稀土发光配合物，研究其在热、湿、连续辐照下的光色衰减机理，开发材料的耐候性提升技术；开发基于光转型发光材料的透明显示技术。

**考核指标：**研制出 $\geq 3$  种近紫外-蓝光激发的红/绿/蓝色新

型稀土配合物材料，其外量子效率 $\geq 70\%$ ，热猝灭特性 $\geq 70\% @ 100^\circ\text{C}$ ，制备的三基色透明显示器件（初始亮度  $1000 \text{ cd/m}^2$ ）连续工作 1000 h 后衰减  $< 10\%$ 。申请发明专利 $\geq 5$  项。

#### 7.4 新型 Ce 基催化材料结构设计及贵金属减量技术

**研究内容：**探究稀土 Ce 基催化材料极端服役条件下贵金属团聚和失活机理；考察 Ce 基稀土氧化物载体与贵金属相互作用机制；基于第一性原理和分子动力学等计算模拟手段，剖析组成和尺寸等关键因素对 Ce 基稀土氧化物载体高温热稳定性影响规律，并进行结构设计和筛选，提高贵金属分散度与稳定性，减少催化剂贵金属用量。

**考核指标：**构建 $\geq 2$  种配方的 Ce 基材料与贵金属协同作用模型，设计出 $\geq 2$  种新型 Ce 基催化材料结构，提出贵金属减量 $\geq 10\%$ 的贵金属分散技术方案。申请发明专利 $\geq 5$  项。

#### 7.5 稀土氧化物缺陷/空位催化作用理论

**研究内容：**开发稀土氧化物缺陷/空位原位定性、定量表征方法；探究稀土氧化物中缺陷/空位动态形成机制；解析材料结构、缺陷/空位与催化性能间构效关系，发展稀土氧化物缺陷/空位催化作用理论。

**考核指标：**建立稀土氧化物缺陷/空位原位定性、定量表征方法；提出稀土氧化物缺陷/空位形成机制；获得材料结构、缺陷/空位与催化性能间构效关系。申请发明专利 $\geq 2$  项。

#### 7.6 高性能环保稀土着色剂及其绿色制备新技术

**研究内容：**针对传统有毒有害着色剂亟需替代的重大应用需求，开发在不使用硫化氢或二硫化碳等危化原料条件下，

以稀土氧化物或含氧化合物为原料的绿色高效合成硫化物着色剂新技术；研究稀土氧化物的脱氧加硫技术及机理，探索不同稀土元素的硫化条件及产物之间的内在关系；开展稀土硫化物着色剂表面耐水修饰等应用基础研究。

**考核指标：**获得不使用硫化氢和二硫化碳为原料的稀土硫化物绿色高效制备新技术。制备出 $\geq 3$ 种新型稀土硫化物着色剂材料，粒度  $D_{50} \leq 3 \mu\text{m}$ ，耐光性 8 级，红色着色剂的红度值 $\geq 50$ ，黄色着色剂黄度值 $\geq 80$ ，形成 $\geq 3$ 个场景应用。申请发明专利 $\geq 3$ 项。

### 7.7 超晶格稀土储氢材料研究

**研究内容：**针对节能与新能源汽车对高性能化学电源的技术需求，开发原创性的高容量超晶格稀土储氢电极材料，研究化学组成与热处理制度对材料晶体结构、物相演变的影响规律，探究充/放电循环过程中储氢材料的成分分布状态及其结构演变规律，开发超晶格稀土储氢材料结构和性能调控技术及其电极材料产品。

**考核指标：**开发的超晶格稀土储氢材料的放电容量 $\geq 370 \text{mAh/g}$  ( $30^\circ\text{C}$ ,  $60 \text{mA/g}$  充/放)；放电容量 $\geq 350 \text{mAh/g}$  ( $30^\circ\text{C}$ ,  $300 \text{mA/g}$  充/放)； $300 \text{mA/g}$  充/放循环 200 周后放电容量 $\geq 290 \text{mAh/g}$  ( $30^\circ\text{C}$ ,  $60 \text{mA/g}$  充/放)；放电容量 $\geq 260 \text{mAh/g}$  ( $-30^\circ\text{C}$  和  $70^\circ\text{C}$ ,  $60 \text{mA/g}$  充/放)。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### 7.8 高性能稀土生物特种纤维及制备技术

**研究内容：**针对下一代高端装备对高强高韧纤维及保温功能的迫切需求，开发系列具有光热转化特性的稀土蛋白质

及其高性能特种纤维材料。探索稀土结构蛋白分子高效合成以及多尺度精确组装；发掘稀土蛋白质生物合成的新方法，揭示不同稀土元素对稀土蛋白质的功能性差异影响；实现高强高韧稀土蛋白纤维材料的工程化技术突破和装备蓄热应用。

**考核指标：**建立稀土功能蛋白质理性设计和工程化制备技术路线；开发 $\geq 3$ 种具有光热功能的稀土高强高韧生物纤维，光热转化效率 $\geq 30\%$ ，其拉伸强度 $\geq 500$  MPa，杨氏模量 $\geq 10$  GPa，韧性 $\geq 80$  MJ/m<sup>3</sup>。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### 7.9 稀土掺杂高综合性能铁氧体及制备技术

**研究内容：**针对我国稀土掺杂高性能铁氧体研发及产业流程技术落后与国外的局面，研究 Ca<sup>2+</sup>、La<sup>3+</sup>组合替代 Sr<sup>2+</sup>大幅度提高 M 主相饱和磁感应强度 B<sub>s</sub>的机制和技术，研究 Co<sup>2+</sup>替代 Fe<sup>3+</sup>对离子电荷平衡和温度稳定性提高的作用，揭示内禀矫顽力温度系数 $\alpha(H_{cJ})$ 与成分和微观结构的关联。研究关键工艺参数对稀土掺杂高综合磁性能铁氧体材料微观结构和磁性能的影响。

**考核指标：**稀土掺杂铁氧体综合磁性能（内禀矫顽力(kOe)+最大磁能积(MGOe)） $\geq 10$ ，其中(BH)<sub>max</sub> $\geq 4.6$  MGOe，H<sub>cJ</sub> $\geq 5.4$  kOe，径向收缩率 SHR=13 $\pm$ 0.5%，耐击穿电压 V-AC $\geq 1.8$  kV；获得实验室成果向千吨级生产线转化的关键技术，申请发明专利 $\geq 5$ 项。

### 7.10 新型稀土基多层阻抗渐变宽频吸波复合材料

**研究内容：**针对航空航天、国防军工对宽频吸波材料的

高阻抗匹配度、高耐环境性、结构功能一体化的迫切需求，开发新型稀土掺杂磁性金属或铁氧体吸波层，与阻抗匹配层、高耐环境性树脂分层层级构筑复材，阐明稀土占位、价态、晶体结构对其成相规律、共振频率及高频电磁参数的影响，揭示阻抗匹配层与电波吸波层的匹配及协同作用机制；实现稀土吸波结构功能一体化复材的设计、可控制备及环境应用性，建立多层阻抗渐变模型。

**考核指标：**获得 $\geq 2$ 种稀土掺杂的高频阻抗渐变吸波复合材料；工作频率达到 2~18 GHz，有效吸收频宽( $RL < -10$  dB) $> 10$  GHz，最大垂直反射率 $< -30$  dB，且在盐雾、氧化等恶劣环境下（70 天内）仍能保持 90%的宽频吸波性能。

### 7.11 稀土基化合物相平衡和相结构的高通量实验测定

**研究内容：**利用材料基因组工程的“扩散多元节”高通量实验技术，实验测定稀土基三元体系的相平衡、组织结构及凝固路径，获得稀土化合物晶体结构及相平衡的准确信息，揭示稀土基材料的成相规律和稳定条件。根据相平衡、组织结构及凝固路径等的实验参数，采用国际先进的相图计算（CALPHAD）方法，建立稀土基多组元合金体系的相图热力学数据库。

**考核指标：**建立 Nd-Dy(Tb)-Y(Sm)-Fe-B 稀土基合金体系的原子迁移率耦合热力学描述,获得合金微观组织与凝固速率的关系。申请发明专利 $\geq 5$ 项。