

附件 1

**重点新材料研发及应用国家科技重大专项  
2025 年度项目申报指南  
(公开竞争类)**

二〇二五年三月

根据重点新材料研发及应用国家科技重大专项（科技创新 2030 重大项目）（以下简称新材料重大专项）实施方案的部署，按照新材料重大专项组织实施管理暂行办法的有关要求，现发布 2025 年度项目申报指南（公开竞争类）。

新材料重大专项遵循“以需求为导向、应用为目标、能力提升为核心”的思路，围绕高温合金、高端装备用特种合金、高性能纤维及复合材料、特种高分子材料、电子信息材料、稀土新材料和材料基因工程 7 个重点领域部署任务，贯通材料机理规律、制备关键技术、产品工程应用等从研发到应用全过程，探索形成“料要成材、材要成器、器要好用”的全链条创新体系。其中，以平台能力建设为主的项目，原则上由相关领域国家科技创新平台承担；以应用验证为主的项目，突出应用导向，原则上由相关领域优势用户单位、新材料生产应用示范平台牵头单位承担。

所有研究方向严把科研诚信关，严格按照《科学技术活动违规行为处理暂行规定》《科研失信行为调查处理规则》等工作开展。新材料重大专项坚持发挥中央财政资金的战略引导和资金牵引作用，专项整体配套资金与中央财政资金比例不低于 3:1，每个指南方向的配套资金比例要求根据项目实际类型具体确定。

## 一、高温合金领域

### 1.3 重型地面燃机用耐腐蚀单晶高温合金及大尺寸定向叶片制备技术研究（产品研发）

**研究目标：**针对自主研制 400MW 级重型地面燃气轮机缺乏高性能耐腐蚀单晶高温合金和 300MW 级重型地面燃气轮机缺乏大尺寸定向叶片制备技术的现状，开展地面燃机用长寿命耐腐蚀单晶高温合金研制和 300MW 级地面燃机用大尺寸耐腐蚀定向高温合金叶片工程化研究，突破耐腐蚀单晶合金纯净化制备及组织稳定性控制，和大尺寸定向叶片晶粒生长、微观组织及冶金缺陷控制等关键技术，研制出满足重型地面燃气轮机设计需求的长寿命单晶高温合金，实现长度尺寸 300mm~700mm 的重型地面燃气轮机定向透平叶片工程化研制，为国产 400MW 级和 300MW 级重型地面燃气轮机研制提供技术支撑。

本项目设置 2 项课题。

#### **课题 1：**地面燃机用长寿命耐腐蚀单晶高温合金研制

**研究内容：**针对重型地面燃气轮机透平动叶片对长寿命耐腐蚀单晶高温合金的需求，系统开展长寿命耐腐蚀单晶高温合金优化设计、母合金纯净化熔炼工艺、微量元素对合金晶体缺陷容限的影响、近服役条件下组织与性能评价、大尺寸单晶叶片精密铸造与涂层技术等研究，阐明多元素相互作用机制、微量元素作用机理，发展兼具高性能、长寿命、耐腐蚀、高工艺性等特点的新一代镍基单晶高温合金，突破耐

腐蚀单晶合金母合金纯净化制备、合金强度/组织稳定性与铸造工艺性能协同控制、大尺寸单晶叶片制备等关键技术，为国产先进重型地面燃气轮机提供具有自主知识产权的叶片材料技术支撑。

**课题 2: 300MW 级地面燃机用大尺寸耐腐蚀定向高温合金叶片工程化研究**

**研究内容:** 针对国产自主化设计和国产化 300MW 级及以上重型地面燃气轮机对大尺寸耐腐蚀定向高温合金透平叶片的需求，开展大尺寸定向透平叶片型芯/型壳制备、定向凝固、真空热处理以及机加工等工程化制备技术研究，突破大尺寸型芯、型壳高温软化变形控制技术，实现大尺寸定向叶片外形尺寸和壁厚尺寸的精确控制；开展大尺寸定向叶片杂晶、裂纹、疏松等冶金缺陷形成机制研究，突破大尺寸定向叶片晶粒生长、微观组织和冶金缺陷控制等关键技术，完善大尺寸定向叶片制备技术体系，实现长度尺寸 300mm~700mm 的重型地面燃气轮机定向透平叶片工程化研制，其中优选至少一种某级叶片完成模拟真实燃机工况 1450°C/1.75MP 条件下全温全压工程化应用考核，综合冷效指标达到设计要求，为国产 300MW 级及以上重型地面燃气轮机提供技术支撑。

**项目考核指标:**

1. 地面燃机用长寿命耐腐蚀单晶高温合金研制：（1）材料性能：1）合金[O]、[N]、S 总含量≤10ppm；2）持久性

能：980°C/248MPa 条件下持久寿命 $\tau \geq 200\text{h}$ ，1030°C/230MPa 条件下持久寿命 $\tau \geq 40\text{h}$ ；3) 组织稳定性：950°C/2000h 静态热暴露无 TCP 相析出；4) 热腐蚀性能：合金燃气热腐蚀性能与 Rene N5 合金相当；5) 建立合金长时性能数据包。(2) 研制出长度不小于 300mm 的大尺寸单晶叶片毛坯 10 件，叶片结晶取向与主应力轴取向偏差不超过 15°，叶片尺寸满足设计要求，显微疏松小于 2%。

2. 300MW 级地面燃机用大尺寸耐腐蚀定向高温合金叶片工程化研究：(1) 耐腐蚀定向合金：IN792DS 合金 980°C/190MPa 条件下持久寿命 $\tau \geq 45\text{h}$ ，伸长率 $\delta \geq 5\%$ ；UGTC47 (CM247LC、DZ408) 合金 980°C/205MPa 条件下持久寿命 $\tau \geq 60\text{h}$ ，伸长率 $\delta \geq 5\%$ 。(2) 型芯 1550°C 抗弯强度 $\geq 20\text{MPa}$ ，1550°C 热变形量 $\leq 0.5\text{mm}$ 。(3) 型壳 1550°C 高温强度 $\geq 3\text{MPa}$ 。(4) 长度 300mm~500mm 大尺寸定向透平叶片：1) 柱晶偏离度 $\leq 15^\circ$ ，柱晶发散度 $\leq 20^\circ$ ，晶粒度合格率 $\geq 70\%$ ；2) 显微疏松 $\leq 2\%$ ；3) 叶身型面轮廓度公差 $\pm 0.45\text{mm}$ ，叶身壁厚公差 $\pm 0.60\text{mm}$ ，尺寸合格率 $\geq 80\%$ ；4) 叶片铸件合格率 $\geq 55\%$ 。(5) 长度 500mm~700mm 大尺寸定向透平叶片：1) 柱晶偏离度 $\leq 20^\circ$ ，柱晶发散度 $\leq 20^\circ$ ，晶粒度合格率 $\geq 65\%$ ；2) 显微疏松 $\leq 2\%$ ；3) 叶身型面轮廓度公差 $\pm 0.50\text{mm}$ ，叶身壁厚公差 $\pm 0.60\text{mm}$ ，尺寸合格率 $\geq 75\%$ ；4) 叶片铸件合格率 $\geq 45\%$ 。(6) 优选至少一种某级叶片，提供不少于 12 件合格叶片，通过模拟真实燃机工况 1450°C/1.75MPa 条件下全温全压考核。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**单晶高温合金；耐腐蚀；长寿命；地面燃机；  
大尺寸定向叶片

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **1.10 400MW 重型燃机用大尺寸单晶涡轮叶片制备关键技术及应用（产品研发）**

**研究目标：**针对 400MW 重型燃气轮机对大尺寸复杂空心单晶涡轮叶片的需求，选择燃机用单晶高温合金为研究载体，开展大尺寸单晶涡轮叶片制备技术研究，突破单晶完整性控制、取向控制、尺寸控制等关键技术，提高大尺寸单晶涡轮叶片铸件冶金质量与尺寸控制水平，提升大尺寸单晶涡轮叶片铸件研制合格率，关键技术实现工程化应用。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**

针对 400MW 重型燃气轮机对大尺寸复杂空心单晶涡轮叶片的需求，开展大尺寸复杂空心单晶涡轮叶片型芯与型壳制备、定向凝固、真空热处理、精密检测等制备技术研究，突破单晶完整性控制、取向控制、尺寸控制等关键技术，提

升大尺寸单晶涡轮叶片铸件研制合格率，形成相应的工艺标准和技术规范，完成重型燃机用大尺寸单晶涡轮叶片试制，关键技术实现工程化应用。

### **项目考核指标：**

(1) 交付长度不小于 300mm 的大尺寸单晶涡轮叶片实物 10 件。(2) 陶瓷型芯烧结态外形与理论模型偏差不超过 0.3mm，叶片内腔尺寸与理论值偏差不超过 0.4mm。(3) 每个模组的叶片蜡模数量不少于 2 件。(4) 叶片单晶完整性合格率 $\geq 75\%$ 。(5) 叶片主应力轴取向偏差不超过  $12^\circ$ ，叶片取向合格率 $\geq 90\%$ 。(6) 叶片型壳胀壳尺寸不超过 0.4mm，叶身型面轮廓度公差 $\pm 0.5\text{mm}$ ，叶身壁厚公差 $\pm 0.6\text{mm}$ ，叶片外形尺寸合格率 $> 80\%$ 。(7) 大尺寸单晶涡轮叶片铸件研制合格率 $\geq 50\%$ ，技术成熟度达到 6 级。(8) 形成 2~3 项标准或规范。

**项目实施期限：**3 年

### **项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**单晶高温合金；大尺寸；涡轮叶片；精密铸造；合格率

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

## 1.16 变形高温合金返回料再利用技术与应用验证(应用验证)

**研究目标:** 突破变形高温合金返回料处理技术、高纯净熔炼技术, 建立返回料再利用工艺规范, 返回料使用比例不低于 50%, 高温合金返回料材料利用率提高 50%以上, 构件成本降低 30%以上, 至少一种含返回料的变形高温合金制件通过部件及装机考核。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容:** 针对先进航空发动机、重型地面燃机提升材料利用率、降低制造成本的需求, 开展变形高温合金返回料再利用工程化应用技术研究, 突破变形高温合金返回料有害元素脱除及熔炼关键技术, 建立返回料前处理工艺和评价标准, 实现返回料在变形高温合金中的规模应用, 重点开展变形高温合金屑料再利用研究, 研制不同比例屑料的典型构件, 在先进航空发动机等平台上得到应用验证考核, 为先进航空发动机研制提供技术支撑。

### 项目考核指标:

(1) 完成 GH4169、GH4141 和 GH4065A 等返回料的主干变形高温合金研制, GH4169、GH4141 等返回料使用比例不低于 70%, 其中屑料占返回料比例不低于 50%; GH4065A 返回料使用比例不低于 50%, 其中屑料占返回料比例不低于 50%。(2) GH4169、GH4141 和 GH4065A 等含返回料的变形高温合金棒材、锻件冶金质量、力学性能与全

新料水平相当，符合相关型号标准要求。（3）GH4169：杂质元素[O] $\leq$ 15ppm、S $\leq$ 7ppm；GH4141：杂质元素[O] $\leq$ 15ppm、S $\leq$ 12ppm；GH4065A：杂质元素[O] $\leq$ 15ppm、S $\leq$ 7ppm。（4）Pb、Se、Bi、Te、Tl、Ag、Sn、Sb、As、Cd、Ga、Ge、Au、In、Hg、K、Na、Th、U、Zn 等 20 种痕量元素总含量 $\leq$ 200ppm。（5）高温合金材料利用率提高 50%以上，构件成本降低 30%以上。（6）至少一种含返回料的变形高温合金制件通过部件及装机考核。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**变形高温合金；返回料；再利用；杂质元素控制；降低成本

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **1.17 变形高温合金零部件近净成形制造与应用评价技术（其他保障）**

**研究目标：**面向变形高温合金涡轮盘、机匣类零部件制造短工艺流程，高稳定性、高制造效率和低能耗的需求，突破生产过程中变形高温合金成分-工艺-组织-性能的关联模型瓶颈，构建典型高温合金航空发动机锻件近服役工况条件

下的应用评价技术、评价标准和智能制造平台。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**针对多种变形高温合金航空发动机锻造零部件，揭示多道次热力耦合过程中的高温合金微观组织演化机理，建立变形高温合金锻造生产全流程模拟仿真方法；开展近净成形工艺研究，发展变形高温合金锻件组织性能、尺寸精度批次稳定性控制方法，实现高温合金航空发动机关键零部件制造的形性协同调控，并在典型高温合金锻造零部件的制造过程中开展应用验证，实现材料利用率提升；研究温度场、应力场变化对高温合金锻件残余应力分布及大小的影响规律，建立残余应力分析及控制方法并实现工程化应用；开展典型高温合金锻件近服役工况条件下的应用评价技术研究，建立评价标准。

**项目考核指标：**

（1）研究对象不少于 3 种航空发动机关键零部件用变形高温合金材料，不少于 5 种典型高温合金锻件。（2）建立变形高温合金锻件制造流程模拟仿真方法，包含模锻与环锻成型过程模拟、组织演变模拟、残余应力演变模拟，实现对至少 10 种锻造方案的生产结果预测，并实现 1 种方案的产业化应用验证。（3）优化锻造工艺相关参数不少于 5 项，机匣类零件级材料利用率达到 5% 以上。（4）生产变形高温合金环锻件 30 件以上、模锻件 20 件以上，建立高温合金锻件批次稳定性评价方法 1 套，同类产品尺寸、力学性能的变

异系数（CV 值） $\leq 3\%$ 。（5）建立针对变形高温合金锻造零部件残余应力的跨尺度检测方法与调控方法，实现零件所有残余应力测试点分布散差 $\leq 30\%$ 。（6）完成典型高温合金锻件制造，通过近服役工况条件下的考核验证，并形成考核评价标准 1 套。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**变形高温合金；近净成形；批次稳定性；残余应力；应用评价

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **1.18 高温合金零部件关键检测与可靠性评估技术研究及平台建设（其他保障）**

**研究目标：**针对航空发动机、重型燃机等关键装备用高温合金，开展关键检测与应用评价研究，突破高温合金冶金质量检验技术、关键零部件服役损伤评价及寿命预测技术，建设高温合金零部件安全评估及可靠性验证平台，建立高温合金零部件服役损伤评价和寿命评估理论及方法，制定相关评价标准与实施规范，支撑高温合金的研发和应用。

本项目设置 3 项课题。

### **课题 1: 高温合金冶金质量检验技术**

**研究内容:** 针对先进航空发动机、重型燃机用高温合金及其制件关键冶金质量检验检测需求, 开展叶片晶体取向、残余应力、表面缺陷智能检测, 以及高温合金冶金组织金相表征、超薄界面元素组成与含量准原位动态表征技术、高温合金球形粉末成分-组织-物理性能智能定量测试与表征技术研究, 并研制相应检测装置或平台, 突破核心装备与技术的国产化替代, 并在典型高温合金材料及制件的制造过程中开展应用验证, 实现高温合金关键冶金质量的规范化、标准化和智能化检测。

**课题 2: 高温合金典型构件多尺度力学表征与耐久性评估方法**

**研究内容:** 针对超高效能航空发动机、重型燃机用高温合金关键零部件, 发展高温合金典型构件环境/载荷分析方法, 探究典型构件特征部位组织性能及服役环境/载荷特性, 开展真实构件取样测试与机理分析, 阐明高温合金构件与其特征部位取样寿命相关性, 构建高温合金构件粘塑性本构理论和多尺度力学表征方法, 开展单晶涡轮叶片近工况服役损伤演化及寿命预测研究, 揭示单/双性能高温合金构件蠕变-疲劳交互作用物理机制及损伤演化规律, 形成高温合金构件寿命预测及耐久性评估方法, 并进行试验验证, 发展高温合金构件载荷谱简化方法与强瞬变大温度梯度极端环境构设技术, 开展叶/盘结构多危险部位、多构件失效相关分析, 建

立考虑失效相关的高温合金叶/盘结构寿命可靠性分析方法。

**课题 3:** 高温合金关键零部件安全评估及可靠性验证平台建设

**研究内容:** 针对高温合金关键零部件在严苛环境下的服役安全评估与可靠性验证的迫切需求,开展力、热、振等多重载荷下的多维多尺度损伤响应机制与材料失效机理研究,发展高温合金关键零部件损伤失效行为跨尺度检测与评估方法。开展重型燃气轮机用陶瓷型芯与透平叶片精密铸造工艺设计依据研究,确定各工序关键理论模型与参数,建立陶瓷型芯与透平叶片精密铸造工艺数字化设计线,探索关键热端部件制造工艺风险评估与方案优化方法。突破高温合金关键零部件典型失效模式判别与寿命预测等共性关键技术,搭建高温合金关键零部件近服役工况气热耦合模拟试验平台与数据处理平台,构建高温合金关键零部件失效行为与故障信息数据库。

**项目考核指标:**

1. 高温合金冶金质量检验技术: (1) 单晶高温合金表面晶体取向/残余应力智能检测装备: 衍射角角度偏差不大于 $\pm 0.01^\circ$ , 单晶晶体取向检测精度优于 $\pm 0.05^\circ$ , 单晶残余应力检测精度优于 $\pm 30\text{MPa}$ 。(2) 高温合金冶金组织金相表征装置: 金相试样自动逐层制备及成像系统逐层去除量可控且步进精度优于 $10\mu\text{m}$ , 准原位获取显微组织形貌, 放大倍数涵盖 $100\sim 1000$ 倍, 建立疏松/夹杂缺陷 $50\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ 范围内的三

维重构模型，建立冶金缺陷定量表征当量模型。（3）高温合金球形粉末颗粒智能定量检测平台：单颗粒粉末化学成分检测精度优于 0.01%，夹杂颗粒空间分辨率优于  $1\mu\text{m}$ ，单颗粒粉末物理性能检测涵盖形貌、长短径、比表面、金相等物理特性，粉末工艺性能检测涵盖球形率、流动性、振动密度、松装密度、压缩性等特性，建立  $1\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$  范围内单颗粒粉末表征当量模型。（4）超薄界面元素组成与含量准原位动态表征平台：高温原位反应池温度达到  $1700^{\circ}\text{C}$ ，两相标准物质覆盖核心牌号，逐层表征两相界面厚度不小于  $5\mu\text{m}$ ，步长  $\text{nm}$  级。（5）实现在 4 种以上高温合金型号产品中的应用。

2. 高温合金典型构件多尺度力学表征与耐久性评估方法：（1）建立的高温合金典型构件服役环境/载荷特性分析方法，温度、应力载荷预测误差不超过 5%，考虑涂层影响计算效率较传统有限元方法提高不低于 50%。（2）高温合金构件耦合损伤本构模型预测误差不超过 10%；基准载荷下高温合金构件蠕变-疲劳寿命预测结果与实验数据相比误差不大于 3 倍分散带。（3）带涂层单晶涡轮叶片热机械疲劳寿命预测结果与实验数据相比误差不大于 3 倍分散带。（4）与原始谱相比，简化载荷谱下高温合金构件取样寿命误差不超过 20%。（5）与特征模拟件试验结果相比，多危险部位、多构件相关的高温合金叶/盘结构寿命均值相对误差不超过 50%，标准差相对误差不超过 20%。（6）双性能盘轮缘蠕变-疲劳寿命较现有高温合金结构提高一倍以上。（7）发展的

高温合金构件极端环境构设技术，径向温度梯度不低于 $300^{\circ}\text{C}\pm 15^{\circ}\text{C}$ ，温度均匀度小于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。（8）建立的高温合金构件质量快速辨识方法，检出率不小于90%，过检率不大于10%，最小检测尺寸不大于0.05mm。（9）高温合金关键零部件不同载荷/环境、服役时间下微观组织图谱数量不少于10000张。

3. 高温合金关键零部件安全评估及可靠性验证平台建设：（1）建立近服役工况条件下高温合金关键零部件的跨尺度损伤检测技术、安全评估技术与可靠性评价技术等不少于3项，建设红外热像仪、双色红外测温仪、示温漆系统、工业内窥镜、动应力监测、无线遥测系统、高精度相机、模拟气热耦合的旋转考核试验装置等设备不少于10台套，具备先进测试技术、寿命数据分析处理等功能模块。（2）建设陶瓷型芯制造试片级工艺研究实验平台与陶瓷型芯制造工艺设计与优化仿真平台各1个，具备陶瓷型芯制造过程工艺研究、风险评估与方案优化能力。（3）建立透平叶片精密铸造过程试片级工艺研究实验平台与透平叶片精密铸造工艺设计与优化仿真平台各1个，具备透平叶片精密铸造过程工艺研究、风险评估与方案优化能力。（4）建设透平叶片工艺设计参数数据库1个，具备收集整理透平叶片与陶瓷型芯制造过程关键理论模型参数与边界条件参数能力。（5）建立高温合金关键零部件安全评估及可靠性验证的试验平台及数据处理平台，实现不少于3种高温合金关键零部件的

安全评估及可靠性验证。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**冶金质量；智能检测；无损检测；可靠性验证；  
损伤模式；寿命预测

**有关说明：**项目参研单位数量不超过20个。

## 二、高端装备用特种合金领域

### 2.2 700°C超超临界汽轮机用镍基耐热合金阀门和叶片紧固件研制及防护技术（产品研发）

**研究目标：**研发出以 700°C超超临界电站汽轮机阀门铸锻件、叶片及紧固件等为代表的先进耐热合金及关键部件，突破制造等关键技术，实现 700°C超超临界汽轮机关键部件自主化，具备 700°C超超临界汽轮机关键部件的生产和供货能力，带动先进耐热合金及部件产业制造能力的全面提升。形成具有中国特色和自主知识产权的耐热合金原创技术或牌号。

本项目设置 2 项课题。

#### **课题 1：**汽轮机叶片及紧固件与防护技术

**研究内容：**针对 700°C超超临界汽轮机叶片紧固件对镍基耐热合金及防护技术的需求，开发出具有自主知识产权的高持久强度、抗松弛 700°C汽轮机叶片紧固件用新型镍基耐热合金，研究叶片紧固件用耐热合金高纯净低偏析冶炼技术、叶片紧固件棒材均质化热加工成型技术、高精度叶片锻造与加工成型技术、叶片紧固件防护技术与服役可靠性评价技术，研制出 700°C超超临界汽轮机叶片紧固件。

#### **课题 2：**汽轮机阀门用镍基耐热合金铸锻件与耐磨技术

**研究内容：**针对 700°C超超临界汽轮机阀门对镍基耐热合金铸锻件的需求，开发自主知识产权的高强度镍基耐热合金，研究镍基耐热合金锭冶炼工艺和均匀化处理工艺，研究

锻件晶粒细化、组织均匀化与窄温区锻造工艺，研究锻件强韧性匹配和大截面组织性能均匀性热处理工艺。研究铸件净化均匀化冶炼制造技术、大型镍基铸件铸造与热处理工艺技术、大型镍基铸件焊材及补焊工艺等，研究镍基合金阀门加工成型技术，研究阀门耐磨涂层材料与涂装技术，研制出尺寸精度高、耐磨性和密封性好的 700°C 超超临界汽轮机阀门部件。

### **项目考核指标：**

1. 汽轮机叶片及紧固件与防护技术:完成自主知识产权的 700°C 超超临界汽轮机叶片紧固件用新型镍基耐热合金开发；完成不少于 3 批次 700°C 汽轮机叶片紧固件的制造；叶片、紧固件进行全面性能检测和考核评价，按 ASME 规范 700°C 外推 10 万小时持久强度值不小于 100MPa。

2. 汽轮机阀门用镍基耐热合金铸锻件与耐磨技术：完成自主知识产权的 700°C 超超临界汽轮机阀门用新型镍基耐热合金开发；完成 700°C 汽轮机阀门锻件全尺寸工业试制件的制造；完成 10~30 吨级镍基耐热合金阀壳铸件自主制造，阀门部件进行解剖检测和考核评价，阀门锻件按 ASME 规范 700°C 外推 10 万小时持久强度值不小于 100MPa，阀壳铸件按 ASME 规范 700°C 外推 10 万小时持久断裂强度大于 85MPa。

**项目实施期限：**3 年，700°C 外推 10 万小时持久断裂强度指标可延至第 6 年验收。

### **项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**700°C超超临界汽轮机；叶片紧固件；镍基耐热合金；阀门铸锻件；耐磨技术

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **2.3 重型燃气轮机轮盘用耐热合金钢及大型锻件制造技术（产品研发）**

**研究目标：**研发出以重型燃气轮机轮盘为代表的先进耐热合金及关键部件，突破大型锻件制造等关键技术，实现重型燃气轮机用关键部件自主化和国产化，具备重型燃气轮机关键部件的生产和供货能力，带动先进耐热合金及部件产业制造能力的全面提升。形成具有中国特色和自主知识产权的耐热合金原创技术或牌号。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**针对重型燃机转子对国产化轮盘大型锻件的需求，开展三种轮盘大锻件材料成分和工艺优化研究，研究大型锻件纯净化冶炼和低偏析控制技术，研究大截面锻件晶粒细化、锻造均匀化及锻造缺陷控制技术，研究大型锻件高强度高韧性匹配的均质化热处理技术，研究轮盘锻件芯部小当量无损探伤技术，研究轮盘锻件服役环境下的损伤行为和

寿命预测技术，研制出满足 H 级重型燃气轮机转子轮盘大型锻件。

**项目考核指标：**

1. 重型燃气轮机轮盘用耐热合金钢及大型锻件制造技术：完成直径不小于 2200mm、厚度不小于 500mm 合金钢轮盘锻件制造，锻件表面屈服强度 $\geq 965\text{MPa}$ ，FATT $\leq -57^\circ\text{C}$ ，锻件芯部与表面强度要求相同，芯部 FATT $\leq -30^\circ\text{C}$ ，芯部 UT 探伤缺陷当量直径 $\leq 0.5\text{mm}$ ；完成直径不小于 2000mm、厚度不小于 300mm 低合金耐热钢轮盘锻件制造，表面室温屈服强度 $\geq 705\text{MPa}$ ， $400^\circ\text{C}$ 屈服强度 $\geq 585\text{MPa}$ ，FATT $\leq -10^\circ\text{C}$ ，锻件芯部与表面强度要求相同，FATT $\leq 40^\circ\text{C}$ ；完成直径不小于 2050mm、厚度不小于 280mm 马氏体耐热钢轮盘锻件制造：表面室温屈服强度 $\geq 715\text{MPa}$ ，FATT $\leq 25^\circ\text{C}$ ； $500^\circ\text{C}$ 屈服强度 $\geq 510\text{MPa}$ ；持久性能要求： $538^\circ\text{C}$ ， $360\text{MPa} > 100\text{h}$ 。锻件芯部与表面强度要求相同，芯部 FATT $\leq 40^\circ\text{C}$ ，芯部 UT 探伤缺陷当量直径 $\leq 0.5\text{mm}$ 。

**项目实施期限：** 3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：** 重型燃气轮机；耐热合金钢；合金钢轮盘；低合金耐热钢轮盘；马氏体耐热钢轮盘

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

## **2.8 新一代高速列车用长寿命高强韧钢及关键部件（产品研发）**

**研究目标：**针对高速列车轻量化、长寿命和高安全性服役需求，开发高强高韧钢及其产品，关键部件实现高效、精密加工制造，通过应用验证或实现应用。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**时速 400 公里级高速列车用长寿命轴承钢及应用研究

**研究内容：**针对时速 400 公里级高速列车轴箱轴承需求，研究轴承钢的抗疲劳影响因素、合金化设计与长寿命热处理技术，开发新一代长寿命轴承钢原型钢；开展长寿命轴承钢的工业化试制及冶金质量和性能分析评价等研究，建立生产示范线，形成新一代 400 公里级高速列车用长寿命轴承钢的稳定供货能力；开展时速 400 公里级高速列车轴箱轴承设计、高精度制造与装配等工艺技术研究，开展轴箱轴承工业稳定试制研究，形成生产能力，建立生产示范线，具备高铁轴箱轴承批量生产制造能力；开展时速 400 公里高速列车轴箱轴承的理化、耐热和耐久等考核验证，形成相关标准和示范，具备装车应用条件。

**课题 2：**时速 400 公里级高速列车车轮钢及应用研究

**研究内容：**面向新一代时速 400 公里级高速列车的应用

需求，研究运行速度、载荷工况、线路条件等单因素或多因素耦合作用下高速车轮钢及车轮的组织性能演变规律和失效机理；研发高速车轮钢新型微合金化设计与强韧性组织均匀细化技术；开发新型高速车轮钢超低 O 和 H 元素含量、氧化物弥散细化的高洁净冶炼技术，突破韧塑化复合型夹杂物的长径比约束技术，实现工业化稳定控制；研究完善高速车轮评估方法和标准体系；试制时速 400 公里级高速车轮，开展实物疲劳可靠性评价，完成车轮整体疲劳台架验证。

**课题 3:** 时速 400 公里级高速列车高强韧大热容制动盘及耐热螺栓制造技术及应用

**研究内容:** 针对时速 400 公里级高速列车制动系统关键材料自主保障重大需求，及高导热、耐高温、高强韧、高耐磨、抗疲劳的高性能制动盘及配套螺栓技术瓶颈，研究制动盘材料-结构-工艺一体化设计、合金钢及表面合金层组织与性能调控机制与关键制备技术；开发面向时速 400 公里级高速列车的结构/功能一体化的新型高性能合金钢和梯度结构 2 类制动盘，开发耐热高强螺栓；构建制动盘/片与服役条件协调融通的综合评估体系；开展新型高性能合金钢、梯度结构制动盘及配套螺栓的工业化试制，并完成时速 400 公里级高速列车台架考核验证。

**项目考核指标:**

1. 时速 400 公里级高速列车用长寿命轴承钢及应用研究：新一代时速 400 公里级高速列车用渗碳轴承钢的抗拉强

度 $\geq 1080\text{MPa}$ 、延伸率  $A\geq 13\%$ ，高碳轴承钢的抗拉强度 $\geq 2400\text{MPa}$ ；轴承钢的氧含量 $\leq 10\text{ppm}$ 、大颗粒夹杂物  $DS\leq 1.0$ 级，在室温及  $4.5\text{GPa}$  循环应力下接触疲劳寿命  $L_{10}\geq 1.0\times 10^8$ 次。形成时速 400 公里高速列车的轴箱轴承设计、高精度制造与装配工艺技术（ $\geq P4$  级）等工艺技术，满足 400 公里时速高铁轴承 $\geq 330$  万公里寿命设计要求；完成时速 400 公里高速列车轴箱轴承工业试制并建立具备批量生产制造能力的生产示范线；完成时速 400 公里高速列车轴箱轴承的理化、耐热和耐久等考核验证，台架试验里程 $\geq 165$  万公里，与轴箱轴承免维护周期一致，形成标准与规范，具备装车应用条件。

2. 时速 400 公里级高速列车车轮钢及应用研究：改造时速 400 公里等级车轮生产示范线 1 条以上；新型高速车轮钢冶炼连续 5 炉次均达到：O 含量 $\leq 12\text{ppm}$ ，H 含量 $\leq 1.2\text{ppm}$ ，整炉产品探伤报废率 $\leq 5\%$ ；新型高速车轮钢锻轧-热处理连续 10 批次均达到：轮辋 6 个平行试样屈服强度 $\geq 620\text{MPa}$ ，断裂韧性平均值 $\geq 75\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 、最小值 $\geq 60\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，踏面下 35mm 处硬度 $\geq 270\text{HB}$ ，拉压疲劳 S-N 曲线  $10^7$ 次疲劳极限 $\geq 400\text{MPa}$ ；新型高速车轮较现役进口高速车轮 ER8 的接触疲劳性能提升 10%；完善高速车轮评估方法和技术体系；开展 400 公里等级车轮实物疲劳可靠性评价，完成车轮整体疲劳台架试验，在辐板最大径向应力为  $\pm 265\text{MPa}$  的试验应力下，经过  $10^7$ 次循环后车轮不应产生裂纹，满足时速 400 公里等级高速车轮应用要求。

3. 时速 400 公里级高速列车高强韧大热容制动盘及耐热螺栓制造技术及应用：新一代高强韧大热容制动盘用合金钢室温抗拉强度 $\geq 1150\text{MPa}$ ，延伸率  $A\geq 12\%$ ，高温抗拉强度( $700^{\circ}\text{C}$ ) $\geq 500\text{MPa}$ ；梯度结构制动盘表面合金层室温抗拉强度 $\geq 1200\text{MPa}$ ，延伸率  $A\geq 12\%$ ，高温抗拉强度( $700^{\circ}\text{C}$ ) $\geq 700\text{MPa}$ ，界面结合强度不低于基体；高强螺栓钢室温抗拉强度 $\geq 1100\text{MPa}$ ，屈强比 $\geq 0.9$ ，抗拉强度( $500^{\circ}\text{C}$ ) $\geq 900\text{MPa}$ ， $500^{\circ}\text{C}$ 疲劳性能较原有钢种提高 10% 以上，低温冲击功  $A_{KV}(-50^{\circ}\text{C})\geq 30\text{J}$ ；制动盘用合金钢和梯度结构制动盘表面合金层冷热疲劳  $25^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$  区间循环 400 次无裂纹；高强螺栓钢室温旋转弯曲疲劳极限 $\sigma_{-1}\geq 500\text{MPa}$ ，满足时速 400 公里级高速列车制动工况需求；完成新型高性能制动盘及其配套螺栓试制，合金钢、梯度结构制动盘和高强螺栓无损检测无缺陷；形成时速 400 公里级高速列车制动盘零件设计制造及应用系统集成技术，初速度为  $400\text{km/h}$  时，1:1 台架验证中制动盘摩擦面下 1mm 处的表面平均温度 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ ，表面初裂纹长度 $\leq 10\text{mm}$ ，通过台架考核验证。

**项目实施期限：**6 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**时速 400 公里级高速列车；长寿命轴承钢；高

速车轮；制动盘；台架验证

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## **2.9 新一代高速列车用长寿命高强韧有色合金及关键部件（产品研发）**

**研究目标：**针对高速列车轻量化、长寿命和高安全性服役需求，开发高强铝合金、高强高导铜合金等先进轻量化高强韧有色合金产品，关键部件实现高效、精密加工制造，通过应用验证或实现应用。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**低密度高耐蚀 600MPa 强度级铝合金型材及关键部件研发与应用

**研究内容：**面向时速 400 公里以上高速列车车体轻量化发展需求，研究新型合金多尺度多相组织对合金强韧性、耐腐蚀、焊接等性能影响机制，突破低密度 600MPa 强度级铝合金成分设计、高热裂倾向铸锭铸造成型及冶金质量控制、型材高精高效挤压成形、高综合性能匹配的强韧化热处理及高强韧低应力焊接等关键技术，形成新型低密度 600MPa 强度级铝合金型材工业化成套制备技术。试制时速 400 公里以上高速列车车体主承载构件，通过台架疲劳试验，完成构件应用验证。

**课题 2：**超高导电率高比强度铜合金接触网线材料及产品研发与应用

**研究内容：**面向时速 400 公里级高速轨道交通新一代接触网对特种高性能铜合金材料及产品需求，发展基于数据驱动的铜合金高比强度超高导化设计基础理论与方法，实现高性能铜合金理性设计与优化；突破高比强度超高导铜合金接触线大卷重非真空连铸、形性一体化控制、组织性能一致性控制等关键制备技术，建立合金成分-工艺-组织-性能的构效关系，实现强度/导电/耐热性的协同提升；突破时速 400 公里级高速轨道交通接触网用高比强度超高导和中强超高导两种铜合金产品工程化制备技术，实现产品批量稳定制造与应用验证。

**课题 3：低密度高耐蚀 550MPa 强度级铝合金锻造部件研制及应用**

**研究内容：**面向时速 400 公里级高速列车转向架轻量化发展需求，发展基于数据驱动的耦合物理计算和机器学习算法的高比强度锻造铝合金成分设计理论与方法，解决铝合金复杂承载件强度、塑性、疲劳、应力腐蚀等性能匹配不良及形性难兼顾的瓶颈难题，突破铝合金复杂承载件高综合性能匹配的模锻成型和强韧化热处理关键技术，形成新型高比强度铝合金复杂锻件工业化成套制备技术；试制时速 400 公里级高速列车转向架主承载铝合金锻件，通过结构疲劳台架验证。

**项目考核指标：**

1. 低密度高耐蚀 600MPa 强度级铝合金型材及关键部件

研发与应用：新一代时速 400 公里以上高速列车低密度铝合金型材抗拉强度  $R_m \geq 600\text{MPa}$ 、密度  $\leq 2.65\text{g/cm}^3$ 、延伸率  $A \geq 10\%$ 、抗剥落腐蚀优于 EA 级，抗晶间腐蚀  $\leq 2$  级，C 型环试样  $245\text{MPa}$  载荷下 30 天不产生应力腐蚀裂纹，断裂韧性  $\geq 30\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 、截面积  $1000\sim 10000\text{mm}^2$ 、长度  $1\sim 15\text{m}$ 、低裂纹敏感性，焊接接头系数  $\geq 0.8$ ，完成新一代高比强度铝合金及型材生产示范线建设，应用合金型材制备的主承力典型部件实现减重 10% 以上，通过台架疲劳试验。

2. 超高导电率高比强度铜合金接触网线材料及产品研发与应用：面向时速  $\geq 400\text{km/h}$  高速列车配套基础设施材料研发需求，突破新一代轨道交通接触网用高强高导、中强度高导两类铜合金产品工程化制备技术，实现产品批量稳定制造与应用验证。批量生产的新一代高铁高比强度超高导接触线抗拉强度  $R_m \geq 650\text{MPa}$ ，导电率  $\geq 75\% \text{IACS}$ ，延伸率  $\geq 4\%$ ，软化率  $\geq 90\%$ 。高比强度超高导承力索单丝抗拉强度  $R_m \geq 640\text{MPa}$ ，导电率  $\geq 82\% \text{IACS}$ ， $120\text{mm}^2$  承力索整体拉断力  $\geq 71.36\text{kN}$ ；中强超高导承力索单丝抗拉强度  $R_m \geq 540\text{MPa}$ ，导电率  $\geq 90\% \text{IACS}$ ， $120\text{mm}^2$  承力索整体拉断力  $\geq 59.66\text{kN}$ ；完成新一代高比强度超高导铜导线生产示范线建设，单次成型  $\geq 1500\text{m}$ ，每 50m 均满足指标  $R_m \geq 630\text{MPa}$  和导电率  $\geq 83\% \text{IACS}$ ，完成高比强度超高导接触线和承力索试制与考核验证；满足新一代高铁接触网产品需求。

3. 低密度高耐蚀  $550\text{MPa}$  强度级铝合金锻造部件研制及

应用：高速列车转向架新一代高比强度铝合金锻件纵向抗拉强度  $R_m \geq 560\text{MPa}$ 、密度  $\leq 2.65\text{g/cm}^3$ 、延伸率  $A \geq 10\%$ ；横向抗拉强度  $\geq 500\text{MPa}$ ，延伸率  $\geq 7\%$ ；抗剥落腐蚀  $\geq \text{EA}$  级，断裂韧性  $K_{IC} \geq 30\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，锻件超声波探伤  $\geq \text{A}$  级（GB/T 6519），晶间腐蚀  $\leq 2$  级（GB/T 7998），C 型环试样在高向施加 245MPa 载荷，30 天不产生应力腐蚀裂纹；满足时速 400 公里高速列车转向架铝合金锻件技术规范，完成 1~2 类转向架高比强度铝合金锻造部件的试制与结构疲劳台架考核验证。

**项目实施期限：**6 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**时速 400 公里级高速列车；高速列车车体；接触网；转向架主承载部件；台架试验

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## 2.10 新一代高速列车关键部件评价及关键合金低碳技术（其他保障）

**研究目标：**针对高速列车轻量化、长寿命和高安全性服役需求，突破钢铁材料电炉短流程高效制备技术和铝等再生供给与高质保级关键技术，发展使役工况下的服役性能评价技术，支撑高强韧合金产品在高铁上示范应用。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1:** 先进钢铁材料高效低碳电炉短流程技术

**研究内容:** 针对列车车轮用钢、车轴用钢、转向架用钢等高品质钢铁材料制备用电炉流程连续化程度偏低、生产成本较高、产品质量波动较大等问题，揭示电炉流程工序功能解析优化与动态有序运行规律，构建电炉流程动态有序运行的量化工艺规则集和协同调控机制；研究全废钢电炉流程层流运行机制、高品质钢电炉流程高效智能冶炼、多工序多场景全废钢电炉流程数字化仿真与质量动态调控、“电炉-精炼-连铸-轧制”跨工序协同的智能控制等关键技术与装备，支撑电炉流程钢在高铁上示范应用。

**课题 2:** 时速 400 公里级高速列车走行部关键部件使役工况下疲劳及磨损性能评价技术及装备

**研究内容:** 针对时速 400 公里及以上服役条件，开发高速列车走行部关键部件疲劳及磨损性能评价技术及装备。解析轮轨、轮轴和盘闸等界面的动态接触行为；探明使役工况下关键部件典型疲劳和磨损行为的损伤机理；建立考虑速度和载荷效应的疲劳和磨损损伤评估方法；形成设计制造-服役-运维等全生命周期规范；预测高速列车走行部关键部件使用寿命。建立使役工况下疲劳及磨损性能评价表征新方法和新标准，开发疲劳和磨损性能表征新装备，支撑新一代时速 400 公里高速列车关键部件服役寿命不低于现有速度等级同类产品。

### 课题 3: 高品质典型有色金属短流程保级再生关键技术

**研究内容:** 针对高品质废杂铜、废铝制品等保级利用比例低、产品质量差等问题, 研究铜、铝、铅大宗金属绿色保级利用过程晶格结构和关键组元演变与调控规律, 废杂铜一步法拉杆制备无氧铜杆技术与装备, 废铝合金及制品智能识别分类与保级利用技术, 废铅酸蓄电池绿色短流程梯次再生直接制备电池级高纯铅产品技术与装备。

#### 项目考核指标:

1. 先进钢铁材料高效低碳电炉短流程技术: 先进钢铁材料全废钢连续加料电炉平均电耗 $\leq 330\text{KWh/t}$ , 电炉冶炼周期 $\leq 36\text{min}$ ; 吨钢能耗降低 10%以上, 能效提升 10%以上, 流程连续化率提升 20%以上; 典型高品质车轮钢 D 类氧化物夹杂 $\leq 0.5$  级, 高品质车轴钢稳定实现  $\text{T.O} \leq 10\text{ppm}$ , 产品质量稳定性提升 10%; 形成绿色低碳、智能高效的电炉流程技术核心装备 1~2 套, 形成智能高效的电炉短流程制备高品质车轮钢示范线, 支撑电炉流程钢在高铁上示范应用。

2. 时速 400 公里级高速列车走行部关键部件使役工况下疲劳及磨损性能评价技术及装备: 针对时速 400 公里及以上服役条件, 开发高速列车走行部服役可靠性试验台, 运行速度 $> 600\text{kmh}$ ; 惯量模拟:  $> 20\text{t/轴}$ ; 轴距: 连续可调范围 2000~3000mm; 动态加载: 垂向:  $\pm 500\text{kN}$ ,  $\pm 75\text{mm}$ , 50Hz; 横向:  $\pm 250\text{kN}$ ,  $\pm 25\text{mm}$ , 50Hz; 纵向:  $4 \times \pm 50\text{kN}$ ,  $\pm 25\text{mm}$ , 50Hz; 具备被试转向架的实车牵引、制动控制; 轮轨激励:

垂向频率>1000Hz；走行风模拟：风速>37m/s；电机功率：>2600kW；环境模拟：向轮-轮接触部位瞬间喷射混合液体，模拟低黏着状态；具备持续运行能力；具备车轮磨耗、制动盘磨耗和应力实时在线测试能力；建立使役工况下疲劳及磨损性能评价表征新方法和新标准>10项。

3. 高品质典型有色金属短流程保级再生关键技术：形成废杂铜短流程制备无氧铜杆、废铝等合金保级利用、废铅酸蓄电池全组份梯级利用等关键技术3~5套，铜再生回收率>98%，无氧铜杆导电率达到100.5IACS；铝再生回收率>95%，铝合金纯度达到99.9%；铅再生回收率>98%，氧化铅纯度达到99.9%；研发与工艺相匹配的密闭无氧熔炼炉等核心装备2-3台套，再生铜产能达到10万吨，再生铝合金、再生铅规模达到万吨级；再生成本降低10~15%，污染物排放降低30~50%，再生过程减污降碳15%以上，保级利用率提高5~10%；铜、铝、铅再生比例分别达到35%、40%和40%；建立典型有色金属短流程保级利用示范工程2~3项；形成覆盖研究内容的具有产业化前景的发明专利15~20项。

**项目实施期限：**6年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**电炉短流程；绿色低碳；服役可靠性试验台；

典型有色金属；保级利用

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## **2.11 新能源汽车轻量化结构部件与模具用钢开发及应用（产品研发）**

**研究目标：**面向新能源汽车轻量化结构部件，研制高强塑积与低密度汽车钢、高耐蚀特超高强镀锌钢板、一体化压铸用特大型模具钢等一批具有中国特色和自主知识产权的特种合金及关键部件，并在新能源汽车等高端装备上实现示范应用。

本项目设置 4 项课题。

### **课题 1：高强塑积与低密度汽车钢研制**

**研究内容：**针对车身及座椅骨架、汽车轮毂、钢质电池包等一体成形轻量化应用场景，开展高强塑积和低密度汽车钢产品研发；完成冶炼连铸等全流程关键制造技术开发，实现相关产品工业化生产；突破高强塑积和低密度钢异钢种多模式连接技术；开展包括冷成形、温成形、热成形在内的一体化先进成形技术研发；形成基于高强塑积和低密度钢的轻量化零部件设计技术，为一体化汽车零部件开发和产业化应用提供理论和技术基础。

**课题 2：高耐蚀特超高强镀锌汽车钢板系列产品的研制与产业化应用**

**研究内容：**抗拉强度 1300MPa 及其以上级别的电镀锌、

热镀纯锌和热镀锌合金化等镀层的冷、热成形特超高强钢板的成分工艺设计，组织、性能演变规律和调控机理研究；钢板制备和应用过程影响扩散氢在钢板内部累积的影响因素及其演变规律、扩散氢含量对钢板氢致开裂影响以及扩散氢调控和去氢工艺研究；钢板全流程合金元素表面富集和选择性氧化行为、遗传规律及调控，带钢热浸镀过程的固液界面反应机制及对镀层结构的影响；镀层钢板表面应力以及典型零部件的表面应力分布规律研究；镀层钢板的电阻点焊和激光焊焊接接头冷裂纹敏感性、氢致开裂特性和液态金属脆特性及其机理研究。

### **课题 3:** 新能源汽车一体化压铸用特大型模具钢开发

**研究内容:** 研究一体化压铸模具钢高温、高应力、热冲蚀等典型服役条件下失效机理，高强韧、抗疲劳、易加工的合金精细化设计，制备及服役过程组织演化规律；开发特大型钢锭的超净化、高均匀化冶炼凝固工艺，特大型模块的均质化、细质化组织控制技术，特大型快锻机精确成型与高等向性热加工等技术；研发模具高性能长寿命热处理及表面处理技术，实现特大型、高均匀、高性能压铸模具钢的研制开发与新能源汽车车身结构件的典型应用。

### **课题 4:** 新能源汽车一体化压铸用特大型模具钢应用

**研究内容:** 研究特大型一体化压铸模具材料在复杂工况下的失效演化机理；开展具有框芯分离、均稳定场的超大、复杂压铸模具多目标优化设计，研制超大型成套模具系统；

开展一体化压铸模具钢的应用研究，实现新能源乘用车一体化下车体等示范应用，一体化压铸模具钢通过认证。

### 项目考核指标:

1. 高强塑积与低密度汽车钢: 形成高强塑积和低密度钢系列产品设计技术、全流程制造技术、多模式连接技术、一体化先进成形技术体系; 实现 Mn 含量 $\leq 3.0\text{wt.}\%$ 且强塑积 $\geq 30\text{GPa}\%$ 的高强塑积钢开发和制造, 实现强塑积 $\geq 40\text{GPa}\%$ 的高强塑积钢开发和制造; 实现密度 $\leq 7.4\text{g}/\text{cm}^3$ 和密度 $\leq 7.0\text{g}/\text{cm}^3$ 的低密度钢开发和制造; 实现抗拉强度 $\geq 1500\text{MPa}$ 的热成形一体化零部件应用示范, 一体化部件实现零件数量减少 $\geq 70\%$ ;

2. 高耐蚀特超高强镀锌汽车钢板: 开发 1300MPa 及其以上级别的特超高强度电镀锌、热镀纯锌和热镀锌合金化冷、热成形钢板, 实现至少两个级别、两种镀层钢板的工业化制造和汽车部件应用, 实现 1700MPa 级电镀锌冷成形钢板应用示范。其中电镀锌钢板力学性能指标: 1300MPa 级抗拉强度 $\geq 1300\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 6\%$ ; 1470MPa 级抗拉强度 $\geq 1470\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 5\%$ , 90 度弯曲半径达到最小 2.5 倍板厚; 1700MPa 级抗拉强度 $\geq 1700\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 4\%$ ; 热镀纯锌和热镀锌合金化钢板的力学性能指标: 1300MPa 级抗拉强度 $\geq 1300\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 7\%$ ; 1470MPa 级抗拉强度 $\geq 1470\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 6\%$ , 90 度弯曲半径达到最小 2.5 倍板厚; 锌系热成形钢力学性能指标: 抗拉强度 $\geq 1450\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 5\%$ , 基板

裂纹深度 $\leq 10$  微米;

3. 一体化压铸用特大型模具钢开发: 开发出一体化压铸用特大型模具钢模块, 模块规格: 截面尺寸 $\geq 700\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 2000\text{mm}$ , 纯净度:  $S \leq 0.001\%$ 、 $P \leq 0.01\%$ 、非金属夹杂物: A、C类均 $\leq 0.5$ 级, B、D类均 $\leq 1.0$ 级, 低倍组织: 一般疏松、中心疏松、锭型偏析均 $\leq 1.0$ 级, 带状组织: SB~SA级, 球化组织: AS1~AS4级, 热处理硬度: 44~47HRC, 心部横向室温冲击吸收能量:  $KV \geq 25\text{J}$ , 等向性:  $\geq 0.8$ , 晶粒度:  $\geq 7$ 级,  $600^\circ\text{C}$ 加热 24h 回火稳定性:  $\geq 38\text{HRC}$ ,  $500^\circ\text{C}$ 高温强塑性:  $R_m \geq 1000\text{MPa}$ ,  $R_{p0.2} \geq 900\text{MPa}$ 、 $A \geq 15\%$ 、 $Z \geq 60\%$ , 冷热疲劳裂纹深度 $\leq 100\mu\text{m}$ , 在新能源汽车大型结构件一体化压铸模具实现示范应用, 通过主机厂认证。

4. 一体化压铸用特大型模具钢应用: 一体化压铸模具应用于新型免热处理高强压铸铝合金材料成型, 实现超大型一体化车体生产制造, 铸件长度 $\geq 1800\text{mm}$ 、宽度 $\geq 1000\text{mm}$ , 压铸模具尺寸形变 $\leq 0.1\text{mm}$ , 模具光洁度  $R_a \leq 6.3$ , 完成超大型压铸模具应用验证, 模具使用寿命 $\geq 80000$ 次, 并制定相关团体、行业技术标准 $\geq 3$ 项。

**项目实施期限:** 3年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事前补助。

**关键词：**高强塑低密度钢；高耐蚀钢板；一体化先进成形；一体化压铸；模具钢

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## 2.12 先进钢铁材料高效化和低碳制造关键技术开发与应用（其他保障）

**研究目标：**针对新能源汽车用先进钢铁材料，突破钢铁冶金长流程等关键流程技术，构建基于信息物理系统深度融合的绿色化智能化钢铁流程，实现新能源汽车、基础设施等用钢制造流程绿色化、智能化；提升废钢等金属再生比例，支撑我国金属材料全生命周期的高质循环利用，满足高品质特种合金材料生产需求。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**动态有序、高效协同的先进钢铁材料高质化制造工艺技术

**研究内容：**针对“高炉-转炉”长流程制备汽车高强钢等先进钢铁材料过程碳排放较大、连续化程度偏低等问题，阐明钢铁流程连续化运行的物理本质和本构特征，揭示产品质量指标发散的形成机制；突破钢铁流程跨工序动态协同管控的全流程关键工序与界面、关键界面高效热链接的智能管控、全流程铁素物质流在线识别-动态跟踪等关键技术及装备，提高流程整体能效和效率；攻克典型产品连铸板坯质量问题，优化板坯表面品质，实现板坯内部结构的均质化升级，形成

钢铁流程面向全价值链的智能决策，可满足用户个性化需求。研发冻土公路用低温耐蚀钢及高质制备技术，实现工程应用。

## **课题 2：再生钢铁材料高质化利用关键技术及其应用**

**研究内容：**针对大比例使用再生钢材料导致钢材中残余元素的大幅度提升及电炉流程生产高等级汽车板氮含量高的难点问题，通过开发钢铁流程高效冶炼协同匹配的废钢智能识别快速分类、处理、智能配料和应用集成技术体系，建立废钢-钢铁冶炼相对应的预处理技术及标准；开发再生钢材料及氢基 DRI 电炉高效熔炼技术，研究电炉炉料结构对电炉出钢成分的影响；开发电炉流程生产新能源汽车用高等级薄板的低氮、低磷、低氧及夹杂物控制技术；研究电炉流程生产新能源汽车用高等级硅钢的夹杂物改性技术、夹杂物对电磁性能的影响规律；构建全品种高品质低碳汽车板产品设计、制造和使用关键技术体系，实现钢铁低碳冶金产品和技术大规模应用，引领钢铁行业双碳发展。

### **项目考核指标：**

1.动态有序、高效协同的先进钢铁材料高质化制造工艺技术：高炉-转炉长流程连续化率提升 13%以上，能效提升 7%以上，吨钢能耗降低 7%以上，关键工序生产效率提升 10%，关键工序数控率 80%以上，新能源汽车用钢典型产品质量稳定性提高 20%以上，形成钢铁流程面向全价值链的智能决策，可满足用户个性化需求，为形成国际领先的动态有

序、高效协同的钢铁制造流程提供重要支撑。冻土公路用型材及板材产品制备流程能源消耗降低 5%；制造出冻土公路高刚性钢板桩和波纹管用低温耐蚀钢板，在海拔 4000 米以上的高等级公路上实现应用，满足服役寿命 20 年以上的需求；

2. 再生钢铁材料高质化利用关键技术及其应用：形成钢铁流程高效冶炼协同匹配的废钢智能识别快速分类分拣集成技术，制定与钢铁冶炼相适应的废钢分类及预处理技术标准，再生钢铁材料快速分类准确率 $\geq 75\%$ 、钢的再生比例达到 30%以上；电炉流程生产汽车外板成品氮含量 $\leq 40\text{ppm}$ 、磷含量 $\leq 150\text{ppm}$ 、T.O $\leq 20\text{ppm}$ ，实现包括外板、吉帕钢在内的全品种高品质低碳排放汽车钢产品的批量生产和应用，电炉流程吉帕钢达到再生钢使用比例 $\geq 80\%$ 及减碳 $\geq 60\%$ ；外板产品达到再生钢使用比例 $\geq 60\%$ 及减碳 $\geq 50\%$ ；阐明新能源汽车用高等级硅钢成分及夹杂物对电磁性能的影响规律，实现新能源汽车用高等级硅钢电炉流程的小批量生产和应用

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**钢铁制造流程；高效协同；流程连续化程度；高质化；再生钢铁材料

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **2.13 深海油气管道和关键部件用耐蚀合金和不锈钢产品的研发（产品研发）**

**研究目标：**针对我国深海能源钻采集输系统用先进耐蚀合金材料及关键部件严重依赖进口的现状，突破深海海洋强腐蚀环境下耐蚀合金高耐蚀、耐疲劳等关键性能瓶颈，开发出海洋油气管道输送复合管、水下管汇、热交换器、冷凝器和泵阀用不锈钢及耐蚀合金，且复合管实现工业化制备和应用验证。开发出深海钻采集输用特种合金原型，形成具有中国特色和自主知识产权的特种合金原创技术或牌号。

本项目设置 4 项课题。

**课题 1：**海洋油气管道输送复合管用镍基耐蚀合金宽幅薄板研制

**研究内容：**开展海洋油气复合管输送用耐蚀合金(CRA)材料成分、合金体系相变热力学、动力学特性规律及机制研究、热加工/冷加工工艺研究等材料基础研究。开展工业化全流程生产关键技术研究，包括：耐蚀合金大单重坯料冶炼及制备技术、凝固行为及元素偏析、有害相控制、铸坯均匀化技术研究；窄窗口高变形抗力热轧技术、高性能高表面质量冷轧及退火酸洗技术研究。开展合金成分、组织与腐蚀等应用性能关系研究。

**课题 2：**海洋油气水下管汇用双相不锈钢研制

**研究内容:** 大截面双相不锈钢有害相控制研究、高冲击韧性高耐蚀性能双相不锈钢组织控制技术研究、大截面双相不锈钢焊接技术研究、双相不锈钢母材和焊缝耐点腐蚀和缝隙腐蚀性能研究、双相不锈钢热等静压粉末冶金近终成形技术研究, 包括特殊合金粉末的制粉技术和金属粉末制备工艺规范。实现管汇用双相不锈钢制备工艺稳定性研究和批量制造。

**课题 3:** 海洋油气热交换器、冷凝器、泵阀用超级奥氏体不锈钢及耐蚀合金

**研究内容:** 开展超级奥氏体不锈钢材料基础研究。包括: 合金体系设计及优化; 中间相热力学、动力学行为; 高钼合金热加工技术等。开展耐蚀合金材料基础研究。包括: 合金体系设计及优化; 中间相热力学、动力学行为; 高钼合金热加工技术等。开展超级奥氏体不锈钢板材、棒材、管材工业全流程生产及关键技术研究。包括: 超纯冶炼技术; 低偏析凝固技术; 热处理与性能调控技术等。开展耐蚀合金棒材、板材工业全流程生产及关键技术研究。包括: 超纯冶炼技术; 低偏析凝固技术; 均质化技术、热处理与性能调控技术等。

**课题 4:** 海洋油气管道输送用镍基耐蚀合金复合管考核评价及工程应用

**研究内容:** 开展耐蚀合金板材制大口径薄壁焊管及热处理技术研究, 开展适合海上 REEL-LAY 铺设用高结合强度内衬耐蚀合金复合技术研究; 开展内衬耐蚀合金复合管管端堆

焊技术以及国产化焊材研制和应用研究。开展海上 REEL-LAY 用内衬耐蚀合金复合管评价技术研究，形成系统的海上 REEL-LAY 铺设用内衬耐蚀合金双金属复合管设计、制造、应用、评价一体化技术体系；开展海上 S 型铺设内衬耐蚀合金复合管水压复合技术研究；开展 S 型铺设评价技术研究等。

### 项目考核指标:

1. 海洋油气管道输送复合管用镍基耐蚀合金宽幅薄板研制:合金 PREN $\geq$ 45；板厚 $\leq$ 3mm，板宽 $\geq$ 900mm；拉伸强度  $R_m\geq$ 690MPa，屈服强度  $R_{p0.2}\geq$ 276MPa，延伸率 $\geq$ 30%；ASTM G28A 法腐蚀速率不超过 0.9mm/a；ASTM G48A 法点蚀温度  $50\pm 2^\circ\text{C}$ ，放大 20 倍表面无点蚀且腐蚀速率不超过  $4.0\text{g}/\text{m}^2$ 。

2. 海洋油气水下管汇用双相不锈钢研制：管材屈服强度不低于 480MPa、延伸率不低于 25%，形成不低于 2 万吨/年的批量稳定制造能力；开发出管汇用双相不锈钢部件的热等静压粉末冶金近终成形制备技术，材料利用率达到 80%及以上；材料在  $-29\sim 100^\circ\text{C}$  且工作压力 $\geq$ 6000psi 工况条件下点腐蚀速率 $\leq$  $1\text{g}/\text{m}^2$ ，为满足我国水深 1500 米及以上深海工程应用条件奠定材料和技术基础。

3. 海洋油气热交换器、冷凝器、泵阀用超级奥氏体不锈钢及耐蚀合金：6-7Mo 超级奥氏体不锈钢  $R_{p0.2}\geq$ 350MPa，PREN $\geq$ 45。板带厚度 $\leq$ 0.8mm，宽度 $\geq$ 800mm。耐蚀合金  $R_{p0.2}\geq$ 300MPa，PREN $\geq$ 60。

4. 海洋油气管道输送用镍基耐蚀合金复合管考核评价及工程应用:采用国产耐蚀合金宽幅薄板研制海洋油气管道输送用镍基耐蚀合金复合管,复合管实现工业化制备和应用验证,复合管外径 $\geq 323\text{mm}$ 。复合管剪切分离强度不低于 $2\text{MPa}$ ;管端内径尺寸公差 $\pm 0.3\text{mm}$ ;管端堆焊区域距离熔合线 $2\text{mm}$ 处铁含量小于 $5\%$ 。管道模拟S形铺设四点弯曲变形能力不低于 $100D$ 、模拟REEL-LAY铺设弯曲测试不出现耐蚀合金衬管起皱变形。

**项目实施期限:** 3年

**项目设置及经费需求:**

拟支持1个项目研究,采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 $3:1$ 。

中央财政资金支持方式:事前立项事前补助。

**关键词:** 耐蚀合金; 不锈钢; 宽幅板; 复合管; 管汇。

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过20个。

## **2.14 深海深井用铝合金钻杆和超硬合金摩擦副的研发及应用(产品研发)**

**研究目标:** 针对我国深海能源钻采集输系统对铝合金及超硬合金的需求,突破高压、耐蚀、耐热、低温等复杂环境下高强耐热铝合金钻杆、先进耐腐蚀高耐磨超硬合金轴承摩擦副材料的关键性能瓶颈和技术难点,开发出钻杆、机械密封摩擦副等关键部件用铝合金和超硬合金产品,实现材料稳

定生产，铝合金钻杆实现示范应用，超硬合金摩擦副实现应用验证，整体技术水平达到国际先进。

本项目设置 4 项课题。

**课题 1: 海洋钻探用高强耐蚀铝合金钻杆**

**研究内容:** 针对目前海洋油气矿产资源勘探开采中深井、超深井、大位移井等钻杆管体热强性差和管柱腐蚀失效等重大安全问题，解决安全高效钻完井对管柱高比强度、耐蚀、耐热的重大需求，开展海洋油田和深井钻探用高强耐蚀铝合金管材关键技术研究，研发出高比强度、耐腐蚀、耐热铝合金管柱，实现应用于钻采集输系统关键部件，整体技术水平达到国际先进水平。

**课题 2: 深海深井复杂环境用高性能超硬合金轴承摩擦副材料**

**研究内容:** 针对深海深井复杂环境高压、腐蚀、低温、变温等特点环境条件，对深海深井装备用机械密封技术的耐压性、耐磨性、密封性和润滑性等提出的要求，开展高性能超硬摩擦副材料研究，开展组元成分、形貌、混料工艺、添加剂等元素对合金轴承摩擦副性能影响的研究，探索不同成型工艺对压坯密度均匀性、压坯尺寸精度及最终产品性能的影响，研究不同脱烧制度对超硬合金显微组织及性能的影响，并探寻超硬合金在复杂环境下的摩擦磨损机制机理。制备耐高压、耐高温、耐腐蚀等深海深井特殊工况环境中使用的先进耐腐蚀、高强度、高耐磨超硬合金轴承摩擦副材料。

**课题 3:** 深井钻探高强铝合金钻杆钻进行为动力学及工程应用技术研究

**研究内容:** 针对目前现有铝合金钻杆强度过低、耐蚀耐热差等问题，解决安全高效钻完井对管柱高比强度、耐蚀、耐热的重大需求。研制新一代高强耐蚀、耐热铝合金钻杆，配套建立高强铝合金钻杆检测及试验技术方案，并开展基于钻柱动力学的深层钻探用铝合金钻杆行为动力学研究，最终实现高强铝合金钻杆在深层钻探现场的工程示范性应用。

**课题 4:** 深海深井复杂环境用长寿命超硬合金轴承摩擦副材料应用验证

**研究内容:** 针对深海深井复杂环境高压、腐蚀、低温、变温等特点环境条件，对深海装深井装备用机械密封技术的耐压性、耐磨性、密封性和润滑性等提出的应用要求，开展先进耐腐蚀、高强度、高耐磨超硬摩擦副材料应用验证，研究酸碱等不同介质对摩擦副寿命的影响，探寻介质 pH 值、颗粒度等不同因素对摩擦副寿命的影响机制，载荷、静态、动态、不同运转速率等参数对轴承摩擦副寿命的影响，并通过不同的验证结果，优化技术路线，制备出耐高压、耐高温、耐腐蚀等深海深井特殊工况环境中使用的先进耐腐蚀、高强度、高耐磨超硬合金轴承摩擦副制品。

**项目考核指标:**

1. 海洋钻探用高强耐蚀铝合金钻杆: 实现长度 8.7~12m, 外径 $\phi 73\sim\phi 178\text{mm}$ ; 实现同一管体连续挤压出 2 个变截面;

高强耐蚀铝合金钻杆在室温条件下，材料屈服强度  $> 550\text{MPa}$ ，疲劳强度  $> 280\text{MPa}$  ( $R=0.1$ ， $K_t=1$ ， $f=10\sim 200\text{Hz}$ ， $N=10^7$ )；剥落腐蚀 EA 级及以上，抗应力腐蚀开裂性能通过 NACE TM 0177 标准要求，材料腐蚀速率满足在 3.5%NaCl 溶液中小于  $0.08\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ； $130^\circ\text{C}$  温度下暴露 500h 后室温屈服强度  $> 385\text{MPa}$ 。耐热铝合金钻杆在室温条件下，材料屈服强度  $> 350\text{MPa}$ ； $160^\circ\text{C}$  温度下暴露 500h 后室温屈服强度  $> 245\text{MPa}$ ；铝合金钻杆全尺寸实物弯曲疲劳寿命（全角变化率  $9^\circ/30\text{m}$ ） $\geq 10^7$ ；制修订铝合金钻杆国际标准 1 项。

2. 深海深井复杂环境用高性能超硬合金轴承摩擦副材料：深海用长寿命硬质合金轴承摩擦副材料：针对深海深井复杂环境对硬质合金轴承摩擦副需求，开展硬质合金轴承摩擦副材料研究，硬度  $> 85\text{HRA}$ ，抗弯强度  $> 3000\text{MPa}$ ，冲击韧性  $\geq 60\text{KJ}/\text{m}^2$ ，孔隙度 A02B00C00，耐磨性： $\leq 0.06\text{g}/\text{h}$ 。耐腐蚀性：在  $25^\circ\text{C}$  (50%NaOH+20%NaCl) 溶液中  $\leq 0.05\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，实现先进耐腐蚀、高强度、高耐磨硬质合金轴承摩擦副材料在深海深井复杂环境用高端装备上典型应用 1 项。深海用长寿命金刚石复合材料轴承摩擦副材料：针对深海深井复杂环境对金刚石复合材料轴承摩擦副需求，开展金刚石复合材料的研发制备技术研究，努氏硬度  $\geq 50\text{GPa}$ ，磨耗比  $\geq 30$  万，耐温  $\geq 850^\circ\text{C}$ ，冲击吸收能量： $\text{KV} \geq 400\text{J}$ 。实现工程化制备。

3. 深井钻探高强铝合金钻杆钻进行为动力学及工程应用技术研究：实现变截面高强耐蚀铝合金钻杆制备，钻杆常

温下最小屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ ，最小抗拉强度 $\geq 530\text{MPa}$ ， $130^\circ\text{C}$ 温度下暴露 500h 后室温屈服强度下降不高于 30%，水基和油基钻井液环境下剥落腐蚀性能达到 EA 级及以上；实现变截面耐热铝合金钻杆制备，钻杆室温最小屈服强度 $\geq 350\text{MPa}$ ，最小抗拉强度 $\geq 410\text{MPa}$ ， $140^\circ\text{C}$ 温度下暴露 500h 后室温屈服强度下降不高于 30%；建立高强铝合金钻杆整机性能评价方案；形成多尺寸铝合金钻柱组合及钢-铝合金复合钻柱组合设计方法及铝合金复合钻柱失效评估、预防处置方案；实现 1~2 口井的现场示范应用。

4. 深海深井复杂环境用长寿命超硬合金轴承摩擦副材料应用验证：根据深海深井环境设计轴承摩擦副结构及先期研发的高性能超硬合金材料制备轴承摩擦副，在实际环境中测试验证轴承摩擦副的使用寿命：硬质合金轴承摩擦副：轴承运动摩擦系数 $\leq 0.5$ ，轴承整体耐温 $\geq 300^\circ\text{C}$ ，工作寿命：比国内现有产品提高 20%以上。金刚石复合材料轴承摩擦副：轴承运动摩擦系数 $\leq 0.2$ ，在转速 200R/min，钻压上限 20 吨，使用温度： $150^\circ\text{C}$ ，上限  $175^\circ\text{C}$ 条件下，使用寿命达到 500 小时的国际先进产品水平。两种材料制备的摩擦副实现应用验证。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**铝合金钻杆；硬质合金；热暴露；高耐磨；耐腐蚀

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## 2.15 深海隔水管及配套接头用材的研发及应用技术研究（产品研发）

**研究目标：**针对深海隔水管装备对高强隔水管材和配套接头的国产化需求，突破深海环境下低温高强隔水管及配套接头核心制造技术，开发出深海环境低温高强隔水管及配套接头用材及产品。开展适用于我国水深 1500 米及以上深海钻井隔水管单根可靠性试验评价技术研究，实现国产高强韧隔水管和配套接头在深海钻井隔水管装备中的装机应用验证。

本项目设置 2 项课题。

### **课题 1：**深海隔水管及配套接头

**研究内容：**针对海洋油气开发对深海高强隔水管的国产化需求，阐明深海隔水管材的强韧化和抗疲劳控制机制，突破深海隔水管材及配套接头材料的成分设计和显微组织目标设计，攻克深海隔水管用钢板的全流程组织精细化和性能精准化调控、高尺寸精度钢管成型及焊接、配套接头制备等关键核心制造技术，开发出深海环境用低温高强隔水管及配套接头产品。同时，解决隔水管管体与配套接头的焊接匹配

性难题，隔水管及接头整管性能达到国外进口产品水平，具备装机应用条件。

## **课题 2：深海隔水管及接头材料应用技术研究**

**研究内容：**针对深海隔水管装备对高强隔水管材和配套接头的国产化需求，开展隔水管接头静强度和动载分析，评价隔水管接头静强度和动载安全可靠性能；进行隔水管单根组焊技术方案研究，明确深水钻井隔水管单根制造的难点和关键技术问题；开展深海隔水管单根零部件加工制造技术研究，形成完整的隔水管单根制造工艺文件。开展适用于我国水深 1500 米及以上深海钻井隔水管单根可靠性试验评价技术研究，实现国产高强韧隔水管和配套接头在深海钻井隔水管装备中的装机应用验证。

### **项目考核指标：**

1. 深海隔水管及配套接头：开发出深海环境用低温高强隔水管及配套接头产品，实现深海油气钻井隔水管装备用关键材料国产化。隔水管管体性能指标：屈服强度 $\geq 555\text{MPa}$ ， $\text{CVN}(-40^\circ\text{C})\geq 100\text{J}$ ， $\text{CTOD}(0^\circ\text{C})\geq 0.38\text{mm}$ ；隔水管配套接头材料性能指标：屈服强度 $\geq 555\text{MPa}$ ， $\text{CVN}(-40^\circ\text{C})\geq 42\text{J}$ ， $\text{CTOD}(0^\circ\text{C})\geq 0.15\text{mm}$ ；焊接接头疲劳寿命 $\geq 300$ 万次， $\text{CTOD}(0^\circ\text{C})\geq 0.15\text{mm}$ 。

2. 深海隔水管及接头材料应用技术研究：攻克深水钻井隔水管应用风险评估与控制技术难题，形成隔水管及接头应用及维护操作规程，实现国产隔水管及接头材料在深海钻井

隔水管系统上应用。编制材料及试验评价类标准规范文件 1 套；国产隔水管和接头实现装机应用验证，隔水管与接头全尺寸疲劳寿命达到 DNV C203 F 曲线水平（疲劳寿命约 $\geq 40$ 万次）。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**隔水管；焊接接头；断裂韧性；应用技术；装机应用

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **2.16 深海油气输送用管线钢及耐蚀合金特殊螺纹油套管的研制及应用（产品研发）**

**研究目标：**针对我国深海能源钻采集输系统用先进耐蚀合金材料及关键部件严重依赖进口的现状，突破深海海洋强腐蚀环境下耐蚀合金高耐蚀、耐疲劳等关键性能瓶颈，开发先进耐蚀合金及抗疲劳耐蚀管线钢产品，实现材料稳定生产与部件成套制造，管线钢实现示范应用。满足我国水深 1500 米及以上油气资源开发需求。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**深海高温高压油气开采用耐蚀合金特殊螺纹油

## 套管研制

**研究内容：**开展耐蚀合金系列油套管接头结构与密封完整性研究，包括：上卸扣抗粘扣性能、表面技术研究，高温、高压与高载荷下的密封机理，全尺寸实物模拟技术研究；开展耐蚀合金系列油套管接头设计与制造关键技术研究，包括结构、尺寸与公差设计，高效螺纹加工与精密测量技术，有限元仿真技术研究；开展海上耐蚀合金系列油套管特殊螺纹拧接效率等使用技术研究。逐步实现深海高温高压油气开采用耐蚀合金系列油套管全面国产化。

**课题 2：**深海油气输送用抗疲劳耐蚀管线钢制造与应用关键技术

**研究内容：**针对深海油气输送用抗疲劳耐蚀管线钢的应用需求，阐明影响厚壁管线钢断裂韧性、抗疲劳、耐腐蚀的主要影响因素及主要控制机制，攻克抗疲劳耐蚀管线钢的化学成分和显微组织目标设计、全工艺流程组织精细化控制、厚壁钢板组织均匀化控制等钢板关键核心制造技术，突破抗疲劳耐蚀海底管线钢管的高尺寸精度钢管成型、埋弧焊接等钢管制备技术。开发出深海油气输送用 X65 抗疲劳耐蚀管线钢，满足我国水深 1500 米及以上油气资源开发管道建设需求。

### 项目考核指标：

1. 深海高温高压油气开采用耐蚀合金特殊螺纹油套管研制：设计开发出满足耐蚀合金系列油套管接头产品；耐蚀

合金系列油套管及接头满足稳定服役温度达到 210°C及以上；耐蚀合金系列油套管接头满足拉伸、压缩、内压、外挤达到管体 100%；油管接头抗粘扣性能达到 10 上 9 卸，套管接头抗粘扣性能达到 3 上 2 卸；接头满足管体 95% SYMS 条件下不发生泄漏；制定针对深海高温高压油气开采马氏体不锈钢、双相不锈钢、镍基合金等油套管接头全尺寸实物评价、有限元仿真技术方案或标准；实现耐蚀合金系列油套管接头稳定可靠的加工、公差控制、测量与表面技术；耐蚀合金系列油套管特殊螺纹拧接时间 $\leq 60s$ ，7”及以下油套管上扣效率 $\geq 20$ 支/小时，7”以上油套管上扣效率 $\geq 15$ 支/小时。

2. 深海油气输送用抗疲劳耐蚀管线钢制造与应用关键技术：开发出的适应于我国水深 1500 米及以上油气开采需求的 X65 深海油气输送用厚壁抗疲劳耐蚀管线钢/管，壁厚 25~30mm，管体及焊接接头：疲劳寿命 $\geq 120$ 万次；CTOD(0°C) $\geq 0.25mm$ ；通过 HIC 和 SSCC 考核。实现在国家海洋油气管道工程中的示范应用，满足海洋油气工程的建设需求。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**油气输送；油套管；特殊螺纹接头；高温高压；

疲劳寿命

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **2.18 核电装备用先进耐蚀合金研发及应用技术(产品研发)**

**研究目标：**本项目旨在抗辐照钛合金通过长期动态铅铋腐蚀试验台架应用验证，实现高性能多孔金属纤维材料的国产化替代，工业化制备出一体化小型堆特厚耐蚀异质复合钢板并实现示范应用，解决核电领域关键用材卡脖子问题。

本项目设置 5 项课题。

**课题 1：**核反应堆关键部件用抗辐照钛合金应用验证

**研究内容：**针对四代铅铋核反应堆内回路管道及堆外安全壳体关键结构件对新型耐蚀抗辐照钛合金选材急需，在突破新型多元高温抗辐照钛合金成分设计及工程化制备的基础上，开展新型钛合金在铅铋堆典型工况下的多尺度高通量辐照级联模拟研究；评价在模拟铅铋堆服役工况下典型堆内构件（板材/焊接接头）辐照前后微观组织、力学性能以及肿胀行为，进一步考核堆内模拟构件在高温铅铋腐蚀介质-辐照耦合场作用下的微-宏观结构演化、力学及其耐辐照腐蚀性能劣化行为；抗辐照钛合金原理样机通过长期动态铅铋腐蚀试验台架应用验证。

**课题 2：**高温气冷堆用耐高压高过滤精度长寿命金属纤维多孔材料研制

**研究内容:** 针对高温气冷堆中球形燃料元件输送载气高效净化需求, 研制耐高压高精度长寿命金属纤维多孔材料及过滤元件。开展金属纤维多孔材料成型与固结工艺研究, 探索材料的孔隙结构形成与控制机理; 探讨过滤元件构形对过滤特性的影响规律, 开展制备工艺研究, 优化过滤元件设计; 设计开发样机测试台架, 研究金属纤维多孔材料孔隙结构、过滤特性与样机运行参数的相互耦合机制, 建立金属纤维多孔材料元件服役特性预测模型, 为金属纤维多孔材料的制备、高温气冷堆核燃料输送载气净化装置的系统设计和运行提供支撑, 解决核岛极端环境下石墨粉尘长周期、连续在线收纳和高效净化处理的问题。

**课题 3:** 高温气冷堆用耐高压高过滤精度长寿命金属纤维多孔材料应用验证

**研究内容:** 针对高温气冷堆中球形燃料元件输送载气高效净化需求, 完成核岛内球形燃料元件输送载气过滤元件和过滤装置设计制造, 开展核电高温气冷堆用耐高压高过滤精度长寿命金属纤维多孔材料应用验证。

**课题 4:** 一体化小型堆用特厚耐蚀异质复合钢板研制

**研究内容:** 针对我国一体化小型堆建设对于特厚耐蚀异质复合钢板的迫切需求, 重点研究: 特厚核级高强度低合金钢、奥氏体不锈钢坯料制造技术, 化学成分对于特厚异质复合钢板性能及组织影响规律; 高温阶段低合金钢与不锈钢加热、形变以及对成品钢板厚度影响规律; 特厚耐蚀异质复合

钢板的切割、成型以及配套焊接技术；淬火+高温回火工艺及钢中析出相对不锈钢晶间腐蚀性能的影响规律；单面、双面特厚耐蚀异质复合钢板关键制备技术、复合界面组织演变规律及结合率提升技术，实现工业化批量生产及应用。

**课题 5:** 一体化小型堆用特厚耐蚀异质复合钢板应用验证及示范

**研究内容:** 针对我国一体化小型堆建设对于特厚耐蚀异质复合钢板的迫切需求，开展特厚耐蚀异质复合钢板制核级承压设备设计技术研究；开展特厚耐蚀异质复合钢板的工程应用性能评价（成型性能和焊接工艺）；结合一体化小型堆工程需求，建立特厚耐蚀异质复合钢板的工程应用集成技术。

**项目考核指标:**

1. 核反应堆关键部件用抗辐照钛合金应用验证：样机不同部位（基材及焊接部位）辐照性能：在 550°C 高温，剂量分别为 0.1dpa、1dpa、2.5dpa、5dpa、10dpa 以及 20dpa 的辐照条件下，辐照后肿胀高度与离子注入深度比值 $\leq 0.2$ ，辐照硬化率 $\leq 45\%$ ，辐照后 550°C 抗拉强度和断后伸长率降低不高于辐照前的 35%；腐蚀性能（辐照前、后）：550°C，氧浓度为  $1 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-4}$  wt.% 开展动态 1m/s 和静态铅铋长期腐蚀性能评价，腐蚀时长不低于 10000h，合金动、静态腐蚀后表面氧化膜厚度差不超过 20%。

2. 高温气冷堆用耐高压高过滤精度长寿命金属纤维多

孔材料研制：针对高温气冷堆中球形燃料元件输送载气净化需求，研制金属纤维多孔材料及过滤元件，并实现应用验证。材料本征性能指标：冒泡压力 $\geq 12.5\text{kPa}$ ；透气度 $\geq 10\text{L}/(\text{dm}^2\cdot\text{min})$ ；孔隙率 $\geq 70\%$ ；抗拉强度 $\geq 20\text{N}/\text{mm}^2$ 。过滤元件应用性能指标：对于尺寸 $0.3\mu\text{m}$ 以上的颗粒，过滤效率 $\geq 99.9\%$ ；极限许用压差 $\geq 0.6\text{MPa}$ ；纳污量 $\geq 120\text{g}/\text{m}^2$ ；120次反吹循环后，滤材过滤性能恢复率 $\geq 85\%$ ；样机测试台架运行压差：不大于 $30\text{kPa}$ 。

3. 高温气冷堆用耐高压高过滤精度长寿命金属纤维多孔材料应用验证：在样机测试台架试验研究的基础上，进行过滤系统参数工艺优化和金属纤维多孔材料应用验证，完成不少于20台套燃料装卸系统气力输送和燃料装卸系统气氛切换两类过滤器设计制造，过滤元件总面积不小于 $800\text{m}^2$ 。

4. 一体化小型堆用特厚耐蚀异质复合钢板研制：一体化小型堆用特厚耐蚀异质复合钢板实现单面和双面复合；基板厚度 $\geq 100\text{mm}$ ，宽度 $\geq 3000\text{mm}$ ，长度 $\geq 10000\text{mm}$ ；特厚异质复合钢板剪切强度较GB/T8165提高45%以上至 $\geq 310\text{MPa}$ 、结合率100%、结合强度满足 $a=40\text{mm}$ ， $b=a$ ， $d=2a$ ， $\alpha=180^\circ$ 要求；复合钢板零塑性转变温度(基板厚度 $1/4$ ) $\leq -25^\circ\text{C}$ ；经过淬火+高温回火+敏化处理，不锈钢复层晶间腐蚀满足ASTMA262 E法要求；实现百吨级产品批量生产供货。

5. 一体化小型堆用特厚耐蚀异质复合钢板应用验证及示范：完成一体化小型堆用特厚耐蚀异质复合钢板制核级承

压设备的设计，设计分析报告 1 套，设计图册 1 套；组织开展特厚复合钢板工程应用性能评价（成型和焊接）；综合复合钢板研制技术成果和工程应用性能评价结果，完成特厚耐蚀异质复合钢板制核级承压设备设计优化和特厚耐蚀异质复合钢板设计定型（技术条件）；完成核级承压设备制造，实现特厚耐蚀异质复合钢板应用示范。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**钛合金；金属纤维材料；过滤精度；一体化小型堆；核级承压设备、特厚耐蚀异质复合钢板

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## **2.19 高可焊海洋工程装备特种合金研制与应用研究(应用验证)**

**研究目标：**形成具有中国特色和自主知识产权的特种合金原创技术或牌号。典型耐蚀合金及关键部件具备国产化能力，实现工业化制备。实现免预热焊接用船舶与海工用钢和中高强耐蚀可焊铝合金及其配套焊材的工业化制备。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**免预热焊接用船舶与海工用特厚板及配套焊材

研制

**研究内容:** 针对 355MPa~460MPa 级高强度船舶与海工用特厚板焊接预热温度高, 焊接效率低的问题, 开展免预热焊接用船舶及海工钢和配套焊材研制工作, 阐明高强厚板免预热焊接控制机制及材料设计原理, 突破免预热焊接用船舶及海工钢强韧化匹配、冷裂纹敏感性控制、配套焊材设计及制备工艺等成套关键技术, 完成 355MPa 级~460MPa 级钢板及配套焊材的工业化试制。

**课题 2:** 高使役船用 Al-Mg 系铝合金板材、型材及配套焊材研制

**研究内容:** 针对高技术船舶等高使役性能船体特种合金领域的制造需求, 研究新型高强韧耐蚀可焊铝合金成分设计及优化、微合金化添加与弥散相控制技术、工业化高品质铸锭质量控制技术、高合金化板材轧制及挤压变形技术、高强韧耐蚀特征微结构调控技术、配套焊材制备技术、焊接工艺及性能评价, 突破新一代高使役船用铝合金板材、挤压型材、整体挤压壁板、配套焊材工业化制备关键技术, 开发出强度-韧性-可焊性-耐蚀性能良好匹配的高使役船用铝合金板材、挤压型材、整体挤压壁板及配套焊材等系列合金, 具备工业化试制和供货能力。

**课题 3:** 船舶高使役性能耐蚀可焊抗冲击铝合金应用研究

**研究内容:** 针对船舶轻量化智能化无人化需求, 开展新

型船舶高使役性能耐蚀可焊抗冲击铝合金应用性能研究，通过极端环境低温、高温力学性能、材料力学性能均匀性、耐腐蚀性能、焊接工艺适应性，建造成形工艺适应性验证，形成新型铝合金应用原则工艺；突破智能化无人艇建造成形与焊接、极端环境低温、高温考核试验等关键技术，实现船用耐蚀可焊中高强铝合金板材、型材及配套焊丝从材料→建造→装备→环境全流程验证，形成船用铝合金应用路径，加速船舶铝合金的应用步伐，满足船舶轻量化智能化无人化需求。

### 项目考核指标：

1. 免预热焊接用船舶与海工用特厚板及配套焊材研制：开发出 355MPa~460MPa 级免预热焊接用船舶及海工钢特厚板及配套焊材，性能指标满足：

(1) 355MPa 级高强度船舶及海工特厚板， $R_{cH} \geq 355\text{MPa}$ ， $R_m$ ：490MPa~630MPa， $-60^\circ\text{C}$   $KV_2 \geq 50\text{J}$ ，厚度规格 60mm~100mm，可实现室温（ $20^\circ\text{C}$ ）免预热焊接。焊接接头  $R_m \geq 490\text{MPa}$ ， $-60^\circ\text{C}$   $KV_2$  与钢板同等考核指标， $-10^\circ\text{C}$   $CTOD \geq 0.25\text{ mm}$ 。

(2) 420MPa 级高强度船舶及海工特厚板， $R_{cH} \geq 420\text{MPa}$ ， $R_m$ ：520MPa~680MPa， $-40^\circ\text{C}$   $KV_2 \geq 46\text{J}$ ，厚度规格 60~80mm，可实现室温（ $20^\circ\text{C}$ ）免预热焊接。焊接接头  $R_m \geq 520\text{MPa}$ ， $-40^\circ\text{C}$   $KV_2$  与钢板同等考核指标， $-10^\circ\text{C}$   $CTOD \geq 0.25\text{mm}$ 。

(3) 460MPa 级高强度船舶及海工特厚板， $R_{cH} \geq 460\text{MPa}$ ，

$R_m$  : 540MPa~720MPa ,  $-60^{\circ}\text{C}$   $KV_2 \geq 46\text{J}$  , 厚度规格 60mm~100mm, 可实现室温( $20^{\circ}\text{C}$ )免预热焊接。焊接接头  $R_m \geq 540\text{MPa}$  ,  $-60^{\circ}\text{C}$   $KV_2$  与钢板同等考核指标,  $-10^{\circ}\text{C}$   $CTOD \geq 0.15\text{mm}$ 。

(4) 355MPa、420MPa、460MPa 级钢板, 不预热焊接条件下, 最大厚度钢板窗型拘束抗裂性试验裂纹率为 0。

(5) 产品通过船级社认证, 确定 1~2 个目标用户, 通过用户试验评价, 具备工程示范应用条件。

2. 高使役船用 Al-Mg 系铝合金板材、型材及配套焊材研制: 工业化制备满足高使役性能船体用中高强耐蚀可焊 Al-Mg 系铝合金, 性能指标满足:

(1) 板材/整体挤压壁板幅宽  $\geq 1650\text{mm}$ ; 挤压型材外接圆  $\geq 300\text{mm}$ ; 板材室温屈服强度  $\geq 305\text{MPa}$  , 抗拉强度  $\geq 390\text{MPa}$  , 延伸率  $\geq 8\%$ ;

(2) 挤压型材/整体挤压壁板室温屈服强度  $\geq 220\text{MPa}$  , 抗拉强度  $\geq 320\text{MPa}$  , 延伸率  $\geq 10\%$ ; 板材低温( $-196^{\circ}\text{C}$ )抗拉强度  $\geq 430\text{MPa}$ ; 室温断裂韧度:  $K_Q \geq 40 \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ;

(3) 板材剥落腐蚀达到 P 级; 板材晶间腐蚀损耗质量  $\leq 15\text{mg}/\text{cm}^2$  , 盐雾腐蚀速率(100 h):  $\leq 0.025\text{mg}/(\text{cm}^2\cdot\text{d})$ ; 板材抗疲劳裂纹扩展速率不大于  $2 \times 10^{-3}\text{mm}/\text{cyc}$ (T-L 方向,  $R=0.1$ ,  $\Delta K=20\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ); 板材焊后抗拉强度  $\geq 330\text{MPa}$ ; 密度  $\rho \leq 2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ; 板材具备年产 10000 吨的生产能力。

(4) 明确 1~2 个目标用户, 通过用户试验评价, 确保

产品能够实现应用。

3. 船舶高使役性能耐蚀可焊抗冲击铝合金应用研究：高使役性能耐蚀可焊抗冲击铝合金，性能指标满足：（1）幅宽 $\geq 1650\text{mm}$  温轧板和冷轧薄板、外接圆 $\geq 300\text{mm}$  挤压型材室温抗拉强度、屈服强度、延伸率均匀性偏差分别不大于 10MPa、10MPa 和 5%；

（2）板材、型材( $-60^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ )抗拉强度、屈服强度、延伸率不低于室温性能；板材、型材( $-60^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ )冲击功( $\text{KV}_2$ )不低于 25J；板材( $-60^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ )焊接接头抗拉强度 $\geq 350\text{MPa}$ ；板材焊接接头拉伸条件疲劳强度 $\geq 100\text{MPa}$ (循环周次 $\geq 10^6$ )；

（3）板材、型材盐雾腐蚀和间浸腐蚀速率 $\leq 0.01\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，焊后剥落腐蚀达到 P 级；板材火工温度  $300^{\circ}\text{C}$  条件下，屈服强度 $\geq 200\text{MPa}$ ；

（4）无人艇尺寸 $\geq 4\text{m}\times 2\text{m}\times 1\text{m}$ ；无人艇考核场景 $\geq 3$  个(极端低温、极端高温、碰撞环境)。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**355MPa~460MPa 级船舶及海工特厚板；中高  
强铝合金；免预热焊接；耐蚀；抗冲击

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## 2.20 极端环境海洋装备特种合金研制与应用研究(产品研发)

**研究目标:** 形成具有中国特色和自主知识产权的特种合金原创技术或牌号。典型耐蚀合金及关键部件具备国产化能力, 实现工业化制备。400kJ/cm 大线能量焊接油船货油舱用耐蚀钢及配套焊接材料实现示范应用; 完成深潜器用高强高韧钛合金大规格板材多批次试制与批次稳定性考核; 开发出极地装备用低温钢, 完成应用服役性能评价, 具备工程示范应用条件。

本项目设置 3 项课题。

### **课题 1:** 深潜装备用高强高韧钛合金应用技术研究

**研究内容:** 针对深潜装备用高强高韧钛合金的制造需求, 开展面向耐压结构应用的钛合金成分与组织设计、超大规格材料工程化制备、焊接材料研制与焊接工艺研究、服役环境的材料应用性能等研究工作, 开发新型深潜装备耐压壳体用高强高韧钛合金研发、制备、高效应用成套技术, 突破高强高韧钛合金强韧匹配关键技术, 完成深潜器用高强高韧钛合金大规格板材多批次试制与批次稳定性考核, 进一步完成压力考核, 部分实现示范应用。

**课题 2:** 400kJ/cm 大线能量焊接油船货油舱用耐蚀钢及配套焊材研制

**研究内容:** 针对现役大型/超大型油船货油舱用耐蚀钢焊

接线能量小、焊接效率低的问题，开展新型大线能量焊接的油船货油舱用耐蚀钢技术开发工作，突破 400kJ/cm 大线能量焊接耐蚀钢成分设计、配套焊材设计及制备工艺等关键技术，完成典型强度级别钢板及配套焊材的工业化试制，具备示范应用条件，并实现示范应用。

### **课题 3: 极地装备用低温钢研制**

**研究内容:** 针对极地 PC2 及以上的破冰型船舶、极地海工平台船体结构材料空白，开发出极地装备用 390MPa~460MPa 级低温钢，完成最大厚度 70mm 钢板的成分设计、工业化生产和材料应用服役技术评价，形成极地破冰船专用高断裂止裂韧性及耐磨蚀等材料体系、全流程关键生产技术、材料技术标准规范及具备工程示范应用条件。

#### **项目考核指标:**

1. 深潜装备用高强高韧钛合金应用技术研究: 高强高韧钛合金性能指标满足:

(1) 800MPa 级钛合金材料: 屈服强度  $R_{p0.2} \geq 800\text{MPa}$ ,  $A \geq 10\%$ ; 室温冲击  $KV_2 \geq 60\text{J}$ ; 断裂韧性  $K_{IC}(K_Q) \geq 110\text{MPam}^{1/2}$ ; 应力腐蚀断裂韧性  $K_{ISCC}(K_{QSCC}) \geq 70\text{MPam}^{1/2}$ ; 不同批次产品强度及冲击性能差异率  $\leq 10\%$ ; 研制出厚度 50mm~80mm/宽度不低于 2000mm 的钛合金超长板材, 保证厚度截面性能均匀性; 完成大规格板材至少 3 批次试制, 批次性能稳定满足指标要求; 材料焊接系数  $\geq 0.9$ ; 爆炸鼓胀考核减薄率  $\geq 3\%$ ; 形成钛合金材料全套生产工艺技术条件; 研制出典型尺寸耐

压壳体部件，工作压力 15MPa 下通过水压试验考核，部件实现示范应用。

(2) 900MPa 级钛合金材料：屈服强度  $R_{p0.2} \geq 900\text{MPa}$ ， $A \geq 10\%$ ；室温冲击  $KV_2 \geq 40\text{J}$ ；断裂韧性  $K_{IC}(K_Q) \geq 100\text{MPam}^{1/2}$ ；应力腐蚀断裂韧性  $K_{ISCC}(K_{QSCC}) \geq 60\text{MPam}^{1/2}$ ；不同批次产品强度及冲击性能差异率  $\leq 10\%$ ；研制出厚度 50mm-80mm/宽度不低于 2000mm 的钛合金超长板材、直径不低于 4m/高度不低于 1 米/厚度 50mm~80mm 的钛合金筒体；完成大规格板材至少 3 批次试制，批次性能稳定满足指标要求；材料焊接系数  $\geq 0.9$ ；爆炸鼓胀考核减薄率  $\geq 3\%$ ；形成钛合金材料全套生产工艺技术条件；研制出典型尺寸耐压壳体部件，工作压力 15MPa 下通过水压试验考核，部件实现示范应用。

2. 400kJ/cm 大线能量焊接油船货油舱用耐蚀钢及配套焊材研制：焊接线能量为 400kJ/cm 新型耐蚀钢及配套焊材力学性能满足船级社规范要求，内底板腐蚀速率  $\leq 1.0\text{mm/a}$ ，上甲板腐蚀量  $ECL \leq 2.0\text{mm}$ ，母材和焊缝金属之间无不连续表面。面向未来更大型油轮用耐蚀钢及配套焊材，形成大线能量焊接技术，钢板强度等级 235MPa~390MPa，最大厚度 60mm，产品通过船级社认证，大线能量焊接油船货油舱用耐蚀钢及配套焊材研制，实现示范应用。

3. 极地装备用低温钢研制：390MPa、420MPa、460MPa 钢板强度指标满足船级社规范相应钢级技术指标，390MPa 延伸率较同钢级常规钢板提升 30% 以上，420MPa、460MPa

延伸率较同钢级常规钢板提升 20%以上,夏比 V 型缺口冲击吸收功  $KV_2(-60^{\circ}\text{C}) \geq 100\text{J}$ , 低温韧性 Arc(-60), 钢板最大厚度 70mm, 母材 CTOD( $-60^{\circ}\text{C}$ ) $\geq 0.30\text{mm}$ , 热影响区 CTOD( $-60^{\circ}\text{C}$ ) $\geq 0.20\text{mm}$ , 耐磨蚀性较现有低温钢提升 20%以上, 具备工程示范应用条件。其它技术指标如下:

(1) 390MPa 钢、420MPa 钢:  $25\text{mm} \leq \text{板厚} \leq 40\text{mm}$  时  $\text{NDTT} \leq -80^{\circ}\text{C}$ ;  $40\text{mm} < \text{板厚} \leq 50\text{mm}$  时  $\text{NDTT} \leq -85^{\circ}\text{C}$ ;  $50\text{mm} < \text{板厚} \leq 70\text{mm}$  时  $\text{NDTT} \leq -90^{\circ}\text{C}$ ;

(2) 460MPa 钢:  $16\text{mm} \leq \text{板厚} \leq 40\text{mm}$  时  $\text{NDTT} \leq -80^{\circ}\text{C}$ ;  $40\text{mm} < \text{板厚} \leq 50\text{mm}$  时  $\text{NDTT} \leq -85^{\circ}\text{C}$ ;  $50\text{mm} < \text{板厚} \leq 70\text{mm}$  时  $\text{NDTT} \leq -90^{\circ}\text{C}$ ;

(3) 产品通过船级社认证, 确定 1~2 个目标用户, 通过用户试验评价, 确保产品能够实现应用。

**项目实施期限:** 3 年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事前补助。

**关键词:** 高强高韧钛合金; 大线能量焊接; 新型耐蚀钢; 配套焊材; 极地装备用低温钢

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过 20 个。

## 2.22 大尺寸特种合金材料及构件组织结构和应力/应变多尺度表征评价技术体系（其他保障）

**研究目标：**针对高端装备用大尺寸特种合金材料及构件制备、服役过程中的形变和疲劳、蠕变、应力腐蚀等损伤失效的共性关键科学问题以及当前跨尺度表征评价技术薄弱、国产高精表征装备落后及联用效率低等系列挑战，研发可用于大尺寸材料及构件跨尺度组织结构及多维度全场应力/应变高效表征评价关键技术与装备，实现从材料级到部件级组织结构、应力/应变研究的互联互通，全方位、多尺度揭示特种合金材料及构件在加工制备和服役过程中的组织、缺陷、应力/应变的演变规律和机理，构建基于真实工况的特种合金组织结构和应力/应变的表征技术新体系与材料研发新范式，提升特种合金材料及构件在工业生产中的质量控制能力和服役过程中的安全可靠性能，为高端装备用大尺寸特种合金材料及构件的高效研发提供重要保障。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**大尺寸特种合金材料及构件组织结构多尺度统计表征评价技术体系

**研究内容：**大尺寸高分辨缺陷/晶粒形貌/取向多信息耦合三维定量表征关键技术与装备；复杂构件超大范围成分/晶体结构/织构同步表征及智能统计技术与装备；大尺寸多尺度微观组织定量统计分布表征技术与装备；介-微观组织结构高温复杂环境可视化表征技术与装备；一体化微纳原位加工

/试验及微-纳-皮米表征联用关键技术；上述技术应用于超超临界汽轮机用耐热合金、大型商用飞机用高强韧铝合金、高强高导/高强耐磨铜合金、高强韧钛合金等不少于3类特种合金及关键部件的组织结构多尺度统计表征评价。

## **课题 2：特种合金关键构件应力/应变表征技术体系**

**研究内容：**发展特种合金构件多维度多尺度全场应力/应变表征方法和装备；建立特种合金构件制备加工过程应力/应变表征技术；建立特种合金构件高温/低温/疲劳/腐蚀等复杂工况下服役过程应力/应变与服役状态综合评价技术；建立特种合金构件制造-服役全流程应力/应变评估方法和预测模型，揭示合金成分-制造工艺-宏微结构-应力/应变-服役性能的构效关系；大尺寸特种合金构件制造-服役全流程应力/应变表征应用示范。

### **项目考核指标：**

1. 大尺寸特种合金材料及构件组织结构多尺度统计表征评价技术体系：（1）开发大尺寸（米级）部件高分辨工业CT，可覆盖微米级到部件级的缺陷、晶粒形貌和取向的三维多信息耦合表征，大尺寸部件测试空间分辨率 $\leq 100\ \mu\text{m}$ ，材料级测试空间分辨率 $\leq 450\ \text{nm}$ ，检测最大截面 $\geq 1000 \times 100\ \text{mm}^2$ ，适用温度范围 $-180\ ^\circ\text{C} \sim 2000\ ^\circ\text{C}$ ；（2）开发大尺寸（米级）复杂构件成分、晶粒取向、晶体结构、物相等同步表征与智能统计新技术新方法新装备，可预设测量位置点数不低于80个，可实现连续面扫，最低测量元素原子序数11(Na)，

含量检出范围 10 ppm~100 %; (3) 开发基于金相显微镜的大尺寸材料及构件夹杂物表征与智能识别统计技术, 最大 720 mm×400 mm 范围不小于 15 μm 夹杂物成分与形貌快速统计表征, 单张图像采集和处理时间≤5 s; (4) 开发大尺寸材料及构件显微组织、析出相等介-微观组织结构表征与智能识别统计技术, 实现基于高通量扫描电镜的显微组织和第二相图像自动定位+聚焦+采集平均时间≤10 s@4k×4k, 最大图像识别统计区域不小于 100 mm×100 mm, 单张图像处理时间≤1 s, 定量识别特征物≤50 nm; (5) 开发特种合金在高/低温力学、蠕变、疲劳、氧化、凝固与热处理过程的纳米分辨可视化表征评价装备, 可实现高温(室温-1500 °C且分辨率≤20 nm)介-微观组织结构表征, 单张显微图像采集时间≤100 ms@1k×1k, 加载应力≥5 GPa, 位移精度≤100 nm, 变形量≥50 mm, 稳定工作时间≥200 h, 建立数据新算法模型 3 种及以上;

(6) 开发介-微观(厘米-纳米)原位加工及力/电/热多场环境实验一体化新技术, 多种精密表征装备跨尺度(≥8 个数量级)联用新技术与新装置; (7) 形成新技术方法 10 项、新标准规范 10 项、新装备 4 台套, 在超超临界汽轮机用耐热合金、大型商用飞机用高强韧铝合金、高强高导/高强耐磨铜合金、高强韧钛合金等 3 种及以上特种合金及关键部件中进行示范表征评价;

2. 特种合金关键构件应力/应变表征技术体系: (1) 基于中子、同步辐射光源、磁、超声波等, 开发适用于航天用

铝合金环轧件、飞机机身机翼梁用铝合金中厚板结构件、飞机机匣用钛合金环轧件、飞机起落架结构件与轴套、超超临界耐热合金焊接件、核反应堆镍基合金结构件、高铁铜合金接触线等的应力/应变无损表征新技术不少于 7 项；（2）形成上述特种合金构件制备加工过程、复杂服役工况下应力/应变表征新标准 10 项，研发新装备 4 套；（3）开发构件级中子衍射法三维应力/应变表征技术，样品处中子注量率  $\geq 2.0 \times 10^7 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，应变测量误差  $\leq 100 \mu\epsilon$ ，构件测试厚度 Al 合金  $\geq 200 \text{ mm}$ 、Cu 合金  $\geq 30 \text{ mm}$ 、Ti 合金  $\geq 30 \text{ mm}$ 、Fe 合金  $\geq 45 \text{ mm}$ 、Ni 基合金  $\geq 30 \text{ mm}$ ；（4）开发构件级同步辐射应力/应变高效表征技术，应变测量误差  $\leq 50 \mu\epsilon$ ，单点测量时间优于 2 s，构件穿透深度 Al 合金  $\geq 60 \text{ mm}$ 、Cu 合金  $\geq 2 \text{ mm}$ 、Ti 合金  $\geq 8 \text{ mm}$ 、Fe 合金  $\geq 3 \text{ mm}$ 、Ni 基合金  $\geq 2 \text{ mm}$ ；（5）开发全尺寸大型铁磁合金构件微磁法全域应力检测技术，检测速度  $\geq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，检测深度  $\geq 10 \text{ mm}$ ，横向分辨率优于  $0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2$ ，应力测量误差  $\leq \pm 8 \text{ MPa}$ ；（6）为大型商用飞机、燃气轮机、核能装备等不少于 3 类高端装备用特种合金构件提供技术支撑和示范应用。

**项目实施期限：**4 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**特种合金；大尺寸多尺度；组织结构；应力/应变；表征技术/装备

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **2.23 有色金属铝/铜/镍绿色低碳冶金与合金制备（其他保障）**

**研究目标：**构建国际领先、核心技术自主可控的铝、铜、镍等有色金属制造技术体系，实现铝电解、铜/镍冶炼的高效低耗制备及污染物减排。突破原生与再生资源协同冶炼关键技术，实现主金属深度精炼、微量金属定向捕集、协同超常富集及多源物料短流程制备合金，大比例提升二次物料再生种类及比例。铝电解和铜冶炼综合节能 10%以上且烟气中污染物减排 90%以上。

本项目设置 3 项课题。

### **课题 1：绿色低碳铝电解及铝液合金化协同制备技术**

**研究内容：**针对我国铝电解能耗高和环境负荷重、铝液直接合金化难等问题，开发新型结构铝电解槽，突破新型保温与密闭关键材料的制备技术，变革现行铝电解槽保温结构与烟气密闭方式及操作运转工艺；研发铝电解超低电压节能运转、铝电解烟气余热回收利用、强温室气体降解与烟气深度净化利用的关键技术与装备；研发电解铝液直接合金化和成分均质化调控技术，解决熔体中铁、氢等杂质元素源头削减和末端深度净化的技术难题；开发铝电解-铝合金协同生产

过程的在线检测、状态感知、数字孪生和智能控制等关键技术与装备；构建绿色低碳铝电解及铝液合金化协同制备的研发与模拟平台，形成铝冶金-合金制备一体化技术，并在 1~2 家铝生产企业示范应用。

**课题 2: 高镍铜矿绿色冶炼与铜镍合金制备一体化技术**

**研究内容:** 面向高镍铜矿铜镍金属清洁提取与增值利用，研究高镍铜矿富氧火法冶炼渣相富集镍关键技术、高镍熔渣调质及直接制备铜镍合金技术，解决火法熔炼过程铜镍高效分离与高值利用的行业共性难题；研发冶炼烟气毒害元素梯级捕集与深度净化技术与装备、冶炼烟尘多金属回收与砷清洁处置技术、冶炼炉渣铜镍强化回收与尾渣增值利用技术，实现铜冶炼污染物源头治理与资源化利用；形成高镍铜矿绿色冶炼与铜镍合金制备一体化技术并示范。

**课题 3: 镍冶炼协同处理多源再生与原生资源关键技术与装备**

**研究内容:** 针对我国含镍再生资源来源广、成分杂、毒害组分多，导致冶炼能耗高、金属回收率低、清洁处理难等问题，拟研究多源镍资源物质属性耦合规律，开发能质协同冶炼智能配料系统；突破多物相形态镍组元气动强化硫化与铂族金属高效捕集关键技术，实现镍高效造钼富集与铂族金属定向捕集；含镁铁多类尖晶石熔炼渣可控还原与深度贫化关键技术，实现渣金强化分离；研究冶炼烟气尘中毒害组元深度净化与资源化利用关键技术，解决再生资源冶炼所带来

的复合污染难题；研制新型结构的硫化/还原/贫化一体化分区冶炼装备与控制系统；研究稀贵金属萃取/电解/铸锭/纯化多工序跨层级优化技术，开发稀贵金属智慧精炼系统。开展多源再生与原生镍资源协同冶炼工程示范。

### 项目考核指标：

1. 绿色低碳铝电解及铝液合金化协同制备技术：（1）构建绿色低碳铝电解及铝液合金化协同制备的研发与模拟装备/平台 1 套，涵盖新型结构铝电解槽、烟气余热回收利用、强温室气体降解与烟气净化利用、电解铝液短流程直接制备高端铝合金、铝电解-铝合金数智化协同生产等；（2）新型结构铝电解槽（容量 $\geq 400$  kA）成套装备实现烟气余热回收利用 400 kWh/t-Al 以上，综合节能 10%以上，铝电解烟气氟/硫污染物总量减排 90%以上；（3）面向新能源汽车、高速列车等高端铝合金需求，开发短流程协同制造技术，电解铝液直接添加量 80%以上，可实现熔体中铁含量 $\leq 0.04\%$ ，氢含量 $\leq 0.12$  ml/100g-Al，碱金属含量 $\leq 3$  ppm，渣含量 $\leq 0.02$  mm<sup>2</sup>/kg，并同步实现锭坯产品不良率低于 2%；（4）在 1~2 家铝生产企业完成示范应用。

2. 高镍铜矿绿色冶炼与铜镍合金制备一体化技术：（1）研发高镍铜矿富氧强化冶炼渣相富集镍关键技术，在 1~2 家铜冶炼企业示范应用，实现入炉料含镍较行业现有水平提升 5 倍以上，高于 0.10 wt.%，渣相镍富集比例 $\geq 90\%$ ；（2）建立高温熔渣直接制备铜镍合金方法，制备产品符合 GB/T

5231-2022 国家标准要求；（3）构建烟气典型污染物梯级捕集与深度净化技术，开发烟气重金属荷电调质装备，完成冶炼烟气中汞源污染物由无序管控向净化回收方向转变，烟气汞分离利用率 $\geq 90\%$ ，硫酸产品典型重金属含量达到 GB/T 534-2024 中限值要求；（4）建立冶炼烟尘砷与多金属资源化利用方法，攻克砷利用行业共性难题，砷资源化率 $\geq 90\%$ ；（5）开发冶炼炉渣铜镍强化回收与尾渣资源化利用技术，冶炼尾渣铜等有价金属含量较行业现有先进水平降低 10% 以上，尾渣含铜 $\leq 0.18 \text{ wt.}\%$ 、含镍 $\leq 0.01 \text{ wt.}\%$ ；（6）构建富氧高温熔炼与合金制备试验与工程化验证平台等，实现共建共享。建设高镍铜矿绿色冶炼与铜镍合金制备一体化工程示范。

3. 镍冶炼协同处理多源再生与原生资源关键技术与装备：（1）协同熔炼再生资源配比 $\geq 20\%$ ，协同处理镍基再生资源 10 种以上，典型高镁复杂原生镍资源原料配比 $\geq 60\%$ ，开发智能化在线检测与智能配料系统 1 套，自动配料识别率 $\geq 98\%$ ；（2）主金属镍回收率 $> 98\%$ ，金银回收率分别 $> 98\%$ 、 $96\%$ ，铂族金属捕集率 $> 99\%$ ；（3）开发协同熔炼多功能分区一体化富氧熔炼新构型侧吹炉，实现硫化、还原、贫化功能协同，能处理含氧化镁 $\geq 14\%$ 、含硫 $\leq 16\%$ 的低品位难处理入炉混合物料，单炉投料量 $\geq 700$  吨/天，炉寿命 $\geq 2$  年；（4）研发基于工艺机理模型和数据模型融合的协同熔炼控制系统 1 套，模型一次实时优化时间 $\leq 500\text{ms}$ ，准确率 $\geq 98\%$ ；（5）

智慧精炼全系统自动化率 $\geq 95\%$ ；（6）构建再生资源绿色冶炼研究验证平台；（7）建立 20 万吨/年多源再生和原生镍资源协同冶炼工程示范。

**项目实施期限：**4 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**新型结构铝电解槽；富氧冶炼；协同熔炼；直接合金化；烟气污染治理

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

### 三、高性能纤维及复合材料领域

#### 3.1 低成本大直径高强中模碳纤维在低空飞行器及压力容器领域的应用技术（应用验证）

**研究目标：**突破大直径高强中模碳纤维复合材料在通用航空重点领域的设计、制造与应用技术，完成典型结构考核验证，实现大直径高强中模碳纤维复合材料在低空飞行器等领域的自主保障；突破大直径高强中模碳纤维复合材料在高压储氢气瓶等工业领域中的定制化设计与规模应用技术，完成应用验证，实现在压力容器典型领域的批量化应用与产业推广。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**高强中模碳纤维复合材料在跨域货运无人飞行器领域的低成本制造及应用技术

**研究内容：**针对跨域货运无人飞行器大载荷、长航时、低成本的发展需求，根据飞行器不同结构需求，选取国产高强中模碳纤维及织物，研究满足适航要求的非热压罐成型（如真空成型、真空辅助树脂灌注成型等）环氧树脂航空复合材料低成本快速固化工艺，突破中温固化/高温固化等快速固化环氧树脂研制技术、不同树脂与高性能碳纤维匹配性技术、碳纤维复合材料成型工艺技术、碳纤维复合材料批量稳定化制备技术，并开展复合材料性能表征评价，获得材料许用值及设计许用值，形成材料标准及制备工艺规范，制备适用于无人货运飞机典型结构件并通过考核验证。

**课题 2:** 高强中模碳纤维复合材料在电动垂直起降飞行器（eVTOL）典型结构件的应用研究与演示验证

**研究内容:** 针对 eVTOL 大批量、轻量化、高可靠性、高刚性的发展需求，研究国产高强中模碳纤维快速固化预浸料高质量批量制备技术，开展树脂技术研究，研究满足适航要求的低成本高效率成型工艺技术，开展 eVTOL 典型复合材料结构的批量制备工艺研究和质量稳定控制技术，完成典型部件制备及考核，制定相关材料体系、设计及制造标准规范。

**课题 3:** 大直径高强中模碳纤维在压力容器领域的应用技术与考核验证

**研究内容:** 以大直径高强中模碳纤维在民用 IV 型储氢气瓶等压力容器轻量化及低成本制造的需求为研究对象，针对传统高强中模型因细直径带来的强度发挥率低、制造效率低等难题，研究适用于大直径高强中模碳纤维缠绕工艺的树脂改性技术，建立应用工艺耐受性评价方法，攻克塑料内胆焊接成型及氢密封关键技术、塑料内胆-缠绕层-金属阀座高可靠连接技术，提出大直径高强中模碳纤维 IV 型储氢瓶缠绕线型轨迹规划及成型工艺稳定控制方法，开发成套使用压力 $\geq 70\text{MPa}$  IV 型储氢瓶自动化生产装备，研发储氢瓶设计工艺一体化的国产仿真软件，实现国产大直径高强中模碳纤维在使用压力 $\geq 70\text{MPa}$  IV 型储氢瓶等压力容器上的应用技术提升。

## 项目考核指标:

1. 高强中模碳纤维复合材料在跨域货运无人飞行器领域的低成本制造及应用技术: (1) 树脂: 中温固化环氧树脂玻璃化转变温度 $\geq 125^{\circ}\text{C}$  ( $\tan\delta$ 峰值温度), 高温固化环氧树脂玻璃化转变温度 $\geq 190^{\circ}\text{C}$  ( $\tan\delta$ 峰值温度)。(2) 非热压罐成型环氧高强中模碳纤维单向带复合材料: 纤维体积含量 $\geq 55\%$ , 孔隙率 $\leq 1\%$ ,  $0^{\circ}$ 拉伸强度 $\geq 2550\text{MPa}$ ,  $0^{\circ}$ 拉伸模量 $\geq 160\pm 10\text{GPa}$ ,  $0^{\circ}$ 压缩强度 $\geq 1200\text{MPa}$ ,  $0^{\circ}$ 压缩模量 $\geq 135\text{GPa}$ ; 中温环氧短梁强度 $\geq 80\text{MPa}$ ,  $\text{CAI}\geq 170\text{MPa}$  ( $6.67\text{J/mm}$ ); 高温环氧短梁强度 $\geq 95\text{MPa}$ ,  $\text{CAI}\geq 220\text{MPa}$  ( $6.67\text{J/mm}$ )。(3) 非热压罐成型环氧高强中模碳纤维织物复合材料: 纤维体积含量 $\geq 50\%$ , 孔隙率 $\leq 1\%$ , 经向拉伸强度 $\geq 1000\text{MPa}$ , 经向拉伸模量 $\geq 70\text{GPa}$ , 经向压缩强度 $\geq 600\text{MPa}$ , 经向压缩模量 $\geq 60\text{GPa}$ ; 中温环氧短梁强度 $\geq 65\text{MPa}$ ,  $\text{CAI}\geq 190\text{MPa}$  ( $6.67\text{J/mm}$ ); 高温环氧短梁强度 $\geq 70\text{MPa}$ ,  $\text{CAI}\geq 250\text{MPa}$  ( $6.67\text{J/mm}$ )。(4) 典型结构件应用: 获取材料许用值及设计许用值, 形成材料标准及制备工艺规范, 选取典型结构件机身蒙皮考核验证, 蒙皮尺寸 $\geq 1\text{m}\times 3\text{m}$ , 蒙皮最大厚度 $\geq 4\text{mm}$ , 内部最大允许单个缺陷的 Z 值 $\leq 13\text{mm}$ , 内部缺陷根据标准《HB7224-2020 复合材料构件通用技术条件》。

2. 高强中模碳纤维复合材料在电动垂直起降飞行器 (eVTOL) 典型结构件的应用研究与演示验证: (1) 树脂: 固化温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ ,  $T_g\geq 125^{\circ}\text{C}$ 。(2) 高强中模复合材料性能:

0°拉伸强度 $\geq 2700\text{MPa}$ 、0°拉伸模量 $160\pm 10\text{GPa}$ 、0°压缩强度 $\geq 1300\text{MPa}$ 、0°压缩模量 $155\pm 10\text{GPa}$ 、层间剪切强度 $\geq 90\text{MPa}$ ； $\text{CAI}\geq 200\text{MPa}$ （ $6.67\text{J/mm}$ ）。（3）典型结构件应用：获取材料规范、工艺规范和设计许用值，选取典型结构件机翼梁考核验证，梁的长度 $\geq 3\text{m}$ ，梁的厚度最小 $\geq 15\text{mm}$ ，内部最大允许单个缺陷的Z值 $\leq 10\text{mm}$ ，内部缺陷根据标准《HB7224-2020 复合材料构件通用技术条件》，完成全尺寸工程样机首飞。

3. 大直径高强中模碳纤维在压力容器领域的应用技术与考核验证：（1）材料方面：开发出适用于使用压力 $\geq 70\text{MPa}$  IV型储氢瓶的大直径高强中模碳纤维复合材料体系，NOL环拉伸强度 $\geq 2600\text{MPa}$ ，层间剪切强度 $\geq 60\text{MPa}$ ，层合板纵向拉伸模量 $\geq 150\text{GPa}$ ，同时形成压力容器用高强中模碳纤维产品标准体系草案。（2）构件方面：零压下单瓶水容积 $\geq 200\text{L}$ ， $70\text{MPa}$ 下气瓶外径变化量不超过零压下外径的0.8%，储单公斤氢气的碳纤维用量 $\leq 10\text{Kg}$ ；氢瓶水压爆破压力 $\geq 140\text{MPa}$ ，储氢瓶水压爆破压力预测值偏差 $\leq 5\%$ ，压力循环次数 $\geq 15000$ 次； $70\text{MPa}$  IV型储氢瓶通过GB/T 42612-2023标准规定的水压爆破、介质充放循环等试验考核。（3）软件方面：建立1套储氢瓶国产化设计工艺一体化仿真软件。（4）产能方面： $70\text{MPa}$  IV型储氢瓶年产能不低于3万只/年。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**低成本大直径；高强中模碳纤维；无人货运飞行器；eVTOL；储氢瓶

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

### **3.2 大直径 T1000 级碳纤维稳定化制备及商业航天典型结构件的应用技术（产品研发）**

**研究目标：**开展干喷湿纺大直径高强中模型碳纤维产品低成本化、性能稳定化、质量一致化等制备技术研究，实现大直径新型干喷湿纺高强中模高性能碳纤维产品自主可控；突破高强中模碳纤维在运载火箭、卫星等商业航天重点领域的设计、制造与应用技术，完成典型结构考核验证。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**国产大直径 T1000 级高强中模碳纤维稳定化制备技术

**研究内容：**针对国产 T1000 级碳纤维单丝直径低，造成制备成本高、复材应用性能不足等问题，开发具备大直径特点的高强中模型 T1000 级碳纤维。围绕多纺位凝固均质成型、均质预氧化碳化技术，突破大直径纤维径向均质调控技术；研究直径提升下碳纤维微晶结构调控技术，在单丝直径提升基础上实现国产 T1000 级碳纤维强度和模量性能的达标；开发国产上浆剂研制与匹配技术、碳纤维表面处理技术，国产

大直径 T1000 级碳纤维的应用性能的提升；研究攻克干喷湿纺高强中模碳纤维大容量、高效全流程制备工艺等关键共性技术，实现低成本产业化制备技术开发。

**课题 2:** 高强中模碳纤维在商业航天典型结构件上的应用技术

**研究内容:** 针对运载火箭、卫星等商业航天典型结构件高强度、轻量化、低发射成本的需求，开发符合商业航天用树脂基（树脂可选）复合材料制备技术，研究适用于商业航天的高强中模碳纤维复合材料制品先进成型工艺、制造工艺及稳定性，完成结构功能一体化商业航天用碳纤维复合材料制品设计及应用验证。

**项目考核指标:**

1. 国产大直径 T1000 级高强中模碳纤维稳定化制备技术：（1）碳纤维丝束规格 12K/24K，单丝直径： $5.8\pm 0.2\mu\text{m}$ （均值）；拉伸强度 $\geq 6370\text{MPa}$ ， $\text{CV}\leq 5\%$ ；拉伸模量 $\geq 294\text{GPa}$ ， $\text{CV}\leq 3\%$ 。（2）12K 碳纤维线密度： $X\pm 12\text{g/km}$ ，24K 碳纤维线密度： $X\pm 24\text{g/km}$ ；12K 碳纤维起毛量 $\leq 4\text{mg}/50\text{m}$ ，24K 碳纤维起毛量 $\leq 8\text{mg}/50\text{m}$ ；复材层剪 $\geq 95\text{MPa}$ 。（3）单线产能 $\geq 1500$ 吨/年（以 24K 计），全面实现自主可控。

2. 高强中模碳纤维在商业航天典型结构件上的应用技术：（1）高强中模碳纤维复合材料  $0^\circ$  拉伸强度 $\geq 3000\text{MPa}$ ， $0^\circ$  拉伸模量 $\geq 150\text{GPa}$ ， $0^\circ$  压缩强度 $\geq 1550\text{MPa}$ ， $0^\circ$  压缩模量 $\geq 130\text{GPa}$ 。（2）纤维与树脂界面无脱粘现象，树脂含量偏差

控制在 $\pm 1.5\%$ ，固化温度波动 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。（3）选取火箭主承力或次承力结构件、商业卫星承载结构为考核验证对象，通过地面静力实验考核，典型结构件较传统金属材料减重 20%以上。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**大直径；高强中模碳纤维；典型结构件；商业航天

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **3.3 T1100 级超高强中模碳纤维在大型客机领域的应用技术（产品研发）**

**研究目标：**突破高强中模碳纤维在大型客机等领域设计、制造与应用技术，完成典型结构考核验证，实现高强中模碳纤维及其复合材料在大型客机等领域自主保障。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**针对大型商用飞机机翼大变形、大厚度结构应用需求，突破超高强中模碳纤维在大型客机等航空领域的设计、制造与应用技术。根据民机制造方要求，在 T1100 级碳纤维研制基础上，开展纤维与树脂界面调控技术研究，开

发匹配的高韧性环氧树脂，对标大型商用飞机结构制造需求完成工艺性评估。按民机适航要求和民机复合材料装机应用工作路径，开展材料生产过程管理体系（PCD）建立和审核，形成民机机翼结构专用复合材料，实现工业化稳定批产，建立大型客机用高强中模碳纤维产品标准体系，建立材料规范和工艺规范，获取材料基础许用值，形成材料装机应用基础。

### **项目考核指标：**

1. 高韧性环氧树脂：玻璃化转变温度（ $T_g$ ） $\geq 180^\circ\text{C}$ 。
2. 国产 T1100 级超高强中模碳纤维高韧环氧基复合材料： $0^\circ$ 拉伸强度（室温干态） $\geq 3500\text{MPa}$ ， $0^\circ$ 拉伸模量（室温干态）： $190\pm 10\text{GPa}$ ，开孔压缩（高温湿态， $82^\circ\text{C}$ ） $\geq 300\text{MPa}$ ，CAI（30J） $\geq 330\text{MPa}$ 。
3. 形成大型客机用高强中模碳纤维产品标准体系草案，形成完整的材料规范、工艺规范和材料数据体系，PCD 获得用户单位的预批准，获取材料基础许用值，形成材料装机应用基础。

**项目实施期限：**3 年

### **项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**超高强中模碳纤维；许用值；大型客机

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### 3.4 大直径高强型大丝束碳纤维制备及其在船舶领域的应用（应用验证）

**研究目标：**攻克工业级低成本大直径高强型大丝束碳纤维大容量高效全流程制备工艺及辅料成套技术，实现大直径高强型大丝束碳纤维产品自主可控；突破船舶用高强型大丝束碳纤维复合材料体系和典型部件设计、制造与验证等技术，实现在船舶领域的批量化应用与产业推广。本项目共包含2项研究任务，分别为大直径高强型大丝束碳纤维稳定制备技术、大丝束碳纤维在船舶装备的应用技术。

本项目设置2项课题。

#### **课题1：**大直径高强型大丝束碳纤维稳定制备技术

**研究内容：**针对大丝束碳纤维制造成本高、工艺稳定性差的问题，开展大容量碳纤维高效制备技术研究。开发高效稳定的聚合原液和原丝制备技术；研究氧化温度场和碳化气氛场稳态控制方法，开发大幅宽纤维预氧化碳化工艺下低离散性能大丝束碳纤维的制备技术；突破大丝束碳纤维束内均质表面处理技术；开发适用于大丝束碳纤维的上浆剂及均匀上浆技术；形成全流程自主可控的低成本高强型大直径大丝束碳纤维关键技术及工艺方法。

#### **课题2：**大直径大丝束碳纤维在船舶装备的应用技术

**研究内容：**针对高端船舶或无人航器轻量化、低成本发展需求，研究低成本大丝束碳纤维复合材料在民用船舶上的

批量应用技术。开展大丝束碳纤维高展宽低损伤展纱及高渗透编织的批量制备技术、适用于液体成型的低吸水性高韧性树脂开发及阻燃改性技术研究，完成纤维/树脂界面匹配控制技术研究，形成系列材料体系；开展船用大丝束碳纤维复合材料长期耐久性研究，形成性能数据包；研究船舶用特定构型碳纤维复合材料自动化制备技术、装备及产线建设，完成船舶主/次承载全尺度部件制备及质量考核验证；制定面向船舶的大丝束碳纤维复合材料设计、制造、检测等标准规范（草案），实现船舶典型件的上船应用。

#### 项目考核指标：

1. 大直径高强型大丝束碳纤维稳定制备技术：大直径高强型大丝束碳纤维（ $\geq 48K$ ）单丝直径 $\geq 7.5\mu\text{m}$ ，拉伸强度 $\geq 4.5\text{GPa}$ （批次内离散系数 $\leq 5\%$ ，批次间离散系数 $\leq 8\%$ ），拉伸模量 $\geq 220\text{-}240\text{GPa}$ （批次内离散系数 $\leq 3\%$ ，批次间离散系数 $\leq 5\%$ ），线密度 $\geq 3500\text{g/km}$ ，起毛量 $\leq 20\text{mg}/50\text{m}$ ，上浆剂含量 $x\pm 0.2\%$ ；大丝束碳纤维单线产能 $\geq 3000$ 吨/年（以48K计），具有相配套的原丝产能，大丝束碳纤维的制造成本较2022年初降低30%以上。

2. 大直径大丝束碳纤维在船舶装备的应用技术：（1）织物：大直径高强型大丝束碳纤维织物（多轴向）树脂渗透率 $\geq 2\times 10^{-11}\text{m}^2$ ，大丝束碳纤维多轴向织物相较于小丝束碳纤维成本降低30%以上。（2）复合材料：复合材料极限饱和吸水率 $\leq 1\%$ ；复合材料结构经300J能量冲击后的海水全浸吸

水率 $\leq 3\%$ ，弯曲性能保留率 80%以上（舷外结构）。阻燃防火满足 IMO 相关标准前提下，正交织物层合板拉伸强度 $\geq 750\text{MPa}$ ，拉伸模量 $\geq 55\text{GPa}$ ，层剪强度 $\geq 45\text{MPa}$ 。正交织物层合板弯曲强度 $\geq 750\text{MPa}$ ，弯曲模量 $\geq 55\text{GPa}$ ，1 年典型全海域环境老化后，弯曲性能保留率  $> 85\%$ 。复合材料孔隙率 $\leq 1\%$ ，无 3mm 以上气泡、干斑等缺陷，耐火分隔满足 A60 级。（3）船舶构件：完成 3 种以上主、次承载部件样件研制，完成 4 种以上典型部件的批量应用，应用典型船舶主尺寸大于 40m，大丝束碳纤维复合材料船舶典型构件较原金属结构设计方案减重不低于 30%，较 2024 年成型工艺效率提升 25%以上。建立船舶用大丝束碳纤维及其复合材料相关技术标准或规范不少于 5 项；建成示范生产线不少于 3 条。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**大直径高强型大丝束碳纤维；高效全流程制备；产业化；舰船装备；规模化应用

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### 3.5 大直径中模型大丝束碳纤维制备及其在风电叶片的应用（应用验证）

**研究目标：**攻克工业级低成本大直径中模型大丝束碳纤维大容量高效全流程制备工艺及辅料成套技术，实现大直径中模型大丝束碳纤维产品自主可控；突破陆上模块化风电叶片及海上超大型风电叶片设计、制造与测试评价技术，实现中模型大丝束碳纤维在新能源领域的规模化应用与产业推广。本项目共包含 3 项研究任务，分别为大直径中模型大丝束碳纤维工程化制备技术、大丝束碳纤维在模块化风电叶片的应用技术研究、大丝束碳纤维在超大型风电叶片的应用技术。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**大直径中模型大丝束碳纤维工程化制备技术

**研究内容：**针对中模型大丝束碳纤维降低成本和提高工艺稳定性的发展需求，研究纤维大幅宽、高速运行状态下碳纤维模量提升控制技术，形成中模型大丝束碳纤维高效低能耗的制备方法；通过过程稳定性控制，突破大丝束聚丙烯腈基（PAN）原丝均质化纺丝技术；优化预氧化热力耦合外场条件，攻克高效均质预氧化控制技术；研究碳化温度、张力精准控制；攻克中模大丝束碳纤维产业化稳定制备技术。

**课题 2：**大丝束碳纤维在模块化风电叶片的应用技术研究

**研究内容：**针对陆上叶片大型化面临的性能需求、生产制造、运输安装难题，研究大型模块化碳纤维叶片的设计、制造技术。开展大直径中模型大丝束碳纤维复合材料研究，

攻克主梁、连接部件等碳纤维结构件的设计技术，开发模块化叶片连接部件的全生命周期高保真验证技术；开展模块化叶片“气动-结构-材料”一体化设计；攻克模块化叶片高可靠连接装配技术；研究雨蚀、砂蚀、紫外等复杂环境下叶片前缘防护技术；完成陆上大型模块化碳纤维叶片试制与验证。

### **课题 3：大丝束碳纤维在超大型风电叶片的应用技术**

**研究内容：**针对海上风电叶片的大尺寸、轻量化、降成本的发展需求，开展大丝束碳纤维在超大型风电叶片的应用技术研究，开发大直径中模型大丝束碳纤维低损伤控制拉挤成型工程化制备技术；攻克大丝束碳纤维叶片结构轻量化设计与低成本碳纤维叶片防雷系统技术，突破大型复合材料构件成型工艺仿真模拟技术；攻克全尺寸叶片视觉测试验证技术，建立“材料-部件-全尺寸”测试评价体系；形成超大型碳纤维复合材料叶片高效可靠产业化制造技术；解决超大型风电叶片开发全链条高效低成本关键技术难题，促进大丝束碳纤维在新能源领域的规模化应用。

#### **项目考核指标：**

1. 大直径中模型大丝束碳纤维工程化制备技术：大直径中模型大丝束碳纤维丝束规格 $\geq 48K$ ，单丝直径 $\geq 7.5\mu m$ ，拉伸模量 260~280GPa 可控（批次内离散系数 $\leq 3\%$ ，批次间离散系数 $\leq 5\%$ ），拉伸强度 $\geq 4.5GPa$ （批次内离散系数 $\leq 5\%$ ，批次间离散系数 $\leq 8\%$ ），断裂伸长率 $\geq 1.5\%$ （批次内离散系数 $\leq 4\%$ ，

批次间离散系数 $\leq 5\%$ ), 线密度 $\geq 3500\text{g/km}$ , 起毛量 $\leq 20\text{mg}/50\text{m}$ , 上浆剂含量 $x\pm 0.2\%$ ; 中模型大丝束碳纤维单线产能 $\geq 2500$  吨/年(以 48k 计算)。

2. 大丝束碳纤维在模块化风电叶片的应用技术研究: 基于大直径中模型大丝束碳纤维的应用, 完成大型模块化碳纤维叶片设计、制造及测试验证。(1) 复合材料: 灌注碳纤维复合材料拉伸模量 $\geq 120\text{GPa}$ , 拉伸强度 $\geq 1600\text{MPa}$ , 压缩应变 $\geq 0.8\%$ 。(2) 模块化风电叶片: 连接构型比传统金属机械连接减重 $\geq 20\%$ , 全局模态影响 $\leq 5\%$ ; 连接部件测试应变与仿真偏差 $\leq 10\%$ ; 新型模块化叶片长度 $\geq 115\text{m}$ , 叶片重量较一体化成型增加 $\leq 5\%$ ; 模块化风电叶片组装成型时间 $\leq 48$  小时; 前缘防护产品的加速耐雨蚀测试击穿时间 $\geq 80$  小时、加速耐砂蚀测试击穿时间 $\geq 10$  小时; 实现模块化叶片小规模试制, 完成全尺寸叶片静力和疲劳测试, 通过第三方认证, 完成 240 小时挂机验证; 形成大丝束碳纤维模块化风电叶片相关技术标准或规范不少于 3 项。

3. 大丝束碳纤维在超大型风电叶片的应用技术: (1) 拉挤板: 超大型风电叶片用大丝束碳纤维拉挤板压缩强度 $\geq 1450\text{MPa}$ , 压缩模量 $\geq 145\text{GPa}$ , 拉挤板间拼缝横向拉伸强度 $\geq 30\text{MPa}$ , 实现纤维强度转化率 $\geq 80\%$ 。(2) 超大型风电叶片: 叶片设计长度 $\geq 147$  米, 单位功率重量 $\leq 3.65\text{t/MW}$ ; 完成碳纤维叶片防雷测试验证, 防雷系统成本降低 30%; 碳纤维主梁灌注时间预测值与实际误差 $\leq 20\%$ ; 叶片刚度设计值与实测值

偏差 $\leq 5\%$ ，完成 150m 级叶片全尺寸静力和疲劳测试，通过第三方认证；150m 级碳纤维叶片主成型周期 $\leq 96$  小时；具备年产 200 套以上国产大丝束碳纤维风电叶片的生产能力；完成不少于 5 项碳纤维超大型风电叶片相关技术标准或规范。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**大直径中模型大丝束碳纤维；模块化风电叶片；连接装配；超大型海上风电叶片；大丝束碳纤维拉挤板材

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

### **3.6 中温中强氧化铝纤维工程化制备及其在工业装备领域的应用（产品研发）**

**研究目标：**针对钢铁冶金、热工设备、能源动力、石油化工、通用航空等潜在的民用市场需求，开展工业装备领域 30 吨级中温中强氧化铝纤维工程化稳定制备技术研究和氧化铝纤维陶瓷基轻质热结构材料低成本制备技术研究。实现 1.5K 级中温中强氧化铝纤维稳定生产，纤维单线产能达到 30 吨；研发出一类面向民用市场需求的低成本氧化铝纤维陶瓷基轻质热结构材料，典型样件产品制造成本较现阶段成本降低 30%以上，并形成材料及工艺规范。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1:** 工业装备领域 30 吨级中温中强氧化铝纤维工程化稳定制备技术

**研究内容:** 面向工业装备领域需求, 针对当前中温中强氧化铝纤维束中单丝数量少, 可编织性差的问题, 开展 30 吨级中温中强氧化铝纤维工程化稳定制备技术研究。开展 1.5K 级纤维稳定纺丝工艺研究, 突破喷丝板孔结构与稳定连续纺丝关键技术, 提高原丝直径均匀性; 开展纺丝环境控制与收丝工艺研究, 实现高品质 1.5K 级连续原丝的均匀牵伸; 开展 1.5K 级纤维低温及高温处理技术研究, 突破大丝束纤维内外层丝束连续均匀陶瓷化关键技术, 提升纤维性能均匀性与质量稳定性; 开展纤维可编织性评价与系列化氧化铝纤维上浆剂研究, 进一步准确评价并提升纤维可编织性; 开展 1.5K 级纤维产线级工艺适应性研究, 实现 30 吨级产线上合格纤维产品的稳定生产。

**课题 2:** 工业装备领域氧化铝纤维陶瓷基轻质热结构材料低成本制备技术

**研究内容:** 针对钢铁冶金、热工设备、能源动力、石油化工、通用航空等潜在的民用市场需求, 开展氧化铝纤维陶瓷基轻质热结构材料低成本制备技术研究, 开展低成本氧化铝纤维氧化物基复合材料的结构组成与设计、大丝束氧化铝纤维氧化物基复合材料的低成本快速成型、轻质热结构材料的综合性能与批次性评价、轻质热结构材料典型工况下的可

重复使用性能以及工程尺寸复合材料典型构件的低成本高质量制备技术研究，发展出一类面向民用市场需求的低成本氧化铝纤维氧化物基轻质热结构材料，并形成材料及工艺规范。

### 项目考核指标:

1. 工业装备领域 30 吨级中温中强氧化铝纤维工程化稳定制备技术：（1）连续纤维长度 $\geq 1500$  米；（2）氧化铝纤维束中单丝直径 $\leq 12\mu\text{m}$ ，数量 $\geq 1500$  根/束；（3）束丝拉伸强度 $\geq 1.6\text{GPa}$ （批次内离散系数 $\leq 8\%$ ，批次间离散系数 $\leq 10\%$ ），束丝拉伸模量 $\geq 150\text{GPa}$ （离散系数 $\leq 8\%$ ），空气中  $1000^\circ\text{C}$  处理 1 小时后束丝拉伸强度保留率 $\geq 70\%$ ，空气中  $800^\circ\text{C}$  处理 200 小时后束丝拉伸强度保留率 $\geq 70\%$ ；（4）束丝勾结强力 $\geq 0.05\text{N/tex}$ ；（5）形成单线 30 吨/年（以 1.5K 计）的稳定生产能力；（6）产量达到 15 吨/年时，综合成本较 2024 年 0.4K 中温中强氧化铝纤维成本降低 30%以上。

2. 工业装备领域氧化铝纤维陶瓷基轻质热结构材料低成本制备技术：（1）密度 $\leq 2.20\text{g/cm}^3$ ；（2）室温及  $1000^\circ\text{C}$ ，拉伸强度 $\geq 110\text{MPa}$ ，拉伸模量 $\geq 30\text{GPa}$ ，压缩强度 $\geq 160\text{MPa}$ ，弯曲强度 $\geq 130\text{MPa}$ ，批次间离散性 $\leq 10\%$ ；（3）平均热膨胀系数（室温至  $1000^\circ\text{C}$ ） $\leq 8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，室温热导率 $\leq 1.5\text{W}/(\text{mK})$ ， $1000^\circ\text{C}$ 热导率 $\leq 2.0\text{W}/(\text{mK})$ ；（4）经过 500 次室温至  $800^\circ\text{C}$  的随炉升降温热循环考核后，材料结构完整无破坏；（5） $800^\circ\text{C}$ 服役 200 小时，拉伸、压缩及弯曲强度保留率均 $\geq 70\%$ ；

(6) 可制备材料尺寸 $\geq 1000 \times 500 \text{mm}$ ，可成型薄壁异型管类结构；(7) 典型样件产品制造成本较 2024 年成本降低 30% 以上。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 1:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**中温中强氧化铝纤维；氧化铝纤维陶瓷基复合材料；工程化制备；轻质结构；低成本制备

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **3.8 高导热氮化硼纤维工程化制备技术（产品研发）**

**研究目标：**针对 5G 通讯、新能源和半导体等领域的芯片、电子元器件及装备的散热和热防护需求，开展 5 吨级高导热氮化硼纤维工程化制备技术研究。实现高导热氮化硼纤维工程化稳定制备，纤维单线年产能达到 5 吨；完成氮化硼纤维高导热复合材料的制备及应用验证，完成氮化硼纤维纸的应用验证。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**针对 5G 通讯、新能源和半导体等领域的芯片、电子元器件及装备的散热和热防护需求，发挥氮化硼纤维高导热、高绝缘、低介电的优势，开展高导热氮化硼纤维

工程化技术及应用技术攻关。研究氮化硼纤维的晶体结构、缺陷对声子散射和热传输的影响，建立纤维微观结构-导热性能模型。研究纤维增量引起的质量互变规律，调控纤维元素分布、缺陷形式及织态结构，进行温度场及流场优化，实现纤维工程化稳定制备。对生产线全工序装备进行数智化改造和关键装备的匹配建设，建立氮化硼纤维 5 吨级生产线。

研究氮化硼纤维和有机基体界面声子传递及导热材料组装机理，优化热传输的通道，实现氮化硼纤维高导热复合材料的制备及应用验证；突破氮化硼纤维纸基材料的先进湿法成形及后处理关键技术，完成氮化硼纤维纸的应用验证。

#### 项目考核指标:

1.氮化硼纤维：（1）纤维平均直径  $11\pm 1\mu\text{m}$ ，连续纤维长度  $\geq 500\text{m}$ ；（2）氮化硼含量  $\geq 80\%$ ，束丝平均拉伸强度  $\geq 1.5\text{GPa}$ （批次间束丝拉伸强度离散  $\leq 10\%$ ）；（3）导热系数  $\geq 80\text{W}/(\text{mK})$ ，介电常数  $\leq 3.5$ ，介电损耗  $\leq 8\times 10^{-4}$ ，体积电阻率  $\geq 1\times 10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$ ；（4）纤维单线产能达到 5 吨/年制备能力。

2.氮化硼纤维导热垫片：（1）导热系数  $\geq 15\text{W}/(\text{mK})$ ，界面热阻  $\leq 0.3\text{cm}^2\text{K}/\text{W}$ ；（2）抗击穿强度  $\geq 4\text{kV}/\text{mm}$ ，压缩率  $\geq 40\%$ （50psi），拉伸强度  $\geq 30\text{kPa}$ ；（3）材料分别完成以下老化试验进行应用可靠性评价：1）振动冲击老化试验（20-1000Hz 振动 10h）；2）高温老化试验（150℃烘烤 1000h）；3）高温高湿环境老化试验（在温度 85℃和相对湿度 85%的环境试验箱内 1000h）；4）高低温冷热冲击老化试验（温度

-40~125°C之间 1000 次)。各项老化试验完成后, 样品不产生开裂、热阻劣化不超过 15%、机械性能劣化不超过 30%;

3.氮化硼纤维纸: (1) 平均厚度 0.3~0.5mm; (2) 抗击穿强度 $\geq 3\text{kV/mm}$ , 抗张强度 $\geq 15\text{N/15mm}$ ; (3) 满足光伏单晶硅拉晶工艺实际工况累计运行 360 小时无打火、无击穿。

**项目实施期限:** 3 年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事前补助。

**关键词:** 5 吨级; 高导热氮化硼纤维; 工程化制备

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过 10 个。

### **3.9 超高韧型和超高模型对位芳纶规模化制备技术 (产品研发)**

**研究目标:** 针对下一代抗冲击防护、高性能橡胶增强、特殊环境建筑补强等典型应用, 突破超高韧和超高模型对位芳纶的高效聚合、稳定纺丝、连续表面处理等关键技术, 形成规模化生产能力, 推进高端芳纶国产化替代和规模化应用。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1:** 超高韧型对位芳纶规模化制备技术

**研究内容:** 针对下一代抗冲击防护、高性能橡胶增强等

典型应用，突破超高韧型对位芳纶的高效聚合、稳定纺丝、连续表面处理等关键技术，形成规模化生产能力。

## **课题 2：超高模型对位芳纶规模化制备技术**

**研究内容：**针对下一代特殊环境建筑补强、特种通信光缆等典型应用，突破超高模型对位芳纶的高效聚合、稳定纺丝、连续表面处理等关键技术，形成规模化生产能力。

### **项目考核指标：**

1. 超高韧型对位芳纶规模化制备技术：（1）超高韧型对位芳纶纤度 930dtex 和 1110dtex；（2）断裂强度 $\geq 24.5\text{cN/dtex}$ （3.5GPa）；（3）断裂伸长率 $\geq 4.5\%$ ；（4）初始模量 $\geq 556\text{cN/dtex}$ （80GPa）；（5）纤维的断裂强度和断裂伸长的离散系数均 $\leq 3\%$ ；（6）单线产能 $\geq 500$  吨/年（以 1110dtex 计）；（7）纤维界面处理剂实现自主可控。

2. 超高模型对位芳纶规模化制备技术：（1）超高模型对位芳纶纤度 6440dtex 和 8050dtex；（2）断裂强度 $\geq 18\text{cN/dtex}$ （2.6GPa）；（3）初始模量 $\geq 931\text{cN/dtex}$ （135GPa）；（4）断裂伸长率 $\leq 3.0\%$ ；（5）纤维的断裂强度和断裂伸长的离散系数均 $\leq 3\%$ ；（6）单线产能 $\geq 500$  吨/年（以 1610dtex 计）；（7）纤维界面处理剂实现自主可控。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**超高韧型芳纶；超高模型芳纶；规模化制备

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **3.10 特种高性能聚酰亚胺纤维和液晶聚芳酯纤维工程化制备技术研究（产品研发）**

**研究目标：**针对航空航天、高频高速通讯、石油化工等领域在力、电、热、辐照等多物理场耦合极端环境下的应用需求，通过芳香族特种树脂的分子结构设计、纺丝成型工艺优化和纤维凝聚态结构调控等问题的研究，实现纤维性能与功能双效提升，突破工程化制备关键技术难题。开发力、电、热、耐辐照等综合性能优异的新型芳香族聚酰亚胺和聚芳酯特种纤维，揭示纤维在高温、湿热等复杂环境下的结构与性能演变规律，研究纤维的表面特性，建立纤维增强树脂基复合材料界面调控方法，提升复合材料界面结合强度，形成该类特种纤维及其复合材料在航空航天、通讯电子、特种装备等领域的典型应用，支撑我国高性能纤维及复合材料产业创新发展。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**高强高模聚酰亚胺纤维工程化制备技术研究

**研究内容：**突破高强、高模耐候聚酰亚胺纤维制备过程中新型分子设计、聚合反应关键工艺、高速纺丝与稳定成型、聚集态结构和微缺陷调控以及关键设备集成等工程化技术，

实现纤维的规模化制备；研究纤维的表面特性，建立纤维增强树脂基复合材料界面调控方法，提升复合材料界面结合强度，形成系列化产品，拓展多领域应用。

**课题 2:** 新型液晶聚芳酯纤维规模化制备工艺及技术研究

**研究内容:** 通过主链分子结构构建高强、高模、低介电液晶聚芳酯树脂及纤维，开发高效合成技术；研究液晶聚芳酯的流变行为、液晶行为与纺丝工艺的关联性，解决高性能与加工性之间的矛盾；揭示聚合物分子结构-纺丝工艺-液晶聚集态结构-纤维性能间的构效关系；研究纤维高低温环境等稳定性与界面调控方法，纤维及制品在典型工况环境下的服役行为与失效机制；研制基于液晶聚芳酯纤维的平流层气艇蒙皮、液晶聚芳酯纤维增强柔性电路板，满足极端环境应用需求。

**项目考核指标:**

1. 高强高模聚酰亚胺纤维工程化制备技术研究：（1）开发纤度  $75\pm 5$  dtex、 $250\pm 10$  dtex、 $1500\pm 70$  dtex 和  $2000\pm 100$  dtex 的聚酰亚胺纤维长丝；（2）断裂强度  $\geq 30$  cN/dtex（4.2 GPa），初始模量  $850$  cN/dtex（120GPa）~ $1200$  cN/dtex（170 GPa）可调，批内及批次间离散系数  $\leq 3\%$ ；（3）起始分解温度  $\geq 550$  °C，耐紫外线辐照强度保持率  $\geq 88\%$ ；（4）建成单线产能 300 吨/年纤维生产线（以 2000 dtex 计），与 2023 年底相比综合成本降低 20%；（5）纤维界面处理剂实现自主可

控，纤维界面处理剂实现自主可控，处理后纤维比电阻 $\leq 10^{-8}$   $\Omega \cdot m$ ，同时纤维与环氧树脂的界面粘结强度提高 $(20 \pm 5)\%$ ；

(6) 开发克重  $100 \pm 5$   $g/m^2$ 、 $250 \pm 10$   $g/m^2$  等规格聚酰亚胺纤维织物，经纬向断裂强力均 $\geq 1000$   $N/cm$ ，在移动通讯设备、高端运动装备和轻质柔性囊体领域形成应用示范。

## 2. 新型液晶聚芳酯纤维规模化制备工艺及技术研究：

(1) 液晶聚芳酯树脂饱和吸水率 $\leq 0.3\%$ ，维卡软化点 $\geq 250^\circ C$ ；纤维单丝纤度 $\leq 5$   $dtex$ ，强度 $\geq 25$   $cN/dtex$  ( $3.5$   $GPa$ )，批次内离散系数 $\leq 5\%$ ，批次间离散系数 $\leq 10\%$ 拉伸模量 $\geq 704$   $cN/dtex$  ( $100GPa$ )，批次内离散率 $\leq 5\%$ ，批次间离散系数 $\leq 10\%$ ；

(2) 纤维介电常数 $\leq 3.2(20GHz)$ ，损耗角正切 $\leq 0.002(20GHz)$ ，纤维织物介电常数 $\leq 2.6(20GHz, 400dtex$  纤维织物)，损耗角正切 $\leq 0.002(20GHz, 400dtex$  纤维织物)；(3) 极限氧指数 $\geq 29\%$  (纤维织物)；(4) 冻融强度保持率 $\geq 90\%$  ( $-50$  至  $50^\circ C$  循环 100 次)；(5) 常温下与环氧树脂的界面结合力 $\geq 40MPa$ ；(6) 建成总体产能 1500 吨/年，单线产能 100 吨/年以上 (以 1500  $dtex$  计) 生产线。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**聚酰亚胺纤维；高强高模；高效制备；聚芳酯；

规模化制备

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **3.11 芳纶在典型领域的应用技术与考核验证（应用验证）**

**研究目标：**针对下一代抗冲击防护、高性能橡胶增强、特殊环境建筑补强等典型应用需求，突破对位芳纶低成本连续化表面改性及装备等关键技术，形成典型芳纶复合材料应用件在典型领域的设计与规模化应用技术，研究芳纶典型复合材料应用件的服役性能和失效调控方法，形成纤维及制品抗冲击防护、橡胶增强等领域的应用验证。

本项目设置 2 项课题。

#### **课题 1：芳纶在抗冲击防护领域应用技术与考核验证**

**研究内容：**突破芳纶低成本连续化表面改性工艺及装备关键技术，开发适用于不同应用场景的纤维织物编织方法与复合材料成型工艺，研究典型复合材料应用件（防弹衣、防弹头盔、防刺服等）的服役性能和调控方法，形成纤维及制品在抗冲击防护等典型领域的设计与规模化应用技术。

#### **课题 2：芳纶在橡胶增强领域应用技术与考核验证**

**研究内容：**针对芳纶增强橡胶制品在高低温、交变应力等服役环境下的老化失效行为，开发芳纶低成本连续化表面改性及装备关键技术，研究适用于不同应用场景的芳纶织物编织方法和复合工艺，研究芳纶与橡胶的界面相互作用及柔

性复合材料成型和调控技术，研究典型应用件的服役失效机制和失效调控技术，满足航空轮胎、输送带等交通和装备用高端橡胶制品的需求，形成纤维及制品橡胶增强等领域的应用验证。

### 项目考核指标:

1. 芳纶在抗冲击防护领域应用技术与考核验证：（1）突破芳纶在抗冲击防护领域的应用技术，典型应用件综合性能提升 10%；（2）防弹衣软质防弹层面密度 $\leq 6.4\text{kg/m}^2$ ，抗 1.1g 标准模拟碎片  $V_{50} \geq 610\text{m/s}$ （GJB4300A-2012 II 级要求），防弹性能满足 GA141-2010 标准 3 级防弹要求（可有效防御 1979 式 7.62mm 轻型冲锋枪发射的 1951 式 7.62mm 手枪弹（铅芯）对人体的伤害，弹击瞬间变形量 $\leq 25\text{mm}$ ；（3）防弹头盔盔体重量 $\leq 1.1\text{kg}$ ，防护面积 $\geq 1250\text{cm}^2$ ，可有效防御 1954 式 7.62mm 手枪发射的 1951 式 7.62mm 手枪弹（铅芯）对人体的伤害，盔壳弹痕高度前额部位 $\leq 25\text{mm}$ ，左、右、后、顶部位均应 $\leq 25\text{mm}$ ，防 1.1g 标准模拟碎片  $V_{50} \geq 670\text{m/s}$ ；（4）防刺服防刺层面密度 $\leq 5.4\text{kg/m}^2$ 、厚度 $\leq 16\text{mm}$ （含缓冲层），防刺性能满足防 GA68-2024 标准 A 类刀具的穿刺要求；（5）装甲车辆多功能内衬面密度 $\leq 7\text{kg/m}^2$ （GB/T 9914.3-2001），1.1g 标准模拟弹  $V_{50} \geq 600\text{m/s}$ （GB/T 32497-2016）。

2. 芳纶在橡胶增强领域应用技术与考核验证：（1）航空轮胎用浸胶帘布（芳纶 1670dtex/2+锦纶 66 2100dtex/1）断裂强力 $\geq 650\text{N}$ ，断裂伸长率 $\geq 12\%$ ，断裂强力不匀率 $\leq 3.0\%$ ，

粘合强度（H 抽出值） $\geq 210\text{N}$ ，高温老化后（ $100^{\circ}\text{C}$ ，72h）H 抽出力保持率 $\geq 80\%$ 。（2）应用于 I 型航空轮胎，额定充气压力达到  $1580\text{kPa}$ ，额定载荷达到  $215.3\text{kN}$ ，额定速度达到  $378\text{km/h}$ ，执行标准 CTSO-C62e；（3）应用于 II 型航空轮胎，额定充气压力达到  $1624\text{kPa}$ ，额定载荷达到  $316\text{kN}$ ，额定速度达到  $378\text{km/h}$ ，执行标准 CTSO-C62e；（4）芳纶增强橡胶输送带拉伸强度：芳纶丝强力（3000D） $\geq 750\text{N}$ ，强力离散系数  $< 3\%$ ，浸胶后纱线强度保持率  $> 90\%$ ，单丝粘结力（H 抽出法） $> 120\text{N/cm}$ （GB/T 19975-2005）；芳纶织物与橡胶的粘结力（剥离法） $> 20\text{N/mm}$ （GB/T 31334.1-2015）；输送带的拉伸强度 $\geq 4500\text{N/mm}$ （MT/T 914-2019）；覆盖层与带芯间黏合强度 $\geq 3.9\text{N/mm}$ （覆盖层厚度  $> 1.5\text{mm}$ ）（GB/T 6759-2013）；输送带接头静态强度保持率在 75%以上（GB/T 12736-2021）；丙烷燃烧输送带未损毁长度 $\geq 600\text{mm}$ （MT/T 914-2019）；输送带上、下表面电阻算术平均值 $\leq 3.0 \times 10^8 \Omega$ （MT/T 914-2019）。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**芳纶；抗冲击防护；橡胶增强

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。



## 四、特种高分子材料领域

### 4.1 烯烃溶液聚合工业化新技术及系列产品开发（产品研发）

**研究目标：**聚烯烃弹性体系列产品牌号开发，在下游光伏膜及复合材料企业进行应用验证，优化并开发以 POE 为代表的溶液聚合工业化新技术，开发高熔点 POE、全乙烯基 POE、极性 POE、COC 以及适用于润滑油黏度指数改进剂的聚合物，建成 POE 催化剂合成放大装置及 COC 千吨级装置。

本项目设置 5 项课题

#### **课题 1：**聚烯烃弹性体工业化新技术及系列产品开发

**研究内容：**研究 POE 链结构，建立材料结构与性能的关系。优化催化剂及助催化剂技术、聚合工艺及聚合物脱挥技术，进行系列 POE 新产品的开发包括适用于线缆、建材等应用的 POE。开发新结构催化剂，实现催化体系迭代。基于新催化体系开展溶液聚合中试研究，开发高熔点 POE，以及适用于润滑油黏度指数改进剂的聚合物等。

#### **课题 2：**COC 单体/聚合成套技术开发

**研究内容：**研究降冰片烯（NBE）合成过程的反应规律，建立反应动力学模型和反应调控机制，开发低能耗、高收率的分离工艺，开发满足聚合要求的 NBE 单体成套技术；研究催化剂化学环境各因素的综合效应，开发环烯烃共聚物（COC）主催化剂和助催化剂技术，实现环烯烃共聚物的高活性聚合；通过精准控制聚合过程及聚合物性能，开发反应

高效、长效可控的 COC 聚合成套技术；开发生产装置工艺包，建设工业示范装置，实现高品质 COC 工业化生产。

### **课题 3: 光伏及复合材料用 POE 产品应用验证**

**研究内容:** 研究不同功能单体与黏性助剂种类进行 POE 接枝的特性,探索温度、时间等对 POE 接枝效率的影响规律;开发新型合成功能助剂,考察助剂对 POE 树脂基体和电池表面基团同时发生化学键合的能力;研究加工过程中 POE 物理交联关键工艺因素,确定 POE 透光率与耐热变功能的关系;开发低模量发泡技术,在胶膜挤出成型过程中进行 POE 发泡规律探索,考察泡孔结构,大小及均匀性的影响因素。

研究不同结构 POE 对不同 PP 基体的改性效果;研究各种不同粒径和形状的无机填料在 PP 基体和 POE 弹性体中的分散性和相容性;探索加工设备及工艺参数对复合材料的性能影响规律;研究不同配方复合材料在汽车制品方面应用特性。

### **课题 4: 全乙烯单体 POE 弹性体开发**

**研究内容:** 开发无需共聚单体的基于乙烯原料的弹性体催化剂技术及溶液聚合工艺,探究不同结构催化剂的聚合行为和对聚合物结构的影响规律。结合装备研究,通过连续模试制备结构均一的新型弹性体材料。进行结构与性能研究,建立新型弹性体溶液及结构相关分析方法,揭示分子量及其分布、短支链种类及含量等对材料物理性能的影响规律。完成中试试验验证。

## 课题 5: 极性 POE 制备新方法开发

**研究内容:** 开发极性 POE (p-POE) 催化剂技术及溶液聚合工艺, 探究不同结构和组成的催化剂对聚合行为和聚合物结构的影响规律。结合装备研究, 制备结构均一的乙烯/ $\alpha$ -烯烃/极性 $\alpha$ -烯烃和乙烯/极性 $\alpha$ -烯烃共聚新材料。进行结构与性能研究, 揭示共聚物结构, 包括分子量、官能团结构(羟基、羧基、酯基、酰胺基等)及其分布等对材料物理性能的影响规律。获得材料结构与性能的关联性, 发展新型极性 POE 材料及其制备技术, 在中试上进行工艺验证。

### 项目考核指标:

1. 聚烯烃弹性体工业化新技术及系列产品开发: 建立 POE 组成分级、共聚单体分布等链结构表征技术, 建立材料分子结构与性能的关系。建成主催化剂和助催化剂合成放大装置, 产能达到吨级。优化聚合工艺及聚合物脱挥技术, 完成工业示范, 并进行系列新产品开发。设计合成乙烯与 $\alpha$ -烯烃共聚 POE 新催化体系, 活性高于  $10^7 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}(\text{Cat}) \cdot \text{h}^{-1}$ , 并在中试装置上制备系列 POE 产品, 乙烯质量含量在 55%-75% 之间, 重均分子量在 5 万-30 万之间, TVOC 含量小于  $100 \mu\text{gC/g}$ , 可满足在建材和电线电缆等领域应用; 高熔点 POE 在密度低于  $0.87 \text{g/cm}^3$  时, 熔点高于  $100^\circ\text{C}$ ; 用于粘指剂的聚合物  $100^\circ\text{C}$  增稠效率  $> 4.5 \text{mm}^2/\text{s}$ , 剪切稳定性指数(柴油喷嘴 30 个循环)  $< 18\%$ 。

2. COC 单体/聚合成套技术开发: 原料环戊二烯转化率

大于 97%，NBE 选择性大于 96%；开发具有自主知识产权的催化剂体系，聚合活性大于 50 kg-COC/g-cat；聚合物重均分子量在 5-20 万内可调、可控，玻璃化转变温度在 70-180°C 内可调、可控；产品中挥发分 $\leq 30$ ppm，灰分 $\leq 10$ ppm，满足在预灌封注射器的应用需求，完成千吨级装置建设。

3. 光伏及复合材料用 POE 产品应用验证：应用专项开发的 POE 产品 10000 吨以上，制备成 POE 胶膜，胶膜的邵氏硬度（A） $\leq 65$ ，与电池片粘结力 $> 40$  N/cm，透光率（380-1100nm） $> 91\%$ ，体积电阻率 $> 10^{16}$ Ω·cm。应用专项开发的 POE 产品 20000 吨以上，制备成复合材料，复合材料的拉伸强度 $\geq 16$ MPa，弯曲模量 $\geq 1500$  MPa，缺口冲击强度 $\geq 5.5$ kJ/m<sup>2</sup>。

4. 全乙烯单体 POE 弹性体开发：设计合成聚合催化剂，活性不低于  $10^7$  g·mol<sup>-1</sup>(Cat)·h<sup>-1</sup>。制备具有不同结构的基于乙烯原料的弹性体，建立结构与性能的关联性。制备吨级产品，分子量大于 100 kg/mol，分布 $< 3.0$ ，1000C 上短支链数量不低于 60，金属残余 $< 100$  ppm，新型 POE 制备工艺完成千吨级规模以上中试验证。

5. 极性 POE 制备新方法开发：设计合成催化剂，均相聚合条件下活性高于  $10^6$  g·mol<sup>-1</sup>(Cat)·h<sup>-1</sup>；开发 3 种以上极性官能团（羟基或羧基或酯基）的极性 POE 材料；极性 POE 分子量大于 50 kg/mol，分布 $< 3.0$ ，共单体摩尔插入率 $> 15\%$ ，其中极性官能团摩尔含量 1-15%，金属残余 $< 100$  ppm，极性

POE 制备工艺完成百吨级规模以上中试验证。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**POE 催化剂；环烯烃共聚物；全乙烯单体 POE；  
极性 POE

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

#### **4.2 聚丁烯-1 (PB-1) 技术优化、产品拓展及万吨级装置 工艺包开发 (产品研发)**

**研究目标：**优化千吨级聚丁烯-1 (PB-1) 技术，降低技术能耗、物耗；拓展树脂在高性能管材、薄膜及特种容器等方面的应用，开发至少 3 个新牌号；对聚丁烯-1 的结晶行为、晶型调控技术及其对材料力学行为的影响规律开展系统、深入研究，指导产品开发及应用；在此基础上开展放大研究，开发万吨级 PB-1 装置工艺包。

本项目设置 2 项课题

**课题 1：**千吨级 PB-1 技术优化及万吨级工艺包开发

**研究内容：**优化千吨级均相本体法 PB-1 装置工艺流程及关键工艺参数，针对管材、易撕膜/易揭膜和特种容器等应用领域开发至少 3 个 PB-1 新产品；开发万吨级 PB-1 成套技

术工艺包。

**课题 2: PB-1 结构调控研究及其在新产品开发中的应用**

**研究内容:** 对专项开发均聚/无规共聚聚丁烯-1 产品的结晶动力学及晶型选择行为, 晶型 II 到 I 转变的晶区及非晶区微观结构依赖性进行研究, 开发晶型转变调控技术; 建立结晶及形变导致的分子构象演化行为与材料力学性能的关系; 研究材料在注塑、发泡等典型应用条件下的微结构及性能变化。

**项目考核指标:**

1. 千吨级 PB-1 技术优化及万吨级工艺包开发: 在千吨级聚丁烯-1 装置上开发出以下牌号: 管材用聚丁烯-1: MFR=0.6±0.2 g/10min; 等规指数≥98.5%; 弹性模量≥450 MPa; 易撕膜/易揭膜用聚丁烯-1: MFR=1.0±0.2 g/10min; 乙烯含量 1.0-3.0%wt; 特种容器用聚丁烯-1: MFR: 0.4-1.0g/10min; 弯曲模量: ≥450MPa; 拉伸强度: ≥30MPa; 断裂伸长率: ≥180%。完成万吨级均相本体法聚丁烯-1 成套技术工艺包开发;

2. PB-1 结构调控研究及其在新产品开发中的应用: 完成专项开发的均聚/无规共聚聚丁烯-1 的结晶行为、晶型转化机制研究 (不少于 10 个聚丁烯-1 牌号)。建立均聚物分子量及分布与结晶及晶型转变动力学的关系, 无规共聚物共聚单体含量与晶型选择的依赖关系, 阐明体系晶区及非晶区链段结构与动力学特征, 建立多尺度微观结构与宏观力学性能的

关系，重点研究非晶区系带分子含量、物理网络密度及链末端对模量、屈服应力、应变硬化模量等力学参数及片晶塑性变形、空洞化导致的应力发白等结构参数的影响。并就保持制品性能稳定提出可行的调控方案。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**聚丁烯-1；工业示范装置；晶型转化机制

**有关说明：**项目参研单位数量不超过15个。

#### **4.3 电工级聚丙烯产品开发及聚丙烯基电工材料性能调控机理研究（产品研发）**

**研究目标：**针对电力、能源、汽车行业关键材料自主化、绿色化和高性能化的发展需求，开发高性能丙烯聚合催化剂和直接聚合法制备电工级低灰分聚丙烯技术，开发适用于电容器膜和锂电池隔膜的低灰分聚丙烯产品；针对聚丙烯电性能调控等共性技术难题，开展聚丙烯电工材料综合性能调控机理及优化方法研究，支撑高性能聚丙烯电工材料的研发。。

本项目设置2项课题

**课题 1：**直接聚合法电工级聚丙烯及工业化制备技术开发

**研究内容:** 开发具有超高立构定向性超高聚合活性的高性能聚丙烯催化剂及其工业化制备技术。开发基于超高活性催化剂体系的直接聚合法制备电工级低灰分聚丙烯的技术。开发全工艺流程洁净化控制技术。开展低灰分聚丙烯产品生产优化研究，开发可适用于电容器膜和锂电池隔膜的低灰分聚丙烯产品。

**课题 2:** 聚丙烯基电工材料综合性能调控机理及优化方法研究

**研究内容:** (1) 研究聚丙烯聚集态参数、灰分、助剂等对电热联合作用下聚丙烯电气性能、加工膜击穿行为的影响机理，研究通过接枝改性强化聚丙烯介电绝缘性能的方法。(2) 研究聚丙烯隔膜材料在电化学过程中的结构演变、热响应以及与电解液的相互作用，探索电池充放电过程中隔膜的失效机制，探索提升隔膜耐老化特性的改性手段。(3) 研究聚丙烯结构对电气、机械、热等综合性能的影响规律，研究接枝基团对微观电荷输运及宏观性能的影响机制，研究宽温度聚丙烯基半导体屏蔽材料多相结构对导电网络的影响机制，及与绝缘界面匹配对电荷注入的影响规律。(4) 研究接枝聚丙烯绝缘材料流变特性，设计挤出加工专用核心部件，优化挤出及冷却工艺条件。

**项目考核指标:**

1. 直接聚合法电工级聚丙烯及工业化制备技术开发: 完成超高立构定向性超高聚合活性聚丙烯催化剂的开发并形

成单批 100kg 级工业生产能力。掌握直接聚合制备电工级超纯聚丙烯技术，在国产工艺聚丙烯生产装置上生产的电容膜用聚丙烯产品灰分 $\leq 15\text{ppm}$ 。生产电工级低灰分聚丙烯产品 10000 吨以上。实现在  $4\text{-}8\mu\text{m}$  的金属化电容膜、 $9\text{-}14\mu\text{m}$  的粗化电容膜以及小于  $16\mu\text{m}$  的干法锂电池隔膜上的应用；

2. 聚丙烯基电工材料综合性能调控机理及优化方法研究：（1）阐明聚丙烯膜储电性能和导电行为的影响因素，获得基础电性能与耐温性优异的薄膜用改性聚丙烯。制备厚度 $\leq 8.3\mu\text{m}$ 、宽幅 $\geq 3\text{m}$ 、长度 $\geq 2000\text{m}$ 的固相接枝聚丙烯膜， $120^\circ\text{C}$ 下直流击穿场强 $\geq 650\text{kV/mm}$ ，储能密度不低于  $3.2\text{J/cm}^3$ （90%以上充放电效率）。（2）获取聚丙烯隔膜在电化学过程中老化的关键影响因素，形成提升聚丙烯隔膜耐老化性能的优化技术方案。（3）获得聚丙烯材料综合性能关键结构参数，揭示接枝改性提升聚丙烯绝缘性能的微观机制，获得性能优异的聚丙烯基半导体屏蔽材料配方方案。建立 10 项以上灰分、橡胶相等结构参数与聚丙烯电缆料综合性能（击穿强度、空间电荷、介质损耗等）之间的数据集，提取正态化重要性达 70%以上的聚丙烯性能关键影响因素。（4）提出接枝聚丙烯绝缘材料挤出加工核心部件关键结构参数，实现绝缘长时间稳定挤出加工。连续挤出 100m 电缆，厚度波动不大于 1.5%。

**项目实施期限：3 年**

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**直接聚合法；电工级聚丙烯；聚丙烯电工材料；性能调控

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

#### 4.4 超高分子量聚乙烯成套技术及茂金属催化剂关键组分开发（产品研发）

**研究目标：**开发出超高分子量聚乙烯成套技术，建成工业装置，开发出高性能超高分子量聚乙烯产品，满足下游企业的应用要求；研究低缠结超高分子量聚乙烯结构调控和缠结机理，制备低缠结超高分子量聚乙烯；开发茂金属催化剂助催化剂甲基铝氧烷（MAO）、有机硼化合物及硅胶载体，性能达到进口产品水平。

本项目设置 2 项课题。

##### **课题 1：**超高分子量聚乙烯成套技术开发

**研究内容：**开发技术自主可控的窄粒径分布球形/类球形高性能超高分子量聚乙烯专用催化剂，获得窄粒径分布、高堆积密度的超高分子量聚乙烯粉料产品，且分子量易于调节，满足超高分子量聚乙烯工艺的需求；开发超高分子量聚乙烯纤维和动力电池隔膜用超高分子量聚乙烯产品，形成系列化；基于自主高性能超高分子量聚乙烯专用催化剂技术和

产品开发技术，完成超高分子量聚乙烯成套技术开发，建成工业装置，产出合格产品；探索低缠结超高分子量聚乙烯结构调控和缠结机理，形成低缠结超高分子量聚乙烯储备技术。

## **课题 2：茂金属催化剂载体及助催化剂制备研究**

**研究内容：**揭示烷基铝动态水解、分子结构形成及调控规律，形成高效、低成本、安全、环保的 MAO 制备技术；开展有机硼化合物的制备技术开发；考察硅胶载体制备过程中溶胶-凝胶反应、洗涤纯化、喷雾成型及活化等工艺条件的影响，形成硅胶载体的可控制备技术。

### **项目考核指标：**

1. 开发超高分子量聚乙烯成套技术：（1）开发高性能超高分子量聚乙烯专用催化剂技术（工业聚合活性 $>25000\text{g/gCat}$ ）；（2）建成工业装置，产能规模超过 10 万吨/年；（3）开发 2 个超高分子量聚乙烯产品，分子量在 40-1000 万范围内可控；1）动力电池隔膜料堆积密度 $\geq 0.45\text{g/ml}$ ，灰分 $<200\text{ppm}$ ，隔膜室温离子电导率 $\geq 1 \times 10^{-4}\text{S/cm}$ ；2）纤维料分子量 $\geq 400$  万，工业化纤维强度 $>42\text{cN/dtex}$ ，纤维模量 $>1400\text{cN/dtex}$ ，工业化纤维断裂伸长率 $<3\%$ ，纤维强度 CV 值 $<5\%$ ；（4）实现超高分子量聚乙烯纤维料、超高分子量聚乙烯膜料的规模化生产，2025-2030 年总产量超过 5 万吨；（5）形成低缠结超高分子量聚乙烯储备技术，低缠结超高分子量聚乙烯  $Tm1 \geq 140^\circ\text{C}$ ， $Tm1 - Tm2 > 5^\circ\text{C}$ ，初生态结

晶度>70%。

2. 甲基铝氧烷、有机硼化合物和硅胶载体性能达到进口产品水平：（1）甲基铝氧烷的三甲基铝含量 $\leq 5\text{wt}\%$ ，气铝比 1.55-1.75；（2）有机硼化合物纯度 $\geq 98\%$ ；（3）硅胶比表面积  $280\text{-}350\text{m}^2/\text{g}$ ，孔体积 $\geq 1.50\text{cm}^3/\text{g}$ ， $\text{SiO}_2$  含量 $\geq 99.30\text{wt}\%$ ，平均粒径  $35\text{-}49\mu\text{m}$ 。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**超高分子量聚乙烯纤维；甲基铝氧烷；有机硼化合物；硅胶

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

#### **4.5 SSBR 官能化机理研究及在高性能轮胎中的应用验证（应用验证）**

**研究目标：**本项目针对国家对高性能轮胎用合成橡胶的迫切需求，开发官能化 SSBR 稳定生产技术，阐明官能化 SSBR 与纳米填料的界面作用机制，明晰产品构效关系；形成官能化 SSBR/纳米填料配合及加工技术，完成高性能轮胎试制及应用性能评价。

本项目设置 2 项课题。

### **课题 1: 官能化 SSBR 高性能轮胎产品应用验证**

**研究内容:** 开发适用于高性能轮胎的特定牌号官能化 SSBR 稳定生产技术; 开发官能化 SSBR 与白炭黑的配合技术, 满足高安全、低油耗轮胎的胎面性能需求; 开发官能化 SSBR/白炭黑的混炼生产工艺, 满足现代轮胎规模化加工设备对加工性能的需求; 统筹配方设计、工艺设计、结构设计和花纹设计, 完成高性能轮胎试制及应用性能评价。

### **课题 2: SSBR 链中及链端官能化的机理研究**

**研究内容:** 表征不同类型 SSBR 的微观结构、官能化种类和含量; 分析评价不同类型官能化 SSBR 的加工应用性能; 研究不同官能化 SSBR 结构与混炼胶门尼粘度等系列加工应用性能的关联关系; 建立官能化 SSBR/纳米填料界面性能和填料网络结构的表征方法; 分析不同类型官能化 SSBR 与白炭黑的相容性和界面作用机制; 研究官能化橡胶多层次结构、橡胶/纳米填料的分散与界面作用与复合材料宏观性能的关联关系; 开展官能化 SSBR 构效关系的人工智能方法研究。

### **项目考核指标:**

1. 官能化 SSBR 高性能轮胎产品应用验证: 开发两类适用于高性能轮胎的特定官能化 SSBR 牌号; 开发绿色轮胎胎面胶复合材料, 拉伸强度 $\geq 18\text{MPa}$ , 扯断伸长率 $\geq 360\%$ ; 完成每批次不少于 200kg 规模的胎面材料工程化试制, 材料加工工艺满足车间生产需求; 实现轿车子午线轮胎制备, 轮胎滚动阻力系数  $\text{RRC} \leq 6.0$  (N/kN, ISO28580-2018)、湿路面抓

着性指数  $G \geq 1.55$  (ECE R117), 优于轮胎标签法双 A 级水平。

2. SSBR 链中及链端官能化的机理研究: 建立官能化 SSBR 官能团类型、数量及位置(链中或链端)的表征方法; 完成官能化 SSBR 与白炭黑界面作用的模拟计算; 阐明官能化 SSBR 与白炭黑的界面性能和填料分散性的响应关系; 建立官能化 SSBR 性能库及 AI 预测模型; 完成对 3 类官能化 SSBR 的结构、加工性能和宏观性能的表征与评价, 明晰产品构效关系, 指导官能化 SSBR 分子设计和轮胎实用配方开发。

**项目实施期限:** 3 年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事前补助。

**关键词:** 官能化溶聚丁苯橡胶; 滚动阻力; 抗湿滑性能; 界面性能; 机理

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过 15 个。

#### 4.7 液体橡胶构效关系研究及系列化产品开发(产品研发)

**研究目标:** 本项目探明配位和阴离子聚合工艺条件对液体橡胶分子结构特性的影响规律, 厘清液体橡胶分子微观结

构调控和催化剂失效机制，建立液体橡胶多尺度结构与性能的响应关系，明晰 5G 通讯高频覆铜板和柔性树脂版用液体丁苯橡胶的分子结构特性，开发液体丁苯橡胶微观结构精准控制技术，产出满足 5G 通讯高频覆铜板和柔性树脂版性能需求的液体丁苯橡胶，通过头部应用企业的生产认证。明晰轮胎和涂料领域用液体聚丁二烯橡胶分子结构特性，开发出满足轮胎和涂料性能需求的液体聚丁二烯橡胶产品，通过头部应用企业的技术认证。

本项目设置 2 项课题。

### **课题 1: 液体橡胶系列化产品开发**

**研究内容:** 开展高频电子电路和柔性印刷用液体丁苯橡胶分子结构设计和精准控制技术研究，开发 1 个 5G 通讯高频覆铜板用液体丁苯橡胶牌号和 1 个柔性树脂版用液体丁苯橡胶牌号，产品通过国内头部企业生产认证。明晰轮胎和涂料领域用液体聚丁二烯橡胶分子结构，构建新型催化剂体系，实现液体聚丁二烯橡胶分子结构的精准控制，完成 2 个涂料用液体聚丁二烯橡胶牌号和 2 个轮胎用液体聚丁二烯橡胶牌号开发，产品通过国内头部企业技术认证。

**课题 2: 高立构液体橡胶合成机制及多尺度结构构效关系研究**

**研究内容:** 研究配位及阴离子催化剂体系对液体橡胶近程结构、分子量及多分散性等的影响，厘清液体橡胶 1,2-结构含量、立构规整度调控及催化剂失效机制，揭示液体橡胶

分子链结构、交联网络及凝聚态等多尺度结构对性能的影响规律，探究双键分子链内成环对耐高温、介电和力学强度等性能的影响规律。

### 项目考核指标:

1. 液体橡胶系列化产品开发: 高频电子电路用液体丁苯橡胶: 乙烯基含量 72-82wt%、苯乙烯嵌段含量 $\leq$ 1wt%、金属含量 $\leq$ 3mg/kg、制备的高频覆铜板的剥离强度 $\geq$ 0.7N/mm, 玻璃化温度 (DMA)  $\geq$ 205 $^{\circ}$ C, SPDR@10GHz 介电常数 $\leq$ 3.7, 介电损耗 $\leq$ 0.0038, 产品通过国内覆铜板头部企业生产认证。柔性树脂版用液体丁苯橡胶: 乙烯基含量 20-40wt%、苯乙烯嵌段含量 $\leq$ 1wt%、金属含量 $\leq$ 3mg/kg、制备的 1.7mm 柔性树脂版粘结力 $\geq$ 25N/2cm, 透光率 $\geq$ 60%, 雾度 $\leq$ 15%, 产品通过国内柔性印刷头部企业生产认证。涂料用液体聚丁二烯橡胶: 乙烯基含量 8-50wt%、玻璃化温度-100 $^{\circ}$ C至-70 $^{\circ}$ C、25 $^{\circ}$ C动力粘度 5-150 泊, 产品通过涂料企业技术认证。轮胎用液体聚丁二烯橡胶: 乙烯基含量 10-35wt%、玻璃化温度-96 $^{\circ}$ C至-72 $^{\circ}$ C、25 $^{\circ}$ C动力粘度 5-50 泊, 产品通过国内轮胎头部企业技术认证。

2. 高立构液体橡胶合成机制及多尺度结构构效关系研究: 实现高立构液体橡胶低温 (0 $^{\circ}$ C) 聚合, 乙烯基含量 1-97wt%、间同立构含量 20-50wt%可调, 乙烯基改性结构 $\geq$ 4种, 建立高立构规整液体橡胶的构效关系表征方法。

项目实施期限: 3 年

### **项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**高立构液体聚丁二烯橡胶；液体丁苯橡胶；聚合机制；构效关系

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **4.8 ECMO用PMP膜和高端包装BOPE薄膜生产技术开发及产品应用（产品研发）**

**研究目标：**基于对高分子膜材料微观结构调控、高性能膜加工等共性技术的研究，开发医用特种高强度透气膜、ECMO 用 PMP 膜和高端包装 BOPE 薄膜生产技术及产品应用。突破 4-甲基-1-戊烯单体制备技术，开发 PMP 成套技术，建成中试装置，产出合格产品；开发 BOPE 膜成套技术及系列化高端产品，优化 BOPE 膜及其专用料的产品性能，拓展应用领域，满足高端食品包装等应用需求；基于高分子溶液相分离和热熔合技术路线，制备具有微孔结构的透气膜材料，研究透气膜结构性能关系。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**人工肺膜用 PMP 及其单体成套技术开发

**研究内容：**研究 4-甲基-1-戊烯催化剂和 PMP 催化剂制备技术，建立“催化剂结构与反应性能”的构效关系，揭示

反应机理；研究催化剂放大技术，开发丙烯二聚制 4-甲基-1-戊烯技术和 PMP 聚合技术，建设吨级中试装置，考察放大效应；开发产物分离工艺，编制百吨级 4-甲基-1-戊烯和 PMP 成套技术工艺包。

**课题 2：BOPE 专用树脂生产技术开发与膜产品加工工艺及其验证**

**研究内容：**剖析双向拉伸聚乙烯多级结构特征，研究聚乙烯树脂在双向拉伸过程中聚集态结构演变机理；开发高速高倍率拉伸的 BOPE 专用树脂生产技术，并实现树脂的工业化生产；评价 BOPE 树脂与工业化双向拉伸高速生产线的匹配性和加工性能，开发聚乙烯高速双向拉伸成套制备工艺，实现 BOPE 薄膜产品的工业化生产；开发高耐热、消光型等系列 BOPE 薄膜产品生产技术；开发单一材质、减量化等环保型 BOPE 复合包装产品生产技术，包装产品在食品、日用等行业形成应用示范。

**课题 3：透气膜结构性能关系研究**

**研究内容：**研究聚合物分子量及分布等分子链结构与高强医用透气膜性能的构效关系；研究微细纤维成型过程不同温度、压力、溶剂、浓度等成膜工艺对透气膜结构的影响机制；研究纤维结晶、取向等凝聚态结构与透气膜力学、透气性能的构效关系；研究空间微孔结构与透气膜微生物阻隔、透气度等服役性能的平衡关系；阐明聚合物种类、成型工艺、微细纤维空间拓扑结构等对透气膜微观孔道形成及性能的

调控机制。

### 项目考核指标:

1. 突破 4-甲基-1-戊烯单体制备技术, 开发PMP成套技术: (1) 完成催化剂制备及放大技术开发, 明晰催化剂结构和反应性能的构效关系; (2) 丙烯转化率 $\geq 30\%$ , 4-甲基-1-戊烯选择性 $\geq 85\%$ , PMP树脂密度 $< 0.85\text{g/cm}^3$ , 热变形温度 $\geq 90^\circ\text{C}$ , 熔点 $220\sim 240^\circ\text{C}$ , 介电常数 $< 2.2$ ; (3) 建成 4-甲基-1-戊烯和PMP吨级中试装置, 完成不低于百吨级装置的工艺包开发, 要求 4-甲基-1-戊烯产品纯度 $\geq 98.5\%$ , 达到聚合要求; (4) 开发出 2 个牌号的PMP产品, 满足ECMO膜用要求。

2. 开发高端包装BOPE膜成套技术及系列化产品: (1) 阐明双向拉伸聚乙烯树脂分子链结构等在加工过程中与BOPE薄膜服役行为的映射关系, 明确影响稳定双向拉伸的内在机制; (2) 完成BOPE专用树脂的生产技术开发和工业化生产; (3) 完成双向拉伸薄膜成套制备工艺开发, 完成BOPE薄膜工业化生产, 生产速度大于 300 米/分钟, 纵向拉伸倍率大于 5 倍, 横向拉伸倍率大于 9 倍, 薄膜生产能力达到 3 亿平方米/年; (4) 完成高耐热、消光型等系列BOPE薄膜产品的工业化生产和应用验证, 消光型产品雾度 $\geq 70\%$ , 光泽度 $\leq 15\text{GU}$ , 高耐热产品耐温性 $\geq 100^\circ\text{C}$ ; (5) 完成 2 种环保型BOPE复合包装产品的生产技术开发, 完成环保型包装产品在食品、日用等领域的应用示范建设。

3. 透气膜结构性能关系研究：建立高强微孔透气膜的微结构与功能性的关联；建立医用特种高强度透气膜生产过程模拟及透气膜微生物阻隔模型。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**4-甲基-1-戊烯；PMP；双向拉伸聚乙烯；成套工艺；阻隔透气膜

**有关说明：**项目参研单位数量不超过20个。

#### **4.9 氮气分离膜专用聚酰亚胺材料开发及膜微结构调控机制研究（产品研发）**

**研究目标：**本项目以“数据”和“机理”协同驱动高效开发聚酰亚胺材料，实现埃米级高分子自由体积的尺寸控制。开发聚酰亚胺材料合成工艺，探明工业放大过程中工艺参数对聚酰亚胺材料结构及性能的影响，开展工业示范生产装置。明晰膜分离用微孔材料微结构形成、缺陷控制、后处理等过程对分离性能的影响规律，建立微孔材料膜结构设计方法；厘清高压复杂组分下膜微结构演化机制，获得苛刻条件下膜性能稳定性控制及性能再生方法；研制出具有耐高压、高选择性的氮气分离膜材料及膜产品。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1:** 氮气分离膜专用聚酰亚胺材料开发及工业示范装置建设

**研究内容:** 面向氮气分离膜，开发具有自主知识产权的国产化气体分离膜用聚酰亚胺材料，构建分离膜用聚酰亚胺结构与分离性能的数据库和 AI 预测模型，实现埃米级高分子自由体积的尺寸控制；开发聚酰亚胺材料的合成工艺，编制工业化制备聚酰亚胺的工艺包，设计工业化合成聚酰亚胺的成套工艺；建设聚酰亚胺中试生产线，研究工业放大过程中工艺参数对聚酰亚胺材料结构及性能的影响；建设工业规模聚酰亚胺合成产线。

**课题 2:** 贫氮天然气用中空纤维分离膜制备及其微结构调控机制

**研究内容:** 开发面向贫氮天然气直接提氮的高选择性氮气分离用碳分子筛微孔材料；研究其亚纳米微结构形成过程、成膜缺陷控制、后处理过程等对气体分离性能的影响机理，建立用于贫氮天然气提氮的中空纤维微孔材料膜的结构设计方法；辨析在高压、复杂组分条件下的膜微结构演化机制，发展分离膜性能稳定性控制方法；开发以碳分子筛为核心材料，研制具有耐高压、高分离选择性的氮气分离膜材料及膜产品。开发高透气型氮气分离膜用微孔材料；研究成膜过程、分离膜内高分子取向度控制、分离膜后处理技术对分离性能的影响机理；开发以聚合物为核心材料，控制膜内取

向度，具备多层复合结构的，高性能、耐高压氮气分离膜。

### 项目考核指标：

1. 氮气分离膜专用聚酰亚胺材料开发及工业示范装置建设：完成 2-3 个国产化聚酰亚胺产品开发，获得专用聚酰亚胺牌号，氮气分离膜用聚酰亚胺产品的重均分子量在 10-40 万可控，多分散系数在 1.0-2.5 之间，纯度超过 99.8%，拉伸强度大于 80 MPa；本征氮气渗透系数大于 80 Barrer，氮气/甲烷分离选择性大于 200，完成氮氮分离膜用聚酰亚胺产品开发，材料本征氮气/氮气分离选择性大于 6.5，氮气渗透系数大于 10 Barrer；完成工业合成聚酰亚胺材料的成套工艺包 1 个，建成 20 吨/年氮气分离膜用聚酰亚胺工业示范装置一套。

2. 贫氮天然气用中空纤维分离膜制备及其微结构调控机制：完成膜分离用微孔聚合物等新型高分子材料开发；完成相应制膜方法，成膜规律研究；完成对中空纤维氮气分离膜内部自由体积、取向度等定量分析指标检测方法的建立，实现对其的有效控制；完成微孔聚合物成膜过程，热退火、交联、涂覆功能层对新型膜性能影响机理的研究；完成新型分离膜产品研发。完成贫氮天然气提氮膜用微孔材料的结构设计及开发；完成相应制膜方法及成膜规律研究，实现贫氮天然气直接提氮膜材料的结构优化与制备；获得苛刻条件下膜性能稳定性控制及性能再生方法；完成新型氮气分离膜产品研发，膜材料耐压性达到 10 MPa 以上，氮气/甲烷分离选

择性达到 1000 以上，针对氦气浓度 1500 ppm 以下的氦气原料气，提浓倍数达到 30 倍以上。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**氦气分离膜；氦氮分离；聚酰亚胺；工业合成装置；贫氦天然气提氦

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

#### **4.10 EVOH 成套技术开发及产品应用（产品研发）**

**研究目标：**开发 EVOH 树脂及阻隔膜成套技术，建成 1.2 万吨/年 EVOH 工业示范装置；完成 F 型和 H 型 EVOH 树脂工业化产品开发，产出合格产品；开发用于膜材、片材、管材等应用的 EVOH 高阻隔膜，完成应用验证；探明 3-5 种适用于气体阻隔的聚合物薄膜结构性能关系。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**EVOH 高阻隔膜阻隔性能研究

**研究内容：**基于国产 EVOH 制备的单层膜，开展 EVOH 单膜对氧气、氮气、氢气、二氧化碳等气体的阻隔性研究；研究 EVOH 分子结构、单膜凝聚态结构、纳米改性和多层膜结构对阻隔性的影响。研究光、热、化学溶剂、湿度等对 EVOH

单膜阻隔性能的影响，确定各种条件下 EVOH 阻隔性的变化趋势。

### **课题 2: 万吨级 EVOH 成套技术开发及产品开发**

**研究内容:** 开展聚合动力学、流场分布、共聚物结构调控、高效醇解机理、EVOH 相分离路径、深度干燥机理等基础理论研究，解决关键核心技术问题;开发大型高压聚合釜、高效传热传质搅拌器、长周期高效冷凝器、多级醇解反应器、一体化纯化成型设备、深度干燥机组等专用设备，解决关键设备技术瓶颈;开展工程技术研究，形成具有自主知识产权的万吨级 EVOH 树脂工业化成套技术，建成工业示范装置，开展装置运行优化研究。研究 EVOH 树脂结构性能关系以及结构性能调控技术，确定生产工艺参数，开发 F 型和 H 型 EVOH 工业化产品。

### **课题 3: EVOH 高阻隔树脂应用验证**

**研究内容:** 基于国产 EVOH，开展阻隔性、透明性、机械性能、耐热性、加工稳定性等测试，完成应用性能测试评价;研究不同加工工艺对 EVOH 高阻隔膜凝聚态结构和性能的影响规律，确定不同应用领域加工技术条件;开展 EVOH 高阻隔膜在管材、片材、膜材等领域的应用验证，完成在 PE-RT、PEX-a 等三层或五层阻氧地暖管领域的批量应用，完成在五层、七层或九层高阻隔膜领域的批量应用，完成在多层片材领域的批量应用。

### **项目考核指标:**

1. EVOH 高阻隔膜阻隔性能研究：（1）完成 EVOH 单膜和多层膜对不同气体阻隔性的分析测试。气体种类覆盖氧气、氮气、氢气和二氧化碳，测试温度 20°C，稳定性测试时间不少于 24 小时。（2）完成亚纳米（ $\leq 1\text{nm}$ ）和胶体纳米（ $\leq 100\text{nm}$ ）粒子复合改性 EVOH 单膜，测试对不同气体阻隔性。气体种类覆盖氧气、氮气、氢气和二氧化碳，测试温度 20°C，稳定性测试时间不少于 24 小时。（3）发展原位研究方案，表征在模拟太阳光下、温度场下（20-60°C）、化学溶剂（烷烃类、氯代烃类等）等环境下 EVOH 膜结构演化机制。聚集态结构测试空间尺度覆盖 0.1-1000 nm，时间分辨达到 0.1 秒。测试同样条件下的膜阻隔性能，形成 EVOH 分子结构、单膜凝聚态结构、多层膜结构与阻隔性的数据库 1 套。

2. 万吨级 EVOH 成套技术开发及产品开发：（1）完成 EVOH 树脂工业化成套技术开发。（2）开展国内首套 1.2 万吨/年 EVOH 工业示范装置的优化研究，生产负荷达到 100%。装置竣工验收，通过 72 小时性能考核。（3）F 型工业化产品技术指标：①熔融指数（190°C，2160g）：1.5-2.5g/10min；②乙烯含量：30.0-34.0mol%；③挥发份 $\leq 0.3\%$ (w)；④密度：1.10-1.20g/cm<sup>3</sup>；⑤色度 $\leq 20$ ；⑥产品透氧率 $\leq 0.4\text{cm}^3 \cdot 20\mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}(20^\circ\text{C}, 65\text{RH}\%)$ 。（4）H 型工业化产品技术指标：①熔融指数（190°C，2160g）：1.5-2.5g/10min；②乙烯含量：36.0-40.0mol%；③挥发份 $\leq 0.3\%$ (w)；④密度：1.10-1.20g/cm<sup>3</sup>；⑤色度 $\leq 20$ ；⑥产品透氧率

$\leq 1.0\text{cm}^3 \cdot 20\mu\text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}(20^\circ\text{C}, 65\text{RH}\%)$ 。

3. EVOH 高阻隔树脂应用验证：（1）完成国产 EVOH 应用性能测试评价，获取在管材、膜材等领域的上机测试数据，其中 PE-RT 管材按照测试标准 GB/T34437，透氧率  $\leq 0.32\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。（2）完成加工工艺对 EVOH 高阻隔膜凝聚态结构和性能的研究，确定在共挤吹膜、流延、拉伸等工艺条件对 EVOH 膜凝聚态和阻隔性能等的影响规律。（3）完成国产 EVOH 在管材、片材、膜材领域的应用验证；3 年分别在管材、片材和膜材领域累计实现销量 500、500、1000 吨。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**EVOH 树脂；成套技术；工业示范装置；阻隔性；应用研究

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

#### 4.11 生物基芳香族聚酯及其单体关键技术开发与应用 (产品研发)

**研究目标：**本项目以生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯 (PTT)、聚呋喃二甲酸乙二醇酯 (PEF)、聚对苯二甲酸

乙二醇酯（PET）、聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）等芳香族聚酯为研究对象，开展其生物基单体制备、聚合工艺、应用验证等系列关键技术及产业化技术的开发。获得生物基芳香族聚酯关键单体原料的产业化关键技术、生物基芳香族聚酯聚合反应的产业化关键技术，实现生物基芳香族聚酯的产品应用验证。打通关键生物基单体到生物基芳香族聚酯再到工程化应用的全产业链，建立系列规模化示范工程。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1:** 生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯及单体 1,3-丙二醇的关键技术开发与应用

**研究内容:** 构建具有自主知识产权的 1,3-丙二醇（PDO）高产菌株，开发发酵及精制工艺，制备聚合级生物基 PDO；以聚合级生物基 PDO 为原料，优化聚合技术工艺，开发高效环保复配催化剂及纺丝级聚对苯二甲酸丙二醇酯（PTT）产业化技术，研究纺丝工艺，制备生物基 PTT 树脂；建立规模化示范工程。开展生物基 PTT 纤维的应用研究。针对产业链的碳足迹全生命周期评价研究。

**课题 2:** 生物基聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚呋喃二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯及单体乙二醇、呋喃二甲酸的关键技术开发与应用

**研究内容:** 探索以生物质为原料制备生物基乙二醇（EG）、生物基呋喃二甲酸（FDCA）的技术路线，设计和制备高转化率、高选择性和高稳定性的催化剂；开发生物基

EG、FDCA 制备的反应工艺和分离纯化工艺；建立规模化示范工程。以生物基 EG、FDCA、BDO 为原料，制备生物基聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚呋喃二甲酸乙二醇酯（PEF）、聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）树脂。开展生物基 PEF 在包装领域的应用研究。针对产业链的碳足迹全生命周期评价研究。

### **课题 3：生物基工程塑料聚酯产品开发及应用**

**研究内容：**基于本项目的生物基聚对苯二甲酸丁二醇酯 PBT、聚对苯二甲酸乙二醇酯 PET 树脂，开发低挥发低析出高耐热的有卤阻燃生物基聚酯产品、低析出低腐蚀高 CTI 耐水解的无卤阻燃生物基聚酯产品、快速成型、良外观、高性能的有卤阻燃生物基聚酯 3 种典型工程塑料材料，完成在继电器/通讯连接器、新能源/智能装备、OA/电子电气行业等产品中的应用验证。

### **项目考核指标：**

1. 生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯及单体 1,3-丙二醇的关键技术开发与应用：（1）生物基 PDO 产品纯度 $\geq 99.95\%$ ，转化率 $\geq 0.5$  g/g 葡萄糖；（2）生物基 PTT 特性粘度 $\geq 0.92$  dL/g，PTT 纤维卷曲收缩率 $\geq 36.5\%$ ；（3）2027 年生物基 PTT 聚酯产业链规模达到 10 万吨。

2. 生物基聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚呋喃二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯及单体乙二醇、呋喃二甲酸的关键技术开发与应用：（1）生物基 EG 有效选择性不低于 90%，

同时探索多种制备技术，纯度 $\geq 99.9\%$ ，FDCA 纯度 $\geq 99.9\%$ ；  
(2) 生物基 PET，特性粘度 $\geq 0.675\text{dL/g}$ ，熔点 $\geq 252^\circ\text{C}$ ；(3)  
生物基 PEF，特性粘度 $\geq 0.70\text{dL/g}$ ，拉伸模量 $\geq 1800\text{MPa}$ ；(4)  
生物基 PBT，特性粘度 $\geq 0.82\text{dL/g}$ ，端羧基含量 $\leq 30\text{mol/t}$ ；(5)  
2027 年 2,5-呋喃二甲酸生产规模不低于 5 千吨，乙二醇生产  
规模不低于 1 万吨，生物基 PET、PEF、PBT 聚酯产业规模  
不低于 4 万吨。

3. 生物基工程塑料聚酯产品开发及应用：(1) 低挥发、  
低析出、高耐热的有卤阻燃生物基 PBT 材料，用于高压电力  
用继电器产品，防火等级满足 0.3mmV-0，挥发性有机物  
TVOC 总量 $\leq 30\text{ppm}$ ，RTI 值 $\geq 140^\circ\text{C}$ （UL 认证）；(2) 低析  
出、低腐蚀、高 CTI、耐水解的无卤阻燃生物基 PBT 材料，  
拉伸性能保持率 $\geq 70\%$ （ $85^\circ\text{C}$ 、 $85\%\text{RH}$ 、 $1000\text{hrs}$ ），用于新  
能源汽车上的高压配电盒(BDU)，注塑机热滞留色差 $\Delta E \leq 5$   
（ $270^\circ\text{C}/10\text{min}$ ），达到 V-0 的防火等级（ $1.0\text{mm}$ ），配电盒  
表面通过湿态（ $0.1\%$ 氯化铵水溶液）下 600V 电压测试的行业  
要求；(3) 快速成型、良外观、高性能的有卤阻燃生物基  
PET 材料，拉伸强度 $\geq 130\text{MPa}$ ，MI $\geq 10\text{g}/10\text{min}$   
（ $270^\circ\text{C}/2.16\text{KG}$ ），熔融结晶温度 $\geq 210^\circ\text{C}$ （DSC 测试），用  
于电子电气的马达电机/压缩机部件，冷热冲击不开裂（ $-30 \sim$   
 $125^\circ\text{C}$ ，200 循环），耐冷媒沉淀物含量 $\leq 0.1\text{wt}\%$ （耐氟测试，  
 $150^\circ\text{C}/4.2\text{MPa}/168\text{h}$ ）。

项目实施期限：3 年

### **项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**生物基 PTT；生物基 PEF；生物基 PET；生物基 PBT；工程塑料聚酯

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

### **4.12 秸秆基聚乳酸关键技术开发与应用（产品研发）**

**研究目标：**本项目以秸秆为原料，开展核心水解酶、秸秆制糖、秸秆糖发酵乳酸、秸秆基乳酸聚合等关键技术及产业化技术的开发。以聚乳酸 PLA、生物基聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯 PBAT、生物基聚丁二酸丁二醇酯 PBS 等生物基聚酯为原料，开发结构调控、复配改性等技术，完成食品包装领域的绿色产品开发及应用验证。打通生物质原料到生物基单体在生物基食品包装用聚酯，以及生物质原料直接到生物基食品包装用聚酯产业链，并针对特定包装方向进行产品开发和验证，建立系列规模化示范工程。

本项目设置 2 项课题。

#### **课题 1：秸秆基聚乳酸关键技术开发与应用**

**研究内容：**研发高效低能耗预处理技术与装备，完成预处理成套装备设计与制造。开发高效能秸秆水解关键酶及其表达技术，形成自主知识产权的酶。建立秸秆制糖规模化示

范工程，应用于聚乳酸的生产。针对产业链的碳足迹全生命周期评价研究。

## **课题 2：生物基聚酯食品包装产品开发与应用**

**研究内容：**基于聚乳酸 PLA、生物基聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯 PBAT、生物基聚丁二酸丁二醇酯 PBS 树脂等生物基聚酯树脂，筛选可用于食品包装的生物基聚酯结构；研究不同生物基聚酯材料的相容性，以及加工流动性；开发 3 种典型食品包装材料，完成在餐饮包装袋、吸管、咖啡胶囊产品中的应用验证。

### **项目考核指标：**

1. 秸秆基聚乳酸关键技术开发与应用：（1）单套预处理装备处理能力 $\geq 15\text{t}$  秸秆/h；（2）开发具有自主知识产权的综纤维素水解关键酶，综纤维素酶解率 $\geq 90\%$ ，糖得率 $\geq 0.35\text{g/g}$  秸秆；（3）2027 年秸秆糖生产规模不低于 10 万吨/年，秸秆基聚乳酸规模不低于 5 万吨/年。

2. 生物基聚酯食品包装产品开发与应用：（1）3 种典型食品包装材料，材料达到食品接触级，50%乙醇总析出 $\leq 10\text{mg/d m}^2$ 。完成在餐饮包装袋、吸管、咖啡胶囊产品中的应用验证。其中 1) 高强度高承重餐饮包装袋专用材料，承重 $\geq 5\text{kg}$ （ $35\mu\text{m}$ ，GB/T38082）；制备的餐饮包装袋，标称承重下动态提吊测试 $\geq 1800$  次（振幅  $30\pm 2\text{ mm}$ ，频率  $3\text{ Hz}$ ）稳定通过；2) 开发热饮吸管专用材料，缺口冲击强度 $\geq 4\text{ kJ/m}^2$ ，热变形温度 $\geq 85^\circ\text{C}$ ；制备的热饮吸管产品，耐热性能（ $80^\circ\text{C}$ 水搅拌）、

耐冷冻性能（-15℃、24h）、耐老化性能（85℃、85%RH，加速老化≥24h）满足用户需求；3）咖啡胶囊专用材料，产品 MI≥30 g/10min（190℃，2.16kg）。制备出的 0.8mm 厚度咖啡胶囊，初始推拉力值≥25N，老化推拉力值保持率≥60%（60℃、60%RH，9 天）。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**秸秆制糖；预处理；综纤维素酶；生物基聚酯；绿色食品包装

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

#### **4.13 聚羟基脂肪酸酯制备关键技术开发与应用(产品研发)**

**研究目标：**本项目攻克材料性能差、提纯难、成本高等聚羟基脂肪酸酯 PHA 产业化瓶颈，建立系列规模化示范工程，实现 PHA 的规模化生产，并完成 PHA 的应用验证。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**构建自主知识产权聚羟基脂肪酸酯 PHA 生产菌株，优化快速发酵工艺，开发 PHA 聚合度调控技术及水相提纯工艺，建立规模化示范工程，获得高纯度 PHA 材

料。开展生物基 PHA 的应用研究。

**考核指标:**

1. PHA 转化率 $\geq 0.33\text{g/g}$  葡萄糖, 生产强度 $\geq 2.5\text{g/L/h}$ ;
2. PHA 纯度 $\geq 99\%$ ;
3. 2027 年生物基 PHA 生产规模 $\geq 1$  万吨;
4. 针对产业链的碳足迹全生命周期评价研究。

**项目实施期限:** 3 年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事后补助。

**关键词:** 高纯度 PHA

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过 10 个。

#### 4.14 生物基可降解橡胶制备关键技术及产业化(产品研发)

**研究目标:** 掌握生物基可降解橡胶聚合机理和聚合工艺, 完成 1 万吨每年生物基可降解橡胶生产线建设及稳定生产工艺; 完成生物基可降解橡胶聚合用生物基单体的中试装置建设; 开发出生物基可降解橡胶功能化应用领域, 实现国际领先水平。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容:** 开展生物基可降解橡胶单体的菌种构建, 发

醇工艺，分离工艺研究。开展新型可化学交联的生物基可降解橡胶分子结构设计及放大聚合工艺研究，明确其分子结构、聚集态结构等与性能的构效关系，建立可控降解调节机制，并开展功能化应用探索；此外，设计出可化学交联的生物基可降解橡胶万吨级连续化生产工艺软件包，建设万吨级生物基可降解橡胶规模化生产装置。

### **考核指标：**

1. 构建全新途径的 1,3-丙二醇、1,3-丁二醇工程菌株，建设中试装置，产品达到生物基可降解橡胶的聚合要求。建设完成年产 1 万吨可化学交联的生物基可降解橡胶规模化生产装置；

2. 生物基可降解橡胶重均分子量达到 15 万以上，凝胶含量低于 5%，生物降解率达到 70%以上，经交联补强后拉伸强度达到 18MPa 以上，断裂伸长率高于 300%。

**项目实施期限：** 3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：** 可化学交联的生物基可降解橡胶；万吨级连续化生产；可降解橡胶用生物基单体

**有关说明：** 项目参研单位数量不超过 10 个。

#### 4.15 高性能生物基橡胶制备关键技术及产业化(产品研发)

**研究目标:** 突破生物基衣康酸酯橡胶、超聚态天然橡胶、环氧化天然橡胶、蒲公英橡胶、杜仲胶等生物基橡胶制备关键技术, 建设 4 万吨级生物基橡胶规模化生产装置, 制定生物基橡胶标准。开发出生物基橡胶轮胎、生物基橡胶鞋、生物基橡胶橡塑复合材料等生物基橡胶下游产品。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容:** 开展生物基丁二烯和异戊二烯单体的菌种构建, 发酵工艺, 分离工艺研究, 开展生物基衣康酸酯橡胶分子结构设计及放大聚合工艺研究, 开展蒲公英橡胶、杜仲胶、超聚态天然橡胶制备与提取工艺研究, 制定生物基橡胶标准, 建设 4 万吨级生物基橡胶规模化生产装置。

##### **考核指标:**

1. 生物基衣康酸酯橡胶数均分子量达到 25 万以上, 凝胶含量低于 3%;
2. 生产的蒲公英橡胶性能和超聚态天然橡胶达到 3 号烟片胶同等或更高水平;
3. 杜仲胶分子量达到 30 万以上, 橡胶纯度 $\geq 95\%$ ;
4. 环氧化天然橡胶  $0^{\circ}\text{C}$  损耗因子 $\geq 0.35$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  损耗因子 $\leq 0.1$ ;
5. 生物基丁二烯生产成本不高于 2 万元/吨;
6. 生物基橡胶生产规模达到 4 万吨/年。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**生物基橡胶；生物基单体；产业化

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

#### **4.16 生物基长碳链特种聚酰胺制备关键技术及应用(产品研发)**

**研究目标：**本项目对生物基长碳链特种聚酰胺中的关键单体、聚合物及应用验证展开研究。在单体方面，实现生物基十二烷二酸的生物法合成，并对生物基癸二酸及癸二胺的产业化关键技术进行优化。基于生物基十二烷二酸，进行全生物基 PA412 的制备及结构性能研究。以生物基癸二酸及癸二胺等生物基长链二元酸、二元胺为原料制备生物基长碳链聚酰胺、生物基聚酰胺弹性体和生物基透明聚酰胺，并完成材料在新能源汽车和体育用品领域的应用验证和规模化应用。

本项目设置 5 项课题。

**课题 1：**全生物基 PA412 单体及聚合物的制备技术研究

**研究内容：**针对生物基单体十二烷二酸，开展前沿性生物合成技术研究，通过构建高产菌株或生物催化体系，实现

十二烷二酸的高效生物合成；基于生物基十二烷二酸制备全生物基聚酰胺，并研究其链结构、凝聚态结构及结构性能关系。

**课题 2:** 生物基癸二酸及癸二胺制备工艺优化及产业化关键技术

**研究内容:** 优化制备工艺，采用蓖麻油无酚裂解工艺制备癸二酸，提高转化率和单体纯度；设计由癸二酸制备癸二胺的高转化率低成本工艺，提高转化率和单体纯度，进一步降低癸二胺的成本。

**课题 3:** 生物基长碳链聚酰胺产业化关键技术及应用验证

**研究内容:** 以生物基癸二胺等为原料制备生物基长碳链聚酰胺树脂，研究其结构性能关系，并进行产业化生产；突破耐长期高温和介质老化技术等，完成材料在新能源汽车的应用验证和规模化应用。

**课题 4:** 生物基聚酰胺弹性体产业化关键技术及应用验证

**研究内容:** 以生物基长链二元胺制备生物基聚酰胺硬段，通过结构设计和工艺优化，制备生物基聚酰胺弹性体并实现产业化；突破高效超临界发泡技术等，完成材料在体育用品领域的应用验证和规模化应用。

**课题 5:** 生物基透明聚酰胺产业化关键技术及应用验证

**研究内容:** 以生物基癸二酸等生物基单体为原料制备生

物基透明聚酰胺，并实现产业化生产；完成材料在体育用品领域的应用验证和规模化应用。

### 项目考核指标:

1. 全生物基 PA412 单体及聚合物的制备技术研究: (1) 开发十二烷二酸生物催化体系, 实现十二烷二酸产物浓度  $\geq 20\text{g/L}$ ; (2) 制备全生物基聚酰胺 PA412, 相对粘度 2.2-3.0, 端氨基 20-100mol/t, 并研究其结构性能关系。

2. 生物基癸二酸及癸二胺制备工艺优化及产业化关键技术: (1) 由蓖麻油制备癸二酸的摩尔转化率  $\geq 97\%$ , 纯度  $\geq 99.8\%$ , 产能达 2 万吨; (2) 由癸二酸制备癸二胺的摩尔转化率  $\geq 98.5\%$ , 纯度  $\geq 99.9\%$ , 产能达 2.2 万吨。

3. 生物基长碳链聚酰胺产业化关键技术及应用验证: (1) 生物基长碳链聚酰胺熔点  $170-190^{\circ}\text{C}$ , 相对粘度 2.2-2.8, 建成 1 万吨/年生产线; (2) 新能源冷却管路专用料熔点  $170-180^{\circ}\text{C}$ , 初始断裂伸长率  $\geq 150\%$ ,  $120^{\circ}\text{C}$  下在冷却液介质中老化 2000h 后断裂伸长率  $\geq 20\%$ 。

4. 生物基聚酰胺弹性体产业化关键技术及应用验证: (1) 生物基聚酰胺弹性体熔点  $120-190^{\circ}\text{C}$ , 相对粘度  $\geq 3.0$ , 拉伸强度  $\geq 25\text{MPa}$ , 断裂伸长率  $\geq 600\%$ , 直角撕裂强度  $\geq 80\text{kN/m}$ , 建成 2000 吨/年聚酰胺弹性体生产线; (2) 高端鞋材中底专用料密度  $0.008-0.02\text{g/cm}^3$ , 落球回弹率  $\geq 70\%$ 。

5. 生物基透明聚酰胺产业化关键技术及应用验证: (1) 生物基透明聚酰胺玻璃化转变温度  $\geq 130^{\circ}\text{C}$ , 透光率 (2mm)

≥91%，雾度（2mm）≤2.5%，建成 3000 吨/年生产线；（2）轻质高透光学镜片材料 80℃水煮 2h 后镜片无剥离，UV 400 阻隔率≥99%。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**生物基十二烷二酸；生物基癸二胺；生物基长碳链聚酰胺；新能源汽车；体育用品

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

#### 4.17 生物基耐高温聚酰胺制备关键技术及应用(产品研发)

**研究目标：**本项目对生物基耐高温聚酰胺中的关键单体、聚合物及应用验证展开研究。实现生物基 1,4-丁二胺的生物法合成，并开展生物基 PA46 的制备及结构性能研究。优化 1,5-戊二胺生物法合成及产业化的关键工艺，制备高品质高速纺丝级 PA56，完成 PA56 在纺织品领域的应用验证和规模化应用。优化聚合工艺，实现耐高温聚酰胺 PA5T/X 和 PA10T/X 的可控制备，并完成材料在高频通讯和 LED 显示领域的应用验证和规模化应用。

本项目设置 5 项课题。

**课题 1: 生物法制备生物基 1,4-丁二胺技术开发**

**研究内容:** 针对生物基单体 1,4-丁二胺, 开展前沿性生物合成技术研究, 通过构建高产菌株或生物催化体系, 实现 1,4-丁二胺的高效生物合成。

**课题 2: 生物基耐高温聚酰胺 PA46 的制备及结构性能关系研究**

**研究内容:** 基于生物基 1,4-丁二胺制备生物基耐高温聚酰胺, 并研究成盐及聚合工艺条件对环化反应及产物结构与性能的影响。

**课题 3: 生物基 1,5-戊二胺、PA56 产业化关键技术及纺织应用验证**

**研究内容:** 构建高效合成 1,5-戊二胺菌株, 提高底物转化率, 优化分离纯化关键技术, 制备高纯度 1,5-戊二胺; 基于 1,5-戊二胺, 研究高效成环抑制技术, 减少成环副反应对树脂性能的影响, 实现高品质高速纺纺丝级 PA56 树脂的规模化制备; 突破高速纺纺丝技术, 完成材料在纺织品领域的应用验证和规模化应用。

**课题 4: 生物基耐高温聚酰胺 PA5T/X 产业化关键技术及应用验证**

**研究内容:** 基于生物基 1,5-戊二胺制备 PA5T/X 系列耐高温聚酰胺。通过聚合工艺优化, 制备出低哌啶含量的生物基耐高温聚酰胺 PA5T/X, 实现规模化可控制备; 突破高流动等高性能化技术, 完成材料在 LED 显示领域的应用验证和

规模化应用。

**课题 5:** 生物基耐高温聚酰胺 PA10T/X 产业化关键技术及应用验证

**研究内容:** 通过聚合工艺优化, 制备出颜色浅、低凝胶含量的生物基耐高温聚酰胺 PA10T/X, 并实现规模化可控制备; 突破高效无卤阻燃、低翘曲、低介电损耗等高性能化技术, 完成材料在高频通讯领域的应用验证和规模化应用。

**项目考核指标:**

1. 生物法制备生物基 1,4-丁二胺技术开发: 开发 1,4-丁二胺高产菌株, 丁二胺产物浓度 $\geq 55\text{g/L}$ 。

2. 生物基耐高温聚酰胺 PA46 的制备及结构性能关系研究: 制备生物基耐高温聚酰胺 PA46, 熔点 $\geq 290^\circ\text{C}$ , 相对粘度 2.0-2.5。

3. 生物基 1,5-戊二胺、PA56 产业化关键技术及纺织应用验证: (1) 开发高效合成 1,5-戊二胺菌株, 万吨级戊二胺产物浓度 $\geq 150\text{g/L}$ , 提取收率 $\geq 88\%$ , 产品纯度 $\geq 99.9\%$ ; (2) PA56 相对粘度 2.3-3.2, 端氨基 42-48 mol/t, 建成 1 万吨/年连续生产线; (3) PA56 纤维线密度偏差率 $\pm 2.5\%$ , 断裂强度 $\geq 3.3\text{ cN/dtex}$ , 条干不均率 $\leq 1.5\%$ 。

4. 生物基耐高温聚酰胺 PA5T/X 产业化关键技术及应用验证: (1) PA5T/X 树脂熔点  $300-325^\circ\text{C}$ , 相对粘度 1.8-2.2, 哌啶含量 $\leq 50\text{ mol/t}$ , 建成 1 万吨/年 PA5T/X 示范生产线; (2) LED 照明和显示光源支架专用料 460nm 初始反射率 $\geq 90\%$ ,

150°C老化 200h 后反射率 $\geq 70\%$ 。

5. 生物基耐高温聚酰胺 PA10T/X 产业化关键技术及应用验证：（1）基于癸二胺制备 PA10T/X 系列耐高温聚酰胺，熔点 280-306°C，相对粘度 2.0-2.6，建成 2 万吨/年 PA10T/X 产业化线；（2）高频通讯存储类连接器专用料拉伸强度 $\geq 130\text{MPa}$ ，耐回流焊温度 $\geq 260^\circ\text{C}$ ，阻燃性达 V-0@0.2mm，介电常数 $\leq 4.0$ ，介电损耗 $\leq 0.015$ ，动态翘曲 $\leq 0.13\text{mm}$ 。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**生物基 1,5-戊二胺；生物基耐高温聚酰胺；PA56 纤维；LED；高频通讯

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

#### **4.18 尼龙 66 关键单体制备成套技术开发（产品研发）**

**研究目标：**本项目开发苯为单一原料的尼龙 66 关键单体制备技术，丁二烯法己二腈制备技术，生物法己二酸、己二胺的合成技术，实现尼龙 66 关键单体的传统路线、新型合成路线、低碳技术的突破，提高国内尼龙 66 产业链关键单体原料技术路线的多样性与抗风险能力，提升我国尼龙 66 行业的创新水平。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1:** 苯为单一原料的尼龙 66 关键单体制备成套技术开发

**研究内容:** 开发环己烯一步氧化制己二酸催化剂和工艺技术、己二酸高效分离与纯化技术；己二酸制己二腈高效预中和反应技术、超重力界面传质强化技术；己二腈多循环管连续加氢制己二胺反应控制技术、高纯度己二胺多级分离提纯技术。

**课题 2:** 丁二烯法尼龙 66 关键单体制备成套技术开发

**研究内容:** 丁二烯法己二腈制备技术，建立高纯度己二腈制备技术体系，建立己二腈加氢制备高纯己二胺技术体系，攻克催化体系、工艺及关键设备等难题，得到高品质己二胺产品，并在尼龙 66、特种尼龙领域获得应用。

**课题 3:** 生物基尼龙 66 单体及成套技术开发

**研究内容:** 突破生物基己二胺的高效制备瓶颈，打通生物基己二酸的制备工艺路线。构建从生物法粘康酸加氢胺化制备高品质生物基己二胺的生产路线，突破底盘表达水平、优化加氢和胺化工艺，提高分离纯化水平，建立高品质己二胺示范装置。

具体内容为：构建高产己二酸前体粘康酸高效表达菌株，生物法粘康酸的发酵放大制备以及开发分离纯化技术，开发高效高转化率生物法粘康酸加氢制备生物基己二酸的制备方案，实现聚合级生物基己二酸的批量制备；开发生物

基己二酸胺化制备生物基己二胺路线，保证己二胺中生物碳含量。

### 项目考核指标:

1. 苯为单一原料的尼龙 66 关键单体制备成套技术开发：（1）完成万吨级高品质己二酸产业应用示范；1）己二酸含量 $\geq 99.85\text{wt}\%$ ；2）水分 $\leq 0.15\text{wt}\%$ ；3）灰分 $\leq 2.0\text{mg/kg}$ ；4）铁含量 $\leq 0.2\text{mg/kg}$ ；5）硝酸含量 $\leq 1.5\text{mg/kg}$ ；（2）开发环己烯一步氧化制备己二酸绿色低碳环保新技术；1）环己烯总转化率 $\geq 95\%$ ；2）己二酸选择性 $\geq 93\%$ ；（3）新建产能 5 万吨/年高品质己二腈工业示范装置；1）己二腈含量 $\geq 99.5\text{wt}\%$ ；2）色度（哈森值） $\leq 50$ ；3）凝固点 $\geq 1.9^\circ\text{C}$ ；4） $\text{KMnO}_4$  值（对 100g 样品） $\leq 700\text{mg}$ ；5） $\text{ICCP} \leq 0.10\text{wt}\%$ ；6）水分 $\leq 0.20\text{wt}\%$ ；（4）新建产能 5 万吨/年己二胺工业示范装置；1）己二胺含量 $\geq 99.9\text{wt}\%$ ；2）水溶液（700g/L）色度（哈森值） $\leq 5$ ；3）水含量 $\leq 0.05\text{wt}\%$ ；4）结晶点 $\geq 40.9^\circ\text{C}$ ；5）假二氨基环己烷含量 $\leq 10\text{mg/kg}$ 。

2. 丁二烯法尼龙 66 关键单体制备成套技术开发：（1）建设基于丁二烯法己二腈首套生产装置 1 套；1）装置规模 $\geq 20$  万吨/年；2）己二腈纯度 $\geq 99.9\%$ ；3）水含量 $\leq 0.05\%$ ；4）色度（哈森值） $\leq 20$ ；5）氯化物 $\leq 5\text{mg/kg}$ ；6）亚氨基氰基环戊烷 $\leq 50\text{mg/kg}$ ；7）攻克丁二烯法己二腈工业化生产关键技术 $\geq 3$  项；（2）建设己二腈加氢制备己二胺生产装置 1 套；1）装置规模 $\geq 20$  万吨/年；2）己二胺纯度 $\geq 99.9\%$ ；3）水溶液

(700g/L) 色度 (哈森值)  $\leq 5$ ; 4) 水含量  $\leq 0.05\text{wt}\%$ ; 5) 结晶点  $\geq 40.9^\circ\text{C}$ ; 6) 假二氨基环己烷含量  $\leq 10\text{ mg/kg}$ ; (3) 发明专利  $\geq 5$  项; (4) 完成支撑己二腈、己二胺生产的团体/行业或企业标准  $\geq 2$  项。

3. 生物基尼龙 66 单体及成套技术开发: (1) 完成聚合级高品质己二酸应用示范; 1) 己二酸前体粘康酸滴度不低于  $80\text{ g/L}$ ; 2) 加氢得到己二酸达到聚合级; 3) 己二酸含量  $\geq 98\text{wt}\%$ ; 4) 水分  $\leq 0.2\text{wt}\%$ ; (2) 打通生物基己二胺的合成路线, 建立全套生物基高品质己二胺百吨级示范装置。

**项目实施期限:** 3 年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事后补助。

**关键词:** 己二酸; 己二腈; 己二胺; 丁二烯; 生物基

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过 20 个。

#### **4.19 高品质纺丝级尼龙 66 制备关键技术及阻燃尼龙 66 纤维制备应用验证 (产品研发)**

**研究目标:** 本项目以开发高品质纺丝级尼龙 66 切片、新型共聚阻燃尼龙 66 单体、共聚阻燃尼龙 66 纤维关键生产技术及产品为目标, 解决国防军工亟需的轻质、高强、耐磨、阻燃尼龙 66 的应用需求, 开发尼龙 66-共聚阻燃尼龙 66-高

性能纤维产业链自主技术，建设示范工程，保障国家尼龙 66 产业安全可控。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1: 高品质纺丝级尼龙 66 切片制备关键技术**

**研究内容:** 开发高品质纺丝级尼龙 66 树脂配方组成及性能调控技术、连续聚合关键工艺控制技术及纺丝制备关键技术，完成高品质纺丝级尼龙 66 树脂切片集成设施的建设，实现高品质纺丝级尼龙 66 的稳定生产。

**课题 2: 共聚尼龙 66 新型阻燃技术开发**

**研究内容:** 通过阻燃剂化学结构设计和合成，开发新型阻燃共聚单体，确定原位聚合无卤阻燃聚酰胺 66 制备工艺，自主开发高品质共聚阻燃尼龙 66 稳定共聚制备技术，开发纺丝级共聚阻燃尼龙 66 切片增粘关键技术和高性能化改性技术来满足下游阻燃尼龙 66 纺丝纤维及纺织制品的需求。

**课题 3: 阻燃尼龙 66 纺丝纤维及纺织制品应用验证**

**研究内容:** 针对共聚阻燃尼龙 66 的物理性质和高品质阻燃尼龙 66 纤维的生产需求，对现有纺丝技术进行优化及纺丝设备的升级改造，开发共聚阻燃尼龙 66 纤维产业化技术，研究共聚阻燃尼龙 66 纤维混纺高强复合纱成纱技术，制备满足国家特需领域的共聚阻燃尼龙 66 混纺阻燃防熔滴面料，研究共聚阻燃尼龙 66 混纺阻燃防熔滴面料迷彩印花技术，并完成共聚阻燃尼龙 66 纤维在国家特需领域的应用示范。

## 项目考核指标:

1. 高品质纺丝级尼龙 66 切片制备关键技术: (1) 新建产能 5 万吨/年高品质纺丝级尼龙 66 工业示范装置; 1) 纺丝级尼龙 66 树脂相对粘度  $2.50\pm 0.05$ ; 2) 端氨基含量  $46\pm 4\text{meq/kg}$ ; (2) 民用尼龙 66 纤维: 1) 强度  $\geq 5.0\text{cN/dtex}$ ; 2) 条干不匀率  $\leq 1.2\%$ ; 3) 沸水收缩率  $< 10\%$ 。

2. 共聚尼龙 66 新型阻燃技术开发: (1) 共聚阻燃单体: 1) 热分解温度  $T_d \geq 285^\circ\text{C}$ ; 2)  $600^\circ\text{C}$  下的残碳率  $\geq 50\%$ ; (2) 共聚阻燃尼龙 66 树脂: 1) 相对粘度  $\geq 2.60$ ; 2) 极限氧指数  $\geq 28\%$ ; 3) UL-94 垂直燃烧等级  $\geq \text{V-1}$  级; 4) 峰值热释放速率  $\leq 500\text{kW/m}^2$ 。

3. 阻燃尼龙 66 纺丝纤维及纺织制品应用验证: (1) 共聚阻燃尼龙 66 纤维: 1) 强度  $\geq 4.5\text{cN/dtex}$ ; 2) 纤维细度  $\leq 2\text{D}$ ; 3) 极限氧指数  $\geq 28\%$ ; (2) 共聚阻燃尼龙 66 纤维混纺面料 (共聚阻燃尼龙 66 含量  $\geq 20\%$ ): 1) 夏季面料克重  $\leq 220\text{g/m}^2$ , 断裂强力: 经向  $\geq 1100\text{N}$ , 纬向  $\geq 800\text{N}$ ; 撕破强力: 经向  $\geq 100\text{N}$ , 纬向  $\geq 70\text{N}$ ; 透气率  $\geq 160\text{mm/s}$ ; 耐平磨  $\geq 900$  次; 2) 冬季面料克重  $\leq 260\text{g/m}^2$ , 断裂强力: 经向  $\geq 1300\text{N}$ , 纬向  $\geq 950\text{N}$ ; 撕破强力: 经向  $\geq 120\text{N}$ , 纬向  $\geq 80\text{N}$ ; 透气率  $\leq 60\text{mm/s}$ ; 耐平磨  $\geq 1400$  次; 3) 面料共同满足的指标: 透湿量  $\geq 8000\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , 续燃阴燃时间  $\leq 1$  秒, 损毁长度  $\leq 70\text{mm}$ , 燃烧状态为碳化; 耐起毛起球  $\geq 4$  级; 色牢度: 耐光色牢度  $\geq 5$  级; 耐摩擦 (干) 色牢度  $\geq 4$  级, 耐摩擦 (湿) 色牢度  $\geq 3$  级 (黑色 2-3); 耐洗色牢  $\geq 4$

级，耐汗渍色牢度 $\geq 4$ 级，耐热压色牢度 $\geq 4$ 级；满足特需领域伪装要求。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**尼龙66切片；民用丝；新型阻燃剂；共聚阻燃尼龙66纤维；阻燃织物

**有关说明：**项目参研单位数量不超过20个。

## 五、电子信息材料领域

### 5.1 印刷有机发光材料体系应用示范（应用验证）

**研究目标：**针对印刷 OLED 显示产业需求，以建立印刷 OLED 自主可控的显示材料体系为目标，开发集成材料、墨水、器件制程工艺的自主量产方案；开展印刷有机发光材料与墨水的批量应用，实现柔性印刷 OLED 中大尺寸显示产品的批量生产，支撑国内龙头面板企业率先建成全球首条 G8.X 印刷 OLED 显示面板示范线。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研究墨水溶剂、溶质的纯化和放大制备工艺技术，以及墨水配制的量产技术，建立墨水批量生产能力；研究溶剂、溶质、墨水量产批次稳定性控制方法，完成溶剂、溶质、墨水量产的品质评价体系建设；研究印刷 OLED 量产流程及其关键影响因素，建立并完善量产示范线工艺流程方案，优化产线配置和布局，完成印刷 OLED 显示产品批量出货，实现印刷有机发光材料与墨水的应用示范。

#### 项目考核指标：

1. 墨水规格：满足产业需求，水分含量 $\leq 0.02\%$ ，总金属离子含量 $\leq 50\text{ppb}$ ，总卤素含量 $\leq 5\text{ppm}$ ， $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$  颗粒物含量 $\leq 1000$  个；

2. 墨水批量产品：墨水国产化率 $\geq 70\%$ ，批次生产能力 $\geq 10\text{L/批}$ ，生产周期 $\leq 3$  周，量产能力 $\geq 600\text{L/年}$ ；

3. 显示器批量产品：尺寸 $\geq 14$ 英寸，像素密度：笔记本产品 $\geq 240$  PPI 或显示器产品 $\geq 150$  PPI，面板全白亮度 $\geq 400$  尼特，色域 $\geq 99\%$  DCI-P3，单侧视角 $\geq 50$ 度（亮度衰减到正视角度的 50%、色度视角偏差 $\Delta u'v' \leq 0.025$ ），对比度 $\geq 100,000:1$ ，T95 寿命 $\geq 2500$  小时@400 尼特，通过 360 小时操作信赖性测试（在 85 摄氏度和 85%湿度的条件下），项目期内累计出货印刷 OLED 显示产品 $\geq 100$  万片。

考核指标的测试与验证由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**4 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。原则上由相关领域优势用户单位、新材料生产应用示范平台牵头单位承担。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**墨水批量生产；墨水品质评价体系；印刷 OLED 显示产品批量生产

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

## **5.2 印刷显示喷墨打印装备关键零部件开发(其他保障)**

**研究目标：**以印刷显示量产工艺需求为牵引，开发印刷显示喷墨打印装备关键零部件，支持配合印刷显示产线核心

装备的国产化，确保我国印刷显示产业的自主安全可控。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**开发工业级 MEMS 压电喷墨打印芯片的设计、制造、封装工艺，制备高均匀性高可靠性压电喷墨打印头；开发适应喷墨打印墨水需求的逐孔独立可控喷头装置系统和多喷头高精度拼接系统；开发高速度高精度视觉测量技术，研制宽视野高效率巨量墨滴观测装置；实现在国产打印装备上的应用，支撑大幅面显示面板高可靠喷墨打印工艺制作。

**项目考核指标：**

1. 喷头装置：喷射分辨率 $\geq 600\text{DPI}$ ，单个喷头喷孔数 $\geq 360$ 个，单墨滴体积 $\leq 4\text{pl}$ ，喷射频率 $\geq 20\text{kHz}$ ；

2. 多喷头拼接：喷头间喷孔拼接精度 $\leq \pm 2\mu\text{m}$ ；

3. 墨滴观测与缺陷检测：可适配墨滴飞行检测技术要求，墨滴体积解析度 $\leq 0.05\text{pl}$ ，墨滴喷射角度解析度 $\leq 0.05^\circ$ ，墨滴喷射速度解析度 $\leq 0.1\text{m/s}$ ，每百喷孔喷射检测时间 $\leq 100\text{s}$ ；支持在线检测，缺陷检出率 $\geq 90\%$ ；

4. 装备应用：在国产打印装备中应用，打印出 FHD 样机，尺寸 $\geq 27$ 英寸。

考核指标的测试与验证由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**逐孔独立可控喷头装置；多喷头拼接系统；高速度高精度视觉测量技术

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### 5.3 量子点材料与装备产业化适配性技术研究（产品研发）

**研究目标：**实现印刷红、绿、蓝量子点发光材料及电荷传输材料及墨水与印刷装备的适配性研究，分析并建立薄膜形貌、打印器件性能的影响规律，研制出高性能印刷 QLED 样机。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研究量子点发光材料和电子传输层材料的表面配体对墨水稳定性的影响规律，建立量子点墨水和电子传输层墨水特性的评价方法和测试标准；研究量子点墨水、电子传输层墨水与印刷装备的化学兼容性、适配性和喷墨稳定性；研究墨水的浸润特性、喷墨打印工艺、干燥成膜工艺等对薄膜形貌的影响规律，建立墨水印刷成膜的物理模型和模拟方法；研究墨水特性和成膜质量对器件性能的影响规律；研究印刷 QLED 器件性能稳定性的影响因素，解决器件批次

稳定性问题；研究 Mura 产生的根源，解决面板面内均匀性问题；研制高性能印刷 QLED 样机。

### 项目考核指标：

1. 墨水：动态光散射测试粒径 10-20nm，墨水种类 $\geq 10$ 支，墨水存储保持稳定时间 $\geq 45$ 天；建立量子点墨水和电子传输层墨水的评价标准，以及墨水与印刷装备兼容性评估标准；

2. 材料与装备适配性：量子点和传输层墨水在打印装备中稳定使用时间 $\geq 45$ 天，符合材料与打印装备适配性要求的墨水粘度范围 2-10cp、表面张力 20-35mN/m；

3. 印刷 QLED 显示样机：无打印 Mura，数量 $\geq 5$ 台，分辨率 $\geq 180$ ppi，峰值亮度 $\geq 800$ 尼特，对比度 $\geq 100000:1$ ，白光效率 $\geq 55$ cd/A，色域 $\geq 85\%$  BT2020，面内亮度均匀性 $\geq 80\%$ ，面内色度均匀性 $\Delta u'v' \leq 0.03$ ，T95 寿命 $\geq 800$ 小时@300尼特，面板在 85°C/85%湿度条件下存储通过 240h 测试，60°C/90%湿度条件下操作通过 240h 测试。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台单位完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**适配性；墨水稳定性；薄膜均匀性

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

#### **5.4 超薄高强盖板玻璃材料开发及应用（产品研发）**

**研究目标：**开发出具有自主知识产权的超薄可折叠柔性高强玻璃；建立国产化的超薄可折叠柔性高强玻璃等材料的生产制造体系；实现柔性玻璃的小规模量产，完成满足印刷 OLED/QLED 显示工程化验证，并制备出满足显示屏的动态弯折寿命大于 50 万次@R1.5mm 的样机。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研究超薄玻璃强度和弯折能力的关系，以及玻璃原料配方和工艺的关系，开发连续生产技术方案；研究超薄盖板玻璃的再减薄、切割、强化技术，研究微晶增强技术和涂层增强技术；实现超薄盖板玻璃的规模量产及其在柔性折叠显示屏上的应用。

##### **项目考核指标：**

1. 超薄盖板玻璃厚度 $\leq 50\mu\text{m}$ ，CS 值  $800\pm 50\text{MPa}$ ，静态弯折半径 $\leq 1\text{mm}$ ，动态弯折寿命 $\geq 50$  万次@R1.5mm；

2. 超薄盖板玻璃的量产数量 $\geq 1000$  片。显示屏的动态弯折寿命 $\geq 50$  万次@R1.5mm。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台单位完成。

**项目实施期限：**3 年

### **项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**超薄盖板玻璃；动态弯折；折叠

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **5.5 拼接式 Micro-LED 显示关键技术开发（产品研发）**

**研究目标：**大屏幕拼接式 Micro-LED 显示屏主要面向高端商业展示、大型会议室、控制室、户外广告牌以及高端家庭影院等领域，这些应用场景对显示效果有极高的要求。

Micro-LED 具有高亮度、高对比度、宽色域、快速响应时间以及低功耗等特点，能够提供更加真实和生动的视觉体验，可满足其上述场景要求。

本产品将针对大尺寸商显核心材料和工艺技术受制于人，以建立自主可控的大尺寸商业显示的关键材料研发及产业化应用为目标，研发高光效高可靠性红光色转换技术、极窄边框显示玻璃基板技术、Micro-LED 显示系统集成技术，开发出 75 英寸及以上大屏幕拼接式 Micro-LED 显示标志性产品，实现超大容量微纳显示在大屏幕显示领域的应用，建立大屏幕拼接式 Micro-LED 显示的产业集群，示范应用规模 10000 台以上，产业综合规模世界第一。

本项目设置 3 项课题。

### **课题 1: 高光效高可靠性红光色转换技术开发**

**研究内容:** 针对 Micro-LED 红光芯片效率低、高低温稳定性差的问题, 突破高效率、高可靠性的红光色转换关键技术, 并实现产业化示范应用。研究窄半峰宽、高转化效率、高低温稳定性优异、高光学一致性、高信赖性的色转换材料及封装方案。

### **课题 2: 极窄边框显示玻璃基板技术研发**

**研究内容:** 针对微小间距 Micro-LED 拼接显示屏极窄边框技术面临的基板尺寸小, 走线精度低和瞬时亮度高等问题, 突破中大尺寸玻璃基板相关核心技术, 研究中大尺寸高平整度玻璃基板技术相关的机理及关键材料; 研究高精度和低阻抗布线、极窄边框玻璃基板的关键工艺及核心材料; 研究高良率、高精度、高可靠性正背面线路导通方案; 研究高附着力、低阻抗线路导通材料。

**课题 3: 大屏幕拼接式 Micro-LED 显示系统集成与工程化应用研究**

**研究内容:** 针对大屏幕拼接式 Micro-LED 系统集成化和标准化程度低等问题, 研究高集成度屏体系统和驱动方案; 研究高亮度和色度均一性校正补偿技术; 研究高精度拼接及大屏拼缝一致性技术; 满足大屏幕拼接显示 Micro-LED 显示工程化应用要求, 并实现规模化量产。

### **项目考核指标:**

1. 高光效高可靠性红光色转换技术开发: (1) 红光波

长范围  $625\pm 5\text{nm}$ ，半峰宽 $\leq 25\text{nm}$ ；（2）激发光源单元尺寸 $< 50\mu\text{m}$ ，在  $0.5\text{A}/\text{cm}^2$  电流密度下，红光发光效率 $\geq 20\text{cd}/\text{A}$ ；（3）高低温冷热比（85 摄氏度发光强度/25 摄氏度发光强度） $\geq 80\%$ ；（4）亮度一致性 $\geq 80\%$ @ $\pm 60^\circ$  发光角度；（5）在 85 摄氏度/85%环境湿度和 1mA 老化电流的信赖性测试下，老化 1000 小时后亮度衰减比例 $\leq 20\%$ ；（6）产能 $> 2000$  片/月@4 寸晶圆。

2. 极窄边框显示玻璃基板技术研发：（1）玻璃基板尺寸 $\geq 300\times 300\text{mm}$ ，平整度 $\leq 100\mu\text{m}$ ；（2）玻璃基板面内最小走线宽度 $\leq 10\mu\text{m}$ ，最小走线间距 $\leq 10\mu\text{m}$ ；走线方阻 $\leq 0.01\Omega/\text{sq}$ ；像素边缘距基板边缘 $\leq 50\mu\text{m}$ ；（3）玻璃线路导通技术：正背面线路导通良率 $\geq 99\%$ ；正背面线路导通连接位置中心偏差 $\pm 15\mu\text{m}$ ；导通线路在 100mA 导通电流， $85^\circ\text{C}/85\%\text{RH}$  老化 1000h 条件下，阻抗变化 $\leq 30\%$ 。

3. 大屏幕拼接式 Micro-LED 显示系统集成与工程化应用研究：（1）拼接式大屏幕：单体 Micro-LED 显示峰值亮度 $\geq 3,000\text{nit}$ ，尺寸 $\geq 150\times 150\text{mm}$ ，屏体色深 $\geq 10\text{bit}$ ，色域 $\geq 110\%\text{NTSC}$ ；拼接式 Micro-LED 显示尺寸 $\geq 75$  英寸；整机拼接缝指标 X 轴 $\leq 35\mu\text{m}$ ，Y 轴 $\leq 35\mu\text{m}$ ，Z 轴 $\leq 60\mu\text{m}$ ；（2）系统集成化：屏体驱动单元带载分辨率 $\geq 2\text{K}$ ，输入接口支持 HDMI/DP 传输协议，输出支持 ISP 等 P2P 传输协议，接口数量 $\geq 32$  Port；（3）产业化：示范应用规模 10,000 台以上（按 75 英寸折算）。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**色转换技术；极窄边框；大屏拼接；高集成度系统；应用产业化

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## **5.6 高性能车载显示关键技术开发（产品研发）**

**研究目标：**针对车载显示核心材料和工艺技术受制于人，以建立自主可控的 Micro-LED 车载显示关键技术研发及产业化应用为目标，开发 Micro LED 高速缺陷检测技术和工艺装备，开发宽温区（-40℃~85℃）高性能车载显示屏标志性产品，实现超大容量微纳显示在车载显示领域的应用，建立 Micro-LED 车载显示产业集群，并实现规模化量产。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**高速缺陷检测技术和工艺装备

**研究内容：**研究大面积高速无接触 EL 检测机理和检测器件结构；研究近零间隙精准对位及测量技术、多自由度的调平纠偏机构以及图像分割检测算法；研发大面积高均匀探头模组，开发成像和光谱采集的驱动软件与操作界面，构建具有不同特征缺陷的 Micro-LED 成像和光谱数据库；研究大

面积高精度多轴平台的检测工艺装备设计与制备，研究检测系统的机械-电气-光学成像一体化控制软件与算法和系统工程化技术，开发高速大面积 Micro-LED 缺陷检测装备，并实现应用验证。

**课题 2:** 宽温区 Micro-LED 车载显示系统集成与工程化应用

**研究内容:** 研发高 PPI、高稳定性的 TFT 背板技术、开发高电流输出像素电路和高稳定性扫描控制电路；研究适配宽温区的高光效、高色准的全灰阶驱动补偿系统，开发出适配的 PAM+PWM 混合驱动方案；研制宽温区全彩 Micro-LED 车载显示模组，实现产品验证并具备量产化能力。

**项目考核指标:**

1. 高速缺陷检测技术和工艺装备：检测芯片尺寸  $\leq 15\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$ ，检测样品形态为 COW、COC，测试项目为波长、光强，单一视场可检测面积  $\geq 1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ，检测速度  $\geq 3\text{cm}^2/\text{min}$ ，漏检率  $\leq 0.1\%$ ，检测时 Micro-LED 等效电流密度  $\geq 0.1\text{A}/\text{cm}^2$ ，检测关键装备种类  $\geq 2$  种。

2. 宽温区 Micro-LED 车载显示系统集成与工程化应用：  
(1) 驱动背板特性：像素输出电流  $\geq 10\mu\text{A}$ ，TFT  $I_{\text{on}} \geq 5 \times 10^{-6}\text{A}$ 、 $I_{\text{off}} \leq 5 \times 10^{-12}\text{A}$ ；TFT 迁移率  $\geq 80\text{cm}^2/(\text{Vs})$ ；阈值电压均匀性  $\leq \pm 0.5\text{V}$ ；负偏压温度稳定性 NBTS  $\leq 1\text{V}$ （偏压  $-30\text{V}$ 、温度  $70^\circ\text{C}$ 、时长  $7200\text{s}$ ）；  
(2) Micro-LED 车载显示模组：尺寸  $\geq 8$  英寸，工作温区  $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ ，像素密度  $\geq 150\text{PPI}$ ，白场亮度  $\geq 1300$  尼

特，峰值亮度 $\geq 3500$ 尼特，反射率 $< 6\%$ ， $85^{\circ}\text{C}$ 环境条件下较 $25^{\circ}\text{C}$ 白画面 12 灰阶以上亮度保持 $\geq 50\%$ ，色偏 $\leq 8\text{JNCD}$ ；产能 $\geq 10$ 万台套/年。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**Micro-LED 高速缺陷检测；Micro-LED 显示系统集成；工程化应用

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **5.7 高视觉体验全沉浸式 VR 显示关键技术开发及产业化（应用验证）**

**研究目标：**研发应用于沉浸式 VR 的 OLED 微显示屏；开发适用于大规模量产的 VR 光学组件，开发多模态融合的 VR 智能交互系统；开发 Micro-OLED 全沉浸式 VR 近眼显示产品，实现规模量产与应用。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研发应用于沉浸式 VR 显示产品的高性能全彩化微显示屏；开发适用于大规模量产的高画质、大视角、超薄化 VR 光学组件及其模组，开发多模态融合的沉浸式 VR 智能交互系统，优化沉浸式及立体视觉显示质量；开发

Micro-OLED 全彩屏的全沉浸式 VR 近眼显示产品，实现规模量产与应用。

**项目考核指标：**

1. Micro-OLED 显示屏：对角线尺寸 $\leq 1.5$ 英寸，屏幕分辨率 $\geq 3840(\times 3)\times 3840$ ，峰值亮度 $\geq 8000$ 尼特，色域 $\geq 100\%$  DCI P3，寿命 T95 $\geq 1000$ 小时@1000尼特；

2. VR 近眼显示光学模组：光学分辨率 MTF $\geq 0.4$ ，角分辨率 $\geq 34$ ，视场角 $\geq 110^\circ$ ；

3. 基于 Micro-OLED 屏的 VR 眼镜产品：刷新率 $\geq 120\text{Hz}$ ，续航时间 $\geq 2$ 小时，智能交互方式 $\geq 3$ ，产能 $\geq 10$ 万台/年。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。原则上由相关领域优势用户单位、新材料生产应用示范平台牵头单位承担。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**VR显示；高视觉体验

**有关说明：**项目参研单位数量不超过10个。

## 5.8 高 PPD 虚实融合 AR 显示关键技术开发及产业化

## （应用验证）

**研究目标:** 开发面向 AR 应用的微纳 LED 晶圆和驱动背板；研究微纳 LED 光束精准调控技术，开发高性能超微型 AR 显示光机；开发高均匀性全彩 AR 光学模组；研究多模态融合的 AR 智能交互技术，开发基于微纳 LED 的虚实融合 AR 近眼显示集成技术和整机产品，实现规模化量产。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容:** 开发面向 AR 应用的高亮度高 PPD 微纳 LED 晶圆和驱动背板，掌握晶圆级集成技术；研究微纳 LED 光束精准调控技术，开发高性能超微型 AR 显示光机；突破高效光耦合与光传输技术，开发高均匀性全彩 AR 光学模组；研究多模态融合的 AR 智能交互技术，开发基于微纳 LED 的虚实融合 AR 近眼显示集成技术和整机产品，实现规模化量产。

### 项目考核指标:

1. 微纳 LED 显示屏：屏幕尺寸 $\leq 0.3$  英寸，像素密度 $\geq 10000$  PPI，亮度均匀性 $\geq 95\%$ ，红光中心波长 $630\pm 5\text{nm}$ ，绿光中心波长 $525\pm 5\text{nm}$ ，蓝光中心波长 $465\pm 5\text{nm}$ ，红、绿、蓝显示屏亮度分别 $\geq 500000$  尼特、 $2000000$  尼特、 $500000$  尼特；红、绿、蓝显示屏光效分别 $\geq 3\%$ 、 $\geq 6\%$ 、 $\geq 10\%$ ；显示屏寿命 $T_{95}\geq 10000$  小时@ $1000$  尼特；

2. 显示光机：角分辨率 $\geq 45$ ，光能利用率 $\geq 20\%$ ，光学分辨率 $\text{MTF}\geq 0.30$ ；

3. AR 光学模组：光学模组光效 $\geq 400$  尼特/流明，均匀性 $\geq 60\%$ ，视场角 $\geq 35^\circ$ ；

4. AR 近眼显示整机：重量 $\leq 100$  g，智能交互方式 $\geq 3$ ，产能 $\geq 40$  万台/年。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。原则上由相关领域优势用户单位、新材料生产应用示范平台牵头单位承担。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**AR 显示；智能交互

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **5.9 高光效纳米 LED 材料与单色显示器件关键技术(其他保障)**

**研究目标：**以建立自主可控的纳米 LED 发光材料与器件技术为目标,重点开展材料设计--材料阵列制备--纳米 LED 器件设计优化--纳米 LED 阵列制备--原型测试器件验证研究,突破高像素密度纳米 LED 器件制备工艺,开发高像素密

度纳米 LED 单色显示驱动和集成技术，研制高显示容量、低串扰纳米 LED 单色显示器件。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1: 高光效纳米 LED 显示材料**

**研究内容:** 研究红、绿、蓝纳米 LED 发光材料的设计及制备工艺，突破高波长可控性、高波长一致性、高量子产率、高发光稳定性的纳米发光材料制备技术；研究纳米 LED 发光材料的高精度图案化技术；研究高光效、快响应速度、高发光稳定性纳米 LED 发光单元器件的结构设计与制备工艺。

**课题 2: 纳米 LED 单色显示器件关键技术开发**

**研究内容:** 研究高像素密度纳米 LED 器件制备工艺，突破低表面缺陷浓度的纳米发光阵列制备、高精度电气互联、高亮度输出等关键工艺和技术；研发高亮度均匀性、高显示对比度、高灰阶显示的高像素密度纳米 LED 单色显示驱动和集成技术；研制高显示容量、低串扰纳米 LED 单色显示器件。

**项目考核指标:**

1. 高光效纳米 LED 显示材料: 纳米 LED 发光材料: 红、绿、蓝纳米发光材料种类各 $\geq 3$ 种, 红光中心波长  $630\pm 10\text{nm}$ , 绿光中心波长  $525\pm 10\text{nm}$ , 蓝光中心波长  $465\pm 10\text{nm}$ , 量子产率  $\text{PLQY}\geq 50\%$ ; 红、绿、蓝纳米 LED 单色发光单元器件: 器件尺寸 (不包括引出电极)  $< 600\text{nm}\times 600\text{nm}$ , 响应时间  $< 20$

纳秒，红光外量子效率  $EQE \geq 1.5\%$ ，绿光外量子效率  $EQE \geq 5\%$ ，蓝光外量子效率  $EQE \geq 10\%$ ，器件寿命  $T50 \geq 1000$  小时@初始光通量  $1 \times 10^{-5}$  流明。

2. 纳米 LED 单色显示器件关键技术开发：红、绿、蓝纳米 LED 单色原型显示器件尺寸  $< 0.21$  英寸，显示容量  $3840 \times 2160$ ，发光像元尺寸  $< 800\text{nm} \times 800\text{nm}$ ，单色亮度  $\geq 1500$   $\text{cd}/\text{m}^2$ 。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**纳米 LED 显示；高光效发光材料；纳米 LED 单色显示；发光材料

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **5.10 激光显示用 GaN 蓝绿光激光器及成像器件开发（产品研发）**

**研究目标：**以建立自主可控的激光显示及关键材料研发及产业化体系为目标，开发出低成本、长寿命的蓝绿光激光器和空间光调制器，体系化突破材料设计、制备工艺与产业

应用技术，实现规模化应用。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：激光显示用 GaN 蓝绿光激光器开发**

**研究内容：**研究低阈值、低损耗的蓝绿光半导体激光器（LD）结构设计方法，研究基于应变调控的高质量蓝绿光 LD 材料生长技术，开发高效率蓝绿光 LD 量子阱材料；研究原子级腔面平整度、高腔面灾变阈值、蓝绿光激光芯片腔面解理、钝化和镀膜技术，研究低热阻、低应力封装技术，开发高功率、长寿命蓝绿光 LD 芯片；研究大电流密度下激光器热学问题，建立失效模型，研究高成品率、低成本工程化技术，实现低阈值、长寿命、低成本蓝绿 LD 研发与应用。

**课题 2：激光显示用成像材料及器件研发**

**研究内容：**研究高性能成像芯片设计理论、高对比度成像材料结构设计方法，研究器件对比度的影响因素和提升方法，研制低功耗高稳定性超高清成像芯片背板、驱动电路与光学架构；研究高对比度、高良率成像器件封装和测试技术，形成具有闭环反馈的工艺流程，研制高光效、长寿命成像芯片；研究成像器件的对比度和可靠性测试标准及装备，研究三基色 LD 与成像芯片高效率匹配、光学引擎架构优化技术，实现超高分辨成像材料及器件在激光显示整机集成与应用。

**项目考核指标：**

1. 激光显示用 GaN 蓝绿光激光器开发：最大输出功率绿光 LD $\geq$ 2 W、蓝光 LD $\geq$ 12 W，中心波长绿光 525 nm $\pm$ 5 nm、

蓝光  $455\text{ nm}\pm 5\text{ nm}$ ，满足 BT2020 超高清标准，寿命 $\geq 2$  万小时；蓝绿光 LD 激光器规模化生产成本分别低于 15 元/W 和 35 元/W。

2. 激光显示用成像材料及器件研发：（1）超高分辨成像材料：响应时间 $\leq 5\text{ ms}$ ，对比度 $\geq 3000:1$ ；（2）超高分辨空间光调制器：像素分辨率 $> 5000\text{ PPI}$ ，光损伤阈值 $> 50\text{ W/cm}^2@532\text{ nm}$ ，照度均匀度 $> 85\%$ ，寿命 $\geq 20000$  小时，支持 10 bit/120 Hz 视频显示。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**GaN 基蓝/绿激光器；高功率；长寿命；成像材料与器件；空间光调制器

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## 5.11 激光显示用光致聚合物材料与全息光波导器件研发（产品研发）

**研究目标：**以建立自主可控的激光显示关键材料研发及产业化体系为目标，开发出近眼显示全息光致材料与光波导

器件等合成制备技术，体系化突破材料设计、制备工艺与产业应用技术，实现规模化应用。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研究全息记录介质中关键组分的设计、合成与聚合物全息记录性能影响关系，研制记录单体、成膜树脂和光敏剂等光致聚合物材料；研究全息记录介质的配方迭代和光栅制备技术，研究聚合物中多组分协同对其感光度、透光性和折射率调制度等关键性能的影响，研制高性能全息光栅；研究全息光波导的光学设计和制备技术，研究聚合物配方与曝光方案协同对光波导的光传输效率和角带宽等关键指标的影响关系，研究出瞳扩展方法和图像畸变校正补偿方案，研制大视场大眼动范围的全息光波导器件。

**项目考核指标：**

1. 光致聚合物全息记录介质：蓝光 450~480 nm，绿光 510~550 nm，红光 620~670 nm，感光灵敏度 $\geq 30 \text{ cm}^2/\text{J}$ ；

2. 全息光栅：衍射效率 $\geq 95\%$ ，折射率调制度 $\geq 0.05$ ，分辨率 $\geq 4000 \text{ lp/mm}$ ；

3. 全息光波导：视场角 $\geq 30^\circ$ ，光传输效率 $\geq 80\%$ 。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**光致聚合物；全息光波导；高衍射效率；高折射率调制度；高分辨率

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **5.12 激光显示配套材料及其在超高清投影与平板式应用研究（产品研发）**

**研究目标：**针对超高清激光显示配套材料受制于人，产业链安全存在隐患等瓶颈问题，开展满足 8K 分辨、100%BT2020 色域的超高清激光投影式及平板式的配套关键材料与工艺技术研究，实现高性能光源模组、超短焦广角镜头、光谱选择涂层材料、新型匀光整形材料等配套材料、器件研发与应用的全流程贯通，建立超高清激光显示配套材料体系，实现国产替代和应用验证。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研究高效能照明模组多芯片集成封装、热耦合及热解耦设计、高精度驱动及光机高效匹配集成等关键技术，研制高效率空间耦合/光纤耦合照明模组；研究超短焦、超高空间分辨率镜头设计，研究大视场光学系统的畸变抑制和像差控制技术，研究分视场优化等匀光性能提升技术，制备高均匀性高光效光学镜头；研究光谱选择材料分子结构与合成技术，研究超百吋/微米级精密结构模具加工与表面

微纳结构光整形技术，研制超大尺寸、高增益、多形态的光谱选择材料器件；实现上述材料在激光投影与平板电视的应用验证。

**项目考核指标：**

RGB 光源模块最大输出功率 $\geq 100\text{W}$ ；超短焦光学镜头投射比 $\leq 0.2$ ，色差 $\leq 0.4$  pixel，MTF $\geq 0.5@93$  lp/mm；三色光谱选择反射材料 R ( 635~650nm $\pm 5$ nm )、G ( 525~540nm $\pm 5$ nm )、B ( 455~471nm $\pm 5$ nm )，增益 $\geq 2.0$ ，色彩还原性 $\Delta u' \leq 0.02$ ， $\Delta v' \leq 0.02$ 。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台单位完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**配套材料；照明模组；超短焦；高增益

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### 5.13 超高清投影式和平板式激光显示研发及应用(产品研发)

**研究目标：**针对大尺寸/宽色域/超高清激光显示产品受制于人，产业链自主可控亟待提升等问题，体系化开展整机

设计与光学引擎制备技术，形成自主知识产权的激光显示产业链；研究多形态整机架构设计、全流程跨尺度评价、光/机/电/热整合等关键技术，实现系列化超高清激光投影/平板显示标志性产品开发，满足家居、工程、商务等不同场景应用需求，技术和产业综合水平国际领先。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**研究超高分辨激光投影式和平板式的显示整机光路架构设计，研究大动态、长寿命、小型化的全色投影光源和侧入式背光源制备技术；研究低热阻、高精度温度漂移控制等热波动冲击抑制技术；研究波长多样性、角度多样性、散射图像多样性、平板液晶散斑消除、独立散斑时域叠加等消散斑和画质优化技术；研究新型振幅和相位空间光调制器的协同控制与对比度提升技术；研究低像素偏移、多色彩空间精确转换的分辨率提升和色彩优化技术；研究光电热声的多场耦合与集成应用技术；研究高亮度低能耗的投影式激光显示器和低散斑激光平板液晶显示器整机集成技术，实现大尺寸显示产品应用。

**项目考核指标：**

1. 激光投影显示器：分辨率 8K，光通量 $\geq 3000$  流明，色域 $\geq 100\%$ BT2020，尺寸 $\geq 120$  英寸，能效 $\geq 15$  lm/W，散斑对比度 $\leq 2\%$ ；高动态帧内对比度 $\geq 10000:1$ ；

2. 激光平板液晶显示器：分辨率 8K，亮度 $\geq 300$  尼特，尺寸 $\geq 65$  英寸，色域 $\geq 100\%$ BT2020，散斑对比度 $\leq 2\%$ ，整机

厚度 $\leq 70\text{mm}$ ，视场角 $\geq 120^\circ$ ，功耗 $\leq 420\text{W}$ ，对比度 $\geq 1000:1$ 。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台单位完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**激光投影显示器；激光平板液晶显示器；超高清；大色域；分辨率

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

#### **5.14 高性能印刷量子点测试验证创新平台（其他保障）**

**研究目标：**建成高性能量子点测试验证创新平台，平台拥有量子点材料合成、旋涂与打印器件制备、表征、测试等设备共计 $\geq 50$  台套，具备量子点原型及打印器件制备、材料及器件标准测试评价的全流程能力。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**建设高性能印刷量子点测试验证平台，包括量子点材料与墨水开发、旋涂器件制作、QLED 喷墨打印工艺开发、量子点材料与器件表征测试等四个子平台；开发量子点材料合成、墨水配置、旋涂器件制备、喷墨打印控制与成膜干燥、样机制备等工艺技术，以及量子点材料与器件等

分析表征与测试技术；建立开放共享的运行模式和多维度的量子点显示技术应用评价体系，开展全流程的测试验证，为量子点材料与器件的国产化打下坚实基础。

### **项目考核指标：**

1. 平台建设：建成 G4.5 或以上印刷量子点测试验证创新平台，拥有量子点材料合成、旋涂与打印器件制备、表征、测试等设备共计 $\geq 50$  台套；

2. 技术开发：实现打印器件与旋涂器件的批量制备，两者性能波动范围 $\leq \pm 10\%$ ，打印液滴喷射体积偏差 $\leq \pm 0.25\text{pL}$ ，研制出 3 类像素密度 $\geq 150\text{PPI}$ 、色域 $\geq 85\%$ （BT.2020）的印刷 QLED 样机；

3. 服务能力：制定测试验证标准 $\geq 3$  项，取得资质认可（如 CNAS 或 CMA 等）测试项 $\geq 10$  项，验证与评价不同溶剂体系的量子点 R/G/B 墨水 $\geq 10$  支，服务用户数 $\geq 10$  家。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：** 3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。以平台能力建设为主的项目，原则上由相关领域国家科技创新平台承担。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**印刷量子点；测试验证；评价；服务

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **5.15 近眼显示 AR/VR 测试验证创新平台（其他保障）**

**研究目标：**建成近眼显示 AR/VR 测试验证创新平台，平台支持多种微显示技术，以及超短焦、光波导等多种光机模组的技术开发和测试验证，平台拥有开放共享的运行模式和服务体系，以及标准化测试方法和流程，为近眼显示 AR/VR 材料与器件的国产化打下坚实基础。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**建设近眼显示 AR/VR 测试验证平台，包括材料与器件、模组与整机等两个子平台，支持 fast-LCD、Micro-LED、Micro-OLED 等多种微显示技术，以及超短焦、光波导等多种光机模组的技术开发和测试验证；开发 Micro-LED 色转换层技术和近眼显示 AR/VR 集成技术，以及亮度、色域、畸变等指标一站式测试技术；建立开放共享的运行模式和服务体系，以及标准化测试方法和流程，为近眼显示 AR/VR 材料与器件的国产化打下坚实基础。

#### **项目考核指标：**

1. 平台建设：建成近眼显示 AR/VR 测试验证平台，百级洁净间面积 $\geq 300\text{m}^2$ ，仪器设备 $\geq 20$  台套，获得 ISO9001 质量与 ISO14001 环境管理体系认证，测试验证微显示器件种类 $\geq 5$  类，光机模组中试能力 $\geq 5000$  套/月；

2. 技术开发：量子点色转换层的最小像素尺寸 $\leq 4\mu\text{m}$ ，最小发光面尺寸 $\leq 2\mu\text{m}$ ，色转换效率 $\geq 30\%$ 。VR 显示：视场角 $>105^\circ$ 、 $\text{MTF} \geq 0.5@12 \text{ lp/mm}$ （0.7 视场）、瞳游 $\leq 3\text{pixels}@\text{EYEBOX}10\text{mm}$  范围内；AR 显示：光引擎体积 $< 0.5\text{cc}$ 、视场角 $>40^\circ$ 、入眼亮度 $> 1000$  尼特、畸变 $< 3\%$ 。一站式测试：亮度、亮度均匀性、色域、色度均匀性、光学分辨率 MTF、色差、鬼影、畸变等指标总测试时间 $\leq 1$  分钟，自定义测试项 $\geq 4$  项；

3. 服务能力：制定测试验证标准 $\geq 3$  项，指标（含亮度、畸变、信赖性、视觉健康等）测试项 $\geq 30$  项，其中取得资质认可（如 CNAS 或 CMA 等）测试项 $\geq 15$  项；服务用户 $\geq 5$  家，为用户提供改善意见报告 $\geq 10$  份，出具资质认可测试项的测试报告 $\geq 20$  份。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。以平台能力建设为主的项目，原则上由相关领域国家科技创新平台承担。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**近眼显示 AR/VR；资质认可；测试验证；服务

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

### **5.16 新型激光显示国产器件测试与验证创新服务平台 (其他保障)**

**研究目标：**建成新型激光显示国产材料测试与验证创新服务平台，平台拥有包含材料合成、图像序列帧库/光环境设计、亮度/色度/寿命/视功能生理测试等器件制备、测试等设备，平台可助力超高清激光显示材料与器件的国产化进程。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**建设新型激光显示国产器件测试与验证创新服务平台，包括国产 LD 发光器件与空间光调制成像器件、超高清激光显示产品的光/电/生理等表征评估两个子平台。研究发光与成像器件的仿真、环境适应性和寿命提升等测试验证技术；研究超高清激光显示产品的画质优化、亮度提升等关键技术，以及光谱、亮度等物理指标对人眼视功能的影响；研制激光显示产品光电性能和人眼视功能显性生理量指标的定量评价装置。建立新型激光显示国产器件测试与验证开放共享的运行模式和评价规范，开展全流程的测试验证，为超高清激光显示材料与器件的国产化打下坚实基础。

#### **项目考核指标：**

1. 平台建设：建成新型激光显示国产器件测试与验证创新服务平台，主要设备共计 $\geq 50$ 台套，包含材料合成、图像序列帧库/光环境设计、亮度/色度/寿命/视功能生理测试等器

件制备、测试等设备；

2. 技术开发：建立国产 LD 与空间光调制器的技术指标评价系统，光波长测量精度 $\leq 1\text{nm}$ ，亮度测量精度 $\leq 2\%$ ，色度测量精度 $\leq 0.002$ ，传递函数 $\geq 0.5@100\text{lp/mm}$ ，畸变 $\leq 1.0\%$ ，屏幕画面尺寸 $\geq 120$  英寸，反射波长测量精度 $\leq \pm 5\text{nm}$ ，红绿蓝 LD 失效验证温度范围  $20\sim 50^\circ\text{C}$ ，加速老化时间 $>2000\text{h}$ ；建立超高清激光显示整机综合性能测试系统，影像序列帧库支持 4K/8K HDR，满足 HDMI 2.1 视频输出接口，光环境稳定性 $<0.2\%@2$  小时，睫状肌调节幅度  $0.01\text{m}^{-1}\sim 15.00\text{m}^{-1}$ ；

3. 服务能力：制定激光显示光生物影响等方面的团体标准以上标准 3 项，服务用户 $\geq 10$  家。

考核指标的测试与验证推荐由具备认可资质的国家级平台完成。

**项目实施期限：3 年**

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。以平台能力建设为主的项目，原则上由相关领域国家科技创新平台承担。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**国产器件应用验证；测试评价；公共服务平台

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

## 六、稀土新材料领域

### 6.2 生物医用新型稀土发光材料及应用技术(产品研发)

**研究目标:** 针对纳米稀土发光材料在生物医用领域的前沿应用需求, 开展新型纳米稀土荧光/核素/闪烁材料等结构设计、性能预测与调控新方法和新规律研究, 并突破自主高性能纳米稀土发光材料高效合成与应用技术, 实现其在体外检测、肿瘤诊疗和医学成像等领域的创新应用。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容:** 面向体外诊断和医学诊疗等稀土发光材料前沿应用领域的发展需求, 开展新型高效纳米稀土荧光/闪烁材料等结构设计、性能预测与调控的新方法和新规律研究; 开发荧光探针及其快速超灵敏测定阿尔兹海默病血液标志物蛋白及蛋白含量的诊断技术; 开发纳米疫苗及其诱导肿瘤内毒性 T 淋巴细胞的抗肿瘤治疗技术; 开发纳米稀土核素靶向医用材料及其肿瘤精准定位与高效治疗的诊疗一体化技术; 开发高光输出耐辐照纳米稀土闪烁材料与大面积 X 射线成像闪烁体薄膜器件及其关键制备技术, 研制纳米稀土闪烁成像屏, 满足多场景应用需求。

**项目考核指标:** 开发出新型前沿稀土发光材料的高效设计与性能预测新方法, 研制出 $\geq 3$  种新型纳米稀土荧光材料, 快速检测阿尔茨海默症血液标志物  $A\beta 1-42$  蛋白及 p-tau181 蛋白的检测限达到  $1 \text{ pg/mL}$  和  $0.5 \text{ pg/mL}$ ; 研制 $\geq 2$  种个性化肿瘤纳米疫苗, 在生物体内的 48 小时降解率 $\geq 90\%$ , 诱导肿瘤

内毒性 T 淋巴细胞比例 $\geq 3\%$ ；研制 $\geq 2$  种稀土核素靶向医用材料，核素脱标率 $\leq 0.5\%$ 、对脑胶质瘤等人源肿瘤模型抑制率 $\geq 95\%$ ；研制出 $\geq 2$  种纳米稀土闪烁材料，光产额 $\geq 25000$  photons/MeV，研制出 $\geq 2$  款新型纳米稀土闪烁成像屏，X 射线成像分辨率 $\geq 20$  lp/mm，有效成像面积 $\geq 144$  cm<sup>2</sup>，能量识别区间 30-100 keV。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**纳米稀土荧光材料；纳米稀土闪烁材料；稀土核素靶向医用材料；纳米疫苗；闪烁成像屏

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 10 个。

## 6.5 交通运输用低成本新型稀土储氢材料开发及固态储氢装置规模应用（应用验证）

**研究目标：**针对交通领域中两轮车、车船及加氢站等场景氢能发电系统启停与动态响应快、动力系统集成度高以及运维安全度高等需求，采用新型稀土储氢材料，开展微出行用便携型、车船、加氢站用小/中/大型固态储氢装置的高效换热与快速吸/放氢研究，突破固态储氢装置的快速启停与动态响应调控技术、燃料电池动力系统高能效耦合一体化

设计及能量管理技术，实现储氢装置的能量高效利用。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1:** 微出行用固态储氢装置规模应用

**研究内容:** 面向燃料电池微出行领域对高安全高便捷氢源系统的应用需求，开展空气换热环境下的储氢材料床体高效热质传递仿真及储氢单体充放氢性能模拟预测研究；开展高密度、快动态响应便携型固态储氢装置设计与自动化批量制造技术研究；开展氢源系统安全评价，形成规模化应用运维策略；开发固态储氢装置与小型空冷燃料电池动力系统高能集成技术；开展固态储氢装置在微出行场景工况下的台架验证和规模化应用。

**课题 2:** 氢能燃料电池车船及分布式加氢站用固态储氢装置规模应用

**研究内容:** 面向燃料电池车船、分布式加氢站安全高效储氢和便捷加氢的迫切需求，开展高储氢利用率、低膨胀的储氢床体传热传质结构优化设计；开发快响应高密度抗震动固态储氢装置低成本批量化制备技术；开展固态储供氢装置模拟工况条件下的台架验证，开发固态储供氢装置与燃料电池动力系统高能耦合一体化设计及能量管理技术；开发固态储氢装置供氢过程故障诊断与应急处理技术；研制基于常温型大容量稀土储氢材料的高密度固态储供氢装置，并在燃料电池车船动力系统和分布式加氢站实现固态储供氢装置集成应用。

### 项目考核指标:

1. 便携型固态储氢装置: 体积储氢密度 $\geq 55\text{kgH}_2/\text{m}^3$ , 2000 次循环容量保持率 $\geq 90\%$ ; 建立便携型固态储氢装置振动、跌落等安全评价平台, 形成年产万台级固态储氢装置能力, 单车成本不高于锂电池动力车的 2.5 倍; 以固态储氢作为氢源的燃料电池助力和纯电两轮车单次充氢续航里程不低于 100 km, 实现万辆级燃料电池两轮车在微出行领域的大规模应用; 稀土储氢材料与装置对我国微出行领域的自主保障能力 $\geq 85\%$ ; 制/修订相关团体、地方、行业或国家标准不少于 2 项。

2. 燃料电池车船和分布式加氢站用固态储供氢装置: 固态储供氢装置模块的质量储氢密度 $\geq 2\text{wt.}\%$ , 供氢纯度 $\geq 99.999\%$ , 充氢时间 15-20 min, 平均供氢速率为  $70\text{Nm}^3/\text{h}$ , 满足百千瓦级燃料电池供氢需求; 加氢站用储氢装置储氢量 $\geq 200\text{kg}$ , 常温充/放氢速率 $\geq 1000\text{Nm}^3/\text{h}$ ; 设计针对固态储氢装置的安全监控及应急响应系统, 形成车船标准 2 项以上; 实现氢能燃料电池车船及分布式加氢站用固态储供氢装置规模应用。

项目实施期限: 3 年

项目设置及经费需求:

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事前补助。

**关键词：**微出行；燃料电池车船；加氢站；固态储氢装置；故障诊断

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **6.12 新型磁动力装置在大型工业装备中的应用验证(应用验证)**

**研究目标：**针对工业电机在社会能耗中占比较高的问题，研究大型工业装备中长期被国外“卡脖子”的工程机械和高速流体机械用国产化、电动化、低碳化驱动技术。开发具备效率高、体积小、力能指标高、控制性能优的工业装备用大功率高效磁动力装置，实现工业装备动力的国产化、电动化和低碳技术升级，提升我国高端工业装备国产自主化水平和能效利用率。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**大功率磁动力装置在工程机械装备中的应用验证

**研究内容：**针对工程机械装备用大功率磁动力装置应用场景，建立运行环境、运行工况、外形安装尺寸和磁动力装置性能参数等研发边界条件，形成技术规范；建立典型工况下大功率磁动力装置关键技术指标的测试和评价方法；开展大功率磁动力装置在工程机械装备中的应用验证。

**课题 2：**高速磁动力装置在流体机械装备中的应用验证

**研究内容：**针对流体机械装备用高速磁动力装置场景，

建立运行环境、运行工况、外形安装尺寸和磁动力装置性能参数等研发边界条件，形成技术要求；建立典型工况下高速磁动力装置关键技术指标的测试和评价方法；开展高速磁动力装置在离心鼓风机和压缩机等流体机械装备中的应用验证。

### 项目考核指标：

1. 大功率磁动力装置在工程机械装备中的应用验证：基于额定功率 $\geq 100\text{kW}$ 的磁动力装置（@采用的磁体剩磁 $B_r \geq 11.5\text{kGs}$ ，最高工作温度 $T_w \geq 250^\circ\text{C}$ ），建立工程机械装备用磁动力装置关键技术的测试和评价方法；磁动力装置应用于盾构机、矿山装备等工程机械装备，相比传统非磁动力装置，典型工况下工程机械装备整机综合节能10%以上。

2. 高速磁动力装置在流体机械装备中的应用验证：基于功率(kW)平方根和转速(r/min)的乘积 $\geq 300000$ 的磁动力装置（@采用的磁体剩磁 $B_r \geq 11.5\text{kGs}$ ，最高工作温度 $T_w \geq 250^\circ\text{C}$ ）应用于驱动离心鼓风机；典型工况下相比传统罗茨鼓风机，能耗降低20%。基于功率(kW)平方根和转速(r/min)的乘积 $\geq 400000$ 的磁动力装置（@采用的磁体剩磁 $B_r \geq 11.5\text{kGs}$ ，最高工作温度 $T_w \geq 250^\circ\text{C}$ ）应用于压缩机等流体机械装备，典型工况下相比传统非磁动力驱动压缩机，实现绿色无油供气和机组免维护，综合能耗降低10%。

项目实施期限：3年

项目设置及经费需求：

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

配套资金与中央财政资金比例原则上不低于 5:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事后补助。

**关键词：**大功率；高速；磁动力装置；工程机械装备；  
流体机械装备

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

### **6.13 新能源汽车低能耗磁动力用稀土永磁材料、装置及应用验证（产品研发）**

**研究目标：**针对我国新能源汽车产业快速发展的需求，开发出满足新能源汽车产业高磁性能、低成本、低能耗的磁动力装置。攻克高能效稀土磁动力装置用低成本稀土材料及其数字化制备技术，以及新能源汽车用低能耗、高速、高比功率磁动力装置关键技术，为新能源汽车产业升级和可持续发展提供重要推动力。

本项目设置 3 项课题。

#### **课题 1：新能源汽车用低能耗磁动力装置**

**研究内容：**开展新能源汽车磁动力装置关键技术研究开发，分析汽车高速化导致涡流损耗、材料力学失效等问题的机理，研究功率密度与效率的优化设计方案，开展高效冷却技术、制造工艺和数字化产线等研究，开发新能源汽车用高比功率磁动力装置。

#### **课题 2：低能耗磁动力装置在新能源汽车中的应用验证**

**研究内容：**搭建磁动力装置及传动装置验证平台；研究新能源汽车用磁动力装置的功率密度与性能关联性；验证所开发新能源汽车稀土永磁关键材料、零部件耐温性能、磁动力装置效率及能耗情况。

**课题 3：**新能源汽车磁动力装置用稀土永磁材料及数字化制备技术

**研究内容：**针对新能源汽车磁动力装置对高能效、低成本等技术和市场需求，围绕剩磁与内禀矫顽力相互掣肘的科学问题，研究重稀土减量条件下组织与结构调控对磁体磁性能的影响机理与矫顽力提升机制；利用大数据、机器学习等智能数字化方式对稀土永磁材料的生产流程进行模拟、优化和控制。

### **项目考核指标：**

1. 新能源汽车用低能耗磁动力装置：构建新能源汽车用高比功率磁动力装置数字化设计、制造技术；乘用车磁动力装置电机转速 $\geq 20000$  r/min，峰值比功率 $\geq 5.5$  kW/kg，效率 $\geq 98\%$ ；磁动力装置在新能源汽车实现应用，稀土磁动力装置对新能源电动汽车的自主保障能力达到 85%以上。

2. 低能耗磁动力装置在新能源汽车中的应用验证：基于转速 $\geq 20000$  r/min 的磁动力装置（@钕总量 $< 1$ wt.%的稀土永磁材料剩磁  $Br \geq 14.4$  kGs，内禀矫顽力  $H_{cj} \geq 28$  kOe）的磁动力总成 CLTC 效率不低于 92%；在新能源汽车中实现应用。

3. 新能源汽车磁动力装置用稀土永磁材料及数字化制

备技术：开发出电动汽车高能效、低成本磁动力装置用稀土材料及其数字化制备技术，稀土永磁材料剩磁  $Br \geq 14.4 \text{ kGs}$ ，内禀矫顽力  $H_{cj} \geq 28 \text{ kOe}$ ，钕总量  $< 1 \text{ wt.}\%$ ；建成稀土永磁材料数字化制备示范线，产品满足新能源汽车磁动力装置应用需求。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

配套资金与中央财政资金比例：原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助

**关键词：**新能源汽车；磁动力装置；比功率；磁动力总成；数字化制备技术

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

## 七、材料基因工程领域

### 7.1 材料新一代第一性原理、全尺度关联及高通量自主计算方法与软件开发（其他保障）

**研究目标：**发展面向高性能材料微观结构设计和性能预测的新一代第一性原理计算、材料全尺度关联和加速计算智能化设计、高维度变量空间材料自主计算设计等方法，突破基于人工智能的复杂材料体系跨尺度计算技术，实现材料计算核心软件国产化。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**面向新材料设计的第一性原理计算方法及软件开发

**研究内容：**面向新材料计算设计需求，建立支持第一性原理计算软件模块式开发可扩展架构；发展基于机器学习的第一性原理计算新方法；开发基于密度泛函理论框架的电子结构计算软件，实现微观尺度材料结构和性能计算预测；针对典型金属、无机非金属和聚合物等材料的电子结构、力学、热力学、光学、电学、磁学等性质开展计算验证，开展软件公开评测，实现推广应用。

**课题 2：**面向材料全尺度关联和加速计算的智能化设计技术与软件

**研究内容：**针对材料多尺度计算的效率瓶颈，以及跨尺度计算映射关系复杂、模型缺乏、信息传递失真等问题，发展基于机器学习的跨尺度计算新模型和新方法，突破从微

观、介观到宏观尺度的材料结构与性能全尺度关联映射技术和正/逆向参数传递技术；利用人工智能降低多尺度计算和跨尺度计算复杂度，提高材料计算模拟软件运行效率，扩展材料计算方法应用范围；开展计算设计验证和软件推广应用。

### **课题 3: 材料高通量自主计算方法和软件开发**

**研究内容:** 针对新材料计算筛选中面临的试错样本数量庞大、筛选效率低、计算成本高等问题，发展材料高通量计算与人工智能结合的算法和软件；开发自主变量设计、自动建模、智能化 workflow 设计和计算数据处理等智能化加速技术；突破自主闭环迭代、自主决策优化方向、自主压缩变量空间等技术，提升材料高通量计算筛选效率和可靠性；开发材料高通量自主计算和智能设计系统，应用于典型功能材料的筛选、设计和自主迭代。

#### **项目考核指标:**

1. 面向新材料设计的第一性原理计算方法及软件开发：开发出具有自主知识产权的开源第一性原理计算软件 1 件，满足材料热学、电学、光学、磁学、力学等主要性能的计算设计要求，支持 CPU+GPU 异构并行计算，主要功能、计算精度和运行效率达到同期国外同类一流软件水平，部署于高性能计算设施，有效用户数 100 个以上，公开评测时间 15 个月以上，用户评价优良率 80% 以上，完成金属、无机非金属、聚合物等 3 类 30 种以上材料的计算验证。

2. 面向材料全尺度关联和加速计算的智能化设计技术与软件：开发出跨尺度计算新方法及软件和机器学习加速计算新方法及软件各 1 件以上，支持  $10^{-10}$ - $10^{-3}$  米范围跨尺度计算，突破 2 项以上软件新功能，软件运行效率提升 200% 以上，应用于 2 种以上新材料跨尺度设计。

3. 材料高通量自主计算方法和软件开发：开发出变量设计、 workflow 设计、多目标筛选等智能化计算设计技术 3 种，材料高通量自主计算和智能设计系统 1 套，部署于超算等计算设施，公开评测时间 15 个月以上，注册用户数大于 200，实现商业应用；应用于 2 类以上典型功能材料的计算设计，实现自主决策优化方向、自主压缩变量空间等功能，筛选效率提升 500% 以上。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**第一性原理计算；跨尺度计算；高通量计算；材料智能设计；软件开发

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

**7.2 多场耦合条件下合金材料制备、组织性能和服役行为的计算模拟方法与软件开发（其他保障）**

**研究目标：**面向合金材料研发需求，针对多元多相复杂材料体系成分设计、组织结构演化预测和性能调控、多场耦合条件下材料制备过程和服役行为的多物理场仿真等关键科学与技术问题，发展多场条件下融合热力学与动力学的组织性能计算、材料制备和服役行为模拟等方法与软件，实现材料热力学、动力学及多场耦合计算核心软件国产化。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**融合热力学与动力学计算的组织性能计算方法与软件

**研究内容：**围绕多元多相复杂材料体系成分设计、组织结构演化预测和性能调控需求，发展通用热力学模型和算法；构建应用于相图计算和相场模拟的热力学、动力学和材料物性数据集；发展温度场、应力场等多场作用下热力学相图和动力学相场计算方法和软件；实现材料成分设计、组织演化、性能调控的定量计算，开展软件公开评测，通过多场作用下典型工程材料和典型应用场景计算模拟验证，实现推广应用。

**课题 2：**多场耦合条件材料制备过程和服役行为模拟计算方法与软件

**研究内容：**针对多场耦合条件下材料制备过程和服役行为的多物理场仿真需求，发展力、热、电、磁、化学等复杂环境下材料有限元计算和设计新方法；突破多场耦合下材料组织和性能演化模拟仿真技术；开发多场耦合条件下材料制

备过程和服役行为模拟计算方法和软件系统；应用于多场耦合条件下材料制备过程和服役行为的模拟仿真，针对典型工程材料和典型应用场景开展仿真验证，实现推广应用。

### **项目考核指标：**

1. 融合热力学与动力学计算的组织性能计算方法与软件：开发出具有自主知识产权、支撑相图计算和相场模拟的多相复杂材料体系数据库 1 个、相图和相场计算模拟软件 2 件，支持 5 种以上多场条件，应用于覆盖从单质到 10 元合金的 15 种以上合金体系关键性能预测，误差小于 10%，软件支持 CPU+GPU 异构并行，公开评测时间 12 个月以上，实现商业应用。

2. 多场耦合条件材料制备过程和服役行为模拟计算方法与软件：开发出多场耦合条件下材料制备过程和服役行为的有限元计算方法和软件系统 1 套，支持力-热、力-化学等 6 种以上多场耦合环境材料制备过程和服役行为的仿真模拟，软件功能和运行效率达到同期国外同类一流软件水平；软件产品公开评测时间 12 个月以上，实现商业应用，在 10 家以上单位获得推广应用，在 2 种以上典型应用场景开展应用示范。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**相图计算；相场模拟；多场耦合；组织演化；服役可靠性

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

#### 7.4 基于集成计算材料工程的高端装备材料和关键构件研发（其他保障）

**研究目标：**突破面向工艺优化和产品设计的研发-生产-应用全链条一体化计算设计、面向极端服役环境的多物理场仿真和材料服役性能计算预测等技术，开发高端关键构件铸造、锻造、焊接等典型工艺设计和优化方法与软件，应用于关键材料集成计算设计及全链条设计优化，实现材料及产品跨尺度、全链条、全生命周期的综合优化设计。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**海洋装备关键材料集成计算设计技术及全链条设计优化应用

**研究内容：**面向我国深远海发展战略对海洋装备关键材料和防护涂层安全性与长周期服役需求，开发交变温度-应力-高静水压-氧含量-盐雾等多因素耦合工况下关键金属结构材料及其防护涂层的定制化集成计算设计关键技术，开展适海性高性能金属结构材料及涂层产品全链条数字化设计、制备工艺优化和实验验证。

**课题 2:** 高端关键构件典型加工工艺优化集成计算工程软件系统

**研究内容:** 面向新一代高端装备特种钢和合金数字化-智能化制造技术需求, 聚焦铸造、锻造、焊接等典型工艺, 建立材料物性数据库, 开发具有可扩展性的材料加工工艺集成计算材料工程统一架构, 建立全工艺流程数据传递等技术规范, 突破多场、多相、跨尺度、跨流程的铸造、锻造和焊接过程数值模拟方法, 发展基于机器学习的工艺优化算法和应用软件, 针对典型工程构件的铸造、锻造、焊接工艺, 开展仿真验证和工艺优化。

**项目考核指标:**

1. 海洋装备关键材料集成计算设计技术及全链条设计优化应用: 开发出耐海洋环境腐蚀的材料集成计算设计系统 1 套, 关键性能预测误差小于 10%, 服役性能预测误差小于 20%; 开发出 2 种以上海洋装备关键材料和防护涂层, 研发成本降低 50%以上; 参照国际通用标准, 等效加速模拟实验评测的服役周期不低于 30 年, 服役成本降低 30%以上。

2. 高端关键构件典型加工工艺优化集成计算工程软件系统: 开发出铸造、锻造、焊接等 3 种材料加工工艺集成计算工程软件系统 1 套, 主要功能和运行效率达到或超过同期国外同类一流产品水平, 公开评测时间 12 个月以上, 在 3 种典型构件研发中实现工程应用, 铸造和锻造构件力学性能

预测误差小于 10%，构件残余应力仿真预测误差小于 15%，在 10 家以上单位获得推广应用。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**工艺集成计算；海洋装备防腐；特种钢；智能制造；集成计算

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

## **7.8 材料制备加工表征的自动/智能实验技术与装备（其他保障）**

**研究目标：**本项目针对材料设计研发中成分空间广、构效关系复杂、工艺难度大等问题，开发高端制造金属构件数字化成形加工共性技术与关键装备、金属-陶瓷结构功能一体化异质异型构件智能 3D 打印技术与装备和高性能组织修复材料智能自主实验技术与装备，实现智能自主的材料配方高效筛选与全过程工艺设计优化，大幅缩短研发周期，降低研发成本。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：**高端制造金属构件数字化成形加工共性技术与关键装备

**研究内容:** 面向重大工程等领域对高端制造金属构件的迫切需求, 开发全尺寸金属构件成形工艺流程数字化仿真模型; 研究成形加工和原位实时表征一体化关键技术并研制关键装备; 开发成形工艺全流程自主优化迭代算法, 实现高端制造金属构件数字化制造实验; 应用于铸造和锻造典型金属构件智能化高效研发, 大幅提升工艺优化与性能改进的研究效率。

**课题 2:** 金属-陶瓷结构功能一体化异质异型构件智能 3D 打印技术与装备

**研究内容:** 聚焦金属-陶瓷结构功能一体化异质异型构件高效研发制造, 突破 3D 打印异型构件化学成分与微观结构原位实时在线自动表征技术; 开发原位表征数据在线分析与工艺参数智能调控算法与软件; 研制金属-陶瓷结构功能一体化异质异型构件智能 3D 打印装备; 应用于典型金属-陶瓷结构功能一体化构件性能优化及批次一致性提升。

**课题 3:** 高性能组织修复材料智能自主实验技术与装备

**研究内容:** 针对高性能组织修复材料结构设计复杂、生物相容性和修复效能评价周期长等瓶颈, 突破研发阶段实验自动化程度低、研发流程集成度低等问题, 研发材料高通量制备与表征一体化技术; 开发智能实验控制和流程自主迭代软件; 研制材料智能自主实验与修复效能高效评价装备; 开展典型组织修复材料智能研发、高效评价和临床试验应用示范。

## 项目考核指标:

1. 高端制造金属构件数字化成形加工共性技术与关键装备: 开发出全尺寸金属构件铸造、锻造成形加工数字化关键装备 2 台套, 成形工艺流程数字化仿真模型 2 个, 样品尺寸达到米级; 开发成形加工过程中材料成分、组织结构、残余应力等 3 种以上关键参量的原位实时表征技术和关键装备, 表征数据反馈延迟时间不超过 1 秒, 满足成形工艺全流程自主优化迭代需求, 开发出流程控制软件 2 件; 应用于 2 种典型构件的数字化制造实验, 工艺优化和性能改进效率提升 10 倍以上;

2. 金属-陶瓷结构功能一体化异质异型构件智能 3D 打印技术与装备: 研发出智能 3D 打印装备 1 台套, 实现打印过程中构件材料成分、微观结构、缺陷等 3 种以上关键参量的原位实时表征, 表征数据反馈时间延迟小于 1 秒; 研发出表征数据在线分析及工艺参数实时调控的 3D 打印控制软件 1 套, 应用于典型金属陶瓷结构功能一体化构件 3 种以上, 打印件尺寸精度达到  $1\ \mu\text{m}$ , 表面粗糙度低于  $100\ \text{nm}$ , 性能一致性提升 15% 以上, 其中 2 种构件实现应用验证, 构件研发周期和成本降低 50% 以上;

3. 高性能组织修复材料智能自主实验技术与装备: 开发出实验自动控制、数据自主分析和研发流程自主迭代等软件各 1 件, 高性能组织修复材料智能自主实验装备 2 台套, 样品制备通量 100 个/批以上, 具备成分、结构等 3 个以上特征

参数的原位实时表征能力，组织修复效能的评价效率提升 3 倍以上，完成骨、皮肤、肌肉、管腔脏器 4 种以上软硬组织修复材料智能化高效研发评价，开展临床试验，组织修复愈合时间降低 20% 以上，材料研发周期和成本降低 50% 以上。

**项目实施期限：** 3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：** 金属构件；数字化成形加工；金属陶瓷结构功能一体化；智能 3D 打印；组织修复材料

**有关说明：** 项目参研单位数量不超过 20 个。

### **7.13 面向新材料设计的机器学习关键算法与核心软件 (其他保障)**

**研究目标：** 本项目针对数据驱动新材料发现新范式和材料研发智能化的重大需求，发展具有自主知识产权的材料人工智能算法、技术和核心软件，构建材料大数据和人工智能驱动的材料发展新模式，加速新材料的研发和应用。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1：** 面向新材料研发的机器学习新方法研究和关键技术开发

**研究内容：**围绕新材料智能研发的需求，研究面向人工智能驱动的材料多流程数字化建模新方法；开发数据驱动材料全流程建模、时空序列参数传递、多级构效关系深度挖掘的机器学习关键技术；开展数据和知识双驱动的新材料研发-生产-应用一体化全链条协同优化设计，应用于新材料产品研发。

**课题 2：**材料逆向设计机器学习算法和技术开发与应用

**研究内容：**围绕先进材料研发的海量空间高效搜索需求，研发面向广域成分和结构空间高效筛选的最优学习、强化学习、启发式组合优化、生成式人工智能等多性能逆向设计核心算法和关键技术，突破具有矛盾互斥关系的多目标性能，或多种组织同步设计难题；开发数据和知识驱动新材料智能研发通用软件；应用于高端功能材料和先进结构材料的按需逆向设计研发与应用。

**课题 3：**材料多模态大模型技术开发

**研究内容：**围绕材料智能研发中多模态、多任务和交互需求，针对材料文本、数值、图像（谱）、时序等多模态数据，研发多模态学习、高性能预训练、知识增强等材料多模态大模型技术与软件；构建兼顾自然语言理解、生成和定量预测的材料高精度多模态专用大模型；实现高端金属等关键材料性能精确推理与预测，加速高端金属材料的研发和应用。

**项目考核指标：**

1. 面向新材料研发的机器学习新方法研究和关键技术开发：开发出具有自主知识产权的新材料研发机器学习新方法和新技术 2-3 项，专用软件 2 件以上，在新材料产品研发生产和工程化中获得应用；实现 3 个以上工艺流程高维参数的协同优化，以及数据驱动的材料成分设计-工艺优化-工业放大生产，研发出 2 种新材料产品，实现产业化应用，效率提升 10 倍以上。

2. 材料逆向设计机器学习算法和技术开发与应用：形成材料多目标逆向设计机器学习算法、技术 3-4 项，开发出核心软件 2-3 件，在数据和知识驱动高端功能材料和先进结构材料研发中获得应用；研发出 2-3 种前沿新材料，关键性能达到国际领先水平，2 种新材料产品，实现产业化示范应用，有效提升新材料探索发现的效率。

3. 材料多模态大模型技术开发：开发出材料专用多模态大模型关键技术 1-2 项，形成材料多模态大模型核心软件 1-2 件；开发出参数规模超过  $10^8$  级的材料性能定量预测专用大模型 2-3 项，能够综合处理 3 种模态以上材料数据，预测精度达到 80%以上，在高端金属等关键材料优化设计中获得应用；研发出 2 种以上新材料，关键性能达到国际领先水平，1-2 种新材料实现产业化应用，有效提升新材料优化设计的效率。

**项目实施期限：3 年**

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 1:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**机器学习新方法；全流程建模；逆向设计；多模态学习；大模型

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

### **7.16 材料科学基础数据资源节点建设（其他保障）**

**研究目标：**面向国家材料数据资源体系建设战略布局，针对我国新材料领域数据资源匮乏、碎片化严重、共享利用不足等难题，解决新材料数字化和智能化研发对高质量科技数据的需求，建设材料科学基础数据资源节点，实现材料数据资源的有序积累、规模汇聚、持续供给和安全共享，支撑国家新材料大数据中心建设，服务人工智能驱动的新材料研发、生产与应用。

本项目设置 1 项课题。

**研究内容：**面向国家材料数据资源体系建设、数据供给保障、材料智能研发应用的需求，围绕材料基础科学数据的规模化积累和公益性服务，建立材料科学基础数据资源节点；持续采集、生产、整合和积累材料研发、制造和应用所需各项基础科学数据；利用云计算、人工智能等技术，实现材料科学基础数据的采集整合、持续供给、开放共享和应用服务。

### **项目考核指标:**

1. 汇聚本领域优势单位，整合本领域数据资源，建成材料科学基础数据资源节点；

2. 节点符合国家材料数据资源体系统一规范和建设要求，与新材料大数据中心主平台实现数据融通；实现数据规模化和高效化采集、积累和应用服务，公益数据实现开放共享，高值数据实现有偿交换；

3. 构建材料科学基础数据资源目录，数据规模达到50TB（500万条）以上，数据具备完整性、准确性、可用性、时效性，节点与主平台实现网络稳定连接、数据可信交互，项目执行期间访问量超过30万人次；

4. 支撑材料数字化和智能化研发，单个节点开发出1-2种关键新材料，关键性能领先同期国际先进水平或应用于重大工程。

**项目实施期限:** 3年

**项目设置及经费需求:**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于1:1。

**中央财政资金支持方式:** 事前立项事前补助。

**关键词:** 数据资源；材料科学基础数据；数据共享

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过10个。

## **7.18 材料数据汇聚融通与可视化应用关键技术(其他保**

障)

**研究目标:** 面向国家材料数据资源供给保障体系战略布局, 响应材料数据流通共享和应用服务的迫切需求, 突破材料数据高效积累、可信流通、智能应用等技术瓶颈, 开发多源异构材料数据自动获取、跨节点融通、可视化应用等关键技术, 支撑新材料大数据中心主平台建设和材料数据公益性服务。

本项目设置 3 项课题。

**课题 1:** 材料数据自动获取与高效积累技术

**研究内容:** 针对海量复杂材料数据获取效率低、汇聚积累难等瓶颈问题, 研发基于生成式人工智能的文本、表格、图像等多模态材料文献信息全要素批量智能获取与关联集成技术; 开发计算数据自动解析与协同加工等多模态数据自动采集与高效积累技术和软件; 开发材料数据自动采集系列装置, 应用于材料数据资源节点建设。

**课题 2:** 材料数据资源跨节点融通共性技术

**研究内容:** 针对复杂异构海量数据资源高度分散、汇集成度低的瓶颈问题, 依托新材料大数据中心主平台, 研发多源异构材料数据资源统一标识、标准化交换、分级分类访问控制、跨节点可靠传输、多模式高效同步等数据资源融通共性技术, 实现材料数据的精准确权、可靠溯源和可信交互; 支撑新材料大数据中心主平台建设跨节点的材料数据资源融通网络, 进行跨节点数据融通示范应用, 实现不同来源、

不同模式的大规模材料数据资源规范化流通。

### **课题 3: 材料多模态数据可视化应用关键技术**

**研究内容:** 针对人工智能驱动材料研发、材料高等教育以及材料科学普及对多模态数据在线可视化应用的需求, 依托新材料大数据中心主平台, 研发材料多尺度数据的结构信息重建和多维动态展示、材料多模态数据内容的聚合展示和知识关联、材料高维数据集的低维投影与关系透视等可视化展示与交互关键技术; 开发开源软件工具, 在新材料大数据中心主平台和数据资源节点集成应用, 支撑多尺度、多模态、多粒度材料数据的智能应用。

#### **项目考核指标:**

1. 材料数据自动获取与高效积累技术: (1) 开发出材料数据自动获取与高效积累关键技术、核心软件和装置 10-15 项, 实现 8 种以上材料计算和实验数据的自动采集, 以及 100 万篇材料科技文献、专利和标准全要素信息的批量抽取和关联集成; (2) 获取具有完整性、准确性、可用性、时效性的材料数据 200 万条以上; (3) 新技术在 10 个以上材料数据资源节点上获得应用, 为国家新材料大数据中心建设提供支撑;

2. 材料数据资源跨节点融通共性技术: (1) 建立材料科技数据管理与流通标准规范 2-3 项; (2) 开发出材料数据资源管理和跨节点融通关键技术与软件 3-5 项, 支持至少 5 种数据存储模式的资源节点互联互通; (3) 具备 30 个以上

数据资源节点材料数据资源融通能力，在新材料大数据中心主平台和 8-10 个材料科技数据资源节点获得应用；

3. 材料多模态数据可视化应用关键技术：（1）开发材料多模态数据可视化技术 3-5 项，形成开源软件工具 1 套以上；（2）实现材料多尺度结构数据、多模态内容数据、多维度关联数据的可视化展示与交互，在典型场景下的交互响应时间小于 300 毫秒；（3）在新材料大数据中心主平台和 8-10 个材料数据资源节点获得应用。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

**中央财政资金支持方式：**事前立项事前补助。

**关键词：**数据自动采集；数据融通网络；多模态材料数据可视化

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 20 个。

### 7.19 数据和知识双驱动的新型核反应堆和催化材料设计与工程化应用（其他保障）

**研究目标：**战略产业新材料的生产应用、关键材料生产水平和质量提升是制约两类材料产业发展的瓶颈问题，高效提升材料性能、快速迭代材料产品，是国家产业升级的基础，也是国家能源、军工和基础建设的保障，亟需利用发展的数

据驱动材料研发与智能制造技术，突破基于材料生产大数据的人工智能建模技术与设计工具，构建材料智能设计-虚拟实验制造-实验自主迭代的人工智能驱动研发范式，开展数据和知识双驱动的新型核反应堆关键材料和新型催化材料等战略产业新材料智能制造，应用示范数字化研发范式变革成效，为提升材料产业竞争力提供有效途径。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1:** 数据和知识双驱动的新型核反应堆关键材料设计研发

**研究内容:** 面向新型核反应堆对抗辐照、抗蠕变、高耐蚀等高性能金属结构材料的需求，突破广域成分和工艺空间强化学习算法；建设数据内容完备的新型核反应堆关键材料数据库；开发多组元成分逆向生成算法、反馈式实验迭代优化等关键技术；利用数据和知识双驱动的材料设计方法，高效研发新型核反应堆用高性能金属结构材料。

**课题 2:** 数据和知识双驱动的新型催化材料研发与工程化应用

**研究内容:** 围绕催化材料“多相、多态、多尺度”特征和构效关系复杂的科学问题，发展基于材料描述因子的催化材料理性设计方法体系；开发知识和数据双驱动的催化材料研发新算法与专业工具；利用数据和知识双驱动的材料设计方法，实现催化新材料的高效开发与工业应用。

**项目考核指标:**

1. 数据和知识双驱动的新型核反应堆关键材料设计研发新型核反应堆关键材料设计研发：建设新型核反应堆关键材料数据库，数据量达到 10 万条以上；强化学习智能体推荐材料的目标量分布信息熵不高于 10；开发出 2-3 种新型核反应堆关键材料，综合性能较传统材料提升 10%以上，材料研发周期缩短 50%以上，研发成本降低 30%以上。

2. 数据和知识双驱动的新型催化材料研发与工程化应用：开发出面向新型催化材料研发与工程化应用的专用人工智能新算法与专业工具，预测精度达到 90%以上，实现实验迭代 8 次以内材料性能与设计指标误差小于 5%，开发具有自主知识产权的催化新材料 2-3 种，研发周期缩短 50%以上，研发成本降低 30%以上，实现 1-2 种催化新材料的工业应用。

**项目实施期限：**3 年

**项目设置及经费需求：**

拟支持 1 个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 4:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**数据驱动；人工智能；核反应堆材料；催化材料

**有关说明：**项目参研单位数量不超过 15 个。

**7.20 海量多源异构材料数据质量分级与全生命周期质量评价技术（其他保障）**

**研究目标：**本项目针对材料数据的产生、采集、处理、应用全过程有效性和可靠性管理难题，开展面向材料多源异构数据质量分级方法研究与应用，材料数据全生命周期质量评价和控制技术研发，实现海量多源异构数据的质量分级控制与应用。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1：**材料多源异构数据质量分级方法研究与应用

**研究内容：**针对材料海量多源异构数据质量量化分级难题，突破异构数据多维度不确定度分析等关键技术，建立材料数据不确定度定量评估和质量分级方法及模型；开展事实数据质量分级及国家和行业比对，完成质量分级方法的可靠性和适用性验证；在典型材料数据资源节点中实现质量分级的大规模应用。

**课题 2：**材料数据全生命周期质量评价和控制技术开发

**研究内容：**针对材料海量多源异构数据产生、采集、处理、应用全生命周期不确定度叠加放大，清洗和治理难度高等难题，开发材料数据质量评价和控制方法；建立异构数据质量评价模型，开发多维矩阵数据分析软件；研发指标提取-测试验证-评价认证的流程和规范，并在关键结构材料、高端功能材料等领域开展示范应用。

**项目考核指标：**

1. 材料多源异构数据质量分级方法研究与应用：建立异构大数据不确定度评估模型 3 种以上，实现 3 级以上基于临

界值的数据质量分级；对3类以上数据开展国家和行业计量测试比对；在钢铁、化工、建材等3种以上行业和产业进行应用，实现 $10^6$ 以上量级数据的质量分级，在新材料大数据中心主平台和8-10个材料数据资源节点获得应用。

2. 材料数据全生命周期质量评价和控制技术开发：建立涵盖数值、文本、图像等4种以上类型数据质量评价方法与技术10项以上；开发异构数据质量评价模型4种以上，多维矩阵数据分析软件2套；完成计算、制备、表征和服役评价等4类 $10^6$ 级以上数据的质量评价与控制。

**项目实施期限：**3年

**项目设置及经费需求：**

拟支持1个项目研究，采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于3:1。

中央财政资金支持方式：事前立项事前补助。

**关键词：**多源异构数据；全生命周期；不确定度评估；质量分级；质量评价

**有关说明：**项目参研单位数量不超过15个。

## 7.21 量值溯源保障的材料研发质量基础平台建设与典型应用（其他保障）

**研究目标：**本项目面向材料研发、制造和应用全流程质量控制需求，集成数据相关计量、标准、检验检测、认证评价等质量基础要素，构建以可靠数据流驱动的材料研发质量

基础平台。针对材料多源数据产出装备测量原理，多元化和校准难题，研究材料多源数据产出装备的溯源及校准技术。形成质量基础要素协同机制，获取多源异构材料数据，并对数据有效性、可靠性实施评价，实现材料大数据驱动的材料研发，提升全链条质量控制和系统保障能力，提高研发效率。

本项目设置 2 项课题。

**课题 1:** 材料研发质量基础设施协同技术研究和典型应用

**研究内容:** 建立数据驱动研发新范式下质量基础设施多要素（计量、标准、合格评定）协同作用新机制；开发材料质量基础设施平台集成开放工具软件，构建材料质量基础设施平台；研究材料全生命周期-全域数据-标准-性能多元交织映射式链网构型，以材料合格评定汇集材料全流程事实数据；建立多维数据映射模型，开展数据驱动材料研发的典型应用，实现研发效率提升。

**课题 2:** 材料多源数据产出装备的溯源及校准技术研究

**研究内容:** 面向材料计算、制备、表征及服役评价等对海量多源异构数据量值溯源需求，针对材料多源数据产出装备测量原理多元化和校准难题，以严格定义、公认标准为基础，研发材料参数不间断链条溯源至国际单位制的量值溯源技术；研发具有自主知识产权的材料多源数据产出装备校准技术，研制专用装置，制定校准规范，在材料研发中进行应用验证，实现典型材料多源异构数据的量值传递。

## 项目考核指标:

1. 材料研发质量基础设施协同技术研究和典型应用: 按资源层、数据层、应用层、服务层架构建设材料质量基础设施平台并实现试运行; 平台实现以合格评定汇集材料全流程事实数据; 发布质量基础设施开放工具软件 5 个以上; 形成研发合理性、质量符合性、工艺稳定性、服役适用性等 4 个评价规范; 应用于 2 类 4 种以上材料的研发、制造和工程应用全生命周期质量控制, 实现研发效率提升 5 倍以上; 服务 30 个以上机构用户, 与新材料大数据中心主平台和 8-10 个材料数据资源节点实现融通。

2. 材料多源数据产出装备的溯源及校准技术研究: 研究材料测试表征设备的溯源技术, 开发出具有自主知识产权、测试数据有完整溯源链的溯源装置 1 台套; 开展国际比对 2 项, 制定校准规范 3 项; 实现涵盖计算、制备、表征和服役评价等 4 类材料数据的量值溯源, 在 2 类 10 种以上材料研发中完成应用验证。

**项目实施期限:** 3 年

**项目设置及经费需求:**

拟支持 1 个项目研究, 采用公开竞争方式。

其他来源资金与中央财政资金比例原则上不低于 3:1。

中央财政资金支持方式: 事前立项事前补助

**关键词:** 质量基础设施协同技术; 材料质量基础设施 (MQI); 全生命周期质量控制; 量值溯源; 校准规范

**有关说明:** 项目参研单位数量不超过 15 个。