

## “先进结构与复合材料”重点专项 2024 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“先进结构与复合材料”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2024 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：面向制造强国、交通强国、航天强国建设等国家重大需求部署先进结构与复合材料研发任务，形成国产材料体系化自主研制和保障能力，实现空间应用、轨道交通、能源装备、深海深地等领域急需的关键结构与复合材料的国内自主供给。

2024 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕高性能高分子材料及其复合材料、高温与特种金属结构材料、轻质高强金属及其复合材料、先进结构陶瓷与复合材料、先进工程结构材料、结构材料制备加工与评价新技术 6 个技术方向，按照基础研究类、共性关键技术类、应用示范类三个类别，拟启动 27 项指南任务，拟安排国拨经费 4.18 亿元。其中，拟部署 5 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 1000 万元，每个项目 200 万元。应用示范类项目应由企业牵头，配套经费与国拨经费

比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 1 项，实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 5 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 8 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

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

本重点专项部分项目采用部省联动方式组织实施（项目名称后有标注）。部省联动应用示范类项目，由江苏省科技厅推荐，江苏省科技厅应面向全国组织优势创新团队申报项目，须在江苏省落地实施。部省联动共性关键技术类项目，各推荐渠道均可推荐申报，但申报项目中应不少于 1 个课题由江苏省有关单位作为课题牵头单位。

## **1. 高性能高分子材料及复合材料**

### **1.1 空间大型高收纳比展开结构复合材料及应用（共性关键技术）**

**研究内容：**针对新型遥感系列卫星等对大型高收纳比可展开

结构复合材料的迫切需求，开展高强高模高延伸碳纤维应用研究、高延伸树脂体系及其超薄预浸料设计和制备研究、复合材料连续自动化制备工艺与装备研究和复合材料全面性能研究，通过材料-结构-制造数字化集成仿真和快速迭代及验证，突破大型高收纳比可展开复合材料结构多目标性能优化平衡及裂纹抑制和控制等关键技术，形成材料、工艺和设计规范，制备出大型高收纳比可展开复合材料典型结构件，通过地面性能和功能试验考核，满足典型空间应用的设计要求，为型号应用奠定技术基础。

**考核指标：**树脂拉伸强度 $\geq 90\text{MPa}$ 、断裂延伸率 $\geq 5\%$ 、玻璃化转变温度 $\geq 170^\circ\text{C}$ ；超薄单向预浸料厚度 $\leq 0.03\text{mm}$ ；复合材料纵向拉伸强度 $\geq 2500\text{MPa}$ 、拉伸模量  $220\text{GPa} \pm 10\text{GPa}$ 、 $0^\circ$ 压缩强度 $\geq 1600\text{MPa}$ 、层间剪切强度 $\geq 80\text{MPa}$ 、真空可凝挥发物 $\leq 0.1\%$ 、质量损失 $\leq 1\%$ ；形成高收纳比可展开复合材料结构多目标优化平衡集成设计仿真方法和软件；典型试验件长度 $\geq 100\text{m}$ 、直线度 $\leq 2\text{mm}/10\text{m}$ 、收纳比 $\geq 60:1$ 、展开/收拢次数 $\geq 30$ 次不产生超标缺陷，功能和性能满足典型空间应用设计要求；形成材料、设计、制造和试验规范至少 5 份。

**关键词：**碳纤维，复合材料，高收纳比，展开结构，仿真模拟

## 1.2 水动推进螺旋桨用高阻尼混杂复合材料研制和应用（共性关键技术）

**研究内容：**针对大型水动推进螺旋桨对轻质、高阻尼和低噪声的迫切需求，开展混杂树脂基复合材料阻尼特性和增强机制研究、混杂复合材料强度-刚度-阻尼-耐环境特性一体化匹配研究、大扭转曲面翼型结构设计和拓扑优化技术研究、高精度一体化集成制造技术和内部质量无损检测技术研究，形成相应的规范和自主知识产权软件，完成螺旋桨的设计、制造和验证，通过大比例自航模综合性能试验考核，满足实装应用需求。

**考核指标：**形成结构阻尼一体化国产复合材料体系，高阻尼混杂复合材料阻尼损耗因子 $\geq 0.03$ ，抗冲击强度 $\geq 50\text{kg/cm}$ ，饱和吸湿率 $\leq 0.8\%$ ；饱和吸湿后在  $0 \sim 6\text{MPa}$  交变压力循环加载 500 次后，强度保留率 $\geq 85\%$ ，弹性模量保留率 $\geq 90\%$ ；饱和吸湿后在  $-10 \sim 60^\circ\text{C}$  交变温度循环处理 45 次后，强度保留率 $\geq 85\%$ ，弹性模量保留率 $\geq 90\%$ ；复合材料螺旋桨直径 $\geq 3.5\text{m}$ ，几何尺寸、静平衡和表面光洁度满足 GB/T 12916-2010 S 级要求，内部质量满足设计要求，振动衰减系数较同尺寸金属螺旋桨提高 50%，整体结构重量较同尺寸金属螺旋桨减重 $\geq 50\%$ ，通过大比例自航模综合性能验证，相较同尺寸金属螺旋桨，等航速无空化条件下 20Hz-50kHz 频段水下辐射噪声降低 3dB 以上；形成规范和自主知识产权软件 4 项以上。

**关键词：**高阻尼，混杂复合材料，水动螺旋桨，自航模考核

### **1.3 复杂服役环境减振降噪聚氨酯弹性体开发及其产业化 (共性关键技术)**

**研究内容：**针对轨道交通、建筑工程、国防军工等领域对大载荷、强疲劳、高低温、潮湿等服役环境下高性能减振降噪材料的需求，开展聚氨酯弹性体材料的结构设计、可控制备、规模化生产与应用示范。开发高性能聚氨酯弹性体材料，研究微观分子、介观聚集态、宏观结构的协同能量转化机理，揭示不同微结构和相互作用对减振、隔振和降噪的贡献，定量解析构效关系；突破聚氨酯弹性体制备和调控的关键技术，形成系列化产品的大规模生产能力，制定相关材料标准与工艺技术规范；开展应用验证，建立产品服役状态检测、评价和寿命预测方法，满足多种复杂服役环境下的减振降噪需求。

**考核指标：**聚氨酯弹性体动静刚度比 $\leq 1.25$ ，压缩永久变形率 $\leq 3.5\%$ ，300万次疲劳试验静刚度变化率 $\leq 10\%$ ，吸水率 $\leq 3\%$ 。建设减振降噪聚氨酯弹性体全自动连续生产线一套，年产能50万平方米以上。制定标准与工艺技术规范3项以上。针对不同的服役环境，基于聚氨酯弹性体材料开展应用验证：城市轨道交通用减隔振材料，减振效果（最大Z振级）为8~15 dB，可根据需求进行匹配；城市临近地铁建筑基础用隔振材料，地铁振动优势频率隔振效率 $\geq 90\%$ ；建筑浮筑楼板用减振隔声材料，16 mm厚度的计

权撞击声压级改善量 $\geq 30$  dB，动刚度 $\leq 10$  MN/m<sup>3</sup>；装备用阻尼减振材料，有效阻尼温域（阻尼因子 $\geq 0.3$ ）达 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，密度 $\leq 1.2$  g/cm<sup>3</sup>，视应用场景满足相应阻燃要求。

**关键词：**聚氨酯，减振降噪，大规模生产，应用验证

#### **1.4 超高分子量聚乙烯纤维及其结构功能一体化关键技术开发与应用（共性关键技术，部省联动）**

**研究内容：**针对极端环境下防护、绳索、吊装、物料输送等领域对 UHMWPE 纤维的需求，突破超高强纤维、抗蠕变纤维、耐高温纤维和熔融纺丝纤维等产品从树脂原料到纤维加工技术，开展 UHMWPE 纤维制备共性关键技术研究。研究催化剂结构和聚合新工艺，调控分子链和链缠结结构，形成低缠结易加工 UHMWPE 专用树脂稳定制备技术；揭示熔纺及冻胶纺丝 UHMWPE 解缠结机理，形成高取向高结晶 UHMWPE 纤维共性关键技术；攻克超高强、抗蠕变、耐高温等差异化 UHMWPE 纤维制备技术，形成超高强纤维生产示范；攻克 UHMWPE 熔纺技术及成套装备，形成生产示范；开展三维制造等系列加工单元建设，攻克轻质高强 UHMWPE 防弹板/头盔/特种绳索等关键技术；研究纤维/橡胶表界面设计及特种输送带制备关键技术。

**考核指标：**①催化剂聚合活性 $\geq 5$  万 gPE/gCat，制备不同系列低缠结、抗蠕变、易加工黏均分子量 400~1000 万 UHMWPE 树脂，建成千吨级树脂生产示范线；②差异化 UHMWPE 纤维：超高强

纤维规格 800D，强度  $\geq 45 \text{ cN/dtex}$ ， $\text{CV} \leq 3\%$ ，模量  $\geq 1800 \text{ cN/dtex}$ ，建成 3000 吨纤维生产示范线；耐高温纤维  $180^\circ\text{C}/5 \text{ min}$  强度保持率  $\geq 85\%$ ；抗蠕变纤维，强度  $\geq 26 \text{ cN/dtex}$ ， $70^\circ\text{C}$  下载荷达 300 MPa 后，100 h 纤维伸长率  $\leq 1\%$ ；熔纺纤维强度  $\geq 15 \text{ cN/dtex}$ ， $\text{CV} \leq 3\%$ ，单丝纤度  $\leq 4 \text{ dtex}$ ，模量  $\geq 500 \text{ cN/dtex}$ ；形成千吨级熔纺纤维生产示范线；③防弹织物：面密度  $\leq 4.5 \text{ kg/m}^2$ ，防 17 格令破片  $V50 \geq 650 \text{ m/s}$ ，防弹等级 GA2 级；特种输送带面密度  $\leq 3.0 \text{ kg/m}^2$ ，强度  $\geq 2500 \text{ N/mm}$ ，剥离强度  $\geq 10 \text{ N/mm}$ ；特种绳索线密度  $\leq 6 \text{ g/m}$ ，应变率  $10 \text{ s}^{-1}$  时伸长率  $\geq 8\%$ ，强度  $\geq 9000 \text{ N}$ 。

有关说明：江苏部省联动任务

关键词：超高强 UHMWPE 纤维，熔融纺丝，抗蠕变，耐高温

### 1.5 蜂窝用低介电、高导热芳纶纸基材料研制（青年科学家）

研究内容：针对航空航天装备结构件在电磁热力多物理场耦合使用环境下的散热需求，发挥二维纳米材料高导热、大径厚比的优势，构建蜂窝用高导热透波纸基材料体系。研究二维纳米高导热材料和树脂的胶体组装机制与流变性质，发展多组分多界面复合纸张的结构控制方法，探究二维纳米高导热材料尺寸、空间排列及界面性质对纸张电磁-热-力性能的影响机制，突破二维纳米高导热材料/芳纶纸基材料的先进湿法成形及后加工关键技术，实现高性能透波导热纸基材料的批量制备。

**考核指标：**纸张定量 $\leq 60 \text{ g/m}^2$ ；厚度 $\leq 65$  微米；面内热导率 $\geq 3 \text{ W/(mK)}$ ；纵向抗张强度 $\geq 2.5 \text{ kN/m}$ ；介电常数 $\leq 3.0$ （10 GHz），损耗角正切 $\leq 0.01$ （10 GHz）；纸张幅宽不小于 0.45 米，长度不小于 100 米。

**关键词：**纸基材料、湿法成形、导热、多物理场

## **2. 高温合金及特种金属结构材料**

### **2.1 新型压铸模具用钢粉末冶金与增材制造关键技术研发与应用（应用示范，部省联动）**

**研究内容：**针对通讯、新能源汽车等行业对一体化压铸模具低成本、高性能、长寿命的迫切需求，开发新型大尺寸压铸模具模芯用高硬度、高热稳定性粉末冶金模具钢及高成形性、高性能、低成本增材制造模具钢。开展新型压铸模具用钢的合金体系设计，攻关模具用钢母合金材料高纯净化、合金粉末低成本高质量制备、高合金化粉末冶金钢高致密成形、增材制造模具钢成形性及服役性能提升，以及新型模具钢的“形-性”共控等关键技术，揭示“合金成分-粉末质量-制备工艺-微观组织-服役性能”间的交互作用机制和影响规律，全面提高新型压铸模具用钢的服役性能及寿命，完成典型产品的产业化示范应用。

**考核指标：**开发新型高热稳定性粉末冶金压铸模具钢，其洛氏硬度 $\geq 52\text{HRC}$ ，V型缺口冲击功 $\geq 10\text{J}$ ，550℃保温 100h后硬度 $\geq 48\text{HRC}$ ；增材制造专用压铸模具钢，屈服强度 $\geq 1400\text{MPa}$ 、洛氏



硬度 $\geq 44\text{HRC}$ 、横向V型缺口冲击功 $\geq 35\text{J}$ 、纵向V型缺口冲击功 $\geq 25\text{J}$ 、 $550^{\circ}\text{C}$ 保温 100h硬度 $\geq 40\text{HRC}$ 、成形质量 $\geq 150\text{kg}$ ，在典型压铸模具使用 3 万次后，模具本体取样硬度衰减不高于 10%，V型缺口冲击功衰减不超过 15%；典型压铸模具模芯镶件的服役寿命达到现有进口材料制作模具的 1.2 倍以上。所开发的新材料及产品在不少于 2 家主流压铸模具制造企业获得批量应用。

**有关说明：**江苏部省联动任务

**关键词：**粉末冶金，增材制造，压铸模具钢，服役性能，产业化示范

## **2.2 四代新型核能系统蒸汽发生器关键管材研制及产业化（应用示范，部省联动）**

**研究内容：**针对自主设计的四代新型核能系统蒸汽发生器传热管耐高温、高压、腐蚀、辐照的综合服役性能要求，通过成分优化设计，并研发高纯净冶炼及夹杂物精准控制技术；系统研究材料形变特性，探究热变形过程与组织演变的耦合机制，开发基于“形-性共控”的小口径、厚壁、超长管材形变工艺和高精度高表面质量管材的冷变形与热处理稳定成形控制技术；开发复杂空间形状（螺旋状、小曲率等）成品管制造技术；揭示传热管成分-工艺-组织-性能间的内在联系，研究开发与核电主机相配套的高可靠焊接、无间隙精准套装、模块化集成等关键技术，并实现产业化制造与示范应用。

**考核指标：**开发出高温气冷堆蒸汽发生器用单支展开长度大于 60m 高精度螺旋盘管。管材外径偏差： $\pm 0.05\text{mm}$ ，内径偏差： $\pm 0.05\text{mm}$ ，壁厚偏差 $\pm 0.10\text{mm}$ ；螺旋盘管椭圆度 $\leq 4\%$ ，通球直径 $\geq 97.5\% \times \text{ID}$ ，螺旋直径公差 $\pm 0.25\text{mm}$ ，螺旋升距公差 $\pm 0.2\text{mm}$ ，异种材料管-管对接焊缝处内凸 $\leq 0.35\text{mm}$ 。镍铬铁合金管材  $675^{\circ}\text{C}$  下  $R_m \geq 377\text{MPa}$ 、 $R_{p0.2} \geq 133\text{MPa}$ ； $\sigma_{1 \times 10^5}^{675} \geq 55\text{MPa}$ 。

开发 1000MW 钠冷快堆蒸汽发生器用小口径、厚壁、超长的高耐蚀 Cr-Mo 钢管材。材料达到高纯净： $\text{O} \leq 20\text{ppm}$ ， $\text{H} \leq 1.5\text{ppm}$ ， $\text{N} \leq 25\text{ppm}$ ， $\text{Pb} \leq 10\text{ppm}$ ， $\text{Sn} \leq 50\text{ppm}$ ， $\text{As} \leq 80\text{ppm}$ ， $\text{Sb} \leq 10\text{ppm}$ ， $\text{Bi} \leq 10\text{ppm}$ ，非金属夹杂物总和 $\leq 2.0$ ；钠腐蚀速率 $\leq 0.0007\text{mm/年}$ ，水蒸气腐蚀速率 $\leq 0.01\text{mm/年}$ ； $\sigma_{1 \times 10^4}^{530} \geq 124\text{MPa}$ ， $\sigma_{1 \times 10^4}^{510} \geq 93\text{MPa}$ 。在  $530^{\circ}\text{C}$ 、 $R=-1$ 、应变速率  $4 \times 10^{-3}\text{mm/mm/s}$  下，疲劳循环周次 $\geq 10^6$  次。实现四代新型核能系统蒸汽发生器用管材产业化生产，在 600MW 高温气冷堆及 1000MW 钠冷快堆实现示范应用。

**有关说明：**江苏部省联动任务

**关键词：**四代核电，传热管，力学性能，耐腐蚀性，可靠性

### **2.3 新一代航空发动机低压涡轮 TiAl 叶片关键技术开发与示范应用（应用示范）**

**研究内容：**针对我国商用航空发动机对轻质高强、长寿命 TiAl 叶片产业化和降低生产成本的迫切需求，提升高纯度、高均匀性、高一致性工业级航空 TiAl 母合金的稳定批量化制备技术，开展高

惰性无污染氧化钇模壳的稳定化精细控制研究，开展夹杂物、疏松和尺寸精准控制等关键技术研究，开发自动化TiAl叶片抛磨的高效技术，提升TiAl叶片合格率和生产效率，提升TiAl叶片生产技术的成熟度并拓展其应用范围，进一步降低成本，构建高质量、高效率、低成本的TiAl叶片生产生态，提升TiAl叶片铸件的产业化能力。

**考核指标：**(1) TiAl母合金：单一杂质元素含量 $\leq 0.01\text{wt.}\%$ ，杂质元素含量总和 $\leq 0.1\text{wt.}\%$ 。(2) TiAl附铸试样：室温拉伸屈服强度 $\geq 505\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 520\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 0.7\%$ ；蠕变性能( $650^{\circ}\text{C}$ ):  $\delta_{0.25}^{100h} \geq 270\text{MPa}$ 。(3) TiAl叶片：O含量 $\leq 0.08\text{wt.}\%$ ，N含量 $\leq 0.02\text{wt.}\%$ ，H含量 $\leq 0.01\text{wt.}\%$ ，平均晶粒尺寸 $\leq 100\mu\text{m}$ ；磨削及抛光效率 $\geq 3000$ 片/月；尺寸精度优于CT5级，射线透照检验最大允许缺陷等级的标准底片图号按ASTM E1320，1/4in标准执行，合格率 $\geq 40\%$ ；超转破断试验转速 $\geq 6000$ 转/分；(4)产业化能力：叶片铸件产能 $\geq 30000$ 片/年，叶片铸件生产成本 $\leq 8000$ 元/片。

**关键词：**TiAl叶片，轻量化，经济性，精密铸造，产业化

## 2.4 极低温清洁能源储罐用特种合金开发与示范应用（应用示范）

**研究内容：**面向我国极低温清洁能源装备对低成本高锰钢及配套焊材的迫切需求，开展新型高锰钢高效低成本制造及其配套焊材一体化合金设计与焊接工艺研究，开发高锰钢与焊材盘条的

铸坯质量控制工艺与高效多炉连浇连铸集成关键技术，揭示高温均质化及形变热处理过程中的组织演变规律与调控机理，掌握新型高锰钢及配套焊材盘条的高效低成本冶炼-连铸-轧制的全流程制造技术，厘清新型高锰钢与配套焊材、焊接工艺方法的匹配机制，完成绿色低危害焊接工艺开发与接头服役性能评价，并实现批量化生产，在典型极低温清洁能源装备制造中形成示范应用。

**考核指标：**设计开发新型低成本高锰钢及配套焊材并可实现3炉及以上连浇连铸，相比单浇在同等质量下生产效率提升2倍以上，所制备板材及焊材满足极低温清洁能源装备工程应用要求；开发埋弧、手工焊材盘条及丝材工业化生产成套技术，焊材熔敷金属屈服强度 $\geq 440\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 720\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 35\%$ ， $-269^\circ\text{C}$ 冲击吸收能量 $\geq 50\text{J}$ ；焊接接头抗拉强度 $\geq 720\text{MPa}$ ， $-269^\circ\text{C}$ 冲击吸收能量 $\geq 50\text{J}$ ，氢脆敏感性 $\leq 20\%$ ；与316L不锈钢及其现有制造工艺相比综合成本降低20%以上，实现在极低温清洁能源装备产业链的示范应用。

**关键词：**特种合金，能源储罐，极低温，强韧性

## **2.5 光伏电池丝网印刷用超高强不锈钢微丝关键技术与应用** **（应用示范，部省联动）**

**研究内容：**针对光伏电池丝网印刷用超高强不锈钢微丝国产替代的迫切需求，开展奥氏体不锈钢超纯净化机理、超大应变冷拉拔过程微纳结构和残余应力演变机制研究；开发超高纯净奥氏

体不锈钢熔炼技术，实现高均质盘条的工业化生产；突破 10 微米不锈钢微丝精密制造技术，建立冷拉拔工艺优化准则并实现超高强度化，实现微丝残余应力精细调控和平直度提升，开发拉拔微张力精确控制系统与直驱排线技术；实现高目数不锈钢丝网编织和网版制造，在光伏电池丝网印刷工业流程中开展验证，性能满足实际生产需求。

**考核指标：**突破超高纯净不锈钢熔炼技术，实现微观夹杂物有效控制，夹杂物分数 $\leq 0.01\%$ ，夹杂物平均尺寸 $\leq 2$  微米，最大夹杂物尺寸 $\leq 5$  微米；实现微丝组织结构及其演化规律的三维定量表征，基于微结构参数及强化机制发展强度预测模型，预测误差 $\leq 10\%$ ；微丝直径 $\leq 10$  微米，公称尺寸偏差 $\leq 5\%$ ，拉拔态最高抗拉强度 $\geq 3.2\text{GPa}$ ；实现连续拉拔 1 万米不断丝，微丝表面光亮；建成 1 条产能 5000 万米/年的示范生产线；完成 520 目数网纱编织和网版试制，编织丝网规格为  $1200\text{mm} \times 1200\text{mm}$ ，轧压后网版厚度偏差 $\leq 0.5$  微米，在丝网印刷流程中实现网版应用验证，印刷次数 $\geq 10$  万次。

**有关说明：**江苏部省联动任务

**关键词：**不锈钢微丝，超高强，纯净度，光伏电池，丝网印刷

## 2.6 基于液态金属冷却定向凝固技术的单晶涡轮叶片研制与应用（应用示范）

**研究内容：**针对航空发动机及燃气轮机对单晶叶片高疲劳性能、高效率、低成本研制的迫切需求，开展液态金属冷却（LMC）技术研究。对比Sn冷和Al冷LMC设备及工艺参数对单晶高温合金组织与性能的影响；研究Sn对单晶合金组织与性能的影响，确定临界Sn含量；明确两种冷却介质对单晶涡轮叶片的污染机制，优化控制技术；对比冷却介质（Sn和Al）对单晶涡轮叶片质量与典型性能的影响；优化LMC工艺大模组单晶涡轮叶片型壳设计与制备技术；研究大模组单晶叶片籽晶法取向控制技术、应力应变控制技术和再结晶控制技术。形成单晶涡轮叶片规模生产能力，实现示范应用。

**考核指标：**1) Sn冷DD26 单晶合金疲劳性能：850℃, 300MPa, 循环周次不低于  $3 \times 10^7$ ，单晶合金 900℃/3000h无TCP相；2) Al冷DD26 单晶合金疲劳性能：850℃, 300MPa, 循环周次不低于  $1 \times 10^7$ ，单晶合金 900℃/2000h无TCP相；3) 实现单晶涡轮叶片铸件大模组高效制备，制备效率分别不少于 20 件/炉（Sn冷LMC）和 16 件/炉（Al冷LMC），叶片铸件合格率不低于 70%；4) Sn冷和Al冷大模组单晶涡轮叶片：一次枝晶间距不超过 0.25mm，叶片[001]晶体取向与叶片轴向偏离不超过 8°，显微疏松水平不超过 0.2%；5) Sn冷LMC技术，单晶涡轮叶片Sn含量<20ppm，表面无

反应层；6）Al冷LMC技术，单晶涡轮叶片表面无反应层，表面贫化层 $\leq 0.025\text{mm}$ ；7）形成单晶涡轮叶片铸件 1 万件/年的工业化规模生产能力；8）在 1-2 个型号发动机中获得示范应用。

**关键词：**单晶涡轮叶片，LMC定向凝固技术，单晶合金

## **2.7 长流程钢铁冶金超低碳排放关键共性技术及其应用（应用示范）**

**研究内容：**针对传统长流程超低碳排放生产高品质绿钢的需求，研发超高碱度球团矿制备、高炉高比例球团矿耦合高炉碳循环深度减碳技术；开展转炉大比例废钢低碳炉料冶炼工艺及复合喷吹生物质炭工艺研究；研究废钢残留元素对高品质钢的生产和应用的遗传影响规律；研究实施高品质钢多种性能调控技术；构建长流程超低碳排放生产高成形性高品质钢的工艺技术，开展全流程碳足迹管理分析。最终实现基于传统长流程超低碳排放生产关键共性技术的高成形性高品质钢铁材料绿色制造。

**考核指标：**实现高炉球团矿应用比例 $\geq 70\%$ ，开发氢基DRI和废钢的熔炼铁水中试线；大型转炉工序大废钢比（ $\geq 55\%$ ）条件下新能源行业外覆盖件用钢连浇炉数 $\geq 7$  炉、成品磷含量 $\leq 100\text{ppm}$ 、氮含量 $\leq 30\text{ppm}$ 、T.O $\leq 15\text{ppm}$ ；实现 500MPa级扩孔翻边高度 $\geq 5\text{mm}$ 新能源行业外覆盖件用钢批量生产和应用；实现 28Kg级以下的重卡车轮用钢材抗拉强度 $> 700\text{MPa}$ ，强化系数 1.60 的径向疲劳寿命 $> 150$  万次；满足超低温 $-253^{\circ}\text{C}$ 、超高温 $750-950^{\circ}\text{C}$ 服役场景的

高性能能源装备用钢使用需求。形成基于传统钢铁长流程超低碳排放生产高品质先进制造业用钢关键共性技术应用 1 处，产品应用 $\geq 2$  处，以 2023 年碳排放指标为基准，项目的绿色低碳集成技术实现高品质钢制造过程碳排放削减 50%以上。

**关键词：**钢铁长流程工艺、碳减排、碳循环、高品质钢

### **3. 轻质高强金属及其复合材料**

#### **3.1 新型轻质耐热铝合金设计与制备关键技术（共性关键技术）**

**研究内容：**针对超高声速飞行器机匣、载人航天器防护层等关键部位对高性能轻质耐热铝合金的重大需求，研究稀土多元合金化、多相组织对强度、耐热性能的协同控制机理以及制备过程热/力场对板材/铸件组织性能的调控作用，突破新型合金成分设计、板材及铸件规模化低成本制备、短流程近净成形、综合性能协同调控以及铝-钕中间合金低成本化等关键技术，开发 200~400℃使用工况的系列合金体系及典型产品成套制造技术，开展典型结构件设计、应用性能评价及考核试验。

**考核指标：**200℃级铝合金板材：厚度 1.2-3.6mm、宽度 $\geq 1500\text{mm}$ ，密度 $\leq 2.65\text{g/cm}^3$ ；室温抗拉强度 $\geq 550\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ；焊接接头强度 $\geq 320\text{MPa}$ ；200℃抗拉强度 $\geq 220\text{MPa}$ ，200℃下保温 100h 后抗拉强度 $\geq 130\text{MPa}$ 。300℃级铝合金铸件：长度 $\geq 1\text{m}$ 、壁厚 $\leq 5\text{mm}$ ，密度 $\leq 2.9\text{g/cm}^3$ ；室温抗拉强度 $\geq 350\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 6\%$ ；



300℃下保温 100 小时后抗拉强度 $\geq 280\text{MPa}$ ; 300℃(100 小时)持久强度 $\geq 100\text{MPa}$ 。400℃级铝合金精密铸件: 壁厚 5-22mm (壁厚差 $\geq 4$ ), 密度 $\leq 2.72\text{g/cm}^3$ ; 平均晶粒尺寸 $\leq 100\mu\text{m}$ , 晶粒尺寸最大差异 $\leq 15\%$ ; 室温抗拉强度 $\geq 180\text{MPa}$ , 延伸率 $\geq 20\%$ ; 400℃热暴露 100h 后抗拉强度 $\geq 170\text{MPa}$ 。高品质铝-钕中间合金钕当量成本不高于 1 万元/公斤。实现 1~2 个典型应用场景构件制造, 完成高温服役环境下模拟考核实验, 形成板材 10000 吨/年的工业化生产能力。

**关键词:** 极端工况, 轻量化, 耐热铝合金, 系列化

### **3.2 高端农机装备用高性能轻量化低成本关键材料技术 (共性关键技术, 部省联动)**

**研究内容:** 开展高端农机装备用高强韧耐腐蚀纳米陶瓷颗粒增强铝基复合材料、金刚石抗粘耐磨复合涂层材料和超高强耐磨硼钢新材料研究。建立纳米陶瓷颗粒增强铝基复合材料的体系设计和组织性能优化与低成本调控方法, 开发基于金刚石微粒增强的高强度、高耐磨、自润滑复合涂层材料, 研发大规格棒坯均质半连铸、复杂薄壁型材精准控形控性热挤压、节能热处理及表面涂装成套技术和综合性能评价体系, 并在收获和插秧机机架、箱体等典型零部件上应用考核; 开展超高强耐磨硼钢成分设计、均质化冶炼制备、组织性能调控、零部件表层耐磨涂层制备与延寿及质量一致性评价等关键技术研究, 优化设计制造高速犁机架、犁铧和重型圆盘耙片等典型部件并在大田应用考核。

**考核指标：**开发出高端农机装备用新材料 4 种，其中：超高强韧抗疲劳可焊接纳米陶瓷颗粒增强铝基复合材料，抗拉强度 $\geq 630\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 580\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 8\%$ ，弹性模量 $\geq 80\text{GPa}$ ，比吸能 $\geq 70\text{kJ/kg}$ ，疲劳强度 $\geq 250\text{MPa}$ ，疲劳寿命较 7N01 铝合金提高 2 倍，激光焊接接头系数 $\geq 90\%$ ，中性盐雾寿命 $\geq 2000$  小时，成本与 7N01 铝合金相当；高强韧耐腐蚀易成形纳米陶瓷颗粒增强铝基复合材料，抗拉强度 $\geq 440\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 400\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 12\%$ ，弹性模量 $\geq 80\text{GPa}$ ，比吸能 $\geq 45\text{kJ/kg}$ ，疲劳强度 $\geq 160\text{MPa}$ ，疲劳寿命较 6061 铝合金提高 2 倍，激光焊接接头系数 $\geq 95\%$ ，中性盐雾寿命 $\geq 3000$  小时，成本与 6061 铝合金相当；超高强硼钢，抗拉强度 $\geq 1700\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 1400\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 10\%$ ，室温冲击功 $\geq 50\text{J}$ （U 型缺口标准试样），成本不高于 65Mn 钢；高强耐磨硼钢，抗拉强度 $\geq 1500\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 1300\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 12\%$ ，室温冲击功 $\geq 60\text{J}$ （U 型缺口标准试样），洛氏硬度 $\geq 50\text{HRC}$ ，载荷 40N 时磨损率 $\leq 25\text{mg/km}$ （GB/T12444 金属材料磨损试验方法），其耐磨性相较于 65Mn 提高 20%，成本不高于 65Mn 钢，硼钢重型圆盘耙片和高速犁铧的服役寿命分别 $\geq 12000$  亩和 $\geq 5000$  亩（新疆沙石土壤）。至少 2 种铝基复合材料轻量化结构件和 2 种硼钢部件在农机装备应用验证不少于 50 台套，通过在大田的考核验证。

**有关说明：**江苏部省联动任务

**关键词：**高端农机装备，高性能，低成本，纳米陶瓷颗粒增强铝基复合材料，硼钢，考核验证

### **3.3 深海特种装备用高均质超大尺寸钛合金构件制造关键技术（应用示范，部省联动）**

**研究内容：**针对深海工程装备关键部件高强、高韧、大型化、低成本迫切发展需求，开发面向应用场景的中强高韧性新型钛合金材料，创新高均质大单重钛合金坯料极限制备工艺，调控固态增材界面氧化膜分解并消除其影响，突破超大型钛合金环件热加工过程的形/性协同控制技术，制定相应的材料标准和工艺技术规范；开展典型结构件制造，解剖及力学性能评价，完成工程化应用验证；支撑骨干企业实现超大尺寸钛合金构件的批量化制备，实现示范应用。

**考核指标：**研制出直径 7m 级，壁厚 80mm 级，高度 $\geq 1.5\text{m}$ ，重量 $\geq 20$  吨的整体无焊缝钛合金环形构件，用于固态增材制坯的基材单重 $\geq 2$  吨，基材和构件内不存在 $\phi 2\text{mm}$  当量以上缺陷。基材本体取样性能满足：屈服强度  $R_{p0.2} \geq 740\text{MPa}$ ，抗拉强度  $R_m \geq 820\text{MPa}$ ，延伸率  $A \geq 10\%$ ，室温冲击  $KV_2 \geq 55\text{J}$ ；环形构件本体取样性能满足：屈服强度  $R_{p0.2} \geq 740\text{MPa}$ ，抗拉强度  $R_m \geq 820\text{MPa}$ ，延伸率  $A \geq 10\%$ ，室温冲击  $KV_2 \geq 55\text{J}$ ， $-50^\circ\text{C}$ 冲击  $KV_2 \geq 35\text{J}$ ，室温断裂韧度  $K_{IC} \geq 110\text{MPa}/\text{m}^2$ （或  $K_Q \geq 121\text{MPa}/\text{m}^2$ ），海水应力腐蚀断裂韧度  $K_{ISCC} \geq 0.75 \times K_{IC}$ ， $0.75 R_{p0.2}$  峰值应力单轴循环疲劳寿命

≥5000 次，-50℃动态撕裂 DT 能≥270J，爆炸鼓胀考核减薄率≥2%，焊接系数 > 0.9，拉伸强度性能离散 CV 值≤3%；典型模拟结构通过工程化应用考核验证（≥10MPa 外界水压条件下保持 30min），实现示范应用。

**有关说明：**江苏部省联动任务

**关键词：**深海工程，中强高韧钛合金，超大尺寸构件，典型模拟结构，示范应用

### **3.4 大厚度波纹界面钢-铝结构复合材料连续高效制备及应用（应用示范）**

**研究内容：**针对大型舰船、新能源汽车等轻量化对高性能钢-铝结构复合材料的迫切需求，开展大厚度波纹界面钢-铝结构复合材料制备技术研发，研究钢-铝结构复合材料波纹界面协调变形、高强度复合、残余应力消除与性能增强机理，开发出大厚度波纹界面钢-铝结构复合材料轧制成形技术、矫直技术、服役性能评估与界面调控优化等技术，制定钢-铝结构复合材料标准与连续制备工艺技术规范，实现示范应用。

**考核指标：**大厚度波纹界面钢-铝结构复合材料总厚度≥22mm，钢侧厚度≥10mm，铝合金侧厚度≥10mm；轧制成形后界面厚度方向拉脱强度≥140MPa，界面剪切强度≥80MPa，350℃~450℃热处理 30min 后，产品厚度方向拉脱强度≥100MPa，界面剪切强度≥65MPa；界面结合率 100%，性能偏差低于±5%，

侧弯 90°测试，界面无裂纹、针孔等缺陷；形成连续高效制备高性能波纹界面钢-铝结构复合材料核心工艺包；开发出 3 种以上多使役条件下钢-铝结构复合材料，申请发明专利 10 件，建成产能  $\geq 1000$  吨/年的钢-铝结构复合材料轧制复合生产示范线，其中厚度  $\geq 22\text{mm}$  的波纹界面钢-铝结构过渡接头  $\geq 2000$  米/年，并在舰、船等过渡接头结构件上进行应用示范，实现减重 10%以上。

**关键词：**轻量化，钢-铝结构复合材料，应用示范

### **3.5 高性能极低温钛合金研究（青年科学家）**

**研究内容：**针对航天领域液氢发动机等重大工程装备对轻质低温合金的迫切需求，开展适用于极低温环境（液氢温度）服役的钛合金成分优化研究，从多尺度揭示合金元素对材料组织结构和力学性能影响的作用机理；研究合金低温条件下的组织结构演化规律和变形机制，探究合金强度-塑性协同提升机理，调控合金组织结构，实现组织性能匹配，研发出性能达标的极低温钛合金棒材和管材。

**考核指标：**棒材规格：直径 25mm、长度  $\geq 1\text{m}$ ；管材规格：外径 50mm、壁厚 2.5mm、长度  $\geq 1\text{m}$ ；力学性能：室温抗拉强度  $R_m \geq 700\text{MPa}$ 、屈服强度  $R_{p0.2} \geq 600\text{MPa}$ 、断后伸长率  $A \geq 15\%$ ， $-253^\circ\text{C}$  抗拉强度  $R_m \geq 1450\text{MPa}$ 、断后伸长率  $A \geq 10\%$ ；管材焊接系数  $\geq 0.9$ 。

**关键词：**极低温钛合金，棒材，管材，力学性能

## 4. 先进结构陶瓷及其复合材料

### 4.1 承温1600°C以上长寿命氧化物共晶陶瓷材料研究与形性协同制备技术（基础研究）

**研究内容：**针对新一代大推重比航空发动机对耐高温、长寿命叶片材料的关键需求，开展高致密、超细化共晶氧化物陶瓷成分设计，开发基于熔体生长的氧化物共晶陶瓷定向凝固技术，建立晶相组织生长与缺陷形成的控制方法，揭示共晶复合陶瓷力学性能影响因素与多尺度强韧化机理，开发复杂形状大尺寸氧化物共晶陶瓷构件成形技术，研发出发动机叶片用高性能共晶陶瓷材料。

**考核指标：**优化筛选出多型高致密、超细共晶氧化物陶瓷材料体系，开发复杂形状大尺寸氧化物共晶陶瓷构件定向凝固成形技术。共晶陶瓷致密度 $\geq 99.5\%$ ，共晶相组织取向度 $\geq 0.9$ ，共晶间距 $\leq 2\mu\text{m}$ ；硬度 $\geq 16\text{GPa}$ ，室温弯曲强度 $\geq 1000\text{MPa}$ ，断裂韧性 $\geq 5.0\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ；1600°C弯曲强度 $\geq 200\text{MPa}$ ；1400°C大气环境热暴露1000小时无明显氧化和晶粒长大(粗化速率 $\leq 0.005\mu\text{m/h}$ )；抗水氧和CMAS熔盐腐蚀，1600°C水氧环境1000小时失重小于 $0.1\text{mg/mm}^2$ ，1600°C下CMAS腐蚀100小时无剥落且反应层厚度小于 $500\mu\text{m}$ 。研发出发动机叶片用高性能共晶陶瓷样件。

**关键词：**共晶陶瓷，定向凝固，强韧化机理，构件成形

## 4.2 节能环保领域用高性能多孔陶瓷材料关键制备技术与应用（应用示范）

**研究内容：**针对节能环保领域对高性能多孔陶瓷产品的应用需求，研究氧化铝、碳化硅多孔陶瓷材料的孔结构调控机理与构效关系，开发多孔陶瓷材料规模化制备技术与服役行为评价技术研究，研制高纯氧化铝陶瓷隔热材料、长寿命危废熔融炉多孔陶瓷内衬、高温腐蚀性气体净化用“全碳化硅”陶瓷膜等典型节能环保领域用多孔陶瓷产品，开展示范应用。

**考核指标：**氧化铝陶瓷隔热材料纯度 $\geq 99.6\%$ ，高温热导率（ $1100^{\circ}\text{C}$ ） $\leq 1.5\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，最高使用温度 $1800^{\circ}\text{C}$ ，尺寸 $\geq 480\times 115\times 70\text{mm}$ ；危废熔融炉多孔陶瓷内衬材料使用温度 $\geq 1600^{\circ}\text{C}$ ，使用寿命不低于6个月；高温腐蚀性气体净化用“全碳化硅”陶瓷膜SiC含量 $\geq 99\%$ ，抗弯强度（ $1200^{\circ}\text{C}$ ） $\geq 50\text{MPa}$ ，气体通量 $\geq 1200\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})$ ，过滤精度优于 $0.2\mu\text{m}$ 。建成年产50吨多孔氧化铝陶瓷隔热材料、年产500吨危废熔融炉多孔陶瓷内衬生产线，实现典型应用示范3项。

**关键词：**多孔陶瓷，隔热材料，陶瓷膜

## 4.3 高端装备用高性能陶瓷基复合材料热结构件和精密陶瓷构件智能制造与应用（应用示范）

**研究内容：**针对航空航天、半导体高端装备对耐高温陶瓷基热结构件与精密陶瓷结构件的迫切需求，建立陶瓷基复合材料热

结构件组成-结构-性能数据驱动智能设计模型，研究复杂异形陶瓷构件数字驱动成型组织调控及多尺度微缺陷控制方法。开发陶瓷复合材料热结构件极端服役环境下的应用评价装置与技术，构建数字化生产装备体系；研制复杂异型透波部件与大尺寸精密结构件，开展工程化应用评价考核。

**考核指标：**建成耐高温氮化硼陶瓷基复合材料热结构部件低成本数字化生产线，形成完整的工艺规范与技术体系，实现批量供货；研发耐 2800℃、近零烧蚀、长时可靠的超高温陶瓷基复合材料结构件，2800℃氧乙炔焰烧蚀 1500s 后结构保存完整，线烧蚀率 $\leq 0.1 \times 10^{-3} \text{mm/s}$ ，完成环境模拟考核。微电子装备精密陶瓷构件包络尺寸 $\geq 1350\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，完成用户验收评价。

**关键词：**耐高温陶瓷基热结构件，精密陶瓷结构件，微缺陷控制，智能制造

## **5. 先进工程结构材料**

### **5.1 滨海工程结构用高固废低碳高耐久混凝土及应用关键技术（共性关键技术）**

**研究内容：**针对金属尾矿等大宗工业固废和废弃混凝土等建筑固废利用率低的难题，结合我国滨海地区高干湿循环、高盐雾和海水侵蚀等复杂环境，聚焦基础设施高质量建设对低碳高耐久水泥基材料的需求，研究高固废掺量的新型低碳胶凝材料制备技术；研究滨海复杂环境下新型低碳胶凝材料水化产物演变机理及



性能调控技术；研究滨海桥梁结构混凝土、城市模块化建筑结构混凝土的绿色低碳制备与耐久性评估、保障及提升技术；开发实现高固废掺量水泥基材料高性能化的功能材料；建立相关标准规范，实现示范应用。

**考核指标：**新型低碳胶凝材料中金属尾矿掺量 $\geq 40\%$ 、熟料用量 $\leq 20\%$ ，整体性能达到 P.O42.5 标准，碳排放 $\leq 500\text{kg/t}$ ；用于滨海桥梁结构和城市模块化建筑结构的混凝土，28d 抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，新型低碳胶凝材料用量 $\geq 95\%$ 、再生粗骨料用量 $\geq 40\%$ ；用于预制混凝土桥梁和城市模块化建筑结构的现场连接区灌浆材料，28d 抗压强度 $\geq 100\text{MPa}$ ，新型低碳胶凝材料用量 $\geq 80\%$ ；工厂预制超高性能混凝土连接件 28d 抗压强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，新型低碳胶凝材料用量 $\geq 60\%$ ；混凝土 28d 龄期 0.5 小时吸水率 $\leq 1.0\%$ ，90d 氯离子扩散系数 $\leq 2 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ ；研制新技术、新产品 $\geq 3$  项，编制相关标准或技术规范 $\geq 3$  项，在滨海大型桥梁和城市建筑工程中示范应用 $\geq 2$  处。

**关键词：**滨海工程，高固废掺量，低碳混凝土，高耐久

## **5.2 高寒区混凝土坝抗裂筑坝材料与分区协调结构基础研究（青年科学家）**

**研究内容：**针对高寒高海拔地区混凝土坝在大温差、极端低温等严苛条件下的结构抗裂难题，研发自控温筑坝混凝土材料与喷射超高性能混凝土（UHPC）材料，揭示低温环境与控温产热

对材料性能-结构性态的耦合调控机制；探索混凝土坝高抗裂分区复合、界面协调变形、服役性能增强的结构优化设计方法，提出混凝土坝变形协调的梯度分区结构；研究分区混凝土材料-结构的喷射、碾压快速施工关键技术，提出定量表征高混凝土坝分区界面协调的性态指标。

**考核指标：**炭黑掺量 $\leq$ 胶材掺量的 3wt%，自控温筑坝混凝土性能满足 C<sub>90</sub>35P8F200 的要求，混凝土电阻率 $\leq 20 \Omega \cdot m$ ，寒潮期间气温骤降速率 10℃/天时，坝体表面温度变幅 $\leq 2^\circ C$ ；喷射 UHPC 抗压强度 $\geq 120 \text{ MPa}$ ，与自控温混凝土粘结强度 $\geq 2.0 \text{ MPa}$ ；分区界面抗剪强度 $\geq$ 基体抗剪强度 90%，应力奇异性降低 30%以上，结构抗裂安全系数 $\geq 1.80$ 。

**关键词：**混凝土坝，防裂控温材料，抗裂结构，高寒区

### 5.3 新型低碳建筑结构关键材料及应用基础研究（青年科学家）

**研究内容：**针对新型低碳建筑结构所面临的结构-储能一体化难题，设计并开发电化学储能混凝土关键材料，建立基于能量密度与强度的储能混凝土优化设计理论；研究储能混凝土在结构构件中的集成模式，分析储能构件在不同荷载下的力学响应并建立本构模型，精确评估新型储能建筑结构可靠度；开发“供-储-用”时空协同的建筑能源匹配技术，形成结构-储能一体化设计方法，实现电化学储能混凝土在低碳建筑结构中的安全长效应用。

**考核指标:** 新型电化学储能混凝土 28d 抗压强度 $>30\text{MPa}$ , 体积能量密度 $>2000\text{Wh/m}^3$ , 充放电循环 500 次后, 容量保持率 $>80\%$ ; 储能构件抗压强度 $>12\text{MPa}$ , 轴心抗拉强度 $>0.45\text{MPa}$ , 抗剪强度 $>0.45\text{MPa}$ , 满足一级建筑可靠度指标; 建筑能源自供给率提高 15%以上, 建筑全寿命周期碳排放降低 20%以上。

**关键词:** 混凝土, 结构-储能一体化, 低碳

#### **5.4 跨海峡悬浮隧道工程特种结构设计理论与防护方法 (青年科学家)**

**研究内容:** 针对跨海峡悬浮隧道建设对高性能急需结构材料的需求, 研发高强韧-高吸能-高抗裂-高抗渗-耐腐蚀的结构材料体系; 研究结构材料在海洋极端动力环境下的极限强度、疲劳特性与破坏机理; 研究海洋环境多离子传输与多场耦合腐蚀劣化机理, 研发悬浮隧道用新型结构材料防腐关键技术, 建立电化学可持续协同修复防护系统。

**考核指标:** 构建水深不小于 90m 新型材料设计理论与防护方法, 水泥基结构材料同时满足强度高于  $80\text{MPa}$ 、直拉应变大于  $8\%$ 、抗落锤冲击 10000 次以上、峰值应力裂缝宽度小于  $0.1\text{mm}$ 、抗渗等级达到 P12; 发展基于我国极端浪、流作用下悬浮隧道流固耦合的材料极限与疲劳寿命分析方法和软件 1 套, 完成典型结构全跨完全水弹性试验验证; 结构材料实现多尺度主动防腐与协同修复, 寿命期内混凝土保护层强度损失不超  $10\%$ 、钢筋钝化率保持

95%以上。

**关键词：**悬浮隧道，高强，高韧，高抗裂，高耐久

## **6. 结构材料制备加工与评价新技术**

### **6.1 混氢燃气涡轮发动机高温防护涂层研究( 共性关键技术)**

**研究内容：**针对混氢燃气涡轮发动机关键热端部件复杂环境服役需求，开展混氢燃烧环境下高温/超高温热障涂层、高温可磨耗封严涂层材料及结构设计；研究类柱状热障涂层沉积高效、厚度均匀、结构可控的制备技术，以及抗高温水氧腐蚀与耐烧结封严涂层的制备技术；揭示粘结层及类柱状热障涂层、封严涂层在高温水蒸气中的腐蚀和失效机制，以及涂层改性对混氢环境下涂层性能优化作用；建立模拟混氢服役环境多因素耦合热障涂层、封严涂层性能评价方法，提出热障涂层、封严涂层寿命典型评定判据。

**考核指标：**1)单层高温热障涂层:单层类柱状热障涂层 1250℃燃气（混水蒸气）热冲击寿命 $\geq 2000$  次；单层类柱状陶瓷层热导率 $\leq 1.3\text{W/mK}$ （室温-1200℃）；每平方厘米类柱状涂层沉积速率 $\geq 10$  微米/分钟；双联叶片涂层分布最厚/最薄厚度比 $\leq 3$ ；2) 双层超高温热障涂层：双层类柱状陶瓷层热导率 $\leq 1.6\text{W/mK}$ （室温-1500℃）；双层类柱状热障涂层 1500℃燃气（混水蒸气）热冲击寿命 $\geq 1500$  次；3) 封严涂层：1200℃燃气热冲击（混水蒸气）寿命 $\geq 2000$  次；封严涂层可磨耗性：进给深度比（IDR） $\leq 30\%$

(1200℃, 450m/s 线速度, 50μm/s 进给速度)。

**关键词:** 混氢燃气涡轮发动机、热障涂层、封严涂层

## **6.2 高性能轻合金拼焊板成形大型复杂构件技术（共性关键技术）**

**研究内容:** 针对运载装备核心部件轻量化和尺寸极端化的发展需求, 聚焦高性能轻合金拼焊板成形大型复杂构件技术, 研究复杂热力耦合条件下铝合金、镁合金拼焊板材的旋压成形机理、组织演变规律和性能评价方法; 揭示拼焊板不均匀材料属性、旋压不均匀局部变形与宏观整体成形映射关系, 阐明大径厚比板材旋压成形局部失稳与损伤破裂机理; 开发大型拼焊板材冷/热旋压成形技术, 建立高强韧轻合金拼焊板材构件的形性精准调控及服役性能评估方法; 研制新一代航天器用镁合金、铝合金等大规格高性能复杂薄壁构件, 实现在航天领域装备上应用验证。

**考核指标:** 镁合金曲母线型构件, 直径 $\geq 1000$  mm、高度 $\geq 600$  mm、最大径厚比 $\geq 200$ 、最大外径的圆度 $\leq 1.0$  mm/m、壁厚偏差 $\leq \pm 0.5$  mm, 本体抗拉强度 $\geq 400$  MPa、屈服强度 $\geq 240$  MPa、延伸率 $\geq 8\%$ , 过渡区材料抗拉强度不低于本体的 80%, 液压 1.1 MPa 保压 15 分钟无降压, 气密 1.0 MPa 保压 15 分钟无泄漏; 大厚差变曲率铝合金构件, 直径 $\geq 3500$  mm、高度 $\geq 1200$  mm、最小壁厚 $\leq 8$  mm、最大壁厚 $\geq 20$  mm、最大径厚比 $\geq 450$ 、轮廓精度 $\leq \pm 0.5$  mm/m、环向壁厚偏差 $\leq \pm 0.3$  mm, 本体抗拉强度 $\geq 430$  MPa、屈服

强度 $\geq 310$  MPa、延伸率 $\geq 8\%$ ，过渡区材料抗拉强度不低于本体的85%，液压 0.55 MPa 保压 15 分钟无降压，气密 0.5 MPa 保压 15 分钟无泄漏。实现 2 种以上大型复杂构件在航天领域装备上的应用验证。

**关键词：**拼焊板，铝合金，镁合金，旋压成形，应用验证

### **6.3 高性能复杂截面结构材料的辊压精密成形关键技术及应用（应用示范，部省联动）**

**研究内容：**面向新能源汽车和储能装备两大产业的重大需求，结合辊压成形的渐变成形和可耦合多工艺的特点，以结构件轻质高强为主线，开发高性能复杂截面结构材料成形技术。揭示高强钢/铝辊压过程中的多尺度微观组织及残余应力演变机理，构建多物理场耦合辊压工艺参数-微观组织-力学性能映射关系，建立机器学习辅助辊压仿真模型；开展高强钢/铝“形性一体化控制”工艺研究，探索工艺与模具参数对结构材料的精度与性能的影响规律，建立高强钢厚度梯度和阵列特征-工艺参数-力学性能的关系模型，探索高强铝可塑变和可焊接的协调改性方法；研究辊压结构材料的特征识别、缺陷检测与在线调控技术，建设辊压精密成形智能化示范生产线；实现材料自身强化型、厚度梯度强化型和阵列特征强化型复杂截面结构材料的稳定批量生产，完成新能源汽车和储能装备等领域典型结构件的工程化验证与产业化。

**考核指标：**开发出 1500 兆帕级高强钢辊压复杂截面结构材

料，强度 $\geq 1500$  MPa，其中开口零件面轮廓度 $\leq 3$  mm；开发出 800 MPa 级高强钢辊压厚度梯度强化型结构材料，厚度增大可达 1.5 倍；形成各年产 100 万米能力，实现规模化应用。开发出 800 MPa 级高强钢辊压阵列特征强化结构件，与强化前相比抗拉与抗弯强度提升 20% 以上；开发 6000 系高强铝合金辊压复杂闭口截面结构材料，抗拉强度 $\geq 450$  MPa、焊缝强度 $\geq$ 母材强度 70%，且最小内圆角半径 $\leq$ 母材厚度，完成工程化应用验证；建设高性能结构材料复杂构件高效智能辊压制备示范生产线 3 条及以上，实现超 300 万米年生产能力。

**有关说明：**江苏部省联动任务

**关键词：**新能源汽车，轻量化，复杂截面，辊压成形，产业化