

“十四五”国家重点研发计划“先进结构与复合材料” 重点专项2022年度项目申报指南

(征求意见稿)

1. 高性能高分子材料及其复合材料

1.1 大丝束碳纤维及复合材料低成本高效制备技术（典型应用示范）

研究内容：针对现代交通和能源装备等对低成本轻量化发展需求，开展大丝束（48K及以上）碳纤维大规模高效率、高稳定性和高适配性制备、大丝束纤维展纱和织造损伤控制、可调幅宽多轴向织物装备及织物高效率稳定制备、大克重比长适用期非热压灌成型预浸料设计和制备等技术研究，形成相应材料标准和工艺规范，建立应用数据集；开展大丝束碳纤维及织物大断面多腔异型复杂构件快速拉挤成型技术和大克重比预浸料大型复杂构件真空成型技术研究，完成高速轨道交通、风电叶片、无人机、商用车辆典型构件设计和性能验证。

考核指标：大丝束碳纤维：单线产能 ≥ 2000 吨/年(48K及以上)，最大线速度可达15米/分钟，拉伸强度 ≥ 4000 兆帕，模量220-260吉帕（可调）；多轴向织物：门幅宽度在50-100英寸(1270-2540毫米)可调；预浸料：单位面密度精度 $\pm 2.5\%$ ，真空成型20毫米复合材料板孔隙率 $\leq 1.5\%$ ，层间剪切强度 ≥ 70

兆帕；拉挤制品：制件宽度 ≥ 500 毫米、厚度 ≥ 100 毫米，腔体数量 ≥ 4 个，拉挤成型效率 ≥ 0.3 米/分钟，孔隙率 $\leq 2\%$ ；典型构件：满足高速轨道交通、风电叶片、无人机、商用车辆应用的设计要求，减重效率达到 20%以上，较小丝束纤维（12K 及以下）和织物及传统热压成型成本降低 50%以上；形成 5-7 项标准或规范。

1.2 特种工程塑料薄膜制备技术开发与产业化（共性关键技术）

研究内容：针对高性能装备轻量化对于耐高温、耐老化、高强度超薄工程塑料薄膜的需求，开展芳杂环薄膜专用树脂的结构设计，研究芳杂环聚合物缩聚反应中的副反应机理及其对聚合物链结构、聚集态结构及宏观物理性能的影响规律，优化并确定树脂合成、精制及后处理工艺参数，实现产品批次稳定性精细控制，突破反应放大过程中的聚合物结构、组成精细控制技术、专用料复配技术以及加工稳定性控制技术，完成高性能薄膜的连续加工，并在轨道交通、空天装备和电子电气等领域通过验证。

考核指标：半结晶型聚芳醚酮薄膜专用料玻璃化转变温度和熔点分别大于 150 摄氏度和 370 摄氏度，拉伸强度 ≥ 110 兆帕，无定形聚芳醚酮薄膜专用料玻璃化转变温度 ≥ 260 摄氏度，拉伸强度 ≥ 100 兆帕，建成 100 吨/年薄膜专用树脂的示范生产线；高性能聚芳醚酮薄膜拉伸强度 ≥ 90 兆帕、厚度 ≤ 6 微米，建成 1 万平方米/年生产示范装置；形成 2-3 项薄膜的生产和应用规范或者标准。

1.3 耐苛刻使役环境合成橡胶制备技术及其产业化（共性关键技术）

研究内容：针对密封、减震和轮胎行业对高低温、高磨损、强疲劳等使役环境下合成橡胶的需求，研究橡胶序列结构和顺反异构与性能之间的关系，考察聚合物结晶度、氢化程度和分子量对使役性能的影响规律；重点开发绿色轮胎用1,2-间同聚丁二烯橡胶、高耐热氢化丁腈橡胶、耐低温丁戊橡胶、耐疲劳反式丁戊橡胶和高耐磨嵌段共聚溶聚丁苯橡胶；突破材料规模化制备关键技术，优化后端凝聚工艺，大幅降低能耗和污染排放。

考核指标：间同聚丁二烯结晶度 35-70%间可调控；反式丁戊橡胶的反式结构含量 $\geq 95\%$ ，结晶熔融焓在 5-30 焦/克间可调控；氢化丁腈橡胶氢化度为 90-99%，门尼粘度值 50-120；耐低温丁戊橡胶的低温脆性温度 ≤ -90 摄氏度，压缩耐寒系数（-50 摄氏度） ≥ 0.5 ；嵌段共聚溶聚丁苯橡胶阿克隆磨耗 ≤ 0.05 克/1.61 千米，60 摄氏度损耗因子 ≤ 0.05 ，0 摄氏度损耗因子 ≥ 0.5 ；开发的后端凝聚工艺和后处理工艺，可降低能耗和污染排放 20%以上。以上胶种满足轮胎、密封或减震件等领域的需求并实现应用。

1.4 生物基弹性体的制备与规模化应用(典型应用示范)

研究内容：针对我国天然橡胶对外依存度高、生物基弹性体缺乏验证的问题，重点发展环保型天然橡胶、环氧化天然橡胶、蒲公英橡胶和杜仲胶；深入研究环保型天然橡胶的

制备机理，突破低温微剪切超聚态天然橡胶制备关键技术；研究环氧化天然橡胶制备机理，突破原位法环氧化天然橡胶制备关键技术；研究蒲公英橡胶纳米复合材料增强机理和粘弹性调控机制，并突破其规模化制备关键技术；完成杜仲胶高效清洁提取与产品质量控制成套设备的研发，实现杜仲橡胶在轮胎和空气悬架球绞等领域的应用。

考核指标：超聚态天然橡胶拉伸强度 ≥ 25 兆帕，断裂伸长率 $\geq 750\%$ ，回弹率 $\geq 75\%$ ，建设千吨级中试装置；环氧化天然橡胶产品开环率低于10%、环氧化度波动 ± 5 、0摄氏度的 $\tan\delta \geq 0.3$ ，并试制环氧化天然橡胶轮胎，建设千吨级中试装置；雪地胎用蒲公英橡胶纳米复合材料，玻璃化转变温度 ≤ -46 摄氏度，储能模量 ≤ 25 兆帕，建成1万套/年蒲公英橡胶雪地轮胎中试装置及并完成轮胎试制；矿山轮胎用杜仲橡胶纳米复合材料邵氏A硬度 64 ± 3 度，拉伸强度 ≥ 22 兆帕。空气悬架杜仲胶球绞，疲劳实验25万次后，动刚度变化率 $\leq 20\%$ ，球皮撕裂强度 ≥ 33 千牛/米，分别完成1万套/年杜仲胶矿山轮胎和空气悬架球绞制品中试生产装置及制品试制。

1.5 聚乳酸的规模化制备技术及关键单体丙交酯的一步法产业示范（典型应用示范）

研究内容：针对生物降解聚乳酸产业发展中的规模化放大、丙交酯可控制备和应用推广等关键瓶颈问题，开发聚乳酸规模化生产工艺高效催化体系，设计并优化脱水、裂解与聚合过程中的装备与工艺参数，降低反应过程中聚合物的消旋化，解决15万吨级规模聚合过程中的传质、传热、反应

活性等核心问题，制备高旋光纯度、高分子量、窄分布、低单体含量树脂；研究乳酸“一步法”制备聚合级丙交酯的催化关键工艺技术，明晰催化剂结构-催化条件-产物性能间的关系，建立千吨级中试示范生产线；开展高性能聚乳酸改性树脂研究，优化成核剂、扩链剂等助剂体系以及成型工艺，制备具有优异力学强度、高耐热、高抗冲改性树脂，应用于工程塑料领域，开发聚乳酸淋膜、双向拉伸膜以及熔喷非织造布等成型工艺研究，拓展聚乳酸应用领域。

考核指标：建立 15 万吨/年聚乳酸产业化生产线。聚乳酸熔体流动速率 2-5 克/10 分钟（190 摄氏度，2.16 千克），单体残留量 $\leq 0.5\%$ ，旋光纯度 $\geq 99.5\%$ ，熔点 ≥ 178 摄氏度；建立不低于 1 千吨/年一步法丙交酯示范生产线，停留时间 ≤ 30 分钟，全程收率 $\geq 98\%$ ，丙交酯纯度 $\geq 99.5\%$ ；聚乳酸工程塑料专用树脂，拉伸强度 ≥ 100 兆帕，缺口冲击强度 ≥ 12 千焦/平方米，维卡软化温度 ≥ 200 摄氏度，湿热老化 500 小时后拉伸强度保持率 $\geq 90\%$ ；聚乳酸纸塑复合材料：剥离力 ≥ 1 牛/15 毫米，聚乳酸双向拉伸薄膜：拉伸强度 ≥ 100 兆帕，断裂伸长率 $\geq 20\%$ ，雾度 $\leq 5\%$ ，聚乳酸熔喷非织造布：克重 ≤ 40 克/平方米，滤效 $\geq 99.5\%$ （0.3 微米）。

2. 高温与特种金属结构材料

2.1 铸造高温合金返回料再利用技术与应用（共性关键技术）

研究内容：针对铸造高温合金返回料大量堆积、无法高效利用、高温合金铸件成本居高不下的问题，开展铸造高温合金返回料的分类和净化处理研究，形成返回料前处理工艺规范；研究坩埚、过滤器等辅助材料及工艺对返回料净化作用的影响及返回料纯净化冶炼技术，明确真空感应、真空电渣、真空自耗电弧以及电子束熔炼等对返回料的净化作用，实现返回料合金锭中有害杂质元素的超低含量控制；研究含铅及稀土等活泼元素铸造高温合金返回料净化及成分精确控制技术、返回料对高温合金力学性能、氧化腐蚀性能以及工艺性能的影响，确定返回料使用条件，制备涡轮叶片典型件；开展小批量铸造高温合金返回料应用工艺验证和返回料再利用应用研究。

考核指标：典型等轴、定向和单晶铸造高温合金吨级返回料中，母合金的纯净度：O、N、S 总量 $\leq 15\text{ppm}$ ，Sb、As、Cd、Ga、Ge、Au、In、Hg、K、Ag、Na、Th、Sn、U 和 Zn 等 15 种杂质元素总含量不超过 50ppm，浮渣含量 ≤ 0.3 平方厘米/公斤；返回料添加比例不低于 50% 的典型等轴、定向和单晶高温合金，化学成分、力学性能（拉伸、持久、疲劳）达到新料水平，母合金成本比新料降低 30% 以上。形成 2-3 种铸造高温合金返回料应用的技术标准，实现 2-3 种铸造高温合金返回料的应用示范。

2.2 高温合金大铸锭低偏析熔铸及大型构件整体制备技术（典型应用示范）

研究内容：针对重型燃气轮机用大尺寸涡轮盘制造流程中高品质大锭型质量控制、大锻件成型和控性等问题，开展高温合金大锭型宏微观偏析的影响规律研究；开展大锭型高温合金三联冶炼技术研究，解决大尺寸锭型的黑斑、白斑等缺陷及 Al、Ti、C 等元素烧损问题；开展大型盘件铸锭及锻件的冶金质量分析与评估；开展大型高温合金涡轮盘锻件的残余应力控制、热处理与组织性能控制技术研究；建立大型高温合金涡轮盘件质量控制体系，形成制造技术规范。

考核指标：高温合金三联冶炼低偏析自耗锭重量 ≥ 15 吨、直径 ≥ 1000 毫米；研制尺寸达到直径 2200 毫米的涡轮盘试验件；全尺寸盘锻件轮缘性能：室温拉伸断裂强度 ≥ 1250 兆帕、屈服强度（ $\sigma_{0.2}$ ） ≥ 1000 兆帕、延伸率 $\geq 13\%$ 、断面收缩率 $\geq 20\%$ ，650 摄氏度/690 兆帕持久时间 ≥ 50 小时，室温冲击功 ≥ 40 焦/平方厘米；全尺寸涡轮盘锻件平均晶粒度不粗于 3.0 级；超声波探伤单个缺陷不得大于直径 2.0 毫米当量平底孔，实现 10 吨级超大型高温合金涡轮盘的应用示范。

2.3 强疲劳载荷环境用超高强度钢（共性关键技术）

研究内容：针对高端装备关键承力部件对强疲劳载荷环境下超高强度钢的需求，开展强韧化组织匹配、多相耦合析出、非平衡相变尺度调控、应力循环响应机制等研究，揭示强疲劳载荷服役环境下材料设计准则和失效模式机理，突破

强疲劳载荷服役环境材料设计、组织性能匹配、单真空冶金、均质化制备和质量一致性评价技术,建立制备工艺-组织性能调控-强疲劳载荷环境服役协同机制。开发低成本 2200 兆帕超高强度钢、高性能 3000 兆帕超高强度钢,形成稳定工业化生产能力,具备典型示范应用能力。

考核指标: 低成本高强韧超高强度钢: 棒材直径或边长 ≥ 400 毫米, 抗拉强度 ≥ 2200 兆帕、屈服强度 ≥ 1750 兆帕、延伸率 $\geq 6\%$ 、断面收缩率 $\geq 30\%$, 断裂韧性 ≥ 65 兆帕 \times 米^{1/2} (熔检), 晶粒度 ≥ 6 级, 棒材成本不高于国外同级别产品的 50%, 组批能力 ≥ 40 吨/批次。高性能高强塑超高强度钢: 抗拉强度 ≥ 3000 兆帕、屈服强度 ≥ 2400 兆帕、延伸率 $\geq 4\%$ 、断面收缩率 $\geq 30\%$, 晶粒度 ≥ 8 级。形成低成本高强韧超高强度钢大尺寸棒材 2000 吨/年的工业化规模生产能力, 具备典型示范应用能力。

2.4 超低温工程装备用高强高韧特种合金研制及应用 (典型应用示范)

研究内容: 针对国家重大工程装备超低温服役对高强韧、高强塑、抗疲劳特种合金的需求, 开展适应于超低温服役环境用高强高韧特种合金设计、超高纯冶炼工艺、多相组织演变机制与稳定性调控、强韧性与强塑性匹配等研究, 揭示超低温服役环境下合金设计准则与失效模式机理, 突破超低温、宽温域、交变载荷服役环境下材料的合金设计、微观组织与强韧性匹配、零部件热处理与尺寸稳定性控制等关键技术, 开发出超低温服役环境用系列高强高韧特种合金材

料，形成样件并完成典型应用示范。

考核指标：成功研发出液氮、液氦等超低温服役环境用系列高强高韧特种合金。液氮服役环境性能满足：高强韧合金-196 摄氏度屈服强度 ≥ 1800 兆帕，V 型缺口冲击功 ≥ 30 焦，平面断裂韧性 ≥ 80 兆帕 \times 米^{1/2}；高疲劳寿命合金室温屈服强度 ≥ 950 兆帕，V 型缺口冲击功 ≥ 150 焦，-196 摄氏度屈服强度 ≥ 1250 兆帕，V 型缺口冲击功 ≥ 70 焦，拉-拉疲劳强度 ≥ 700 兆帕。液氦服役环境性能满足：高强塑性合金-269 摄氏度屈服强度 ≥ 1500 兆帕，延伸率 $\geq 25\%$ 。形成 3 种以上材料样件，实现超低温服役重大工程装备的典型应用示范。

2.5 耐超高温抗蠕变难熔金属材料及复杂构件制备技术 (共性关键技术)

研究内容：针对半导体高温气相沉积装备等超高温长时服役对铼及铼合金等难熔金属材料高温抗变形、抗蠕变性能的迫切需求，开展难熔金属材料合金固溶强化与微观组织调控、高温陶瓷第二相颗粒增强、焊接工艺及焊接接头组织调控等研究。揭示超高温长时服役用难熔合金、难熔金属陶瓷的高温强化机制、焊接熔池和基体交互作用机理等，突破超高温抗蠕变难熔金属材料成分与组织性能调控、焊接接头缺陷控制等关键技术；建立制备工艺-组织性能调控-超高温长时服役条件协同控制机制；构建材料高温蠕变失效模型和寿命预测方法。开发出应用于超高温长时服役环境下的系列难熔金属材料，形成样件实现典型应用验证。

考核指标：金属有机化合物气相沉积等高端超高温装备用难熔金属材料性能：2000 摄氏度，100 小时蠕变断裂强度 ≥ 15 兆帕；室温-2000 摄氏度，热循环 ≥ 1800 轮次，满足抗蠕变要求。超高温装备推进系统用难熔金属材料性能：2000 摄氏度，40 兆帕应力条件下，稳态蠕变速率 $\leq 9.0 \times 10^{-7}$ /秒。超高温装备电源系统用难熔金属材料性能：1200 摄氏度，50 兆帕应力条件下，稳态蠕变速率 $\leq 1.0 \times 10^{-7}$ /秒；依据《焊接接头拉伸试验方法 GB/T 2651》，1400 摄氏度，焊接接头结合强度不低于基体强度的 80%。形成 3 种以上材料样件，实现超高温长时服役装备典型应用验证。

2.6 特种合金环形锻件控形控性一体化技术与应用示范 (典型应用示范，江苏部省联动任务)

研究内容：针对高端装备特种合金环形锻件产业低碳发展需求，开发低成本高性能钛合金与低合金钢环形锻件控形控性一体化近净环轧成形技术，研发两类合金铸锭纯净熔炼与成分优化、组织性能均匀化处理技术；研发大型复杂薄壁钛合金与异形厚截面低合金钢环形锻件近净环轧成形工艺、组织性能精准调控、残余应力均化与全流程数值模拟技术；研究环形锻件组织、残余应力、性能调控的跨尺度效应，实现低成本高性能特种合金环形锻件的“低碳”制备以及典型装备的示范应用。

考核指标：钛合金锭坯室温抗拉强度 ≥ 950 兆帕，延伸率 15~20%；低合金钢锭坯室温抗拉强度 ≥ 500 兆帕，晶粒度 ≥ 6 级；钛合金环锻件，室温拉伸强度 900~1160 兆帕，延伸率

≥10%，400℃拉伸强度≥600兆帕，外径尺寸Φ500~3500毫米；低合金钢环锻件，室温拉伸强度450~600兆帕，-50℃冲击≥50焦，晶粒度≥6级，外径Φ3000~10000毫米；环锻件尺寸精度≥1‰，尺寸散差≤0.2%；环锻件残余应力强度分布散差≤20%，机加工变形由0.1%降低至0.05%以下；钛合金与低碳钢环形锻件性能指标按外径尺寸上限考核；建成特种合金环形锻件智能化生产线一条，形成钛合金环锻件300~500件/年、低碳钢环锻件5万吨/年的生产能力，分别实现钛合金与低碳钢环形锻件在发动机机匣与海上风电法兰盘上的应用示范，较现有技术生产效率提升20~40%，能耗降低30~50%。

3. 轻质高强金属及其复合材料

3.1 钛合金返回料利用及高效短流程制备关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对海洋工程和交通运输装备高比强、高耐蚀、低成本的发展需求，开展大量使用返回料的低成本钛合金成分设计与控制技术、低成本钛合金回炉料循环利用的熔炼技术、低成本钛合金板材和管材的高效短流程加工技术研究，完成低成本钛合金全尺寸典型件的制备及应用考核验证；制定低成本钛合金材料制备和应用考核标准规范，形成低成本钛合金板材和管材的工业化规模生产能力。

考核指标：板材：密度≤4.7克/立方厘米；规格：厚度42毫米、宽度2米、长度4米；力学性能：抗拉强度 $R_m \geq 1000$

兆帕、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 900$ 兆帕、断后伸长率 $A \geq 9\%$ ，杨氏模量 $E \geq 110$ 吉帕，冲击韧性 $a_{ku} \geq 40$ 焦/平方厘米，平面应变断裂韧度 $K_{IC} \geq 60$ 兆帕 \times 米^{1/2}；同种规格板材成本较传统方法制备的 TC4 合金板材降低 40%以上，并通过典型件的应用考核；形成低成本钛合金板材 3000 吨/年的生产能力。管材：密度 ≤ 4.6 克/立方厘米；力学性能：抗拉强度 $R_m \geq 900$ 兆帕、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 830$ 兆帕、断后伸长率 $A \geq 10\%$ ；典型规格管材的外径允许偏差、壁厚允许偏差、弯曲度、不圆度、壁厚不均性、超声波检验缺陷等满足规范要求；同种规格管材成本较传统方法制备的 TC4 合金管材降低 40%以上，并通过典型件的应用考核；形成低成本钛合金管材 1000 吨/年的工业化规模生产能力。

3.2 空间装备用新型超高强韧及耐损伤铝合金（共性关键技术）

研究内容：针对空间装备领域进一步轻量化对更高综合性能铝合金的重大需求，聚焦超强高韧抗疲劳厚板、高强耐损伤薄板、高强可焊厚板等铝合金材料，研究超强高韧抗疲劳铝合金成分与多相组织对韧性、疲劳性能的协同作用，高强耐损伤铝合金损伤机理及其与多相组织、环境因素的关联性，高强可焊铝合金母材、焊丝成分组织与性能、焊接工艺对母材及其焊接接头性能的匹配规律，突破高综合性能铝合金制备关键技术，完成材料制备工艺与应用性能的工程化验证。

考核指标：新型超高强韧铝合金厚板：抗拉强度 $R_m \geq 650$

兆帕、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 585$ 兆帕，断后伸长率 $A \geq 9\%$ ，平面应变断裂韧度 $K_{IC} \geq 25$ 兆帕 \times 米^{1/2}，应力集中系数 $K_t=1$ 、应力比 $R=0.06$ 、周次 $N=10^7$ 条件下纵向加载疲劳极限 ≥ 300 兆帕，厚度不低于 80 毫米；低成本耐损伤铝合金薄板：抗拉强度 $R_m \geq 520$ 兆帕、断后伸长率 $A \geq 10\%$ ，平面应力断裂韧度 $K_C \geq 180$ 兆帕 \times 米^{1/2}，应力比 $R=0.1$ 、应力强度因子 $\Delta K=30$ 兆帕 \times 米^{1/2} 条件下横向-纵向（T-L）疲劳裂纹扩展速率 $da/dN \leq 2 \times 10^{-3}$ 毫米/循环次数，应力腐蚀敏感因子 $\leq 5\%$ ，厚度 1.0-6.0 毫米，成本与 2524 铝合金相当；高强可焊铝合金厚板：抗拉强度 $R_m \geq 500$ 兆帕、断后伸长率 $A \geq 8\%$ ，熔焊接头系数 ≥ 0.8 ，厚度不低于 35 毫米；三类铝合金材料通过典型构件制造考核，典型构件最大投影面积不低于 2 平方米。

3.3 青海盐湖新型镁基材料及前端制造技术（共性关键技术，定向择优项目）

研究内容：针对青海盐湖镁资源现状和氯化镁特点，研究无水氯化镁颗粒熔融与净化一体化装备和能耗控制系统，开发青海盐湖金属镁低能耗电解制备技术；研究电解金属镁熔液合金化原理及工艺，开发冶金短流程合金制造技术；研究盐湖金属镁深度除杂原理及工艺，发展盐湖金属镁低成本纯净化工艺技术，为镁合金结构材料更大规模应用创造条件；发展结合盐湖成分特点和当地产业特点的新型盐湖镁基结构材料，开发具有大规模应用背景的车用镁合金复杂零部件，实现在汽车上的示范应用；研究氧化镁、氢化镁等镁化合物产品，发展新型盐湖镁基耐火材料，实现盐湖镁基耐火

材料在冶金领域的示范应用。

考核指标：金属镁电解直流电耗 <12000 千瓦时/吨，电流强度大于 460 千安，电流效率 $\geq 92\%$ ，实现 3 种及以上中间合金稳定生产，合金元素含量 $\geq 10\text{wt.}\%$ ，电解金属镁及中间合金产能 ≥ 5 万吨/年；短流程冶金过程全流程电耗降低值 ≥ 850 千瓦时/吨，镁合金锭坯、金属镁损耗 $\leq 3\%$ ，镁合金锭坯不良率 $\leq 0.5\%$ ，形成年产 1 万吨高品质镁合金锭坯示范生产线；电解金属纯镁深度纯净化后铁含量 $\leq 50\text{ppm}$ 、镍含量 $\leq 5\text{ppm}$ ，生产能力大于 1 万吨；发展 3 种及以上盐湖镁合金结构材料，成本、力学与耐蚀性能和现有 AM50（皮江法）相当，并在 3 种及以上车用复杂或重要构件上示范应用；高纯氧化镁、氢化镁产品的主含量大于 99.5wt.%，综合性能与皮江法镁相当；与现有盐湖产品相比，高端镁质耐火材料寿命提高 20%，应用新产品钢液中夹杂物量降低 15%以上，年生产能力 ≥ 1 万吨，实现工程示范应用。

3.4 大尺寸高模量及超高模量铝基复合材料（共性关键技术）

研究内容：针对空间装备精密构件大型化、轻量化、产品系列化以及高刚度与高精度稳定性设计需求，发展大尺寸的轻质高模量及超高模量系列铝基复合材料。研究复合材料体系-界面-宏/微观性能耦合集成设计技术，建立材料成分-界面-组织-宏观性能的多尺度映射和构效关系，揭示工艺-缺陷-残余应力-表面完整性-服役行为耦合机制与协同控制机理，攻克大尺寸铸锭高均匀稳定制备以及大尺寸构件塑性成

形、协同热处理、尺寸稳定化、表面完整性控制、特种连接、表面改性等面向应用场景的关键技术，制定相关材料标准与工艺技术规范，建立使役行为评价体系。

考核指标：高强型高模量铝基复合材料，抗拉强度 $R_m \geq 600$ 兆帕，弹性模量 $E \geq 110$ 吉帕，断裂韧性 $K_{IC} \geq 18$ 兆帕 \times 米^{1/2}，锻件最大投影面积 ≥ 1 平方米，型材最大长度 ≥ 5 米；高强韧型高模量铝基复合材料，抗拉强度 $R_m \geq 530$ 兆帕，弹性模量 $E \geq 110$ 吉帕，断裂韧性 $K_{IC} \geq 30$ 兆帕 \times 米^{1/2}，锻件最大投影面积 ≥ 1 平方米，型材最大长度 ≥ 30 米；高强型超高模量铝基复合材料，抗拉强度 $R_m \geq 450$ 兆帕，弹性模量 $E \geq 140$ 吉帕，单锭重量达到吨级，铸锭最大投影面积 ≥ 0.3 平方米；低膨胀型超高模量铝基复合材料，热膨胀系数 $\leq 10 \times 10^{-6}$ /摄氏度，弹性模量 $E \geq 180$ 吉帕，单锭重量达到 1.5 吨，铸锭最大投影面积 ≥ 3 平方米；研制出 8 种以上典型构件产品，通过地面考核验证，其中部分产品实现空间在轨运行应用。

3.5 抗辐射、耐腐蚀的金属结构复合材料研制及应用(典型应用示范)

研究内容：针对空间强辐射环境及苛刻油气开采腐蚀环境对高性能金属结构材料的需求，研发抗辐射铝基层状复合材料及耐腐蚀双金属复合无缝油管，研究复合材料界面结构与优化设计、抗辐射及耐腐蚀性能作用机理；开发复合材料组分及结构设计技术、复合加工协同变形控制技术、综合性能调控及应用评价技术；制定相关材料标准与工艺技术规范，实现示范应用。

考核指标：铝/钽层状复合卷材抗拉强度 $R_m \geq 470$ 兆帕、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 360$ 兆帕，界面剪切强度 ≥ 50 兆帕；在类地球中高轨道连续电子能谱（0.5-5 兆电子伏）辐照下，相同面密度情况下(0.81-2.70 克/平方厘米)铝/钽复合材料屏蔽防护效果比单质铝材料提高 70%以上，实现在轨验证应用。耐蚀碳钢+不锈钢和碳钢+镍基合金等类型的双金属冶金复合无缝管：抗拉强度 $R_m \geq 800$ 兆帕、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 700$ 兆帕，界面剪切强度 ≥ 350 兆帕；在温度 150 摄氏度、二氧化碳压力 3.5 兆帕、15%氯化钠溶液、1 米/秒流速条件下腐蚀速率 ≤ 0.3 毫米/年；采用 NACE TM0177-2016 试验方法 A，pH 值 4.0、硫化氢压力 5 千帕条件下符合 65%规定最小屈服强度门槛值；形成油气开采用双金属复合无缝油管 1 万吨/年的工业化规模生产能力。

4. 先进结构陶瓷与复合材料

4.1 大尺寸透明陶瓷部件制备关键技术与应用示范（典型应用示范）

研究内容：针对重大装备领域对大尺寸、高透过率透明陶瓷部件的紧迫需求，突破高纯度、高烧结活性、高批次稳定性透明陶瓷专用粉体制备技术；开发大尺寸、高密度均匀性透明陶瓷素坯成型、透明陶瓷烧结过程同步致密化及其变形量控制、米级以上大尺寸透明陶瓷部件拼接连接等技术；建立透明陶瓷部件模块层合材料匹配性设计与结构优化规范；形成工程化研制能力并实现在光电窗口、透明防弹等典型场景的应用示范。

考核指标：透明陶瓷专用粉体中位粒径的批次稳定性优于 15%（三个连续批）；单体式透明陶瓷部件模块尺寸 ≥ 450 毫米 $\times 750$ 毫米，拼接式透明陶瓷部件模块尺寸 ≥ 1200 毫米 $\times 800$ 毫米；透明陶瓷材料透光率 $\geq 83.5\%$ @600 纳米（厚度 10 毫米）；透明陶瓷部件模块透光率 $\geq 75\%$ ，雾度 $\leq 5\%$ ；发展不少于 2 种透明陶瓷防弹部件模块产品，80 公斤/平方米面密度装甲通过透明陶瓷动态压缩强度 ≥ 2.5 吉帕（2000/s 应变率）考核；建立标准或技术规范 2 项；实现典型示范应用。

4.2 高安全性耐中子辐照陶瓷基复合材料构件研制（共性关键技术）

研究内容：针对新一代加速器驱动先进能源系统对新型高安全包壳材料的明确需求，开展耐中子辐照陶瓷基复合材料的组成与结构调控研究，建立耐中子辐照陶瓷基复合材料包壳构件的结构设计与仿真方法，开发超长薄壁耐中子辐照包壳构件的净尺寸成型、高致密化、精密加工、可靠连接技术，开展耐中子辐照陶瓷基复合材料和部件在加速器驱动先进能源系统中的应用评价考核。

考核指标：耐中子辐照陶瓷基复合材料轴向拉伸强度 ≥ 230 兆帕，环向拉伸强度 ≥ 200 兆帕，基体开裂应力 ≥ 80 兆帕；耐中子辐照陶瓷基复合材料包壳构件长度 ≥ 2 米，壁厚 ≤ 1 毫米，He 气泄漏率优于 1×10^{-7} 标准大气压·毫升/秒。高温力学性能（1200 摄氏度）保持率 $\geq 70\%$ ；300 摄氏度、10 兆帕条件下水腐蚀后包壳的近水侧涂层侵蚀深度 ≤ 10 微米；可承受的辐照损伤剂量 ≥ 30 原子平均离位。建立标准或技术规范 1

项，获得 2 米量级耐中子辐照陶瓷基复合材料包壳构件。

4.3 超高尺寸稳定性蜂窝结构 C/C 复合材料构件设计与制备关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对新一代重大工程与测绘装备中承载平台对超高尺寸稳定性轻量化结构件的应用需求，突破 C/C 蜂窝夹层结构等低膨胀高强轻量化结构多目标协同设计优化与制备技术；建立大尺寸 C/C 蜂窝夹层结构等低膨胀高强轻量化结构芯板形性精确控制及损伤破坏抑制方法；开发 C/C 蜂窝夹层结构等低膨胀高强轻量化结构高效集成与工艺稳定性控制技术；实现 C/C 蜂窝夹层结构在新一代超高精度空间测绘与观测系统等典型应用环境(0-40 摄氏度、高真空 $\leq 10^{-3}$ 帕)下的评价考核。

考核指标：C/C 复合材料构件尺寸不小于 1000 毫米 \times 1000 毫米 \times 70 毫米(长 \times 宽 \times 高)，且蜂窝节点破坏率 $\leq 0.01\%$ ，面板翘曲变形量 ≤ 0.2 毫米/1000 毫米；密度 ≤ 200 公斤/立方米；压缩强度 ≥ 10 兆帕，模量 ≥ 1 吉帕，剪切强度 ≥ 4 兆帕；热膨胀系数（0-40 摄氏度） $\leq 0.2 \times 10^{-6}$ /摄氏度，湿膨胀系数（地面 20 ± 5 摄氏度，50%~70%相对湿度） $\leq 5 \times 10^{-5}$ ；力学和热学性能的离散系数 $\leq 15\%$ ；典型结构件通过振动、静力等环境模拟试验考核，基线长度稳定性 ≤ 1 纳米/赫兹^{1/2} (0.005~0.1 赫兹)。

4.4 高耐压陶瓷部件制备关键技术与应用（共性关键技术）

研究内容：针对海工领域关键装备对轻质舱体和密封部

件的急迫需求，开展高耐压、高可靠陶瓷舱体材料优化设计与性能稳定性控制技术研究，突破大尺寸轻型深海探测器舱体成型与近零变形致密化技术；开发耐磨耐蚀高耐压大尺寸陶瓷密封部件性能优化与均匀致密化技术、强结合高耐磨表面改性涂层设计与沉积技术，建立大尺寸耐压舱体、密封环等典型海工装备部件的水密封接、微纳加工技术；实现高耐压陶瓷部件在无人深潜器、深海油气平台等海工装备上的评价考核和应用示范。

考核指标：高耐压陶瓷材料压缩强度 ≥ 3000 兆帕，比刚度 ≥ 120 吉帕/(克/立方厘米)，比强度 ≥ 900 兆帕/(克/立方厘米)；机械密封陶瓷材料弯曲强度 ≥ 600 兆帕，断裂韧性 ≥ 6.5 兆帕 \times 米^{1/2}；耐磨涂层改性机械密封环干摩擦系数 ≤ 0.1 ，PV值 ≥ 40 兆帕 \times 米/秒；陶瓷舱体直径 ≥ 500 毫米，自重排水比 ≤ 0.5 克/立方厘米；陶瓷壳体在最大工作压力（125兆帕）条件下的循环打压次数 ≥ 300 次不破坏，通过11000米海水深度应用考核；陶瓷机械密封环直径 ≥ 600 毫米，泄漏量 ≤ 40 升/小时，7.5兆帕下工作寿命 ≥ 1000 小时，通过应用工况考核。

4.5 基于3D打印技术的精密陶瓷部件研制（典型应用示范）

研究内容：针对半导体、清洁能源、精细化工与先进制造等重点行业对精密陶瓷部件复杂结构和结构精密的更高需求，发展基于3D打印增材制造技术的复杂结构、高精密陶瓷部件制备技术，突破3D打印成型用陶瓷粉体、浆料的设计与可控制备技术；开发基于3D打印成型技术的复杂形

状氧化铝陶瓷劈刀、高温金属熔体传输用陶瓷泵叶轮、氮化硅涡轮叶片、碳化硅微通道反应器、高端装备复杂铸件陶瓷型壳等典型精密陶瓷部件的成型与致密化烧结技术，形成典型精密陶瓷部件示范生产能力，建立精密陶瓷部件性能评价方法。

考核指标：3D 打印用陶瓷浆料体积固含量 $\geq 50\%$ ，3D 打印用陶瓷粉体休止角 ≤ 36 度；氧化铝陶瓷劈刀尖端直径等关键尺寸精度优于 50 微米，弯曲强度 ≥ 430 兆帕，韦伯模数 ≥ 8 ；氮化硅陶瓷泵叶轮尺寸 ≥ 75 毫米 $\times 40$ 毫米 $\times 140$ 毫米，成型精度优于 50 微米；氮化硅陶瓷涡轮叶片尺寸 \geq 直径 15 毫米 \times 长 70 毫米，弯曲强度 ≥ 500 兆帕，断裂韧性 ≥ 7 兆帕 \cdot 米^{1/2}；碳化硅陶瓷微通道反应器尺寸 ≥ 100 毫米 $\times 100$ 毫米 $\times 10$ 毫米，通道直径 $\leq 2-5$ 毫米，热导率 ≥ 120 瓦/(米 \cdot 开氏度)；陶瓷型壳轮廓尺寸 ≥ 500 毫米，表面粗糙度 $R_a \leq 3.2$ 微米，1500 摄氏度下弯曲强度 ≥ 20 兆帕。建成打印速率 700 件/天、年产 20 万件 3D 打印高精密氧化铝陶瓷劈刀和年产 2000 件氮化硅陶瓷泵叶轮示范生产线 2 条，陶瓷型壳实现国家重大工程任务中 2 种以上复杂铸件应用示范。

5. 先进工程结构材料

5.1 高原复杂环境高性能桥梁钢板制造关键技术及应用 (典型应用示范)

研究内容：针对高原复杂服役环境对高性能长寿命桥梁

钢板的需求，研究易焊接耐候钢板强韧化机制、腐蚀行为、疲劳与断裂机理等，提出材料设计准则；研究碳钢与不锈钢复合板界面结合机制及失效行为；开发易焊接耐候钢板制备关键技术及配套焊材和焊接工艺；开发碳钢与不锈钢复合板制备关键技术及配套焊材和焊接工艺；研究焊接截面耐候钢和不锈钢复合板构件及节点的受力性能；开展应用与评价研究，编制产品设计指南或规范，实现示范应用。

考核指标：开发出 500-550 兆帕级耐候桥梁钢，耐候指数 $I \geq 6.5$ ，预测百年寿命周期腐蚀减薄量不超过 1 毫米，焊接接头 -40°C 冲击功 $KV_2 \geq 60$ 焦、探伤合格率 100%；开发出 420-500 兆帕级碳钢与不锈钢复合板，复合界面剪切强度 $\tau \geq 350$ 兆帕，焊接接头 -40°C 冲击功 $KV_2 \geq 60$ 焦；提出焊接截面耐候钢和不锈钢复合板构件及节点的设计方法；制定桥梁钢板的设计指南或规范 2 部，在高寒、大温差等高原复杂环境下实现示范应用。

5.2 海洋工程用热塑性复合材料筋材及其应用技术研究 (典型应用示范)

研究内容：针对海洋工程建设对高耐腐蚀与长寿命结构材料的需求，研发纤维增强聚丙烯/尼龙基等热塑性树脂基复合材料筋材的高效制备成型技术；研究海洋环境下热塑性复合材料筋材的长期性能及其提升关键技术；研究预应力与非预应力热塑性复合材料筋材增强混凝土结构的设计方法与工业化建造技术；开展热塑性复合材料筋材在海港码头等海洋工程建设中的示范应用。

考核指标：研制出具有自主知识产权的热塑性复合材料筋材制备装备 1 套，筋材成型速率 ≥ 0.5 米/分钟；筋材最大规格公称直径 ≥ 20 毫米，筋材纤维浸渍度 $\geq 90\%$ 、纤维体积含量 $\geq 60\%$ ；碳纤维筋材的拉伸模量 ≥ 130 吉帕、拉伸强度 ≥ 2400 兆帕；玻璃纤维筋材拉伸模量 ≥ 50 吉帕、拉伸强度 ≥ 800 兆帕，热成型弯折段的拉伸强度 $\geq 40\%$ 直筋强度；带肋筋材与混凝土的平均粘结强度 ≥ 8 兆帕；预应力筋材用工程化锚具体系的锚具效率系数 ≥ 0.95 ；碳纤维与玻璃纤维筋材 60 摄氏度海水浸泡 2000 小时后拉伸强度保留率分别 $\geq 90\%$ 与 $\geq 80\%$ ；海洋环境下碳纤维与玻璃纤维筋材的长期拉应力限值分别 $\geq 70\%$ 与 $\geq 30\%$ 拉伸强度标准值；开发热塑性复合材料筋材制备新技术、新产品 ≥ 4 项，编制产品、海洋工程结构设计等标准 ≥ 2 部,实现在海港码头、海洋平台等海洋工程建设中的示范应用 ≥ 4 项（至少 1 项采用工业化建造技术）。

5.3 特深井科学钻探机具关键复合材料及应用技术研究 (共性关键技术)

研究内容：针对特深井高温、高速冲蚀、磨粒磨损、腐蚀等极端复杂环境下科学钻探机具长寿命高可靠需求，研究钻探机具关键部件（水力动密封、摩擦副等）失效机理和双向防护机制；开展关键部件用耐磨耐蚀复合材料成分设计、制备工艺研究；开展钻探机具关键部件设计和制造技术研究；研制耐高温容积式动力钻具及取心钻具；开展关键部件在模拟特深井高温环境下(≥ 300 摄氏度)的测试验证，实现机具在地质钻探取心工程中示范应用。

考核指标：钻探机具关键部件及复合材料均适用特深井 ≥ 300 摄氏度高温环境；水力动密封用碳化钨基复合材料每平方厘米磨粒磨损量 ≤ 0.2 立方厘米/100000 转，硬度 HRV ≥ 2500 ；摩擦副用金刚石聚晶材料耐热温度 ≥ 900 摄氏度，磨耗比 ≥ 20 万（与标准碳化硅砂轮对磨）；关键部件工作寿命 ≥ 400 小时，运动副摩擦系数 ≤ 0.2 ；耐高温容积式动力钻具输出扭矩较同规格（外径及长度）涡轮钻具提高 30%以上；取心钻具岩心采取率 95%以上；编制特深井科学钻探机具评价标准、设计指南或规范 2 部；实施地质钻探取心工程示范应用 ≥ 5 处。

5.4 超大跨缆索承重桥梁用关键材料研发与示范应用 (典型应用示范)

研究内容：面向超大跨缆索承重桥梁缆索及锚固体系关键材料高性能、长寿命等发展需求，针对其在复杂服役条件下的疲劳退化、腐蚀破坏等问题，开发超高强度、超耐腐蚀、高抗疲劳的桥梁缆索钢丝、索股及超耐腐蚀的缆索防护材料；开发高抗疲劳、超耐腐蚀、强度匹配的桥梁缆索锚固体系及材料；研究缆索及锚固体系在潮湿、腐蚀、疲劳等服役环境下的损伤及失效机理；研究缆索及锚固体系的服役性能高效评估及长效保障技术；编制缆索、锚固体系、性能评估与保障技术等专项技术标准或指南，实现示范应用。

考核指标：开发超大跨缆索承重桥梁用超高强度、超耐腐蚀、高抗疲劳多元合金镀层钢丝，5 毫米级系列钢丝抗拉强度 ≥ 2200 兆帕，7 毫米级系列钢丝抗拉强度 ≥ 2100 兆帕；开

发主缆防护用多元合金镀层 S 型缠绕钢丝；多元合金镀层钢丝镀层的抗盐雾腐蚀能力不低于同级别热镀锌钢丝镀层的 3 倍；开发高抗疲劳、超耐腐蚀、强度匹配的缆索锚固体系，锚固后缆索抗疲劳性能在最大应力载荷 0.45 倍强度与应力幅 280 兆帕条件下，循环 200 万次断丝率 $\leq 2\%$ ，锚固效率系数 ≥ 0.95 ；提出缆索及锚固体系长效保障技术，保障其服役寿命不低于 100 年；制定适用于超大跨缆索承重桥梁的缆索、锚固体系、性能评估与保障技术等专项技术标准或指南 ≥ 3 部，2000 米以上的悬索桥工程示范应用 ≥ 2 座，1100 米以上的斜拉桥工程应用 ≥ 1 座。

6. 结构材料制备加工与评价新技术

6.1 大型复杂薄壁高端金属构件智能液态精密铸造成型技术与应用（共性关键技术）

研究内容：针对现代交通工具对大型复杂薄壁高端金属铸件的需求，聚焦精密铸造全流程数字化的发展方向，打破传统“经验+试错法”研发模式，探索基于集成计算材料工程、大数据与人工智能相结合的金属铸件智能液态精密成型关键技术。研究大型复杂薄壁金属铸件凝固过程的组织演变与缺陷形成机理，建立多物理场耦合作用下铸件组织与缺陷的预测模型，发展数据驱动的铸造工艺多因素智能化寻优方法，构建金属铸件智能液态精密成型数字主线，形成数字孪生模型及系统。

考核指标：开发大型复杂薄壁高端金属铸件液态精密成型仿真分析专用软件 1 套，实现多物理场耦合分析的并行计算求解和铸造缺陷高精度预测，缩孔/缩松缺陷预测精度与 CT 检测结果对比不低于 90%。开发智能液态精密成型数字孪生系统 1 套，具备工艺调优和质量智能分析的功能，计算实时响应达到秒级，实现铸造工艺智能优化与铸件质量智能控制。在高温合金、铝合金等不少于 2 类大型复杂薄壁高端金属铸件制造中进行验证应用，铸件的最大尺寸 ≥ 1600 毫米，最小壁厚 2-4 毫米，尺寸公差达到 DCTG6，缩孔/缩松缺陷含量低于 3%，主要力学性能指标满足国标相关要求，铸件合格率不低于 90%。

6.2 关键金属构件智能锻造成形技术开发及应用（共性关键技术）

研究内容：面向高性能金属构件数字化和智能化的发展方向，针对高端装备对关键金属锻件的需求，开发基于集成计算材料工程、大数据与人工智能交叉融合的关键金属构件锻造成形过程智能控制共性技术；发展数据驱动的热力耦合锻造成形过程多尺度/全过程集成建模方法、锻造过程智能感知-学习-决策-执行方法、锻造成形工艺高效智能寻优与控制方法，构建基于工艺数据库/知识库/模型库的数字孪生锻造系统，实现稳定可靠的锻造过程智能闭环控制；开发金属构件锻造成形智能集成控制软件，并在交通运输等关键装备用高性能金属构件的锻造生产过程中进行应用。

考核指标：实现锻造装备位移、压力、模具温度等状态

数据的毫秒级采集，锻造成形过程锻件温度、位置和关键特征尺寸等数据的实时测量与闭环控制；建立金属构件锻造成形数字孪生系统 1 套，计算实时响应达到秒级，实现锻造工艺智能优化和锻件质量智能控制；开发金属构件锻造成形过程智能集成控制专用软件 1 套，兼容至少 5 种以上不同类型的现场总线协议；金属构件锻造成形智能控制工艺与技术 在 3-4 种关键金属构件锻造生产中实现应用，复杂锻件废品率降低 50%，尺寸精度波动范围缩小 20% 以上，产品锻造质量一致性变异系数 CV 值由目前的 5% 下降至 3%。

6.3 高性能轻合金大型复杂构件成形技术（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，聚焦高性能轻合金复杂整体构件成形技术，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，阐明大径厚比板材旋压成形局部失稳机理；探索热力耦合条件下超大型环筒件形变过程组织-性能演变规律和调控机理；开发大型拼焊板材冷/热成形技术、超大型环件整体热塑成形集成技术，建立高强韧轻合金复杂构件形性精准调控及服役性能评估的方法；研制新一代航天器用铝合金、镁合金等大规格高性能复杂构件，实现在空间应用领域示范应用。

考核指标：镁合金曲母线型构件：直径 ≥ 1000 毫米、高度 ≥ 800 毫米、最大径厚比 ≥ 200 、最大外径的圆度 ≤ 1 毫米/米、壁厚偏差 $\leq \pm 0.3$ 毫米，室温抗拉强度 ≥ 420 兆帕、屈服强度 ≥ 240

兆帕、延伸率 $\geq 5\%$ ，过渡区强度不低于本体的 80%；大厚差变曲率铝合金构件：直径 ≥ 3500 毫米、高度 ≥ 1200 毫米、最小壁厚 ≤ 8 毫米、最大壁厚 ≥ 20 毫米、最大径厚比 ≥ 600 、轮廓精度 $\leq \pm 0.5$ 毫米/米、环向壁厚偏差 $\leq \pm 0.4$ 毫米，本体抗拉强度 ≥ 430 兆帕、屈服强度 ≥ 310 兆帕、延伸率 $\geq 8\%$ ，过渡区强度不低于本体的 85%，气密 0.5 兆帕保压 15 分钟无泄漏；超强铝合金环件：外径 > 5000 毫米、高度 > 200 毫米、壁厚 > 170 毫米整体锻环，周向抗拉强度 ≥ 530 兆帕、屈服强度 ≥ 475 兆帕、延伸率 $\geq 8\%$ ，轴向抗拉强度 ≥ 520 兆帕、屈服强度 ≥ 460 兆帕、延伸率 $\geq 6\%$ ，径向抗拉强度 ≥ 500 兆帕、屈服强度 ≥ 430 兆帕、延伸率 $\geq 4\%$ ，剥落腐蚀性能不低于 EB 级，径向 200 兆帕载荷试验 20 天无应力腐蚀开裂，环件机加工后圆度 ≤ 1.5 毫米。实现 2 种以上大型复杂构件在航空航天领域的示范应用。

6.4 高效承载-热控一体化金属构件增材制造技术(共性关键技术)

研究内容：针对空间应用领域对高效承载-热控一体化金属构件的需求，开展承载-热控（散热、主动发汗、防隔热）一体化构件增材制造技术的研究。研究管、板、杆等点阵结构单元的增材制造成形能力，阐明增材制造工艺对一体化结构设计的约束；探索毛细微孔结构的增材制造成形方法，研究毛细微孔结构与致密实体结构的一体化增材制造工艺；研究增材制造承载-热控样件宏微结构的一体化形性控制技术，完成 5 种以上样件的性能测试。

考核指标：承载-散热一体化构件平面尺寸 ≥ 500 毫米 $\times 500$ 毫米，承载能力相比传统组装构件减重 30%以上，传热能力 ≥ 1000 瓦/（平方米·开尔文）；承载-散热-导电一体化构件的抗压强度 ≥ 300 兆帕，电流承载能力 ≥ 400 安培/平方厘米，散热系数 ≥ 150 瓦/（米·开尔文）。承载-主动发汗一体化构件尺寸 ≥ 500 毫米 $\times 500$ 毫米，其中毛细微孔主动发汗构件的微孔壁面孔径 ≤ 30 微米，孔隙率 $\geq 25\%$ ；层板主动发汗构件表观密度 ≤ 4 克/立方厘米，材料本体 1200 摄氏度下强度 ≥ 100 兆帕。承载-防隔热一体化构件平面尺寸 ≥ 500 毫米 $\times 500$ 毫米，耐热温度 ≥ 650 摄氏度，650 摄氏度/600 秒烧蚀后背温 ≤ 150 摄氏度。

6.5 极端工况下金属结构件及关键部件表面涂层技术（共性关键技术）

研究内容：针对强腐蚀（年辐射 7000 兆焦/平方米和湿度 90%、液态金属）、高温（ > 650 摄氏度）、重载（ > 2 吉帕）等复杂极端工况对关键部件表面强化与防护的迫切需求，聚焦海洋装备表面磨损与腐蚀耦合动态损伤、核反应堆堆芯表面高温液态金属腐蚀脆化、航空发动机传动部件表面重载高速磨损等问题，设计制备复合增强表面工程材料及涂镀层结构，揭示多场耦合环境下涂镀层的服役行为和防护机制。突破极端工况下海洋装备关键部件表面自润滑防腐一体化涂层、先进核能系统堆芯材料表面等离子渗铬氮化及高熵合金基防腐涂层、航空传动关键部件表面注渗镀一体化超弹超低摩擦涂层等关键技术，建立极端工况下关键部件表面组织演变-性能退化-失效行为评估模型。

考核指标：海洋自润滑防腐一体化涂层：抗中性盐雾试验 ≥ 10000 小时，摩擦系数 < 0.06 ，磨损率 $< 1.0 \times 10^{-7}$ 立方毫米/牛·米，耐紫外 > 2500 小时。反应堆用高熵合金基防腐涂层：850摄氏度动态腐蚀5000小时后腐蚀层厚度 ≤ 100 微米，650摄氏度动态腐蚀5000小时后腐蚀层厚度 ≤ 20 微米。堆芯渗铬氮化层：厚度 ≥ 140 微米、表面硬度 $HV_5 \geq 400$ ；100摄氏度/24小时饱和水蒸气环境35平方厘米面积腐蚀点直径 ≤ 1.0 毫米、数量 ≤ 5 ，530摄氏度液钠环境3000小时浸泡试验腐蚀速率 ≤ 0.9 毫克/平方米·小时。航空传动关键部件表面注渗镀一体化超弹超低摩擦涂层：350摄氏度以下注渗深度 > 10 微米，涂层厚度 > 3 微米，弹性恢复 $> 85\%$ ，摩擦系数 < 0.05 ，结合力 > 80 牛（划痕法，JB/T 8554-1997），磨损率 $< 1.0 \times 10^{-7}$ 立方毫米/牛·米，复合涂层耐磨寿命 > 1000 小时（T/CSAE 103-2019）。

6.6 增材制造过程及极端服役环境下金属构件的多尺度实时表征与评价（共性关键技术）

研究内容：针对金属增材制造过程和金属构件极端环境服役行为对多尺度实时表征与评价技术的迫切需求，基于X射线源与中子源建设可用于研究增材制造过程中的熔池界面、残余应力、缺陷等演变机制的原位表征装置；开发超高低温、动载荷等极端服役环境中金属构件高时空分辨率、跨原子-宏观尺度衍射与成像原位表征装置；建立多因素环境下金属材料残余应力与缺陷的多维多尺度原位表征技术与评价方法，实现研发技术在航空航天等重大工程领域关键金属

构件的增材制造过程和极端环境服役评价的应用。

考核指标：建成基于同步辐射 X 射线的高能束增材制造过程实时表征装置，应力测量精度 ≤ 150 微应变、空间分辨率 ≤ 5 微米、定位精度 ≤ 10 微米、最短单点测量时间 ≤ 10 微秒、显微缺陷识别精度 ≤ 1 微米、尺寸变形测试精度 ≤ 40 微米；建成基于 X 射线源/中子源谱仪的金属构件超高温(>1650 摄氏度)、超低温 (<-190 摄氏度)、高温低温交替 ($-190\sim 700$ 摄氏度)、动载荷 (>50 赫兹)、腐蚀等极端环境原位实验装置，应力测量精度 ≤ 100 微应变；形成从原子尺度到宏观尺度的原位表征与评价技术，实现在至少 3 个典型场景下的应用。

6.7 先进能源结构性能劣化多维原位表征与评价技术及工程应用（典型应用示范）

研究内容：针对先进能源关键结构长期服役在辐照、高温、腐蚀等恶劣环境下的材料老化问题，研发材料微观结构、成分变化及性能劣化的实时、原位、多维多尺度表征技术和装备，发展基于数据挖掘和损伤演化机制的结构状态多维融合评价预示方法，开发核能结构服役行为分析软件和可靠性寿命评估系统，建立检测规范和评价体系，并在在役核电站及先进反应堆重要承压容器、管道等典型场景实现示范应用。

考核指标：开发在役典型核能结构不同机制体积及表面老化损伤的实时、原位、多维无损评价技术 3 种或以上，实现组织、成分、微观损伤和力学性能的定量检测和表征，形

成核能结构性能劣化多维融合表征与寿命评估系统 1 套。实现材料 4 种以上关键力学性能参数检测和表征，测量精度 $\geq 80\%$ ，实现微纳尺度微观损伤的检测和评价；物质组分测量精度 $\geq 90\%$ 、空间分辨率 ≤ 0.5 毫米；评估系统预测精度 $\geq 80\%$ 。在 3 种或以上在役核电站及先进反应堆典型场景获得示范应用，形成多维智能损伤表征与寿命评估规范 2 项以上，申请发明专利 8 项以上、软件著作权登记 2 项以上。

7. 基于材料基因工程的结构与复合材料

7.1 关键结构材料集成计算设计方法与应用（共性关键技术）

研究内容：针对国家重大工程所需关键结构材料的研发和应用需求，发展晶体结构、微观组织结构、制备工艺与关键性能关联关系的预测模型，研发“成分-工艺-组织-性能”的多层次、跨尺度计算软件和集成计算材料工程软件，实现从元素、成分到综合性能的高效集成设计。融合材料数据、图像数据等多模态数据以及大数据与人工智能机器学习等技术，形成支撑关键结构材料研发的高效集成计算设计方法与跨尺度的、可实现数据传递的集成软件系统，并结合工程应用场景，在高性能关键结构材料成分、工艺、组织和性能的预测等方面进行实验验证和工艺优化。

技术指标：开发高性能结构材料的多尺度计算软件和集成计算材料工程软件 4 项以上，实现大规模、多层次、跨尺度、集成化的高效计算；建立关键结构材料从成分设计到应

用的全流程示范，并通过实验评价验证所开发的高效集成计算设计方法，及其从材料设计到使役性能的集成软件系统的有效性和可靠性；对典型结构材料的基础物性、宏观物性与使役性能的预测误差在15%以内，材料微观组织的识别率和分割准确率达到90%以上，安装使用的用户单位10家以上；申请发明专利和软件著作权10项以上。

7.2 高强韧轻金属基复合材料近净形高效制备与应用 (共性关键技术)

研究内容：针对非连续增强金属基复合材料强韧性失配及复杂构件成形加工周期长、成本高、材料利用率低等实际问题，采用材料基因工程研究理念和近净形制备加工技术原理，研发铝基、钛基复合材料高通量近净形制备技术与高通量表征技术；测试和采集物理化学数据，建立增强相/基体界面热力学和动力学物性数据库；研究铝基、钛基复合材料成分-构型-工艺-界面-性能交互关联集成计算技术，实现材料体系、构型、近净形制备工艺方案与参数的高效同步优化，并在航空航天等领域得到工程示范应用。

考核指标：构建成分-构型-工艺-界面-性能关系设计平台及多尺度模拟平台，实现 70 种以上复合材料构型的模型高效创建；建立 200 样品数/批次以上的高通量、近净形制备与表征平台；建立高强韧金属基复合材料从材料研发到工艺优化全链条信息数据库 1 个，数据量 ≥ 20 万条；构型化复合材料断裂韧性比均匀复合材料提升 $\geq 30\%$ ，晶须增强型与颗粒增强型铝基复合材料的弹性模量比基体分别提高 50%与 150%

以上，钛基复合材料承温能力提高 200 摄氏度以上；近终形制造构件的材料利用率 $\geq 80\%$ ，制造周期及生产成本“双减半”；在航空航天领域实现 10 个以上典型应用。

7.3 基于数据技术的新型高强韧高耐蚀钢研发(共性关键技术)

研究内容：面向深海、深地资源开发等重大工程对低成本、高强韧、耐极端环境腐蚀材料的迫切需求，针对高品质钢新品种研发对数据库和机器学习等技术和方法的急需，建立高强韧高耐蚀不锈钢与生产应用数据库，构建语义级材料知识智能分析与展示技术；研发高强韧高耐蚀不锈钢成分与制造工艺设计的机器学习技术，以及异质结构强化不锈钢组织结构设计的深度学习技术，建立材料成分-制造工艺-组织结构-服役性能的映射关系；利用迁移学习技术，融合工业生产大数据，开展数据驱动的多目标、自适应协同设计与生产工艺优化研究，研发出具有自主知识产权的高强韧高耐蚀不锈钢。

考核指标：建立数据完备的高强韧高耐蚀不锈钢数据库 1 个，数据量达到 50 万条以上；建立数据驱动的新型高性能不锈钢研发设计、生产工艺优化方法，研发出机器学习和深度学习算法及软件 3-4 项，并实现多目标协同优化设计；研发出具有自主知识产权的新型 125 钢级高强韧高耐蚀奥氏体不锈钢，室温延伸率 $\geq 20\%$ ，耐蚀性能满足深海、深地资源开发的要求；与传统耐蚀不锈钢相比，抗 H_2S 应力腐蚀开裂能力提高 1.5 倍。

7.4 先进能源反应堆堆芯关键材料快速设计与评价技术 (共性关键技术)

研究内容：面向先进能源反应堆燃料包壳和堆芯等关键结构材料的重大需求，针对先进反应堆结构材料实验难度大、研发周期长的问题，基于材料基因工程理念，研发耐高温抗辐照材料高效设计与服役性能预测技术和软件，构建材料高温力学性能和辐照效应多尺度高效计算模拟设计平台；建设计算和实验数据有机融合的先进核反应堆关键结构材料高质量数据库，发展高温抗辐照材料数据挖掘和机器学习技术；研发中子辐照、热室蠕变和断裂韧性等高效实验技术，融合计算模拟和材料大数据技术，高效研发出具有自主知识产权的先进能源反应堆关键结构材料，完成测试评价。

考核指标：建成融合多尺度高效计算和数据技术的智能设计平台；数据量 $\geq 10^5$ 条，涵盖成分-加工工艺/组织结构-性能完备数据 $\geq 10^4$ 条；热室蠕变性能高通量表征 ≥ 10 个样品/批次，中子辐照和热室断裂韧性实验效率提高10倍；研发出2-3种新材料，在1000摄氏度、5000小时、1%应变条件下的蠕变强度 ≥ 60 兆帕，至少1种材料实现入堆考验，累计辐照剂量 ≥ 1 原子离位次数。

7.5 陶瓷基复合材料的界面相高通量研究及示范应用 (典型应用示范)

研究内容：针对空间领域用陶瓷基复合材料研发成本高、周期长和原材料消耗大等难点问题，采用材料基因工程

理念，探索陶瓷基复合材料纤维/基体界面相组分连续可控的高通量制备新方法，构建典型界面相组分-工艺-显微结构映射关系，优选综合性能佳的界面相，开发出新型陶瓷基复合材料。开展基于多尺度模型设计的陶瓷基复合材料和发动机典型热结构件的制备-结构-性能演化规律研究。开发出陶瓷基复合材料的新产品并应用于验证考核。

考核指标：研发陶瓷基复合材料组分连续可控的界面相高通量制备技术，基于分离组合方法的样品制备能力 ≥ 200 样品/批次；建立典型界面相组分-工艺-显微结构-材料性能之间的映射关系；900摄氏度/90% H_2O -10% O_2 /24小时水氧条件下，界面相失重率 $\leq 20\%$ ；1200摄氏度/90% H_2O -10% O_2 /500小时水氧条件下，陶瓷基复合材料拉伸强度保留率 $\geq 60\%$ ；研制出航空发动机高压涡轮外环等典型热结构件2-3种，通过模拟台架试验考核，技术成熟度达到5级；申请专利10项以上，建立标准或技术规范2项。

7.6 基于智能化设计与制备的树脂基复合材料研发（共性关键技术）

研究内容：面向空间应用领域等重大工程对树脂基先进复合材料与构件制备自主可控的重大需求，针对该类材料高性能化、轻量化和大尺寸结构制造及性能稳定性的迫切要求，突破自动化与智能化实验技术，开发制备树脂基复合材料的标准化和智能化装备；开发数据自动采集技术，建立材料数据库；发展具有自动适应和自主决策能力的机器学习算法，突破树脂基复合材料设计和优化中的多目标、多变量、

偏好性和动态性等技术瓶颈；研究材料强度、模量、韧性等服役性能与材料成分、结构、加工工艺、微观形貌的关联规律，建立材料自主设计和优化迭代的智能化开发流程和应用平台；开发应用于空间应用领域新型高性能树脂基复合材料产品。

考核指标：开发树脂基复合材料标准样品自动化制备实验装置 ≥ 2 台（套），建立树脂基复合材料数据库1个和涵盖从材料设计到应用全流程的智能化研究平台1个；开发2-3种高性能树脂基复合材料，室温拉伸强度 ≥ 1800 兆帕，拉伸模量 ≥ 100 吉帕，层间剪切强度 ≥ 80 兆帕；1.8兆帕下热变形温度 ≥ 300 摄氏度，耐低温性能 ≤ -100 摄氏度。应用于火箭等飞行器关键部件，满足温度冲击、加速度、振动等工况实验要求，完成装机装配和地面试验验证。

8.青年科学家项目

8.1 高性能芳杂环聚合物结构设计与纤维成型新方法

研究内容：针对空天装备等领域对高性能有机纤维的需求，设计新型芳杂环聚合物，开发合成新方法，改善聚合物溶解性及加工性，研究纤维制备过程中溶胶-凝胶转变、高分子链结构及凝聚态结构演变规律，揭示多级结构与纤维性能的内在关系，获得耐候性好、强度高和界面性能优良的高性能芳杂环纤维及制备技术。

考核指标：设计3-5种新型芳杂环聚合物分子和新合成

方法，芳杂环聚合物纤维断裂强度 ≥ 4.5 吉帕，初始模量 ≥ 200 吉帕，起始分解温度 ≥ 500 摄氏度，玻璃化转变温度 ≥ 300 摄氏度，复合材料界面剪切强度较 PBO 纤维增强材料提高 $\geq 20\%$ ，紫外老化性能较 PBO 纤维提升 $\geq 30\%$ 。

8.2 高耐磨聚四氟乙烯专用料及其在轴承领域应用

研究内容：针对耐磨润滑轴承领域对高性能氟碳基特种工程塑料的需求，开发聚四氟乙烯（PTFE）及其专用料改性技术，研究材料结构与线膨胀系数、抗蠕变性能、耐磨性能之间的关系，研究多尺度、复杂体系增强复合材料耐蠕变、耐磨损性、载荷性的调控机制，通过对相关树脂进行结构设计、聚合体系改进和后处理工艺优化，得到适合于轴承应用专用树脂，并在耐磨润滑轴承领域得到试用。

考核指标：PTFE 改性材料性能达到：拉伸强度 ≥ 30 兆帕，摩擦系数 ≤ 0.04 ，磨损量 $< 1 \times 10^{-5}$ 立方毫米/(牛·米)，邵氏硬度 ≥ 50 兆帕，导热系数 ≥ 0.35 瓦/(米·开尔文)（125-250 摄氏度），含水率 $< 0.015\text{wt}\%$ ，收缩率 $< 4.0\%$ ，完成高性能氟碳基树脂在下游轴承等领域的应用评价。

8.3 第三代镍基单晶高温合金高纯净度、高晶界缺陷容限制备技术

研究内容：针对先进动力系统对第三代单晶高温合金的需求，开展痕量元素和微量元素对冶金缺陷和晶界容限的研究；研究微（痕）量元素的分布、作用机理和控制技术；实现制备工艺-微（痕）量元素水平-显微组织-关键性能调控，

发展高品质、低成本第三代单晶高温合金的制备技术。

考核指标：1120 摄氏度/137 兆帕持久时间 ≥ 100 小时；杂质元素含量 $N \leq 3\text{ppm}$ 、 $O \leq 3\text{ppm}$ 、 $S \leq 1\text{ppm}$ ；存在不大于 12° 晶界的单晶合金，横向、纵向持久和疲劳性能不低于无缺陷单晶合金的 70%。

8.4 抗疲劳高止裂非均质组织风电用钢研究

研究内容：针对国家清洁能源开发对抗疲劳高止裂风电用钢的需求，探索非均质组织对风电用钢疲劳和止裂性能的影响机理；研究形变/相变耦合作用对非均质组织的形成和热稳定性影响机制；研发非均质组织原型钢，发展抗疲劳高止裂风电用钢制备和加工技术。

考核指标：提出晶粒尺寸在 300 纳米-20 微米的非均质组织调控新技术，设计并研发出 500 兆帕级抗疲劳高止裂风电用钢，模拟焊后-60 摄氏度冲击功 ≥ 100 焦，-20 摄氏度 CTOD 特征值 ≥ 0.45 毫米，疲劳强度 ≥ 500 兆帕。

8.5 紧固件丝材用 1500 兆帕级超高强高韧钛合金研制

研究内容：针对航空航天对超高强钛合金紧固件丝材的需求，开展 1500 兆帕级超高强高韧钛合金的成分优化或短流程加工工艺优化研究，揭示合金元素的作用机理或阐明短流程加工工艺对合金微观组织、力学性能的影响规律；研究热处理工艺对合金显微组织结构及强度-塑性-韧性匹配的影响；开展 1500 兆帕级超高强高韧钛合金紧固件用丝材制备技术研究，并试制紧固件。

考核指标：开发出 1~2 种超高强韧钛合金，室温力学性能达到抗拉强度 $R_m \geq 1500$ 兆帕，断后延伸率 $A \geq 6\%$ ，条件断裂韧性 $K_{q1} \geq 50$ 兆帕 \times 米^{1/2}；直径 10 毫米紧固件用丝材的室温力学性能：抗拉强度 $R_m \geq 1550$ 兆帕，断后延伸率 $A \geq 6\%$ ；直径 8mm 沉头抗剪型高锁螺栓紧固件最小抗拉载荷 ≥ 145 千牛，剪切强度 ≥ 850 兆帕，疲劳寿命 ≥ 6.5 万次。

8.6 高性能金属增强镁基复合材料及制备加工技术

研究内容：围绕交通等领域高端装备对新一代高比强度、高比模量轻量化材料的迫切需要，探索异质金属增强镁合金组织结构特征模式，研究多尺度异质金属增强体热力学演变规律、界面平衡与非平衡态动力学行为以及金属增强体强化机理，发展新型金属增强铸造和变形超高强镁基复合材料，建立金属增强镁基复合材料设计准则，并形成制备关键技术。

考核指标：设计并开发 2 类或以上高性能金属增强镁基复合材料，其中铸造超高强镁基复合材料，弹性模量 $E \geq 50$ 吉帕、抗拉强度 $R_m \geq 400$ 兆帕、断后延伸率 $\geq 6\%$ ；变形超高强镁基复合材料，弹性模量 $E \geq 52$ 吉帕、抗拉强度 $R_m \geq 600$ 兆帕、断后延伸率 $\geq 5\%$ 。

8.7 新一代先进能源系统用碳化硅堆芯构件

研究内容：面向新一代加速器驱动先进能源系统对堆芯抗辐照陶瓷部件的发展需求，研究优异抗辐照特性的新型碳化硅陶瓷材料体系高通量筛选方法，发展高性能核用碳化硅

陶瓷材料制备技术；开发大尺寸、复杂形状碳化硅陶瓷六棱柱堆芯构件的精密成型与常压烧结致密化技术，实现碳化硅陶瓷六棱柱堆芯构件研制；研究核用碳化硅陶瓷抗辐照性能评价方法。

考核指标：筛选出 1~2 种先进核能系统用新型碳化硅陶瓷材料体系，弯曲强度 ≥ 500 兆帕，可承受辐照损伤剂量 ≥ 30 原子平均离位。建立离子束辐照评价技术规范 1 项，研制高度不小于 600 毫米 SiC 陶瓷堆芯构件 1 件。

8.8 空间应用领域新型高熵陶瓷涂层材料与部件

研究内容：面向空间应用领域苛刻环境的服役要求，研究新型高熵陶瓷涂层材料的高通量设计与性能控制方法；开发高温相稳定、低热膨胀系数的高熵陶瓷材料体系；开发高熵陶瓷涂层粉体原料制备、喷涂与热处理等技术；研究高熵陶瓷涂层与基体匹配性，开展高熵陶瓷涂层部件的环境模拟试验考核。

关键指标：设计并研发出 2-3 种高熵陶瓷涂层材料，高熵陶瓷涂层材料相稳定性 ≥ 1500 摄氏度，线热膨胀系数（室温~1500 摄氏度） $\leq 5.0 \times 10^{-6}$ 开氏度 $^{-1}$ ，孔隙率 $\leq 3\%$ ，与基体结合强度 ≥ 20 兆帕；高熵陶瓷涂层部件 1300 摄氏度燃气热循环寿命 ≥ 300 次。

8.9 高原复杂环境低热水泥混凝土性能劣化机理与耐久性评价技术

研究内容：针对高原复杂环境重大交通建设用低热水泥

混凝土耐久性差的问题，研究高原复杂环境混凝土微结构发展及演化规律；研究弯拉、约束荷载和冻融作用下混凝土应变、相对湿度和剥落深度等表征新方法；研究荷载作用下隧道二衬混凝土的碳化机理和抗碳化关键技术；研究荷载作用下桥梁混凝土高频冻融破坏机理和抗冻融关键技术；提出高原复杂环境下低热水泥混凝土的高耐久设计方法。

考核指标：快速冻融条件下评价装置的弯拉荷载波动 $\leq 5\%$ ；低热水泥混凝土干燥收缩率 $\leq 0.035\%$ ；高原环境受荷隧道二衬低热水泥混凝土碳化深度 ≤ 10 毫米；约束荷载下桥梁低热水泥混凝土单面盐冻质量损失 ≤ 500 克/平方米；发表学术论文 10 篇，申请发明专利 5 件。

8.10 细径硬质合金棒材形性精确控制近终形制备技术

研究内容：针对难加工关键部件对精密加工工具的需求，聚焦精密工具用细径硬质合金棒材成形精度低及形性协同难等问题，开展细径硬质合金棒材增塑挤压流变-形变特性、烧结致密化和服役行为研究，阐明快速无缺陷脱脂、晶粒长大抑制等机制，揭示复杂工况下合金的失效机理，建立细径硬质合金棒材形性精确控制方法。

考核指标：建立细径硬质合金棒材增塑挤压流变-形变模型；硬质合金棒材直径 2~5 毫米，长径比 ≥ 20 ，外径极差 ≤ 0.1 毫米，抗弯强度 ≥ 5000 兆帕，硬度 ≥ 92.5 HRA，相对密度 $\geq 99\%$ ；平均晶粒尺寸 0.35-0.5 微米，晶粒尺寸离散度 < 0.4 ；使用寿命较现有同类材料提升 30%以上。

8.11 数据驱动的高强韧金属基复合材料集成设计

研究内容：以低成本轻质超高强高韧耐热金属基复合材料为对象，基于理论计算、大数据和机器学习等关键技术和集成计算材料工程应用技术，开发金属基复合材料高效计算设计的软件系统，实现新型金属基复合材料高效设计的研究新范式，并进行试验验证，为先进复合材料的高效智能设计与开发提供技术支撑。

技术指标：开发多尺度的计算程序模块 5 项及以上；高强韧金属基复合材料数据库的数据量大于 10 万条，发展 2 种适用于金属基复合材料的可解释性机器学习算法，建立高效集成设计方法。开发 1-2 种超高强高韧耐热金属基复合材料。

8.12 超高强钢服役过程跨尺度计算和高通量评价技术

研究内容：研究超高强钢服役过程中氢脆问题的跨尺度集成计算方法，开发氢脆的高通量评价技术，构建超高强钢计算与实验的相关数据库，建立基于数据挖掘和机器学习的成分-工艺-氢脆敏感性定量关系模型，实现超高强钢氢脆的高效评价与性能优化，为超高强钢的理性设计与智能优化提供关键的技术支撑。

考核指标：开发出热成形钢机器学习势函数，建立基于数据驱动的跨尺度计算模型，计算精度 $\geq 85\%$ ；超高强钢计算与实验的相关数据库数据量大于 10 万条；开发针对氢脆的高效评价技术，评价效率提升 $\geq 50\%$ 。设计出一种 2000 兆帕级热成形钢，抗氢脆敏感性提升 $\geq 30\%$ 。

9. 揭榜挂帅项目

9.1 超高韧碳纤维复合材料及应用（典型应用示范）

需求目标：针对商用航空发动机风扇叶片轻质、高强、高耐疲劳、抗冲击和耐久性需求，研制国产高强中模碳纤维超高韧复合材料，建立材料标准和过程控制文件（PCD），形成应用设计数据集，选择典型商用航空发动机风扇叶片，完成产品设计、制造和综合验证，通过叶片性能试验和发动机台架试车试验。具体需求目标如下：

（1）超高韧碳纤维复合材料： 0° 拉伸强度（RTD） ≥ 3000 兆帕， 0° 拉伸模量（RTD） ≥ 160 吉帕， 0° 压缩强度（RTD） ≥ 1550 兆帕， 0° 压缩模量（RTD） ≥ 140 吉帕，开孔拉伸强度（RTD） ≥ 500 兆帕，开孔压缩强度（RTD） ≥ 300 兆帕，6.67焦耳/毫米能量冲击后压缩强度 ≥ 330 兆帕。

（2）典型发动机风扇叶片：内部孔隙率 $\leq 1\%$ ，重量离散系数小于 2% ，满足静强度、抗鸟撞和疲劳要求，与钛合金叶片相比减重 $\geq 15\%$ 。

（3）形成3-5项标准或规范，一套PCD文件。

时间节点：研发时限为3年

立项后12个月，完成超高韧碳纤维复合材料研制，性能全面达标，形成PCD文件和材料标准。

立项后24个月，完成复合材料全面性能研究，形成材料许用值等应用设计数据集；完成风扇叶片设计和制造工艺

研究，叶片精度和内部质量满足指标要求。

立项后 36 个月，完成风扇叶片静强度、抗鸟撞和疲劳试验，满足设计要求，与钛合金叶片相比减重 $\geq 15\%$ 。

其他要求：

9.2 主承力复合材料构件高效自动化液体成型技术研究 (典型应用示范)

需求目标：针对商用飞机主承力加筋壁板高效低成本制造需求，开展蒙皮干纤维自动铺放液体成型技术和长桁拉挤液体成型技术研究。选择商用飞机主承力加筋壁板，进行复合材料结构设计、构件制造和考核验证，完成地面静力试验，支撑复合材料高效自动化液体成型在商用飞机主承力结构上的应用。具体需求目标如下：

(1) 干纤维铺放材料：长度 ≥ 500 米/卷，满足自动铺放和预成型体制备工艺要求。

(2) 干纤维自动铺放效率：蒙皮预成型体制造效率 ≥ 3.0 千克/小时。

(3) 干纤维自动铺放液体成型复合材料：纤维体积含量 $55\pm 2\%$ ，6.67 焦/毫米能量冲击后压缩强度 ≥ 280 兆帕；

(4) 拉挤液体成型：拉挤速度 ≥ 0.3 米/分钟，复合材料孔隙率 $\leq 1.0\%$ ；

(5) 加筋壁板：壁板面积 ≥ 10 平方米，通过地面静力试验验证，加筋壁板相较预浸料-热压罐工艺制造成本降低 20%

以上；

(6) 形成 3-5 项标准或规范。

时间节点：研发时限为 3 年

立项后 12 个月，完成干纤维铺放材料研制和预成型体制备工艺研究，性能全面达标，形成 PCD 文件和材料标准。

立项后 24 个月，完成干纤维自动铺放液体成型和拉挤液体成型工艺研究，制造效率、内部质量、物理和力学性能达到指标要求。

立项后 36 个月，完成 ≥ 10 平方米加筋壁板研制，通过地面静力试验验证，加筋壁板相较预浸料-热压罐工艺制造成本降低 20%以上

其他要求：