

附件 2

“先进结构与复合材料”重点专项 2023 年度项目申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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 2023 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。

2023 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、基于材料基因工程的结构与复合材料 7 个技术方向，按照基础研究类、共性关键技术类、应用示范类三个层面，拟启动 33 项指南任务，拟安排国拨经费 6.14 亿元。其中，拟部署 5 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 1500 万元，每个项目 300 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 1~2 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 6 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 年 1 月 1 日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

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。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持

的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

1. 高性能高分子材料及其复合材料

1.1 特种聚酰胺的制备和应用关键技术（应用示范类）

研究内容：针对大型飞机亟需的高透明、高弹性、耐温聚酰胺工程塑料与纤维的应用需求，通过单体分子拓扑结构设计、嵌段排列组合、端基功能化、固相增粘等手段，合成高性能的特种聚酰胺材料，突破高透明、高回弹、耐温高强聚酰胺材料的聚合关键技术。开发高强力聚酰胺纤维帘线的结构设计及织造技术，探索表面处理新方法及工艺，满足大飞机轮胎纤维帘线－橡胶界面高粘合要求，突破聚酰胺及其复合材料先进加工制造关键技术，完成高透明聚酰胺在大飞机舷窗、聚酰胺弹性体在型号装备、超强高耐热聚酰胺纤维复合材料在大飞机轮胎领域进行应用验证。

考核指标：形成 2000 吨/年的透明聚酰胺示范生产线 1 条，产品透光率 $\geq 92.0\%$ （2 mm 厚度样片），简支梁缺口冲击强度 $\geq 10\text{KJ/m}^2$ ，拉伸强度 $\geq 60\text{MPa}$ ，耐热性 $T_g \geq 140^\circ\text{C}$ ；形成 1000 吨/年的聚酰胺弹性体示范生产线 1 条，拉伸强度 $\geq 20\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 600\%$ ，密度 $\leq 1.05\text{g/cm}^3$ ，邵氏硬度 $\leq 24\text{D}$ ，压缩残余形变 $\leq 30\%$ 。建成年产 2000 吨/年超强高耐热聚酰胺纤维示范生产线 1 条，纤维断裂强度 $\geq 9.5\text{cN/dtex}$ ，断裂伸长率 $\geq 16\%$ ，强度保持率（ 180°C 处理 4h） $\geq 95\%$ ；纤维帘线与橡胶界面粘接强度（H 抽出力） $\geq 200\text{N/cm}$ ， $100^\circ\text{C} \times 24\text{h}$ 热空气老化 H 抽出力保持率 $\geq 85\%$ 。

关键词：聚酰胺，高透明，弹性体，纤维及其复合材料，大飞机

1.2 碳纤维三维织物复合材料轨道车辆关键承力构件制备技术及应用（共性关键技术类）

研究内容：针对轨道交通关键承力构件对低成本、轻量化、抗冲击和耐疲劳的要求，开展碳纤维三维织物结构—工艺一体化设计、三维织物预制体高效率高精度制备、三维织物复合材料高效液体成型、复合材料结构高精度加工和可靠连接、复合材料和预制体内部质量检测与评估技术等研究，形成材料、工艺和检测规范，完成轨道车辆转向架等关键承力构件的设计、制造及性能和装车验证。

考核指标：三维织物预制体长度 $\geq 2600\text{mm}$ 、宽度 $\geq 300\text{mm}$ 、壁厚 $\geq 30\text{mm}$ ，预制体密度 $\geq 0.6\text{g/cm}^3$ ，纱线取向偏差 $\leq \pm 2^\circ$ ；预制体内部质量检测缺陷定位精度优于 0.5mm ，缺陷识别分辨力优于 0.5mm ；三维织物复合材料纤维体积分数 $\geq 52\%$ ，孔隙率 $\leq 2\%$ ；三维织物复合材料转向架构件加工和制造精度满足设计要求，制造效率较预浸料/热压成形提高 $\geq 30\%$ ，成本降低 $\geq 15\%$ ，较原钢质金属结构减重 $\geq 50\%$ ，拉压超常工况 412KN 载荷作用下不出现分层或断裂，按构件规范要求通过 1000 万次疲劳试验后不出现分层和断裂， 390g 混凝土球以 250 公里/小时 90° 冲击构件后不被穿透；完成 5000 公里装车试验；形成 5 项以上标准或规范。

关键词：碳纤维，三维织物复合材料，轨道车辆承力构件

1.3 耐高温热固性树脂的设计制备与应用开发(应用示范类)

研究内容：针对我国高端制造业对热固性树脂提出的高耐温、低介电和超韧性要求，通过树脂设计及高效合成技术、连续制备技术、纯化技术的深入研究，形成稳定批量的高性能热固性树脂制备技术，研究分子设计和结构性能之间的关系，开发耐高温、高韧性、低介电为一体的环氧树脂、新一代耐高温可溶型聚酰亚胺树脂（玻璃化温度高于 450℃）、高热力学性能无卤/无磷本征阻燃热固性苯并噁嗪树脂和耐高温易成型有机无机杂化结构—烧蚀一体化邻苯二甲腈树脂。制备的复合材料制品满足飞行器的结构力学性能设计要求，并按照考核大纲通过地面试验。

考核指标：高性能环氧树脂玻璃化温度达 260℃以上，拉伸强度达 80MPa 以上，冲击性能达 30KJ/m 以上；聚酰亚胺树脂成年产 10 吨树脂生产示范线，树脂固化物的玻璃化转变温度 $\geq 450^{\circ}\text{C}$ ，氮气中 5%热失重温度 $\geq 550^{\circ}\text{C}$ ，满足（高）超声速飞行器用复合材料构件的技术要求；高性能苯并噁嗪树脂成年产 100 吨树脂生产示范线，起始热分解温度（5%失重）高于 400℃，毒性试验满足大飞机的标准要求。邻苯二甲腈树脂成年产 10 吨树脂生产示范线，固化物玻璃化转变温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ ，500℃ 20 小时热/热氧环境考核后热失重 $\leq 5\%$ ，满足可重复使用高速飞行器用复合材料构件的技术要求。

关键词：热固性树脂，环氧树脂、聚酰亚胺、聚苯并噁嗪、邻苯二甲腈树脂

1.4 大尺寸复杂型面三维机织预制体研制及应用（应用示范类，江苏部省联动任务）

研究内容：针对商用航空发动机风扇叶片耐疲劳、抗冲击、高可靠性及持续减重的迫切需求，研究三维机织预制体微结构与复合材料动静强度关联关系，重点揭示含典型工艺特征复合材料疲劳、冲击失效机理，建立预制体“微结构—工艺—材料性能”数据库；开展复杂结构预制体快速 RTM 成型适应性研究，分析缺陷形成机制，建立质量调控方法；研究大尺寸复杂型面预制体多元结构组合设计方法，开发基于形状、性能等的多目标协同设计平台，突破预制体高效、高可靠自动化制造工艺和装备成套技术；形成材料标准和工艺规范，实现其批量化稳定生产和在商用航空发动机示范应用。

考核指标：典型结构复合材料软体冲击临界损伤速度 $\geq 120\text{m/s}$ ，疲劳性能提升 10% 以上；三维机织风扇叶片预制体经纬密度波动 ≤ 0.1 根/cm，关键尺寸精度偏差 $\leq 2\%$ ，批次质量偏差 $\leq 2\%$ （批次数 ≥ 50 件），最大厚度 $\geq 50\text{mm}$ ；风扇叶片纤维体积分数 $\geq 60\%$ ，型面精度偏差 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ ，孔隙率 $\leq 1\%$ ，关键区域孔隙直径 $\leq 0.5\text{mm}$ ，叶片重量钛合金等效空心率 $\geq 60\%$ ；形成年产 200 件以上生产线，连续化织造设备单纱张力波动 $\leq 5\%$ ，风扇叶片通过 2 倍离心载荷旋转试验、静止状态中鸟等效鸟撞试验及疲劳性能考核；实现材料在商用航空发动机风扇叶片上的典型应用；形成 3~5 项标准或规范，发明专利 10 项以上，典型结构三

维机织预制体及复合材料性能数据库 1 套，三维机织预制体多目标协同设计平台 1 套，PCD 文件 1 套。

关键词：三维机织，预制体，复合材料，航空发动机

2. 高温与特种金属结构材料

2.1 极端环境海洋装备用关键特种合金材料制备及高效应用技术（共性关键技术类）

研究内容：针对极端环境下深水导管架平台等大型海工装备的高效制造需求，开展 420 兆帕级高强度特厚板复相组织协同调控、基于氧化物的晶内铁素体相变控制、低冷裂纹敏感性合金设计、复杂环境材料应用研究等共性技术研究工作，掌握极端环境下海洋装备用高性能材料研发、生产、高效应用成套技术，并形成示范应用。

考核指标：特种厚板屈服强度不低于 420MPa，最大厚度规格 120mm，母材及焊接接头-60℃冲击功 $\geq 50\text{J}$ ，焊接接头-20℃的 CTOD 性能 $\geq 0.25\text{mm}$ ，可适应焊接线能量 $\geq 200\text{KJ/cm}$ ，典型规格产品可实现-10℃环境温度不预热焊接，实现材料在海洋装备的典型应用 1 项。

关键词：极端环境、海洋装备、高效应用、CTOD

2.2 高强高弹钛青铜合金材料研发与应用（应用示范类）

研究内容：面向电子通讯高速率、大宽带、低延时的需求，研发高强度、高弹性钛青铜材料，开发大规格钛青铜合金熔炼过程中钛元素均匀化精确控制技术，研究成分、组织均匀性影响机

理与调控机制；开发钛青铜合金带材力学—电学性能匹配及形状尺寸精确控制技术，阐明带材微观组织—力学/电学性能—加工工艺制度之间的内在关系与相互作用机理，建立协同控制理论及方法；开发超薄带材高质量表面处理—板型协同控制技术；研究残余应力—板型—使用性能的内在关系；形成高强高弹钛青铜合金铸造、热加工成形和冷加工精密成形控制成套技术。

考核指标：开发出 0.05—0.3mm 厚高强高弹钛青铜合金带材，其中，0.05mm 厚带材：抗拉强度 $\geq 1200\text{MPa}$ ，导电率 $\geq 12\%\text{IACS}$ ，硬度 $\geq 350\text{HV}$ ；0.1—0.3mm 厚带材：带材宽度 $\geq 600\text{mm}$ ，抗拉强度 $\geq 1000\text{MPa}$ ，断后延伸率 $\geq 5\%$ ，导电率 $\geq 15\%\text{IACS}$ ，硬度 $\geq 300\text{HV}$ ， 180° 弯曲（弯芯直径等于厚度）无裂纹，翘曲度 $\leq 1/1000\text{mm}$ ，弹性模量 $\geq 127\text{GPa}$ ， 150°C 抗应力松弛：1000h，应力松弛率 $< 10\%$ ，铸锭单重 ≥ 6 吨，成品卷重 ≥ 3 吨；基于上述材料加工 2 组以上应用器件通过验证；建成年产 1000 吨的钛青铜合金带材产业化示范生产线。

关键词：钛青铜合金、高强高弹、精密成形

2.3 长寿命高稳定性轴承钢绿色高效产业化核心技术（应用示范类，江苏部省联动任务）

研究内容：针对我国先进装备制造领域对高效、绿色、经济型长寿命高稳定性轴承钢产业化的迫切需求，开展超低氧钛炉外精炼、宏观夹杂物控制关键技术研究，开发大型和特大型断面的新型高效连铸集成技术，探究高温均质化及形变工艺下的碳化物演变规

律，全面提高先进装备用高端轴承钢的稳定性和服役寿命，实现高效、绿色连铸替代模铸及电渣，完成相关产品的产业化生产。

考核指标：高碳铬轴承钢氧含量 $\leq 4.8\text{ppm}$ ，钛含量 $\leq 9\text{ppm}$ ，材料宏观纯净度 $\leq 2\text{mm/dm}^3$ ；特大断面 $\Phi 1000\sim 1200\text{mm}$ 连铸圆坯生产的风电主轴轴承满足超声波 $\Phi 1.5\text{mm}$ 当量探伤；铁路轴承用渗碳钢满足室温冲击功 $KU_2 \geq 80\text{J}$ 和超声波 $\Phi 0.5\text{mm}$ 当量探伤；建立基于碳化物的多尺度多物理场耦合疲劳寿命的预测模型； 4.5GPa 接触应力下的滚动接触疲劳额定寿命达到模铸材的1.2倍以上；材料利用率比模铸提高15%；实现长寿命高稳定性轴承钢产业化能力不低于50万吨/年。

关键词：轴承钢，长寿命，高稳定性，绿色高效，产业化

2.4 基于薄带铸轧的低排放先进高强钢制造技术研究及应用 (应用示范类，江苏部省联动任务)

研究内容：以基于薄带铸轧工艺生产低排放热轧薄规格 $800\sim 1200\text{MPa}$ 级先进高强钢为研究对象，通过亚快速凝固热模拟关键技术，结合先进的微观组织表征手段，对钢液亚快速凝固过程中的共性科学问题展开系统研究，阐明亚快速凝固条件下薄带连铸工艺参数、铸辊设计等对界面传热行为的影响机制，明确界面传热行为、温度等对带钢表面质量、凝固结构、微观组织和力学性能的影响机理，建立成分—工艺—组织—性能关系模型，开展一系列针对汽车、工程机械等高端装备的折弯、冲压、热成形等应用技术研究，明确不同强度级别材料适用的加工成型方式。

考核指标：开发出基于薄带铸轧的低排放先进高强钢，吨钢全流程碳排放不高于 0.55t-CO_2 。在成分满足 $C \leq 0.26\%$ ， $Mn \leq 2.0\%$ ， $Nb+V+Ti \leq 0.10\%$ 的情况下，典型产品（一）力学性能达到屈服强度 $\geq 800\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 10\%$ ，相对于传统高强钢 CP980 合金成本降低 10% 以上；典型产品（二）屈服强度 $\geq 1200\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 1300\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 6\%$ ，相对于传统 MS1300 钢合金成本降低 8% 以上。实现热轧产品厚度小于 1.5mm ，最薄达到 $0.8\sim 1.0\text{mm}$ ，厚度公差 $\pm 30\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 Ra 稳定控制在 $1.2\mu\text{m}$ 以下。

关键词：薄带铸轧，低排放，亚快速凝固，界面传热，高强钢

2.5 高原冻土公路用抗冻融高服役性能结构钢研究（青年科学家）

研究内容：针对高原冻土公路高海拔、高寒、高速环境对高服役性能钢铁材料的需求，研发抗冻融结构用高服役性能原型钢；开展预变形和模拟焊接对原型钢断裂与疲劳性能的影响研究，阐明抗低温脆断与冻融交变的韧塑化机制；探索模拟高原冻土土壤环境的实验室加速腐蚀试验方法，揭示原型钢的腐蚀行为与耐蚀机理。

考核指标：抗冻融结构用钢的屈服强度 $\geq 355\text{MPa}$ ，屈强比 ≤ 0.80 ，5%残余应变时效 -40°C 冲击功 $\geq 120\text{J}$ ，典型模拟焊后的 200 万次拉—拉疲劳应力幅 $\geq 150\text{MPa}$ 、 -40°C 冲击功 $\geq 60\text{J}$ 和 CTOD 特征值 $\geq 0.2\text{mm}$ ，典型模拟高原冻土土壤环境的实验室加

速腐蚀试验下较传统碳钢的相对腐蚀率 $\leq 50\%$ 。

关键词：高原冻土公路，抗冻融，高服役性能，原型钢

3. 轻质高强金属及其复合材料

3.1 400~450km/h 高速列车用新型高强可焊铝合金关键技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对 400~450km/h 更高速度等级高速列车车体承载件与长大中空薄壁件的轻量化发展需求，研究铝合金成分、多相组织与强度、疲劳、腐蚀、焊接性能的关联机理以及加工过程热/力场对型材组织性能的调控作用，开发新型高强可焊 6xxx 系铝合金型材制造全流程关键技术，突破新一代低密度高强可焊铝合金设计及型材制备关键技术；开展车体构件结构优化、典型构件试制、材料综合性能及样件应用性能评价、考核试验。

考核指标：新型高强可焊 6xxx 系铝合金：针对枕梁、牵引梁等承载结构和长大中空薄壁型材应用需求，与现用 6005A/6A01 合金型材相比，熔化焊接头系数相当，疲劳强度提高 30%以上，抗拉强度 $R_m \geq 420\text{MPa}$ ，应力腐蚀敏感指数 $\leq 5\%$ ，实现典型构件减重 8%以上。新型低密度高强可焊铝合金：密度较 6005A 合金降低 3%以上，抗拉强度 $R_m \geq 400\text{MPa}$ ，疲劳强度(N7) $\geq 180\text{MPa}$ ，焊接接头系数 ≥ 0.85 ，应力腐蚀敏感指数 $\leq 5\%$ ，实现典型构件减重 10%以上。完成 1~2 类新型高强可焊铝合金典型型材试制与考核验证，形成年产 10000 吨以上工业化生产能力。

关键词：高铁列车，车体轻量化，高强可焊，工业化生产

3.2 新型超高强韧抗疲劳及耐损伤航空铝合金板材关键技术 (共性关键技术类)

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、环境因素的关联性等，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 7xxx 系超高强韧铝合金厚板：抗拉强度 $R_m \geq 650\text{MPa}$ 、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 585\text{MPa}$ ，断后伸长率 $A \geq 9\%$ ，平面应变断裂韧度 $K_{IC} \geq 25\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，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 $\geq 300\text{MPa}$ ，厚度不低于 80mm；新型 2xxx 系高强耐损伤铝合金薄板：抗拉强度 $R_m \geq 500\text{MPa}$ 、断后伸长率 $A \geq 10\%$ ，平面应力断裂韧度 $K_C \geq 180\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，应力比 $R=0.1$ 、应力强度因子 $\Delta K=30\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 条件下 T-L 向疲劳裂纹扩展 $da/dN \leq 2 \times 10^{-3}\text{mm/cycle}$ ，应力腐蚀敏感因子 $\leq 5\%$ ，厚度 1.0~6.0mm；两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 2m^2 。

关键词：超高强韧，抗疲劳，耐损伤，铝合金板材，工程化验证

3.3 大厚度波纹界面钢—铝结构复合材料连续高效制备及应用 (应用示范类)

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、使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 $\geq 22\text{mm}$ ，钢侧厚度 $\geq 10\text{mm}$ ，铝合金侧厚度 $\geq 10\text{mm}$ ；轧制成形后界面厚度方向拉脱强度 $\geq 130\text{MPa}$ ，界面剪切强度 $\geq 80\text{MPa}$ ， $350^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 热处理 30min 后，产品厚度方向拉脱强度 $\geq 100\text{MPa}$ ，界面剪切强度 $\geq 65\text{MPa}$ ；界面结合率 100% ，性能偏差低于 $\pm 5\%$ ，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 ≥ 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 ≥ 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

3.4 高强耐热 SiCp 增强铝基复合材料及其在轨道交通的应用（应用示范类）

研究内容：针对现役 SiCp/Al 制动盘及合成闸片轻质摩擦副适用速度和自主技术成熟度均较低、运维体系不健全等技术难题，

开发轨道交通用高强耐热轻质摩擦副的先进制造及运维技术，重点突破复合材料的基体—增强相协同调控和回收再使用技术、闸片材料组分设计和轻质摩擦副安全评价方法，实现高强耐热 SiCp/Al 制动盘/闸片的批量化制造及轨道交通线路示范应用，提升轻质摩擦副的速度适用性、技术经济性和服役安全性。

考核指标：SiCp/Al 制动盘本体抗拉强度 $\geq 300\text{MPa}$ ， 300°C 抗拉强度 $\geq 150\text{MPa}$ ，盘体各部分组织和成分不均匀性 $\leq 5\%$ ，孔隙率 $\leq 0.8\%$ ；SiCp/Al 制动盘成形工艺余料、不合格及服役报废制动盘材料的回收再使用率 $\geq 85\%$ ；盘/片摩擦副的干态下平均摩擦系数 $0.35 \sim 0.50$ ，闸片磨耗量 $\leq 0.6\text{cm}^3/\text{MJ}$ ，噪声低于 90dB ；建立 SiCp/Al 制动盘 ≥ 10000 片/年和合成闸片 ≥ 20000 套/年的生产示范线；在至少一条市域列车线路上实现应用示范。

关键词：SiCp/Al 制动盘，合成闸片，安全运维评价，应用示范

3.5 高性能钛合金无缝管产业化关键共性技术开发与应用（应用示范类）

研究内容：针对航空 35MPa 级液压管路系统、核动力小堆等对高性能钛合金无缝管的需求，开展高性能钛合金无缝管成形性一体化控制工艺技术研究，突破近 α 钛合金塑性加工过程中的微观织构调控、冷轧高精度尺寸及缺陷控制等全流程多因素耦合作用下的批次质量稳定性提升、综合服役性能调控与评价等关键技术，形成包括理论、设备、工艺、规范等在内的钛合金无缝管

产业化成套关键制备技术和应用评价技术，TA18 钛合金无缝管和 TA16 钛合金带筋异型管及配套焊丝实现批量应用。

考核指标：航空 35MPa 级液压管路系统用 TA18 钛合金无缝管：规格涵盖 $\Phi 6\text{mm}\sim 25\text{mm}$ ；抗拉强度 $R_m 870\sim 960\text{MPa}$ ，屈服强度 $R_{p0.2} \geq 740\text{MPa}$ ，断后伸长率 $A \geq 12\%$ ；强度 C_v 值 $\leq 3\%$ ；在 35MPa 载荷条件下通过 1000 万次弯曲疲劳实验（测试标准 HB6442）；建立航空 TA18 钛合金无缝管 ≥ 5000 米/年的生产示范线，至少在一种航空装备上实现应用示范。核动力小堆用 TA16 钛合金带筋异型管及配套焊丝：管材室温力学性能：抗拉强度 $R_m 485\sim 660\text{MPa}$ ，屈服强度 $R_{p0.2} \geq 375\text{MPa}$ ，断后伸长率 $A \geq 20\%$ ；350°C 力学性能：抗拉强度 $R_m \geq 240\text{MPa}$ ，屈服强度 $R_{p0.2} \geq 180\text{MPa}$ ；配套焊丝力学性能：抗拉强度 $R_m 440\sim 635\text{MPa}$ ，断后伸长率 $A \geq 16\%$ ；建立核动力用 TA16 钛合金无缝管 ≥ 15000 米/年的生产示范线，至少在一个核动力小堆上实现应用示范。

有关说明：由四川省科技厅作为推荐单位组织申报。

关键词：航空液压管路，核动力堆，钛合金管材，批量应用

3.6 大规格喷射成形超高强铝合金制备关键技术（共性关键技术类，江苏部省联动任务）

研究内容：针对航空航天、交通运输、核电等领域对高性能轻量化材料的需求，开发基于喷射成形快速非平衡凝固铝合金成分设计、熔体质量调控技术、大规格高合金化高均匀性铝合金锭坯喷射成形技术及智能化装备；开展大规格铝合金热—力耦合条

件下成分—组织—性能演变规律、组织均匀化与缺陷调控机理、理论模拟与预测研究；开发变形加工与热处理工艺技术，制定合金材料标准与工艺技术规范，实现高质量超高强铝合金材料批量化制备；开展典型结构件制造与应用性能评价，完成工程化应用验证。

考核指标：大规格超高强铝合金锭坯：直径 $\geq 850\text{mm}$ ，单件重量 ≥ 3 吨；晶粒呈等轴状，且平均尺寸 $\leq 100\mu\text{m}$ ；主要合金元素 Zn、Mg、Cu 宏观偏析均小于 8%；锭坯致密度 $\geq 98\%$ ；形成 5000 吨/年锭坯稳定化批量生产能力。开发出新型高性能铝合金材料，密度 $\leq 2.9\text{g/cm}^3$ ；抗拉强度 $\geq 800\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 720\text{MPa}$ 、断后伸长率 $\geq 6\%$ ；室温断裂韧性 $K_{IC} \geq 23\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，疲劳强度 $\sigma_{-1} \geq 120\text{MPa}$ ($K_t=1$, 室温, 空气, 频率 $f=40\sim 150\text{Hz}$ 之间, 周次 $N=10^7$)。至少 2 种铝合金轻量化结构件在航空航天、交通运输、核电等领域装备上实现工程化应用验证。

关键词：喷射成形，大规格锭坯，超高强铝合金，工程化应用验证

3.7 新能源汽车整体式底盘轻量化材料与关键构件研发及应用（应用示范类，江苏部省联动任务）

研究内容：面向新能源汽车整体式底盘的轻量化需求，仿生协同设计平台化、模块化和高安全的整体式底盘；开发轻合金高品质锭坯的双冷场铸造技术，研究塑性变形和热处理过程中缺陷处溶质偏聚、第二相析出和织构演化机理；开发微幅振动—划擦

磨损—复杂电偶条件下的轻合金防护涂层技术；完成高性能轻合金材料与典型构件的研制与示范应用。

考核指标：7xxx 系铝合金复杂断面薄壁型材防撞梁：抗拉强度 $\geq 600\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 540\text{MPa}$ 以上，延伸率 $\geq 8\%$ ，比吸能 $\geq 40\text{kJ/kg}$ ；高强 6xxx 系铝合金型材主结构梁：抗拉强度 $\geq 440\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 400\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ，成本与 6061 合金相当；非稀土镁合金型材电池托盘：抗拉强度 $\geq 310\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 240\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ，托盘低成本环保型“化学转化+涂装”防护涂层的总厚度 $\leq 100\mu\text{m}$ ，中性盐雾寿命 ≥ 2000 小时，在镁/铝合金复杂电偶条件下的中性盐雾寿命 ≥ 500 小时，环境温度 -20°C 下的电池区温度（ 20°C ）12 小时内衰减 $\leq 1.5^\circ\text{C}$ 。最终实现整体式底盘扭转刚度不低于 15000Nm° ，建成上述型材的生产示范线，相关零部件产能达到 25 万件/年。

关键词：整体式底盘，铝合金，镁合金，关键构件，示范应用

3.8 高强韧抗冲击石墨烯增强钛合金复合材料设计与制备技术研究（青年科学家）

研究内容：针对国家航空、航天领域重大工程对轻质防护材料的迫切需要，探索石墨烯增强钛合金复合材料合金元素和界面设计方法，建立设计准则，掌握石墨烯增强钛合金复合材料微观结构演变规律、强韧化机制以及准静态和动态冲击条件下力学响应行为，研发新型高强韧抗冲击石墨烯增强钛基复合材料。

考核指标：设计并开发 2 类或以上高强韧抗冲击石墨烯增强

钛合金复合材料，其中复合材料密度 $\rho \leq 4.5\text{g/cm}^3$ ；弹性模量 $E \geq 120\text{GPa}$ ；室温准静态抗拉强度 $\geq 1500\text{MPa}$ ，断后延伸率 $\geq 5\%$ ；断裂韧性 $K_{IC} \geq 35\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ； 3000s^{-1} 应变率下动态压缩应力最大值 $\geq 1750\text{MPa}$ ，动态压缩应变最大值 $>20\%$ 。

关键词：钛基复合材料，石墨烯，粉末冶金，强韧性

4. 先进结构陶瓷与复合材料

4.1 半导体用高超精密陶瓷部件研制与应用（应用示范类）

研究内容：针对半导体行业对高纯碳化硅晶舟、精密陶瓷吸盘等消耗性陶瓷部件的关键需求，开发耐高温、耐腐蚀、高纯、复杂结构碳化硅晶舟陶瓷基体的杂质控制技术、致密化技术与大面积超高纯陶瓷涂层表面改性技术；开发高热导、导电性能可调的氮化硅与氮化铝陶瓷材料体系，突破大尺寸氮化硅与氮化铝陶瓷吸盘复杂结构精密成型技术、近净尺寸烧结技术与高精度加工技术，实现高纯碳化硅晶舟、精密陶瓷吸盘等消耗性陶瓷部件示范应用。

考核指标：碳化硅晶舟基材纯度 $\geq 99.99\%$ ，弯曲强度（ 1200°C ） $\geq 170\text{MPa}$ ，涂层纯度 $\geq 99.9995\%$ ，碳化硅晶舟高度 $\geq 1000\text{mm}$ ；氮化硅陶瓷吸盘抗弯强度 $\geq 800\text{MPa}$ ，维氏硬度（ $\text{Hv}10$ ） $\geq 1500\text{kg/cm}^2$ ，热导率 $\geq 80\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，电阻率（ 20°C ） $10^{-5} \sim 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ 可调，直径 $\geq 320\text{mm}$ ，厚度 $\leq 1\text{mm}$ ，平行度 $\leq 1\mu\text{m}$ ；氮化铝吸盘热导率 $\geq 170\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，工作面温度均匀性 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}@450^\circ\text{C}$ ，静电吸附力均匀性 $\leq \pm 5\%$ ；建成 10000 件/年高精度陶瓷吸盘中试生产

线，完成 2 项以上（含）高纯碳化硅晶舟、精密陶瓷吸盘等消耗性陶瓷部件在半导体制程工艺中的示范应用。

关键词：碳化硅晶舟，氮化硅陶瓷吸盘，氮化铝陶瓷吸盘，示范应用

4.2 重型燃气轮机关键隔热陶瓷材料研究（共性关键技术类）

研究内容：针对重型燃气轮机热端部件热防护对关键隔热陶瓷材料的重要需要，建立隔热瓦、超高温涂层等材料的组成结构设计及调控方法，研究隔热瓦、超高温涂层在高温热力耦合苛刻服役环境下的服役行为演化和失效机理，开发低热导、抗热震、抗冲蚀的重型燃气轮机热端部件热防护材料工程化制备技术，发展高温隔热陶瓷材料服役模拟评价、材料一致性的定量评价方法，隔热瓦与超高温涂层实现应用验证。

考核指标：陶瓷隔热瓦热导率 $2.5 \pm 0.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ， $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 40\text{mm}$ 隔热瓦热震稳定性（ 1000°C -水冷）循环次数 ≥ 30 次，研发模拟高温服役环境材料关键性能评价方法（水蒸气体积百分比 $\leq 12\%$ ），建立陶瓷隔热瓦基于弹性模量的材料一致性无损定量评价表征方法，隔热瓦试验服役寿命 $\geq 8000\text{EOH}$ ；超高温涂层服役温度 $\geq 1400^\circ\text{C}$ ，热导率 $\leq 1.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、热膨胀系数 $\geq 10.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ， 1500°C 热冲击寿命 ≥ 2000 次，模拟应用热循环寿命 $\geq 1000\text{h}$ ，满足应用要求。

关键词：隔热瓦，超高温涂层，定量评价，示范应用

5. 先进工程结构材料

5.1 月面建造关键结构材料及应用基础研究（基础研究类）

研究内容：针对月面工程建造的资源条件约束，以及低重力、超真空、大温差等极端环境条件，研究月面天然土体的工程性能表征、模拟与评价方法；研究月壤作为建筑基材的预处理工艺以及成形方法；研究模拟月壤成形材料构件的受力性能和服役功能性，研究不同成形技术制备工程材料的力学性能，并探究其辐射稳定性、高低温热膨胀及导热性等极端环境的功能性特征。

考核指标：制成模拟月壤不少于3种，内摩擦角、主要矿物组成比例、颗粒粒径分布与参考真实月壤相差不超过15%；形成基于模拟月壤的工程材料的制备方法不少于2种，构件的原位资源利用重量比 $\geq 98\%$ ；单个成形构件尺寸 $\geq 50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 150\text{mm}$ ，平均抗压强度 $\geq 15\text{MPa}$ 、平均抗拉强度 $\geq 3.0\text{MPa}$ ，模拟月面环境条件下强度保留率 $\geq 30\%$ ，热膨胀系数 $\leq 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 。

关键词：月面建造，月壤，成形技术，服役性能

5.2 低碳长寿命海底隧道结构混凝土与工程应用（应用示范类）

研究内容：针对海底隧道工程建设面临大水压、高氯盐等复杂海洋环境，研究隧道结构混凝土的损伤劣化规律与失效机理；研究新型低碳耐蚀水泥制备技术；研究隧道洞渣高效资源化利用技术；研究单层衬砌结构设计及其高性能混凝土制备技术；研究喷射混凝土、二次衬砌和大尺寸管片混凝土的绿色低碳制备和抗裂性、耐久性提升技术；开发可显著提升海底隧道结构混凝土服役寿命的新型功能性材料；建立相关标准规范，实现示范应用。

考核指标：提出低碳长寿命海底隧道结构混凝土设计方法与指标；新型低碳耐蚀水泥 CO_2 排放 $\leq 550\text{kg/t}$ ，180d 耐海水腐蚀侵蚀系数 $K_{180} \geq 1.10$ ；混凝土中洞渣利用率 $\geq 50\%$ ；高性能喷射混凝土的 8h 抗压强度 $\geq 10\text{MPa}$ ，回弹率 $\leq 10\%$ ，7d 龄期 0.5 小时吸水率 $\leq 1.8\%$ ；相对传统混凝土技术，二次衬砌及管片混凝土不开裂保证率 $\geq 95\%$ ，耐久性提升 1 倍以上；管片混凝土养护能耗降低 90% 以上；研制新技术、新材料 ≥ 5 项，编制标准或技术规范 ≥ 3 项，在海底隧道工程示范应用 ≥ 2 项。

关键词：海底隧道，混凝土，低碳，长寿命

5.3 重大海上结构碳纤维复材系泊缆索及关键应用技术（共性关键技术类，江苏部省联动任务）

研究内容：针对海洋重大工程结构建设对高耐久系泊系统需求，研发高性能碳纤维复合材料系泊缆索及其关键应用技术。具体包括：重大海洋工程系泊系统用长寿命、抗疲劳、超长低变形碳纤维复合材料缆索；海洋环境和复杂荷载作用下碳纤维复合材料系泊缆索长期服役性能演化机理与控制技术；碳纤维复合材料系泊缆索连接区的受力机理与连接技术；长寿命碳纤维复合材料系泊缆索设计方法、服役性能检测与评价技术，实现示范应用。

考核指标：碳纤维复合材料系泊缆索的拉伸强度 $\geq 2400\text{MPa}$ 、模量 $\geq 150\text{GPa}$ 、300MPa 应力幅下疲劳寿命 ≥ 200 万次；材料吸湿率 $\leq 1\%$ ，60°C 海水浸泡 2000 小时后拉伸强度退化 $\leq 10\%$ ，典型恶劣海洋环境与复杂受力条件下的服役寿命 ≥ 30 年；编制标准

1 部，实现工程示范应用 1 项。

关键词：碳纤维复合材料，系泊缆索，服役性能

5.4 地下工程结构用高性能纤维增强复合材料研制及应用技术（应用示范类，江苏部省联动任务）

研究内容：针对地下工程建设面临的高地应力、岩土大变形、腐蚀等复杂服役环境，研发宽力学指标域和强环境适应性的高性能纤维增强复合材料；研究纤维增强复合材料在岩土体中组合受力条件与腐蚀、地热、水压等环境条件共同作用下的服役性能与高耐久性机理；研发地下工程结构用高性能纤维增强复合材料构件与关键连接技术；研发纤维增强复合材料地下工程应用技术与检验评价技术，实现示范应用。

考核指标：地下工程结构用纤维增强复合材料不少于 4 种，线型材的抗拉强度 $\geq 2500\text{MPa}$ ，断裂延伸率 $\geq 2\%$ ；实现非直轴线的大断面型材，抗拉强度 $\geq 700\text{MPa}$ 、全截面压缩强度 $\geq 250\text{MPa}$ ；在 80°C 水浸 2000h 后的强度保留率 $\geq 80\%$ ，服役寿命 ≥ 30 年；编制标准或技术规范不少于 2 部；在大埋深隧道和滨海城市地下空间建设中实现示范应用不少于 2 项。

关键词：地下结构，纤维增强复合材料，碳纤维，耐久性能

5.5 深地资源勘探用高强韧钢管材及应用技术研究（共性关键技术类）

研究内容：针对深地资源勘探高温、高压、高地应力、腐蚀等严苛复杂环境下钻探管材高可靠需求，研究高强度管材强韧化

机理；开展高纯净钢冶炼、低偏析管坯制造、高尺寸精度轧制和热处理工艺研究；开展高抗扭接头部件和管体设计研究，研制高强韧钻杆和套管；开展关键部件双向防护技术研究，以及模拟特深井高温环境下（ $\geq 250^{\circ}\text{C}$ ）测试验证，实现钻井管材在深井中示范应用。

考核指标：165ksi 以上高强度管材夏比冲击功 $\geq 100\text{J}$ ，屈服强度 $\geq 1140\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 1200\text{MPa}$ ；高温下管材性能高于 API 标准值；钻杆接头扭转强度较 API NC 标准提高 70%以上，高温环境下关键部件双向防护性能（耐磨性和减摩性）较传统防护技术提升 300%；形成钢管材评价标准和设计指南或规范 2 件以上，开展深地资源勘探工程示范应用 ≥ 2 处。

关键词：深地资源勘探，高强韧钢管材，应用技术

5.6 珊瑚骨料高品质利用与珊瑚骨料混凝土性能提升技术 （青年科学家）

研究内容：针对岛礁工程建设用天然骨料缺乏、珊瑚骨料品质差及其制备的混凝土耐久性低、服役寿命短的关键科学问题，开展淡水零消耗下珊瑚骨料氯离子含量控制方法与技术、珊瑚骨料改性强化与珊瑚骨料混凝土裂缝微生物自修复技术以及珊瑚骨料混凝土中钢筋防锈材料与氯离子检测技术研究，实现岛礁工程建设用珊瑚骨料的品质提升与珊瑚骨料混凝土的高性能化。

考核指标：淡水零消耗下，珊瑚骨料氯离子含量 $\leq 0.02\%$ ；新拌混凝土氯离子含量快速检测效率为 3min/次、检测精度为

400mg/L; 2 天裂缝面积自修复率 $\geq 95\%$ 、修复深度 $\geq 10\text{mm}$, 形成微生物自修复标准 ≥ 1 项; 钢筋年锈蚀速度 $\leq 0.005\text{mm/a}$ 。

关键词: 珊瑚骨料, 品质提升, 裂缝修复, 高性能化

6. 结构材料制备加工与评价新技术

6.1 高性能合金复杂结构件残余应力与尺寸精准调控技术 (共性关键技术类)

研究内容: 面向航空、航天等领域复杂结构件大型化、精密化的发展需求, 针对长制程、多因素、多尺度下应力与尺寸失控问题, 开展残余应力和尺寸精准调控关键技术研发, 建立全过程残余应力表征、高效工艺设计与控制技术体系。具体包括: 大型复杂构件残余应力无损/微损伤高精度高适应性表征与多尺度应力定值技术; 结构件制造全流程中残余应力和尺寸遗传演化规律; 残余应力演化分析诊断及工艺设计集成仿真; 基于冷却场和约束控制的残余应力与尺寸精准调控技术; 典型大型复杂结构件残余应力与尺寸精准调控技术的验证应用。

考核指标: 建立高精度、高适用多尺度残余应力表征技术, 研制应力定值内控或标准样品/物质 ≥ 3 套, 表面应力测量精度 $\leq 0.08\sigma_y$ (屈服强度), 无损探测深度 $\geq 50\text{mm}$ 、应力测量精度 ≤ 150 微应变; 建成应力分析诊断与工艺设计仿真平台, 典型结构件关键工序全时刻全位置残余应力预测偏差 $\leq 0.20\sigma_y$; 发展残余应力与尺寸的精准调控技术, 在外轮廓直径 $\geq 1500\text{mm}$ 以上典型复杂结构件中应用, 使形位偏差 (不大于 $\pm 5\text{mm}$) 降低 50% 以上, 体

残余应力（不大于 $\pm 0.30\sigma_y$ ）降低 30%以上；形成不少于 3 种典型大型复杂结构件残余应力与尺寸精度测量标准、控制规范及相关数据库，在航空航天等领域应用示范。

关键词：残余应力，尺寸精度，表征技术，尺寸调控，大型构件

6.2 3D 打印用高性能合金粉末高效雾化制备技术（共性关键技术类）

研究内容：针对航空航天、能源动力等领域对 3D 打印关键热端部件高使用温度、高力学性能、低制造成本的要求，开展耐热高强铝合金、高承温高强镍基合金、难熔及高熵合金等高性能粉末材料成分设计及低成本制备技术研究，探索原材料类型及制备工艺对粉末杂质含量控制、打印开裂倾向的影响规律，突破材料成分调控及纯净度控制、超音速雾化器结构设计、超高速旋转进给机构设计、粗粉返回料循环利用、高效智能制粉装备开发等关键核心技术，解决粗粉返回料循环使用问题，掌握真空感应熔炼气雾化、超高速等离子旋转电极雾化等低成本高性能合金粉末制备工艺，开发智能高效的雾化制粉装备，研制出低成本高性能的 3D 打印用合金粉末材料。

考核指标：制备出 3—5 种 3D 打印专用高性能合金粉末，粒度 $\leq 53\mu\text{m}$ 的细粉收得率 $\geq 55\%$ ，粉末球形度 $\geq 90\%$ ，松装密度达到母材密度的 55%以上，耐热高强铝合金粉末氧含量 $\leq 500\text{ppm}$ ，高承温高强镍基合金粉末氧含量 $\leq 150\text{ppm}$ ，难熔及高熵合金粉末

氧含量 $\leq 150\text{ppm}$ 。针对应用场景制备 3—5 种高性能大型复杂精密构件，耐热高强铝合金室温屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 12\%$ ， 250°C 屈服强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 10\%$ ；高承温高强镍基合金使用温度 $\geq 1000^\circ\text{C}$ ，抗拉强度 $\geq 400\text{MPa}$ ；难熔及高熵合金强度达到锻件水平。完成真空感应熔炼气雾化制粉装备、超高速等离子旋转电极制粉装备及成套工艺自主开发，形成 3D 打印合金粉末 2000 吨/年的能力，建立高性能 3D 打印合金的材料—工艺—性能数据库。

关键词：3D 打印，合金粉末，粉末制备

6.3 先进工程结构材料痕量元素检测关键技术与表征研究 (共性关键技术类)

研究内容：针对高性能高温合金、钛合金、钢构件服役的实际应用对痕量元素检测技术提出的超低检出限、近原位—多模态高精度分析需求，研究镍基高温合金痕量元素微区分析用标准物质制备技术；基于系列高精度分析方法，研究构件痕量元素近原位—多模态表征技术；研制镍基高温合金痕量元素微区分析标准物质，建立系列高精度分析方法，建立痕量元素近原位—多模态的组织—痕量元素成分含量分布规律表征模型，开展典型构件制备全流程关键痕量元素表征验证。

考核指标：研制 3 种先进结构材料痕量元素微区分析系列标准物质，横/纵向 $10\mu\text{m}$ 内， $1\mu\text{g/g}$ 以上的杂质不确定度 $\leq 10\%$ ，包含的关键痕量元素不少于 5 种，浓度梯度不少于 3 个。建立的痕

量元素化学成分分析方法，元素种类不少于 10 种，检出限 $0.1\mu\text{g/g}$ — $10^{-3}\mu\text{g/g}$ ；建立的痕量元素三维分布分析方法，元素种类不少于 10 种，分辨率优于 10nm；建立的痕量元素价态定量分析方法，元素种类不少于 10 种，元素价态定量分析的检出限小于等于 0.2 原子百分比，深度分辨率优于 10nm；在五种典型工程结构材料上应用验证。建立可表征微米级关键痕量元素含量的近原位-多模态模型，应用于典型镍基高温合金构件制备全流程关键痕量元素表征。

关键词：镍基高温合金，痕量元素微区分析，化学成分分析，三维分布，价态分析

6.4 高品质适航级钛合金粉末制备和 3D 打印技术开发及应用（应用示范类，江苏部省联动任务）

研究内容：针对民用大飞机对批量高稳定性的钛合金粉末和 3D 打印构件的迫切需求，开展钛合金 3D 打印“粉末原材料—设计—工艺—缺陷—组织—形性”的相关性研究，开发融合大数据技术的 3D 打印用高品质钛合金粉末、激光选区熔化构件制备及检测评价技术，重点突破在材料、设备、工艺多重变异性因素影响下 3D 打印钛合金构件在批量制备过程中形性稳定化控制技术，建立符合适航认证要求的钛合金粉末、3D 打印工艺过程和构件技术规范，实现 3D 打印钛合金构件在民用大飞机上的应用示范。

考核指标：批量稳定制备 3D 打印用适航级钛合金粉末：< $53\mu\text{m}$ 细粉收得率 $\geq 45\%$ ，氧增量不高于 150ppm，批次间粉末特

性 CV 值 < 3%; 3D 打印钛合金构件强度 $\geq 950\text{MPa}$, 断裂韧性 $\geq 90\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 形变量控制 $\pm 0.1\text{mm}$ 内, 批次间形性 CV 值 < 3%; 建成符合适航要求的年产 60 吨钛合金粉末和 5000 件激光选区熔化构件示范线, 完成不少于 5 种典型零件在 C919 大飞机上的批量应用。建立符合适航认证要求的钛合金粉末、3D 打印工艺过程和构件技术规范不少于 3 项。

关键词: 民用大飞机, 3D 打印, 钛合金粉末, 激光选区熔化构件, 适航认证

6.5 航天装备用超低摩擦固体润滑薄膜材料与技术 (青年科学家)

研究内容: 针对航天装备领域关键部件服役工况下磨损及润滑难题, 开发新一代航天装备用固体润滑薄膜材料。开展关键部件金属基底表面工程尺度超低摩擦磨损碳薄膜可控制备, 薄膜摩擦学行为与界面结构演化规律, 薄膜/异质配副摩擦界面原子作用机制, 薄膜模拟航天装备工况服役行为研究。揭示薄膜/配副界面电子态作用机制, 提出超低摩擦界面调控策略, 突破航天装备关键部件服役工况超低摩擦固体润滑薄膜技术, 在航天装备轴承或高速 ($> 70\text{m/s}$)、低温下 ($< -180^\circ\text{C}$) 滑动支撑系统获得典型验证。

考核指标: 金属 (轴承钢、不锈钢等) 表面膜基结合力 $> 60\text{N}$ 、薄膜厚度差 $\leq 5\%$ 、薄膜弹性恢复 $\geq 85\%$; 1GPa 接触应力下, 大气、真空 (10^{-3}Pa) 环境下摩擦系数 ≤ 0.005 , 薄膜磨损率 (与钢球配副) $\leq 10^{-10}\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$; 轴系摩擦力矩 $< 80\text{gcm}@1\text{rpm}$, 摩擦

功耗降低 30%以上。

关键词：航天装备，固体润滑薄膜，摩擦磨损

7. 基于材料基因工程的结构与复合材料

7.1 基于材料基因工程的高品质软磁不锈钢生产过程控制技术（共性关键技术类）

研究内容：针对轨道交通对高品质软磁不锈钢研发的迫切需求和产品性能稳定性等瓶颈问题，建立不锈钢高洁净制备的热力学数据库和动力学计算模型，并通过构建多元多相瞬态预报模型，实现对制备过程中成分和洁净度精准预报及其洁净化制备；开发材料熔炼—加工变形—热处理全过程一体化的高通量实验方法，实现生产工艺参数高通量筛选；建立软磁不锈钢生产全过程工艺参数及产品性能数据库，利用机器学习方法开发数据驱动的多目标产品性能的材料成分—工艺—组织—性能一体化设计及生产过程数字控制技术，建立工业化生产全过程数字化和智能控制方法，实现产品短周期、低成本研发和高质量制造。

考核指标：建立具有我国自主知识产权的不锈钢热力学数据库，开发不锈钢制备过程热力学和动力学计算软件 1 套；开发高通量熔炼、变形、热处理一体化研究软硬件装置 1 套；建立 1 个包含 30 万个以上数据的软磁不锈钢生产全过程工艺参数及产品性能数据库，构建复杂性能同步输出条件下的算法及数学模型；开发出高品质软磁铁素体不锈钢，其夹杂物总和 ≤ 2.5 级，总氧稳定 $\leq 10\text{ppm}$ ，饱和磁感强度 >1.3 特斯拉，矫顽力 $<300\text{mA}$ ， $\sigma_b \geq$

600MPa, $\delta \geq 14\%$, -40°C 下 V 型缺口 $A_k \geq 27\text{J}$, 稳定性提高 50%; 产品研发周期缩短一半, 生产工序成本降低 20%以上。

关键词: 材料基因工程, 软磁不锈钢, 生产过程, 高通量实验, 智能控制

7.2 基于定构设计和高通量表征的特种聚酰胺研发(共性关键技术类)

研究内容: 面向空天和高速列车等领域对耐温、高强、高结构稳定性特种聚酰胺的迫切需求, 开发特种聚酰胺材料智能化设计、高通量合成系统、多时空结构高通量表征、极端服役稳定性评价等技术, 建立覆盖分子设计、合成、加工及服役评价全流程的特种聚酰胺材料智能化开发流程和应用平台; 研究聚合物共聚结构、加工工艺、增强组分、界面调控等对聚酰胺材料耐热性、耐寒性、尺寸稳定性、机械性能之间的多目标、多变量、偏好性和动态性复杂定构关系, 开发新型耐温高强、高尺寸稳定特种聚酰胺产品, 突破产业化合成、连续复合等工程化技术, 实现高效低成本研发和工程应用。

考核指标: 建立 1 个包含 10 万个以上数据的特种聚酰胺材料数据库、智能化开发和应用平台 1 个, 实现 ≥ 16 个/批次高通量制备及表征; 注塑加工高通量表征尺度范围 0.1—1000nm, 时间分辨达到毫秒级, 实现 3 种以上无损表征方法联用; 开发 3 种以上特种聚酰胺复合改性产品, 其中耐温高强产品: 熔点 $\geq 335^{\circ}\text{C}$, 热变形温度 $\geq 320^{\circ}\text{C}$ (1.8MPa 下), 室温拉伸强度 $\geq 300\text{MPa}$; 高尺寸稳定产品:

线性热膨胀系数 $\leq 15\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ ，平衡吸水率 $\leq 0.8\%$ ，室温拉伸强度 $\geq 250\text{MPa}$ ；新产品研发周期缩短 30%以上，成本降低 35%以上。

关键词：材料基因工程，特种聚酰胺，智能化设计，高通量表征

7.3 数据驱动的高性能硬质合金和耐磨涂层一体化设计（青年科学家）

研究内容：面向深地开采等领域针对高性能硬质复合材料耐磨性和强韧性协同提升的需求，开发面向工程应用的多组元硬质合金和耐磨涂层多源异构数据库；基于热力学和动力学计算、高通量实验、数据驱动的机器学习技术，明确硬质合金和耐磨涂层的成分—组织—工艺—性能的映射关系，发展涂层—基体界面结构优化设计方法，实现新型硬质合金和耐磨涂层一体化高效设计与性能优化，为高性能硬质复合材料的智能开发提供技术支撑。

考核指标：建立硬质合金体系的相图热力学和扩散动力学数据库，元素种类不少于 15 种；建立耐磨涂层体系的相图热力学和扩散动力学数据库，元素不少于 10 种且包含制备过程获得的亚稳相；明确硬质合金和耐磨涂层的成分—组织—工艺—性能的映射关系，材料性能预测精度 $\geq 90\%$ ；研制出 3 种以上新型硬质合金和耐磨涂层一体化材料，耐磨性和强韧性协同提升 20%以上。申请发明专利 5 项以上，软件著作权登记 2 项以上。

关键词：材料基因工程，硬质合金，耐磨涂层，智能化设计