

附件 5

工程与材料科学部重大项目指南

2025 年工程与材料科学部共发布 10 个重大项目指南，拟资助 7 个重大项目。项目申请的直接费用预算不得超过 1500 万元/项。

“超高温合金限域梯度微结构构筑与强韧化”重大项目指南

面向高超声速飞行器对关键耐热且高承载部件的迫切需求,研发高性能超高温合金材料具有重大战略意义。发展调控微观组织的新原理,实现超高温合金的设计和制备,以突破传统合金的服役温度上限,是当前亟待解决的重大科学难题。针对现有合金在超高温下强度低、易应变软化、难轻质化等特点,提出超高温合金设计新理念,构建超高温合金强韧化新方法,发展多元化的超高温合金制备新技术,对于支撑我国高超声速飞行器的发展具有重大意义。

一、科学目标

针对现有合金高温拉伸强度不足,且与所必需的室温拉伸塑性、高温应变硬化以及轻量化三者均不兼容的瓶颈难题,构筑超高温合金多层级限域梯度微结构,揭示多层级限域梯度微结构的组织特征与演化规律,阐明限域梯度微结构合金的强韧化与热稳定性机制,形成不同服役环境温度的超高温合金谱系。

二、研究内容

(一) 限域梯度微结构钽钨基合金的构筑与强韧化。

在钽钨基合金中构筑粗晶-细晶-胞结构-不可动位错网络的多层级限域梯度微结构,调控其自增强行为与热稳定性,阐明其对高温强度与应变硬化以及室温强塑性的影响规律,实现材料在 2000℃ 的抗拉强度不小于 120MPa,具有高温应变硬化,且室温拉伸塑性不小于 15%。

（二）限域梯度微结构铌钨基合金的构筑与强韧化。

在铌钨基合金中构筑粗晶-细晶-胞结构-共格第二相多层次限域梯度微结构，揭示其演化规律及其与变形载体的交互作用机制，阐明其对合金的高温强塑性和室温强塑性的影响机理，实现材料在 1800℃ 的抗拉强度不小于 100MPa，且室温拉伸塑性不小于 15%。

（三）限域梯度微结构共晶难熔高熵合金的设计与制备。

在轻质难熔高熵合金中构筑粗晶-细晶-共晶组织的多层级限域梯度微结构，研究多层次限域梯度微结构的热稳定性及其与变形载体的交互作用，揭示其对合金高温力学性能的作用机理。实现材料在 2000℃ 的抗拉强度不小于 250MPa，且具有高温应变硬化和室温塑性。

（四）匹配抗烧蚀涂层的限域梯度微结构合金考核验证。

构筑与上述三类合金表面适配的抗高温氧化烧蚀涂层，揭示高温氧化环境下限域梯度微结构合金及其涂层的微观结构演化规律和高温烧蚀机制，开展合金与其适配抗烧蚀涂层的考核验证。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“超高温合金限域梯度微结构构筑与强韧化”，申请代码1选择E0104。

（二）咨询电话：010-62327144。

“中高轨道使役的长寿命无机非金属热控材料”

重大项目指南

中高轨道（2000-36000 km）卫星具有宽覆盖、高稳定、全天候等优点，是航天强国着力抢占的战略制高点。作为中高轨道卫星抵御极端空间环境的首道屏障，热控涂层在使役过程中性能持续衰减，已成为制约中高轨道卫星使役寿命和探测精度的瓶颈。因此，针对中高轨道使役需求，开展无机非金属宽禁带半导体热控材料的应用基础研究，突破长寿命高性能热控材料设计、制备原理与技术瓶颈，对于支撑新一代中高轨道卫星研制、保障国家空间科学中长期发展规划实施、服务国家安全具有重大意义。

一、科学目标

针对空间辐照下热控材料性能衰减制约中高轨道卫星发展的难题，揭示空间辐照下缺陷形成和演变的微观机制，探索非热能量转化的新途径，建立无机非金属热控材料缺陷增殖抑制和光-声子调控的新策略，创制等效寿命 20 年、低太阳吸收比的高发射热控新材料，为新一代中高轨道卫星发展的战略需求提供材料支撑。

二、研究内容

（一）空间辐照下热控材料缺陷形成和演变机制。

研究中高轨道空间辐照场与无机非金属宽禁带半导体热控材料相互作用的物理机制，发展缺陷动态/微区示踪与高通量 AI 计

算结合方法，揭示多类型高能粒子作用下缺陷形成和演变过程中的级联耦合效应，发展抑制缺陷增殖新策略。

（二）空间辐照下热控材料的激发态动力学与光热转化机制。

研究空间辐照条件下热控材料的激发态动力学，阐明晶格热转化机制，发展电子能级与声子能量匹配的调控策略，开辟非热形式能量耗散的新途径，建立基于光热转化的散热新模式。

（三）长寿命热控材料的设计、制备与性能调控。

基于缺陷形成、演变和光热转化机制，探索热控材料多尺度结构设计新方法，发展长寿命热控材料可控制备技术，实现热控性能的精准调控和协同优化。

（四）长寿命热控材料的环境模拟试验与验证。

研究长寿命热控材料与基质材料的界面相互作用机制，研发功能组元排布可控的涂层结构和制备工艺，构建基于长寿命热控材料的空间应用试验件。通过地面模拟 GEO 轨道等效 20 年空间辐照环境实验后，太阳吸收比不大于 0.35。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“中高轨道使役的长寿命无机非金属热控材料”，申请代码1选择E0207。

（二）咨询电话：010-62328234。

“安全视窗用冲击防护高分子材料”重大项目指南

安全视窗用冲击防护高分子材料是保障汽车、飞行器、国防装备安全不可或缺的关键材料，但高端产品依赖进口。如何设计调控分子链和聚集态结构，提升宽温域、高速冲击加载下安全视窗用冲击防护高分子材料的防护性能，是亟需解决的科学和技术难题。因此，针对冲击防护高分子材料多尺度强耦合的特点，探究分子链与聚集态结构协同设计与构筑的机理和方法，揭示多尺度结构破坏-重构与能量耗散的关系，推动冲击防护高分子材料的自主研发，对于支撑我国汽车强国建设、低空经济和国防装备发展具有重要意义。

一、科学目标

针对冲击防护高分子材料面临的链结构难调控、流动易失稳导致性能不稳定的瓶颈问题，研究链结构设计与调控方法，阐明链结构主导的聚集态结构形成与加工及服役外场主导的结构演化之间的耦合机制，建立多尺度结构破坏-重构与能量耗散的关系，形成安全视窗用冲击防护高分子材料从基础材料制备到加工应用的理论与方法。

二、研究内容

(一) 冲击防护高分子材料的设计合成方法与技术。

研究聚乙烯醇缩丁醛、聚氨酯等冲击防护高分子材料的链结构设计与控制方法，建立分子链结构精确调控和表征技术。

（二）冲击防护高分子材料的加工原理与技术。

研究冲击防护高分子材料在流延、拉伸加工中非线性、非平衡多尺度结构演化规律，建立多重网络、取向结构等聚集态均质化加工原理和技术。

（三）冲击防护高分子复合玻璃加工与服役机理。

研究冲击防护高分子膜与玻璃复合加工中界面工程与能量耗散路径调控，揭示宽温域（ $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ ）、高速冲击加载（ $>13\text{ m/s}$ ）下多尺度结构破坏-重构与能量耗散的关系，为安全视窗用冲击防护高分子材料的产业化应用提供技术支撑。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“安全视窗用冲击防护高分子材料”，申请代码 1 选择 E03。

（二）咨询电话：010-62328337。

“极端服役金属构件多能场成形制造”重大项目指南

空天飞行器高超声速飞行时，进气道管路温度将超过 700°C ，发动机涡轮盘转速高达上万转，迫切需求 TiAl 等耐高温金属构件。然而，常规力热能场制造面临成形极限低、组织状态差、性能损失大等问题，成为制约飞行器研制的瓶颈。引入电、磁、声等特种能场，激发多系位错滑移，促进变形协调和组织演化，是突破该瓶颈的新途径。多能场作用的物理本质和匹配调控机制是亟待解决的重大科学难题。因此，开展多能场成形制造基础理论与关键技术研究，对支撑重大型号研制、保障国家安全意义重大。

一、科学目标

针对多能场成形制造物理机制不清晰、能场按需匹配方法不完善、工艺装备设计理论不明确等难题，研究能场作用的非常规效应及机理，建立其与材料-构件-变形的映射关系，提出多能场精准匹配的工艺与装备协同调控方法，创成难成形构件多能场成形制造科学原理，为极端服役金属构件高性能制造提供科学依据。

二、研究内容

（一）特种能场下金属材料非常规变形行为与机理。

研究特种能场作用下金属非常规变形行为，揭示能量与原子运动的交互作用及其影响材料变形行为的物理本质，阐明特种能场对材料变形的“宏观-微纳-原子级”作用机理。

（二）多能场作用下金属材料变形多尺度建模。

研究力、热、电、磁、声等多能场作用下难变形金属材料塑性流变、组织演化与损伤机制，建立耦合特种能场非常规效应的材料变形多尺度模型，揭示材料宏-细-微多尺度变形响应规律。

（三）多能场作用下金属构件形性演变规律与优化调控。

阐明多能场成形中能场复合及能量分布差异对构件成形多尺度行为的影响规律，建立能场-材料-结构-变形的映射关系，优化能场按需匹配方法，发展多能场成形制造新理论、新技术。

（四）多能场成形制造精准控制与工艺-装备协同设计。

研究能场精准施加、动态调节与稳定控制的基本原理，建立多能场成形制造过程在线监测与自适应控制方法，提出多能场成形制造工艺与装备协同优化设计方法。

（五）高性能构件全流程多能场成形制造与评价。

研究多能场下坯料和关键构件成形及调性全流程制造工艺，开发多能场成形制造原理样机，研制 TiAl、TaW 等耐高温难成形金属高性能构件，建立多能场成形制造构件服役性能评价方法。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“极端服役金属构件多能场成形制造”，申请代码 1 选择 E0508。

（二）咨询电话：010-62327084。

“大功率半导体器件能量输运机理与多场协同热调控”

重大项目指南

大功率半导体器件是电力电子设备的“心脏”，新型电力系统、新能源动力系统、雷达、电磁弹射系统等能源和国防领域的重要装备都依托于高性能大功率半导体器件。如何实现大功率半导体器件芯片“少产热、快传热”，以进一步提升器件性能，是当前面临的科学、技术和工程应用难题。因此，针对大功率半导体器件内部强电场、重掺杂、多物理场强耦合的特点，开展器件内产热、传热机理的多学科交叉基础科学研究，突破芯片级热调控和设计的技术瓶颈，对保障我国能源安全和国防安全具有重要意义。

一、科学目标

针对大功率半导体器件极端工作环境下产热、传热模型不准确、热-力-电多物理场耦合影响不明，导致器件热调控困难的瓶颈问题，揭示强电场、重掺杂下的载流子相互作用规律及其产热、传热机理，研究器件工作状态下多场一体化测量的新原理和新技术，突破多场协同热调控瓶颈，构建芯片级热调控与热设计的新范式。

二、研究内容

（一）大功率半导体器件内材料物性及多场分布的高精度表征方法。

研究小尺度/多界面条件下的物性精确测量新技术，研发大功率半导体器件工作状态下芯片内部温度场、应力场、电场及陷阱态影响的高时空分辨率解耦测量新原理与新方法。

（二）强电场/重掺杂/多界面条件下产热、传热微观机制。

研究宽禁带、强电场下热电子与声子作用机制，高浓度载流子散射机制，以及多场、强约束（高压、大电流、低损耗）下界面对载流子运输的耦合影响机制，揭示载流子相互作用规律，建立大功率半导体器件芯片内部的产热、传热模型。

（三）陷阱态影响下“热-力-电”多场非线性耦合机制。

研究温度场、应力场、电场的耦合作用机制，揭示“热-力-电”多场分布与大功率半导体器件内部陷阱态演化之间的相互影响，阐明大功率半导体器件实际工况下多场非线性耦合的宏观规律。

（四）芯片级多场协同热调控与一体化设计方法。

研究芯片级温度场、应力场、电场协同调控方法，建立降低芯片发热量和提升高效传热的方法，提出芯片“热-力-电”多场一体化设计新方法，使芯片热点温度下降 20K 以上，并通过测量验证。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“大功率半导体器件能量运输机制与多场协同热调控”，申请代码 1 选择 E0603。

（二）咨询电话：010-62329095。

“环保型特高压直流输电管道绝缘系统”重大项目指南

特高压直流输电管道（简称 UHVDC-GIL）是目前解决我国恶劣地质及走廊资源匮乏的西南地区清洁能源大容量电能输送的必然选择。该地区 UHVDC-GIL 面临 8 级以上地震烈度、2 千米以上流域落差、140℃ 内外温差等恶劣地质条件和复杂运行工况对电气绝缘所带来的严峻挑战，其绝缘系统的研究必须突破界面电荷诱发绝缘失效机理和环保型气固绝缘系统界面调控两大科学难题。因此，针对复杂工况下 UHVDC-GIL 绝缘可靠性和环保化的要求，开展大尺寸绝缘界面电荷理论基础科学研究，突破环保绝缘材料及绝缘系统综合性能调控关键技术，对于支撑我国西南清洁能源大规模开发、实现“双碳”目标具有重要意义。

一、科学目标

针对多物理场作用下大尺寸绝缘界面电荷演化、环保绝缘材料及其成型、气固绝缘系统电热力性能协同调控等瓶颈问题，揭示绝缘气固界面电荷动态演变及绝缘失效机理，提出界面电荷与电场的自适应调控方法，突破环保绝缘材料及综合性能调控技术，为高可靠性环保型 UHVDC-GIL 研发奠定理论及技术基础。

二、研究内容

（一）大尺寸气固绝缘界面电荷动态特性与失效机理。

研究 $\pm 800\text{kV}$ 真型绝缘气固界面电荷、电场原位测量方法，揭示大尺寸环保型绝缘气固界面电荷动态行为及闪络机理，建立

多物理场作用下 UHVDC-GIL 气固界面电荷动力学理论。

（二）环保型气固绝缘材料设计与多尺度性能调控。

研究环保固体绝缘材料微观结构—介观聚集态—宏观性能的关联关系，提出多物理场作用下气固绝缘材料相容性及跨尺度协同设计方法，建立 UHVDC-GIL 环保气固绝缘材料体系。

（三）UHVDC-GIL 固体绝缘系统综合性能优化理论。

研究环保型固体绝缘材料大尺寸成型过程微观结构与残余应力的关联机制，揭示复杂工况下固体绝缘系统服役特性，提出环保型绝缘系统电、热、力综合性能优化理论及调控方法。

（四）UHVDC-GIL 气固绝缘界面电荷、电场调控方法。

研究环保型气固界面静、动态电场协同调控理论，提出 UHVDC-GIL 气固绝缘界面电场自适应调控方法，构建界面电荷自适应消散、金属微粒主动抑制方法。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“环保型特高压直流输电管道绝缘系统”，申请代码 1 选择 E0705。

（二）咨询电话：010-62328301。

“长大桥梁高韧长寿与调控基础理论”重大项目指南

长大桥梁是交通网络的咽喉节点，具有重要的政治、经济、社会价值，保障其安全长寿是“交通强国”建设提出的重要任务和明确要求。当前，长大桥梁面临广域、复杂条件下的巨大建养需求，承受强震、强风、洪水等多灾害和强腐蚀、大温差等严酷环境的双重严苛作用，亟需攻克韧性与寿命演化机理、预测理论、协同机制、调控技术等重大科学难题。因此，突破多灾害严酷环境下长大桥梁高韧长寿及其调控基础理论，实现安全强韧与寿命延长，对支撑“交通强国”建设具有重大意义。

一、科学目标

针对多灾害严酷环境下长大桥梁结构韧性不足、服役性能衰退快、预测与调控难等瓶颈难题，揭示韧性与寿命多场多尺度演化机理，提出全生命周期动态预测理论，建立多要素多目标协同机制，创建韧性增强与寿命延长调控技术，为突破长大桥梁 200 年高韧长寿提供科学依据和理论基础。

二、研究内容

（一）长大桥梁韧性与寿命多场多尺度性能演化机理。

研究长大桥梁多灾害严酷环境下韧性与寿命的时空耦合作用概率模型及表征方法，提出针对荷载环境-韧性寿命的多场多尺度分析方法，揭示损伤累积规律及性能演化机理。

（二）长大桥梁韧性与寿命全生命周期动态预测理论。

研究长大桥梁多灾害严酷环境下韧性与寿命的演化数字孪生模型，提出表征全生命周期韧性与寿命演化特性的智能解译方法，建立物理与大数据模型融合的韧性与寿命动态预测理论。

（三）长大桥梁韧性与寿命多要素多目标协同方法。

研究长大桥梁多灾害严酷环境下高韧长寿性能目标及技术体系，构建材料-结构-性能传输映射关系及寻优机制，建立长大桥梁高韧长寿的多要素多目标协同方法。

（四）长大桥梁韧性增强与寿命延长调控技术。

研究长大桥梁多灾害严酷环境下韧性与寿命的衰减抑制及提升机理，提出关键构件和结构体系的韧性增强与寿命延长方法，创建材料-结构-性能一体化调控技术。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“长大桥梁高韧长寿与调控基础理论”，申请代码 1 选择 E0806。

（二）咨询电话：010-62328359。

“跨水系连通的水沙适配性原理与智能调控”

重大项目指南

面向国家水网工程、现代运河工程、西南河流水电工程等水系连通国家重大战略部署，针对跨水系连通工程中的水沙量比失衡、异源水沙安全与生态环境风险、水动力重构与水流-能量-泥沙适配性调控等科学难题，研究跨水系连通的水沙适配性原理与智能调控基础理论、方法和关键技术，对支撑我国新时期治水方略实施、跨水系连通工程系统安全与韧性提升具有重要意义。

一、科学目标

针对跨水系连通系统水沙安全与智能调控等科技挑战，揭示跨水系水流-能量-泥沙非稳态耦合与适配性原理，解析异源水沙平衡机制与水生态环境演变规律，提出复杂连通系统水动力重构与智能调控方法，建立基于广义流域-工程边界-复合动力的跨水系连通水沙适配性原理与智能调控理论体系，服务国家重大工程。

二、研究内容

（一）跨水系水沙与水动力适配性原理。

研究跨水系水流动力、能量变化、泥沙运动的相互作用关系，揭示水流-能量-泥沙非稳态耦合机理，提出跨水系连通水沙与水动力适配性原理。

（二）跨水系异源水沙平衡与河床稳定机制。

研究跨水系异源水沙平衡机制，解析连通系统水沙恢复平衡

过程与河床适应性变化规律，确定异源水沙作用下跨水系水沙调控阈值。

（三）跨水系连通系统水生态环境演变与风险评估。

研究跨水系连通系统水生态环境演变规律，解析水生态环境突发性和累积性风险，构建跨水系连通系统水生态环境模拟模型、风险分析和安全评估方法。

（四）跨水系连通系统水动力重构。

研究跨水系连通系统水动力分布与匹配关系，建立跨水系连通工程体系优化布局方法，提出自然-人工协同的水动力复合系统重构理论和方法。

（五）跨水系连通工程智能调控与数字孪生。

研究水流-能量-泥沙适配性智能调控理论方法，建立多因子耦合的模型系统，研发典型跨水系连通工程的数字孪生技术体系。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“跨水系连通的水沙适配性原理与智能调控”，申请代码1选择E0903。

（二）咨询电话：010-62328362。

“月表高速/重载载运装备设计、控制与系统构建方法”

重大项目指南

月表载运装备快速移动与广域适应能力代表了月球资源勘探和开发的核心竞争力，其重载能力决定了月球基地建造规模、建造速度和长期服役性能，载运装备按需重构与极致轻量化是提升月球大规模资源开发投入产出比的关键。本项目研究月表载运装备变革性技术及月表载运系统构建方法，从单装备及系统层面提升月球勘探/开发可行性，有力支撑我国月球基地建设。

一、科学目标

针对月表低重力复杂作业环境，研究新型月表载运装备设计与控制方法，引入新运动形态，以运动机理创新、结构创成、装备组态变革，突破月表低重力环境下广域重载运输与轻载高速移动关键技术，为月表载运系统构建提供科学依据，赋能月球基地建设和资源开发。

二、研究内容

（一）月表跳跃式高速移动载运装备。

创成落足缓冲储能运动机构，实现势能-动能高效循环转换；研究跳跃式载运装备的移动机理，突破自主感知、决策与控制技术，提升月表复杂作业环境高速、高越障穿行能力。载运装备的最高设计速度不低于 15 公里/小时。

（二）月表自平衡式高通过载运装备。

研究低重力环境下驱动-承载-平衡构型设计方法，创成自平衡式载运装备；突破地形随机起伏、附着条件瞬变下的自主感知与平衡机动控制技术，提升载运装备广域通过能力，具备在典型密集陨石坑顶区域的连续通过能力。

（三）月表重载装备轻量化及模块化可重构技术

针对月表极端环境，研究重载装备的模块化可重构设计与协调控制，解决月表载运装备极致轻量化与长期服役可靠性的矛盾。通过装备解构/重构实现月表不同任务的高效运输，实现重载运输能力不低于 20 吨。

（四）月表载运系统构建与天地一致性校验。

研究月表载运装备谱系规划与载运系统构建方法，建立载运装备数字-半物理-全物理虚实融合的性能评估方法，以低成本地面试验完成月表载运装备功能和性能的验证，构建基于任务关键性能的地月映射综合验证系统。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“月表高速/重载载运装备设计、控制与系统构建方法”，申请代码 1 选择 E12 下属代码。

（二）咨询电话：010-62327142。

“系统性环境风险阻控基础科学问题”重大项目指南

环境污染、气候变化、生物多样性丧失等生态环境问题相互交织、相互作用、共同演化，产生的环境影响经跨边界、跨层级的传导与扩散，形成系统性环境风险，对生态、人群与社会经济产生广泛危害。系统性环境风险诱发因子多，影响因素多、作用路径多，而工业行业排放始终是最重要的环境风险来源，其产生的重金属、全氟化合物等毒害污染物的转移、累积和效应传导导致系统性环境风险发生。当前，系统性环境风险阻控已成为环境领域的科技难题和前沿挑战。开展系统性环境风险阻控基础科学问题研究，明确系统性环境风险发生发展机制，创建精准风险阻控方法，对保障我国生态环境安全和社会经济可持续发展具有重要意义。

一、科学目标

针对系统性环境风险的发生演化机理、耦合驱动机制及协同防控等关键科学问题，以典型工业行业为研究对象，创建系统性环境风险防控理论和技术体系，揭示其演变与传导机制，形成系统性环境风险的识别、预警和综合阻控方法体系，为系统性环境风险阻控提供科学支撑。

二、研究内容

（一）系统性环境风险的驱动因素及形成机制。

研究工业行业风险要素的多界质传输与转化规律，构建系统

性环境风险表征模型，刻画风险复杂性多维特征，研究系统性环境风险的关键驱动因素、动态变化机制和不确定性，阐明系统性环境风险形成机制。

（二）复杂系统中风险的传导机制与演变机理。

研究跨边界、跨层级复杂系统中风险的传导机制和演变机理，揭示风险的传递路径与关键节点，阐明自然演化、气候变化、人类活动耦合作用下风险发生与发展的基本规律。

（三）关键风险要素识别与预警技术。

研究典型工业行业风险要素及驱动因子的多尺度时空特征，建立基于多源数据的风险发生-发展-传导全过程识别方法，构建常态监测与突发应对一体化的多手段风险即时预警技术。

（四）环境风险级联影响的高精度评估方法。

研究环境风险对生态环境、社会与经济等带来的级联影响，构建融合多要素、多过程、多模态的级联影响高精度评估技术，评估精度达 90%，建立系统性环境风险影响态势模拟仿真与研判方法，实现综合模拟误差在 15%以内。

（五）多要素-多维度系统性环境风险协同阻控原理与方法。

研究系统性环境风险“源头-过程-受体”绿色阻控原理，研发以物质回收和利用为核心的源头及过程风险阻控技术，创建集“污染防治-资源循环-精准管控”为一体的系统性环境风险阻控理论与技术体系。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“阻控系统性环境风险的基础科学问题”，申请代码1选择E1009。

（二）咨询电话：010-62327092。