附件5

工程与材料科学部重大项目指南

2020年工程与材料科学部共发布8个重大项目指南，拟资助6个重大项目。项目（含课题）负责人和主要参与者，要规范撰写5篇代表目录清单，如发现与原文标注不一致，将不予受理。 项目申请人申请的直接费用预算不得超过1800万元/项。

“金属基复合材料构型强韧化设计与宏量化制备科学”

重大项目指南

轻质高强、多功能的先进金属基复合材料可满足结构轻量化和结构-功能一体化设计需求，是空天、电子、交通及国防等高科技领域发展不可替代的关键基础材料。发展以结构为首要因素的构型化复合设计理念，是突破传统金属基复合材料强韧性失配瓶颈的有效途径。通过多相多尺度增强体与金属基体之间构型化复合设计与制备，改善强度、模量与塑韧性之间的倒置关系，大幅度提高金属基复合材料的加工和使役性能，为规模化制备大规格高性能金属基复合材料提供理论依据和可实用化途径，具有重要的意义。

一、科学目标

发展构型化复合新原理，解析复合制备、加工成型过程中多相跨尺度复合构型的构筑演化规律，通过试验和建模拟实揭示多相构型化复合材料体系的微观-细观-宏观跨尺度下的构效关系，明确复合构型与使役性能最优化调控机理，建立复合构型强韧化的跨尺度力学理论基础，推动金属基复合材料制备科学进步，实现大规格构件的性能靶向设计与宏量化制备。

二、研究内容

（一）多相多尺度金属基复合材料微区协调变形机理。

研究多相多尺度复合材料界面及微区结构性能定量表征方法，表征与分析多级复合界面及微区的超微纳力学行为，揭示复合界面、微区结构、性能及应变局域化的内在关联，解决多相多尺度复合材料界面匹配性设计的基础性问题；研究复合构型和界面与性能的内在关系，揭示多相多尺度构型化复合体系中组元间协调变形机理和强韧化机制，实现性能导向的复合材料智能化设计。

（二）多相多尺度金属基复合材料的跨尺度力学理论。

将包含复合效应的材料微结构特征与力学计算相耦合，建立跨尺度力学拟实模型，对复合构型的结构参量与复合响应规律进行跨尺度表征与分析，阐明微纳增强体之间的协同与耦合机制，揭示多相多尺度复合构型强韧化复合材料的作用机理，建立多相多尺度复合构型调控强韧化的跨尺度力学理论。

（三）多相多尺度金属基复合材料的构型设计与制备。

研究多相多尺度增强体与基体形成复合构型的技术途径，揭示制备过程中增强体与基体的形状、尺寸和界面等结构因素的限域作用规律，研究复合方法和变形加工对复合构型和复合界面的形成机制的影响规律，构筑多相多尺度复合材料强韧化设计与制备的共性基础理论，建立大规格复合材料高性能化、高可靠性和短流程、低成本的可控宏量化制备技术原型。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“金属基复合材料构型强韧化设计与宏量化制备科学”，申请代码1选择E0105。

“材料结构和性能的高压调控原理与技术”重大项目指南

压强是独立于温度、成分的热力学参量，是调控材料结构、组织和性能的重要手段。压强可以显著减小原子间距，改变原子成键和堆积方式以及电子结构。通过高压调控，不仅可以驱使材料显微组织和晶体结构产生变化，还可以降低反应势垒，使常压下无法发生的化学反应得以实现，从而能够合成出常压下根本不存在的新材料，这类显微组织和高压相材料往往具有常压条件下无法获得的优异性能。因此，高压不仅是产生新材料、新物理现象和新化学反应的重要源泉，也是发现新调控原理和高性能材料的重要手段。

一、科学目标

研制出静水压大于400GPa的新一代纳米孪晶金刚石对顶砧并进行应用验证，在高压调控极性共价材料电子结构、相变顺序、显微组织和性能的科学原理和技术途径方面取得突破，发现高压下超导转变温度处在室温附近的新材料体系，制备出高强韧性的多晶陶瓷，发展出逼近甚至超越材料理论性能极限的原理和方法，形成具有自主知识产权的高压调控原理和实验技术，建设一支创新能力强、多学科交叉且具有国际竞争力的高压科学研究队伍。

二、研究内容

（一）超过400GPa金刚石对顶砧的研制与应用验证。

开展纳米孪晶金刚石对顶砧设计、制造、压强标定和验证性应用研究。优化激光和聚焦离子束加工工艺参数以及激光辅助热化学抛光工艺，建立一套超高硬度纳米孪晶金刚石对顶砧的高效精密成形方法，研制出静高压大于400GPa的新一代新型金刚石对顶砧压机，建立超高压的标定方法，通过测量典型稀土金属在超高压范围的新相图和状态方程加以验证。

（二）高压下富氢材料的结构与超导电性。

开展新型富氢材料晶体结构、电子结构和超导转变原位高压调控的理论与实验研究。预测不同高压条件下全部氢原子化的目标富氢材料体系、晶体结构、电子结构和超导温度，在高温高压实验条件下合成目标材料，研究高压下超导转变温度与材料成分、晶体结构和电子结构的关系，阐明氢对电声子耦合的贡献，建立高压下富氢材料中高密度氢原子化的原理和机制。

（三）结构陶瓷显微组织与性能的高压调控。

开展高温高压调控先进陶瓷材料纳米孪晶显微组织和力学性能研究。掌握不同晶体结构先进陶瓷材料形变孪晶形成的压力和温度条件，阐明陶瓷材料强度、断裂应变、硬度、断裂韧性等力学性能随显微组织结构的变化规律和微观机制，合成出具有纳米孪晶结构的高强韧性多晶陶瓷材料，建立陶瓷材料形成纳米孪晶显微组织的科学原理和调控技术。

（四）极性共价材料性能的尺寸效应。

开展极性共价材料外部尺寸效应和内外尺寸耦合效应研究。发展透射电镜下高精度原位力学加载及测试技术，研究材料弹性性质、强度和变形与样品尺寸关系的外部尺寸效应；利用高压技术在材料内部引入纳米孪晶基础上，研究外部尺寸与孪晶内在尺寸的耦合规律，阐明自由表面与孪晶界双重约束下微观变形机制的应力调控原理，发展达到甚至超越对应理想晶体理论强度和断裂应变的原理和方法。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“材料结构和性能的高压调控原理与技术”，申请代码1选择E0203。

“结构功能一体化石墨烯纤维基础研究”重大项目指南

碳纤维是高端先进装备和空天飞行器的核心战略材料。未来高速飞机、高超音速飞行器和高分遥感卫星等重大装备的发展迫切需求结构功能一体化碳纤维材料，以同时满足其轻质高强高模结构承载和高导热高导电等极端服役条件的严苛要求。传统聚丙烯腈基碳纤维强度高功能性弱，沥青基碳纤维存在强度与功能提升的瓶颈。受制于“分子碳化融合”制备原理，传统碳纤维难以破解结构功能一体化的百年难题。石墨烯纤维是由单层氧化石墨烯液晶连续湿纺后经高温还原而成的新型碳纤维品种。大片石墨烯组装的新原理突破了传统碳纤维的晶畴尺寸限制，有望另辟蹊径，迈向单晶化晶须的理想结构模型，实现结构功能一体化目标。亟需开展系统深入的基础研究，快速推进结构功能一体化石墨烯纤维的发展，破解碳纤维结构功能一体化的重大科学技术难题，形成结构功能一体化石墨烯纤维的理论体系，建立我国自主智造的碳纤维新品种，支撑我国发展高速和高超音速民用和军用飞行器国家战略对高性能碳纤维的重大需求。

一、科学目标

建立石墨烯基元有序组装制备碳纤维的新路线，发展石墨烯纤维大单晶化与结构功能一体化的新原理，阐明二维大分子纳米基元连续成纤、缺陷控制、大单晶化、材料复合体系的结构功能高效协同等科学问题，建立结构功能一体化石墨烯纤维的可控制备方法学，突破石墨烯纤维结构功能一体化的综合性能，构建结构功能协同应用的石墨烯纤维材料体系，突破传统碳纤维结构与功能难以兼容的瓶颈，抢占结构功能一体化纤维材料的战略高地，创立我国自主智造的独有碳纤维新品种，从源头创新打破国外的封锁垄断，形成国际领先的高水平研究队伍，助推我国从纤维大国迈向纤维强国。

二、 研究内容

（一）氧化石墨烯液晶纺丝及高温还原单晶化调控。

可控制备大尺寸低缺陷单层氧化石墨烯纺丝料，研究氧化石墨烯液晶纺丝的凝固组装原理，解析多级多尺度褶皱及缺陷结构的形成及控制机制，研究化学及高温还原方法，阐述石墨烯纤维多级缺陷演变的热力学与动力学规律，建立石墨烯纤维单晶化的动态和原位分析表征方法，确立石墨烯纤维的结构-性能关系，实现石墨烯纤维的高性能化和高功能化，系统建立结构功能一体化石墨烯纤维的连续可控制备方法学。

（二）石墨烯纤维多尺度结构解析及理论模型。

建立二维大分子单分子行为及凝聚态形成的统一理论，探明石墨烯纤维独特的片片成纤原理，厘清片层分子组装还原促进单晶化的机制，计算与实验相结合解析石墨烯纤维的多级多尺度结构，建立石墨烯纤维的结构模型和结构功能一体化的理论原理。

（三）石墨烯纤维的多功能耦合原理及编材方法。

发展石墨烯纤维的多功能设计方法，探明多功能耦合的原理与耦合控制方法，形成光、电、热、磁、力等功能耦合的多功能石墨烯纤维系列，建立多功能石墨烯纤维的编材智造方法。

（四）结构功能一体化石墨烯纤维复合材料系统。

研究石墨烯纤维的界面特性并发展界面调控设计方法，研究石墨烯纤维复合材料上浆剂与树脂的匹配设计，探索石墨烯纤维复合材料的结构功能一体化设计方法体系；建立石墨烯纤维碳碳复合材料的制备方法，探明复杂电磁、极高极低温等条件下材料综合性能的控制要素。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“结构功能一体化石墨烯纤维基础研究”，申请代码1选择E03。

“航空关键金属构件热加工多物理场演变及扰动的智能调控基础”重大项目指南

航空装备是具有典型代表性的高端制造领域，也是一个国家高端制造业水平和能力的象征。随着大飞机等各种装备向大型轻量化、高可靠长寿命、低成本方向发展，对构件的铸造、锻造、增材制造等加工成形技术提出了新的要求和挑战。

针对我国在航空金属构件制造领域基础理论研究、关键技术与产品质量存在的问题，应用人工智能和大数据等前沿技术，改变传统试错法研究模式，加强从合金设计、制造工艺到工程应用全链条的基础理论研究，有望发展可促进我国航空关键金属构件热加工水平快速提升的新原理新方法。

一、科学目标

以航空关键金属构件为典型对象，以变革铸造、锻造和3D打印等热加工成形传统的“试错法”研发模式，发展基于集成计算材料工程（ICME）、大数据分析、人工智能等前沿技术和方法的高效研发模式，解决多物理场耦合作用、成分-组织-性能内禀关系与建模、边界条件和工艺参数扰动模型、热加工工艺过程智能控制理论和方法等关键科学问题，建立高性能金属构件热加工成形全过程综合优化、冶金质量全过程精确调控的基础理论与方法，构建热加工智能虚拟制造系统，为实现构件的高质量制造提供基础理论与关键技术支持，推动和引领金属材料领域智能热加工制造的基础理论研究和关键技术的发展。

二、研究内容

以航空金属构件的铸造、锻造和增材制造三种典型的热加工制造为研究对象，重点研究基于大数据和人工智能的金属构件热加工过程综合优化与冶金质量精确调控等基础理论和共性关键技术。

(一)航空关键金属构件精确铸造过程与质量智能控制基础理论。

基于多层次跨尺度全过程集成计算、过程模型和数据驱动的工艺-组织-性能内禀关系模型，高性能合金铸造成形数据库构建，基于材料逆向设计与工艺优化、多目标综合优化、智能预测-自主决策控制的金属构件智能虚拟铸造基础理论与方法，基于大数据与人工智能的金属构件精确铸造与冶金质量精确控制的基本原理、关键技术及在典型构件成形中的应用。

（二）高性能航空构件锻造成形过程智能控制基础理论。

热力耦合/异步能场作用与金属流动、微观组织的形成演变规律，锻造加工工艺参数、组织结构演化和使役性能之间的交互作用，高性能合金锻造成形数据库构建，基于过程模型与工艺知识库的逆向设计规则与锻造工艺优化、过程智能控制模型，基于大数据分析与人工智能的金属构件锻造过程精确控形控性一体化的基本原理、关键技术及在典型构件成形中的应用。

（三）高性能航空构件智能增材制造基础科学问题。

复杂多元合金高能束微小熔池熔体热质传输及超常冶金行为、极端温度梯度与冷却速率非平衡凝固行为，高温叶片、梯度性能合金构件增材制造过程中组织/缺陷和残余应力的形成机制与演化规律与数字化精确控制方法，典型合金增材制造数据库构建、基于大数据与人工智能的全流程工艺优化、基于虚拟制造的成分-组织-工艺一体化控制方法及在典型构件成形中的应用。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“航空关键金属构件热加工多物理场演变及扰动的智能调控基础”，申请代码1选择E0414。

“高性能热塑性复合材料大型构件制造基础”

重大项目指南

减轻结构重量、提高结构效率是航空航天、交通运输、能源等领域高端装备性能跃升的根本。碳纤维增强高性能热塑性树脂基复合材料（以下简称热塑性复合材料），不仅具有传统复合材料轻质、高强、可整体制造的特点，更具有高韧性、可回收再造等突出优势，其应用可显著提升高端装备性能并可实现绿色制造，对维护国家安全和提高制造业竞争力具有重要意义。但由于热塑性复合材料制造时赋形温度高且范围窄、熔融粘度大、纤维与树脂界面易开裂等特性，导致大型构件制造存在以下问题：一是赋形时纤维形态精准控制困难；二是固化时形性协同调控困难；三是加工装配时机械和热损伤抑制困难。因此，有必要开展高性能热塑性复合材料大型构件制造基础研究，解决限制其高质量制造的瓶颈难题。

一、科学目标

以实现热塑性复合材料大型构件高质量制造为总体目标，阐明纤维、树脂形态与构件性能的映射关系，探索材料特性演变及其对缺陷形成的影响规律，揭示力热耦合作用下材料去除原理和损伤产生机制，提出高质高效赋形、形性协同调控固化、精密高效加工及高质量连接装配等制造新原理新方法，为热塑性复合材料大型构件的制造与应用提供理论基础。

二、研究内容

（一）热塑性复合材料大型构件高质高效赋形原理。

研究热塑性复合材料预浸料粘合性能与赋形工艺参数的关系，阐明赋形缺陷形成机制，提出纤维形态主动控制的赋形新原理，研究赋形最优路径规划方法，创新赋形工艺技术与装置。

（二）固化过程形性调控原理与缺陷抑制方法。

探索热塑性复合材料固化新原理，研究固化过程中材料物化特性和构件状态在线监测方法，揭示大尺寸构件固化缺陷的形成机制，提出固化状态调控策略和缺陷抑制方法，发展大型构件形性协同固化新技术。

（三）热塑性复合材料切削加工机理。

研究热塑性复合材料切削力、热产生与作用机制，揭示加工中材料的去除行为和损伤产生机理，提出加工损伤抑制原理，创新高质高效加工工具及工艺方法，形成热塑性复合材料构件的高质高效加工新原理与新技术。

（四）构件表面小余量去除机理及大尺寸构件高质量装配方法。

研究热塑性复合材料小余量磨拋去除工艺机理，阐明表面去除力热耦合行为及其对表面质量的影响规律，提出构件非均匀小余量去除精度预测与力位精准调控方法，研究测量-自适应加工-连接一体化的高质量装配工艺方法。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“高性能热塑性复合材料大型构件制造基础”，申请代码选择E0508或者E0509

“多能源互补的分布式能源系统基础研究”

重大项目指南

传统能源利用模式存在高能耗、高污染和高碳排放等一系列问题，而可再生能源固有的分散性和波动性则导致能源利用的低能效和难于远距离消纳。多能源互补的分布式能源系统，通过多种能源互补进行冷、热、电能的就地转化消纳，具有节能、环保等优势和实现能源高效梯级利用的巨大潜力，是未来能源系统的重要发展方向。将发展多能源互补的能势耦合及其综合梯级利用新途径，提出化石能源与可再生能源源头互补和过程匹配的新思路，解决热能与化学能等不同品位能量的协同转化与高效存储、高比例可再生能源非稳态输入和多种负荷输出源荷匹配等关键科学问题，形成多能源互补分布式能源系统集成控制的基础理论。

一、科学目标

突破传统能源利用模式导致的能量品位损失、污染物和碳排放，以及可再生能源能量密度低、波动性造成的低能效和难于消纳等关键瓶颈，构建多能源互补的分布式能源系统，提出能势耦合与多能互补新理论，化学过程与热力循环协同转化新机制，以及适应波动性能源输入与多种能量负荷需求的主动蓄能调控新方法，降低化石能源转化利用的不可逆损失，实现近零排放和高比例可再生能源的提质增效；发展分布式能源系统集成新原理和新方法，助推能源技术革命，并引领热力学和能源利用的未来发展。

二、研究内容

（一）多能互补的能质能势表征与提质增效机理。

针对多能互补的分布式能源系统中的能势耦合与能的高效综合梯级利用的关键问题，研究化石燃料与可再生能源的能势表征，探索可再生能源与燃料化学能源头互补方法，揭示燃料化学能释放过程不可逆损失规律与可再生能源的提质增效机制。研究多能源的能量有序释放与动力循环耦合，揭示互补过程燃料化学能与热能高效梯级利用机制，发展多能源互补的能势耦合理论与源头节能方法，为多能源互补的分布式能源系统提供理论和方法基础。

（二）多能互补的协同转化与能势耦合机制。

针对化石能源与可再生能源的源头互补和过程匹配关键问题，探究燃料化学能与太阳能协同转化的能势演变规律，揭示燃料化学能“源头节能”与太阳能“提质增效”的协同机制，提出太阳能与天然气协同转化新途径；揭示燃气轮机-燃料电池混合动力系统能势匹配机理，发展多元化燃料混合动力过程的能量梯级利用方法，获得强变负荷条件下的混合动力系统热质时空分布规律及自适应控制方法。

（三）多能互补的能量提质与存储。

针对分布式能源系统内多品位化学能和热能相互转化、存储和能量品位提升的关键问题，发展多能互补分布式系统中低品位能源的高效提质方法，揭示分布式系统能源存储利用过程中热能品位提升的理化机制；研制高循环稳定性、低成本的新型热化学储热材料，探索非均匀能流条件下热化学储热材料反应性能优化策略，发展拓扑优化的高效储能装置设计方法，为多能互补分布式系统的能量提质与存储提供基础指导理论和方法支撑。

（四）多能互补分布式能源系统的主动调控。

针对高比例可再生能源非稳态输入和多种负荷输出源荷匹配的关键问题，开展太阳能、风能的全工况能质互补特性与匹配规律研究；揭示冷、热、电等用能负荷的周期性和随机性动态波动特性；研究多能互补分布式系统能量传递、存储和转化过程对用能负荷波动的响应特性；揭示源、储、荷耦合特性规律，发展多能互补分布式系统全工况运行调控策略；形成分布式能源系统多能互补、源储荷匹配的主动调控新方法。

三、申请注意事项

申请书的附注说明选择“多能源互补的分布式能源系统基础”，申请代码1选择E0601。

“超大城市深层地下空间韧性基础理论”重大项目指南

开发利用深层地下空间、建立多功能一体的立体城市支撑系统，是提高城市空间容量、改善城市环境、增强城市韧性的重要途径，是超大城市未来发展的必然趋势。当前各国地下空间的开发主要集中于浅层，深层开发的理论与经验十分匮乏。浅层单体地下工程结构的设计及建造理论无法满足深层地下空间韧性开发的需求。深层地下空间是地下工程群-岩土体的复杂动态耦合系统，其开发利用面临着地质环境演变机制不明、施工变形及稳定控制难度大、全生命周期服役安全要求高、工程系统灾变耦联机制复杂等科学技术挑战，亟需开展深层地下空间与地质环境互馈机制、深层施工水-土-结构耦合机理、深层地下结构全生命周期性能劣化及恢复规律、深层地下空间灾变耦联机制等基础科学问题研究，建立深层地下工程系统的韧性设计理论体系。

一、科学目标

针对深层地下空间工程系统具有隐蔽、不可逆、动态变化，以及地下空间灾害破坏范围广、影响大等特点，探明深层地下空间开发地质环境效应和施工灾变机理，提出安全控制理论和方法，建立多种致灾因子作用下地下结构性能劣化及恢复模型，为全生命周期韧性设计提供理论基础；构建地下工程群耦联韧性模型，形成深层地下空间韧性评估理论及提升方法，为深层地下空间韧性开发提供科学支撑。

二、研究内容

（一）深层地下空间地质环境效应评估。

建立应力场、渗流场、温度场等多场耦合作用模型，探明深层地下空间建设的扰动、遮帘和热岛效应，揭示深层地下空间地质环境多场互馈机制，建立深层地下空间地质环境效应评估理论和模型。

（二）深层地下空间施工灾变机理与安全控制。

研究深层地下施工力学行为，建立水-土-结构时空耦合模型，分析深层土强卸载成拱机理及演化规律、高水压渗透破坏机制、邻近结构变形机理，提出施工安全控制理论及技术。

（三）深层地下结构全生命周期韧性设计理论基础。

研究深层地下结构全生命周期材料劣化特性和结构性能演化机制，揭示地质环境变化、施工扰动、地震灾害等多种致灾因子作用下结构性能劣化规律，建立相应的灾后快速恢复模型，为深层地下结构全生命周期韧性设计提供理论基础。

（四）深层地下空间韧性评估与韧性提升。

研究多种致灾因子作用下深层岩土体-工程系统耦联灾变机制，建立深层地下工程系统鲁棒性、冗余性、适应性及可恢复性的分析方法及地下工程群耦联韧性模型，提出深层地下空间韧性评估和提升理论体系。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“超大城市深层地下空间韧性基础理论研究”，申请代码1选择E0808

“极地环境载荷及其与海洋结构物的耦合特性”

重大项目指南

北极蕴藏丰富的油气资源、具有巨大的航运潜力、占据十分重要的地理位置，是我国的战略新疆域。国务院公布的《中国的北极政策》白皮书，指出我国是北极事务的重要利益攸关方，发起了共建“丝绸之路经济带”重要合作倡议，并与各方共建“冰上丝绸之路”。海洋结构物从开敞水域进入极地水域面临严峻挑战，结构的主要载荷从波浪变为海冰，设计技术与运营保障发生根本变化。由于对极地冰环境的认识不充分，北极战略的重大需求和已掌握的科学理论间存在着巨大的差距，照搬国外的设计规范，难以保障海洋结构物的安全。这些难题成为制约我国极地海洋结构物研发设计和安全运行保障的瓶颈。

一、科学目标

海冰载荷具有极大的破坏性，常造成极地海洋结构物遭受冰损、冰困、冰激振动等重大事故。因此，破解海冰力学行为的机理与演变规律、海冰的运动模式、海冰与结构耦合机制等科学问题，开展极地环境载荷及其与海洋结构物的耦合特性的基础研究，必要而迫切。科学目标是：在海冰力学行为的跨尺度理论、冰场与波流的耦合机理、冰载荷与结构物的互馈机制等方面取得重大进展和关键突破，形成极地环境载荷及其与海洋结构物的耦合特性分析理论，为极地海洋结构物的研发设计及安全运行保障提供理论支撑。

二、研究内容

（一）海冰力学行为的跨尺度演变规律。

主要研究海冰力学行为的多尺度效应、跨尺度演变规律与控制机理、多尺度力学理论和跨尺度本构关系。

（二）极区波流与海冰相互作用分析理论。

主要研究冰水间的多界面动态耦合机理、波流在多种类型海冰中传播的能量衰减理论、波流造成海冰破碎/漂移堆积的形成机制。

（三）冰-水-结构物耦合下的冰载荷特性研究。

主要研究冰和结构的碰撞及破坏过程演化规律、冰和结构的能量转换传递机理与模型、冰-水-结构耦合下的冰载荷预报理论与方法。

（四）重型破冰船破冰能力预报方法。

主要研究重型破冰船破冰过程与碎冰运动、不同破冰模式下的破冰船运动性能和结构冰激响应、破冰能力预报方法及船型优化。

（五）水下垂直破冰能力预报方法。

主要研究水下航行体准静态向上和高速向上的垂直破冰能力和结构冰激响应、研究水下航行体载荷预报方法及防撞结构形式。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“极地环境载荷及其与海洋结构物的耦合特性”，申请代码1选择E11。