**多物理场高效飞行科学基础与调控机理重大研究计划2024年度项目指南**

　　“多物理场高效飞行科学基础与调控机理”重大研究计划面向一小时左右全球抵达高速民航和航班化天地往返运输国家重大需求，聚焦多物理场高效飞行重大基础问题（多物理场是指跨域变构高速飞行器在飞行过程中，表面与空气摩擦产生气体环境温度>3000K的高温场，飞行器构型和表面气固界面非稳态时变、压强峰值≥7.5kPa的气动力学场，跨域高速飞行产生1016-1020m-3等离子体电子密度的复杂电磁环境）。重点针对两级入轨总体图像（一二级飞行器均可通过变形呈现近似火箭构型和近似飞机构型），建立跨大空域、宽速域、可重复的高效智能飞行器设计理论与方法，实现飞行器构型连续变化、主动流动调控和智能控制等核心基础理论与技术突破，为航天运输系统创新发展提供理论基础与技术支撑。

　　一、科学目标

　　瞄准中国航天运输系统国家重大需求，提出跨域高效智能飞行新思路，面向跨域、变构、可重复飞行关键特征，建立非定常空气动力学模型，发展多物理参数实时感知与智能控制理论，突破主动热防护、变构型机构-结构设计、主动流动控制和电磁力热环境模拟与科学实验等关键技术，取得一批多物理场高效飞行原创性成果，牵引学科深度融合与创新发展，革新面向航天巨系统的智能系统工程范式，为我国未来航天运输系统提供关键理论、方法、技术和人才队伍储备，促进中国航天运输系统发展规划的顺利实施。

　　二、核心科学问题

　　本重大研究计划围绕以下三个核心科学问题开展研究：

　　（一）变构型材料与机构的多物理场耦合机理。

　　揭示柔性材料-变形机构在复杂约束下热防护、变形机构与结构、刚柔耦合等机理，建立结构健康监测、耐久性与损伤容限评价新方法，满足对飞行器变构材料与机构的极限需求。

　　（二）跨域非稳态流动模型及调控机制。

　　研究复杂时变边界条件下飞行器流动与飞行变形的相互作用机制，发展主动流动调控手段，实现气动特性精确预示和高效降热减阻。

　　（三）变构与飞行的一体化智能控制。

　　揭示强不确定环境下飞行动力学耦合控制机理，突破跨域无缝自主导航及环境-任务自匹配的在线自主规划决策等关键技术，构建变构型与飞行器的一体化智能控制方法。

　　三、2024年度资助的研究方向

　　（一）培育项目。

　　围绕上述科学问题，以总体科学目标为牵引，拟资助一批探索性强、选题新颖、前期研究基础较好的培育项目，研究方向如下（申报项目须覆盖以下单一方向中列出的部分或全部内容）：

　　1.变构型材料与机构的多物理场耦合机理。

　　探索新概念高效主动冷却新方法，发展跨域变构飞行器柔性防热蒙皮可拉伸超亲水无源表面温度-热流多参数自感知机制与方法；研究天地往返过渡区复杂电离组分对跨域飞行器材料的损伤机理，以及相应的防护手段和模拟方法；研究新概念大范围变形结构及其分布式灵巧柔性驱动与传动方法；发展面向跨域高速飞行器承载结构轻量化的可编程力学超结构逆向设计方法。

　　2.跨域变构飞行非定常空气动力学理论及主动流动调控方法。

　　研究稀薄与高温以及复杂材料界面影响下跨流域高速边界层流动稳定性分析理论与方法；研究极端高温与复杂力学载荷环境下连续变构流-固-热多物理场耦合机制与计算方法；发展高速高热流条件下力/热主动流动调控新方法。

　　3.跨域变构可重复飞行器的信息感知与智能飞行控制。

　　发展快响应强抗扰跨域飞行器应变感知新方法；探索高焓等离子体电磁环境参数高效调控新方法；发展高超声速来流下刚柔变构过程中气动力/弹性耦合测量与三维反演重构方法；研究具有在线重构与自进化能力的跨域强适应变构飞行智能控制理论与方法。

　　4.跨域变构飞行器智能系统工程理论与方法。

　　探索跨域变构飞行器数据与模型多重驱动的知识资源图谱扩展理论与应用方法；发展数据驱动的跨域变构飞行器气动外形生成式模型与方法。

　　（二）重点支持项目。

　　围绕核心科学问题，以总体科学目标为牵引，2024年拟资助前期研究成果积累较好、处于当前研究热点前沿、对总体科学目标有较大贡献的申请项目，研究方向如下：

　　1.跨域飞行器多维度变形前体结构设计理论与连续光滑变形机制。

　　面向复杂力热环境下跨域飞行器变气动外形需求，研究多维度变形前体结构设计理论与方法，揭示极端力热载荷条件下前体结构连续光滑变形及其维形承载机理，突破前体机构变形驱控与刚柔形性调控技术，实现跨域飞行器前体结构多维度（变形形式不少于3种）连续光滑变形与高稳定承载（大面积热流不小于200kW/m2，面载荷不小于40kPa，气动外形精度误差优于5%），并开展典型样机研制与验证。

　　2.基于流场结构调控的跨域变构飞行器气动/控制一体化设计方法。

　　引入深度学习、强化学习等技术，研究跨域变构飞行器在不同速域和变构阶段流场结构的动态演化机理及其对气动力、气动热、动力学特性的影响规律，探讨利用型面优化、变形变构或流动控制措施进行流场结构组织和调控的方法，建立流场结构识别、定量表征和评估准则，构建流场结构与气动/操稳/控制的关联模型，发展面向流场结构调控的智能化优化方法，构建对各构型及变构型过程中气动效率、飞行控制、变构执行最为有利的流场结构，更为有效、全面、稳健地改善飞行器综合性能。相对于传统优化方法，使关键设计点升阻及操稳特性、多设计点综合优化能力、设计稳健性等显著提升，在确保满足防热约束的前提下，使关键设计点升阻及操稳特性显著提升、配平舵偏和变体驱动铰链力矩显著下降。

　　3.跨域自然光场紧组合导航建模方法与运动信息估计理论。

　　围绕跨域(5-25Ma速域，0-100km空域)条件下，太阳光/偏振光/星光等自然光场感知机理及深耦合建模需求，揭示高空自然光场信息与导航信息演变规律与自适应反演机理，分析气动光热、飞行振动等多源干扰的物理来源、动态特性和传递机制，研究跨域仿生感知机理及多源非高斯干扰精细表征、面向气动光/热等复合干扰的组合导航信息估计、太阳光/偏振光/星光等多尺度光学信息无缝导航等理论方法，突破仿生偏振导航传感器多源异质复合误差迭代标定、仿生多传感器紧组合导航建模等关键技术，建立跨域环境下偏振光场模型数据库，研制面向气动光/热等复合干扰的组合导航信息估计软件，实现跨域高动态条件下无偏直射光干扰、偏振光拖尾误差、偏振折射率梯度干扰等多源异质干扰的识别与估计，提高跨域飞行条件下自然光场导航的环境适应性及空间适应性。

　　4.跨域智能变构与高效飞行控制理论和方法。

　　针对跨域(0-25Ma速域，0-100km空域)变构飞行中一机多能、全程能耗最优的未来航天运输系统需求，考虑跨域和变构飞行引起的气动构型/飞行任务/姿轨控制强耦合，开展变构与飞行控制理论和方法研究，建立面向飞行控制设计的宽域包线变构型动力学建模理论，表征跨域流场结构变化的全域耦合动力学特征；解决面向跨域飞行典型任务场景的智能构型/任务决策问题，实现力/热/控制的综合性能指标优化；设计适应宽域包线和时变构型的全程实时任务/轨迹规划方法，高效应对多物理场飞行环境和多样化任务；研究抑制变构飞行产生的多源干扰的轨迹/姿态控制理论与方法，满足跨域飞行器的姿轨飞行品质指标要求。

　　5.跨域变构飞行器分布式应变动态感知方法及摩阻自主反演模型研究。

　　针对跨域(0-25Ma速域，0-100km空域)变构飞行器在复杂环境下的多物理参数实时在线动态感知需求，研究复杂曲面应变快速感知机理与分布式应变信号解耦理论，探索基于跨域自主飞行过程中分布式应变信息的摩阻系数反演模型，建立飞行器环境信息实时监测与表面阻力测量方法，突破柔性耐高温薄膜应变传感(1500°C下服役大于24小时)和阵列式智能蒙皮应变动态感知功能集成技术，研制跨域飞行环境适应的柔性耐高温应变动态信息感知样件，在典型平板结构上开展地面试验及评价。

　　6.跨域变构飞行器智能系统工程框架与演进优化方法。

　　面向传统V型总体设计范式难以适应强时变跨域飞行器总体设计的问题，以核心能力综合优化为目标，开展智能科学赋能的复杂飞行器系统工程总体框架设计研究，基于高速变构型虚实数据、模型及经验，开展对复杂系统的统一建模表征、模型网络智能自主关联分析和全系统智能迭代演进优化方法总体架构设计，构建双环螺旋迭代演进优化数字环境，形成多物理场跨域变构飞行器优化设计方法与平台。具备涵盖机翼伸展、弯曲和扭转变形的跨域变构飞行器智能优化设计能力；可兼容变构飞行器气动、轨迹、防热专业知识库。

　　（三）集成项目。

　　在本重大研究计划前期布局和资助成果的基础上，集中优势力量，围绕以下方向进行集成，力争实现跨越发展。

　　1.复杂力热环境下光滑连续变形翼设计理论与集成验证。

　　面向航天运输系统跨域高效飞行需求，研究跨域飞行器翼面变形策略与飞行环境、主动防热柔性蒙皮与变形机构的相关约束及耦合作用机理及规律，构建多维连续光滑变形翼多学科协同设计方法；突破极端力热环境下大尺寸异形柔性蒙皮设计理论与变形机构集成方法、光滑连续变形翼机构-结构-防热一体化设计与性能评价方法，实现多维光滑连续变形翼样机集成及地面模拟验证。飞行器呈现飞机构型时超声速状态最大升阻比不小于2，亚声速状态最大升阻比不小于3.5，单独翼面具备不少于三种变形形式，面积变化率≥20%，等效气动压力峰值不小于7.5kPa环境下可保持光滑连续变形；风洞模拟验证翼面样机尺寸长度不小于1.5m，可承受400s以上200kW/m2热流载荷作用。

　　2.跨域变构飞行多物理场重构与信息感知传输技术集成验证。

　　针对跨域（5-25Ma速域，20km-轨道高度）高速变构飞行器在极端力热电磁环境下状态与态势感知、全程可靠信息传输等需求，研究跨域飞行器变构下力/热/电磁物理场耦合机理、多源信息智能感知与融合、飞行环境/状态重构与信息特征的关联机制等科学问题，突破极端环境参数（非平衡高温流场电子密度≥1020m-3、总温≥6000K）解耦测量与空间分布重构技术、复杂飞行器外形下分布式天馈系统（极小开窗尺寸≤φ100mm、耐温＞1700K@2000s）设计与波束智能赋形技术、多域（时、频、空、能量域）电磁信息智能融合与感知传输一体化（频段：L、S、C、X、Ku、Ka）等关键技术，研制飞行器状态/环境/电磁感知与信息传输原理集成系统，开展地面模拟环境（等离子体电子密度≥1020m-3、总温≥6000K、等离子体射流尺寸＞φ100mm）综合实验验证，为跨域高效智能飞行提供信息化支撑。

　　四、项目遴选的基本原则

　　（一）紧密围绕核心科学问题，注重需求及应用背景约束，鼓励原创性、基础性和交叉性的前沿探索。

　　（二）优先资助能够解决多物理场高效飞行中的基础科学难题并具有应用前景的研究项目。

　　（三）重点资助具有良好研究基础和前期积累，对总体科学目标有直接贡献与支撑的研究项目。

　　五、2024年度资助计划

　　拟资助培育项目9-11项，资助直接费用约为80万元/项，资助期限为3年，培育项目申请书中研究期限应填写“2025年1月1日—2027年12月31日”; 拟资助重点支持项目5-7项，资助直接费用约为300万元/项，资助期限为4年，重点支持项目申请书中研究期限应填写“2025年1月1日—2028年12月31日”；拟资助集成项目2项，直接费用资助强度约为1200万元/项，资助期限为3年，申请书中研究期限应填写“2025年1月1日—2027年12月31日”。

　　六、申请要求及注意事项

　　（一）申请条件。

　　本重大研究计划项目申请人应当具备以下条件：

　　1. 具有承担基础研究课题的经历；

　　2. 具有高级专业技术职务（职称）。

　　在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

　　（二）限项申请规定。

　　执行《2024年度国家自然科学基金项目指南》“申请规定”中限项申请规定的相关要求。

　　（三）申请注意事项。

　　申请人和依托单位应当认真阅读并执行本项目指南、《2024年度国家自然科学基金项目指南》和《关于2024年度国家自然科学基金项目申请与结题等有关事项的通告》中相关要求。

　　1.本重大研究计划项目实行无纸化申请。申请书提交日期为2024年4月15日－4月22日16时。

　　项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

　　（1）申请人应当按照科学基金网络信息系统中重大研究计划项目的填报说明与撰写提纲要求在线填写和提交电子申请书及附件材料。

　　（2）本重大研究计划旨在紧密围绕核心科学问题，对多学科相关研究进行战略性的方向引导和优势整合，成为一个项目集群。申请人应根据本重大研究计划拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、技术路线和相应的研究经费等。

　　（3）申请书中的资助类别选择“重大研究计划”，亚类说明选择“培育项目”、“重点支持项目”或“集成项目”，附注说明选择“多物理场高效飞行科学基础与调控机理”，受理代码选择T02，受理代码选择不准确或未选择的项目申请将不予受理，并根据申请项目的具体研究内容选择不超过5个申请代码。

　　培育项目和重点支持项目的合作研究单位不得超过2个，集成项目的合作单位不得超过4个。

　　（4）申请人在“（一）立项依据与研究内容”中“2．项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题”部分，应当首先说明申请项目符合本项目指南中的具体资助研究方向（写明指南中的研究方向序号和相应内容），以及对解决本重大研究计划核心科学问题、实现本重大研究计划科学目标的贡献。

　　如果申请人已经承担与本重大研究计划相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

　　2.依托单位应当按照要求完成依托单位承诺、组织申请以及审核申请材料等工作。在2024年4月22日16时前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料，并于4月23日16时前在线提交本单位项目申请清单。

　　3.其他注意事项。

　　（1）为实现重大研究计划总体科学目标和多学科集成，获得资助的项目负责人应当承诺遵守相关数据和资料管理与共享的规定，项目执行过程中应关注与本重大研究计划其他项目之间的相互支撑关系。

　　（2）为加强项目的学术交流，促进项目群的形成和多学科交叉与集成，本重大研究计划将每年举办一次资助项目的年度学术交流会，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人有义务参加本重大研究计划指导专家组和管理工作组所组织的上述学术交流活动，并认真开展学术交流。

　　（四）咨询方式。

　　国家自然科学基金委员会交叉科学部二处

　　联系电话：010-62329548，010-62329489