

2027年度航空航天结构力学及控制全国重点实验室 开放课题申请指南

（优先资助研究领域）

航空航天装备是维护国家安全和支撑国民经济发展的战略基石，长期面临国外技术封锁，属于典型的“卡脖子”领域。结构作为飞行器机体与气动承载的关键载体，其性能直接决定了装备的先进性与可靠性。当前正值“十五五”规划开局之年，国家围绕航天强国、商业航天、低空经济等新兴支柱产业作出系列重大战略部署，航空航天装备作为“新质生产力”的核心载体对飞行器结构在轻量化、可重复使用、智能化、极端环境适应等方面提出了全新需求，也为结构力学与控制学科带来了重大发展机遇。

本实验室定位于航空航天飞行器结构力学及控制基础理论与前沿技术研究，重点解决先进飞行器研制与发展所急需攻克的四大方向重大共性科技问题，包括：轻质结构高可靠性设计技术、结构动力学设计与控制技术、热结构与热环境调控技术、材料结构设计精确制造一体化调控技术以及相关交叉前沿问题。

重点实验室开放课题面向境内外高等院校、科研院所和重要企业，用于支持上述单位中从事航空航天结构力学及控制研究的科研人员，在开放基金课题指南范围内选择研究主题，合作开展创新性的基础与应用基础研究，鼓励开展前沿学科交叉研究。

重点实验室开放课题分为重点课题、面上课题、青年课题三类，执行时间一般为2年。开放课题资助工作遵循公开、公平、公正的原则，实行依靠专家、择优资助、鼓励创新、支持重点的方针。申请和审批程序

为自由申请、专家评审、学术委员会审批、重点实验室主任组织实施。
重点实验室同时设立软科学项目。

2027年度开放课题申请指南具体内容如下：

1. 轻质结构耐久性和可靠性设计方向

面向各类先进飞行器及新一代飞行器结构的先进性、耐久性和可靠性发展需求，特别是商业航天可重复使用结构、低空经济新型航空器（大载重无人机/eVTOL）、深空探测极端环境结构的迫切需求，本研究方向将重点发展宏-微-纳轻质结构强度与破坏机制的多尺度理论，高可靠性、轻质智能结构设计方法，轻质结构耐久性和可靠性的智能评价及预测方法，建立飞行器全寿命安全评价及预测体系，发展力学与物理、化学、信息、人工智能等学科交叉的前沿研究理论与方法，以满足各类先进飞行器结构轻量化及可靠性提升重大需求。

1.1 轻质结构的力学行为及其强度理论

研究轻质材料结构的力学特性与破坏行为，揭示其宏-细-微观多尺度本构关系、失效模式与强度理论，阐明损伤微观机理及其演化规律，建立破坏准则；探索轻质材料结构的失效机理，发展多尺度失效理论，构建强度失效准则。面向“十五五”深空探测重大需求，进一步开展月球、火星表面极端低温、低重力、高辐射等特殊服役环境下轻质材料结构的力学行为与失效机理研究。

1.2 功能材料结构的力学行为

发展研究各类功能材料力学行为和功能性的计算方法及标准加载环

境下的材料试验技术，包括微纳米材料、压电材料及其他功能材料；开展功能材料和器件在力、电、磁等外场作用下力学行为与功能调控的理论预测，以及材料结构力-电-磁耦合行为的实验研究；研究先进功能材料结构在高温、极寒、原子氧腐蚀等极端环境下的力学行为和功能性；研究固-液界面体系的物理力学行为及其在能量收集、传感、温控、防除冰等方面的应用，研究水伏智能器件系统等。

1.3 轻质结构耐久性设计理论与评价方法

开展典型轻质结构服役环境下的安全性与耐久性研究，构建基于大数据与机器学习的短时试验、模拟数据同长效服役性能的映射关系，实现轻质结构耐久性的精准预测与高效设计；发展航空航天器关键结构全寿命周期复杂载荷辨识方法，开展三维疲劳断裂统一理论研究，实现耐久性与损伤容限设计相融合。面向可重复使用运载火箭与空天飞行器发展需求，开展多次重复使用载荷谱作用下结构疲劳-蠕变-热损伤累积效应及耐久性退化机理研究，建立重复使用工况下的寿命评价新方法。

1.4 轻质多功能智能结构设计理论及评价方法

面向轻质多功能智能结构设计，研究智能结构传感器、驱动器功能材料与器件、表征及性能测试及水伏智能系统的制备，智能结构健康监测与预测方法，变体及自适应智能结构设计方法，振动噪声主动控制智能结构，典型航空航天轻质多功能智能结构的功能验证方法等。

1.5 飞行器全寿命周期安全保障设计

研究面向工程应用的新型微纳器件原理、制备及测试评价方法，建立全寿命周期关键结构状态及损伤的在线智能监测方法及基于数据驱动

的定量化评估机制；发展结构数字化设计方法，建立新型航空航天材料失效及损伤扩展数据库和数字融通方法。贯彻落实“十五五”数智化转型战略，强化“基于数字孪生与人工智能融合的全寿命周期结构健康状态在线智能感知、损伤演化跟踪与剩余寿命预测”研究，构建“物理实体-数字孪生体”协同演化的安全保障体系。

2. 轻质结构动力学设计与控制

针对柔性轻质结构动力学设计及控制难题，面向新一代飞行器、新一代超大型空间结构的需求，以及可重复使用运载器高频次发射回收、超大尺寸空间设施在轨组装等“十五五”新场景，开展极端条件下先进飞行器系统和超大型空间结构设计与运行服役阶段的动力学建模、分析、计算、实验等方法研究，发展非线性系统动力学和闭环系统控制基本理论，突破高精度、高效率、高可靠、轻量化、智能化的精密驱动关键技术，满足国家重大工程对轻质结构动力学设计的迫切需求。

2.1 极端条件下结构动力学与控制

开展极端条件下先进飞行器系统与结构的动力学及控制研究，发展极端服役环境下高精度多物理场耦合动力学建模分析、响应预测与智能控制方法；突破飞行器非线性气动伺服弹性力学、复杂结构动力学反问题求解与参数识别、复杂系统耦合作用下飞行器起降动力学与控制、高可靠运动机构设计等关键技术。面向可重复使用空天飞行器发展需求，开展多次进出大气层条件下热-力-振动多场耦合动力学建模与非线性气动弹性响应预测研究；面向高密度发射任务需求，开展快速迭代、低成本发射环境下的结构动力学不确定性量化与稳健设计研究。

2.2 轻质柔性结构动力学设计与分析

面向未来柔性空间装备与设施发展的战略需求，紧扣“十五五”国际月球科研站、超大型空间太阳能电站等在轨组装建造任务，针对超大型复杂空间结构展开、组装、释放过程呈现的强非线性、高维度、变拓扑特征，开展超大型空间结构搭建过程与运行服役阶段动力学建模、航天器集群编队飞行动力学与控制、空间绳系系统动力学与控制的理论及试验研究；开展超大尺度柔性空间结构在轨组装过程的动力学演化与振动抑制、空间多体系统变拓扑构型动力学实时仿真与自主控制研究，探究刚-柔耦合体系力学控制及相关前沿科学问题。

2.3 面向复杂结构的精密驱动与控制

围绕航空航天装备对高性能轻量化精密驱动技术的迫切需求，针对航空航天特殊应用环境与高动态工况等现实问题，开展高精度、高效率、高可靠、轻量化、智能化功能材料及精密驱动关键技术研究；以压电驱动为主要技术途径，开展功能-结构融合设计，实现空天轻质结构作动与动态调控，建立材料-结构-器件-系统的轻量化高效一体化设计方法。面向商业航天批量化发展需求，开展面向低成本、高可靠压电驱动器的快速制造工艺与一致性保障技术研究；面向低空经济发展需求，开展面向eVTOL/无人机群的分布式协同驱动与振动主动控制研究。

2.4 非线性系统动力学与控制

面向航空航天等领域的动力学和控制的基本理论问题，开展高维非线性系统的全局分岔和混沌动力学、时滞系统和分数阶系统动力学、微纳系统动力学、非线性随机动力学以及超材料波动力学等领域新理论、新方

法、新应用的研究，为解决航空航天结构动力学与控制领域的卡点问题提供理论指导。

2.5 闭环系统模型辨识、分析与控制

面向航空航天装备高精度快响应控制需求，针对复杂结构控制存在的强耦合、多振动模态、多源不确定性等技术难点，开展先进结构与系统振动控制研究，发展基于现代智能技术的结构系统振动及运动控制理论与方法；开展健康、退化、故障多工况条件下控制系统不确定性分析、闭环模型辨识及自适应控制新方法研究，攻克结构与环境突变条件下的稳定控制难题。结合“人工智能+”国家行动，强化基于深度强化学习的复杂结构闭环系统在线辨识与自适应容错控制研究。

3. 航空航天热结构与热环境

面向未来军、民用航空发动机和先进空天动力、可重复使用飞行器等发展的迫切需要，以及“十五五”期间CJ-X000发动机加速突破、新能源飞机研制等重大任务，本方向重点突破极端条件下结构流场的组织、调控与实验测试技术，超高温、强瞬变载荷环境下热结构设计及评定方法，发动机先进热管理及绿色航空动力技术，航空航天发动机燃烧组织技术及航空航天热结构与热环境的感知、监测与控制技术，掌握航空航天典型热结构的气动-热力-结构一体化设计等关键技术，发展多功能新型航空航天结构前沿技术等。

3.1 极端条件下结构流场的组织、调控与实验测试技术

面向未来先进航空发动机、高超声速飞行器、宽速域组合循环发动机、空天往返飞行器等装备的迫切发展需求，开展高效、低阻的流场组织与调控

方法及复杂流场先进测量技术研究，重点突破宽速域/跨域飞行器热-流-固多场耦合流场主动调控与动态匹配关键技术，为航空航天典型热结构营造优良工作环境，最终实现航空航天典型热结构的气动-热力-结构一体化设计。

3.2 超高温、强瞬变载荷环境下热结构设计及评定

面向高温合金、陶瓷基复合材料、碳/碳复合材料等高热结构，研究超高温、强瞬变等极端环境高温材料结构的变形与失效行为、热结构与设计与评定技术，建立高热结构强度与寿命试验评定方法、跨时间尺度的力-固-热耦合分析方法以及动力学响应分析和振动控制方法，掌握高温、高压、高转速、大畸变、强瞬变情况下高可靠性和长寿命轻质热结构设计技术。

3.3 发动机先进热管理及绿色航空动力技术

针对航空航天典型热结构服役过程中面临的力-热-声-振多场耦合复杂环境，构建分布式热沉梯级利用与高效热管理理论及方法，发展复合材料编织、热障涂层气膜、发汗、微小通道等先进冷却结构与技术，建立高效主被动一体化热防护体系；立足节能减排发展要求，探索绿色航空动力技术发展路径，攻克相关核心关键技术。面向“十五五”新能源飞机发展规划，开展混合动力与电动航空动力系统高效热管理、轻量化热结构与动态调控技术研究，完善新型航空动力热防护与热管控技术体系。

3.4 航空航天发动机燃烧组织技术

面向未来先进发动机、宽速域组合循环发动机等，发展复杂模态下的热声耦合燃烧组织方式及其高温环境下的动态热结构多场耦合机制，

形成气/液/固耦合的先进燃烧环境的气动-热力-结构一体化设计方法。

3.5 航空航天热结构与热环境的感知、监测与控制技术

针对航空航天典型热结构力-热-声-振多场耦合服役环境，研发兼具传感、驱动、高效能量转换、主动变形等智能特性的功能材料与器件，掌握飞行器及发动机内外复杂气热环境下的特种测试、多物理场智能感知与监测诊断方法，解决多场、多介质、多尺度条件下飞行器与发动机高温热结构的智能调控及智能容错难题。面向“十五五”深空探测重大任务需求，开展月球、火星表面极端热环境下热结构健康状态智能感知与自主热调控研究，拓展极端深空环境下航空航天热结构智能防护与调控技术体系。

4. 材料结构一体化精确制造及调控方向

针对材料结构一体化精确制造与精准调控技术难题，面向先进飞行器结构形性协调高精度制造及制造—服役一体化性能调控核心需求，开展材料—结构一体化数字化精确制造方法研究，建立复杂结构数字化设计、成形工艺与制造质量一体化模型，发展制造过程智能检测、实时监测及形性协同调控一体化技术，探索制造—服役一体化智能监测评价方法与基于数字孪生的全流程性能调控技术，研制大型轻质结构数字化精确制造装备，实现新一代航空航天装备数字化精确制造一体化管控。紧扣“十五五”制造业数智化转型要求，强化人工智能赋能制造过程智能决策技术研究；面向商业航天低成本、批量化发展需求，开展可重复使用飞行器结构制造—服役—检测—再制造全寿命周期一体化调控技术研究，构建全生命周期形性协同精准调控技术体系。

4.1 先进复合材料三维织造数字化成形方法

研究大型复杂复合材料构件数字化成形方法，建立服役性能约束下结构微观材料、细观胞元和宏观性能一体化设计与优化模型，探索材料特征、结构方式、工艺种类等与整体性能、功能的内禀关系，研究多工艺复合精确制造方法，建立多材料、多工艺耦合作用下结构成形效率与制造质量映射模型，实现先进复合材料三维织造数字化成形。

4.2 纤维复合材料增材制造成形技术

开展大型复杂复合材料构件设计制造一体化增材制造技术研究，探明多物理场作用下复合材料纤维形态演变规律与影响机制，攻克复合材料丝束微观结构调控、精准成形工艺优化、多物理场耦合增材制造成形机理等核心技术，建立复合材料构件多尺度设计方法，研发增材制造智能成形装备，有效解决复合材料增材制造层间强度不足、成形精度偏低等关键技术瓶颈，实现复杂复合材料构件智能化、高精度、高效一体化成形。紧扣“十五五”高端数字机床与工业软件发展战略，强化复合材料增材制造工艺-组织-性能一体化数字仿真与工艺参数智能优化研究，构建复合材料增材制造全流程数字化、智能化设计制造技术体系。

4.3 制造质量评价方法与工艺智能调控技术

研究大型复杂复合材料构件多参量跨尺度特征精确检测与质量评价方法，探明工艺参数与质量特性的非线性时变映射机制，建立复材构件制造过程数据与先验知识融合的产品质量预测模型，研究基于误差源分析的质量传播模型与工艺动态重构方法，研发面向柔性制造全过程的孪生系统，实现数据驱动的复材构件成形质量主动精准控制与形性调控一体化技

术。

4.4 制造-服役一体化智能监测及评价

探索面向制造-服役一体化智能监测的功能材料、微小型、柔性可变形、多参量监测器件新效应和新机理，研究基于微加工、喷印、转印、打印等新方法的智能监测网络构建方法，探索制造过程参数及残余应力、制造变形、初始缺陷等制造质量的智能在线监测及定量评估方法，研究制造后服役阶段初始质量或缺陷的演化过程跟踪监测评估方法，发展全生命周期关键结构状态及损伤的在线智能监测方法，建立基于数据驱动的结构定量化评估机制。

4.5 基于数字孪生技术的制造-服役性能调控方法

开展先进结构制造-服役全流程跨尺度性能状态虚拟仿真方法研究，面向制造-服役一体化数字孪生系统构建需求，探索数据积累机制与数字孪生数据库搭建方法，建立物理实体与数字孪生体双向交互协同演化机制，研究制造-服役结构性能调控数字孪生集成平台的构建及验证技术，实现结构制造与服役阶段的一体化精准性能调控。立足“人工智能+”融合发展理念，重点开展基于物理信息神经网络等AI代理模型加速的数字孪生实时推演与性能主动调控研究，突破传统数字孪生仿真推演效率低、动态调控滞后等技术难题，构建人工智能赋能的先进结构制造-服役全生命周期智能化调控技术体系。

5. 航空航天结构力学及控制研究领域的机遇与挑战

围绕上述四大研究方向及交叉前沿，重点研究以下核心议题：（1）“航天强国”首次入规背景下，航空航天结构力学学科面临的战略机遇

与使命担当；（2）商业航天崛起对结构力学研究范式的深刻影响——从“单件追求极致性能”到“批量兼顾性能-成本-效率”的转变及其科学挑战；（3）低空经济作为新兴支柱产业对轻质结构、动力学控制、热管理及适航符合性提出的新需求与新方法；（4）可重复使用带来的热-力-化耦合疲劳、多次服役损伤累积与寿命评估等新科学问题与破解路径；（5）“十五五”数智化转型（人工智能+、工业互联网+）驱动的结构数字孪生、智能设计与自主控制前沿进展；（6）载人登月、火星采样返回、国际月球科研站等深空探测任务对极端环境结构力学的新挑战。本课题为软课题，原则上由资深学者申报，经费预算不包括硬件和仪器设备。研究周期为1年。