**项目一：激光超声高分辨率检测技术研究**

**（一）研究目标：**

针对内窥原位条件下高压涡轮转子叶片的进气边、排气边、叶根、叶尖等部位裂纹宽度和深度、涡轮盘内部缺陷、叶片和涡轮盘涂层脱粘等难以检测这一问题，开展满足孔探孔直径（≤Φ 20 mm）高频超声波的高精度光纤激光探测方法与样机开发技术研究，突破高频超声波的高精度光纤激光探测方法与样机开发技术，掌握变曲率高压涡轮转子叶片特征部位（进气边、排气边、气膜孔、叶根、叶尖等）和涡轮盘典型部位（榫槽槽底、榫齿等）的激光弹性波激发与传播特性，揭示高频激光超声波与内部裂纹、表面裂纹、涂层脱粘等缺陷的声场作用规律，形成航空发动机涡轮盘和高压涡轮转子叶片的基体和涂层等表面/内部损伤的原位内窥激光超声无损检测能力。

**（二）考核指标：**

1）光纤式表面波超声激励与接收一体式探测头和光纤式体波超声激励与接收一体式探测头直径均小于Ф10 mm；

2）检出涡轮盘内部Ф0.4 mm横孔当量，检出高压涡轮转子叶片表面最小当量Ф5 mm的机械涂层脱粘；

3）检出涡轮盘和高压涡轮转子叶片表面长3 mm、宽0.1 mm和深0.1 mm的最小裂纹。

**（三）项目交付物：**

1）研究报告6份：涡轮盘和高压涡轮转子叶片损伤及特征结构的激光超声特征模态特性、多模式高频声场的激光超声激励与调控技术、面向原位内窥检测的光纤式高频激光干涉仪关键技术、激光超声信号处理与智能识别算法、涡轮盘和高压涡轮转子叶片的基体裂纹和涂层脱粘的激光超声高分辨成像技术、涡轮盘和高压涡轮转子叶片的基体裂纹和涂层脱粘的光纤式激光超声系统性能参数测试；

2）模型/程序/软件/数据集2份：航空发动机涡轮盘和叶片的激光超声理论模型（模型）、涡轮盘和高压涡轮转子叶片的基体裂纹和涂层脱粘的激光超声高分辨成像算法与软件（源程序）；

3）试验件类2套：光纤式表面波超声激励与接收一体式探测头、光纤式体波超声激励与接收一体式探测头；

4）样机1台：光纤式激光超声高分辨成像仪器；

5）知识产权6项（发表3篇高水平论文，申请3项发明专利）：与复杂构件典型缺陷与高频超声波相互作用规律研究相关论文、与涡轮转子叶片高精度激光超声成像算法相关论文、与基于激光超声的涡轮盘和涡轮转子叶片的缺陷智能识别技术相关论文、与高频、高精度、抗干扰的激光干涉方法相关发明专利、与内窥原位式激光超声扫描与成像方法相关发明专利、与基于内窥原位式激光超声的缺陷识别方法相关发明专利。

**（四）项目实施周期及揭榜金额：**

项目实施周期为2025年11月1日-2027日11月30日，揭榜金额不超过252万元。

**项目二：柔性连续体机器人技术研究**

**（一）研究目标：**

针对航空发动机复杂内窥原位检测应用场景下腔隙狭小、负载需求大、结构复杂及柔顺交互难度大的技术难题，开展基于多源图像信息引导的柔顺连续体机器人导航技术，掌握大弯曲变形和高负载能力的机器人构型及运动学建模方法，突破图像去噪与裂纹检测关键技术，掌握高保真三维重建与裂纹损伤检测方法，形成航空发动机复杂内窥场景中机器人精准检测与路径规划能力，为涡轮盘和叶片的无损检测及高效路径规划提供支撑。

**（二）考核指标：**

1）混联型机械臂的携带探测头部位直径小于Ф10 mm；

2）涡轮盘和叶身（包括气膜孔周裂纹）快速扫查路径规划程序1套；

3）进气边、排气边、叶根、叶尖等特殊部位的精细扫查路径规划程序1套；

4）采用机器视觉技术，检出涡轮盘和高压涡轮转子叶片表面的长2 mm的最小裂纹和最小当量Ф3 mm的涂层剥离；

5）连续体机器人的作业灵敏度优于0.4mm，末端探测灵活度优于3°/mm，环境建模精度优于1.5 mm，有效作业接触阈值±20%。

**（三）项目交付物：**

1）研究报告8份：狭窄腔隙高适应性的连续体和关节混联型机械臂构型设计、混联型机械臂精准扫查全局/局部路径自决策规划方法、刚度和灵巧度兼具的混联结构丝驱布置及机械臂集成设计、连续体和关节混联型机械臂精准形变建模方法、高压涡轮转子叶片的多视角深度估计方法、混联型机械臂与高压涡轮转子叶片仿形柔顺交互控制方法、基于深度还原的高压涡轮转子叶片三维重建方法、基于多源图像信息引导的柔顺连续体机器人导航技术；

2）模型/程序/软件/数据集2份：混联型机器人自决策路径规划与仿形作业柔顺控制算法、高压涡轮转子叶片环境重构软件（源程序）；

3）样机1台：混联型连续体机器人；

4）知识产权4项（发表2篇高水平论文，申请2项发明专利）：与基于离散圆弧假设、欧拉-伯努利梁理论及摩擦补偿的机械臂建模方法相关论文；与基于多源信息融合的涡轮转子叶片的环境重构技术相关论文；与混联型机械臂构形、结构和装置相关发明专利；与受限约束空间下混联型机器人的自决策路径规划与仿形作业柔顺控制方法和技术相关发明专利。

**（四）项目实施周期及揭榜金额：**

项目实施周期为2025年11月1日-2027日11月30日，揭榜金额不超过218万元。

**项目三：近场高分辨高效扫查微波传感器新构型设计技术研究**

**（一）研究目标：**

完成基于特征关联的微波频率优选及高精度高效率检测微波传感器新构型设计研究，建立SiC\_f/SiC复合材料缺陷与微波信号特征的链式关系，设计用于SiC\_f/SiC复合材料缺陷检测的新型微波传感器与微波高速收发模块，突破微小尺度高性能聚焦波束天线结构设计、微波扫描阵列天线阵间耦合干扰抑制、聚焦探头天线阵列与被测目标表面近场耦合干扰抑制、多通道射频高速收发、宽带信号高速采集等关键技术，研制用于SiC\_f/SiC导向叶片内部缺陷高分辨高效扫查检测的微波传感器与微波高速收发模块，具有点聚焦、空间超分辨、快速扫描等能力，完成基于近场平面扫描技术的传感器性能测试，在SiC\_f/SiC叶片试件上进行适用性验证。

**（二）考核指标：**

1）传感器工作频段：依据SiC\_f/SiC复合材料缺陷检测进行优选确定；

2）电压驻波比：≤1.5；

3）天线增益：点聚焦介质透镜传感器增益≥15dBi；高分辨微波近场显微成像探针增益≥8dBi；

4）方向图要求：点聚焦介质透镜传感器半功率波束宽度≤20°；高分辨微波近场显微成像探针半功率波束宽度≤50°。

5）SiC\_f/SiC导向叶片内部缺陷检测要求：检出最大埋藏深度为4 mm的内部缺陷；检出最小当量直径为φ0.5 mm的内部孔洞；检出最小当量尺寸为长2 mm、深0.2 mm的内部裂纹；检出最小当量尺寸为5 mm2的分层；检测速度≯15分钟/件，缺陷检出率≮90%。

**（三）项目交付物：**

1）实物交付：点聚焦介质透镜阵列传感器1套；高分辨微波近场显微成像探针阵列传感器1套；SiC\_f/SiC复合材料微波检测信号高速收发模块1套。

2）设计资料：包括需求定义文件（传感器功能需求定义文件、硬件需求定义文件等）、设计文件（各阶段对应初步设计、详细设计相关文件，包括传感器设计模型、图纸、收发模块电路原理图等）、实现及产品转化相关文件（产品生产相关装配顶图，出厂测试报告等）等、确认和验证文件（传感器/收发模块功能和性能分析、功能/硬件仿真及测试相关报告、环境试验相关报告等）；

3）研究报告：SiC\_f/SiC导向叶片缺陷最佳微波检测频率关联规律研究报告、天线类型对SiC\_f/SiC导向叶片内部缺陷检测的影响机制及规律研究报告、SiC\_f/SiC导向叶片近场微波聚焦天线传感器设计报告、近场微波聚焦天线传感器综合性能测试报告、基于阵列式微波传感器的SiC\_f/SiC导向叶片内部缺陷检测研究报告。

4）知识产权：发表不少于3篇高水平论文；申请不少于3项发明专利。

**（四）****项目实施周期及揭榜金额：**

项目实施周期为2025年11月1日-2027日11月30日，揭榜金额不超过200万元。

**项目四：SiC\_f/SiC复合材料微波检测正演模型计算及信号快速处理技术研究**

**（一）研究目标：**

完成微波与SiC\_f/SiC复合材料多尺度缺陷相互作用建模、SiC\_f/SiC复合材料介电参数层析分布测试、多孔隙特征下SiC\_f/SiC复合材料内部缺陷回波信号高效处理算法等技术研究，突破材料介电参数测量、内部缺陷反射微波参数表征、缺陷特征识别与成像反演、导向叶片缺陷的微波信号定量评估等关键技术，建立基于近场微波的SiC\_f/SiC导向叶片缺陷定量检测与评价方法。

**（二）考核指标：**

1）SiC\_f/SiC材料介电常数测量传感器：复介电常数、损耗角正切测试误差不超过±5%；

2）SiC\_f/SiC导向叶片自动化可编程随形扫查装置：重复定位精度不超过±0.025mm；

3）SiC\_f/SiC导向叶片微波传播仿真模型：覆盖孔洞、裂纹、分层等典型缺陷，缺陷深度范围0.2~4mm；

4）SiC\_f/SiC导向叶片缺陷特征微波成像检测自动识别算法：准确率不小于95%。

**（三）项目交付物：**

1）实物交付：SiC\_f/SiC材料介电常数微波测量传感器1套；SiC\_f/SiC导向叶片自动化可编程随形扫查装置1台。

2）设计资料：包括需求定义文件（装置功能需求定义文件、硬件需求定义文件等）、设计文件（各阶段对应初步设计、详细设计相关文件，包括设计图纸等）、实现及产品转化相关文件（产品生产相关装配顶图，出厂测试报告等）等、确认和验证文件（装置功能和性能分析、功能/硬件仿真及测试相关报告、环境试验相关报告等）。

3）软件、模型与数据库：SiC\_f/SiC导向叶片内部缺陷微波定量检测与评估软件1套；微波场激励下SiC\_f/SiC材料内部缺陷的正演计算模型1套；SiC\_f/SiC材料孔洞/裂纹/分层缺陷微波响应数值仿真模型1套；SiC\_f/SiC导向叶片缺陷微波检测信号特征数据集1套。

4）研究报告：SiC\_f/SiC试样微观结构及缺陷参数特征测试研究报告、SiC\_f/SiC试样介电参数层析分布规律研究报告、SiC\_f/SiC材料缺陷对微波信号的影响机制及规律研究报告、SiC\_f/SiC导向叶片缺陷微波检测信号分析研究报告、基于显微CT和破坏性测试的SiC\_f/SiC导向叶片缺陷检测验证实验报告。

5）知识产权：发表不少于3篇高水平论文；申请不少于1项发明专利。

**（四）项目实施周期及揭榜金额：**

项目实施周期为2025年11月1日-2027日11月30日，揭榜金额不超过80万元。