

# 2020 年国家商用飞机制造工程技术 研究中心创新基金指南

## 详细介绍



# 目录

一、基于 HP-RTM 成型工艺的民机复合材料构件研制.....	4
二、复合材料结构纤维屈曲缺陷无损检测方法及应用研究.....	7
三、热塑性复合材料长桁连续热压成型技术研究.....	10
四、连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构 3D 打印技术.....	13
五、面向现场工艺决策的复合材料电气搭接仿真验证技术研究.....	17
六、基于多策略的民机航电系统典型功能试验故障诊断技术研究..	20
七、基于机器视觉的飞机蒙皮接缝特征智能检测研究.....	23
八、SA 软件权重分配的大部件调姿算法国产化.....	26
九、钛合金/复材多层高效精密制孔工艺链智能决策技术及智能装置	31
十、飞机机身收缩段对接区小型多自由度精密制孔驱动.....	35
十一、基于智能感知的机器人轨迹路径自主规划与避障技术研究..	38
十二、增材制造用稀土增强铝合金球形粉末循环再利用工艺研究..	41
十三、基于国产激光选区熔化增材制造适航验证方法研究.....	45

# 一、基于 HP-RTM 成型工艺的民机复合材料构件研制

## 1. 项目背景

先进复合材料因其高性能、低比重成为大型民用客机的主要材料，但复合材料制造效率低、成本高等弊端日益显现，针对该瓶颈问题，各国从材料体系到成型工艺开展了大量的研发工作，新工艺方法和自动化技术逐渐应用于民用复合材料生产中。HP-RTM 工艺是在传统 RTM 工艺基础上发展的复合材料快速成型的工艺方法，在汽车行业中生产效率可达 3-5 分钟/件，并可进行自动化生产。通过研究 HP-RTM 工艺中材料体系、预成型工艺、模具设计、成型工艺等方面的技术，解决传统 RTM 工艺中由于低纤维体积含量不能满足性能要求等问题，探索该工艺在民用客机复合材料构件制造的适用性和可行性，突破复合材料成型低的关键技术，为实现民机复合材料高效、低成本制造奠定基础。

## 2. 项目归属的重点专业领域

复合材料结构制造

## 3. 项目目标及技术指标

### 项目目标：

本项目基于 HP-RTM 成型工艺，针对民机复合材料的窗框等典型构件，通过开展材料体系工艺特性、预成型技术、模具技术、成型技术等研究，探索 HP-RTM 等工艺技术在民用客机复合材料制造的可行性，为该工艺在民用客机上的应用奠定基础。

### 技术指标：

- 1) 所能达到的精度 0.5 mm;
- 2) 可制造尺寸 2000mm×2000m、高 500mm;
- 3) 纤维体积含量 $\geq 60\%$ ;
- 4) 空隙率 $\leq 2\%$ ;
- 5) 技术成熟度从 TRL1 级提升至 TRL4 级。

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

###### 1) 碳纤维经编织物制备技术完善

本研究通过降低纱线克重数提高纤维的压缩量,但会影响捆绑纱对纤维的约束,需要对编织设备参数进行相应调整。定型剂的种类和施加方式对 NCF 织物的制备、后续的预成型体制备以及复合材料性能均会产生影响,所以合理选择定型剂及加工方式是本项目的研究重点。同时,需要对 NCF 织物复合材料的性能进行测试评价。

###### 2) 预成型体制备技术

预成型体制备技术与织物状态及后续成型工艺密切相关。因此,本项目将重点对预成型体的制备技术开展研究。主要包括织物的压缩变形、定型剂类型、用量分析、预成型模具设计与制造、预成型体成型效果分析等。通过上述研究,完善织物织造技术,建立预成型体制备的评价表征方法。

###### 3) HP-RTM 成型技术

HP-RTM 成型技术最终决定复合材料构件性能及生产效率成本等是否适合航空复合材料构件的应用。HP-RTM 成型工艺技术包括预成

型体纤维渗透特性、树脂体系化学流变特性、树脂流动充模模拟分析、模具设计与制造、工艺参数的选择与优化等，综合上述研究，分析总结 HP-RTM 的工艺特点及技术优势，为采用该工艺技术制备航空复合材料构件奠定基础。

## **(2)研究结果的验证方式**

- 1) 典型航空结构件预成型体，固化后制件
- 2) 材料基本性能测试报告，构件测试报告

## **5. 预期成果**

- (1) 工艺指南 1 份（初稿）；
- (2) 典型件 2 件（预成型体 1 件，固化后制件 1 件）；
- (3) 技术总结报告 1 件，工作总结报告 1 件
- (4) 发表论文 1 篇.

## **6. 建议研究周期**

研究周期 24 个月

## **7. 所需研究经费**

总额 25 万元

## 二、复合材料结构纤维屈曲缺陷无损检测方法及应用研究

### 1. 项目背景

碳纤维预浸料在固化成型时，会因纤维弯曲变形产生纤维屈曲缺陷，包括面内屈曲和面外褶皱两类。纤维屈曲缺陷普遍存在于铺层复合材料产品内部，研究数据表明， $5^{\circ}$ 左右的面外褶皱缺陷将诱发约90%的疲劳寿命降低， $3^{\circ}$ 左右的面内屈曲缺陷将诱发约74%的抗压强度降低，容易造成重大产品安全隐患。目前，常规无损检测手段均难以有效实现对纤维屈曲缺陷的定性定量分析，国内外尚无成熟可靠的无损检测工艺标准，亟需研究建立相应的无损检测与评价新方法、新工艺及新标准，为铺层复合材料产品的结构优化设计、制造工艺改进以及质量控制提供准确可靠的无损检测评价依据。

### 2. 项目归属的重点专业领域

复合材料结构制造

### 3. 项目目标及技术指标

#### 项目目标：

针对单向带碳纤维复合材料结构纤维屈曲缺陷的无损评价难题，结合阵列超声检测技术灵活的波束动态偏转聚焦控制能力，建立纤维屈曲缺陷的阵列超声检测与评价新方法，并开展应用验证。

#### 技术指标：

1) 单向带结构的最大检测厚度不小于10mm，实现缺陷成像定量评价；

2) 面内纤维屈曲检测灵敏度：层压板面内纤维偏离距离小于 6mm；

3) 面外纤维褶皱检测灵敏度：层压板面外纤维偏离距离  $D$  小于 0.2mm，当  $D$  大于 0.2mm 时，层压板面外纤维褶皱比  $L/D$  不小于 20，其中  $L$  为纤维长度方向；

4) 技术成熟度从 TRL2 级提升至 TRL4 级。

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

###### 1) 纤维屈曲缺陷与阵列超声波束的作用机理

构建含纤维屈曲缺陷的铺层复合材料阵列超声声学仿真模型，数值计算纤维屈曲缺陷与阵列超声偏转聚焦波束作用后产生的回波信号，分析纤维屈曲缺陷特征对回波信号的理论影响方式。

###### 2) 纤维屈曲缺陷检测评价的阵列超声换能器设计及制备

分析中心频率、频带宽度、阵元尺寸和阵元间距对纤维屈曲缺陷回波信噪比的影响，根据分析结果制备检测评价时使用的最优阵列超声换能器。

###### 3) 纤维屈曲缺陷阵列超声检测声束发射接收方案

结合作用机理的研究结果，初步设计纤维屈曲缺陷检测评价时各阵列超声波束的发射/接收偏转角度、聚焦深度以及激活阵列孔径。

###### 4) 面外纤维褶皱缺陷的阵列超声检测评价方法

设计基于检测回波 A 扫信号、B 扫及 S 扫图像的面外纤维褶皱缺陷识别定位及定量评价方法，开展检测评价方法可行性理论及实验研

究，优化关键参数的选取区间，初步建立面外纤维褶皱缺陷的阵列超声无损检测评价工艺。

#### 5) 面内纤维屈曲缺陷的阵列超声检测评价方法

设计基于逐层 C 扫图像的面内纤维屈曲缺陷识别定位及定量评价方法，开展检测评价方法可行性理论及实验研究，优化关键参数的选取区间，初步建立面内纤维屈曲缺陷的阵列超声无损检测评价工艺。

### (2) 检测评价方法的实验验证

构建基于阵列超声激励接收控制卡的纤维屈曲缺陷阵列超声检测实验系统，制备预埋纤维屈曲缺陷的铺层复合材料试件，利用研究得出的发射接收方案和检测评价方法开展验证实验。

## 5. 预期成果

- (1) 纤维屈曲/褶皱缺陷超声检测仿真分析报告，1 份；
- (2) 纤维屈曲/褶皱缺陷阵列超声检测方法技术报告，1 份；
- (3) 纤维屈曲/褶皱缺陷阵列超声探头设计指南，1 份；
- (4) 纤维屈曲/褶皱缺陷阵列超声探头，4 个；
- (5) 发表 EI 收录论文，3 篇；申请发明专利，2 项。

## 6. 建议研究周期

24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 25 万元

### 三、热塑性复合材料长桁连续热压成型技术研究

#### 1. 项目背景

随着热塑性复合材料在民机结构中应用比例的增大，其型材类结构应用也越来越多。热塑性复合材料平板和等截面型材，一般使用连续热压成型技术自动化成型。德国 Xperion 公司已采用该技术生产多种热塑性平板和型材结构，并应用于空客 A330/A340 和波音 B787 等型号内饰。随着热塑复材原材料性能水平的提升和工艺需求的优化，该成型技术可能进一步应用于次承力长桁、筋条类等结构的高效自动化成型。

#### 2. 项目归属的重点专业领域

复合材料结构制造

#### 3. 项目目标及技术指标

##### 项目目标：

以 CF/PEKK 或 CF/PEEK 单向带预浸料为原材料，完成以下目标：

- (1) 搭建帽型长桁连续热压成型工艺试验平台；
- (2) 确立帽型长桁连续热压成型工装方案设计参考要求；
- (3) 建立热塑性复合材料连续热压成型工艺技术路线；
- (4) 建立热塑性复合材料连续热压成型参考工艺曲线。

##### 技术指标：

以 CF/PEKK 或 CF/PEEK 单向带预浸料为原材料，采用连续热压成型工艺完成帽型长桁制备，帽型长桁铺层角度需至少包含  $\pm 45^\circ$  和  $90^\circ$ ，具体指标如下：

- (1) 研制热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工艺试验平台, 1套(可用温度 $\geq 410^{\circ}\text{C}$ , 可成型压力 $\geq 2\text{MPa}$ ; 含工装);
- (2) 建立帽型长桁连续热压成型工装方案设计, 1份;
- (3) 帽型长桁制件尺寸: 帽高 30mm, 帽顶内角 R1 为 5mm, 帽顶宽 25mm, 帽底外角 R2 为 7mm, 帽底宽 100mm, 帽腰与底面夹角  $60^{\circ}$  ;
- (4) 表帽形长桁制件表面光滑, 无明显褶皱, 表面允许褶皱高度 $\leq 0.3\text{mm}$ , 所有褶皱内不允许有纤维;
- (5) 帽形长桁制件厚度均匀性偏差:  $\pm 4\%$ ;
- (6) 帽形长桁制件孔隙率:  $\leq 1.5\%$ ;
- (7) 技术成熟度从 TRL2 级提升至 TRL3 级。

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

- 1) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工艺试验平台搭建。
- 2) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工艺路线建立。
- 3) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工装方案设计要求确立。
- 4) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型参考工艺曲线建立。

##### (2) 研究结果的验证方式

- 1) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工艺试验平台(含

工装) 实物和数模目视检查。

2) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工装方案设计参考要求总结报告。

3) 典型制件外观质量目视检查。

4) 典型制件几何精度测量报告。

5) 典型制件孔隙率检测报告。

## 5. 预期成果

(1) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工艺试验平台 (含工装) 实物, 1 套。

(2) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工装方案设计参考要求报告, 1 份;

(3) 热塑性复合材料帽型长桁连续热压成型工装数模, 1 份。

(4) 典型制件几何精度测量报告, 1 份。

(5) 典型制件孔隙率检测报告, 1 份。

(6) 满足技术指标 (第 4 节) 的 3 米级碳纤维增强热塑性复合材料帽型长桁, 1 件。

(7) 项目总结报告, 1 份。

## 6. 建议研究周期

研究周期 24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 50 万元

## 四、连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构 3D 打印技术

### 1. 项目背景

连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构具有比刚度高、比强度高、热稳定性强及吸震性好等特性，被大量应用于飞机升降舵、方向舵以及外部整流罩等。传统的连续碳纤维复合材料蜂窝结构成型工艺如热压罐成型、模压成型等，均需要模具制造、成本高、且需二次加工，此外，蜂窝与蒙皮的连接工艺增加了工序复杂度，难以满足未来飞机高效低成本制造。近年来，3D 打印技术的快速发展，为连续碳纤维复合材料复杂结构件的一体化成型制造提供了新的发展方向，并已成为各国竞相发展的研究热点。发达国家，如美国 Markforged 和 Continuous composites 公司相继开发了商用连续碳纤维复合材料 3D 打印设备，并尝试进一步将其应用于飞机关键零部件制造。我国针对该领域的研究相对较晚，然而也取得了系列成果，最典型的是近期我国成功实现了太空环境下连续碳纤维复合材料的 3D 打印。为提高我国在高端装备制造的国际竞争力，亟待开展高端装备复杂结构件的 3D 打印技术。

### 2. 项目归属的重点专业领域

复合材料结构制造

### 3. 项目目标及技术指标

项目目标：

基于多自由度连续碳纤维复合材料 3D 打印技术，探索新型打印工艺，提高打印件的力学性能，满足实际工程需求；研发多自由度打

印控制系统，提升打印精度与打印效率；研制适用于蜂窝夹层等复杂结构的专业切片软件；实现蜂窝与蒙皮的一体成型，提升整体的密闭性；开发可应用于飞机升降舵、转向舵等碳纤维复合材料蜂窝夹层结构集成打印系统。

技术指标：

- 1) 3D 打印连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构弯曲强度可达 300MPa；
- 2) 3D 打印连续碳纤维复合材料面板拉伸强度可达 350MPa；
- 3) 构建 3D 打印连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构的力学性能数据库；
- 4) 可适用于不同芯形蜂窝夹层结构的一体化制造；
- 5) 可制造尺寸 500mm×400mm, 高 300mm 的复材飞机方向舵试验件；
- 6) 技术成熟度从 TRL2 级提升至 TRL4 级。

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

连续碳纤维复合材料成型新工艺研究。针对复合材料成型工艺存在的空隙多、相间结合性差、Z 轴方向力学性能差等问题，提出多物理场耦合打印的工艺，如在打印工艺的基础上耦合高温热源、压力辊装置，通过对已打印层采用局部加热升温至树脂玻璃转化温度以上，提高相邻打印层的粘接能力，并对打印层施加压力，进一步改善层间粘接，最终获得低空隙、相间结合优异且层间结合良好的零件。

面向蜂窝夹层结构等复杂结构件的专用切片系统的开发。为了避免打印过程大量断点存在，使打印件性能降低的问题，研制出适用于连续碳纤维复材 3D 打印的开源切片软件，实现复杂空间路径的多自由度少断点路径规划。

适用于连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构新设备开发。解决现有设备难实现三维空间复杂结构件的高质量自由成型，开发多自由度、多轴联动的连续碳纤维复合材料设备，充分利用连续碳纤维的张力在无支撑作用下打印复杂空间结构零件。

## **(2) 研究结果的验证方式**

连续碳纤维复合材料力学性能验证，对不同芯形的蜂窝夹层结构进行弯曲测试，弯曲强度应在 300MPa 以上，其中面板拉伸强度在 350MPa 以上，并对断面形貌进行扫描电镜观测，无纤维拔出和空隙缺陷。

建立树脂基体种类、纤维含量、打印路径与构件力学性能的映射关系，构建 3D 打印连续碳纤维复材蜂窝结构力学性能工艺数据库。

## **5. 预期成果**

- (1) 3D 打印连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构工艺指南 1 份；
- (2) 3D 打印连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构试验件 3 件；
- (3) 应用于连续碳纤维复合材料 3D 打印技术研究报告 3 篇；
- (4) 3D 打印连续碳纤维复合材料开源切片软件 1 套；
- (5) 多自由度、多轴联动的连续碳纤维复合材料设备 1 套；
- (6) 3D 打印连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构相关专利 2 项；

(7) 3D 打印连续碳纤维复合材料蜂窝夹层结构相关论文 2 篇；

## 6. 建议研究周期

建议研究周期 24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 50 万元

## 五、面向现场工艺决策的复合材料电气搭接仿真验证技术研究

### 1. 项目背景

现代民机中大幅采用复合材料代替金属，复合材料机体导电率低，闪电/静电防护能力有限。带有金属网的复合材料电气搭接连接，提供低阻抗的导电回路，实现故障电流泄露、闪电防护及静电屏蔽。在缺乏金属机体作为电搭接基本结构的情况下，研究不同的搭接方式、表面处理等工艺要素对复合材料搭接效果的影响，对提高飞机闪电防护、静电屏蔽能力至关重要。因此，开展复合材料电气搭接仿真验证技术研究，提升不同闪电及电磁环境下复合材料电气搭接的仿真技术能力，对飞机总装阶段装配工艺方法的设计以及现场工艺决策具有重要的指导意义。

### 2. 项目归属的重点专业领域

特设工艺专业

### 3. 项目目标及技术指标

#### 项目目标：

通过梳理影响搭接性能的工艺方法（如搭接方式、表面处理、密封方式及紧固件选型），研究复合材料飞机电气搭接仿真理论及建模技术，搭建适用于复合材料飞机电气搭接分析的三维仿真平台；分析不同工艺条件对搭接完整性及抑制电磁干扰能力的影响并形成仿真验证平台下的工艺评估系统，给出适合复合材料飞机电气搭接连接工艺的优化设计方案。

### 技术指标:

- 1) 适用于不少于 3 种金属材料与复合材料的搭接工艺模型。
- 2) 搭建典型闪电及电磁环境仿真验证平台。
- 3) 适用于不少于 3 种工艺过程要素的仿真验证评估, 工艺过程要素包含搭接方式、表面处理、密封方式及紧固件选型等。
- 4) 技术成熟度从 TRL3 级提升至 TRL5 级。

## 4. 主要研究内容

### (1) 拟解决的关键技术

#### 1) 复合材料电学性能建模及模型验证

探索兼顾低频稳定性与高保真性的复合材料建模方法, 包括金属框架结构、复合材料蒙皮、蒙皮表面金属网或带金属导流条、金属框架与复合材料之间不同端接情况下的数值仿真模型建立方法, 进行接触电阻、电流分布、干扰电压等电气性能分析, 以及雷电间接效应分析, 研究参数化的复合材料电气仿真模型建立方法, 并进行仿真验证。

#### 2) 闪电直接效应、间接效应的仿真建模及验证平台搭建

针对飞机遭受闪电后电流密度的分布情况, 通过对机身表面电流密度的数值仿真, 对机身电磁场进行瞬态分析, 探究机身不同位置电场的强度和变化规律, 研究飞机遭受闪电的建模仿真方法, 探索闪电产生的直接效应、间接效应对飞机电搭接性能的影响, 形成有利于闪电防护的搭接工艺方法。

#### 3) 工艺过程对搭接性能影响的机理及仿真评估方法研究

基于建立的仿真平台, 研究复合材料与铝、钛等不同金属进行搭

接时，不同搭接方式（如湿安装、铆窝、紧固件类型）对搭接性能的影响机理，进行搭接模型的电连续性 & 雷电间接效应的研究；在对现有不同搭接方式及工艺要素进行仿真分析的基础上，提出合理的改进建议，形成在不同材料、不同工艺过程下合理的搭接工艺方法。

(2) 研究结果的验证方式

仿真验证及实验验证。

## 5. 预期成果

- (1) 复合材料与不同金属材料电气搭接连接模型 1 套；
- (2) 典型闪电及电磁环境仿真验证平台 1 套；
- (3) 不同工艺条件下电气搭接性能仿真验证报告 1 份；
- (4) 应用于电搭接仿真技术的专利 1 份；
- (5) 学术论文 1-2 篇。

## 6. 建议研究周期

24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 25 万元

## 六、基于多策略的民机航电系统典型功能试验故障诊断技术研究

### 1. 项目背景

针对总装地面功能试验中经常出现的综合航电系统功能故障和系统交联排故问题，目前系统故障隔离、定位与排故以人工查阅故障隔离手册、设计资料、原理图等方式为主，排故方式繁琐、步骤多、耗时长，依赖经验丰富的技术人员。此外，由于总装阶段和运营阶段飞机系统安装状态的不同，故障隔离手册等技术资料无法满足生产排故需求。为迎合日益增长的批产需求，解决功能试验中频发的排故问题、积累排故经验、传承排故技术，本项目拟研究基于多策略的民机航电系统典型功能试验故障诊断技术，提高故障隔离率和定位率，加快生产进度，建立现场智能化排故技术能力。

### 2. 项目归属的重点专业领域

集成测试

### 3. 项目目标及技术指标

#### 项目目标：

该项目以飞机总装地面典型功能试验为研究对象，以飞机通信系统故障诊断与定位为具体研究内容，开展故障数据实时分析、故障数据云存储、故障诊断与预诊、智能排故推理与决策的技术研究，实现地面功能试验中通信系统的功能类、总线类故障的诊断、隔离和定位，结合多策略算法推断真正故障点，提升功能试验排故的数字化、智能化程度，提高功能试验的排故正确率和效率。

#### 技术指标：

1) 支持用户自定义的故障诊断模型和故障诊断算法库的读写；

- 2) 支持专家系统、信号流图、贝叶斯网络、神经网络等不少于 4 种的故障诊断算法;
- 3) 支持故障诊断数据库的云存储和诊断结果的无线终端显示;
- 4) 具备软件辅助现场排故的操作指示功能;
- 5) 故障诊断正确率达到 80%;
- 6) 技术成熟度从 TRL3 级提升至 TRL5 级。

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

- 1) 飞机通信系统多策略诊断知识模型库的构建;

利用通信系统设计资料、工艺资料和现场排故经验,生成标准化、规范化的航电系统多策略诊断排故知识模型,支持简单诊断知识模型快速建模和复杂诊断知识模型图形化及脚本化开发;诊断知识模型可以转化为标准可复用的 XML 或 Excel 文件。

- 2) 飞机通信系统多策略诊断排故推理算法开发

开发基于模型、专家知识和典型案例等的多策略诊断排故推理算法,实现推理过程的跟踪解释、推理结果的融合。根据现场系统安装状态不同,动态构建多信号流图,给出现场系统结构诊断依据,并将诊断依据保存到诊断知识库,为下次诊断提供依据;支持小部件(如开关、线缆等)故障诊断。

- 3) 基于微服务的智能诊断排故服务云端部署

基于微服务的形式对软件功能进行划分,采用分布式架构进行云部署,保证软件平台具有多任务处理能力、系统高可靠性、强扩展性

的特点。平台使用统一的服务调用接口，支持对航电系统典型试验进行故障诊断排故，并支持多种终端设备使用平台。

#### 4) 总装地面功能试验智能诊断排故过程的数据可视化

以动态曲线、虚拟仪表等可视化形式显示功能试验数据，支持试验后分析；当试验数据发生突变或者状态异常时，系统会在监视界面发出语音或视觉报警并打印在监视框中，用高亮颜色显示故障子系统或部件。

### (2) 研究结果的验证方式

提供一套民机航电系统典型功能试验故障诊断系统，并以飞机通信系统为验证对象，结合飞机地面功能试验需求，进行功能验证。

## 5. 预期成果

- (1) 研究方案 1 份；
- (2) 民机航电系统典型功能试验故障诊断系统 1 套；
- (3) 应用于功能试验故障诊断的技术研究报告至少 2 篇。
- (4) 应用于功能试验故障诊断的试验验证报告 1 份。
- (5) 专利及论文各 1 篇。

## 6. 建议研究周期

24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 25 万元。

## 七、基于机器视觉的飞机蒙皮接缝特征智能检测研究

### 1. 项目背景

在飞机装配中，蒙皮接缝因受到加工精度、组装精度以及环境等因素的影响，不可避免地会偏离理想特性，从而影响飞行器的隐身和气动特性。对飞机装配存在的间隙与阶差进行严格控制关系到飞机的气动特性、飞行安全性、飞行成本以及战斗机的隐身性等。

目前，国内航空制造企业主要借助检测塞尺、专用量具和人工观测等手段对飞机装配时的阶差与间隙进行测量，难以精确地描述零部件状态，效率低，精度没有保障。无法实现实时在线测量，更无法将测量数据快速导入计算机，进行在线分析。

本项目结合视觉技术、嵌入式技术、智能控制与智能识别技术，实现对接缝宽度、高度差等特征的智能检测与提取，从而为蒙皮装配提供检测信息。

### 2. 项目归属的重点专业领域

先进装配

### 3. 项目目标及技术指标

**项目目标：**

本项目结合视觉技术、嵌入式技术、智能控制与智能识别技术，通过对蒙皮接缝图像进行机器视觉智能分析与判别，结合现场嵌入式检测技术，开展异源非接触测量数据融合，建立飞行器蒙皮接缝实际特征模型，实现对接缝宽度、高度差等特征的智能检测与提取，从而为蒙皮装配提供检测信息。

**技术指标：**

- 1) 所能达到的精度，宽度检测精度：0.080mm；高度差检测精度：0.030mm；
- 2) 可适用于飞机蒙皮材料等.
- 3) 技术成熟度从 TRL2 级提升至 TRL5 级……
- 4) 识别准确率： $\geq 90\%$ ；
- 5) 响应时间：小于 2s；

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

1) 蒙皮接缝尺寸测量和三维成型算法，利用畸变补偿、轮廓提取、背景补偿等算法，进行尺寸测量和三维成型检测，完成蒙皮接缝质量的数字化检测。

2) 嵌入式自动化视觉测量系统设计，产品更加便于现场应用。

##### (2) 研究结果的验证方式

通过实际检测飞机蒙皮对缝之间、蒙皮与结构之间、舵面与结构之间、机身部段之间等的缝隙，进行智能评价，验证系统的检测效果。

##### (3) 项目主要研究内容包括：

进行基于 ARM 及 FPGA 的嵌入式系统设计研究，实现仪器的便携性；

设计远心放大光路，实现蒙皮图像的高精度测量；

进行自动化视觉测量系统的设计；

研究基于 2D 靶标的相机标定方法，保证视觉系统的高精度；

研究基于三维数据的蒙皮接缝宽度和高度差特征参数提取技术算法及蒙皮接缝尺寸测量和三维成型算法，实现智能判断、智能识别。

## 5. 预期成果

- (1) 工艺指南 1 份；
- (2) 典型件 3 件；
- (3) 应用于蒙皮接缝视觉检测技术研究报告至少 1 篇
- (4) 尺寸特征提取及三维形貌检测算法 1 套.
- (5) 检测软件 1 套；
- (6) 高水平论文 2 篇；

## 6. 建议研究周期

24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 25 万元

## 八、SA 软件权重分配的大部件调姿算法国产化

### 1. 项目背景

在大型飞机调平及部段间装配过程中，为了辅助指导调平和装配机构的调整量及调整方向，保证调平及装配的质量，需要在调平和装配的过程中对飞机或部段的位置和姿态进行测量。

目前国内飞机制造厂使用的位姿测量软件基本都是 SA 软件，该软件都需要从国外进口。近年来我国虽然在航空制造业发展迅猛，但在专用测量软件开发方面还很薄弱，暂时国内还没有成熟的同类型测量软件能够替代 SA 软件。为了避免该类核心技术受制于人的情况出现，将 SA 软件权重分配的大部件调姿算法国产化，实现该类型专用测量软件自主可控已迫在眉睫。

本项目将根据 SA 软件的位姿测量功能，同时结合调平或装配测量现场一些特殊需求，开发一款国产化的调姿算法，该算法可以与摄影测量相机等测量仪器连接，实现测量数据的自动导入与分析；可以对不同的待测特征进行权重分配；可在大部件调姿过程中进行位置测量；可通过特定软件协议接口与调姿机构连接，直接将计算分析结果输出给调姿结构，进行部段位置姿态调整。

### 2. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

### 3. 项目目标及技术指标

**项目目标：**

本项目针对大型飞机调平及部段间装配过程中部段调姿测量的

需求，设计开发一款国产化的调姿算法，综合通过接口与测量设备联机技术、数据及数模的导入与导出技术、坐标系构建与对齐技术、数据分析及处理技术、数据与模型的 3D 显示技术，可以快速与摄影测量相机、跟踪仪等测量设备进行联机，对待调姿部段的位置与姿态进行高精度测量，并将测量结果在电脑界面上实时显示，也可通过接口协议将调姿算法与调姿机构连接，直接将测量结果输入到调姿机构，指导调姿机构进行部段的位姿调整，为飞机调平与部段间装配快速提供高精度的测量结果，保证调平及装配质量。

#### **技术指标：**

- (1) 该算法支持与摄影测量设备、跟踪仪设备等的联机；
- (2) 测量设备采集的测量数据能够自动输入到该算法内；
- (3) 该算法能够导入、导出 STEP、IGES 等格式的 CAD 模型；
- (4) 该算法能够通过“点-点-点”、“点-线-面”方式构建坐标系；
- (5) 该算法能够基于最小二乘法的“数据与模型的最佳拟合功能”将测量数据由测量坐标系对齐到部段设计坐标下；
- (6) 该算法能够通过测量点坐标数据创建拟合标准形体；
- (7) 该算法能够进行点到对象的偏差结果的计算与统计；
- (8) 该算法能够进行点到点、点到形体、形体与形体之间的空间关系的计算；
- (9) 该算法能够通过测量点坐标数据计算部段当前的位置与姿态信息；
- (10) 该算法具有对不同对象分别进行“加权”处理的功能，可以对

不同的对象设置不同的“权重”。

(11) 该算法能够将测量点坐标与 CAD 数模在软件界面上进行 3D 显示；

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

###### 1) 通过接口与测量设备联机技术

研究基于过 TCP/IP 协议或其他接口协议的调姿算法与摄影测量设备或者跟踪仪测量设备间的联机通讯技术。实现调姿算法与测量设备剪得联机通讯、调姿算法可控制测量设备的数据采集、测量设备采集的测量数据自动输入到调姿算法内等功能。

###### 2) 数据、数模的导入与导出技术

研究调姿算法内数据、数模的导入与导出技术，通过与调姿算法接口配合，实现将 TXT 格式的三维点坐标数据文件导入到调姿算法内，将 STEP、IGES 等格式的 CAD 模型文件导入到调姿算法内，将调姿算法内的测量及分析结果数据导出为 TXT 文件，将调姿算法内的模型数据导出为 STEP、IGES 等格式的 CAD 模型文件等功能。

###### 3) 坐标系构建与对齐技术

研究基于“点-点-点”、“点-线-面”方式的坐标系构建技术，实现通过测量数据手动构建坐标系的功能；研究基于最小二乘法的“数据与模型的最佳拟合技术”，实现将测量数据由测量坐标系对齐到部段设计坐标下的功能。

###### 4) 数据分析及处理技术

研究基于测量点坐标数据及标准形体拟合技术，实现在调整算法

内构建拟合各类标准形体功能；研究点到对象的偏差分析技术，实现测量点坐标与对应 CAD 数模间偏差计算与统计功能；研究形体间关系计算技术，实现点到点、点到形体、形体与形体之间的空间关系的计算与统计功能；基于 CAD 理论数模及实测三维数据进行部段位置姿态分析，得到当前时刻待调姿部段的位置及姿态的高精度具体数值。研究针对不同对象可分别进行“加权”处理技术，实现对不同的对象设置不同的“权重”功能。

#### 5) 数据与模型的 3D 显示技术

研究数据与模型的 3D 显示技术，实现在调整算法三维视图中显示、旋转三维点坐标数据与 CAD 数模功能。

#### (2) 研究结果的验证方式

基于软件开发形成的大部段调姿算法，采用飞机部段装配调姿测量实验并与 SA 软件测量结果进行比对方式进行验证。

### 5. 预期成果

- (1) SA 软件权重分配的国产化大部件调姿算法 1 套；
- (2) 软件设计方案 1 份；
- (3) 软件测试报告 1 份；
- (4) 软件定制化的源代码 1 套；
- (5) 软件验收报告 1 份；
- (6) 软件操作手册 1 份。

### 6. 建议研究周期

12 个月

### 7. 所需研究经费

总额 25 万元。

## 九、钛合金/复材多层高效精密制孔工艺链智能决策技术及智能装置

### 1. 项目背景

钛合金/碳纤维复合叠层材料由于其兼具钛合金和碳纤维复合材料的优点已经广泛应用于飞机机翼和尾舵叠层构件中。但钛合金/碳纤维复合叠层材料在传统制孔过程中凸现出来的加工效率低、表面完整性差、刀具磨损快、加工成本高等制造难题严重制约着其在航空制造业中更广泛的应用。究其原因，主要在于钛合金/碳纤维复合叠层材料层内-层间-层边结构特点和不同材料性能的巨大差异。

由于现代大型飞机装配过程中需要加工大量的铆接或螺接孔，对其加工质量、加工效率、加工成本及智能化的要求越来越高，迫切需要开发钛合金/复材多层高效精密制孔工艺链智能决策技术，建立可自动获取制孔全工艺链的工艺智能优选/工艺智能推理/非线性映射机制，研究工艺知识自动挖掘及知识库自动扩充技术，开发钛合金/复材多层高效精密制孔工艺链智能决策系统，并集成于钛合金/复材多层高效精密制孔智能装置中。具有我国自主知识产权的钛合金/复材多层高效精密制孔工艺链智能决策技术及智能装置的开发必将为国产大飞机研制提供重大技术保障。

### 2. 项目归属的重点专业领域

先进装配

### 3. 项目目标及技术指标

**项目目标：**

本项目通过研发钛合金/复材多层高效精密制孔工艺参数智能决策技术及智能装备，满足民机装配过程中对铆接或螺接孔加工精度和

综合性能的要求，可达到进一步提升叠层材料构件产品连接强度、刚度、安全性以及飞机机械性能的目的。针对钛合金/复材叠层材料的特点，研究面向层内-层间-层边不同加工位置材料高效精密去除工艺，阐明制孔刀具表面磨损性能变化规律，在层内-层间-层边材料去除机制、工艺方案智能决策等技术上形成突破，开发出能够自主识别加工材料特性/时空特性并智能决策出多层高效精密制孔工艺参数的全新智能制孔装置。

### **技术指标：**

- (1) 复合材料孔壁粗糙度  $Ra < 3.2$ ;
- (2) 钛合金孔壁粗糙度  $Ra < 1.6$ ;
- (3) 制孔范围覆盖 4.5-20mm;
- (4) 装备进给力及扭矩可调节;
- (5) 啄钻模式可控制;
- (6) 扭矩变化可实时观测;
- (7) 具备叠层间隙监控功能;
- (8) 主轴转速：13RPM-6000RPM;
- (9) 轴向跳动： $\leq 0.02\text{mm}$ ;
- (10) 主轴进给：0.21-0.5mm/s，最大 5.4-9mm/s;
- (11) 进给行程：100mm-200mm（根据工作头具体指定行程）;
- (12) 进给精度：优于 0.1mm;
- (13) 重量： $\leq 10\text{kg}$ 。

## **4. 主要研究内容**

钛合金/复材多层高效精密智能制孔技术涉及到智能决策、制造工艺、力学建模和性能评价等多层次科学问题。针对现代大型飞机装配过程中对该制孔的加工精度和总体性能提出了更高要求，以钛合金/复材叠层材料为研究对象，探明工艺参数对其对制孔过程中切削力、切削温度、制孔表面纹理及微裂纹的影响规律，建立高效精密制孔工艺参数智能优选模型与工艺参数智能推理模型，开发能够自主识别加工材料特性/时空特性并智能决策出高效精密制孔工艺参数的全新智能制孔装置。

### **(1) 拟解决的关键技术**

1. 研究层内-层间-层边不同加工位置工件材料微观裂纹萌生、扩展及材料去除的作用机制，揭示工艺参数（加工深度、进给速度、刀具转速等）对制孔过程中切削力、切削温度、制孔表面纹理及微裂纹的影响规律；

2. 构建基于层次分析法及基于实例推理理论等多种智能技术集成的高效精密制孔工艺参数智能优选模型，建立基于规则推理、遗传算法及粗糙集理论等多种智能技术集成的高效精密制孔工艺参数智能推理模型；研究工艺知识自动挖掘及知识库自动扩充技术；

3. 开发能够自主识别加工材料特性/时空特性并智能决策出多层高效精密制孔工艺参数的全新智能制孔装置，最终形成大型民机钛合金/碳纤维复合叠层材料的高性能精确智能制孔技术。

### **(2) 研究结果的验证方式**

采用试验验证，与传统工艺和技术制孔的加工效率、性能及成

本进行对比，验证制孔精度和性能。

## 5. 预期成果

- (1) 钛合金/复材多层高效精密智能制孔装置 1 台；
- (2) 钛合金/复材多层高效精密制孔工艺参数智能决策软件一套；
- (3) 钛合金/复材多层高效精密制孔工艺参数智能决策技术研究报告 1 份；
- (4) 钛合金/复材多层高效精密智能制孔试验件；
- (5) 申请专利 2-3 项，高水平学术论文 3 篇。

## 6. 建议研究周期

24 个月

## 7. 所需研究经费

总额 50 万元

# 十、飞机机身收缩段对接区小型多自由度精密制孔驱动平台系统

## 1. 项目背景

我国航空业处于高速发展阶段，飞机装配高效率、高精度、高自动化水平的需求日益迫切，质量需求、生产效率以及自动化装备已成为未来航空部件自动化制造的发展趋势。目前，国内外飞机装配企业逐步采用自动化制孔设备实现飞机装配的自动制孔工作，包括机器人制孔系统、柔性轨道制孔系统、爬行机器人制孔系统等。但针对飞机机身收缩段大部件对接区，现有自动化装备仍难以满足现场装配需求，以 ARJ21 支线飞机及 C919 大型客机机身尾段收缩段为对象，目前工装形式复杂，无足够的开场空间采用机器人自动制孔系统，柔性轨道及爬行机器人制孔系统难以适应收缩段双曲结构；且这几种自动化制孔系统不能满足对飞机薄壁件弱刚性的特点，无法解决高精度制孔的需求。

因此针对飞机收缩段自动制孔的需求，基于成型蒙皮薄壁件的局部作业方法，研制高集成化小型多自由度自行走精密制孔驱动平台系统，解决飞机大型薄壁件收缩段精密制孔的技术能力，进一步提升航空制造自动化水平，对国内航空制造企业具有重大意义。

## 2. 项目归属的重点专业领域

先进装配

## 3. 项目目标及技术指标

项目目标：

以提高大型薄壁件柔性化模块化自动化加工能力，降低制造成本及作业周期为目标，针对飞机收缩段装配加工质量及精度需求高、自适应加工等难题，研究开发一套面向飞机机身收缩段对接区蒙皮薄壁件末端制造的小型自行走多自由度精密制孔驱动平台系统。该项研究成果将有利于实现小型自动化精密作业设备在飞机薄壁件精密制造中的应用，对大飞机制造生产线快速升级及打破国外技术壁垒有重要意义。

### **技术指标：**

本项目希望达成以下技术指标：

- (1) 自适应驱动平台：可适应飞机收缩段型面区域、具备移动越障能力；
- (2) 运动定位：系统定位精度 $\sim 0.5\text{mm}$ ；姿态精度 $\sim 0.5^\circ$ ；
- (3) 运动驱动自由度：7 DOF；
- (4) 单体系统装备质量 $\leq 35\text{kg}$ ；
- (5) 制孔精度 H9；
- (6) 将技术成熟度从 TRL2 级提升至 TRL5 级。

## **4. 主要研究内容**

### **(1) 拟解决关键技术**

1) 研究薄壁件钻削力模型、加工机理及加工工艺，分析薄壁材料加工稳定性，确定最优作业执行机构性能指标及设计策略。

2) 研究驱动执行系统宏/微复合驱动技术：研究宏驱动直线驱动机理及驱动方案，建立直线执行器电-磁-力数学模型及样机验证；研

究基于智能材料（磁致伸缩）的超精密驱动机理及自适应控制算法。

3) 研究基于薄壁件面形特征的非接触式自适应定位多维驱动平台系统，研究驱动控制策略及智能算法。

4) 研究多自由度驱动平台集成耦合设计方法及一体化关键技术；研究精密定位补偿及控制策略；利用实验样机系统进行薄壁材料加工实验，验证所采用关键技术可行性。

## **(2) 研究结果的验证方式**

原型样机收缩段模拟件驱动运动平台定位验证，钻孔加工实验及验证。

## **5. 预期成果**

(1) 小型多自由度驱动运动平台制孔系统原型样机 1 套；

(2) 技术研究报告 1 篇；

(3) 申请专利 1 项；

(4) 发表论文不少于 1 篇；

(5) 培养人才：博士研究生 2 名，硕士研究生 1 名。

## **6. 建议研究周期**

24 个月

## **7. 所需研究经费**

总额 50 万元。

# 十一、基于智能感知的机器人轨迹路径自主规划与避障技术研究

## 1. 项目背景

机器人系统在航空制造领域的应用越来越广泛，传统机器人系统是通过在线示教及离线编程的方式完成运动操作。传统手工示教费时费力，适用于小品种大批量操作，一次示教长期重复使用，不适用于航空装配过程多品种小批量的特点；离线编程针对航空复杂结构进行软件仿真及编程，适用于航空装配上千个点位轨迹的编制，但由于航空结构件复杂，尤其是机身内部存在大量的角片、支架，安装过程环境复杂，即便事先进行了离线编程，也难以避免实施过程中发生碰撞及干涉的情况，故机器人在执行程序过程中需对周围环境进行实时感知，监控操作环境，能够自主进行编程及轨迹修正。

## 2. 项目归属的重点专业领域

人工智能

## 3. 项目目标及技术指标

**项目目标：**针对航空制造结构件复杂、零件繁多的特点，开展工业机器人状态感知技术研究，通过多传感器融合及状态感知，实时监控装配环境，指导机器人进行自主编程及轨迹规划，有效实现碰撞避让。

### **技术指标：**

本项目希望达成以下技术指标：

- 1) 形成基于状态感知的机器人自主决策轨迹规划技术方法；

2) 完成机器人自主规划及碰撞避让的动态仿真；

3) 将技术成熟度从 TRL3 级提升至 TRL5 级。

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

###### 1) 多传感器状态感知技术

针对航空装配过程，开展多传感器状态感知技术研究，通过多传感器融合技术与坐标系精确定位技术研究，实时采集装配现场工作环境，并将装配对象与机器人坐标系进行高精度匹配，实现装配对象实时状态感知。

###### 2) 机器人自主决策轨迹规划技术

通过对周围环境的感知及与机器人坐标系的标定统一，进行机器人轨迹自主规划技术研究，使得机器人可以进行碰撞避让及轨迹自我规划生成。

##### (2) 研究结果的验证方式

专家评审，技术文件、测试报告、实物。项目研究结果通过实物进行验证。

#### 5. 预期成果

(1) 基于状态感知的机器人自主决策轨迹规划算法 1 套；

(2) 基于状态感知的机器人自主决策技术研究报告 1 篇；

(3) 发表论文 1 篇；

(4) 申请专利 1 项。

#### 6. 建议研究周期

24 个月

**7. 所需研究经费**

总额 25 万元

## 十二、增材制造用稀土增强铝合金球形粉末循环再利用工艺研究

### 1. 项目背景

稀土增强铝合金粉末材料是目前激光选区熔化成型（SLM）增材制造可用的抗拉强度超过 500MPa 的材料之一，在航空航天、汽车制造等领域具有广泛的应用前景。目前，上海飞机制造有限公司针对高强铝合金增材制造舱门典型构件研制及应用验证的需求，联合西北工业大学、西安铂力特等增材制造领域优势企业正在开展国家重点研发计划《高强铝合金增材制造技术在大型客机和民用航天制造中的应用示范》的研究，目前已完成稀土增强铝合金粉末材料的工艺匹配性验证。而针对实际使用过程中粉末原材料循环利用问题，目前还未开展相关研究，缺少对回收粉末进行处理的规范和标准，无法进行粉末原材料的质量控制。因此，为了降低打印零件质量的不可预测性，提高原材料利用率，降低后续生产成本，早日实现高强铝合金增材制造典型构件的装机应用，针对稀土增强高强铝合金粉末循环再利用的工艺技术研究迫在眉睫。

### 2. 项目归属的重点专业领域

轻质合金结构制造

### 3. 项目目标及技术指标

**项目目标：** 本项目将基于稀土铝合金粉末材料多次循环打印实验，探究循环打印工况下粉末基础理化特性变化的影响因素，明确同批次粉末的化学成分、粒度分布、氧增量、形貌等的变化规律，提出

有效的粉末循环利用工艺方法并形成工艺规范，确保打印制件性能的稳定性，并降低粉末使用成本。

**技术指标：**同一批次稀土增强铝合金粉末循环使用次数 $\geq 10$ 次；成形件无裂纹及明显夹杂，样件抗拉强度 $\geq 500\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 480\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ 。

#### 4. 主要研究内容

##### （1）拟解决的关键技术

###### 1) 循环利用粉末的检测评价与分析体系

粉末在经过多次循环打印后，其化学成分、粒度分布、颗粒形貌等理化性能均会产生一定程度的变化，建立一套循环粉末性能的检测评价与分析体系，制定相关理化特征的检测标准，明确粉末的质量状态，才能为后续粉末的再利用处理提供依据。本项目涉及的粉末检测项目包括但不限于 ICP、粒形粒度分析仪、扫描电镜等。

###### 2) 建立循环使用粉末的理化特性变化与成型件的性能影响关系

同批次粉末多次循环打印后，一方面由于激光与金属粉体激烈作用，部分低熔点元素蒸发，而长期使用过程中杂质元素发生不断累积，带来粉体成分的变化与波动。另一方面，在粉末循环利用过程中，细小的粉末颗粒被吸入过滤系统，大尺寸颗粒发生破碎，粉末的粒径分布也在发生波动，进而影响铺粉过程稳定性与成型件性能；这就需要全面掌握高强铝合金粉末循环再利用过程理化特性演化规律及其对成型件力学性能的影响关系，进而调整粉末化学成分窗口与粒径分布窗口，优化控制区间，确保极限使用情况下粉体质量的稳定性。

### 3) 循环利用粉末的回收混合质量控制技术

粉末在经过多次循环打印后，其粗粉占比明显增多，细粉占比较少，造成粉末松装密度降低，实际可用的粉末不足。此外，粉末的化学成分也会随着打印次数的增加造成元素烧蚀，导致粉末化学成分产生一定程度的变化。对于粉末此类状态的改变，通过注入新粉的方式即可重新满足打印需求。本项目将进行循环再利用粉末回收混合质量控制技术的研究，制定回收过程环境与污染物控制及混粉技术标准，明确新旧粉末混合比例及其混合方法，形成工艺规范。

### 4) 循环再利用粉末的处理工艺研究

粉末经过多次循环使用后，粉末的成分变化、杂质含量、形貌等达到一定的使用阈值时，将会导致粉末物理及化学性能难以满足打印需求，成形件中的缺陷增多，力学性能明显下降，从而造成批次粉末的报废。本项目将进行粉末循环再利用粉末的处理的工艺研究，通过粉末还原再处理、等离子球化等手段，有效改变粉末的质量状态，以继续满足打印过程稳定性与成形件力学性能的要求，提高粉末的使用寿命，降低粉末使用成本，探究循环使用极限粉末的处理工艺具有重要工程价值与意义。

## (2) 研究结果的验证方式

根据本项目研究成果，进行粉末的循环再利用处理，采用处理后的稀土增强铝合金粉末进行多次循环打印，对成形件的力学性能与显微组织进行检测表征，循环使用 10 次内，成形件无裂纹及明显夹杂，抗拉强度 $\geq 500\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 480\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ 。

## 5. 预期成果

- (1) 工艺指南 1 份；
- (2) 实验报告 1 份；
- (3) 铝镁锰钪锆粉末使用说明 1 份；
- (4) 工艺规范 1 份；

## 6. 建议研究周期

研究周期 12 个月

## 7. 所需研究经费

总额 50 万元

## 十三、基于国产激光选区熔化增材制造适航验证方法研究

### 1. 项目背景

激光选区熔化成形技术突破了产品结构形态的约束，能够直接加工出传统制造工艺方法无法加工或难以加工的非常规结构特征的复杂零部件，并可通过最优化的结构设计来显著减轻铝合金构件的重量，相比较传统的制造技术，SLM 成形技术具有成形件性能优异、结构精细、尺寸精度高等特点。对于航空领域零件的轻量化设计、短周期迭代定制化复杂构件的加工制造需求，但如何突破适航，实现零件的装机应用还未明确。

本项目针对激光选区熔化成形工艺适航验证中涉及的设备稳定性、设备计量和鉴定要求、工艺能力鉴定和无损检测等内容中涉及的关键问题，形成检测方法和技术要求，并最终将标准方法在上飞公司 BLT-S310 设备上匹配和验证。

### 2. 项目归属的重点专业领域

智能制造与新材料新工艺应用

### 3. 项目目标及技术指标

#### 项目目标：

本项目根据国产设备使用过程中的反馈信息，通过对激光选区熔化成形设备 S310 进行设备稳定性优化研究，提升设备的稳定性。同步研究金属 SLM 适航条款对制造工艺的要求，获取关键核心技术要求，形成基于适航要求的设备、工艺鉴定和评价标准工作法，并开展验证工作，为实现国产设备生产装机零件提供支撑。

#### 技术指标：

- 1) 适航符合性验证方案（包括设备和工艺）；

- 2) 设备稳定性和工艺稳定性 Cv 优于 5%;
- 3) 不同设备一致性评价方法;
- 4) 技术成熟度从 TRL3 提升至 TRL4;

#### 4. 主要研究内容

##### (1) 拟解决的关键技术

###### 1) 国产 SLM 设备控制技术研究

通过对设备进行控制技术研究,分析设备关键控制点,分类确定可控参数测量和鉴定方法。

###### 2) 基于高强铝合金 SLM 工艺适航鉴定技术

对标适航条款和 AC 文件关键要求,通过理论结合实践的形式,验证关键工艺参数控制方法,通过规划矩阵试验,确定工艺范围确定和验证方法,形成工艺能力鉴定准则并开展验证。

###### 3) 基于高强铝合金 SLM 工艺的无损检测技术

规划无损检测标准方法,通过试验件、典型特征验证无损检测技术的适用性。

##### (2) 研究结果的验证方式

专家评审,技术文件,测试报告,实物。项目研究结果在上飞公司的两台 S310 设备上验证。

#### 5. 预期成果

- (1) 设备计量和鉴定要求文件 1 份;
- (2) 设备一致性报告 1 份;
- (3) 工艺鉴定技术文件 1 份;
- (4) 无损检测技术文件 1 份;
- (5) 实施方案和技术报告各 1 份。

#### 6. 建议研究周期

研究周期为 12 个月

## 7. 所需研究经费

50 万元