国家商用飞机制造工程

技术研究中心创新基金指南

上海飞机制造有限公司

2021年12月

**目录**

**2021-01碳纤维增强热固复合材料成型材料参数均质化的研究 3**

**2021-02复合材料成型过程中预浸料性能参数、层间残余应力和环境变量的测量 6**

**2021-03热塑性复合材料激光原位成型形变主动在线控制技术研究 9**

**2021-04复合材料捻子条结构增材制造技术研究 11**

**2021-05基于无线光学编码的复合材料结构超声快速成像技术及检测系统研究 14**

**2021-06工型长桁低成本自动化制造技术研究 17**

**2021-07面向工业化生产的复材热压罐成型结构热分布的数值仿真研究 19**

**2021-08复合材料制孔缺陷原位高精度快速成像检测技术研究 22**

**2021-09工艺试验过程质量智能控制与变异溯源研究 24**

**2021-10薄壁长桁结构回填式摩擦点焊技术研究 27**

**2021-11大型客机轻合金构件表面强化-光整一体化设计与制造技术 30**

**2021-12激光选区熔化成形TC4钛合金内部缺陷无损检测研究 33**

**2021-13激光熔化沉积起落架用近β钛合金微纳缺陷与残余应力的电磁复合场调控技术 36**

**2021-14商用飞机铝基复合材料结构蓝激光粉末沉积增减材一体化快速制造技术 39**

**2021-15民用飞机钛合金接头激光立体成形（LMD）工艺研究 41**

**2021-16基于双目视觉的机器人末端法向找正技术研究 43**

**2021-17数字化光控系统在航空大部件移载对接中的应用研究 46**

**2021-18面向支线平尾装配的薄壁结构净边加工规划与试验验证 48**

**2021-19民用飞机管路接头电磁脉冲压接技术 51**

**2021-20基于3D扫描重建技术的民机线缆敷设质量评估系统研究 54**

**2021-21基于5G技术用于机舱内部3D点云建模的高精度手持式终端 57**

**2021-22复合材料叠层板冷挤压工艺及疲劳强化机理 59**

**2021-23人机协作气动锤铆系统的创新设计与应用研究 61**

**2021-24基于大数据的喷丸成形疲劳性能预测与正向设计工具开发 64**

**2021-25面向数控加工过程的STEP-NC标准数字孪生技术研究 67**

**2021-26基于应力波高速加载的螺栓干涉安装技术 69**

# 2021-01碳纤维增强热固复合材料成型材料参数均质化的研究

1. **项目背景**

碳纤维增强热固复合材料（复材）是实现航空器“轻量化”的重要途径。复材在制造工艺中的仿真材料性能参数表现为多尺度特性，且和温度、时间相关。当前获取复材宏观性能的主要途径仍是实验，研发的时间成本和经济成本很高，例如商飞每年在复材上的投入超过数亿元。均质化技术可以根据单胞(微观)中碳纤维和树脂的参数快速预测预浸料(细观)和层合板(宏观)的特性，因此有望代替复材的实验表征。然而，现有商业软件仍无法实现多尺度均质化，无法给出各向异性粘弹性刚度矩阵，无法表征材料的时间、温度相关性。

针对上述技术瓶颈，本项目将研发复材成型相关的参数均质化软件，以高效、准确地获取诸多等效特性，满足产业界的迫切需求。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目应用多尺度渐进展开原理，并结合代表体积单元、混合则等方法，探索碳纤维增强热固复合材料等效参数的两步均质化技术。即根据单胞中碳纤维和热固性树脂的特性预测单向预浸料，并进一步预测层合板。开发多尺度均质化软件，考虑温度、固化度和时间相关材料特性，高精度预测热弹性、粘弹性、热传导等性能。该研究将解决现有商用软件诸多痛点，帮助研发人员快速预测复材性能，大幅降低复材的研发成本。

**技术指标：**

1. 软件将满足单向复合材料从单胞到预浸料，再到复杂铺层层合板的等效材料参数预报；
2. 软件能够预报复合材料的三维等效弹性刚度矩阵及热膨胀系数；
3. 软件能够预报复合材料与温度及时间相关的粘弹性松弛刚度矩阵；
4. 软件能够预报复合材料与温度相关的材料密度、比热以及热传导矩阵；
5. 上述参数预测精度详见研究结果验证方式。
6. **主要研究内容**
7. **拟解决的关键技术**

1.复合材料均质化控制方程的确立

复合材料的均质化计算分为两个步骤。第一步，基于渐进展开法和本构模型，推导温度相关弹性刚度、热膨胀系数的均质化控制方程，推导时间、温度、固化度相关粘弹性松弛刚度的均质化控制方程，推导热传导过程中温度相关材料密度、比热和热传到矩阵的均质化控制方程，以实现预浸料等效材料参数求解。第二步，基于渐进展开法和经典层板理论，完成预浸料至层合板的等效材料参数均质化计算控制方程的推导。

2.温度、时间相关材料参数均质化方法

对于温度相关的材料参数将采用多温度工况下循环均质化的方式求解温度相关等效材料参数；对于等效粘弹性松弛刚度则通过单一工况下的两步有限元仿真进行求解。

3.复合材料均质化程序的实现

第一步，从单胞到预浸料的均质化。使用ABAQUS软件直接定义或编写脚本程序的方法实现特征位移场、特征温度场的便捷仿真，利用自编后处理软件求解预浸料的等效材料参数。

第二步，从预浸料到层合板的均质化。分别利用解析法和数值法完成复合材料宏观材料参数求解，计算程序分别基于MATLAB和ABAQUS软件平台开发。

1. **研究结果的验证方式**

研究结果的验证方式有两种：计算验证和实验验证。下表为研究结果的验证方式，细观尺度尺寸较小，因此通过商用软件进行计算验证；宏观尺度大，且商用软件难以进行均质化，因此复材参数采用实验验证，以确保计算软件适配实际工程需求。详细的精度要求见下表。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料特性 | 尺度 | 比较对象 | 精度 |
| 弹性刚度 | 细观 | 商用软件 | < 3% |
| 宏观 | 实验结果 | < 10% |
| 热膨胀系数 | 细观 | 商用软件 | < 3% |
| 宏观 | 实验结果 | < 10% |
| 粘弹性松弛刚度 | 细观 | 商用软件 | < 3% |
| 宏观 | 实验结果 | < 10% |
| 密度 | 细观 | 商用软件 | < 3% |
| 宏观 | 实验结果 | < 10% |
| 比热 | 细观 | 商用软件 | < 3% |
| 宏观 | 实验结果 | < 10% |
| 热传导系数 | 细观 | 商用软件 | < 3% |
| 宏观 | 实验结果 | < 10% |

1. **预期成果**

本项目将研发碳纤维增强热固复合材料的均质化方法，编写等效弹性、粘弹性、热膨胀系数等重要参数的均质化预测程序。预期成果包括：

1. 均质化仿真软件1套；
2. 软件使用说明1份；
3. 复合材料弹性、粘弹性以及温度相关的材料密度、比热和热传导系数均质化仿真算例各1份；
4. 项目中期进度报告1篇，项目结题报告1篇。
5. **建议研究周期和启动时间**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

#  2021-02复合材料成型过程中预浸料性能参数、层间残余应力和环境变量的测量

1. **项目背景**

国产大型客机C929的复合材料用量将超过56%，复合材料成型的品质对客机的制造至关重要。复合材料成型过程中预浸料材料性能性能与温度、时间和压力密切相关，完整、准确地获取预浸料成型过程的材料参数，将直接决定复合材料成型工艺的优化方法。另一方面，预浸料层间残余应力直接影响制件的品质，然而现有方法难以实现预浸料层间残余应力的测量。因此，发展相关测试方法，对复合材料成型过程中预浸料性能参数和层间残余应力进行测量极为重要。此外，复合材料成型时预浸料所处温度达到180℃，压强约2MPa。通过小型化的测量方案，对材料表面温度、压强的实时测量，对于保证复合材料成型仿真的准确性，以及成型过程的监控都具有重要的意义。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项拟针对复合材料成型过程中预浸料性能参数、层间残余应力和环境变量，发展新的测量方法，实现精确测量。具体如下：

1. 综合采用多相机成像、超声法等多种测试方法，获取复合材料成型过程中预浸料在不同温度、固化程度下材料热力学参数；
2. 采用钻孔法对预浸料在成型过程中层间残余应力进行测量；
3. 研发基于纳米合成、浆料研制和丝网印刷等工艺的小型化温度、压力传感器，用于预浸料在成型过程中表面温度、压强的实时测量。

**技术指标：**

1. 模量，精度不低于0.01GPa
2. 热膨胀系数，精度不低于0.000001/℃
3. 残余应力，精度不低于10MPa
4. 传感器温度测量范围0~200℃，精度不低于0.2℃
5. 传感器压力测量范围0~2.5MPa，精度不低于0.1MPa
6. 传感器测量频率不低于1Hz
7. 传感器厚度<3mm
8. **主要研究内容**
9. **拟解决的关键技术：**

1.预浸料性能参数及层间残余应力测量

预浸料在复合材料成型过程中性能参数和层间残余应力的测量难度高。国内外的复合材料成型研究中，通常将预浸料的材料参数视为常数或随固化进程线性变化的量，无法满足国产大型客机中复合材料结构制造的技术要求；层间残余应力则精度低且难以获取。本研究拟通过多种先进测试方法，实现复合材料成型过程中预浸料性能参数与温度、固化程度关系的准确、完整测量，同时发展相关测试技术实现预浸料层间残余应力测量。

2.高温、高压环境下温度、压强的小型化实时测量

预浸料在复合材料成型过程中所处温度达到180℃，压强约2MPa。传统的温度和压强测量方案难以在该测量条件下实现小型化测量，这导致测试设备对成型过程中的测试环境将带来不可忽略的扰动，影响测试结果的准确性；现有的小型化测量方案又无法同时满足180℃和2MPa的温度和压强的测量。本研究拟研发新型的纳米基材、浆料，改进传感器成型工艺等方法，制成阵列分布的镂空片层状传感器，实现高温、高压环境下温度、压强的小型化实时测量。

1. **研究结果的验证方式：**

1.比较常规测量方法在部分易于测量的状态下得到的材料参数和层间残余应力，与本研究中得到的对应材料参数、残余应力的偏差，验证本研究测量方法的合理性；

2.将小型化测量方案用于一般场景中，比较与传统的温度和压强测量方案的测量偏差，验证本研究环境变量测量方法的合理性。

1. **预期成果**
2. 预浸料性能参数测量报告1份；
3. 预浸料层间残余应力测量报告1份；
4. 小型化环境变量测量设备1套；
5. 预浸料表面温度、压强测量报告1份。
6. **建议研究周期和启动时间**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-03热塑性复合材料激光原位成型形变主动在线控制技术研究

1. **项目背景**

作为最先进的热塑性复合材料制造技术之一，自动铺丝激光加热原位成型技术（“非热压罐工艺”）已在波音、空客等客机典型构件制备中得到应用，显示出显著的经济与社会效益。

但是，在自动铺丝过程，存在辊压带来的单向应力累积，同时在层层之间频繁激烈交变的非稳态热应力环境下，成型件内产生显著的内应力，导致变形。而且，随着成型尺寸的增加，应力水平显著增加，形变问题更加严峻，严重影响激光加热均匀性，也引发各类型缺陷的产生。这些问题，制约了激光原位成型工艺的广泛应用。

为解决激光原位成型构件的形变问题，改善成型质量，开展形变主动在线控制技术研究，助力热塑性复材激光原位成型应用水平提升。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对热塑性复合材料激光原位成型过程存在的形变控制难题，基于成型加工过程温度场与应力场控制、应力在线释放等技术，创新地在热塑性复材激光原位成型系统上集成应力在线释放激励单元，在线控制复材原位成型过程的应力水平，结合合理工艺控制，实现结构形变降低30%以上，原位成型制备的典型零件机身壁板蒙皮力学性能达到热压罐工艺处理后的80%以上，推动激光原位成型技术的工程应用水平提升。

**技术指标：**

1）原位成型自动铺丝300×300 mm，同等工艺下，基于应力在线释放激励作用，制件形变降低30%以上；

2）基于应力在线主动控制进行典型零件机身壁板蒙皮激光原位成型，成型零件力学性能达到同批次材料热压罐工艺的80%以上（工艺试验件考核）。

3）可适用于PPS/CF、PEEK/CF等系列高性能热塑性复合材料的激光原位成型。

4）技术成熟度从TRL2级提升至TRL3-4级。

1. **主要研究内容**
2. **拟解决的关键技术**
3. 物理场激励的应力在线释放组件设计与仿真计算
4. 应力在线释放控制与激光原位成型系统集成
5. 基于物理场激励的应力释放激光原位成型形变控制与工艺
6. **研究结果的验证方式**

在热塑性复合材料激光原位成型系统上，集成物理场激励的应力释放组件单元，以PPS/CF材料为研究体系，制备幅面300mm×300mm，8层[0/90]样件。通过测量零件最大变形量，考核物理场激励应力释放组件在热塑性复合材料激光原位成型工艺中形变控制的作用。同时，选择缩比的机身壁板蒙皮典型零件，进行基于应力在线释放激励作用的激光原位成型，以工艺试验件考核方式测试对比零件热压罐工艺处理前后的力学性能，评估零件结构性能。

1. **预期成果**
2. PPS/CF复合材料激光原位成型工艺指南1份；
3. 典型件2件及其性能测试报告；
4. 热塑性复合材料激光原位成型形变主动在线控制研究报告至少1篇。
5. **建议研究周期和启动时间**

研究周期24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元**。**

# 2021-04复合材料捻子条结构增材制造技术研究

1. **项目背景**

大型飞机复合材料构件中的梁肋结构在附模成型时会在拐角处出现较大的三角形空隙，导致构件性能下降，其增强方法主要采用复合材料捻子条填充梁肋三角区。传统捻子条制备方法一般采用手工铺叠成型，其成型质量不稳定，制造周期长。上飞制造公司则采用拉挤成型工艺，提高了捻子条自动化制造的效率与质量稳定性。连续纤维复合材料3D打印（即增材制造）作为一种革新的复合材料成型制造技术，其工艺过程简单，无需模具，材料利用率高，为轻质高强复合材料结构的低成本快速制造提供了一个有效技术途径，正逐渐被航空航天领域所关注。连续纤维复合材料3D打印技术应用于捻子条结构的快速制造，有望进一步提高捻子条结构的设计性、自动化成型精度和效率。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

基于连续纤维复合材料3D打印技术，制备低孔隙率高性能复合材料捻子条结构；针对捻子条长宽比高的结构特点，研发大尺寸、多打印头同步打印系统，提高结构的成型效率；针对热塑与热固树脂间的界面结合问题，探索有效的界面改性方法，根据捻子条实际工况要求，设计强、弱界面，实现热塑性复合材料捻子条与热固性梁肋结构的界面强度调控。最终为3D打印复合材料捻子条在大型民机结构中的应用奠定技术基础。

**技术指标：**

1. 所能达到的外形精度0.5 mm；
2. 可制造尺寸1000 mm×20 mm 高20 mm的复合材料捻子条结构；
3. 3D打印复合材料捻子条内部孔隙率＜3%；
4. 捻子条与梁肋结构间的界面调控，强界面：界面剪切强度＞40 MPa，弱界面：界面剪切强度＜10 MPa；
5. 技术成熟度从TRL２级提升至TRL４级
6. **主要研究内容**
7. **拟解决的关键技术**
8. 大尺寸、多打印头连续纤维复合材料捻子条增材制造技术研究。针对捻子条长宽比高的结构特点，开发大跨度、多打印头同步打印技术，实现多根捻子条结构同步制造，进一步提高其成型效率。
9. 连续纤维复合材料捻子条增材制造缺陷控制技术。基于连续纤维3D打印缺陷形成机理，开展缺陷控制方法研究。对于微观尺度的束内缺陷，通过纤维界面改性、熔腔喷嘴结构设计促进纤维与基体的熔融浸渍，以降低复合材料束内缺陷率。针对细观尺度的束间、层间缺陷，开发超声滚压技术提供额外固结压力，从而获得低层间缺陷的3D打印复合材料捻子条结构。
10. 热塑与热固树脂界面改性技术研究。通过物理或化学的方法对3D打印热塑性基体材料进行表面改性处理，实现捻子条与梁肋结构的界面黏结强度调控。对于服役承载的捻子条结构，设计强界面，从而使构件性能获得最大化；对于赋形用的捻子条结构，则设计弱界面，以降低捻子条在构件成型后的脱模难度。
11. **研究结果的验证方式**

对3D打印复合材料捻子条外观轮廓进行三维扫描测量，与设计值相比，其外形精度误差应小于0.5 mm；通过金相显微镜或高精度CT断层扫描观察捻子条内部微观结构，其孔隙率应小于3%；对捻子条与热固性环氧复合材料的界面结合强度进行力学测试，强、弱界面的界面剪切强度应分别大于40 MPa和小于10 MPa。

1. **预期成果**
2. ３D打印连续纤维复合材料捻子条结构工艺指南１份；
3. 热固、热塑界面改性技术方案１份；
4. 3D 打印连续碳纤维复合材料捻子条结构试验件５件；
5. 应用于复合材料捻子条结构3D 打印技术研究报告至少２篇
6. 大尺寸复合材料捻子条增材制造设备1 套；
7. 3D 打印连续碳纤维复合材料捻子条结构相关专利１项；
8. 3D 打印连续碳纤维复合材料捻子条结构相关论文2篇；
9. **建议研究周期和启动时间**

建议研究周期24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-05基于无线光学编码的复合材料结构超声快速成像技术及检测系统研究

1. **项目背景**

目前，复合材料结构的超声无损检测主要依靠手动A扫描或自动化的C扫描，但手动超声A扫描检测无图像记录，可追溯性差，检测准确性依赖检测人员经验，而自动化超声C扫描主要依靠大型机械系统实现，检测成本高，对于复杂型面需要耗费大量的时间需要进行仿形，检测效率低，可检测的零件尺寸受限于机械系统尺寸，通用性差。

虽然目前出现了如滚轮等手动C扫描系统，但其依靠机械编码实现位置信息的采集，机械编码采用的物理接触对操作要求很高，在检测过程中容易丢失位置信息，导致成像效果差、检测效率低，且难以实现复杂型面结构的成像检测。

因此，亟需开发一种操作简单、通用性好，采用无线编码的超声快速成像技术和便携式检测系统，解决A扫描无法成像，C扫描成本高等问题，实现复材结构高效原位准确成像检测。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对民机复材结构高标准的质量要求，开发一种基于无线编码的超声快速成像技术，替代传统的机械编码形式，实现探头位置信息与超声信号的同步采集和快速的三维成像，同时开发相应的检测软件及便携式检测系统，同时实现基于常规超声与相控阵检测技术的便携式超声成像检测，解决传统A扫描无法成像，C扫描成本高等问题，实现复材结构的快速原位成像检测。

**技术指标：**

1）复合材料层压板的可检测厚度不小于10mm，最小可检缺陷φ6mm，检测速度不小于100mm/s；

2）检测过程中可同时实现A、B、C型显示；

3）缺陷的定位误差不大于1mm；

4）技术成熟度从TRL2级提升至TRL4级。

1. **主要研究内容**

（1）无线光学编码定位技术集成与定制开发

针对超声检测特点，开展无线光学编码定位技术集成与定制开发，主要是构建无线光学编码的测试硬件系统，开展电路原理图设计，选择合适的光学引擎芯片与配套的透镜，并制造相关的配套硬件，设计相应的校准程序以配，对光学编码位置做出标定和校准，形成满足超声检测用的无线光学编码系统。

1. 无线光学编码系统的通讯技术开发

使用matlab等工具构建数学模型，搭建mcu开发环境，对应光学引擎的驱动逻辑，来构建设计无线光学编码软件驱动程序，主要是读取光学引擎的数据，并开发位移算法，初步设计一个usb接口的驱动，方便快速上传位移数据到上位机，同时通过上位机的接口库，实现usb口与光学位移处理的muc通讯。

1. 基于常规超声检测的无线编码装置及成像技术开发

开发基于常规超声检测的超声板卡的接口协议，并编写相应的接口程序，获取单晶片板卡的接收数据，同时开发单晶常规探头的无线编码装置，将通过光学编码获得的的坐标数据与常规单晶片探头的超声数据进行融合，形成检测数据和坐标数据的一一对应关系。

1. 相控阵探头的无线编码装置及成像技术开发

开发基于相控阵超声检测的超声板卡的接口协议，开发相控阵接收数据的模块，开发相控阵探头的无线编码装置，同时基于光学定位系统的数据，设计出解决两个坐标间的偏转角算法，以适应相控阵探头的除x，y坐标外的偏转角的问题，同时将次三个位置数据与相控阵探头所采集的超声数据融合。

1. 检测软件开发及检测系统集成与验证

搭建基于无线光学编码的复合材料结构检测原理样机，设计并开发相应的检测软件，实现基于常规超声与相控阵超声的快速超声成像，并开展检测试验验证。

1. **预期成果**

（1）基于无线光学编码的复合材料结构超声快速成像技术研究报告，1份；

（2）基于无线光学编码的复合材料结构检测原理样机，1套；

（3）基于无线光学编码的复合材料结构成像软件，1套；

（4）软件著作权，1项，申请发明专利，3项。

1. **建议研究周期和启动时间**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-06工型长桁低成本自动化制造技术研究

1. **项目背景**

C919大型客机平尾及垂尾壁板长桁均为工型复合材料结构，具有较高的结构效率。然而，由于工型结构形式相对较为复杂，具有较大的制造难度，在目前的型号生产过程中均采用手工铺贴的方式进行制造。这就导致了工型长桁在制造过程中存在材料利用率低、自动化程度低、生产效率低、生产成本高、生产周期长等问题。在C919大型客机进入批产阶段后，这些问题会更加凸显，现有的产能将会严重不足，因而有必要针对目前的现状开展工型长桁低成本自动化制造技术研究，解决影响型号批产提速的这些瓶颈问题，使工型长桁的批生产速率能够得到大幅提升，以满足C919型号的后续交付需求。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对C919大型客机尾翼工型长桁，采用自动铺带、热隔膜等自动化的手段，提升工型长桁制造过程的自动化程度，缩短制造周期，并通过优化工艺方式的手段，提升材料利用率，降低制造成本，为C919大型客机的批生产提速提供有效的解决方案。

**技术指标：**

1. 采用低成本自动化制造的工型长桁外观质量良好、厚度指标合格、铺层内部无超标的无损检测缺陷、并且内部纤维走向规整无褶皱，符合C919大型客机复合材料验收技术指标要求。
2. 采用低成本自动化制造的工型长桁制造周期不大于现有手工制造周期，制造成本不高于5倍材料成本。
3. 技术成熟度从TRL4级提升至TRL6级。
4. **主要研究内容**
5. **拟解决的关键技术**
6. 高效率低成本平面自动铺放技术
7. 大长宽比预浸料层热隔膜预成形过程精准定位技术
8. 工型长桁自动化制造及质量控制技术
9. **研究内容**
10. 工型长桁低成本自动化制造技术方案设计

本项目将针对目前工型长桁手工制造过程中人工参与较多、制造成本较高、影响批产效率的工序进行制造方案优化设计。主要包括将手工铺贴变为自动铺带+热隔膜预成型，自动铺带设备采用只能铺贴平板的低成本设备；采用自动化/半自动化的手段降低脱模风险，提高脱模效率；优化机械加工方式，降低加工成本等。

1. 工型长桁低成本自动化制造质量影响研究

采用低成本自动化制造的工型长桁，由于制造方式的改变，需要对其制造质量重新进行验证。本项目中对于制造完成的长桁主要进行外观质量、厚度、内部无损检测质量及纤维褶皱情况等技术指标检测。

1. 工型长桁低成本自动化制造成本测算与比较

目前，采用手工方式制造的工型长桁存在制造周期长、成本高的问题。然而，对于民机结构件来说，制造成本是影响飞机竞争力的关键指标之一，因此，对于制造成本需要进行严格的控制。本项目中将针对采用的低成本自动化制造技术进行详细的成本测算，并与现有手工制造成本进行比较。

1. **研究结果的验证方式**

结合汇报资料进行实物验证。

1. **预期成果**
2. 试验工装不少于1件；
3. 典型试验件不少于3件；
4. 工艺指南不少于1份；
5. 研究报告不少于2份。
6. **建议研究周期和启动时间**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-07面向工业化生产的复材热压罐成型结构热分布的数值仿真研究

1. **项目背景**

民机复合材料零部件制造过程中，热压罐是产品固化成型的关键设备，然而，受热压罐热风循环加热特性、复合材料结构特征、成型工装以及固化工艺等环境因素影响，复材结构制造过程往往热分布差异大，存在不符合工艺规范的风险，进而制约复材结构制造技术的发展和工程稳定应用。

现有复材结构的热分布研究主要关注成型工艺参数和本体工装结构特征对产品的影响，对于不同类型热压罐结构、热风循环加热特性差异、多工装多复材构件罐内摆放方式等对数据的影响分析较少，并且缺乏对大尺寸复杂结构制件热分布的高效精确预测方法和优化手段。

因此，通过工艺仿真手段研究不同热压罐对复合材料构件热分布影响机制，并阐明多个构件同时固化下热压罐热流传递规律及其对复材构件热分布影响，确定多个构件在热压罐的排产分类方式与热电偶布局方式，在此基础上开展复材结构热压罐成型过程热分布高效精准预测与优化技术，以形成民机复合材料零部件固化指导方案，亟待突破。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对复材结构热压罐成型的热分布工作中出现的数据波动/异常、缺乏必要的热分布预测和仿真分析等问题，开展复材结构热压罐成型工装热分布高效精准预测与优化研究，探明不同热压罐结构、加热特征对工装热分布温度场的影响，建立复材构件及工装热分布预测模型，实现零件固化全程的温度场准确预测；在此基础上，探索多类型热压罐系统和多工装排布对热均匀性的影响规律和热分布优化方法，为完善工艺规范提供热分布理论依据和指导。

**技术指标：**

1. 不同热压罐空载温度场的预测精度达到±2.8℃以内；
2. 实现至少两种类型热压罐系统（包含上飞的美国ASC和德国肖茨）进行典型复材结构成型工装及构件热分布预测的领先和滞后结果与实测结果一致；
3. 研究成果可用于指导多构件进同一热压罐、或者同一构件进不同热压罐的布局策略并经过生产验证；
4. **主要研究内容**
5. **拟解决的关键技术**
6. 复合材料构件及工装热分布预测技术

考虑强制对流换热、热传导及热辐射理论，结合热压罐外热源与复合材料非线性内热源，分析成型过程中构件材料转变与整体结构温度历程，预测不同热压罐系统对复合材料构件及工装的热分布影响，寻找规律。

1. 多工装入罐固化的摆放位置优化技术

基于仿真分析模型和实验，针对多工装入罐的实际情况，探明不同种类复合材料结构/多工装摆放等对成型过程热均匀性的影响规律，分析大型复材结构多工装入罐固化过程中工装、构件的热均匀性，提出多工装共同固化时的摆放位置优化方案。

1. 大型复材结构热压罐成型过程热分布高效精确预测

系统开展大型热压罐尺寸、结构和工作特性等对复合材料结构及工装热分布的仿真与实验研究，揭示不同类型热压罐特性对复合材料结构成型过程热分布的影响机制，建立大型复合材料热压罐成型工艺全过程多物理场耦合热分布预测模型，开发兼顾计算精度和效率的大型热压罐成型过程热分布仿真分析平台，实现整个热压罐过程的热分布准确预测。

1. **研究结果的验证方式**

通过不同类型热压罐开展的典型复材结构成型实验，或者已有的热分布数据进行验证。

1. **预期成果**
2. 不同热压罐系统的空载温度场规律研究报告
3. 不同热压罐系统的单个典型结构的零件工装温度场规律研究报告；
4. 不同结构零件、不同工装的拼罐原则指导手册（至少涉及两类热压罐系统）
5. 复合材料构件热压罐成型过程热分布仿真分析技术手册；
6. 国内外重要刊物上发表论文不少于2篇；
7. 专利不少于2项。
8. **建议研究周期和启动时间**

 建议研究周期24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元

# 2021-08复合材料制孔缺陷原位高精度快速成像检测技术研究

1. **项目背景**

复合材料制造成型后，需要进行一些机械加工以满足构件连接和装配的需要。由于碳纤维复合材料的力学性能呈各向异性，且其硬度大、强度高，使得机械加工条件较为恶劣，易产生劈裂、分层、孔壁划伤等加工缺陷。

在分层缺陷的检测方面，目前主要采用声学检测方法，包括声学显微镜法、超声C扫描法、激光超声法，还有X射线法、CT等检测方法。这些方法多用于分层缺陷的离位局部检测。

由于复合材料连接孔数量大，孔边分层缺陷向内延伸范围小，检测灵敏度要求高，需要不移动探头完成高精度的原位快速扫查成像检测。研究原位快速扫查成像检测方法势在必行，而且这项研究成果有望推广到复合材料铆接孔的分层缺陷检测阶段使用。

1. **项目归属的重点专业领域**

先进装配

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

通过项目研究，解决复合材料连接孔制造和铆接使用过程中产生的孔边分层缺陷的高精度快速成像检测问题，并设计孔边非预埋分层模拟缺陷试块制作方法。

**技术指标：**

1. 技术使用范围：碳纤维复合材料厚度3mm-10mm；
2. 检测精度：复合材料板孔边可检测径向分层≤3mm分层缺陷；
3. 完成单孔检测时间≤1分钟；
4. 技术成熟度从TRL3级提升至TRL5级。
5. **主要研究内容**
6. **拟解决的关键技术**
7. 特殊面阵列探头的设计及聚焦方法
8. 针对复合材料连接孔的分层缺陷成像检测，需要设计一种圆形面阵探头，可在径向和轴向两个方向上进行聚焦和电子扫查。
9. 阵列探头聚焦成像优化算法
10. 针对圆形面阵，设计聚焦方式和聚焦算法，以适应制孔分层或铆钉连接孔分层缺陷的扫描检测。
11. 孔边径向3mm分层非预埋模拟缺陷的制作工艺
12. 设计一种非预埋制作工艺，制备出孔边3mm空气分层模拟缺陷试样,并用射线方法进行标定。
13. **研究结果的验证方式**
14. 用复合材料标准分层缺陷试块验证本项目方法的缺陷检测能力；
15. 用复合材料加工孔零件验证适应性和检测效率；
16. 用复合材料铆接零件验证孔边缺陷检测适应性。
17. **预期成果**
18. 探头设计指南1份；
19. 非预埋分层缺陷制作工艺指南1份；
20. 非预埋分层缺陷模拟试样2件；
21. 圆形面阵探头聚焦方法指导文件1份；
22. 孔边分层缺陷原位扫描成像检测工艺一份。
23. **建议研究周期和启动时间**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-09工艺试验过程质量智能控制与变异溯源研究

1. **项目背景**

航空工业的工艺要求是飞行器结构件最基础层级的工程要求，科学合理的工艺要求是飞行器结构完整性的必要条件。工艺试验的目的是获得工艺规律，即工艺技术条件与工艺试验结果的关系，以支持工艺要求的建立。工艺试验件制备过程不仅携带了有意设计的各种工艺技术条件，还包含各种变异（波动）。为了在工艺过程正向设计中建立科学合理的工艺要求，针对稳定一致工艺试验环境的迫切需求，需要开展工艺试验过程质量控制与变异源分析控制研究。工艺试验过程（如增材制造、焊接、激光加工）产生的大量多源异构数据为过程质量控制提供了复杂却极为重要的数据源，为开展基于数据驱动的工艺试验过程质量智能控制与变异溯源提供了重要途径。

1. **项目归属的重点专业领域**

工艺试验验证

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对航空工业工艺试验过程具有高质量与高稳定性的迫切需求，面向复杂制造过程中多源质量数据信息集成难题，研究基于深度学习与多源数据融合集成技术，重点突破制造全过程的统一信息描述、关键过程变量提取、多源信息融合、过程量化监控与诊断体系等关键技术。实现设计信息、制造工艺、制造过程正向控制链，打通失控信息、制造过程、制造工艺、设计信息的逆向质量追溯证据链，提高工艺试验过程稳定性、质量一致性和工艺可靠性。

**技术指标：**

1. 实现关键工艺试验过程的信息化与智能感知，包括在过程控制变量与输出特性变量感知，为试验测试过程的数据层制定标准；
2. 实现先进传感、控制、检测、装配质量、过程诊断、质量溯源的集成，为工艺试验过程的制造工艺优化制定提高标准；
3. 加工工序异常探测率达到95%以上，失控诊断率达到85%以上；
4. 研制一套工艺试验过程质量控制系统，具备过程变量分析、变量选择、制造过程状态建模、动力学分析、过程监控与诊断等核心功能。
5. **主要研究内容**
6. **拟解决的关键技术**

本课题研究航空部件工艺试验过程质量的主动性建模与精确控制，重点在于工艺过程变量分析处理、特征提取与选择、多源信息融合、状态动态建模、异常量化与预测、知识提取与应用，达到工艺试验过程工艺优化提升与标准制定，拟解决的关键技术如下：

1. 工艺试验过程异构数据融合分析研究: 建立基于信息物理系统的“数控设备-工业机器人-加工工艺多元环境感知-加工过程智能控制模型”闭环系统；
2. 工艺试验过程状态自适应建模：研究建立航空部件制造过程设备、人、机器、 流程、生态链上采集的多源异构数据进行分析，实现制造过程状态进行在线自适应建模，研究提取量化过程状态的指标实施在线量化监控；
3. 工艺试验过程状态量化监控动态辨识：实现对关键部件尺寸偏差累积、耦合、消除、传递机理的研究，将工程实际问题抽象到逻辑和数学模型表达，实现对部件尺寸偏差流建模与过程输入与输出间复杂关联性建模；
4. 工艺试验过程故障诊断体系与控制决策过程：通过集成学习与增量学习相融合的缺陷识别方法，在线建模与辨识产品缺陷模式，挖掘可理解和可信任的缺陷模式分类规则揭示制造过程失控的内在因果关系。
5. **研究结果的验证方式**
6. 研制一套工艺试验过程质量控制系统，在航研所的增材制造系统等进行具体验证，符合相关的技术指标；
7. 指导试验验证中心工艺试验过程质量控制体系标准，以技术报告形式进行验证；
8. 在增材制造等工艺质量控制过程的工艺指南，以技术报告与指南形式进行验证。
9. **预期成果**
10. 基于深度学习与多源数据融合的工艺试验过程质量控制体系标准1个；
11. 典型工艺过程（如增材制造、焊接、激光加工）的优化制造工艺指南1份；
12. 基于深度学习与多源数据融合的航空部件试验验证中心工艺试验过程质量管控软件系统1套；
13. 总结形成基于深度学习与多源数据融合的航空部件试验验证中心工艺试验质量智能控制系统设计方案和实验分析结果报告1套；
14. 发明专利申请1项；
15. 论文发表2篇。
16. **建议研究周期和启动时间**

研究周期24个月

启动时间：2022年1月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-10薄壁长桁结构回填式摩擦点焊技术研究

1. **项目背景**

薄壁长桁结构广泛应用于航空航天领域，多数情况下，此类结构多采用铝合金材料且广泛应用铆接进行连接。近年来，随着对结构减重、绿色生产、生产效率提升的需求，人们对薄壁长桁的新技术产生了浓厚的兴趣，如今有多项可代替的技术，如双束激光焊、摩擦焊、激光-电弧复合焊等先进焊接方法，正在被开发。

回填式摩擦点焊作为一种在摩擦焊基础上发明的固相点连接技术，相比于传统铆接技术具有工艺流程简单、单点强度高、无需辅助材料、可多次返修、焊接变形小等优点，现已被广泛的应用于同种或异种轻质薄壁合金的连接研究中，本项目拟开展2060-T8铝锂合金与2099-T83铝锂合金回填式摩擦点焊研究，探讨此项技术应用在薄壁长桁结构中的可行性。

1. **项目归属的重点专业领域**

轻质合金结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对薄壁长桁结构对减重、高强度、高可靠性的需求，开展2060-T8铝锂合金（蒙皮）与2099-T83铝锂合金（桁条）回填式摩擦点焊研究，在可焊接厚度、接头强度、及焊点内部质量进行分析研究，并与同规格铆接结构进行对比分析。项目拟从焊接工具入手，通过设计不同形状的搅拌套或搅拌针，研究工具截面形状对材料流动及界面成形的影响，评估其对焊接过程缺陷产生的抑制作用，并建立焊点力学性能变化与焊接工具使用周期内的频次的关系，确认焊接工具寿命周期内焊点力学性能一致性。最终获得质量稳定、连接强度高的回填式摩擦点焊接头。

**技术指标：**

1. 可实现焊接厚度：1.2mm~2.0mm厚度2060铝锂合金；
2. 焊点抗剪切力：不小于5kN；
3. 焊点连接强度离散度：不大于10%；
4. 点焊接头内部质量满足QJ20496-2016 I级接头标准。
5. **主要研究内容**

回填式摩擦点焊由于特殊的焊接工具结构及焊接过程，其成形原理为搅拌套压入试板后破坏上下试板连接界面并在材料回填后实现上下试板搭接连接。此种焊接过程由于焊接搅拌工具对焊点外材料的搅拌作用较低，但焊点内部材料迁移范围大，导致回填材料与母材间材料特征差异较大，易产生侧面弱连接；同时，焊接工具下压及材料回填过程中上下试板界面处材料受挤压形成Hook缺陷。因此，焊点强度受缺陷影响较大且可靠性较低。本项目主要研究内容针对铝锂合金回填式摩擦点焊开展，主要有：

1. 采用非圆截面代替现有的圆柱形焊接工具，通过在焊接工具与材料接触面加工特征增加材料流动性；
2. 进行正交试验，研究焊接参数与焊点内部质量关系，探索最佳工艺窗口。
3. 对点焊接头进行拉剪与十字拉伸试验，并分析接头断裂模式。

对应的关键技术有：

1. 截面特征与焊点内部质量关系；
2. 截面特征对上下试板界面成形的影响；
3. 焊接工艺参数对接头力学性能的影响；
4. 焊点微观组织结构特征及失效模式分析。
5. **预期成果**

5.1 技术文件类成果

1. 技术总结报告1份：《薄壁长桁结构回填式摩擦点焊技术研究》；
2. 测试及试验报告1份：2060铝锂合金回填式摩擦点焊接头力学性能测试报告；
3. 图纸1份：带截面特征回填式摩擦点焊工具；
4. 拟发表论文1篇：2060薄壁长桁结构的回填式摩擦点焊技术方面论文

5.2 实物类成果：

1. 带截面特征焊接工具2套；
2. 1.2mm、1.6mm、2.0mm厚度2060铝锂合金焊接试样各5件；
3. 2060铝锂合金薄壁长桁结构样件1件
4. **建议研究周期和启动时间**

建议研究周期：12个月；

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-11大型客机轻合金构件表面强化-光整一体化设计与制造技术

1. **项目背景**

表面强化工艺如机械喷丸、激光喷丸等是提高大型客机轻合金结构件疲劳寿命的重要手段。然而，上述表面强化工艺存在诸多技术问题，如机械喷丸可控性差、界限定位不准；喷丸表面易受喷丸材料成分污染；喷丸后丸粒需收集、清洗、分级和去除破粒；且喷丸强度过高时，引起表面粗糙度增大、表面脱层或开裂等不利因素，降低喷丸的强化效果。而激光喷丸设备成本高昂；工艺复杂，需要引入吸收层和约束层；易产生表面波纹，引起表面粗糙度增大。本项目拟开发一种新型的高频表面微锻技术，通过对零件表面进行高可控机械冲击，在一个工艺过程中同时实现表面强化与光整，获得满足设计需求的高性能构件表面。与其他工艺相比，微锻工艺可达性好、一致性高、可控性强、成本低、加工过程零污染、能够在复杂形状零件表面任意区域内完成表面强化-光整一体化设计与制造。

1. **项目归属的重点专业领域**

所属专业：制造-工艺

重点领域：绿色制造与新工艺应用

项目属性：前沿探索

1. **项目目标及技术指标**

**(1)项目目标：**

针对现阶段机械喷丸、激光喷丸等表面强化工艺局限性，提出基于高频表面微锻工艺的大型客机铝合金/钛合金结构件表面光整与强化技术，探明高频有序的表面冲击对零件表面完整性（包括表面粗糙度、表面形貌、表面显微硬度、残余应力场分布以及疲劳强度等）的影响规律，在单一加工工序中完成大型客机典型轻合金（铝合金/钛合金）零件表面的强化与光整。

**(2)技术指标：**

1. 高频表面微锻工艺参数在冲击频率100 Hz - 600Hz，单次冲击能量 2 -120 mJ范围内精确可调；
2. 铝合金（7050-T7451）和钛合金（Ti-6Al-4V）试样表面经单次微锻后达到以下性能指标：表面粗糙度不高于Ra~0.4，指定方向表面层最大残余压应力大小不低于800MPa（钛合金）和450MPa(铝合金)，残余应力场深度不低于1mm；表面硬度提升10-20%；依据HB7110-1994，微锻工艺对钛合金/铝合金材料细节疲劳额定强度截止值提升幅度优于现阶段机械喷丸工艺。
3. 微锻装置可与龙门数控机床/工业机器人集成，可在大尺寸且具有复杂几何形状的零件表面完成加工。
4. **主要研究内容**
5. 钛合金/铝合金零件表面高频微锻加工与工艺调控机理研究

开发电磁场驱动的高频微锻装备，通过对高频微锻过程进行动力学仿真分析确定实现稳定高频微锻运动的参数窗口；基于单点微锻实验，揭示通过精确可控的高频冲击作用实现零件表面光整与强化的加工机理，为高频表面微锻工艺调控提供理论基础。

1. 钛合金/铝合金零件表面高频微锻对其表面完整性与疲劳强度的影响规律研究

研究高频微锻冲击过程对零件表面光整与强化的影响规律，揭示微锻工艺参数，如微锻冲击速度（冲击能量）、冲击角度、搭接率等，对加工零件表面完整性，包括表面粗糙度、表面及亚表面损伤与缺陷、表面形貌、显微硬度以及残余应力场分布以及疲劳强度/寿命等性能指标的影响；开发以提升零件表面疲劳强度与服役寿命为优化目标的微锻工艺参数优化方法，针对典型铝合金/钛合金结构件构建微锻工艺数据库。

1. 数字孪生驱动的微锻加工过程健康状态监控技术

构建微锻加工过程的数字孪生模型，实现微锻加工状态数据的实时在线采集，包括冲程、冲击力（能量）、冲击位置与角度等，并将其映射在加工零件表面，获得基于三维空间的微锻加工状态数据。开发基于零件加工表面几何位置的微锻加工状态健康区间判定准则，实现零件表面微锻加工过程的健康状态监控。

1. **预期成果**
2. 揭示高频表面微锻对零件表面光整与强化的加工机理，掌握其工艺调控方法，采用高频表面微锻工艺在一个加工过程中同时实现零件的表面光整与强化；
3. 铝合金/钛合金表面高频微锻加工工艺技术研究报告与相关实验报告；
4. 典型钛合金/铝合金加工试验件及典型验证件；
5. 发表论文2篇，申请发明专利1项。
6. **建议研究周期和启动时间**

建议研究周期24月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-12激光选区熔化成形TC4钛合金内部缺陷无损检测研究

1. **项目背景**

增材制造（Additive Manufacturing, AM）技术（也称为3D打印技术）是20世纪80年代后期发展起来的新型制造技术。随着近年来的发展，增材制造技术面向航空航天、新材料等战略新兴产业领域展示了广阔的应用前景，势必引领完成传统制造模式向设计/制造/材料三位一体发展模式的转型。激光选区熔化成形（Selective Laser Melting，SLM）技术属于增材制造技术中主流的成形工艺。商用飞机制造广泛使用的钛合金结构可应用激光选区熔化技术完成快速制造成形，作为一种新工艺，应用在商用飞机制造领域需对材料内部质量进行全面系统的分析，深入研究激光选区熔化成形TC4钛合金材料内部缺陷与形成机理，通过微纳CT全面分析不同工艺参数对内部气孔、未熔合等缺陷的影响，形成材料-设备-工艺-性能系统性数据库，为激光选区熔化TC4钛合金应用于商用飞机制造提供数据积累和基础技术储备。

1. **项目归属的重点专业领域**

轻质合金结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对激光选区熔化成形TC4钛合金材料，开展无损检测技术研究。从试样级到零件级开展无损检测方法研究，针对TC4钛合金内部缺陷，开展工业CT检测分析，全面分析不同工艺参数对内部气孔、未熔合等缺陷的影响，形成材料-设备-工艺-性能系统性数据库。通过对增材制造结构件进行微纳CT分析，获取缺陷尺寸、数量、分布位置等信息，可定量分析成形工艺参数对增材制造零件内部缺陷的影响规律，为提高商用飞机制造3D打印零部件可靠性提供数据积累和理论指导。

**技术指标：**

1. 增材制造TC4钛合金试样内部缺陷检测精度达到10μm以下；
2. 选取商用飞机制造3D打印TC4典型件进行微纳CT检测，对内部缺陷进行统计分析，提出工艺优化方案，从而改善增材制件可靠性；
3. 除TC4钛合金以外，也可将该检测研究推向其他钛合金材料或铝合金材料，全面分析内部缺陷分布规律，提供优化解决方案；
4. 技术成熟度从TRL4级提升至TRL5级，从微纳CT检测增材制造试样缺陷规律验证到以典型件为载体完成相应检测验证研究；
5. **主要研究内容**
6. 激光选区熔化成形TC4钛合金全面微纳CT检测分析研究

通过对增材制造TC4钛合金进行全面微纳CT检测分析，获取试样内部缺陷尺寸、数量、分布位置等信息，提取典型缺陷（裂纹，夹杂，气孔，未熔合），建立增材制造缺陷图谱。使用工业CT设备定性、定量、定位地分析增材制造试样内部缺陷，将试样内的缺陷进行三维可视化重构显示。研究测量过程、扫描参数、重建参数对检测结果的影响，分析工业CT最佳精度，并确定检测工艺参数。将工业CT检测致密度结果与金相分析结果进行对比，建立金相图谱与致密度对应关系。

1. 微纳CT检测辅助激光选区熔化成形TC4钛合金参数优化研究

本项目针对激光选区熔化TC4钛合金内部填充与外轮廓工艺参数进行优化，经微纳CT检测获得成形工艺与典型缺陷之间的对应关系，并得到致密度最优的工艺参数包。对增材制造的力学性能试样进行CT检测，获取试样致密度和内部缺陷信息，探究力学性能与致密度及缺陷尺寸、数量之间的对应关系，结合力学性能指标要求，建立增材制造零件缺陷评级标准。

1. 激光选区熔化成形商用飞机TC4钛合金典型件微纳CT检测研究

工业CT图像质量影响因素主要来自以下几个方面：扫描参数（管电压、管电流、积分时间、采集幅数、采集模式）、重建参数（重建算法、重建矩阵大小、图像处理方法）。经微纳CT检测可定量分析成形工艺参数对增材制造零件内部缺陷的影响规律，为提高商用飞机制造3D打印零部件可靠性提供基础数据。

1. **预期成果**
2. 增材制件微纳CT检测工艺指南1份；
3. 增材制造TC4典型件1件；
4. 增材制造工艺参数与内部缺陷影响规律技术研究报告1篇；
5. TC4钛合金最优的激光选区熔化成形内部填充与轮廓工艺参数包；
6. 优化后激光选区熔化TC4钛合金性能数据包。
7. **建议研究周期和启动时间**

研究周期：24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-13激光熔化沉积起落架用近β钛合金微纳缺陷与残余应力的电磁复合场调控技术

1. **项目背景**

激光熔化沉积技术在民用航空钛合金构件制造与修复上已展开应用，然而，在激光沉积快热快冷过程中，缺陷和残余应力不可避免，成为制约钛合金构件应用的两大瓶颈。目前主要利用调整沉积工艺参数和后续热处理来避免和消除缺陷，同时减弱残余应力。通过上述方法，宏观缺陷(>1μm)可消除，但微纳缺陷(<1μm)在部分构件中依然存在，严重影响构件服役性能，且目前缺乏微纳缺陷修复手段。

电磁复合场调控技术可通过高密度脉冲电流和磁场在短时间内调控材料局部微观组织和应力分布，来改善构件的服役性能。相比热处理，该技术可有效利用电磁复合场能量来实现材料局部高应变区域和微纳缺陷的靶向处理。因此，探索电磁复合场调控技术在解决上述两大瓶颈的适用性和可行性具有重要意义，为民用航空起落架的激光制造与修复提供新思路。

1. **项目归属的重点专业领域**

轻质合金结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对激光熔化沉积起落架用近β钛合金微纳缺陷修复与残余应力优化的关键难题，研究电磁复合场作用下微纳缺陷和残余应力演变规律，建立电磁复合场工艺参数与缺陷修复、残余应力变化三者之间内在联系，探讨电磁复合场作用对残余应力影响机制，揭示电磁复合场作用对激光沉积近β钛合金的微纳缺陷修复机理，为该技术在民用航空起落架钛合金部件激光制造上的应用奠定基础。

**技术指标：**

1. 电磁复合场调控工艺参数
2. 钛合金构件微纳缺陷(< 1μm)修复率达100%；
3. 处理后残余应力幅值下降15%-25%，应力分布均匀性提高15%-25%；
4. 电磁复合场作用下缺陷修复机理和残余应力均化机制；
5. 技术可适用于多结构激光熔化沉积钛合金件；
6. 技术成熟度从TRL1级提升至TRL3级。
7. **主要研究内容**
8. **拟解决的关键技术**
9. 电磁复合场调控最佳工艺参数

针对激光熔化沉积近β钛合金物理属性，研究不同电磁脉冲能量和作用时间对组织性能的影响，探讨不同工艺参数下缺陷修复和残余应力优化程度，确定最佳电磁复合场调控工艺参数。

1. 电磁复合场处理对微纳缺陷修复机理

研究电磁复合场作用下微纳缺陷尺寸和含量变化，探讨电磁复合场处理对缺陷结构的修复程度，阐明电磁复合场作用对激光熔化沉积近β钛合金微纳缺陷的修复机理。

1. 电磁复合场作用下残余应力演变规律

研究最佳电磁复合场处理前后钛合金残余应力分布，建立电磁复合场工艺参数与残余应力变化对应关系，揭示电磁复合场作用对残余应力分布影响规律。

1. 微纳缺陷修复和残余应力变化对疲劳性能影响规律

研究最佳电磁复合场工艺处理前后激光沉积近β钛合金疲劳性能变化，探讨缺陷修复和残余应力优化对疲劳性能影响规律，建立提升民用航空激光制造钛合金构件组织性能的电磁复合场调控技术。

1. **研究结果的验证方式**

采用试验验证和对比分析，研究电磁复合场作用下激光熔化沉积近β钛合金微纳缺陷尺寸和含量、残余应力幅值、残余应力面分布方差等变化，获得微纳缺陷修复和残余应力优化的最佳电磁复合场调控工艺参数。

1. **研究内容**

针对激光熔化沉积起落架用近β钛合金的微纳缺陷修复与残余应力优化关键难题，综合运用材料学、材料加工和物理学等多学科交叉理论和方法，开展电磁复合场处理对微纳缺陷修复和残余应力优化的研究，揭示缺陷修复和残余应力优化机制，阐明缺陷修复和残余应力优化对疲劳性能的影响规律，建立微纳缺陷与残余应力的电磁复合场调控技术，为民用航空起落架钛合金构件激光制造与修复提供新思路。

1. **预期成果**
2. 电磁复合场处理前后近β钛合金试样各1套；
3. 电磁复合场处理最佳工艺参数报告1份；
4. 微纳缺陷修复机理和残余应力优化机制研究报告1份；
5. 电磁复合场处理前后力学性能对比分析验证；
6. 项目结题报告1份；
7. 发表学术论文2篇；申请发明专利2项；
8. 培养人才1名。
9. **建议研究周期和启动时间**

研究周期：24个月；启动时间：2022年01月

1. **所需研究经费**

总额25万元。

# 2021-14商用飞机铝基复合材料结构蓝激光粉末沉积增减材一体化快速制造技术

1. **项目背景**

激光粉末沉积增材制造能够实现大型构件的快速定制化制造，然而，该工艺存在表面质量较差、难以成形复杂结构等不足，通过对粉末沉积增材制造的毛坯结构进行减材加工，能够成形复杂结构，改善表面质量，在商用飞机领域表现出巨大的应用前景。铝基复合材料在商用飞机领域应用广泛，采用传统的波长为1064 nm的红外激光开展铝合计粉末沉积增材制造时由于激光吸收率较低，容易出现粉末熔化不充分等缺陷，波长为450 nm的蓝激光有望明显改善铝基复合材料的吸收率。通过开展蓝激光增减材一体化研究，有望实现铝基复合材料飞机构件的快速定制化制造，提高商用飞机制造水平。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对现有的商用飞机大型铝基复合材料结构件基于传统的制造方式生产过程中存在周期长、工序多、质量控制难的问题，提出了蓝激光粉末沉积增减材一体化快速制造新思路。通过开展“铝基复合材料蓝激光粉末沉积增材制造成形机理”、“铝基复合材料增材制造构件减材加工变形调控”、“增减材一体化制造形性综合协调”研究，获得铝基复合材料蓝激光粉末沉积增材制造工艺窗口，提出铝基复合材料增材制造构件减材加工刀具运动规划策略。

**技术指标：**

1. 成形得到的沉积态零件的致密度相对于基于传统的红外激光提高10%以上，抗拉强度不低于400MPa，延伸率大于10%
2. 所能达到的表面精度不低于3$μm$
3. 可制造尺寸300mm×200mm×300mm的零件
4. 具备增减材一体化制造商用飞机舱门等典型铝基复合材料结构件的能力
5. 技术成熟度从TRL2级提升至TRL5级
6. **主要研究内容**
7. **拟解决的关键技术**
8. 关键技术1：针对铝基复合材料蓝激光粉末沉积增材制造工艺机理尚不清楚的问题，通过采用高速成像原位观测、多尺度多物理场耦合模拟和高通量工艺实验，揭示蓝激光作用下金属粉末的动态沉积、熔池流动和凝固成形规律；
9. 关键技术2：针对增材制造结构件减材加工过程中变形难以调控的问题，通过开展多自由度减材加工全流程仿真和变形实时追踪，揭示减材制造过程中的变形演变机制；
10. 关键技术3：在以上增材和减材研究基础上，通过开展增减材一体化工艺调控，确定最优的成形和质量控制方案，为该工艺在铝基复合材料构件高质量定制化制造中的应用提供指导。
11. **研究结果的验证方式**
12. 采用排水法测量致密度；通过单轴拉伸试验测量强度和延伸率；
13. 采用激光共聚焦显微镜测量表面粗糙度；
14. 成形完成的零件在商用飞机上开展装机测试。
15. **预期成果**
16. 铝基复合材料增减材一体化制造工艺指南1份；
17. 商用大飞机增减材制造典型件1件；
18. 应用于商用大飞机的增减材一体化制造技术研究报告3篇；
19. 在行业重要期刊发表增减材一体化制造相关论文3篇，申请发明专利2项.
20. **建议研究周期和启动时间**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元

# 2021-15民用飞机钛合金接头激光立体成形（LMD）工艺研究

1. **背景意义**

围绕传统制造工艺和装备难以满足民用飞机复杂轻质合金结构高质量、快速、低成本制造需求的难题，瞄准当前激光3D打印制造快速制造、一体化成型、结构减重、低成本的技术特点，开展民用飞机钛合金接头结构激光3D打印工艺研发和构件试制，重点突破制约激光3D打印成型技术在民用航空领域应用普及率低，成型构件适航认证困难等现实问题，在民用飞机钛合金结构激光3D打印技术工艺研发、工艺过程固化、性能调控和适航认证体系建设等方面取得突破，从而推动激光3D打印成型钛合金构件的适航之路，实现新技术、新材料的示范应用，为民用飞机批量化、智能化、绿色化生产提供技术储备。

增材制造技术要应用于民机，最关键的是能始终如一的制造出满足质量要求的批量化产品，即制造工艺稳定性，而对于增材制造零件，工艺稳定性的保证不仅仅依靠稳定的制造过程，还需要从材料、工艺、设计等方面进行综合考量以保证产品性能的稳定可靠。

1. **研究内容**

采用激光同轴送粉制造装备，以钛合金接头为研究对象，研究激光立体成形钛合金非平衡状态下成分-组织-性能之间相关性、演变规律及调控方法，通过对激光立体成形制造工艺全流程要素识别及优化研究，实现对成形工艺过程最佳控制，初步建立TC4体系钛合金的材料-工艺-性能数据库。

建立设备、材料、工艺研发验证与鉴定工作流程，固化民用飞机钛合金接头件的制备工艺过程参数，形成成套的制造工艺规程；面向适航验证体系的需求，初步建立民用钛合金LMD零件质量评价方法与验收标准，并进行试件本体和典型结构性能等效性验证。

1. **考核指标**

增材制造民用飞机钛合金结构件综合性能不低于国军标锻件水平：抗拉强度≥895Mpa，屈服强度≥825Mpa，延伸率≥10%，冲击韧性Aku≥540KJ/m2，断裂韧性KI≥83.3MPa.m1/2，高周疲劳疲劳极限345MPa（Kt=1，R=1）；力学性能离散度不超过5%；

1. **预期成果**
2. 典型件不少于4件；
3. 民用飞机钛合金结构件激光立体成形工艺数据库1份；
4. 民用飞机钛合金结构件激光立体成形制造规程1套；
5. 技术研究报告2篇；
6. 学术论文2篇；
7. 民用飞机钛合金结构件增材制造质量评价方法与验收标准1套。
8. **经费概算**

总额50万

1. **建议研究周期**

24个月，2022年1月-2023年12月

# 2021-16基于双目视觉的机器人末端法向找正技术研究

1. **项目背景**

飞机表面制孔是飞机制造过程中的重要工序。人工打孔对工人技术要求高，体力消耗大，且难以保证打孔质量。工业机器人作业精度高，具有较高的灵活性和安全性，能够满足飞机制造过程中的精密打孔需求。为了提高机器人在飞机表面制孔作业中的智能化水平，迫切需要机器人能够自主检测出目标孔位、并获取目标孔位附近工件表面的法向量，从而引导工业机器人在工件表面垂直方向完成打孔作业，保证机器人打孔位置的准确性和机器人打孔姿态的垂直性。

1. **项目归属的重点专业领域**

先进装配

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对现有机器人制孔中存在的孔位获取困难，难以保证机器人末端垂直于工件表面等问题，本项目研究基于双目视觉的机器人末端打孔法向找正技术。通过双目视觉传感器自主获取作业工件位置，自主检测作业目标孔位，计算目标孔位附近工件表面的法向量，引导工业机器人自主调整打孔位姿，实现在孔位垂直方向准确的打孔作业，提高工业机器人打孔的自主化和智能化水平，提高打孔效率，降低打孔成本。

**技术指标：**

根据自身项目所能达到的技术要求进行编写技术指标，包括技术的适用范围，所能达到的精度，可加工制造零件的大小，能将现有技术成熟度所提高到的等级等，需要逐项列出。

1）技术的使用范围：适用于飞机制造的铝合金、镁合金、钛合金、镊钼钨合金等材料，获取工件表面基准孔位置，计算出工件制孔位置的法向量。

2）精度要求：定位孔的位置精度为0.2mm，垂直方向打孔姿态精度为0.1度。

3）可加工制造零件大小：双目视觉能够准确检测2000mm内的工件，可制造零件的尺寸2000mm×2000mm。

4）条件辅助：可对双目视觉加入光源辅助检测。

5）将现有双目检测的技术成熟度提高到机器人实际打孔场景正常操作的水平。

1. **主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术**

1）基于光源辅助的双目视觉传感器的研制与标定

工件表面纹理简单，使用双目视觉传感器存在匹配难和效率差等缺点，因此需要研发一款基于光源辅助的双目视觉传感器，鲁棒的获取工件表面的特征点。如何设计加光源的双目视觉传感器的硬件结构、如何方便快捷的实现具有光源辅助的双目视觉传感器的标定是本项目要解决的关键技术之一。

2）基于深度神经网络的基准孔识别与定位

工件打孔位置无辅助标志，只有基准孔。通过对基准孔识别和定位来确认制孔位置。传统的目标识别方法依靠人工特征，并通过特征匹配进行目标识别，而单调的环境会给图像特征的设计带来困难，影响算法的适应性。因此，通过深度卷积神经网络自动从原始数据中提取高层、多尺度特征，实现基准孔位的准确识别和定位是本项目要解决的关键技术之一。

3）基于双目视觉的机器人末端位姿自动找正

影响机器人打孔质量的不仅包括打孔位置的精度，还有打孔姿态的垂直度。飞机表面的制孔对垂直度要求高，因此通过双目视觉传感器获取飞机表面打孔位置的坐标数据，提取目标孔位附近工件表面的法向量，从而引导机器人实现在工件表面垂直方向的打孔作业是本项目要解决的又一个关键技术之一。

**（2）研究结果的验证方式**

验证：将研制双目视觉系统安装在机器人末端，在模拟飞机工件上进行作业面基准孔的识别与定位，连续测量30次，计算孔定位偏差，作为定位精度；视觉引导机器人末端工具沿法线方向自动找正，用高一等级的仪器进行垂直度测量，连续找正和测量30次，计算垂直度偏差，作为打孔姿态精度。

1. **预期成果**
2. 应用双目视觉的机器人末端法向找正技术研究报告1篇;
3. 双目视觉传感器1套；
4. 软件及算法源码1套。
5. **建议研究周期和启动时间**

建议研究周期：12个月

启动时间：2022年1月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-17数字化光控系统在航空大部件移载对接中的应用研究

1. **项目背景**

随着数字化制造技术的高质量发展，以光学测量仪器为主的数字化测量系统正向着多类型、柔性化、网络化模式发展，以“光控”的形式逐步形成全时、全程数字化测量态势，为未来工厂的大尺度三维测量提供了全新的解决方案。近年来，欧洲空客、美国波音等先进航空制造企业为代表先后开展了“Light Controlled Factory”、“LUMINAR”“FAUB”等面向空航天先进制造新型全局测量—加工一体化集成研究，以支持新一代高价值产品的装配、集成和测试（AIT）工厂建设，旨在通过整体部署具有互联互通能力的网络化光学测量新技术装备，为机器和零部件提供时间、空间和尺寸的自我感知能力，从而实现机器高效自动化控制和零部件质量管理。

面向大客新一代柔性移载装配模式对测量需求，即多AGV协同运作、部段移载精准对接装配等，而现有的单一便携式测量系统，如激光跟踪仪、摄影测量等，无法满足大型装备多目标动态并行测量与飞机多部段协同精准装配的需求。因而，急需研究一种基于室内iGPS的分布式测量定位方法，融合大尺寸多类型光学测量设备（如激光跟踪仪、摄影测量等），构建空间非正交约束、光学多观测量融合的光控测量系统。实时跟踪反馈移载多AGV的位置，激光跟踪仪、摄影测量等设备构建高精度坐标系指导部段精准对接，从而满足航空制造中大部件移载对接的需求。

1. **项目归属的重点专业领域**

先进制造和装配

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目针对航空数字化制造飞机机翼、机身等大部件移载对接测量需求，设计研发一套数字化光控系统，融合多种大尺度测量设备，综合空间误差分析方法，测量场优化布局方法，系统快速高精度定向方法与数据融合方法等，提供一种高精度多目标自动化并行测量手段，实现对航空大部件移载对接任务中多AGV位姿跟踪与解算及部段高精度对接测量，保证装配质量。

**技术指标：**

（1）实现10m×10m×5m空间多目标多任务并行测量；

（2）iGPS系统测量精度≤±0.2mm+0.01mm/m;

（3）系统测量频率≥30Hz；

（4）系统组合激光跟踪仪、摄影测量等多类型测量系统。

1. **主要研究内容**
2. **拟解决的关键技术**

1）分布式网络化测量定位方法研究

研究基于精密光电扫描、空间-时间变换的多目标并行传感测量方法，将高成本、单目标空间精密角度量测量转化为低成本、高精度、多目标的时间量测量。

2）系统快速高精度定向与数据融合方法研究

研究基于多源几何约束的系统高精度定向方法，实现多类型测量系统的重构组网；研究系统数据实时传输技术，实现多类型系统高效数据融合。

3）测量场布局优化方法研究

以覆盖范围、测量精度、成本为导向，研究基于多类型系统测量特性、现场环境条件、外部控制信息的测量基站优化布局及空间误差优化方法，实现测量场高精度构建。

4）测量网络节点完好性分析方法

研究基于测量场网络冗余信息的节点完好性分析方法，对测量场工作状态进行实时监测，实现对外部扰动的最优控制，提高测量系统的可靠性。

1. **研究结果的验证方式**

采用飞机大部件试验件进行测试验证。

1. **预期成果**
2. 数字化光控软、硬件系统1套；

（2）应用于航空大部件移载对接的数字化光控系统技术研究报告1份；

（3）面向航空数字化制造的数字化光控系统测试报告1份；

（4）申请发明专利1项。

1. **建议研究周期和启动时间**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-18面向支线平尾装配的薄壁结构净边加工规划与试验验证

1. **项目背景**

水平尾翼（以下简称“平尾”），是保持飞机纵向（俯仰）稳定和操纵的重要翼型部件，由多个蒙皮和骨架零件装配成型，其装配质量对保证飞机操纵性能和安全性能至关重要。由于骨架制造与装配误差、蒙皮厚度误差、蒙皮与骨架贴合误差的存在，在平尾蒙皮在加工阶段会留出一定的工艺余量，用于装配时与相邻蒙皮修切。现阶段我国的飞机蒙皮修切仍然大量采用肉眼定位/人工操作的方式进行，操作范围有限、灵活性差、加工余量难控，极易导致平尾蒙皮修切装配后对缝间隙和对缝阶差超差，严重影响我国商用飞机的研制与生产。由机器人构成的飞机蒙皮铣削切边加工具系统有范围大、操作灵活等优点，有望从根本上解决现有平尾蒙皮修切存在的瓶颈问题。

**3.项目归属的重点专业领域**

轻质合金结构制造、先进装配

**4.项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目拟围绕飞机平尾蒙皮机器人铣边加工路径规划开展测点处理与关键特征提取、基于测点的刀具轨迹生成、机器人加工姿态优化选取等多个方面的研究，旨在突破平尾蒙皮零件机器人铣削切边加工过程中如何通过离散的大规模离散测点数据生成连续光顺机器人加工路径的关键技术难题，拟采用多型加工平尾蒙皮样件开展加工试验，铝合金平尾蒙皮样件加工精度（轮廓精度）优于±0.5mm。

**技术指标：**

1）飞机平尾蒙皮加工精度（轮廓精度）优于±0.5mm；

2）可适用于长1000mm×宽500mm×高300mm的飞机平尾蒙皮；

3）可适用于铝合金等材料的飞机平尾蒙皮加工

4）技术成熟度从TRL3级提升至TRL5级

**5.主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术**

1）测点处理与关键特征提取

现场测量点云存在噪音、跳动、局部缺失等固有缺陷，无法直接用于机器人加工规划。为提升后续机器人加工规划的精度和质量，必须对现场含缺陷测量点云进行精简、光顺处理，生成均匀高质量点云数据，并自动提取点云法矢、边界点等关键特征。

2）基于测点的刀具轨迹生成

基于离散测点生成的机器人加工路径易发生抖动、突变，甚至超出机器人运动学、动力学极限，严重降低系统的加工精度和加工后的表面质量，因此必须对初始机器人加工路径进行光顺优化处理，全面滤除机器人加工路径存在的抖动、突变问题。

3）机器人加工姿态优化选取

机器人铣削加工系统存在绕刀具坐标系转动的冗余自由度，该转动自由度的选取对机器人姿态的刚度、灵巧度和光顺性都具有决定性的影响，因此必须考虑机器人刚度、灵巧度、路径光顺性等指标对机器人加工姿态进行优化选取，生成刚度、灵巧度、路径光顺性均较优的机器人加工路径。

4）可执行路径生成与程序输出

与机床加工类似，可执行的机器人加工路径应具有进刀、退刀、抬刀等辅助路径，且需要根据给定的切深、进给速度、主轴转速等切削工艺参数对路径进行完善处理，并输出可执行的机器人铣削加工程序，因必须要针对特定机器人加工系统开发专用的路径生成模块。

5）平尾蒙皮样件机器人加工验证

以平尾蒙皮样件为对象，开展测量数据处理、刀具轨迹生成、机器人姿态选取、可执行加工路径生成等功能验证实验，完成至少1件铝合金平尾蒙皮试验件机器人铣削切边实验，通过检测加工后蒙皮轮廓精度验证系统的加工精度。

**（2）研究结果的验证方式**

通过开展至少1件铝合金平尾蒙皮样件的机器人三维测量与铣削加工实验，并检测加工后平尾蒙皮样件加工精度（轮廓精度）完成验证。

**6.预期成果**

1. 完成平尾蒙皮典型件加工1件；
2. 应用于平尾蒙皮机器人铣削加工技术研究报告1篇
3. 薄壁结构机器人加工工艺操作指南1份
4. 发明专利交底书2份
5. **建议研究周期和启动时间**

24个月

**8.所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-19民用飞机管路接头电磁脉冲压接技术

1. **项目名称**

民用飞机管路接头电磁脉冲压接技术

1. **项目背景**

无扩口管路接头是目前飞机导管的主要接头形式，通过接头前端锥形面与相配合接头金属间的贴合所形成的线密封，起到对流体的封闭作用。这种密封形式具有密封性能好，持久耐用。安装及拆卸方便，可多次重复使用等的优点。

无扩口管接头本身是通过内旋压的挤涨方式与管路本体相连接。其内壁上有凹槽，通过旋压挤涨后，管路本体上被内旋后涨大的部分被挤入凹槽中。达到管接头与管体的固定和密封作用。需要通过专用的管路接头旋压设备才能达到旋压的效果。然而在实际的管路接头旋压工艺中存在的如下的问题：1）接头嵌入率不均匀，无法达到每个凹槽内嵌入均匀且填充率达到85%以上的要求。2）管路构型臃肿，由于接头旋压工艺的要求，旋压接头与管体连接时需要在管端留有一部分的直线段，产生对飞机本身功能无用的多余管路长度。3）效率低下，整个旋压过程时间较长，调整规格较麻烦，不适合柔性化生产。4）对管路接头处的管壁产生磨损。

1. **项目归属的重点专业领域**

集成测试

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对目前管飞机管路路接头还是较为落后的机械膨胀式的旋压方法，导致管路生产后产生一系列上述的负作用。目前通过基于电磁脉冲胀形连接工艺原理，开展电磁脉冲成形载荷时空特性、电磁脉冲载荷作用下管-接头的冲击压接变形工艺以及装备的研究开发。研究、掌握铝合金薄壁管-管套电磁脉冲压接工艺技术。为实现航空导管制造行业首次运用管套电磁脉冲压接技术应用奠定基础。

**技术指标：**

1. 薄壁管-管套电磁脉冲压接件液压测试满足技术要求
2. 管套沟槽被管壁金属填充比不低于85%
3. 可用于压接直径40-80mm薄壁管
4. 可适用于铝合金薄壁管-接头连接，也可用于铝合金管-其他金属的异种金属连接
5. 技术成熟度从TRL2级提升至TRL5级
6. **主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术**

1）管路接头电磁脉冲压接力场设计与实现技术

为获得高质量压接接头，管壁将在管套沟槽处发生局部“体积变形”，变形难度大，需要高幅值的瞬时径向载荷，由此对电磁脉冲胀形力场及压接工艺提出更苛刻要求。因此，围绕技术要求，需要突破目前胀形连接局限，迫切需要能够主动调控力场分布的方法，为管路接头有效压接提供充分条件。

2）电磁脉冲压接线圈研制技术

围绕沟槽内瞬时剧烈塑性变形需求，要求线圈具有高结构强度、高能量转换效率的特性，决定了线圈是实现电磁脉冲压接核心工具，其设计和制造对压接实验以及电磁脉冲压接技术实现工业生产应用至关重要，因此急需突破高强度、高效率电磁脉冲压接线圈研制关键技术。

3）管-管套电磁脉冲压接协调变形控制技术

合格压接接头需要同时满足相关标准要求的密封、拉脱等技术指标。管-套电磁脉冲压接本质上属于机械连接，是脉冲磁场力冲击加载和弹性卸载作用下的变形结果，涉及到材料、结构和工艺等多因素协调作用，主要包括管-管套材料力学匹配的影响、放电电压和径向间隙参数的规律、管套内壁沟槽深宽尺寸匹配的影响等。因此，需要系统研究并攻克上述多因素耦合作用下的电磁脉冲压接变形协调控制技术。

**（2）研究结果的验证方式**

1）通过在压接接头内部注入液体并升高至一定压力，测试接头的工作压力、耐压试验压力以及爆破压力，检测和验证压接接头的密封性能。

2）通过接头拉脱实验，获得拉脱力-形成曲线，检测和分析压接接头的力学性能。

3）通过金相观察，检测压接接头内管壁在管套沟槽内填充情况，验证数值模拟模型准确性，考察工艺参数、沟槽深宽尺寸、管-管套材料力学性能匹配对压接质量影响规律。

1. **预期成果**

1）电磁压接管路接头工艺方法。

2）外径50mm、62.5、75mm的铝合金管-接头典型件各1件；

3）铝合金管-接头电磁脉冲压接线圈与模具3套

4）铝合金管-接头电磁脉冲压接相关发明专利1-2项；

5）应用于铝合金管-接头电磁脉冲压接技术研究报告2篇：耦合场数值模拟技术研究报告和工艺实验技术研究报告。

6）发表学术论文2-3篇，其中SCI期刊论文1-2篇，中文核心期刊论文1篇。

1. **建议研究周期和启动时间（12个月或24个月）、**

建议研究周期24个月，启动时间2021年10月份

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-20基于3D扫描重建技术的民机线缆敷设质量评估系统研究

1. **项目背景**

飞机线缆敷设是飞机制造过程中的重要环节，线缆敷设的质量直接决定飞机信号传输的稳定性，影响飞机的飞行安全。但因线缆在飞机上的安装错综复杂及其本身的柔性特性，敷设操作难度大、质量评估标准无法量化、定位精度低等问题，单纯依靠人工装配耗时耗力，难以保证机舱线缆装配精度和效率，因此建立基于3D扫描重建技术的民机线缆敷设质量评估系统的需求更加迫切。现有的先进智能装配方法通常依赖三维图纸和关键标志来实现，存在任务目标及指标比较单一、操作灵活性差、准确性低等不足之处，同时在人机协作过程中存在一定的安全隐患。为了弥补上述不足，本项目采用智能三维重建技术实现机舱线缆的实时精确三维重建，为人机协作机舱线缆智能敷设提供技术支撑，确保线缆敷设的高效率和高质量，同时克服多人协作而带来的装配难度大的问题，更好地体现人机共融的优势。

1. **项目归属的重点专业领域**

先进装配

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目通过研究融合多模态语义信息的三维同时定位与重建技术，实时精确地建模机舱内部三维模型，同时解析机舱内部的线缆的三维结构，计算三维参数，建立一套便携式民机线缆敷设质量评估系统，解决目前线缆装配依赖三维图纸和关键标志导致灵活性不高、以及依赖目视检查导致准确性低等一系列问题。为解决因机舱线缆结构复杂、容易损坏、质量评估不易量化等难点问题，实现顺畅的人机协作装配这一目标提供有效技术支撑手段。

**技术指标：**

本项目所研究的多模态语义同时定位与重建系统，在典型的机舱内部装配环境下，预计将达到如下技术指标：

1）标记物检测准确率高于98%

2）标记物位置定位精度误差不大于 2 cm

3）线缆三维重建精度误差不大于4 cm

4）线缆一次性重建长度不小于10 m

5）线缆直径测量结果精度误差不大于1 cm

6）线缆长度测量结果精度不大于重建长度的0.5%

1. **主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术（可逐项列出）**

1） 受限算力下标记物的快速检测与定位技术：标记物包括线缆上的固定物，在装配过程中起到固定与位置限定作用，要在实时重建系统中进行标记物的快速检测和定位，因此需要突破在受限算力下利用深度卷积网络准确检测标记物、并融合点云数据进行标记物定位的技术。

2）线缆实时定位与三维重建：线缆由于形状细长且走线复杂多变、纹理重复特征稀疏，因此在复杂装配条件下线缆实时定位与三维重建存在精度低、容易丢失等问题，需要突破全局定位优化问题，实现精确定位与重建。

3）多模态语义标记的融合优化技术：仅仅利用线缆进行三维重建容易出现三维点云对齐不准确问题，模拟人类认知过程，可以通过融合语义标记进行精确对齐，因此需要突破多模态语义标记物与三维重建过程的融合优化问题。

4）线缆三维参数实时显示：为了克服线缆敷设质量评估过程完全依赖目视检查的问题，以线缆的三维重建模型为基础，突破线缆三维参数（如线缆直径、长度、弯曲度等）的精确计算问题,并实时显示关键敷设参数（弯曲半径、松弛度、间隙），为实现自动化的敷设质量评估提供基础数据。

**（2）研究结果的验证方式**

项目拟研究开发一套机舱内部线缆定位与三维重建系统，系统包含数据采集硬件和数据处理软件。研究结果将通过实测的方式进行验证。首先利用硬件部分采集装配过程中的机舱内部线缆多模态（图像和点云）数据，然后通过软件部分实时进行定位与三维重建，重建结束后计算技术指标，并与实际值进行比较，验证系统指标的达成情况。

1. **预期成果**
2. 应用于机舱内部的便携式线缆三维实时重建系统一套；
3. 应用于机舱内部的线缆三维实时重建技术研究报告2篇；
4. 申请专利不少于1项；
5. 发表论文不少于2篇。
6. **建议研究周期和启动时间（24个月）**

 24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-21基于5G技术用于机舱内部3D点云建模的高精度手持式终端

1. **项目背景**

随着智能制造业的发展，产品设计越来越复杂，尤其是航空航天领域的复杂机舱内部设计。传统建模方法存在适应性差，效率低等一系列问题。手持式三维激光扫描设备是一种新兴的无接触高精度的测量设备，能够快速获取复杂物体表面点云数据，基于此类点云数据可用于建立模型，大大提高工作效率，广泛应用于汽车、航空航天制造等领域。

1. **项目归属的重点专业领域**

集成测试

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

以民用飞机机舱三维激光建模应用需求为突破口，结合5G低延时高宽度的特点，设计手持式三维激光扫描设备硬件系统，研究三维点云数据预处理技术，降低点云噪声，提高点云质量，研究三维点云数据拼接技术，完成机舱内部三维扫描和模型重建。

**技术指标：**

1. 终端设备的操作方式：人手手持式；
2. 手持终端扫描深度精度：±1 mm；
3. 幅面扫描速度：≤0.5m2/s；
4. 手持终端扫描幅面拼接：自动；
5. 手持终端对人手运动限定要求：无。
6. **主要研究内容**

1）硬件系统设计

根据系统功能完成硬件系统设计，保证系统功能的实现，根据检测精度、视场角和工作距离，对多视角、多位置测量方案进行理论计算，完成对光学件及结构件的选型及设计。

对电气模块系统、驱动模块电路、信号采集模块电路和数据分析模块电路进行设计，确保硬件系统的稳定性。

2）三维点云数据处理

开发三维点云高精度快速处理系统，提高单次扫描激光点云质量；飞机机舱内部的尺寸大、视觉系统单次测量视场较小，需要多次不同视角及位置对部件进行定位测量，将不同视角和位置测量得到的三维数据统一到一个坐标系下，实现点云数据的拼接，以完成整个机舱的测量；基于高精度激光3D点云数据，研究数据配准算法和流程，形成机舱内部的3D重建模型。

3）5G通讯

终端设备能够基于5G通讯的低时延，实现扫描数据上传云、入湖、上传服务器进行数据处理。

4）系统集成设计

进行上述软硬件组件的集成设计，经过系统测试能够实现功能。

1. **预期成果**
2. 经测试能够满足指标要求的机舱内部3D点云数据；
3. 操作指南1份；
4. 发表论文1篇；
5. 发明专利1项；
6. **建议研究周期和启动时间**

 24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-22复合材料叠层板冷挤压工艺及疲劳强化机理

1. **项目背景**

复合材料具有质量轻、比强度和比模量高、耐高温、耐腐蚀、耐疲劳等优异性能，已广泛应用于大型商用客机的制造。目前机械连接仍是飞机复合材料结构件主要连接方式，紧固孔是重要疲劳结构细节。冷挤压技术已广泛应用于金属材料孔的强化中，显著提高带孔工件的疲劳寿命。由于复合材料力学性能和微结构与金属材料不同，国内外针对复合材料紧固孔冷挤压强化的研究尚鲜有报道。国外相关公司虽出售复合材料冷挤压设备，但并未提供具体工艺参数和实施效果。对复合材料叠层板冷挤压工艺及疲劳强化机理开展研究，实现相关工艺和设备的进口替代，对于扩大复合材料在大型商用飞机中的应用范围，提高我国大型商用客机“绿色航空”竞争力具有重要意义。

1. **项目归属的重点专业领域**

先进装配

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目以现有的金属材料孔冷挤压技术为基础，充分考虑复合材料叠层板力学性能和微结构特征，通过数值仿真对复合材料孔冷挤压工艺方案及工艺参数进行创新优化设计，提出适用于复合材料叠层板的冷挤压工艺方案并得到试验验证。项目成果最终应用于大型商用飞机复合材料典型构件的装配中，显著提高复合材料紧固孔疲劳寿命。

**技术指标：**

1) 可适用于纤维增强复合材料叠层板的冷挤压疲劳强化；

2) 相比于未强化孔疲劳寿命提高30%以上；

3) 技术成熟度由3级提升至1)级。

1. **主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术**

1）复合材料叠层板冷挤压有限元仿真

复合材料叠层板冷挤压过程涉及强烈的材料非线性、接触非线性和几何非线性。有限元仿真需要解决的问题包括求解器的选择、材料本构关系、失效判定准则和材料性能的退化方案和接触的定义等。通过有限元仿真，揭示冷挤压过程中材料的变形、应力分布和损伤演化情况，为冷挤压工艺方案的制定提供重要参考依据。

2）复合材料叠层板冷挤压工艺方案设计

冷挤压工艺方案主要包括衬套和芯棒的结构型式和尺寸以及干涉量的确定。参考有限元仿真结果，对冷挤压衬套和芯棒的结构型式和尺寸进行优化设计，减小冷挤压过程中的材料流动和损伤，提高冷挤压孔成形质量。干涉量是冷挤压过程中最重要的工艺参数。干涉量过小疲劳强化效果不显著，干涉量过大会导致孔边材料损伤。对干涉量进行优化，获得复合材料冷挤压孔最大疲劳增益效果，同时在冷挤压孔回弹后衬套内径满足装配要求。

3）复合材料叠层板原理件衬套安装及疲劳寿命试验

原理件采用复合材料叠层板含孔单板，采用所确定的冷挤压工艺方案对原理件开展衬套安装试验；安装结束后对孔周微结构进行观察，对孔周损伤情况进行评估；对含原始孔和冷挤压孔原理件分别开展成组疲劳试验，对疲劳增益效果进行量化统计分析。

**（2）研究结果的验证方式**

采用典型复合材料叠层板双板连接工程件对研究结果进行验证。冷挤压强化后，典型复合材料叠层板工程连接件疲劳寿命提高30%以上。

1. **预期成果**

1）复合材料叠层板冷挤压工艺指南1份；

2）复合材料叠层板冷挤压衬套、芯棒实物各1件；

3）复合材料叠层板冷挤压有限元模型；

4）复合材料叠层板冷挤压技术研究报告2份；

5）发明专利1项，发表学术论文2篇。

1. **建议研究周期和启动时间**

**24个月**

1. **所需研究经费**

**总额50万元。**

# 2021-23人机协作气动锤铆系统的创新设计与应用研究

1. **项目背景**

铆接是飞机连接的重要方式之一。人工气动锤铆具有操作灵活、适应性强的优点，但是也存在人工操作不稳定、铆接干涉量波动性大等不足。由于手工锤铆的稳定性等问题，大型客机铝锂合金机身对接段由初始设计的铆钉连接更改为高锁螺栓连接，增加了整机重量，影响了飞机全生命周期的经济性。

机器人具有可重复、高刚性和高精度等优点，在提高飞机装配质量和生产率、改善劳动环境和减轻劳动强度等方面发挥出日益重要的作用。然而在全机机身对接场景中，机身筒段内部空间有限，无法为双机器人形式的钻铆系统提供足够的工作空间。

随着机器人技术的不断发展，其与人类之间的协作已经越来越多。人机协作可根据不同的任务和环境来选择不同的结构形式，具有良好的自组织、自适应能力，是满足并解决单纯的全人工或全机器人难以应对的柔性化、高效率、复杂作业需求的解决方案之一。在机身对接场景中，人机协作气动锤铆工作方式（图1），即机器人在机身筒段外操作铆枪、工人在机身筒段内手持传感器顶铁进行铆接，是实现铝锂合金铆接接头干涉量要求的解决方案之一。



图1 人机协作气动锤铆系统方案（机身对接、壁板生产）

同时，当目前已有生产设备产能不能满足商用飞机批产需求，以及生产设备临时故障制约产品生产进度的情况下，人机协作气动锤铆系统（图1）亦可作为MPAC等自动化设备生产铝锂合金壁板的候补来完成铝锂合金壁板的铆接生产任务。

1. **项目归属的重点专业领域**

先进装配

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

创新设计基于人机协作的气动锤铆系统，实现工人与机器人的协作气动锤铆；采用传感器顶铁采集锤铆过程中的铆接力信号，结合气动铆枪控制器实现对气动锤铆过程的智能监测与反馈控制，保证铝锂合金铆接接头干涉量要求；通过人机协作系统操控气动铆枪，精准控制铆接过程中铆枪的空间位姿、顶紧力、击打次数等，使气动锤铆过程具有良好的重复性和一致性，为获得合格的铆接接头质量提供可靠的硬件基础和保证。

**技术指标：**

1. 实现机身对接场景中的人机协作气动锤铆操作。
2. 铝锂合金铆接接头干涉量大于0.06mm。
3. 技术成熟度从TRL3提升至TRL5。
4. **主要研究内容**
5. 人机协作气动锤铆系统创新设计

创新设计基于机械臂、协作机器人、外骨骼的人机协作气动锤铆系统的整体方案，完成系统各部分设计和整体布置，实现人机协作气动锤铆操作，并对比不同场景下创新设计方案（图2）的优缺点。



图2 三种人机协作气动锤铆系统创新设计方案

1. 人机协作气动锤铆系统应用场景研究

筛选商用飞机铆接生产的实际场景（图3），选择人机协作气动锤铆系统的候选应用场景（如机身对接、铝锂合金壁板铆接），研究铆钉连接替代高锁螺栓连接、人机锤铆系统候补MPAC自动化钻铆系统的可行性、经济性等，为现场实施人机协作锤铆系统提供依据和参考。



图3 机身对接场景中的人机协作气动锤铆（外骨骼方案、机械臂方案）

1. 人机协作气动锤铆工艺试验

进行人机协作气动锤铆工艺试验，测试实际铆接完成后的接头质量（镦头形貌和干涉量）、铆接效率（每分钟完成铆接接头数量）、工人疲劳程度等，评价人机协作气动锤铆系统的质量稳定性、铆接效率等，为人机协作锤铆系统现场应用提供量化的依据。

1. **预期成果**
2. 人机协作气动锤铆系统设计与应用场景分析报告1份。
3. 人机协作气动锤铆原型系统3套。
4. 人机协作气动锤铆系统工艺试验报告1份。
5. 发明专利2项。
6. **建议研究周期和启动时间**

研究周期：24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-24基于大数据的喷丸成形疲劳性能预测与正向设计工具开发

1. **项目背景**

喷丸成形是商用飞机整体构件制造的核心技术，其工艺复杂，成形后零件性能影响因素众多。目前国内仅有少数几家主机厂具备喷丸成形工艺能力，但主要聚焦于零部件外形控制，在喷丸成形形性协同方面缺乏深入研究，喷丸成形基础性能数据库缺失，尚未形成面向性能需求的喷丸工艺正向设计方法，导致喷丸成形零部件正向设计能力不足，存在大量过度设计问题。疲劳性能是喷丸成形零部件的关键性能指标，与依托海量疲劳性能试验的传统研究方法相比，基于大数据方法的工艺及性能调控更加高效，且具有良好的适用性和扩展性。因此，为了全面提升飞机整体构件喷丸成形工艺的正向设计能力，有必要系统开展喷丸成形过程关键参数对零件疲劳性能的影响研究，建立成形工艺-微观结构-疲劳性能数据库，开发喷丸成形正向设计工具，实现铝合金材料喷丸成形工艺优化设计和疲劳性能高效预测。

1. **项目归属的重点专业领域**

轻质合金结构制造

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对铝合金材料喷丸成形工艺正向设计需求，以飞机壁板用典型铝合金材料为研究对象，开展喷丸成形疲劳性能预测技术研究，突破高精度喷丸成形工艺仿真关键技术，结合微观信息定量分析方法，构建铝合金喷丸成形工艺-微观结构-疲劳性能数据库，采用大数据分析手段开发喷丸成形疲劳性能预测模型，最终集成喷丸工艺仿真与疲劳性能预测的正向设计工具，实现高效准确的喷丸成形工艺设计及疲劳性能预测。

**技术指标：**

1）喷丸成形数值仿真模型精度误差8%以内；

2）铝合金喷丸成形疲劳性能数据库至少包含一种铝合金材料、三种厚度在不同喷丸成形工艺参数下的疲劳信息；

3）喷丸成形疲劳性能预测模型可实现试片级疲劳性能预测，试片尺寸满足相关疲劳性能测试标准；

4）正向设计工具准确性误差值不高于10%；

5）技术成熟度从TRL2级提升至TRL5级。

1. **主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术**

1）基于离散元及非线性有限元耦合下的喷丸成形工艺仿真技术

通过开发喷丸成形工艺仿真计算材料卡，结合离散元及非线性有限元仿真技术，构建喷丸成形高精度数值仿真模型，实现铝合金板材在关键喷丸工艺参数下应力分布、表面形貌等信息预测。

2）铝合金板材喷丸成形微观信息定量分析及疲劳性能数据库构建技术

系统研究喷丸成形过程关键核心参数对材料表面应力状态、微观结构和疲劳性能的影响，利用微观表征和图像视觉等手段对试样的应力分布及微观形貌结构信息进行定量分析，验证前期仿真模型有效性的同时，进一步构建喷丸成形工艺-微观结构-疲劳性能数据库。

3）基于大数据分析的喷丸成形疲劳性能预测模型构建技术

结合仿真预测的应力分布以及试验获得的疲劳性能数据信息，通过大数据分析确定影响铝合金喷丸成形疲劳性能的显著因素，构建喷丸工艺-微观结构-疲劳性能的预测模型。

4）集成喷丸工艺仿真与疲劳性能预测的正向设计工具开发

通过对有限元软件进行二次开发，将喷丸工艺仿真技术和疲劳性能预测模型有机结合，开发铝合金喷丸工艺正向设计工具，实现既定疲劳性能下喷丸成形工艺参数的正向设计。

**（2）研究结果的验证方式**

根据试样疲劳性能要求，利用开发的正向设计工具分析得到优化的喷丸工艺参数，制备该工艺参数下的试样并进行疲劳性能测试，验证正向设计工具的准确性。

1. **预期成果**
2. 喷丸成形工艺仿真模型；
3. 典型铝合金材料喷丸成形疲劳性能数据库；
4. 铝合金喷丸成形疲劳性能预测模型；
5. 基于大数据的喷丸成形疲劳性能预测与正向设计工具开发研究报告；
6. 联合申报发明专利1-2项；
7. 联合发表高水平学术论文2-3篇；
8. 联合申报软件著作权1-2项。
9. **建议研究周期和启动时间**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-25面向数控加工过程的STEP-NC标准数字孪生技术研究

1. **项目背景**

当前数控加工的工作流程是以G代码作为数据交换的基本格式。由于其只包含了刀具运动路径，数据的流动是单向的，并且不具有可逆性，这给数控加工过程监控和分析造成了很大阻碍。本项目旨在构建面向数控加工的数字孪生技术，实现虚拟仿真环境和机床加工场景的信息同步，提取和存储加工过程全要素信息，实现加工过程在线监控和分析。

1. **项目归属的重点专业领域**

冷工艺。

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

基于STEP-NC标准数字孪生的理念，实现一套可在加工车间现场部署的数控加工在线监控和分析的软硬件系统。构建相应的软硬件系统，功能包括虚拟仿真，机床通信，加工工艺信息表达与存储。

**技术指标：**

1）机床通信的刷新频率在200 ms以内；

2）实现CAD/CAM模型中刀轨信息的95%导出的覆盖率；

1. **主要研究内容.**

**（1）拟解决的关键技术**

（1）机床通信技术研究。实现通过网络与数控系统连接，获取数控系统的状态信息，包括主轴转速，位置，进给率等。

（2）加工工艺信息提取和存储。研究从CATIA工艺文件中提取加工工艺信息，并存储为本地文件。突破G代码格式的限制，为虚拟仿真环境提供加工过程的全要素工艺信息，为数控加工在线监控和分体提供有力支撑。

（3）虚拟仿真环境构建。仿真环境可以读取从CATIA导出的全要素工艺信息，实现零件模型三维展示，提供用户界面用于浏览刀轨，刀具，加工工艺。与数控系统实现联通，实现加工过程的在线监控和分析。

（4）基于上述研究成果，开发出一套可部署于数控加工车间的软硬件系统，实现面向加工的数字孪生技术。

**（2）研究结果的验证方式**

软硬件功能验证。

1. **预期成果**
2. 软硬件操作规范1份；
3. 面向数控加工的数字孪生系统1套。
4. 数字孪生技术在数控加工中应用研究报告
5. **建议研究周期和启动时间**

研究周期24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 2021-26基于应力波高速加载的螺栓干涉安装技术

1. **项目背景**

先进飞机制造为提高结构寿命，广泛应用干涉配合连接，重要承力接头均采用干涉配合螺接。目前广泛应用的冷缩法和强迫安装法分别将紧固件在液态氮中冷冻或采用风动铆枪将紧固件强行打入到紧固孔中。这种方法只能实现小干涉量、薄夹层和小直径紧固件的安装，无法实现最佳疲劳寿命增益。大直径、高干涉量、厚夹层结构干涉配合紧固件的安装已成为我国先进飞机装配中的卡脖子难题。为彻底解决这一难题，该项目提出基于电磁铆接设备的干涉配合紧固件的应力波安装新工艺。其核心是利用电磁铆接设备的高速加载，通过在紧固件中的应力波传播瞬间将紧固件弹性“拉细”，减小安装阻力，实现大干涉量紧固件的顺利安装，解决安装难题，提高接头寿命。

1. **项目归属的重点专业领域**

该项目属于先进装配重点专业领域。

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

该项目通过对干涉配合紧固件的应力波安装新工艺的系统研究为解决干涉配合紧固件安装难题提供新的工艺方法和手段。项目将通过安装质量对比试验为该方法的应用提供理论基础，通过系统工艺研究选择合适的安装工艺参数，为这一新工艺的工程应用提供工艺指导，制定初步安装工艺规范，最终实现工程应用，提高接头寿命100%以上。

**技术指标：**

1）通过该方法的应用将传统安装方法能够安装的干涉量水平从0.6%提高到1.2%以上

2）可实现直径12mm及其以下干涉配合紧固件的安装

3）可实现厚夹层（夹层厚度大于4倍紧固件直径）干涉配合紧固件的安装

4）噪声降低10分贝

5）技术成熟度从TRL3级提升至TRL6级

1. **主要研究内容**

**（1）拟解决的关键技术**

A.安装工艺参数对干涉配合紧固件安装质量的影响研究

应力波安装的核心技术是通过给紧固件实施高速加载，在紧固件中产生应力波，通过应力波传播将紧固件瞬间弹性“拉细”，在这一过程中应力波的波幅、波宽等参数都将对安装质量产生影响，如何影响安装质量？如果通过这些参数的调整实现高质量安装等都是需要首先解决的技术。项目将通过数值模拟和实验研究相结合的方法揭示工艺参数对安装质量的影响规律，最终确定合适的工艺参数。

1. 安装质量的把控方法研究

 和传统安装方法多次锤击完成安装不同，应力波安装一次锤击完成紧固件安装。那么如何保证一次锤击不出现打偏、不损伤工件等都是必须解决的质量把控难题。项目将通过设计专用安装头等辅助工装保证安装质量。

1. 研究结果的验证方式

项目将通过可安装干涉量、可实现夹层厚、可安装紧固件直径等对比试验验证应力波安装工艺解决干涉配合紧固件安装方法的可行性；通过接头宏观、微观组织及疲劳寿命对比试验验证应力波安装方法的先进性；通过结构件的实际安装验证应力波安装方法的工程实用性。

1. 干涉配合紧固件的应力波安装工艺研究

 通过系统的应力波安装工艺研究确定合适安装工艺参数，制定应力波安装工艺规范，并完成结构件的安装。

1. **预期成果**
2. 干涉配合紧固件的应力波安装工艺指南1份；
3. 典型件2件；
4. 干涉配合紧固件的应力波安装工艺应用技术研究报告至少1篇；
5. 疲劳寿命对比试验报告1份；
6. 发明专利技术交底书2份。
7. **建议研究周期和启动时间**

建议研究周期24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。