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

2023年3月

**目录**

[**一、 基于指尖智能感知的接线模块拉拔力检测技术 3**](#_Toc8831)

[**二、 数字孪生驱动的民机总装电源配电系统健康管理技术研究 6**](#_Toc5452)

[**三、 面向紧固件自动化封包密封的高效脱胶技术 9**](#_Toc29565)

[**四、 长寿命高可靠性航空关节轴承滚铆压头关键技术研究 12**](#_Toc13454)

[**五、 锂铝合金紧固孔精强一体化波动式超声制孔技术研究 14**](#_Toc8222)

[**六、 航空复合材料制孔质量的视觉检测技术研究 16**](#_Toc19478)

[**七、 基于成分设计和结构特征变异因素的SLM成形TC4性能数据集合与产品性能预测模型开发研究 18**](#_Toc19296)

[**八、 激光选区熔化高强铝合金组织缺陷与性能调控技术开发 21**](#_Toc5725)

[**九、 基于索并联机构的大型复杂表面轻量化涂装机器人研究 23**](#_Toc9094)

[**十、 基于元模型的商用飞机表面处理工艺碳排放动态预测及低碳优化技术 25**](#_Toc6041)

[**十一、 复合材料梁肋R区层间强度分析方法开发与验证 28**](#_Toc30440)

[**十二、 基于试验大数据的复合材料许用值智能预测与分析 30**](#_Toc15320)

[**十三、 碳纤维复合材料结构冲击损伤智能识别与修理方案快速建模工具开发研究 33**](#_Toc17444)

[**十四、 液体成型机翼长桁干纤维预制体自动化制备工艺研究 35**](#_Toc26332)

[**十五、 玻璃纤维增强聚苯硫醚热塑性复合材料电阻焊接工艺及焊区凝聚态结构研究 38**](#_Toc18698)

# 基于指尖智能感知的接线模块拉拔力检测技术

1. **项目背景**

目前支线和大客的接线模块广泛采用基于M81714标准的结构形式，其类型包含接地模块、配电模块等，主要构造包含导线、封严体、壳体、接触件和汇流条。其中接触件安装在封严体盲孔内并与汇流条相连接，处于不外露状态，传统的按压式保持力测试方法和测试工具无法用于该类接线模块保持力测试，需采用拉拔方式来完成其接触件固位检测。目前接线模块的拉拔力测试采用手工拉拔的弹簧测力工具，其体积大、精度低，对密集分布的接触件逐一测试可操作性差、夹头对线缆表皮损伤难以解决，接线模块接触件固位状态的误检和漏检风险极高，亟需研制基于指尖可佩戴式结构的拉拔力智能检测工具，实现对接线模块接触件固位状态的智能感知和直观提示，显著提升飞机接线模块的制造质量、批产效率以及可靠性。

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**

**1）项目目标:**

针对现有飞机接线模块接触件拉拔力人工检测工具存在的可操作性差、工作效率低、漏检/误检风险高和引入线缆损伤等难点问题，开展基于指尖智能感知的接线模块拉拔力检测技术研究，突破指尖触滑觉和接线模块拉拔力的数值映射机理模型构建、柔性异构触滑觉指尖传感结构设计制造，指尖触滑觉数据采集与分析系统研制、柔性拉拔力智能测试指套的性能测试及应用验证等关键理论与技术，实现对接线模块接触件固位状态的高效智能感知，显著提升飞机接线模块的制造质量和批产效率。

**2）技术指标：**

1. 包含摩擦系数修正的柔性触滑觉和接线模块拉拔力映射模型误差≤10%
2. 接线模块接触件拉拔力设定值9N，拉拔力测试精度±0.5N
3. 具备拉拔力达到9N±0.5N时的显性化提示功能
4. 测力模块寿命≥10000次拉拔测试，指尖摩擦材料寿命≥1000次拉拔测试
5. 柔性拉拔力测试指套可适配不同指尖外形和尺寸
6. 技术成熟度提升至TRL5级
7. **主要研究内容**
8. 指尖触滑觉和接线模块拉拔力的数值映射机理模型构建

 建立基于非线性弹性接触和界面蠕滑理论的接线模块线缆运动仿真模型，研究摩擦材料-线缆界面摩擦系数随拉拔次数变化的基本规律，建立针对摩擦系数变化的线缆拉拔力高精度误差修正方程；构建指尖触滑觉和线缆拉拔力关系的高精度测试装置，依据数值模拟和实验测试结果，引入多参量响应面分析法，建立触滑觉力为输入、拉拔力为输出的多参量响应面方程，获得指尖材料参数、摩擦系数变化率、传感构型参数和加载参数的映射规律，建立指尖触滑觉和拉拔力的高精度映射关系模型。

1. 柔性异构触滑觉指尖传感结构的设计制造

设计可适配于指尖形状的全局柔性和局部硬性异构型触滑觉传感结构，采用包含柔性电极层和导电层的触滑觉传感分层功能结构和局部硬性摩擦增强型夹持结构，分别实现拉拔力测试指套的传感和夹持功能，基于微纳加工、3D打印等先进工艺，实现接线模块拉拔力测试指套的高精度加工和集成制造。

1. 指尖触滑觉数据采集与分析系统开发

开发指尖触滑觉传感数据实时采集系统，主要包括触滑觉传感数据检测电路和上位机程序、实现触滑觉传感信号的采集、处理与实时显示；研制可适配于接线模块拉拔力测试指套的佩戴式/嵌入式拉拔力数据采集和显性提示测试模块。

1. 接线模块拉拔力智能测试指套的性能测试及应用验证

搭建接线模块拉拔力传感功能结构的检测系统，主要由柔性触滑觉传感功能结构、实验平台（包括触滑力加载台和接线模块保持力测试台）、触滑力和拉拔力检测电路以及上位机等组成。通过试验平台验证接线模块拉拔力测试指套的设计指标，通过小批量的现场应用评估验证拉拔力测试指套的操作适配性。

1. **预期成果**
2. 接线模块接触件拉拔力柔性检测指套10件
3. 接线模块接触件拉拔力柔性触觉传感数据采集系统1套
4. 接线模块接触件拉拔力柔性触觉传感性能试验平台1套
5. 接线模块拉拔力测试指套的使用指南1份
6. 应用于接线模块拉拔力测试指套的研究报告2~3份
7. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 数字孪生驱动的民机总装电源配电系统健康管理技术研究

1. **项目背景**

近年来，数字孪生越来越受到业内专家学者的重视，主要集中在航空部段装配、设备安装等方面。但对于飞机信号、内部机理、工艺流程等的孪生较少，难度也更大。此外，针对飞机系统的健康管理、故障监控等方面仍有很大的发展空间。目前，波音、空客在研究报告中也披露相关研究方向。国外先进飞机，尤其军机也在采用健康管理系统，部分处于工程试验阶段。在民机总装测试过程中应用数字孪生驱动的健康管理技术有以下优势。在总装测试整体方面，可实现在可视化环境下故障诊断和预测；在模型方面，可实现机载设备、系统装配件（如线缆、导管等）等机理透明化；在数据交互方面，实现测试实体和虚拟体同步映射和高效协同。考虑到，飞机电源配电系统是飞机总装试验过程中的首要环节，并且电源配电系统多为信号流，系统发生故障时故障原因不够显性，故障位置难以直接显示，并且电源配电系统内部机理与其他系统交联较广。基于此，以总装电源配电系统为例，开展数字孪生驱动的民机总装电源配电系统健康管理技术研究，可实现测试故障监测信息化、智能化和场景动态化。

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：**

以飞机总装电源配电系统为研究对象，开展电源配电系统数字孪生模型建立、数字孪生模型自更新算法、故障诊断与健康监测、健康管理平台开发和平台可靠性验证等健康管理技术研究，搭建飞机总装电源配电系统健康管理平台，实现测试全过程虚拟透明化，有效支撑测试工艺布局优化、故障机理诊断、测试进度把控、测试验证覆盖情况和健康监测等工作。后续视应用情况，可逐步推广至设计、维修交付和客服等环节，最终形成飞机全生命周期的健康管理理念。

**技术指标：**

1. 针对数字孪生模型中，基于物理机理的机载设备模型不少于10个、基于行为过程的信号流模型不少于10个、基于工艺流程的系统装配件模型不少于10个；

2）健康管理平台能显示故障位置、故障隔离率、故障统计图等；

3）能准确识别物理机理类故障和工艺装配类故障，验证至少5条故障；

4）支持故障诊断数据库的云存储和故障结果的无线终端显示；

5）具备辅助现场排故的操作指示功能；

6）技术成熟度由TRL3达到TRL5。

1. **主要研究内容**
2. **拟解决的关键技术**
3. 总装电源配电系统数字孪生建模技术

利用数字孪生技术、电源配电系统工艺资料和设备资料，搭建数字孪生驱动的包含机载设备、系统装配件等在内的“数字生态系统”，建立基于物理机理的机载设备孪生模型、基于行为过程的信号流模型和基于工艺流程的系统装配件模型等，实现总装过程中真实电源系统的可视化功能。

2）总装电源配电系统数字孪生模型自更新技术

研究基于智能算法的数字孪生模型自更新技术，将模型跟踪问题视为实时参数更新问题，为下次操作提供依据，以此来保持与真实系统的高保真性。通过模型跟踪和参数更新，实现最优控制，保持孪生模型与真实系统的镜像一致性。

3）故障诊断与预测技术

研究总装电源配电系统数字孪生模型的诊断预测技术，对测试过程进行故障诊断。以及采用相关算法，对当前系统特征向量与故障状态下的特征项进行模糊匹配，设置置信度阈值，高于阈值的最为故障候选项，实现故障隔离任务。

4）健康管理平台一体化技术

研究基于B/S架构的健康管理平台，实现后端数据传输与数据库存入、前端界面设计与分工、前端与后端数据的实时传输。最终将数字孪生模型、自更新算法、故障诊断与预测、前端显示等进行松耦合，实现统一平台管理和操作。

1. 总装电源配电模型健康管理平台可靠性验证技术

研究基于仿真技术与故障库信息的健康管理平台可靠性测试，采用系统仿真技术对平台的故障诊断与真实系统的高保真性进行验证。此外，采用真实故障信息注入方式，对其进行镜像一致性情况进行测试，最终验证其平台可靠、信号正确、过程真实等。

1. **研究结果的验证方式**

通过仿真与试验台测试验证

1. **预期成果**

（1）总装电源配电系统健康管理平台1套（含数字孪生模型、自更新算法、故障诊断和预测方案、专家知识库、测试硬件终端等）；

（2）论文1篇，发明专利1篇。

1. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 面向紧固件自动化封包密封的高效脱胶技术

1. **项目背景**

在现代飞机的制造中，飞机用在装配过程中所用的工作量大约占到飞机总体制造过程中的 40％～50％。出于安全、舒适性和储存燃油的需要，飞机客舱和油箱都需要做密封处理，另外还有大量的防腐蚀密封内容。由于飞机结构复杂、空间受限，所以密封工作在飞机的整个装配过程中不仅有着较大的工作量而且对飞机的整体质量也具有不可忽视的影响。

目前，在紧固件自动化封包密封过程中，机器人自动涂胶执行器末端会与未固化的密封剂粘连，影响自动化封包质量，降低自动化封包效率，不利于自动密封工艺提升，影响飞机装配效率。

本项目针对上述问题，开展紧固件自动封包密封的高效脱胶技术研究，旨在提高自动封包的效率及质量。

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：**

本项目针对紧固件自动化封包密封过程中能高效脱胶的迫切需求，开展聚硫密封剂（HM118 B-2/PR1782 B-2/MC780 B-2）粘附特性研究，寻求一种在紧固件封包时能快速脱胶的手段，形成紧固件自动化封包密封的高效脱胶方法，提升紧固件自动封包的质量和效率。

**技术指标：**

1. 涂胶末端脱胶时间不超过5s；
2. 紧固件封包尺寸满足规范要求；



|  |  |
| --- | --- |
| 脚注Footnote | 密封剂层最小厚度 mm (in.) Minimum Thickness of Sealant Layer, mm (in.) |
| (1) | 0.13(0.005) |
| (2) | 0.38(0.015) |
| (3) | 0.76(0.030) |

1. 脱胶后，胶的表面光滑，无气泡、无拉丝；
2. 项目完成时，技术成熟度不低于TRL4级。
3. **主要研究内容**
4. 拟解决的关键技术
5. 密封剂粘附机理特性研究

针对聚硫密封剂自身特性，开展密封剂粘附机理特性研究，通过化学研究、物理研究或化学物理综合研究等方向，寻找出一种能与施工期内的密封剂不发生粘连的脱胶方法。

1. 具备高效脱胶能力的自动涂胶末端设计

结合紧固件封包要求，开发设计一末端，能保证涂覆完成后封包质量满足要求，且能与紧固件上的密封剂快速脱离、不拉丝。

1. 高效脱胶技术试验验证

针对不同尺寸紧固件的封包要求，开展各种工况试验，形成完整的自动封包操作方法。

1. 研究结果的验证方式

在自动涂胶密封工艺中进行应用。

1. **预期成果**
2. 具备高效脱胶能力的涂胶末端1套；
3. 项目总结报告1份；
4. 专利不少于2篇。
5. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 长寿命高可靠性航空关节轴承滚铆压头关键技术研究

1. **项目背景**

自润滑关节轴承因其优越的耐冲击、自润滑、抗腐蚀和可调心等性能被广泛应用于商业飞机的操纵杆件、机翼及方向舵等重要部件中，其性能关乎飞机的使用与安全。滚铆作为关节轴承与结构件联接的常用安装固定工艺方法，相比于压铆工艺，收压载荷大幅度降低，对轴承外圈挤压程度较小。但现有国产滚铆压头在收压轴承外圈时存在两个问题，一是，滚铆压头磨损严重，使用寿命低，多次使用后压头滚轮镀层易发生剥落，且常产生划痕等缺陷，影响关节轴承使用性能；二是，航空关节轴承型号众多，现有滚铆压头仅能满足部分型号固定安装需求，亟需拓展滚铆压头适用范围，满足生产实际需求。

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：**

针对国产滚铆压头存在的问题，本指南提出如下三点研究目标。

1）明确滚铆压头磨损机理及失效机制，研发长寿命国产滚铆压头；

2）明确关节轴承滚铆安装质量影响因素，改进滚铆安装工艺，提高关节轴承安装质量和安装效率；

3）结合轴承型号和安装工况，对相同规格轴承，提高滚铆压头通用性，拓展滚铆工艺适用范围；

4）结合关节轴承安装固定工况，针对已安装轴承转动力矩、摆动力矩的现场检测需求，设计便携式关节轴承转动力矩和摆动力矩原位检测装置。

**技术指标：**

1）单个滚铆压头至少实现100件轴承翻边收压，期间滚铆压头不发生滚轮镀层剥落和滚轮晃动现象，滚铆后轴承V型槽收压一侧无明显划痕，表面粗糙度Ra小于3.2；

2）轴衬类零件安装推出力测试后满足推出位移不超过0.1;单个轴承滚铆翻边时间不超过3分钟；

3）研制新型滚铆工装，将滚铆工艺适用的工况拓展至20~24种（现有滚铆工艺适用18种安装工况）；

4）便携式轴承转动力矩检测装置重量≤0.8，测量精度±2%，分辨率≤0.1。

1. **主要研究内容**
2. **拟解决的关键技术问题**

a. 航空关节轴承滚铆固定变形机理及失效机制研究

b. 底座和轴承外圈材料对滚铆压头寿命和轴承安装质量影响的研究

c. 考虑运动平稳性及使用寿命的滚铆压头结构优化设计

d. 滚铆压头配副接触性能及工作平稳性分析

e. 高质量、高性能滚铆工艺研究

f. 提升安装工况适应性的滚铆工装系列化研究

g. 关节轴承转动力矩和摆动力矩原位检测装置结构设计和结构轻量化研究

1. **研究结果的验证方式**

考虑到进口轴承采购周期和验证成本，可使用材料性能相近的国产关节轴承进行验证，或者使用同种材料制作轴承结构模拟件验证研究结果。

1. **预期成果**

1）航空关节轴承滚铆固定工艺变形机理和失效机制研究报告1份；

2）滚铆压头配副接触性能及工作平稳性分析报告1份；

3）滚铆工装结构设计及固定工艺参数研究报告1份；

4）新型滚铆压头及工装3套；

5）新型滚铆压头专利1篇。

1. **建议研究周期**

**24个月**

1. **所需研究经费**

**总额50万元。**

# 锂铝合金紧固孔精强一体化波动式超声制孔技术研究

1. **项目背景**

目前现有开缝衬套、芯棒挤压等主流孔冷挤压强化技术仅适合中大孔径及中厚孔结构的强化，尚未在量大面广的小孔及薄件孔强化上取得根本性突破，无法满足民用飞机紧固孔大面积强化需求和机体长寿命、高可靠性性能要求。我国大型民用飞机存在大量锂铝合金紧固孔，其孔径小、厚度薄，现有孔冷挤压强化技术因挤压力大而无法开展实施。因此，探索在紧固孔精加工过程中同时实现孔强化效果，在不额外单独增加强化工序的条件下采用一道切挤复合工序完成紧固孔的精密切削与挤压强化，实现锂铝合金精强一体化制孔具有一定的工程意义。

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：**

针对铝锂合金传统制孔疲劳寿命难保证和现有孔冷挤压强化技术无法实施的问题，本项目提出一种精强一体化波动式制孔方法并开展相关技术研究。揭示波动式超声制孔表面塑性变形层创成机制，突破横向椭圆超声高效谐振技术、切挤一体精密制孔刀具、表面完整性指标多参数协同调控等关键技术，掌握金属薄壁装配结构切挤一体加工工艺方法，建立工艺数据库，形成相关工艺规范，提高金属薄壁装配结构的整体服役性能。

**技术指标：**

1）制孔孔径范围Ø3-Ø8mm，叠层厚度2-20mm。

2）孔径精度不大于H9，孔表粗糙度不大于Ra0.8。

3）铝锂合金精强一体化加工试验件低周疲劳寿命较传统制孔工艺提高不小于50%。

4）典型铝锂合金紧固孔精强一体化加工效率不低于3孔/分钟。

5）技术成熟度从TRL4级提升至TRL5级。

1. **主要研究内容**

1）波动式超声制孔表面强化塑性变形层创成机制

开展波动式超声制孔切削刃熨压/冲击微观运动学特性研究，阐明后刀面熨压与超声冲击协同增塑行为，研究孔壁残余应力大小和分布及其均匀性与工艺参数的依赖关系。

2）横向椭圆超声换能器与切挤一体专用刀具设计

基于亚固有谐振区谐振理论和有限元仿真手段，研究超声换能器横向椭圆振动机理，设计大振幅双弯超声换能器和回转椭圆超声刀柄。对切挤专用刀具角度、刃型和强度进行参数化建模，借助有限元方法研究刀具不同结构参数对材料去除、亚表面塑性变形、残余应力分布及刀具磨损的影响规律，进而设计出切挤效能相匹配的专用刀具。

3）锂铝合金波动式超声制孔加工工艺参数优化

搭建波动式超声制孔工程化工艺系统，研究工艺参数、润滑介质用量等对孔几何精度和孔关键表面完整性的影响规律，建立工艺条件和孔精度及关键表面完整性指标的映射关系，进而建立锂铝合金波动式超声制孔多目标优化数学模型，形成工艺参数数据库。

4）锂铝合金波动式超声制孔孔疲劳性能评价

采用波动式超声制孔工艺对典型锂铝合金孔件进行试验，对表面完整性指标进行测量对比，采用行业标准规范对样件进行疲劳性能试验，对比分析疲劳循环次数和断口形貌，验证锂铝合金紧固孔精强一体制孔的工艺有效性，并形成相关工艺规范。

1. **预期成果**

1）波动式制孔装置1套（包含智能超声电源系统1套，椭圆超声制孔工具、气电一体电缆线、切挤一体刀具等硬件设备）

1）工艺规范1份；

2）铝锂合金精强一体加工典型件35件；

3）应用于锂铝合金紧固孔精强一体化加工技术研究报告至少2篇

4）学术论文1篇

1. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 航空复合材料制孔质量的视觉检测技术研究

1. **项目背景**

复合材料凭借其比强度高、比模量大、抗断裂能力强和性能可设计等诸多优点，是航空航天领域研究和发展的重点。目前，复合材料制孔工艺开发、型号现场装配等阶段存在孔内壁质量问题如分层缺陷，粗糙度超差，分层缺陷所采用的金相剖切技术为单维度检测，取样方向随机，漏检风险大，且效率低、具有破坏性，无法在工件本体上实施；粗糙度测量所采用的触针式表面粗糙度测量技术难以应用在型号现场装配阶段，对有疑异的孔结构无法在本体上进行测量。而孔内壁质量问题将直接影响飞机结构件的服役性能，因此加强复材孔内壁质量检测能力，提升复材孔质量有着重要意义。

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：

本课题针对目前检测复合材料制孔工艺开发、型号现场装配等阶段孔内壁质量检测的难题，基于视觉检测技术，开展复合材料孔内壁质量专用视觉无损检测设备研究，通过小口径孔内壁光学检测装置的设计与开发、图像拼接技术和孔内壁粗糙度光学检测技术研究，突破工业环境下的环境光、温度等干扰因素的影响，针对大客平尾部段典型应用场景，解决孔结构内壁质量无损检测的难题，实现复材孔内壁质量的直观、高效、可靠的无损检测。

技术指标：

1. 孔内壁光学检测装置放大倍数：≥30倍；
2. 检测图像显示：孔内壁360°整体展开图；
3. 可检孔边分层厚度尺寸≤0.05mm；
4. 具有粗糙度检测功能；
5. 技术成熟度从TRL 3级提升至TRL 5级。
6. **主要研究内容**
7. 拟解决的关键技术（可逐项列出）

a. 小口径孔内壁光学检测装置的设计与开发；

b. 孔内壁360度图像拼接技术研究；

c. 复合材料孔内壁分层缺陷视觉检测技术研究；

b. 复合材料孔内壁粗糙度视觉检测技术研究。

1. 研究结果的验证方式

a. 在复合材料分层对比试块孔内，使用所设计的光学检测装置进行图像采集，并输出360度拼接图像展示结果；

b. 利用研究的复合材料孔内壁分层缺陷视觉检测技术，在不同环境光、温度下对分层对比试块进行图像采集、数据智能处理，实现分层缺陷的高效检测；

c. 利用研究的孔内壁粗糙度视觉检测技术，在不同环境光、温度下对标定的复合材料试块进行图像采集、数据智能处理，实现粗糙度的检测。

1. **预期成果**
2. 搭建复合材料制孔孔内壁质量视觉无损检测平台1个，包含检测设备和检测工装；
3. 应用于复合材料制孔孔内壁质量检测报告1篇；
4. 论文或专利1篇。
5. **建议研究周期**

研究周期24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 基于成分设计和结构特征变异因素的SLM成形TC4性能数据集合与产品性能预测模型开发研究

1. **项目背景**

随着航空领域深度发展，商用飞机逐渐向工程化、智能化、高质量绿色发展趋势靠拢。传统加工方法制造的结构件存在材料利用率低、生产流程长、机械加工易变形等技术瓶颈，亟需找到合适的材料和加工方法满足现有制造需求。激光增材制造技术具有减重明显、制造过程快速等优点，TC4钛合金作为增材制造的常用金属材料广泛应用于C919大型客机的舱门、翼梁、起落架、液压管路接头以及发动机上风扇、叶片等结构，在C919上钛合金用量已达到机身结构重量的9.3%，这也是我国第一次在一款民用飞机上大量使用钛合金。当前国内TC4钛合金增材制造产品的验收条件基本延用铸件及锻件标准，受粉末合金元素和杂质元素批次间波动变化的影响，激光增材制造产品力学性能离散度较大，缺少针对元素成分与力学性能映射关系的系统性研究，并且尚未形成有效的力学性能预测模型及数据库。同时，成形件零件结构、厚度以及表面状态都会成为影响零件性能的变异性因素，且影响不可评估。因此本项目针对航空领域结构材料使用要求，以影响TC4钛合金性能的变异性因素为入手点，研究不同合金成分、杂质元素、不同合金结构与不同表面状态对其力学性能的影响，预期突破元素成分调控和表面质量提升两项关键技术，形成TC4钛合金激光选区熔化成形力学性能预测模型与数据集。

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：**

本项目围绕航空领域结构材料的可靠性和高质量发展问题，聚焦增材制造粉末成分设计和结构特征特征变异性要素，开展TC4粉末元素成分调控和制备研究，实现性能导向的粉末需求匹配。开展增材制造结构性能评价矩阵设计方法研究，形成结构变异型要素考量的力学性能数据包。综合粉末成分设计和结构特征变异性要素，建立增材制造金属性能的预测模型，实现激光增材制造典型零件的性能预测和验证评价。

**技术指标：**

1）完成不少于5种成分区间TC4钛合金粉末材料开发，Al、V合金元素成分偏差±0.3%，粉末杂质元素氧含量可在800-1000ppm、1000-1500ppm、1500-1800ppm等梯度范围内自主调控。

2）建立合金成分与成形制件力学映射关系，激光成形制件室温力学性能调控范围：拉伸强度 950—1150MPa，屈服强度850-950MPa，延伸率12-14%。

3）结构变异性试验件不少于100件。

4）SLM成形钛合金酸洗去除量≥0.2mm，不同结构试验件（至少3种）酸洗后荧光检测满足：单个气孔尺寸不超过0.05倍直径或1/3厚度（取最小值），在50.8×50.8mm区域内不连续的数量不超过3。

1. **主要研究内容：**

**1）基于性能导向的选区激光熔化用TC4粉末成分设计和制备技术**

采用气雾化方法进行TC4钛合金粉末制备，采用不同的“铝当量”设计方法，开发具备不同“铝当量”成分区间的粉末制备工艺。开展收得粉末的理化性能评价，实现增材制造用TC4粉末成分区间可调的粉末制备方法。基于制备的多成分区间粉末，开展不同粉末成分成形性能的影响研究，建立不同化学成分区间下增材制造性能数据。

**2）围绕结构变异性的增材制造性能评价矩阵设计方法研究**

识别并提出细节结构层级，影响SLM成形性能的要素（如厚度、表面状态、成形方向等），提出性能评价的矩阵设计方法，开展结构变异性要素对SLM成形钛合金性能的评价。研究热处理、热等静压、表面酸洗、化学抛光等后处理条件下，细节结构层级性能的评价研究，获得后处理工艺点和特定性能的连接关系，形成相对优化的表面处理和热处理数据包。

**3）基于多重变异性要素下的增材制造性能分析和预测模型建立**

针对（1）、（2）中获得的性能数据，开展围绕成分设计和结构特征对SLM成形性能的分析评价方法研究，形成多重变异要素对SLM成形钛合金性能的影响规律和机制。开展不同变异性要素下增材制造性能预测模型的建立研究，初步实现针对特定材料、特定结构的SLM成形性能的预测。

**4）激光增材制造典型零件性能预测及验证方法研究**

在上述研究结果的基础上，选择合适构型的目标零件，综合考量典型零件的结构、尺寸特征和后处理工艺特点，建立零件的随炉打印和本体解剖方案，使用（3）中的性能预测模型，初步评估零件结构性能的水平。开展随炉件和本体解剖件的性能测试和差异性评价，完成性能预测模型的验证和修正。

1. **预期成果：**

1）基于元素成分优化调控的TC4钛合金激光增材制造力学性能预测模型1件，完成不少于5种成分粉末研制，每种成分的粉末产量不少于30kg。

2）面向激光增材制造TC4制件的表面酸洗或化学抛光处理技术文件1份。

3）基于成分设计和结构变异性激光增材制造TC4力学性能数据库1项。

4）典型样件解剖和测试分析报告1份。

5）基于性能预测和变异性要素分析的技术总结报告1份。

1. **建议研究周期：**

24个月。

1. **所需研究经费：**

50万元。

# 激光选区熔化高强铝合金组织缺陷与性能调控技术开发

1. **项目背景**

铝合金（材料轻量化）结合增材制造技术（结构轻量化）所显示出的轻量化潜力使得增材制造铝合金在民机领域日益受到重视。然而，铝合金易氧化、激光吸收率低等特性会导致激光选区熔化制件固有缺陷多、熔池易产生大颗粒飞溅物等问题。目前，激光选区熔化高强铝合金微观缺陷多及其导致的力学性能不稳定性已经成为阻碍其在民用飞机领域应用的关键技术瓶颈，亟需突破。首先，亟需探明粉末特性对缺陷形成的影响规律，确定粉末适用标准，从粉末原材料特性控制，避免缺陷遗传。其次，需要揭示关键工艺参数对熔池稳定性及飞溅颗粒的影响规律，开发减少成形过程中内部缺陷数量与尺寸的工艺方法；同时，研究适用于增材制造高强铝合金的热等静压等后处理技术，进一步消除高强铝合金制件内部固有缺陷，提升力学性能及稳定性。基于原材料-成形工艺-后处理三方面研究，为增材制造高强铝合金在民机领域的应用奠定基础。

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C919客机铝合金典型件（零件尺寸不超过250mm×250mm×400mm），基于AlMgScZr系高强铝合金体系，重点研究粉末特性（空心粉、松装密度、粒径分布等因素）对成形件组织、缺陷的影响规律，形成高强铝合金激光选区熔化成形缺陷控制技术。揭示激光、扫描策略、风场等关键工艺参数对熔池稳定性及飞溅颗粒的影响规律，建立熔池稳定性优化与缺陷控制方法；深入研究热等静压工艺参数对缺陷（数量、类型、尺寸）的影响，建立热等静压工艺规范，系统对比热等静压前后制件的性能，揭示缺陷与性能对应关系。最终，建立原材料-成形及后处理工艺-性能之间的关联性，为高强铝合金缺陷与力学性能调控提供理论基础与技术支持。

**技术指标：**

1. 成形件最终致密度≥99.9%，最大缺陷尺寸≤100μm；
2. 零件尺寸≤250mm×250mm×320mm，要求最小可检缺陷尺寸≤100μm；
3. 技术成熟度从TRL3级提升至TRL5级。
4. **主要研究内容**
5. **拟解决的关键技术（可逐项列出）**
6. 增材制造高强铝合金缺陷控制技术。主要研究粉末特性（空心粉、松装密度、粒径分布等因素）与成形过程中的关键工艺参数对熔池稳定性、缺陷形成规律及冶金质量的影响；基于缺陷与力学性能评价指标，建立适用于高强铝合金典型零件的粉末标准以及缺陷控制方法，从原材料与工艺端实现对成形件缺陷的控制。
7. 增材制造高强铝合金性能调控技术。深入研究热等静压等后处理工艺对组织、缺陷及力学性能的影响规律，形成增材制造高强铝合金力学性能后处理调控技术。利用无损检测技术（如工业CT等）系统对比热等静压前后制件的缺陷特征（缺陷类型、形状、数量、尺寸、位置及分布），结合性能测试数据，建立缺陷特征与性能的相关性关系。
8. **研究结果的验证方式**

第三方检测报告，自测报告。

1. **预期成果**
2. 相关成果形成地方或者行业标准立项1份；
3. 高强铝合金典型零件热等静压工艺规范初稿1份；
4. 典型件1-2件；
5. 发表论文2篇；
6. 项目总结报告1份。
7. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 基于索并联机构的大型复杂表面轻量化涂装机器人研究

1. **项目背景**

飞机涂装作业目前大量依靠人工，迫切要求发展大型复杂表面的自动化涂装设备和技术。针对大型构件的自动化涂装作业，通常将机器人安装于大尺度刚性运动平台上，整体结构笨重、厂房承载要求高却灵活性低，且造价和功耗极高，建设过程复杂。索并联机器人是索驱动技术和并联机构理论的有机结合，同时获得了超大工作空间、设备轻量化和能效优良等优点，“中国天眼” 项目创新地采用了索并联机构，实现了30吨馈源舱300米范围内的高精度运动，美国空军开发的大型飞机除漆和喷涂的索并联机构，已用于C130等飞机的喷漆维护作业，欧盟实施CableBOT和HEPHAESTUS项目，推动索并联机器人在大型飞机装备涂装、维护中的应用。综上，索并联机构机器人装备及技术的发展在超大空间重载领域显现出了显著优势，对民用飞机的涂装应用体现出了极高的适应性，急需开展相关技术及应用研究，为后续飞机涂装装备技术水平提升提供技术基础。

1. **项目归属的重点专业领域**

热工艺、智能制造与新材料新工艺应用

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目将索并联机构理论、机器人学和自动化技术相结合，建立低成本高性能索并联机器人的构型创新和优化设计理论、稳定控制技术和工艺优化方法，研发基于索并联机构的大型复杂表面轻量化涂装机器人，为大型装备复杂表面的高效精密涂装提供新原理、新装备和新技术，推进我国机器人装备的自主创新及机器人与智能制造的交叉融合发展。

**技术指标：**

1)原型样机的工作空间达6m×3m×2m；具有完整空间6自由度；

2）终端定位精度≤±5mm；

3）负载满足飞机喷涂作业要求。终端负载能力≥10kg；

4)支持手动操作和全自动运行；

5)满足飞机涂装的防爆要求；

6)技术成熟度从TRL2提升至TRL5。

1. **主要研究内容**
2. 基于索并联机构的大型复杂表面轻量化涂装机器人构型设计及优化：针对飞机的涂装及维护工况要求，确定工作空间要求，开展索并联机构的构型综合，确定最优驱动索数目及排布方式；提出性能指标体系，建立涵盖运动学和动力学的优化设计方法，完成尺度优化设计和驱动模块匹配，实现整机性能综合优化。
3. 高精度运动学标定及本体精度保证：研究高效误差标定和测点优选方法，用尽量少的测量位姿确保参数辨识结果的高精度；研究非线性时变误差模型的参数辨识及误差补偿方法，解决索并联机器人测量扰动和绳索变形导致的辨识矩阵病态问题，保证机器人本体精度。
4. 动力学分析及稳定控制方法研究：分析索驱动刚柔混联机器人在工作空间内的固有频率和振型等振动特征，展开设计参数与振动特性映射研究和敏感性分析；建立减小振动能量输入和高效耗散双措并举的主动抑振控制方法，提升整机的稳定性和终端位姿精度，并形成具有普适性的稳定控制方法，提升整机的稳定性和终端位姿精度。
5. 喷涂轨迹规划技术研究：针对索并联机器人与待喷涂表面的干涉和碰撞，研究避障策略和方法，保证功能安全，建立索并联机器人的站位轨迹规划方法；针对典型的片区形貌和工艺参数，建立涂层沉积模型，探索涂装过程中喷枪姿态和运动参数的优化求解方法，提升装备涂装效率和涂层质量。
6. **预期成果**

1)研发模型样机1套；

2)形成相关技术报告3份：《基于索并联机构的大型复杂表面轻量化涂装机器人优化设计技术报告》、《索驱动机器人抑振控制技术研究》、《索并联机器人喷涂轨迹规划技术报告》；

3)开展涂装作业验证实验，应用技术研究报告1篇；

4)申请专利或发表学术论文不少于2项。

1. **建议研究周期：**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 基于元模型的商用飞机表面处理工艺碳排放动态预测及低碳优化技术

1. **项目背景**

商用飞机复杂、严酷的服役环境对飞机结构件性能提出了很高的要求，通过对商用飞机轻质合金零部件进行阳极氧化、喷涂等表面处理，可满足零部件耐腐蚀、抗疲劳、耐磨损等性能需求。然而，表面处理工艺大多是高能耗、高污染工艺，且在多品种小批量生产模式下，往往存在工艺设备运行效率低下，物料选用不合理等问题，导致全工艺链能源资源浪费严重、碳排放强度高。但目前为止，尚无标准方法对表面处理工艺过程的碳排放核算进行指导，导致以减碳为目标的工艺优化过程无法得到有效的减排数据支撑。为落实《上海市工业和通信业节能降碳“百一”行动计划》中每年降碳1%的要求和《中国商飞“十四五”绿色发展规划》中能耗及碳排放控制的要求，针对民机制造过程中污染和碳排放较高的表面处理工艺，亟需开展其工艺碳排放核算、动态预测及低碳优化等技术攻关，以获得准确的工艺碳排放数据，为工艺的减污降碳优化提供强有力的数据支撑。

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：**

面向国产商用飞机“双碳”目标下轻质合金零部件表面处理工艺碳排放系统化、精细化管理需求，研究基于动态生命周期清单分析的碳排放核算方法并形成相关标准，突破基于元模型的碳排放模块化动态预测以及面向多品种组批排程与绿色低碳物料智能选择的低碳优化等关键技术，集成上述方法与技术，开发表面处理工艺低碳管理APP，实现表面处理工艺的碳排放核算、预测及低碳优化。

**技术指标：**

1. 实现不同表面处理工序碳排放核算及清单分析；
2. 实现典型轻质合金零部件表面处理碳排放预测精度达80%以上；
3. 实现典型轻质合金零部件单位表面处理面积碳排放减少10%以上；
4. 技术成熟度从TRL2级提升至TRL4级。
5. **主要研究内容**

**1）拟解决的关键技术**

* **商用飞机表面处理工艺碳排放核算方法及标准**

以前处理-表面处理-后处理全工艺链条为碳排放核算边界，集成数据驱动建模和生命周期评估等理论，研究基于动态生命周期清单分析的碳排放核算方法，并形成相关标准。

* **商用飞机表面处理工艺碳排放元模型及模块化动态预测技术**

构建表面处理工艺工序和工时的碳排放元模型，形成工序和工时的碳排放标准清单，集成多品种零部件工艺规划方案，基于模块化理论实现表面处理工艺碳排放的模块化动态预测。

* **商用飞机表面处理工艺多品种零部件低碳优化技术**

围绕设备运行效率提升，研究面向表面处理工艺多品种零部件组批排程的低碳优化技术；基于工艺物料碳排放特性，研究基于绿色低碳物料智能选择的低碳优化技术。

* **商用飞机****表面处理工艺低碳管理APP**

面向轻质合金零部件表面处理工艺碳排放核算、预测及优化需求，开发和部署表面处理工艺低碳管理APP，实现上述方法和技术的模型化、模块化、标准化和软件化。

**2）研究结果的验证方式**

针对轻质合金零部件表面处理工艺碳排放核算、碳排放模块化动态预测、多品种零部件组批排程低碳优化、绿色低碳物料智能选择等方法与关键技术，组织由航研所技术人员和制工中心技术人员组成的专家团队，以表面处理典型工艺及设备为对象，以表面处理工艺低碳管理APP为载体，逐一进行功能验证与评价。

1. **预期成果**
2. 表面处理工艺碳排放核算标准初稿1项；
3. 表面处理工艺碳排放元模型不少于10个；
4. 表面处理工艺碳排放模块化动态预测模型1套；
5. 表面处理工艺碳排放低碳优化方法2套；
6. 表面处理工艺低碳管理APP1个；
7. 申请发明专利不少于2项，发表论文不少于2篇。
8. **建议研究周期**

项目建议研究周期24个月。

1. **所需研究经费**

项目拟建议研究经费50万元。

# 复合材料梁肋R区层间强度分析方法开发与验证

1. **项目背景**

在复合材料梁和肋缘条R区存在层间应力，而复合材料层间强度远远低于其面内强度，因此结构设计中需要重点关注R区强度。在C919符合性报告编制过程中，一度出现了诸多R区裕度不满足要求的情况。后续通过三维有限元模型、修正紧固件刚度等方法，解决了R区的问题。然而，大规模使用上述方法计算量大，分析效率不高。因此需要对R区失效机理和准则作进一步深入研究，建立R区分析新方法，系统地优化设计值确定方法、工作载荷提取方法，建立参数化建模程序。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构设计

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

建立成体系的R区强度分析与设计值确定方法、流程、工具，提升当前分析方法精度和分析效率。

**技术指标：**

分析方法适用于实际结构受复杂载荷下的强度分析，分析方法与试验结果相差15%以内，且分析结果偏保守。

1. **主要研究内容**
2. **拟解决的关键技术（可逐项列出）**
3. 去保守化的R区失效准则的确定
4. 建立考虑铺层、预制分层、冲击损伤影响的R区设计值确定方法，考虑R试验中试验件内部层间应力分布不均匀的影响
5. 确定R区相邻紧固件在R区产生的应力集中效应
6. R区细节有限元模型建模方法和参数化建模程序
7. R区强度分析方法验证方案
8. 建立成体系的R区分析流程和方法，包括失效准则确定、设计值确定、有限元建模建立、裕度计算
9. **研究结果的验证方式**

通过中国商飞已有R区强度试验结果，验证分析方法的精度，包括有限元建模精度和失效分析进度。

1. **预期成果**
2. R区失效准则报告
3. R区设计值确定方法报告
4. R区工作载荷计算方法报告
5. R区细节有限元模型建模报告和参数化建模程序
6. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 基于试验大数据的复合材料许用值智能预测与分析

1. **项目背景**

目前飞机研制过程中主要通过试验手段确定复合材料许用值，随着机器学习技术的发展和多领域的成功应用，国外已开始探究基于试验数据的许用值预测建模技术在飞机复合材料设计制造中的应用，力求通过试验数据的深度挖掘和充分利用，达到减少试验规模、降低成本、缩短研制周期的目的。

目前中国商飞已在型号工作中积累了大量的复合材料性能试验数据，并在前期开展过初步的基于机器学习的数据关联模型研究，主要研究了6种机器学习算法以及无缺口拉伸、压缩、剪切性能数据之间的关联机制，初步建立了较为简单的预测模型。由于前期研究的技术成熟度仍较低，机器学习算法种类较少且适用的性能数据范围局限，未能实现不同性能数据建模方法的自适应选取及智能预测分析。因此，需要在前期研究基础上进一步开展基于试验大数据的复合材料许用值智能预测与分析研究。

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：**

在前期工作基础上进一步提升技术成熟度，引入代理建模理念，开展基于试验大数据的复合材料许用值智能预测与分析，探究复合材料许用值与底层数据的关系，通过试验数据的深度挖掘实现关联建模，提高预测精度，研究关联参数对许用值的影响，突破基于数据驱动的许用值预测技术瓶颈，在合理安排试验规模的前提下，实现复合材料许用值的智能预测分析，缩短研制周期，降低设计制造费用，同时为国产材料的快速装机应用提供支持。

**技术指标：**

1）完成15种以上复合材料材料级以及包含结构特征的许用值试验数据关联模型对比，筛选高效高精度的预测与分析代理建模方法；

2）复合材料许用值关联模型预测精度至少90%，为复合材料设计制造提供有效支持；

3）形成复合材料许用值智能预测与分析技术，采用Matlab/Python实现算法编程，实现复合材料许用值智能预测分析与关联影响性分析代码封装集成。

1. **主要研究内容**

**1）拟解决的关键技术**

a）复合材料许用值预测与分析关联关系代理模型建模技术；

b）复合材料许用值关联参数影响性分析技术。

**2）研究结果的验证方式**

所形成的研究报告通过专家评审的方式进行考核验证，所形成的模型通过案例和试验结果对比的形式进行考核验证，所封装的程序代码通过现场演示与专家评审的形式进行考核验证。

**3）研究内容概述**

a）复合材料许用值与底层数据关联关系研究

开展基于试验数据的复合材料许用值与底层数据关联分析，梳理复合材料许用值与工艺（孔隙率、树脂含量等）、材料属性（单层厚度、纤维单位面积重量等）、载荷、环境、铺层、力学特性等相关影响参数，形成复合材料许用值与底层数据关联矩阵；

b）复合材料许用值试验数据关联模型构建技术研究；

基于试验大数据，采用数据驱动和逆向设计理念，结合训练数据开展复合材料许用值预测与分析代理模型建模研究，通过测试数据对模型进行自适应建模和适用性验证，进一步实现不同设计参数下的复材许用值预测分析；

c）复合材料许用值关联参数影响性分析研究

采用数值模拟、近似解析等技术手段，探究关联参数对复合材料许用值的影响，为复合材料设计与制造提供输入参考；

d）复合材料许用值智能预测与分析程序代码封装集成

针对涵盖工艺性能、材料属性、载荷、环境、铺层、力学特性等参数的复材许用值数据，建立复合材料许用值数据库，针对不同特点的试验数据自适应选取合适的建模技术，实现复合材料许用值智能预测与分析程序代码封装集成，通过典型复合材料许用值预测分析进行示范性应用验证。

1. **预期成果**

1）复合材料许用值智能预测与分析程序代码；

2）基于试验大数据的复合材料许用值智能预测与分析研究报告至少4篇；

3）发表论文2篇及以上，申请专利1项及以上。

1. **建议研究周期**

 24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 碳纤维复合材料结构冲击损伤智能识别与修理方案快速建模工具开发研究

1. **项目背景**

民用航空器运营过程中，在砂石、维修工具坠落等导致的冲击作用下，碳纤维复合材料结构容易出现脱胶、撕裂、撞击损伤等内部缺陷。现代大型民用飞机设计、制造成本高昂，尤其对于一次成型的大型碳纤维复合材料主承力结构，更换的成本十分昂贵。而碳纤维复合材料结构的冲击损伤绝大多数具有局部性和多发性的特点。减少部件更换率，对受损部位进行局部修理是保证安全、降低碳纤维复合材料结构使用成本的最经济、最有效的方法。相关调研结果表明，阻碍碳纤维复合材料进一步应用的主要问题之一是碳纤维复合材料的原位冲击损伤分析与修理问题，其中，包括冲击损伤检测与评估、修理方法、修理后强度评价等具体问题。就目前而言，国内在航空碳纤维复合材料结构的冲击损伤分析和修理方面尚缺少比较快速、经济的解决方案。

1. **项目归属的重点专业领域**

复合材料结构损伤与修理

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

1. 针对冲击后碳纤维复合材料结构，基于传感器网络数据的冲击损伤快速识别方法，准确获取冲击损伤类别、位置和形状等信息；
2. 基于收集到的数据对冲击后碳纤维复合材料结构中冲击损伤进行识别，可根据给定的冲击损伤限制，快速给出是否需要修理的判断；
3. 对需要进行修理的冲击损伤，实现几何重建，进一步建立冲击损伤区域的精细化有限元模型，根据给定的分析方法对冲击损伤程度进行快速评估，支持修理方案的制定。
4. 在已建立的冲击损伤区域有限元模型的基础上，可实现修理方案的快速建模。

**技术指标：**

1. 冲击损伤识别与重建精度不低于95%，损伤预测最小直径为3mm；
2. 基于几何重构的含冲击损伤碳纤维复合材料结构模型与试验数据差异小于10%；
3. 碳纤维复合材料结构修理方案模型与试验数据差异小于10%。
4. **主要研究内容**

1）碳纤维复合材料结构的冲击损伤评估与三维重建技术；

 -研究基于无损检测数据的冲击损伤类别、位置和形状快速识别方法

 -研究基于无损检测数据的冲击损伤三维几何重建算法

 -研究冲击损伤对碳纤维复合材料结构承载能力的削弱机制

2）碳纤维复合材料冲击损伤限制与修理阈值研究；

 -研究冲击损伤区域的精细化有限元模型建模方法

 -研究冲击损伤后碳纤维复合材料结构剩余强度和刚度预测方法

 -根据剩余力学性能研究冲击损伤限制与修理阈值制定方法

3）修复方案制定与快速建模技术。

 -研究并对比冲击损伤类型和程度的典型修复方案

 -研究含冲击损伤碳纤维复合材料结构修理方案快速建模方法

 -碳纤维复合材料结构件修复后性能评价与实验验证

1. **预期成果**
2. 冲击损伤快速识别、评价、三维重建算法1套；
3. 基于几何重构的含冲击损伤碳纤维复合材料结构快速建模工具1套；
4. 碳纤维复合材料结构修理方案快速建模工具1套；
5. **建议研究周期**

建议研究周期为24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 液体成型机翼长桁干纤维预制体自动化制备工艺研究

1. **项目背景**

干纤维自动铺放液体成型技术弥补了传统低成本液体成型技术在性能、精度及效率等方面的劣势，基本与“预浸料+热压罐”工艺性能相当，这使得其在型号主承力结构上的大范围应用成为可能，也逐渐成为高效低成本制造技术发展的重点方向。该技术已成功应用于俄罗斯MS-21机翼，空客也通过“明日之翼”项目积极推进机翼结构的干纤维自动铺放液体成型技术研究。中国商飞也拟在科技部项目和宽体型号项目支持下开展国产干纤维材料研制及机翼典型结构液体成型研究工作。亟需针对机翼壁板T型长桁结构，突破干纤维自动化预成型装备及工艺技术，解决T型长桁干纤维预成型体的制备质量和效率问题，从而保障相关项目的顺利实施，为型号应用奠定基础。

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：**

旨在针对T型长桁干纤维自动化预成型需求，改造并优化现有自动化预成型装备，并突破干纤维预成型体折弯及干纤维捻子条制造的工艺难题，掌握T型长桁干纤维自动化预成型装备技术和工艺方法，并建立工艺过程控制策略，形成可靠的干纤维自动化预成型工艺指南或规范，为高效自动化液体成型技术在民机主承力结构上的应用奠定装备和工艺基础。

**技术指标：**

1. T型长桁干纤维自动化预成型装备：尺寸≥1m，加热温度可达到150℃，成型压力不小于0.2MPa，成型速率1mm/min-50mm/min连续可调；
2. T型长桁干纤维自动化预成型效率：能够在90min以内完成T型长桁干纤维折弯及组合全过程；
3. T型长桁自动化预成型体及零件：无明显纤维屈曲、褶皱等缺陷；

4）T型长桁零件：长度≥1m，纤维体积含量55%±2%，孔隙率≤1.5%，同时满足单个缺陷面积不得大于55mm2，最大尺寸不得大于12mm 的分层控制要求；

5）技术成熟度从TRL2级提升至TRL4级。

1. **主要研究内容**
2. **拟解决的关键技术**

a）T型长桁干纤维自动化折弯及组合技术；

b）干纤维捻子条设计及制造技术。

1. **主要研究内容**

a）国产T型长桁干纤维自动化预成型装备改造与优化

根据T型长桁结构L型自动化折弯再组合的技术路径，同时结合干纤维铺层的预成型特点，将现有T型长桁预浸料机械折弯原理样机进行改造与优化，以适用于T型长桁干纤维自动化预成型。

b）T型长桁干纤维捻子条的设计与制造工艺研究

通过对预浸料加热使树脂软化能够实现捻子条的自动化拉挤成型，然而干纤维由于不具有树脂，在成型后容易散开无法维形，因而需要对其结构组成进行设计并进行制造验证。

c）T型长桁干纤维自动化预成型关键工艺参数研究

开展T型长桁铺放预制体的自动化超声裁切研究，并通过对T型长桁干纤维自动化预成型过程中温度、压力及速率等工艺参数的研究，得到影响干纤维裁切、折弯、组合并形成预成型体的关键工艺参数。

d）T型长桁液体成型工艺与质量评价研究

针对1m级T型长桁预成型体，采用VARI工艺进行制造，并对制造完成的零件外观质量、厚度、内部无损检测质量及纤维褶皱情况等技术指标进行评价。

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. 1m级T型长桁干纤维预成型体实物多件；
3. 1m级T型长桁干纤维液体成型零件实物多件；
4. 1m级T型长桁VARI成型工装至少各1套；
5. T型长桁干纤维自动化预成型工艺规程1份；
6. 关键技术攻关报告1份；
7. 技术研究总结报告1份。
8. **建议研究周期**

 24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 玻璃纤维增强聚苯硫醚热塑性复合材料电阻焊接工艺及焊区凝聚态结构研究

1. **项目背景**

目前，连续纤维增强高性能热塑性复合材料因其突出的抗冲击性能和独特的工艺性能，在民机型号上的应用需求日益强烈。其中连续玻璃纤维增强热塑性复合材料能够满足多数结构设计需求，成本较低，已应用于部分国外机型中。快速装配工艺中的电阻焊接技术是最能体现热塑性复合材料高效成型独特优势的工艺技术之一。以空客A340的固定翼前缘首次实现了大尺寸制件的电阻焊接装配为标志性事件，热塑性复合材料的焊接装配技术引起了国内外学术界和工业界的广泛关注。国际上以TAPAS、Clean Sky2计划为代表的主流研发计划均致力于稳步推进适用于飞行器主承力结构的连续纤维增强热塑性复合材料焊接工艺的发展。国内的电阻焊接起步较晚，目前仍处于实验室阶段。

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：**

设计并优选出适合于GF/PPS热塑性复合材料的电阻焊接用导电植入体；阐明电阻焊接工艺对焊区温度场和树脂凝聚态结构的影响规律；优化出高焊接质量的GF/PPS电阻焊接工艺方法。

**技术指标：**

1. 焊接件单搭接剪切强度达到 25MPa
2. 同一批焊接件单搭接剪切强度离散度不超过10%
3. 单搭接剪切强度样品电阻焊接周期不超过8分钟
4. **主要研究内容**
5. **拟解决的关键技术（可逐项列出）**
6. 导电植入体的结构优化技术。筛选电热效率高的金属丝网作为导电植入体，调整金属丝网的几何结构，使焊接效果达到最优；对焊区界面层结构进行设计，采用多尺度改性方法对金属丝网进行表面改性处理，建立其与PPS树脂的多重结合作用与机械互锁作用，增强金属丝网与PPS树脂的界面结构强度，满足焊接件搭接剪切强度的预期指标。
7. 电阻焊接焊区温度调控技术。阐明温度场对焊区PPS树脂相变行为、流变行为与力学性能的作用，通过有限元模拟和实验相结合的方法，建立温度场与输入电流、通电时间、冷却速率等工艺参数的关系，实现对焊区温度场均匀性的调控。
8. **研究结果的验证方式**

从金属丝网力学性能、通电后温度历程、焊接件搭接剪切强度、失效破坏形式和树脂浸渍状态对不同尺寸金属丝网进行评估；采用多种表面处理方式对不锈钢网进行表面改性和表征，评价不同表面处理后金属丝网与PPS树脂的界面匹配性；通过温度场模拟考察输入电流、通电时间、冷却速率等工艺参数对温度场的影响，并进行实验验证，结合焊接件的搭接剪切强度、金相照片、断口形貌以及树脂结晶行为等完成工艺优化，最终使焊接件搭接剪切强度大于25MPa。

1. **预期成果**
2. 技术总结报告一份：《GF/PPS电阻焊接机理及焊区凝聚态结构研究》
3. GF/PPS电阻焊接工艺指南一份
4. 高质量GF/PPS电阻焊接试样5件
5. 申报电阻焊接相关专利一份
6. 发表论文1~2篇
7. **建议研究周期**

建议研究周期24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。