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

2024年12月

**目录**

[一、 复合材料制孔缺陷的全区域全自动成像检测技术研究 3](#_Toc815)

[二、 面向大型客机规模化生产的产能评估模型构建技术 6](#_Toc7245)

[三、 基于动态数据分析的动素库构建技术 8](#_Toc28466)

[四、 基于重力补偿技术的飞机检测用超长机械臂研制 11](#_Toc11122)

[五、 民用航空用国产聚醚酰亚胺3D打印丝材制备及应用研究 14](#_Toc26836)

[六、 面向整机喷漆的表面活化关键技术研究 16](#_Toc26492)

[七、 航空弱刚性结构件热振复合残余应力调控装备与技术 18](#_Toc24466)

[八、 T800级碳纤维层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法研究 21](#_Toc4566)

[九、 聚苯硫醚基热塑性复合材料表面处理与胶接性能研究 24](#_Toc1895)

[十、 民机复合材料机翼油箱紧固件连接结构闪电点火源防护特征仿真分析研究 27](#_Toc11723)

[十一、 面向复杂环境的驾驶舱内智能测试技术研究 30](#_Toc24774)

# 复合材料制孔缺陷的全区域全自动成像检测技术研究

## 项目背景

CFRP以其卓越的高比强度、高比模量、出色的耐腐蚀性和耐疲劳性，已在航空航天等领域得到广泛应用。但由于材料自身的非均匀性和各向异性，制孔过程中容易引发分层、毛刺形成、纤维撕裂及孔壁划伤等损伤，会严重削弱连接结构的强度和疲劳寿命，因此，对制孔结构缺陷的原位检测是急需解决的问题。

超声相控全矩阵采集的全聚焦成像检测技术，结合精确声学耦合功能的双传感控制系统，从而实现分层缺陷的高精度自动化快速成像检测。图像处理技术作为一种新兴的检测方法，能够实现对制孔损伤的检测和评估，从而提升制孔质量、为装配工作提供完整的理论依据。因此，开发精确且高效的损伤检测方法将为刀具几何形状研究、加工参数的优化提供坚实的理论基础

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

冷工艺+工程应用-新工艺应用

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

针对CFRP制孔质量精确和高效检测，研制损伤图像获取装置，完成获取损伤特征图像。采用图像处理算法对分层损伤区域、毛刺损伤区域、近表面分层损伤深度进行检测与提取，输出相关特征。对分层缺陷开展高精度自动化快速成像检测技术研究，主要研究基于机器视觉的分层缺陷自动识别与定位、基于压力传感的机械臂控制探头与工件耦合和自动顺序扫查、制孔全工序分层缺陷传感成像，实现制孔全工序分层缺陷检测工艺，高精度自动化快速成像检测，分析不同加工工艺与加工参数下的损伤程度，完成对孔质量的评价。

**技术指标：**

（1）超声检测厚度≥10mm，孔径规格-8/32in,分层检测范围：孔径向1mm，2mm，3mm；

（2）可实现分层缺陷自动识别定位检测，一次自动检测范围≥400mm×400mm，检测效率≥5孔/min；

（3）毛刺长度精度达0.05mm;

（4）毛刺面积误差最大不超过5%；

（5）表面分层面积误差最大不超过10%;

（6）深度误差最大不超过10%;

（7）技术成熟度从TRL4级提升至TRL5级。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）便携式损伤图像获取装置

针对当前CFRP制孔损伤检测与评价需求，搭建以结构光3D相机为基础的图像采集便携装置。制孔质量检测系统对制孔损伤图像进行处理，对出口损伤进行检测，评估损伤程度。

（2）便携式CFRP制孔质量检测系统

基于分层和毛刺损伤区域的特征参数，设计一款多功能、操作便捷的检测平台。通过交互界面，用户可以轻松利用各种控件操作，对出口损伤进行快速检测。

（3）机械臂控制条件下的阵列探头与工件表面的精确声学耦合技术

利用自行研制的自动控制压力传感检测系统，对分层缺陷进行自动识别定位，自动控制声学耦合条件，避免声学耦合造成的检测结果稳定性差问题。

（4）基于固定参数的制孔全工序不同深度分层缺陷的全覆盖扫查技术

检测参数一次设定后，利用多传感成像系统对相邻孔的近表面、中间层、底面缺陷进行全覆盖顺序检测成像，在多孔连续检测情况下获得与单传感器相近检测效率。利用不同数据处理技术，对同一制孔结构不同深度的成像结果进行图像结合，获得整个制孔全工序结构的三维成像图。

**研究结果的验证方式**

便携式检测装置与基恩士超景深显微镜检测结果进行比对，以基恩士超景深显微镜检测结果为真值验证检测精度。

超声检测装置采用复合材料制孔分层模拟缺陷试样进行检测验证。

## 预期成果

（1）具有精确声学耦合功能的双传感器分层缺陷自动检测系统1套（含软硬件）；

（2）CFRP制孔质量检测系统1套；

（3）便携式检测说明书1份，超声检测说明书1份；

（4）专利交底书2份。

## 建议研究周期和启动时间

12个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 面向大型客机规模化生产的产能评估模型构建技术

## 项目背景

大型客机的生产具有工艺路线复杂、生产周期长、供应链系统复杂等特征。随着飞机需求量的日益增长，产品准时交付成为企业的重要竞争优势之一，但是复杂生产系统内外部的各种不确定因素，例如，外部供应商供货不及时、内部涉及部门繁多、工时不稳定、质检流程复杂等，对飞机及时交付带来挑战。因此亟需综合考虑生产系统内外部多种生产要素的成本、效率和质量等多种动态约束的制约，建立科学有效的产能扩展技术，为飞机生产系统扩能达产提供决策理论和方法支持。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

工业工程+工程应用

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

以国产大型客机规模化生产系统的产能评估和优化为目标，识别影响产能实现的各类要素，研发面向大型客机规模化生产线的产能评估模型和方法，充分考虑生产系统内外部的不确定因素制约，为大型客机生产的准时交付提供有力保障，并进一步建立产能优化的技术方法，推动国产大型客机生产的持续提升和高效发展。

**技术指标：**

（1）建立不少于2种以上的产能影响要素识别及分析方法；

（2）形成不少于2种的面向大型客机规模化生产的产能评估方法，并针对不少于2类的典型飞机生产场景进行工程验证；

（3）建立不少于2种的考虑不确定因素的产能评估模型及决策优化算法，并进行工程验证，优化生产要素配置等目标；

（4）开发不少于3种的面向大型客机规模化生产的产能精益改善方法。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）产能实现的要素识别及影响要素分析

深入挖掘产品、生产、供应等领域的内外部数据，运用数学建模、模拟分析、数据科学等定量定性技术，研究开发影响要素识别方法，系统剖析识别影响产能的多元要素；探究这些要素对实际产能的作用模式及影响后果，为优化产能、提升生产效率提供有力支撑。

（2）基于技术成熟度等标准的产能模型构建技术

融合技术成熟度、市场需求与资源条件等多维标准，结合历史数据与产线定量模型，应用数据分析、机器学习、仿真优化等技术，研究建立面向大型客机规模化生产的产能定量评估模型；利用数学规划、智能优化、强化学习等方法，开发模型优化求解算法，实现产能的预测评估。

（3）不确定性环境下影响的产能评估技术

识别分析来自系统内外部不确定性因素对产能的影响；通过鲁棒/分布鲁棒等数学建模和模拟仿真方法，建立稳健有效的产能评估模型，实现多种风险偏好下的产能预测评估；开发高效的模型优化算法，优化产能决策，降低不确定环境对产能优化评估结果的干扰，提高产能评估结果的鲁棒性。

（4）基于精益的产能优化技术

针对大型客机规模化生产系统，研发基于精益理念的产能优化技术，实现产能的最大化和效率的提升。研究价值流图绘制及价值流定量分析技术，识别非增值活动；研究精益改善方法，减少资源浪费，提高生产资源利用率；开发持续改进机制，实现产能高效、可持续的优化。

**研究结果的验证方式**

仿真评估

## 预期成果

（1）应用于大飞机装配生产线产能扩展技术研究报告至少2篇；

（2）案例分析报告至少1篇；

（3）决策模型及算法原型系统1个；.

（4）撰写学术论文1-2篇。

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 基于动态数据分析的动素库构建技术

## 项目背景

方法时间测量（Method Time Measurement, 简称MTM）作为工业工程学科的基础工具，为优化生产效率和确保产品质量提供了重要支持。MTM通过系统分析并标准化工作任务中的每个动作，帮助企业精确预测和控制生产时间，制定标准工时，控制成本和生产效能。C919大型客机生产正从研制过渡到批量生产，在批量生产阶段，高效、精确的生产管理尤为关键。本项目依托C919大型客机生产选取中后机身结构装配工位的工艺流程为研究对象，通过建立基本动素库，构建大客中后机身结构装配工位上小组件级到部段级装配的标准工时体系。本项目属于机理研究，旨在通过理论探索和实验验证，提供科学有效的动素采集、动素库构建和工时制定方法，为全面的飞机装配工艺标准化提供理论支持和实践依据。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

工业工程+机理研究

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

项目基于工业物联网传感器、多模态数据采集及人工智能技术，创新性地探索复杂工艺的高效数据采集与分析方法，结合MTM-UAS系统与专家系统，确保基本动素库的精准构建和通用性。通过新技术的研究探索，构建满足大客中后机身结构装配工位小组件级到部段级装配任务的全要素、高表征的基本动素库，以及标准工时体系。

**技术指标：**

（1）1)能达到的基本动素采集精度：±0.2秒；

（2）可适用于大客部总装典型的操作步骤，涵盖放置、抓取、紧固等多种动素，确保标准工时制定的一致性；

（3）可适用大客部总装中多种装配对象的操作标准工时的制定；

（4）可适用于多种装配作业空间（如立式、蹲式、俯卧式、狭窄空间等）下作业标准工时的制定。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）装配动素数据采集方法

以大客部总装现有工艺信息为基础，结合访谈、现场观察与工作样本分析，利用多模态传感器技术采集操作数据，确保动素数据的全面性和一致性，特别关注结构板件的对接、紧固件安装等核心环节的细节操作。

（2）装配的动素分析与修正

通过人工智能与机器智能相结合的方式对采集的装配行为数据进行分类和归类，建立动素库。借助专家评估和机器学习技术，对关键动作进行深入分析，提取大客部总装典型作业的动素，并建立相应的MTM代码和时间值，确保标准化和适应性。

（3）装配的基本动素库建立

构建大客部总装典型工位的标准化动素库，涵盖部总装的一系列关键操作。通过不断的数据更新和实验验证，确保基本动素库的动态优化和适应不同操作人员及环境的需求。

（4）装配的标准工时制定方法

基于基本动素库，结合工业物联网和人工智能算法，制定可复用、可推广的装配标准工时体系。通过对动素数据的实时采集与分析，形成标准化的工时模型，以适应多形态装配对象和场景，推动大客部总装作业的标准化和高效化。装配动素数据采集方法

**研究结果的验证方式**

（1）基本动素库的验证

通过实验环境、仿真环境（如MATLAB/Simulink、Siemens Process Simulate）、以及生产现场环境中进行多次验证，评估基本动素库适应性和准确性。针对不同操作者和工作条件进行动素库测试和优化，确保其在实际生产中具备广泛的应用性。

（2）标准工时的应用验证

在大客中后机身结构装配工位小组件级到部段级装配中，应用所制定的标准工时，对生产效率、工作节拍和工艺一致性进行评估。通过与未标准化的作业流程对比，验证标准工时在提升生产效率和降低操作差异方面的效果。

## 预期成果

（1）涵盖大客中后机身结构装配工位小组件级到部段级主要工序的基本动素库1个；

（2）可推广的基本动素构建技术方案1个；

（3）大客中后机身结构装配工位的标准工时体系；

（4）大客中后机身结构装配工位标准工时制定的操作手册1本；

（5）发表关于飞机装配标准工时研究论文1篇，软著或专利1个；

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 基于重力补偿技术的飞机检测用超长机械臂研制

## 项目背景

大型民用飞机在维修和交付阶段，需要对飞机的机身表面做外观检查，确保质量可控。由于车间内大型梯架布置受限、数量有限，现仅能在外部停机坪采用搭乘升降车配合传统人工目视方式完成机身外部检查，但其中存在成本高、效率低，易出现漏检、误检等问题，且部分表面因离地高度太高或者外形结构遮挡等原因存在视觉盲区。为提高检测效率、降低人为因素影响，需要通过自动化定制装备搭载视觉单元的方式对飞机进行绕机外观检查，实时传输飞机表面区域视频信息，以达到及时发现质量问题的目的。目前，国外已搭建了基于超长机械臂的外观检测系统，并且在飞机检修工作中实现了初步应用。本项目面向民用大型客机，研制基于重力补偿技术的超长机械臂，克服由于电机、减速器等元件的使用对机械臂长度与负载的限制，实现飞机机身表面外观高质量、高效率、低风险检查作业。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

工艺装备技术+工程应用-设备研发

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

面向大型客机维修和交付阶段表观巡检无人化、智能化的需求，针对传统机械臂由于驱动、传动等刚性元件重量对机械臂设计长度的限制，本项目拟开展机械臂设计制造与集成、机械臂控制系统搭建、运动轨迹规划及自主避障等研究，突破机械臂重力补偿、机械臂重力补偿恒拉力控制、运动学建模等技术，研制一套基于重力补偿技术的超长机械臂系统，集成高清摄像头、LED等设备完成自动化绕机巡检，对机身表面进行“无死角”视频图像采集。

**技术指标：**

（1）机械臂工作范围不小于5m；

（2）机械臂本体质量不大于35kg；

（3）末端负载不低于5kg；

（4）关节数量不少于8个；

（5）机械臂末端的定位精度不低于±2cm；

（6）配有可升降移动工作平台；

（7）技术成熟度提升至TRL6级。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）基于动态气压调节的重力补偿原理

为增加机械臂的设计长度和工作空间，研究基于气压调控方式的重力补偿原理，设计基于重力补偿机构的机械臂本体构型，构建气压与负载的映射关系。基于上述映射模型，机械臂可通过动态气压调节抵消本体和负载重力，实现“零重力”漂浮状态。

（2）高精度补偿气压控制策略研究

受活塞与气缸间的摩擦、活塞惯性等因素影响，重力补偿装置在补偿过程中会产生较大误差。构建机械臂系统的动力学模型，获得活塞惯性力对补偿力矩影响表达式，同时对气缸-活塞摩擦力进行建模分析，在此基础上提出高精度气压控制策略，以提升重力补偿精度。

（3）多关节蛇型机械臂运动规划与自主避障

构建机械臂的正运动学模型，分析机械臂的工作空间；在此基础上求得超冗余机械臂的逆解解析解表达式，根据关节限位进一步分析不同形式解析解下的臂角可行区间。针对尾翼、翼面等复杂结构区域的检查需求，提出综合考虑本体避障、关节避限和能耗最优的自主避障控制策略，实现对飞机表面的高精度、全覆盖扫测。

（4）试验样机搭建及试验验证

研制基于重力补偿技术的机械臂样机，并搭建机械臂控制系统，分别开展机械臂的末端负载能力测试、定位精度测试、轨迹跟踪性能测试、避障性能测试、规定路径巡检性能测试等实验测试。

**研究结果的验证方式**

搭建机械臂机身表面检测样机及控制系统，在试验环境中进行检测性能测试，并提供相应试验报告。

## 预期成果

（1）机械臂本体1台；

（2）升降式移动平台1台；

（3）末端变焦摄像机1台；

（4）机械设计及加工图纸1套；

（5）重力补偿技术研究报告1份；

（6）机械臂功能测试报告1份；

（7）发表学术论文2篇；

（8）发明专利交底书2项。

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 民用航空用国产聚醚酰亚胺3D打印丝材制备及应用研究

## 项目背景

增材制造可实现高难度复杂零部件的快速原型制造、整体制造和定制化制造，在民用航空复杂零部件制造及舱内定制化需求方面具有突出的成本和时间优势。聚醚酰亚胺（PEI）兼具优异的力学性能、耐热性、化学稳定性及低烟雾、低毒性、固有的阻燃性，是被美国联邦航空管理局(FAA)认证的航空材料。空客使用PEI丝材打印了座椅配件、护板、低压风管等众多零件用于A350 XWB内饰，为国产大飞机内饰件的制造提供了借鉴。但目前国内PEI丝材的原料全部依赖进口，供应商主要为沙特基础工业公司、美国安特普公司和荷兰阿克苏诺贝尔公司等，且进口丝材与国产3D打印装备不适配。因此，研发国产PEI材料改性加工制备3D打印丝材，实现国产化替代及与国产3D打印装备适配尤为急迫和重要。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

材料与标准件+机理研究

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

本项目首先综合对比分析国产PEI树脂原料与目前航空使用的进口PEI ULTEM 9085材料的理化性质，为PEI树脂的合成及质量控制提供理论支撑；通过碳纳米管、碳纤维或无机纳米纤维等填充增强改性PEI制备满足民用航空使用要求的PEI复合材料和丝材，阐明其界面调控机理及对复合材料力学性能、阻燃性能等的影响，为国产大飞机提供自主可控的国产高性能PEI增材制造用丝材。

**技术指标：**

（1）丝材直径1.75mm±0.05mm，熔体流动速率≥8g/10min

（2）PEI丝材3D打印制件的力学性能：抗拉强度≥50 MPa（XY方向），弯曲强度≥80 MPa（XY方向），缺口冲击强度≥50 J/m2（XY方向）

（3）阻燃、烟密度等：满足CCAR25.853要求

## 主要研究内容

（1）对比分析国产PEI树脂原料与PEI ULTEM 9085材料的理化性质，包括链结构、分子量、力学性能、阻燃性能、烟密度、烟毒性、加工性能等，形成PEI树脂合成方案。

（2）采用等离子体表面处理等工艺实现惰性碳纤维、碳纳米管或无机纳米纤维的表面活化，结合固相剪切碾磨等加工技术实现增强填料与PEI的均匀分散复合及原位界面增容，制备高性能PEI复合材料。

（3）分析PEI复合材料熔融挤出过程，建立挤出速度与挤出丝束直径的关系，制备适合FDM工艺的PEI丝材。

（4）PEI丝材增材制造工艺验证，建立FDM工艺参数与样件力学性能的关系，阐明力学性能的影响因素和机理。

（5）基于民用航空要求的国产聚醚酰亚胺增材制造工艺评价方法研究，形成丝材控制和评价方法，结合FDM工艺精度、多性能调控研究，建立材料-工艺-性能影响关系，提出工艺流程质量控制和评价方法。

**研究结果的验证方式**

实物、性能检测报告。

## 预期成果

（1）聚醚酰亚胺丝材不低于10kg；

（2）实物样件不低于50件；

（3）研究报告2份；

（4）申请发明专利2项；

（5）发表SCI论文2篇。

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 面向整机喷漆的表面活化关键技术研究

## 项目背景

飞机机身的打磨等是飞机制造过程中的重要工序，目前行业内主要采用人工作业方式，存在作业强度大、职业危害大、生产效率低和质量可控程度低等问题。机器人化装备具备自动化程度高、运动灵活和稳定性好等诸多优点，但由于飞机机身尺寸大、重量大，必须与移动平台（如AGV等）相结合构建移动机器人系统，才可实现高效作业。目前国内在机车、风电叶片等大型装备完成了相关的系统研发与验证，但是针对飞机整机大空间作业系统的打磨系统尚未开展研究，随着国产大型飞机进入批产阶段，相关研究亟待开展。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

热工艺+工程应用

## 项目目标及技术指标

**项目目标**：

本项目面向国产大型商用飞机整机喷漆前涂层打磨的迫切需求，充分考虑飞机机身打磨对作业空间、损伤控制、打磨效率等方面的需求，研究和完成机身表面打磨系统设计，开展机身顶部、底部等关键部位的可达性仿真验证，开展关键工艺参数研究与验证，表明系统的打磨损伤控制能力，为整机喷漆打磨技术的示范应用形成相关技术要求，推进整机涂装装备的技术成熟度提升。

**技术指标：**

（1）所设计的打磨系统的机身打磨可达性不低于80%；

（2）单台套打磨活化效率不低于20㎡/h；

（3）打磨损伤控制满足C919机身要求；

（4）技术成熟度从TRL3级提升至TRL6级。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）飞机机身涂层损伤控制技术。针对机身打磨涂层材质、基体特点，完成打磨系统的力控装置设计、力位控制技术和打磨工具自适应控制技术研究，形成涂层自适应打磨末端控制要求。

（2）大空间机身打磨系统设计及运动控制技术。依据飞机机身打磨的工艺和工作量需求，合理规划机身打磨系统需求（数量、位置），完成空间机身打磨系统设计及运动控制方式研究。

（3）机身打磨工艺控制技术。针对飞机机身外形、材质，依托样机系统开展机身打磨工艺研究，研究打磨速度、压力、去除量等工艺参数对表面质量的影响，优化打磨策略，构建机器人打磨工艺数据库，为飞机打磨的应用提供基础支撑。

（4）飞机机身的典型位置打磨仿真和验证研究。完成机身底部、机身顶部等典型区域的机器人打磨仿真验证。

**研究结果的验证方式**

通过仿真分析和典型试验验证机身打磨的可达性指标。通过搭建典型试验环境开展试验表明打磨活化效率指标。通过编制试验大纲、开展试验表明打磨损伤控制策略的有效性。

## 预期成果

（1）大型曲面表面涂层机器人打磨系统关键技术研究报告；

（2）机身打磨可达性仿真分析验证报告；

（3）机身打磨系统典型位置打磨仿真验证报告;

（4）机身打磨损伤控制技术研究报告；

（5）专利交底书1项，高水平论文1项。

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 航空弱刚性结构件热振复合残余应力调控装备与技术

## 项目背景

弱刚性铝合金或钛合金结构件在航空上应用广泛，其成形、热处理、切削加工等过程中，将不可避免地产生残余应力，残余应力显著影响零件的服役性能、和加工精度，可能导致航空弱刚性薄壁件发生零件开裂、疲劳寿命下降、表面质量下差或变形超差。因此，在航空结构件制造过程中，需要开展专门的残余应力调控工艺。

目前，常用应力调控方法为热时效和振动时效方法，热时效调控后应力均匀性较好，但调控效率低、能耗高、热时效过程易变形，仅适用于粗加工前，无法在精加工前调控应力；振动时效效率高、能耗低、不易引入额外变形，但调控后应力均匀性较差。因此，亟需探索一种新的残余应力调控方法和装置，适用于铝合金和钛合金零件粗加工或精加工前等多个阶段，高效、节能地降低并均化残余应力。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

热工艺+机理研究

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

本项目以解决航空铝合金和钛合金弱刚性薄壁件加工变形及应力调控问题为目标，开展航空弱刚性结构件热振复合残余应力调控技术研究。完成热振复合应力调控复合专用设备设计及性能仿真，研制热振复合应力调控专用设备1台，提出典型航空铝合金和钛合金弱刚性薄壁件的残余应力调控工艺方案。突破高温环境弱刚性薄壁件低应力装夹、循环动应力跨温区高效传递与加载、有效空间动态热平衡精确控制等关键技术，为航空弱刚性零件的高精度、低应力制造提供技术和装备支撑。

**技术指标：**

（1）残余应力指标：热振复合时效后，铝合金和钛合金零件残余应力峰值降低至0.2σy（0.2倍屈服极限）以下，残余应力均值降低至0.15σy（0.15倍屈服极限）以下；

（2）设备参数指标：工作空间不低于500×500×500mm，温度控制范围50°C-300°C，温度控制精度≥±3°C，最大温度升高速率≥5°C/min，激振频率范围10 Hz -120Hz，激振力范围1k-10kN，可适用于铝合金、钛合金等材料；

（3）技术成熟度从TRL3级提升至TRL5级。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）高温环境弱刚性薄壁件低应力装夹技术

（2）循环动应力跨温区高效传递与加载技术

（3）有效空间动态热平衡精确控制技术

**研究结果的验证方式**

（1）技术指标1（残余应力指标）

考核方式：采用X射线残余应力测试仪，测量热振复合调控后，结构件表面残余应力，并提供第3方测试报告；

考核依据：《GB/T 7704-2008 无损检测 X射线应力测定方法》；

（2）技术指标2-1（设备工作空间）：

考核方法：采用刻度尺对热振耦合设备工作空间进行测量，并提供第3方测试报告；

考核依据：《GB/T 19067.1-2003产品几何量技术规范表面结构轮廓法测量标准第1部分实物测量》；

（3）技术指标2-2（设备温度相关指标）

考核方法：通过温度控制系统对设备内部加热，通过读取温度传感器读数，验证温度范围、温度控制精度和温升速率，并提供第3方测试报告；

考核依据：《GB/T30825-2014热处理温度测量》、《JJF1270-2010温度、湿度、振动综合环境试验系统校准规范》；

（4）技术指标2-3（设备振动相关指标）

考核方法：通过振动控制器，使偏心电机旋转，读取激振力频率，通过力传感器读取激振力大小，并提供第3方测试报告；

考核依据：《GB/T25712-2010振动时效工艺参数选择及效果评定国家标准》；《JJG948-2018电动振动试验系统检定规程》；

（5）技术指标3（技术成熟度指标）

考核方法：对现有典型航空结构件，在与实际生产相同的工况下进行热振复合工艺验证，验证典型弱刚性薄壁件的残余应力调控效果，并由委托方现场验收；

考核依据：《GJB 7688-2012装备技术成熟度等级划分及定义》。

**主要研究内容**

（1）热振应力调控复合专用设备设计及性能仿真；

（2） 热振复合应力调控设备安装与调试；

（3） 典型航空弱刚性薄壁结构件热振耦合工艺方法研究；

（4） 典型航空薄壁件残余应力调控方法应用及验证。

## 预期成果

（1）热振复合应力调控设备1台；

（2）热振复合设备使用说明书1份；

（3）热振复合设备校准报告1份（第3方出具）；

（4）热振复合应力调控工艺指南2份；

（5）航空弱刚性结构件2件，其中铝合金1件、钛合金1件；

（6）应用于航空弱刚性结构件残余应力调控技术研究报告至少1篇。

## 建议研究周期

12个月。

## 所需研究经费

25万元。

# T800级碳纤维层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法研究

## 项目背景

T800级碳纤维增强层间增韧环氧树脂预浸料是制造民机主承力结构件的主要材料。由于民机复合材料构件尺寸大、工装重，且热压罐热分布不均匀，需要设置保温平台和慢速升温以提高零件热均匀性。但在慢速升温等特定工艺条件下，层间增韧环氧树脂复合材料的部分力学性能出现劣化，限制了材料固化工艺窗口的大小。

目前，预浸料的固化敏感性评价主要依赖于大量力学性能试验，成本高、周期长，无法在材料研发和筛选初期快速预判固化工艺参数对复合材料力学性能的影响及其机理。研究表明，预浸料的固化敏感性与增韧粒子等材料组分特性和增韧机理密切相关。项目通过研究成熟层间增韧预浸料的固化敏感性，根据材料组分特性和增韧机理对预浸料进行分类，针对各类材料的增韧体系建立层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法，开发流程分析软件，实现国产预浸料的识别、评价和筛选。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

复合材料工艺+机理研究

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

为了解决在特定固化工艺条件下层间增韧环氧树脂复合材料力学性能劣化的问题，通过研究成熟层间增韧预浸料固化敏感性机理，建立预浸料体系识别和分类方法，针对各类材料体系建立层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法，开发流程分析软件。采用国产增韧环氧树脂预浸料验证方法可行性，以减少目前国产预浸料工艺规范研发过程的力学性能试验量，降低国产材料应用过程中的成本和风险。

**技术指标：**

（1）基于至少3种成熟层间增韧预浸料开展固化敏感性研究，建立1套预浸料增韧体系识别方法，针对各类增韧体系建立1套层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法；

（2）开发1套层间增韧预浸料材料体系识别和固化敏感性分析流程软件；

（3）利用材料体系识别和固化敏感性评价方法与软件，对至少2种国产预浸料开展固化敏感性评价与验证，通过软件得到的结果与验证结果的差异小于10%。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）层间增韧环氧树脂预浸料材料体系识别技术

（2）固化敏感性评价技术；

**研究结果的验证方式**

通过研究成熟层间增韧预浸料，建立层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价技术与软件，通过2种以上国产预浸料对固化敏感性评价方法的可行性和准确性进行验证；

**研究内容：**

（1）通过研究常见商用层间增韧预浸料固化敏感性机理，建立预浸料体系识别和分类方法；

（2）针对各类材料体系建立层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法；

（3）基于材料体系识别和固化敏感性分析方法，开发流程分析软件，

（4）采用国产预浸料对材料体系识别和固化敏感性评价方法的可行性和准确性进行验证。

## 预期成果

（1）基于至少3种成熟层间增韧预浸料材料体系分类和识别方法研究报告1份；

（2）层间增韧环氧树脂预浸料固化敏感性评价方法1份；

（3）应用于国产预浸料固化敏感性评价的研究报告不少于2篇；

（4）申请专利或软著不少于1个，发表论文不少于2篇。

（5）层间增韧预浸料固化敏感性分析流程软件1套；

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 聚苯硫醚基热塑性复合材料表面处理与胶接性能研究

## 项目背景

随着航空工业的迅速发展，以碳纤维增强聚苯硫醚为代表的高性能热塑性复合材料在航空航天领域的应用范围不断扩大，由此带来的一个至关重要的问题就是热塑性复合材料与其本身或热固性材料以及轻质合金等的连接问题。胶接技术相较于机械连接等技术，能够保持复材结构完整性、无需开孔、不受材料厚度限制、载荷分布均匀、密封性好且无电化学腐蚀，是航空制造领域的关键技术之一。与传统热固性复合材料不同，聚苯硫醚基热塑性复合材料表面能低，化学惰性大，难以获得高强度粘接结构。随着热塑性复合材料在飞行器制造中的占比不断增加，研究热塑性复合材料粘接界面的关键科学问题，开发高效表面处理技术对于飞行器用高性能结构的设计与制造具有十分重要的意义。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

复材工艺+机理研究

## 项目目标及技术指标

项目目标：

聚焦于表面粗化及极化对聚苯硫醚基热塑性复合材料表面理化特性及其与胶粘剂之间粘接强度的关联影响，揭示出表面处理工艺-表面理化特性-粘接强度三者之间构效关系。在此基础上，开发出适合航空结构件制造的聚苯硫醚基热塑性复合材料的高效表面处理方法及粘接技术；系统评估胶接接头在高低温、湿热等环境中的长期可靠性；为该类材料在未来大型航空器制造与修复过程中的应用提供坚实的技术支撑和保障，推动航空轻质结构制造的进一步发展。

**技术指标：**

（1）适用材料：适用于碳纤维增强聚苯硫醚单向预浸料0°铺层、0/90°铺层复合材料以及碳纤维织物增强聚苯硫醚复合材料的粘接。

（2）性能：搭接剪切强度≥25MPa,CV≤8%；GIc平均值≥610J/㎡，最小值≥530J/㎡。

（3）可制造试验件尺寸≥300×300mm2。

（4）技术成熟度：技术成熟度从TRL2级提升至TRL5级。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）适用于聚苯硫醚基复合材料的胶粘剂选型

以适用期、工艺性、与聚苯硫醚基复合材料的粘接强度、固化速度等为指标对市售胶粘剂进行多维度评价，筛选出适配聚苯硫醚基复合材料粘接的进口与国产胶粘剂品类。

（2）聚苯硫醚基复合材料表面处理技术研究

对比研究两种表面粗化技术：机械粗化与相分离粗化、两种表面极化技术：物理极化与化学极化对聚苯硫醚表面物理化学特性的影响研究规律及其与粘接强度的关联关系。在此基础上，优选表面粗化与表面极化技术组合，优化粗化与极化工艺，开发适用于聚苯硫醚基复合材料的表面处理技术，满足搭接剪切强度的要求。

（3）环境耐久性评价

开展聚苯硫醚基复合材料粘接接头在高低温、湿热环境中搭接剪切强度的演化行为，评估环境因素对接头强度的影响，确保复杂环境下的性能稳定性。研究环境条件下胶接接头性能演化的微观机理，为聚苯硫醚基复合材料胶接接头耐环境性提升提供理论基础。

**研究结果的验证方式**

（1）提供研究过程产生的原始数据；

（2）粘接强度提供第三方测试报告。

## 预期成果

（1）《聚苯硫醚基热塑性复合材料表面粗化工艺指南》1份，《聚苯硫醚基热塑性复合材料表面极化工艺指南》1份；

（2）聚苯硫醚基热塑性复合材料L型筋加筋壁板典型件，尺寸≥300×300mm2；

（3）聚苯硫醚基热塑性复合材料表面处理与胶接性能研究报告至少3篇；

（4）聚苯硫醚基热塑性复合材料胶接环境耐久性研究报告1篇

（5）聚苯硫醚基复合材料粘接强度第三方测试报告1份。

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 民机复合材料机翼油箱紧固件连接结构闪电点火源防护特征仿真分析研究

## 项目背景

民用飞机复合材料机翼油箱紧固件连接结构的闪电附着概率高，能量分布集中，面临较高的点火源风险，可能引起油箱起火或爆炸等严重事故，抑制闪电点火源是机翼油箱结构设计的重大挑战之一。然而，紧固件连接结构的闪电耦合效应复杂，影响因素繁多，点火源表现为电、热、气流喷射等多效应联合作用形式。目前虽建立了包括拍照法、可燃气体法等在内的多维点火源检测方法，能够通过测温、辨识定位与燃爆相结合的方式捕捉点火源图像信息、辅助确定点火源位置、直观判断点火源存在、实现对点火源的定性表征。然而，拍照法、可燃气体法此类定性试验手段难以针对点火源的电、热、气流喷射等特征的强度进行量化评估，无法为连接结构优化设计提供有效支撑。因此，开展紧固件连接结构的点火源仿真技术研究，建立点火源特征预测计算模型，形成点火源特征的量化分析方法，对闪电环境下复合材料机翼油箱紧固件连接结构点火源防护特征优化设计具有重要的工程价值。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

复合材料结构设计+机理研究

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

针对复合材料机翼油箱典型紧固件连接结构闪电直接作用，获得连接结构点火源防护特征参数对其温升、瞬态电压及气流喷射强度的影响规律，提出满足热电响应及热气流喷射效应等效的连接结构闪电效应仿真方法，建立复合材料紧固件连接结构闪电点火源电-热-流联合仿真模型，并通过模拟闪电试验验证模型有效性。

**技术指标：**

（1）提出连接结构闪电效应仿真方法，实现对闪电作用过程中连接结构温升、瞬态电压及热气流喷射过程的模拟；

（2）建立紧固件连接结构闪电点火源电热流联合仿真模型，仿真结果与试验测量结果变化趋势一致，温度仿真结果偏差不超过20%，气流喷射冲击力强度仿真结果偏差不超过20%、时间仿真结果偏差不超过25%；

（3）闪电点火源仿真技术成熟度达到TRL4级。

## 主要研究内容

**拟解决的关键技术**

（1）雷电流作用下复合材料紧固件连接结构热电响应仿真方法

研究复合材料紧固件连接结构等效建模方式对闪电电热效应的影响规律，分析连接结构点火源防护特征参数对连接结构热电响应的影响规律，结合仿真及试验结果提出满足热电效应等效要求的连接结构仿真建模方法。

（2）复合材料紧固件连接结构热气流喷射仿真方法

研究紧固件及复合材料装配界面的热气流载荷等效方法，分析载荷设置对热喷射气体特性的影响规律，基于点火源防护特征及温度与气流喷射压力的关联规律，结合仿真及试验结果形成基于热流源等效的连接结构热气流喷射仿真方法。

（3）复合材料紧固件连接结构闪电点火源仿真方法及模型验证

建立满足电热响应及热气流喷射模拟要求的复合材料紧固件连接结构闪电点火源仿真模型，对比连接结构温升及气流喷射压力试验及仿真结果，验证仿真方法可靠性，分析点火源特征参量影响规律，提出连接结构点火源防护设计建议。

**研究结果的验证方式**

针对典型复合材料紧固件连接结构试样开展模拟雷击试验，通过红外温度探测、瞬态电压测量及气体波动冲击力测量，对比不同闪电电流注入条件下，连接结构温度、瞬态电压、气流喷射压力等特征参量的试验与仿真结果，分析仿真结果数值及变化趋势与试验结果的一致性，仿真偏差满足技术指标要求，验证仿真方法及模型的有效性。

## 预期成果

（1）复合材料紧固件连接结构闪电直接效应及点火源防护特征仿真建模指南1份；

（2）复合材料紧固件连接结构闪电直接效应及点火源防护特征仿真模型1套；

（3）复合材料紧固件连接结构点火源防护特征仿真分析报告1份；

（4）发表国内外期刊论文不少于1篇；

（5）申请/授权发明专利1件。

## 建议研究周期

24个月。

## 所需研究经费

50万元。

# 面向复杂环境的驾驶舱内智能测试技术研究

## 项目背景

作为飞机的操作中枢，驾驶舱内的控制面板涉及众多关键功能，其功能性测试至关重要。当前的测试方法仍主要依赖人工操作，以人为主的测试方式在测试效率，测试准确性上都难以满足现代化生产的需求。

随着智能制造和自动化技术在航空领域的不断发展，通过机器人完成飞机驾驶舱内控制面板的自动化测试过程已经具有很高的可行性，但传统机器人仍面临诸多挑战，例如在复杂环境中的场景理解、操作精度以及传感融合能力的瓶颈。

驾驶舱内的控制面板涉及多个高度集成和精密的功能模块，其操作复杂、环境不稳定，要求机器人具备出色的感知能力和高效的决策能力。尽管近年来，具身智能和人机协同技术取得了显著进展，但现有技术仍难以在这一复杂环境中实现机器人自主测试与精准操作，尤其在面对多个不同类型控制面板和按钮时。

为此，如何通过先进的多模态融合感知、强化学习以及人机协同技术，突破现有技术瓶颈，实现机器人在复杂生产环境中的自主决策、精准操作和高效作业，是本项目的核心挑战。

## 项目归属的重点专业领域及研发类型

工艺装备+机理研究

## 项目目标及技术指标

**项目目标：**

本项目致力于研发一种适用于飞机驾驶舱控制面板的智能机器人系统及算法，采用多模态感知和目标识别技术，使得机器人能够在驾驶舱内外复杂的环境中准确识别和定位目标按钮或控件，同时优化力控系统确保机器人与控制面板进行安全精确的交互；设计多功能的末端执行机构以满足不同类型的开关按钮的操作需求；最终，通过精确的运动控制与末端的执行路径规划实现机器人在驾驶舱的高效操作。

**技术指标：**

（1）操作精度与成功率

操作成功率：操作指令接收成功率应达到100%，确保算法在执行操作时的高可靠性。

按钮识别精度：在视觉识别过程中，控制面板按钮的识别误差应不超过±1mm，以保证算法的精度与操作的准确性。

（3）触觉传感器性能指标：

触觉精度：触觉传感器应能够检测到微小的接触力变化，精度达到0.1N的范围，确保机械臂操作时的力量控制在设定的安全范围内。

反馈响应时间：触觉传感器反馈的响应时间应不超过50ms，确保机器人能够快速调整力控，避免因反馈延迟造成损坏。

抗干扰能力：触觉传感器应能够在复杂的电磁环境下稳定工作，避免外部干扰影响操作精度。

（3）响应时间与执行效率

响应时间：软件系统在接收到操作指令后的执行动作响应时间应控制在1秒至2秒之间，确保任务执行的高效性和及时性。

任务执行效率：每次操作任务的执行应符合传统人工测试的效率，且算法能够在预定的时间内完成所有操作指令，并准确执行，同时记录下执行反馈结果。

（4）环境理解与鲁棒性

环境识别精度：软件系统应能够在动态环境中高效识别驾驶舱控制面板的布局，并准确判断按钮、开关等目标位置，误差应不超过±1mm。

算法鲁棒性：软件应能够应对外部环境的变化（如光照、视角、控制面板状态变化等）而不会导致识别失败。

（5）系统稳定性

长时间稳定运行：在真实驾驶舱环境下，软件系统应能够连续运行8小时以上而不发生算法崩溃或长时间的性能下降。

## 主要研究内容

本项目的研究核心在于通过前沿的算法与技术突破，提升机器人在复杂环境中的自主性与智能化水平。具体包括以下技术领域：

（1）多模态感知与识别技术

结合深度学习与计算机视觉技术，设计机器人视觉系统，支持对不同类型按钮、旋钮等控件的精准识别。通过视觉基础模型与特定任务学习，提升机器人对微小目标的识别能力，确保机器人能够精准定位并操作控制面板。

（2）触觉传感器的集成与力控优化

研究触觉传感器的集成方案，将高精度触觉传感器安装在机械臂末端，确保机器人能够实时感知与控制面板的接触力。通过精确的力控制系统，优化机器人在进行操作时施加的力量，避免损坏控制面板。研究传感器的力反馈机制，并优化触觉传感器的工作精度，确保操作中的每一个力值变化都能够被准确感知和调整。

（3）末端执行器机构设计

设计适应不同操作需求（按压、拨调、插拔、旋转按钮等）的末端执行器机构，例如采用可调节的夹持手指和灵活的连接结构，使其能适应不同形状、尺寸的按钮或开关；根据操作需求选择合适的驱动方式，如电动、气动或液压驱动，以提供足够的力量和灵活性。

（4）运动控制与末端执行路径规划

开发高效的运动控制算法，实现精确的运动轨迹规划和执行，确保不同操作模式下的平稳和准确。通过整合不同模态的数据进行强化学习，优化末端执行路径，直接从原始感知数据生成运动控制命令，将机器人感知与决策流程合并为一个统一的优化过程，提升系统的响应速度与处理精度。

## 预期成果

（1）硬件系统：多模态传感系统一套，智能操作末端一套，机械臂一套。

（2）软件系统：包括机器人末端执行路径规划模块、视觉识别与控制操作模块、多模态感知与决策模块等。

（3）发表至少2篇学术论文。

（4）申请至少1项发明专利。

## 建议研究周期和启动时间

24个月

## 所需研究经费

50万元。