国家商用飞机制造工程

技术研究中心创新基金指南

（第一组）

上海飞机制造有限公司

2023年9月

**目录**

[**一、 复合材料货舱地板梁自动化低成本P-RTM制造技术研究 3**](#_Toc29474)

[**二、 复合材料罐外高效固化成型制造技术基础研究 6**](#_Toc18191)

[**三、 大型客机铝合金复杂构件超高频脉冲TIG自适应焊接技术研究 9**](#_Toc23083)

[**四、 基于红外辐射的民机功能件增材制造在线监测与缺陷识别技术开发 11**](#_Toc22433)

[**五、 基于多目标特征识别的待封闭区域质量检测系统 14**](#_Toc20626)

[**六、 飞机装配作业疲劳风险评估与典型作业设计与改善 17**](#_Toc4277)

[**七、 基于离散事件仿真的飞机装配生产物流规划仿真分析与优化 20**](#_Toc4759)

[**八、 民机后机身弧形框精密环轧成形工艺可行性研究 22**](#_Toc15489)

[**九、 航空结构连接孔表面滚压机理研究及在线强化装置研制 24**](#_Toc3269)

[**十、 民机泛光照明系统轻量化电路原位制造技术可行性研究 27**](#_Toc23522)

[**十一、 5G环境下基于多传感器协同的大型复杂构件视觉测量方法 30**](#_Toc28922)

[**十二、 基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术及其应用示范 33**](#_Toc9172)

# 复合材料货舱地板梁自动化低成本P-RTM制造技术研究

1. **项目背景**

复合材料货舱地板梁为等截面的J型结构，如采用预浸料铺放+热压罐固化成型工艺，成型效率有限，制造成本较高。为降低制造成本，提高生产效率，采用基于碳纤维多轴向布增强高性能环氧树脂的RTM拉挤成型工艺（Pultrusion-RTM，以下简称P-RTM工艺），形成纤维布悬垂性仿真树脂注射工艺仿真、成型模具设计、预成型模具设计、型材牵引夹持设计、工艺注射系统等P-RTM成型工艺技术。

日本JAMCO在上世纪八十年代提出先进拉挤成型(advanced pultrusion，简称ADP)，应用该技术生产出高性能的加强梁和简支板，用于制造空客A380垂直尾翼，但现有的拉挤成型工艺多为单向纱、0°/90°纤维布及纤维毡的配合使用，满足单个或两个方向的载荷需求。需开展基于多轴向碳纤维布增强高性能环氧树脂的准各向同性复杂型材的P-RTM成型工艺技术研究，具备高效低成本批量生产能力。

1. **项目归属的重点专业领域**

复材工艺

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

本项目创新的采用基于多轴向碳纤维纤维布增强高性能环氧树脂的低成本P-RTM成型工艺开展宽体货舱地板梁的研制，创新点包括采用多轴向碳纤维织物悬垂性仿真、封闭腔树脂注射模型仿真进行工艺设计，采用拉挤P-RTM开展复合材料货舱地板梁的成型制造，满足产品要求的外观、尺寸公差，内部质量等要求，生产效率提升3倍以上，制造成本降低50%以上，实现复合材料货舱地板梁的低成本自动化成型。

**技术指标：**

1. 采用高性能碳纤维多轴向织物增强高性能环氧树脂的高效P-RTM工艺进行货舱地板梁制造成型，开展拉挤过程中多轴向布悬垂性仿真和封闭腔树脂注射模型仿真，形成工艺仿真报告。
2. 制造出的零部件尺寸轮廓度达到≤±0.375mm，厚度公差5%以内。
3. 可连续制造零件，采用多轴向布生产最大连续生产长度＞100m。
4. 采用此工艺生产的部件内部质量要求满足验收技术条件要求，孔隙率低于2%。
5. 连续生产节拍可达到35min/件，生产效率相比预浸料铺贴工艺提升3倍以上，生产成本降低50%以上，复合材料货舱地板梁产品成本控制在3000元/公斤以内。
6. 该技术可应用于各类结构的的单腔、多腔等截面型材类产品，P-RTM制造货舱地板梁技术成熟度达到4。
7. **主要研究内容**
8. 拟解决的关键技术
9. 基于P-RTM的货舱地板梁材料选型及铺层设计

根据宽体货舱地板梁的产品的载荷输入信息确定拉挤型材的材料体系选择，并根据等效刚度进行适应于拉挤工艺的铺层设计。

1. P-RTM工艺仿真技术

开展多轴向织物布悬垂性仿真，优化过渡模过渡形态、布置位置以降低型材制品织物的扭曲变形和褶皱程度。

开展封闭腔树脂注射模型仿真，优化注射参数、注射口和浇道布置。

1. P-RTM预成型模具与成型模具设计

预成型模具的结构及其固定组合结构设计。完成成型模具型腔尺寸设计、纤维浸润流道设计、成型模具分型设计。

1. P-RTM成型工艺研究

通过树脂粘度测试、热性能分析、物理性能分析、浸润性测试、力学性能分析等手段初步确定拉挤树脂工艺参数，结合仿真、拉挤测试手段，优化复合材料货舱地板梁材料体系P-RTM成型工艺速度、温度、固化度匹配性。提出适合货舱地板梁P-RTM成型工艺中牵引速度、树脂注射温度、注射压力、固化温度等关键工艺参数。

1. 研究结果的验证方式

采用拉挤工艺仿真中的多轴向布悬垂性仿真、封闭腔树脂注射模型仿真等开展拉挤工艺参数仿真。同时利用平板拉挤模具进行材料体系验证，掌握拉挤材料体系拉挤工艺性及相关工艺参数。

开展成型模具及预成型模具全尺寸制造，验证成型模具及预成型模具设计结构合理性。开展全尺寸部件的拉挤成型试制，验证成型模具、预成型模具、拉挤工艺参数、工艺稳定性、型材拉挤质量。开展型材性能测试，验证生产的产品满足技术指标要求。

采用卡尺、激光扫描仪等进行产品外形尺寸检测，采用金相显微镜（或CT）超声A扫、相控阵等进行产品内部质量检测，采用力学试验机开展试样力学性能测试。

1. **预期成果**
2. 基于P-RTM工艺复合材料货舱地板梁材料选型和强度仿真报告1份；
3. 复合材料货舱地板梁P-RTM工艺仿真报告与拉挤成型工艺报告1份；
4. 复合材料货舱地板梁拉挤预成型模具与成型模具1套
5. 复合材料货舱地板梁典型结构件5件；
6. 复合材料货舱地板梁质量检查报告1份。
7. **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。

# 复合材料罐外高效固化成型制造技术基础研究

1. **项目背景**

复合材料在商用飞机上的用量越来越大，其应用比例已成为衡量商用飞机先进性的重要指标。但目前大型复材构件以热压罐固化成型为主，投资大，使用成本高，造成复材构件生产周期长，制造成本高。并且罐内热风循环、工装传热及固化反应放热耦合作用造成构件内部温度场分布不均，构件复杂构型造成罐内固化压力难以均匀传递到构件内部。这种热力时空不均匀性使得树脂流动及固化不同步，易产生分层、孔隙及纤维褶皱等缺陷，造成产品质量不满足工程要求。因此，开发其他类型的先进罐外固化成型技术，提升温度场均匀性，降低固化压力依赖性，不采用热压罐固化也能制造出满足工程要求的产品，对提高复材构件生产效率，降低制造成本，将起到非常重要的作用。

1. **项目归属的重点专业领域**

复材工艺

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

针对热压罐固化工艺中温度不均及压力传递难问题，开展基于振动-微波复合作用下的复材构件高品质罐外高效固化成型制造技术基础研究，查明微波固化工艺的均匀性加热机理及振动处理对复材缺陷的抑制机理，探究振动-微波多场耦合作用下复材构件内部缺陷及形性演变规律，提出振动-微波复合固化成型过程多场耦合形性演变仿真建模技术，采用振动-微波复合固化成型技术制造出基本性能与热压罐固化工艺持平的复材构件，推动振动-微波复合固化成型技术的工业应用水平。

技术指标：

1) 相比于0.6MPa标准热压罐固化工艺，基于新技术下的构件孔隙率持平，构件内部无分层缺陷。

2) 相比于0.6MPa标准热压罐固化工艺，基于新技术下的构件层间剪切强度持平。

3) 相比于0.6MPa标准热压罐固化工艺，基于新技术下的构件固化度持平，不低于95%。

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. 复合材料振动-微波复合固化机理及能场调控技术

查明机械结构优化方式对微波固化复合材料温度场均匀性的影响规律，实现构件微波固化过程中温度场的精确测量；探索不同振动参数对孔隙非线性动力学行为的影响规律，明确振动抑制孔隙生长的机理；依据微波加热和振动加载特点，建立适用于T型复材构件形性协同制造的振动-微波复合能场匹配模式。

1. 复合材料构件振动-微波复合固化成型建模与仿真技术

研究复合材料微波加热条件下与固化度相关的热物性参数测试方法；建立振动-微波施载模式下复合固化成型过程工艺仿真模型；结合有限元仿真手段开展固化度场、温度场及变形场等的变化规律研究，形成振动-微波复合固化成型工艺仿真技术。

1. 复合材料构件振动-微波复合成型制造质量控制及检测技术

以T型复材构件为应用对象，查明振动-微波复合固化工艺参数对构件内部温度、固化度和固化应力等的影响规律，通过构件内部温度及变形等的测量明确工艺参数与孔隙及分层等内部缺陷以及固化变形等的映射关系，揭示复杂结构特征与成型制造环境之间的适应性成型机制，制造出满足指标要求的复材构件。

1. 研究结果的验证方式
2. 通过本技术试验及在0.6MPa标准热压罐固化工艺参数下开展平板试验，分析对比内部孔隙、分层等缺陷及层间剪切强度等指标，验证本技术方法的可靠性。
3. 将本技术应用于T型复合材料构件上，通过对比0.6MPa标准热压罐固化工艺下复材构件特征区的固化度指标及孔隙、分层缺陷指标，验证本技术的应用性。
4. **预期成果**
5. 复合材料振动-微波复合固化工艺指南1份；
6. 平板试验件性能测试报告1份；
7. T形典型件6件（振动-微波复合固化及热压罐固化各3件）及其性能测试报告1份；
8. 基于复合材料罐外固化工艺技术的相关论文至少2篇；
9. 基于复合材料罐外固化工艺技术的相关专利至少1项。
10. **建议研究周期**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 大型客机铝合金复杂构件超高频脉冲TIG自适应焊接技术研究

1. **项目背景**

目前型号焊接零件生产以手工TIG焊为主，质量稳定性差、效率低，无法满足型号实际生产需求，而国外制造商已实现铝合金构件的焊接自动化生产。

铝合金TIG焊接头存在软化严重、气孔倾向性大、焊接变形大等问题，且构件空间位置复杂、装配一致性差，这些问题阻碍了航空系统构件的自动化焊接生产。超高频脉冲TIG焊接技术可有效抑制气孔、细化晶粒、减少变形，显著提高焊接接头力学性能，自适应控制技术可解决由复杂构件的加工与装配误差造成的接头成形问题，实现航空系统构件的高质量自动化焊接，具有重要的工程意义和广泛的应用前景。

1. **项目归属的重点专业领域**

热工艺技术

1. **项目目标及技术指标**

**项目目标：**

针对大型客机铝合金构件手工焊接生产效率低及质量稳定性差的问题，研发铝合金构件超高频脉冲TIG自适应焊接技术，解决传统TIG焊接头气孔倾向性大、软化严重、容错性差等问题。通过开展铝合金超高频TIG焊缝成形与气孔调控、焊接工艺参数自适应调控、典型零件复杂焊缝轨迹规划与自适应调控等关键技术的研究，实现铝合金构件的超高频脉冲TIG自适应自动化焊接，为ARJ21和C919飞机型号用铝合金零部件的批量生产提供技术支撑。

**技术指标：**

1. 焊缝抗拉强度≥母材强度的80%；
2. 焊接零件气密性检测不漏气，缺陷符合CPS2512《熔焊验收标准》B级焊缝相关要求；
3. 具备焊接过程工艺参数的自适应调控功能，焊缝自适应跟踪精度≤±0.05mm；
4. 技术成熟度从现在的TRL5提升至TRL6。
5. **主要研究内容**

1）基于超高频脉冲TIG焊的铝合金焊缝组织与气孔调控

开展铝合金超高频脉冲TIG焊接头显微组织表征及力学性能测试，建立“工艺参数——微观组织——力学性能”关联；结合薄壁铝合金超高频脉冲TIG填丝焊电弧特性与熔池流动研究，阐明工艺参数对接头气孔数量、尺寸及分布位置的作用规律。

2）铝合金超高频脉冲TIG焊接工艺自适应控制技术

针对不同的装配精度（间隙、错边等）开展焊接工艺试验，阐明超高频脉冲TIG工艺参数对焊缝成形的影响规律，形成超高频TIG填丝焊工艺数据库，建立基于人工神经网络的焊接过程自适应控制系统，实现不同工况的管件自适应焊接。

3）大型客机铝合金复杂构件机器人焊接轨迹规划与自适应调控

针对大型客机铝合金复杂构件焊缝自动焊接需求，求解焊缝空间方程，建立焊缝位姿与焊枪位姿模型，研究焊缝轨迹插值算法，实现焊接机器人轨迹规划。通过焊缝位置传感与识别，实现基于焊缝跟踪的运动轨迹自适应调控。

1. **预期成果**
2. 大型客机铝合金复杂构件超高频TIG自适应焊接技术研究报告1份；
3. 大型客机铝合金复杂构件超高频脉冲TIG自适应焊接设备集成方案1份；
4. 《铝合金超高频脉冲TIG自适应焊接》工艺规范初稿1份；典型构件2件；
5. 典型构件工装夹具1套；
6. 发表学术论文2篇，申请发明专利1件。
7. **建议研究周期**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元

# 基于红外辐射的民机功能件增材制造在线监测与缺陷识别技术开发

1. **项目背景**

金属增材制造技术已经在民机型号完成应用。零件交付前均需进行无损检测，使增材零件制造成本过高，阻碍增材技术在民机领域推广。同时，无损检测仅作为成形后的检验，无法优化零件质量。在线监测技术和缺陷识别能作为质量判断的有效依据，降低生产中使用高成本无损检测的频率；基于在线监测技术开发设备自适应控制，打印过程中及时发现缺陷并完成工艺修复，降低废品率。红外辐射技术能实时监控激光选区熔化过程中的温度变化，从而预先识别孔隙、裂纹等缺陷，该技术在国外已有部分应用，国内还在研究、验证阶段。此外，在线监测有利于深入理解控制参数与冶金质量的对应关系，为复杂零件成形做技术支撑。

1. **项目归属的重点专业领域**

增材制造

1. **项目目标及技术指标**

（1）项目目标：

为减少民机增材制造功能件的无损检测工序，且提升制造质量稳定性，开发基于红外辐射的在线监测系统缺陷识别技术。首先针对增材制造功能件常见熔融缺陷情况下的监控数据进行采集获取，与工艺参数和机理研究结合，开发图像融合、图像处理、缺陷检测算法，实现增材制造过程中孔隙和裂纹缺陷的自动识别。本项目成果对与典型件旋流器构型相似的增材件具有普适性，能够推动金属增材制造零件缺陷研究和无损检测技术发展，探索增材制造在线监测技术在民机制造领域应用。

（2）技术指标：

1. 搭建熔融缺陷在线监测装置1套，装置空间分辨率小于150um；
2. 实现时序图像数字融合算法开发，算法处理时间不超过5s，包括图像融合和读取摄像头图像的时间；
3. 实现大于等于200um的当前层孔隙或裂纹缺陷的检出准确率大于90%；
4. 技术成熟度从TRL3提升到TRL4
5. **主要研究内容**

（1）拟解决的关键技术

1）增材制造功能件常见熔融缺陷的在线监测数据获取技术

针对增材制造常见熔融缺陷的数据获取问题，开展在线监测数据获取技术研究，采用近红外热感摄像头和配套光学器件组成的系统采集成型过程中的近红外光谱辐射，重点解决环境光、飞溅对数据的干扰和因不同打印参数、信号发射位置带来的数据矫正和标定问题，获取具备高分辨率、高景深、高质量的熔融缺陷在线监测数据。

2）增材制造时序图像数字融合处理技术

针对时序图像内存在烟尘、飞溅等干扰因素，会直接影响到图像融合质量的问题，开展图像去噪、增强算法研究，以去除序列子图像内的干扰因素，同时对有效信息进行增强，提高图像质量。为实现高精度图像融合结果，需研究基于图像灰度均值、最大值的多帧图像融合算法，确保融合图像的高完整性；研究激光功率强度对图像灰度值的影响，形成灰度值补偿机制对融合图像灰度进行校准，确保融合图像的高准确性；研究子图像采集时机和图像融合时机，实现有效利用硬件资源，确保融合图像的过程高效率性。预期形成具备高完整性、高质量性和缺陷特征突出性的融合结果图。

3）增材制造在线熔融缺陷自动检测技术

针对增材制造熔融过程中产生的孔隙、裂纹等熔融缺陷，开展其在融合结果图像内的灰度范围、形状演变等表现特征研究，建立缺陷特征知识库。研究边缘提取、区域操作等技术，以有效规避零件边缘区域对缺陷检测的影响；研究层融合图像的灰度异常检测方法，建立基于图像灰度的连续打印层级缺陷迭代检测机制，实现缺陷形态演变跟踪，提高缺陷检测准确性；研究基于机器学习网络的熔融缺陷识别技术，以层融合图像作为输入，提高网络卷积缺陷特征提取性能，实现较小熔融缺陷检测。结合图像处理技术和机器学习技术，预期能完成像素级缺陷区域的自动、精确识别。

（2）研究结果的验证方式

形成装置、算法、CT检测对比报告等成果。使用预冷器出口旋流器等典型型号件验证在线监测系统的效果。

1. **预期成果**

1） 增材制造熔融缺陷在线检测装置1套；

2） 增材制造数据处理软件系统1套；

3）增材制造缺陷库1套；

4） 增材制造在线监测结果分析报告1份；

5） 增材制造型号典型件CT检测报告以及与在线监测结果对比分析报告1份；

6）发表相关科技论文1篇。

1. **建议研究周期**

共24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 基于多目标特征识别的待封闭区域质量检测系统

1. **项目背景**

目前ARJ21新支线和C919大客飞机的130（最终功能测试）和140（系统总装分系统测试）两个工位涉及的雷达舱、中央操纵台、线束保护盒、客舱侧壁板/行李箱等待封闭区域的标准检查仍采用传统的人工目视检查，存在检测耗时长，检测效率低等相关问题。急需高效且高精度的先进合格性检查技术以提高飞机装配效率和装配质量，适应目前飞机的高产能需求。目前，深度学习技术如卷积神经网络（CNN）和目标检测算法（如Faster R-CNN、YOLO等）常被用于多目标特征识别研究中。这些方法通过大规模数据集的训练和特征提取，能够高效准确地检测出外观损伤、多余物等多个目标的位置、边界框和分类信息，为实现飞机关键部位非接触、高精度和高效率的自动化合格性检测提供了技术支撑。

1. **项目归属的重点专业领域**

质量工程技术

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

本项目旨在以机器视觉算法为核心，针对雷达舱等待封闭区域，研究基于多目标特征识别的缺陷检测（检测待封闭区域表面质量合格性）与多余物检测（检测是否存在由外部引入或者内部产生的与飞机设计图样、技术文件、工艺文件等规定和构成无关的物质存留在飞机待封闭区域中）技术，并开发相应的合格性视觉检测系统。提高检测精度、降低错检率，并提升检测效率和质量检测技术的集成性，实现飞机关键部位非接触、高精度和高效率的自动化合格性检测，有效减少检测相关资源的投入。通过在各产线上形成生产应用示范，突破传统人工目视检查的限制，实现飞机制造过程中的自动化、智能化检测，从而提高飞机装配质量和生产效率。

技术指标：

1）生产线：最终功能和系统总装测试自动化检测要素中的缺陷识别包含裂纹、划痕、掉漆等不少于3种，其中裂纹、划痕最小识别长度不低于8mm，多余物识别包含零件、配件、碎屑等不少于3种；开发系统由人工操作，检测结果满足区域检查验收要求。

2）硬件系统：封闭区域摄像及识别设备:全角度拍摄封闭区域，对待封闭区域缺陷、多余物进行检测，可设置机上拍摄内容到AO-SR的自动上传，系统缺陷与多余物的检测精度（准确度）≥90%，实时检测速度≥20fps；区域检测完所需时间1min。

3）待封闭区域合格性视觉检测集成化系统：系统界面友好，操作简洁，源代码开放；能够读取待封闭区域缺陷检测和多余物检测结果，并支持展示功能。

4）技术成熟度从现在的TL5提升至TL7，完成系统从模拟环境到实际产品典型使用环境的测试与演示验证。

1. **主要研究内容**

（1）基于机器视觉的待封闭区域缺陷检测技术研究

研究基于机器视觉的待封闭区域缺陷检测技术，用于检测待封闭区域的外观损伤，识别裂纹、划痕等损伤，并检测掉漆等异常情况，为待封闭区域的外观损伤检测提供一种自动化和可靠的解决方案。

（2）基于机器视觉的待封闭区域多余物检测技术研究

研究基于机器视觉的待封闭区域多余物检测技术，能够识别多余的零件、配件、碎屑以及其他无关物品，能够准确地检测出多余物的位置和类别，实现待封闭区域多余物的自动化检测。

（3）开发待封闭区域合格性视觉检测集成化系统

开发待封闭区域合格性视觉检测集成化系统，搭建待封闭区域质量检测的集成化平台，提供可视化操作界面以进行集成化展示。系统可对雷达舱等待封闭区域进行全面的视觉分析，以检测潜在的缺陷和多余物。同时，系统提供直观友好的可视化界面，使用户能够监测和展示待封闭区域的合格性检测结果。

（4）待封闭区域合格性视觉检测集成化系统的现场应用验证

对开发的待封闭区域合格性视觉检测集成化系统进行现场应用验证与调试，选择雷达舱等待封闭区域进行现场测试，收集现场图像数据，运用系统的缺陷检测和多余物检测功能，对区域的合格性进行评估和分析，验证系统在实际环境中的可行性和有效性。

1. **预期成果**
2. 基于机器视觉的待封闭区域合格性检验技术报告一份；
3. 封闭区域合格性视觉检测系统一套；
4. 登记软件著作权1项；
5. 发表学术论文和专利各1篇；
6. **建议研究周期**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 飞机装配作业疲劳风险评估与典型作业设计与改善

1. **项目背景**

汽车工业中的一些标准旨在验证流水线装配作业任务的可行性并评估工人的疲劳，这些标准一方面基于简单的任务模型，另一方面基于静态姿势。目前汽车工业使用多种人因工程工具基于姿势对工作相关的肌肉骨骼风险进行评估，同时使用计算机数字建模技术进行客观、快速的人因工程学评估。区别于汽车等流水线装配作业，飞机装配作业的周期相对较长，重复性相对较低，同一工人作业类别多样，工作条件复杂，手工装配作业在飞机装配中仍然发挥着重要的作用。但由于装配作业设计和实施不当，装配员工易出现体力疲劳、作业姿势不当等问题，不仅仅会进一步导致作业人员出现急慢性的肌骨损伤，出现作业人员的体力作业能力下降、病休补偿、离职高等问题，造成作业人员队伍不稳定，同时还会进一步影响装配作业的效率和质量，乃至威胁航空器的总体安全。

长期以来，空客、波音等大型飞机制造商也非常关注装配线员工的疲劳问题，已经通过计算机辅助人因建模与仿真、混合现实、可穿戴设备等技术，结合知识-数据双驱动的疲劳模型构建与验证，对装配作业的体力疲劳进行分析，改善体力作业条件，优化体力作业设计，降低由于不良作业所产生的问题。例如空客母公司EADS提出的定量测定任务相关肌肉疲劳的方法，旨在评估在手工装配任务中的肌肉关节疲劳水平，并应用到计算机辅助人体建模中，进行快速评估和设计方案间的比较，降低疲劳风险以及测试成本。波音公司开发的肌肉骨骼模型，可以基于人因工程学数据和神经肌肉控制预测肌肉疲劳，通过对工人运动的模拟，量化工人的绩效与疲劳，进而更合理地设计工作-休息周期，降低疲劳和受伤风险。

各大飞机制造商针对装配线员工疲劳问题的相关研究体现了其对装配线工作设计和不良作业控制的重视。中国商飞C919大型客机今年开始批产交付，符合人因的工作设计如果能够尽早介入，可以更大的降低职业损伤的风险，提升飞机装配质量和效率，提升系统的安全性。

1. **项目归属的重点专业领域**

工业工程

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

通过对飞机装配过程的研究，分析装配作业工作负荷与作业疲劳的风险因素，构建适用于飞机装配体力作业评估的模型工具，对体力作业疲劳进行更加科学准确的评估；结合典型工作场景，对体力作业任务进行设计和优化，降低相应体力作业任务的疲劳风险水平。

技术指标：

1. 梳理并分析不少于4类20种现有工作负荷与疲劳评估技术；
2. 给出不少于5种适合当前飞机装配作业的工作负荷评估工具；
3. 对3-5个典型飞机装配作业进行工作评估和疲劳评价，和员工主观汇报达到75%或以上的一致性；
4. 对2-3个典型飞机装配作业进行作业设计优化，降低工作负荷或疲劳水平20%或以上；
5. 目前劳动强度测定技术、体力负荷测定和装配人因仿真技术成熟度为TRL5，课题完成后技术成熟度提升为TRL6；
6. 形成疲劳研究相关论文1篇；申请产线装配疲劳改善相关专利1个。
7. **主要研究内容**

本课题研究的内容包括如下几个方面：

1. 飞机装配作业工作负荷与疲劳评估技术框架研究；

通过文献研究与分析、专家访谈、行业调研等方式，梳理现有飞机装配体力作业工作负荷与疲劳评估技术，形成飞机装配作业过程工作负荷与疲劳评估技术的框架，明确相关关键技术的发展现状与不足，并与上飞实际情况相结合，给出相应技术在上飞的适用性和未来发展的技术路径建议；

1. 飞机装配作业工作负荷与疲劳评估工具分析；

结合当前上飞的实际需求和适宜的工具和方法，将现有工具和上飞的实际工作场景进行适配，给出不同工具的使用范围、使用阶段、使用方法的具体建议；

1. 典型飞机装配作业的工作负荷与疲劳风险因素分析与评估；

结合前两个部分的研究内容，针对飞机装配过程中的典型装配任务进行分析，并与实际装配员工的感受相比较，检验相关工具和方法的针对性和有效性，确定典型装配作业设计的人因标准；

1. 典型飞机装配作业的优化设计研究；

针对第3部分研究内容所发现的问题，对典型飞机装配作业进行优化设计，并比对优化设计前后的结果。

1. **预期成果**
2. 飞机装配体力作业设计人因技术系统框架与技术研究报告；
3. 飞机装配典型体力作业设计的人因标准（企业标准）（初稿）；
4. 飞机装配作业体力作业设计的可用工具使用指南；
5. 飞机装配体力作业任务疲劳评估结果与改善方案与效果评估。
6. **建议研究周期**

12个月

1. **所需研究经费**

总额50万元：

# 基于离散事件仿真的飞机装配生产物流规划仿真分析与优化

1. **项目背景**

以离散事件仿真（DES）为核心的生产系统建模仿真技术已在汽车等大批量生产模式行业得到了广泛应用并取得了良好效果，主要应用场景是在智能车间的规划设计阶段，通过系统建模、仿真运行与仿真实验，对车间性能进行定量分析与改善，从而提升规划方案的科学性和经济性，减低未来运行风险。

大型客机生产正从研制阶段过渡到批生产阶段，在批生产阶段，生产能力与效率指标尤为重要，生产系统建模仿真技术作为工业工程领域重要的使用技术，在飞机装配生产过程有广阔的应用前景。与汽车等行业不同，飞机的装配生产流程更为复杂，物料数量巨大，生产批量小，变化多，如何更好的应用仿真技术，全面评估车间性能并进行优化，还有许多技术问题亟待深入研究。

1. **项目归属的重点专业领域**

工业工程

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

本项目以提升飞机装配生产系统的科学规划水平和物流运行效率为基本应用目标，采用离散事件仿真系统理论，对车间布局、产品组合与结构、生产流程、物流设施及路径、仓库缓存等进行仿真建模，形成多层次、全要素、高保真的车间仿真模型，深入研究车间设施布局、物流效率和投产策略的仿真优化技术，建立集成仿真实验和遗传算法的仿真优化方法，研发生产系统建模仿真原型系统，在飞机装配生产的多个应用场景进行验证，提出优化方案。

技术指标：

1. 建立3类以上的飞机装配生产仿真优化场景，包括设施布局优化、物流效率优化、投产策略优化等；
2. 形成面向飞机装配生产过程的建模仿真规范并进行工程验证，包含10类生产物流设施与逻辑规则的建模方法、5类效率指标的仿真分析方法、3类仿真优化方法；
3. 面向飞机装配生产的建模仿真技术，成熟度从TRL4级提升至TRL5级；
4. 基于对物流作业过程的详细模拟，通过参数化和合理的策略设计，预计实现搬运设备作业综合效率提升10%，计划执行时的物料准时齐套率提升15%，减少避障、堵塞等不合理运输等待时间30%。
5. **主要研究内容**
6. 基于仿真的车间设施布局与产能分析技术

研究基于离散事件仿真理论的多层次、多状态、全要素、高保真建模技术，从对象模型、数据模型、活动模型三方面建立复杂车间仿真模型，考虑随机因素对生产过程的影响，通过仿真引擎自主完成大量次数的仿真迭代，对产能、瓶颈、设备利用率等关键指标进行量化分析，获得最佳车间设施布局方案。

1. 基于仿真的物流方案分析与优化技术

研究区域多阶段的集成物流仿真分析方法，以物料入厂到物料配送到生产线为研究业务场景，针对目前初步形成的外租库、厂内库房和线边库多级库物料补货触发点及补货关系进行优化，结合现在设计的三级库模式，分析评估同种物料在不同库的存量及状态，输出最优补货触发点；研究搬运工人、叉车、AGV、RGV、天车等各类物流资源效率的仿真分析方法，通过仿真实验进行优化；研究多物流对象运行过程中的避碰算法，提升物流执行效率。

1. 基于仿真的投产策略分析与优化技术

研究离散事件仿真和遗传算法相结合的集成优化方法，并与并行仿真技术相结合，实现大规模组合解空间的高效仿真寻优，分析不同投料策略对生产系统性能的影响，找到最佳的投产策略（包括投产间隔、投产批量、投产顺序等），从而优化生产系统的运行效率，缩短完工周期和产品的通过时间。

1. **预期成果**
2. 大客批生产车间物流规划仿真分析与优化研究报告1份；
3. 大客批生产车间物流建模与仿真分析方法的标准规范（初稿）1份，包括仿真建模流程、仿真数据定义、仿真分析指标与方法、仿真优化流程与算法等内容；
4. 发表关于飞机装配生产仿真技术研究论文2篇；
5. 针对飞机装配制造过程中典型仿真应用场景操作手册或流程指南（初稿）1本；
6. 针对飞机装配制造过程中生产线仿真二次开发1项。
7. **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。

# 民机后机身弧形框精密环轧成形工艺可行性研究

1. **项目背景**

后机身弧形框是民机关键承力构件，其制造技术影响飞机装配精度、整体气动外形和使用寿命。该类零件具有尺寸大、刚性弱、非对称、变厚度等特点，现有型材热拉弯或国产模锻成形加工余量大、产品加工周期长、制造成本高昂。本项目提出一种基于精密环轧成形的弧形框成形制造新技术，通过整体精密环轧成形使产品流线顺畅、性能优良、尺寸精准、一环六件，利用模内校形消除残余应力、抑制加工变形。拟重点突破后机身弧形框的精密环轧工艺和等温环轧技术，形成民机弧形框的环轧成形制造新工艺技术原型，支撑后续工程试制与工业应用，实现该类产品高效低成本制造。

1. **项目归属的重点专业领域**

冷工艺技术，涉及成形技术与装备。

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

本项目围绕民机后机身弧形框新型制造技术开发需求，开展精密环轧成形工艺、模具方案设计与论证，形成民机后机身弧形框成形制造工艺方案与技术原型，改进模锻及热拉弯成形制造工艺，具有产品精度与材料利用率高、流线致密随形、性能优良、生产效率高、制造成本低等特点。本项目研究可为下阶段工程应用技术研究与开发、工业化生产打下坚实基础，形成具有自主知识产权的精密环轧新工艺、新技术，完善弧形框的精密净终形制造方法。

技术指标：

1. 形成弧形框精密环轧核心工艺技术文件1套；
2. 新技术可适用于后机身弧形框的制造，实现一环6件；
3. 环扎-机加后钛合金1：1实物件1件，试制零件的直径不小于1500mm，弧形框角度不小于50°，零件截面长宽不小于20mm\*20mm；
4. 新技术成形的零件具有连续致密流线，无充填不满、折叠等成形缺陷；
5. 与传统工艺相比，材料利用率提高50%以上。
6. **主要研究内容**
7. 拟解决的关键技术
8. 弧形框精密环轧工艺仿真

开展后机身弧形框的精密环轧工艺方案设计与仿真，研究预制坯、模具型腔、轧制工艺参数、温度补偿等对零件流变和变形均匀性的影响；开展模内校形模拟仿真，探明残余应力形成、演变规律与消减方法，形成精密环轧成形工艺方案。

1. 后机身弧形框环轧技术方案设计

开展弧形框环轧成形模具设计，分析内外环模结构对零件成形过程中金属流动以及模具脱模的影响，形成弧形框精密环轧技术方案。

1. 后机身弧形框精密环轧件工艺试验

开展民机后机身弧形框精密环轧件工艺试验，分析零件尺寸精度、流线形态与组织均匀性，论证精密环轧工艺与内外环模具方案的可行性，为下阶段工程技术开发与工业应用提供支撑。

1. 后机身弧形框精密环轧后机加工艺试验

开展民机后机身弧形框精密环轧后的机加的工艺试验，分析零件尺寸精度、流线形态与组织均匀性，论证环轧-机加整体变形控制，分析环扎-机加靓工序金属流线状态，实现后机身弧形框的环轧-机加全工序制造可行性评估。

1. 研究结果的验证方式
2. 后机身弧形框精密环轧工艺仿真分析报告；
3. 后机身弧形框精密环轧技术设计方案；
4. 后机身弧形框钛合金件与可行性论证报告。
5. **预期成果**
6. 申请后机身弧形框精密环轧工艺技术发明专利1项；
7. 后机身弧形框精密环轧工艺技术方案1份；
8. 后机身弧形框环轧工艺仿真模型；
9. 后机身弧形框环轧工艺总结报告1份
10. 后机身弧形框环轧实物1件，机加实物零件1件；
11. 后机身弧形框力学性能测试报告1份。
12. **建议研究周期**

建议研制周期24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 航空结构连接孔表面滚压机理研究及在线强化装置研制

1. **项目背景**

连接孔是飞机结构中的重要组成部分，数量巨大，遍布各处，其表面完整性直接影响飞机的疲劳寿命和服役性能。目前，航空结构连接孔内壁表面机械强化主要采用开缝衬套冷扩孔挤压，但该工艺存在明显的局限性：（1）入口端残余压应力较低；（2）出口端易产生微裂纹；（3）内壁台阶需二次铰削加工；（4）衬套耗量大，且高度依赖进口。国内外目前主要采取工艺参数优化的方式来缓解上述问题。而连接孔端面（包括锪窝）的表面机械强化工艺目前仍处于空白。因此，本研究拟深入探究航空结构连接孔表面滚压研磨强化机理，并开发相应的在线强化装置，解决孔内壁二次铰削加工、孔边微裂纹、孔端面表面强化等问题，提升孔表面光洁度和残余压应力，从而发展一套高效、便捷的航空结构连接孔表面滚压研磨在线强化新工艺和新装备。

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：

针对现有航空结构连接孔表面机械强化工艺的不足，采用数值仿真结合实验表征，揭示连接孔内壁和端面表面完整性在表面滚压研磨强化过程中的创成机理，开发连接孔在线表面滚压研磨强化装置，采用高通量数值仿真结合机器学习方法，构建强化工艺参数与强化效果映射关系元模型，建立强化工艺智能优化和强化表面形性精准调控方法，最终发展一种高效、便捷的在线表面滚压研磨强化工艺，实现航空结构连接孔高光洁、大深度、无裂纹表面机械强化。

技术指标：

1. 强化效果指标：与开缝衬套冷挤压工艺相当；
2. 强化能力指标：可强化名义孔径为*φ*12/32 in和*φ*20/32 in，可强化孔深范围8-30 mm；
3. 强化效率指标：强化时间≤1 min/孔；
4. 在线强化装置指标：尺寸≤300 mm ×300 mm ×600 mm，重量≤20 Kg；
5. 技术成熟度从TRL2级提升至TRL5级。
6. **主要研究内容**
7. 研究内容及方法：
8. 采用数值仿真结合实验表征，探究并揭示连接孔内壁和端面表面完整性在表面滚压研磨强化过程中的创成机理。
9. 在机理研究的基础上，设计、开发连接孔表面滚压研磨在线强化装置。该装置主要由滚压刀具、夹紧机构、主轴、导向机构、推进机构、定位机构和固定机构组成。强化过程中，强化装置精确固定于被强化孔的钻模板上，滚压刀具旋转进入孔内并对孔壁进行滚压强化，滚压结束退刀，全过程无需拆除装置，无需二次加工。
10. 基于设计、开发的在线强化装置，通过力学数值仿真与实验结合，探究包括静载力、研磨深度、刀具转速、刀具进给等在内的工艺参数对连接孔内壁和端面表面完整性的影响规律，并结合实验设计和高通量数值仿真，建立强化工艺参数与强化效果数据库，采用人工神经网络，构建强化工艺参数与强化效果映射关系元模型。
11. 基于上述元模型，采用遗传优化算法，开展航空结构连接孔表面滚压研磨强化工艺智能优化和强化表面形性精准调控。
12. 在此基础上，采用优化的工艺参数对典型连接孔进行表面滚压研磨强化，对强化孔的表面完整性开展综合实验表征，并对强化后的结构件进行开孔疲劳性能测试，通过与传统开缝衬套冷扩孔挤压工艺对比，验证优化的表面滚压研磨强化工艺对航空结构连接孔的表面强化效果。
13. 拟解决的关键技术：
14. 连接孔内壁和端面表面滚压研磨过程精确数值仿真模型的构建；
15. 连接孔表面滚压研磨在线强化装置的开发；
16. 强化工艺智能优化和强化孔形性精准调控方法的建立；
17. 研究结果的验证方式：
18. 在线强化装置验证方式：在航空结构连接孔盒段件或等效零部件上进行验证；
19. 连接孔表面完整性验证方式：表面粗糙度测量、三维表面形貌扫描、结合电解抛光剥层法的XRD残余应力测量、显微硬度测量、微观组织显微观测与表征；
20. 开孔航空结构件力学性能验证方式：开孔疲劳测试。
21. **预期成果**
22. 形成工艺指南1份；
23. 形成连接孔在线强化装置1套，包括滚压刀具、夹紧机构、主轴、导向机构、推进机构、定位机构和固定机构等部件，其中，包括*φ*12/32 in和*φ*20/32 in两种规格的滚压刀具各3把；
24. 应用于典型航空结构连接孔表面机械强化技术研究报告1篇；
25. 第三方性能测试报告1份
26. 申请国家发明专利至少2项；
27. **建议研究周期**

建议研制周期24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 民机泛光照明系统轻量化电路原位制造技术可行性研究

1. **项目背景**

贯穿飞机机体的传统导电线路由于同时担负着数据信息运送和传输配电功能而被喻为“飞机的神经系统”。据统计，一架飞机的线束组成平均需导线6万多米，总数约25000根。以驾驶舱泛光照明系统为例，其线路布局密集、泛光灯分布紧凑，各系统安装设计既要满足总体和分模块的输入需求，又要达到相关照明标准要求。然而，这意味着位于驾驶舱局部狭小空间处的线路装配存在负重较大和排布复杂的问题，不利于飞行器结构的轻量化减负和一体化性能。此外，横布飞机客舱的应急照明系统和飞机机身外侧的航标照明系统等也面临因电源组件繁重和线路排布繁琐而急需“减负重构”的需求。因此，研究轻量一体化原位电路制造技术对于未来新型飞行器革新具有重要战略意义。

1. **项目归属的重点专业领域**

系统工艺技术

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

针对目前飞机传统导线电缆存在重量较大和排布繁琐等问题，本项目基于材料-结构-工艺设计策略，拟开展面向新型航空飞行器的轻量一体化原位电路制造技术可行性研究。通过多波长激光光热还原烧结工艺与跨尺度精密微纳织构技术协同制造，揭示激光与金属前驱体的相互作用机理，实现基底与导电基质的良好界面耦合，生成飞机客舱泛光照明系统原位制造电路，并验证布线一体化集成封装后的基本特性，为研制新型轻量化飞行器奠定研究基础和提供技术支撑。

技术指标：

1）适用于至少一种航空飞行器内部基材（如T300/T700/T800级高强碳纤维增强环氧树脂基复合材料、PPS、PEEK等特种复合材料等）；

2）导线线宽分辨率优于50 um；

3）常温下，导线电导率≥1×106 S/cm；

4）适用于至少3种油墨体系；

5）电路工作温度区间为-40℃～130 ℃；

6）电路附着力测试等级为ASTM≥4B；

7）可直接与飞行器内部基材实现导电线路的一体化集成；

8）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
3. 多波长激光光热还原与原位烧结形成金属导电基质的作用机理

 该部分旨在揭示多波长激光与铜/镍/银基等高性能金属前驱物相互作用的能量耦合机制。结合光热耦合建模与数值仿真模拟，分析激光与金属前驱体相互作用的动态过程与转化机理。重点探明激光能量密度、扫描速度、填充周期等加工参数对生成金属导电基质表面形貌、基本功能及物化特性的影响规律，为后续电路原位制造提供理论指导。

1. 基于激光织构实现金属导电基质与微纳复合结构间的界面耦合

该部分旨在基于微纳结构设计和激光织构技术在飞行器相应区域构筑多级复合结构，实现金属导电基质与基底复材间的机械互锁，达到增强金属导线与基底间界面结合力的良好协同效果。重点研究多波长激光构建跨尺度微纳结构的阵列布局、嵌套尺寸、加工方式与参数调控，并基于几何理论模型与仿真模拟结果揭示其与金属导电基质粘附力之间的内在联系。

1. 针对民机客舱内部泛光照明导线电路的原位设计与制造

该部分旨在实现民机客舱内部泛光照明导线电路电路的激光原位制造。重点研究铜/镍/银基等高性能金属前驱体油墨的调控配制和组分择优，配合较优激光工艺参数进行图案化原位制造，以期在光热处理与精密制造协同作用下对泛光照明基板进行激光直写，最终获得分辨率高、附着性好、电性能优异的金属导线/电路阵列。

1. 新型轻量一体化原位制造电路的系统集成、封装保护与功能验证

该部分旨在完成对于民机客舱内部泛光照明的复杂布线集成、涂层封装保护与基本功能验证。基于设计-制造-运维一体化思路，重点规划金属电路构型、配合高效布线模式、优化关键材料制造、完成表面涂层封装，并开展定量模拟仿真与定性表征实验，以验证相关基础理论和关键技术的可行性与有效性。

1. 研究成果的验证方式

 在飞机模拟客舱内实现原位电路制造样件的测试与验证。

1. **预期成果**

1）针对民机客舱内部泛光照明导线的原位电路制造系统样件至少1件；

2）应用于飞行器内部原位电路制造技术的研究报告2篇；

3）轻量化电路原位制造技术工艺指南1份；

4）发表论文至少1篇；

5）申请面向新型民机轻量一体化原位电路制造技术发明专利至少1项。

1. **建议研究周期**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 5G环境下基于多传感器协同的大型复杂构件视觉测量方法

1. **项目背景**

大型复杂构件测量是商用飞机制造中的关键环节，关系到构件产品稳定性和质量。由于构件形状多样异构、测量指标繁多，生产现场的单个测量设备覆盖范围和计算能力不足，导致传统“多物一测”方式效率精度有限。同时，大型复杂构件的测量数据量巨大，处理复杂，多传感器数据融合对时钟同步、带宽速率有明确指标需求，生产环境中现场操纵网难以满足低时延传输及高效协同处理要求，因此，基于工业 5G 专网，结合边缘协同计算，多传感器智能协同测量将成为研究前沿。项目将根据商用飞机构件特点，研究5G环境下基于多传感器协同的大型复杂构件视觉测量方法，在边缘测完成基于5G的点云数据传输和边缘处理，实现高效率、高质量构件感知，助力商用飞机精益制造。

1. **项目归属的重点专业领域**

5G工业

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

本项目围绕5G环境下基于多传感器协同的大型复杂构件视觉测量，提出以下两个研究目标：

1)解决复杂构件的三维点云快速建模及匹配问题；

2)解决复杂构件轮廓度的高效检测问题.

3）解决多传感器数据传输、融合、边缘计算。

技术指标：

1. 视觉测量方法能够测量投影面积不小于3m\*2m的构件，拟合精度满足商用飞机构件制造要求，测量精度达到0.1mm，多传感器协同测量较单传感器测量效率提高20%；
2. 轮廓度误差检测算法满足边缘侧部署环境要求，处理时间2分钟以内，实时性良好，检测精度较单传感器测量方案提高20%；
3. 多传感器数据时钟同步精度小于200微秒，数据传输周期不大于30ms，传输可靠性大于99.99%。
4. 技术成熟度从TRL 2级提升至TRL 3级。
5. **主要研究内容**

1) 拟解决的关键技术

1. 基于5G的复杂构件三维点云协同测量

为提升复杂构件测量的效率与精度，拟研究基于5G的高精度三维点云协同测量与处理技术，利用多立体视觉传感器高效采集海量数据，基于5G网络实现点云的高效传输和边缘端点云降采样、多传感器点云数据融合、几何特征拟合、三维点云重建、曲面匹配等处理，高效构建高精度构件的几何尺寸三维点云模型作为处理基础。

1. 基于多模态信息融合的复杂构件轮廓度误差检测

为提升复杂构件尺寸检测的效率与精度，拟研究基于5G的构件轮廓度误差在线检测方法。在多源数据融合的点云模型基础上，引入图像视觉等多模态数据建立轮廓度多尺度多模态表征模型，研究融合机理模型的快速曲面匹配，实现基于深度神经模型的轮廓度误差检测算法。

1. 基于多传感器的精准时钟同步数据融合

研究5G工业网关为点云数据增加时钟信息，在边缘测进行基于精准时钟的数据融合。网关需要和5G基站进行时钟同步，采用3GPP R16的SIB9授时同步机制，将5G时钟同步给5G工业网关的模组。5G工业网关系统从模组获取5G时钟，在传输点云数据时，在数据报文中添加时钟信息。研究点云边缘处理时，基于同一时钟的数据进行融合处理，保障点云精度和质量。

2) 研究结果的验证方式

1. 模块实验测试：验证面向复杂构件的高精度三维点云测量方法符合构件坐标及姿态。
2. 模块实验测试：验证复杂构件轮廓度误差检测算法的准确性、实时性等情况满足场景要求。
3. 综合实验测试：以复合材料扰流板结构件或复合材料窗框结构件为典型件，验证基于多传感器协同的大型复杂构件视觉测量方法方案，满足大尺寸复杂构件测量和检测需求，适用于商用飞机制造应用。
4. **预期成果**
5. 基于5G的复杂构件三维点云的多传感器协同测量算法1套；
6. 典型复杂构件轮廓度误差检测算法1套；
7. 5G环境下多传感器协同的大型复杂构件视觉检测原型1套；
8. 形成论文1篇或发明专利1项。
9. **建议研究周期**

24个月。

1. **所需研究经费**

总额50万元。

# 基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术及其应用示范

1. **项目背景**

新一代智能制造系统的部署面临从工业数据采集、协议解析、数据传输、数据存储、可视化到设备控制进行全流程统一管控的问题。随着国产大飞机工业的兴起，集成化、云端化成为工业机器人产线向先进工业控制系统发展的重要方向。云化控制系统具有运算能力强，占用实体空间小，编程方式多样，支持丰富的工业协议以及灵活扩展性强等优势，能大大降低现场控制系统的软硬件冗杂性，实现软硬件解耦。与此同时，云化控制系统要高速、准确、大容量、低延迟地向生产装备发送指令，并灵活配置I/O资源，需要有高速可靠的通讯技术作支撑。5G作为新一代通信技术，具有高速率、高带宽、低时延等特点，为云化控制系统的实现提供了技术支撑，可满足工业控制指令以确定的周期对边缘设备进行动态控制。在使用5G通信的基础上，云化控制平台更利于智能算法的柔性部署、优化控制性能优化，为多机器人协同部署、生产单元的高效配置提供有效途径，因而PLC及机器人控制系统的云化技术是智能制造的发展趋势，具有广泛的应用前景。

1. **项目归属的重点专业领域**

5G工业技术

1. **项目目标及技术指标**

项目目标：

本项目针对商用飞机的机器人现场控制系统软硬件冗杂，部署集成度低的难题，开展基于5G通信的云化控制系统的研究；面向开展商用飞机智能制造机器人信号监控以及规划控制云端化集成需求，开展软件定义PLC，软件定义控制器技术的研究，构建5G通信的云化控制系统信息运行框架与交互模型，突破信息提取、数据处理与语义分析等关键技术，实现工业机器人状态实时监控、规划控制指令下发的云端集成能力；建立可灵活组网的现场总线架构，实现多机器人云边协同，为云化控制系统在商飞智能制造中的应用奠定基础。

技术指标：

（1）构建适用于商用飞机智能制造机器人协同的云化控制技术方案；

（2）5G云化控制的网络延时$<$~~10~~20ms，丢包率$<$1/100000；

（3）云化PLC整体I/O点数，数据容量,程序容量均满足现有规模的100倍以上；

（4）具备同步开发能力，支持图形化、脚本、高级开发语言，与硬件解耦并支持4 种以上指令集，代码开源率≥85%，支持≥16 个优先级的自由、周期与事件触发任务组态，任务调度周期覆盖µs、ms、s 等时间量度的控制；

（5）机械臂协作规模$\geq $2台协作组网。

1. **主要研究内容**
2. 拟解决的关键技术
3. 基于“软件定义PLC”设计方法的机器人I/O信号监控技术研究

针对工业可编程控制设备软硬件冗杂难题，研究软件定义PLC方法,实现PLC软硬件功能解耦，设计PLC部署一体化架构、可编程计算控制编译型设计方法、模块化设计方法等,实现不同体系架构 CPU 的透明运行；集成多种工业通讯协议，研究周期任务、循环任务、事件任务等多类型任务并存的综合调度与资源分配技术，实现计算实时性和服务一体化；研制基于5G高速通信协议实现与云端之间“低时延、高可靠、大带宽”的感知计算控制一体化的PLC开发平台系统。

1. 基于“软件定义控制器”工业机器人云端控制技术研究

针对机器人控制器的云端软件化需求，研究软件定义控制器架构，突破运动、位置、力控制等方法的云端部署，结合远程I/O监控，实现工业机器人的感知、计算、控制功能；研究规划至控制指令的云端转化与5G通信的结合，实现云化控制器与现场驱动器之间的高速低延时通信；面向大飞机智能制造设备接入工业应用场景，构建基于5G通信的云化控制系统的运行框架及交互机制，突破多源异构信息集成、信息提取与分析等关键技术，实现分布式智能生产要素的柔性互联、精准控制和高效协同。

1. 基于高频Profinet的多机械臂组网以及协同控制

针对多机灵活组态及设备间超低延迟通信需求，研究高频Profinet多机器组网协同任务中的部署方法，实现低延迟、高可靠、高拓展性的多机器人组网体系；研究高频Profinet与云化控制系统在多机协作场景中云端规划控制信号传输以及本地高频Profinet通讯之间的协同机制，满足节拍配合，时序纠偏等功能需求。

1. 研究结果的验证方式

构建基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术应用示范案例，对云化控制系统在通信延迟，设备集成度、运行稳定性、协同工作质量等关键性能进行验证与测试，为应用示范奠定基础。

1. **预期成果**
2. 研制 1 套软件定义的云化PLC集成组态工具；
3. 基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术应用示范应用平台；
4. 基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术工艺指南1份；
5. 形成基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术框架协议1份；
6. 基于5G的PLC及机器人控制系统的云化技术研究报告1份。
7. 申请发明专利3项以上；
8. 面向商用飞机制造生产线上的云化PLC、工业机器人云化控制系统开展不少于3个工位的测试验证。
9. 开发感知计算控制一体化开发平台原型系统，支持软件定义 10 的一体化自适应调度与管理，支持不少于2个典型行业特性的开发需求.
10. **建议研究周期和**

24个月

1. **所需研究经费**

总额50万元。