

附件 1

2018 年国家商用飞机制造工程技术研究中心创新

基金指南详细介绍

I 冷工艺.....	2
一、基于阵列式吸盘的复合材料机身壁板柔性装配及变形控制技术.....	2
二、民机部件激光直接物品标识的工艺研究和工艺规范的制定.....	4
三、钛合金/复合材料叠层构件自动制孔孔径一致性研究.....	7
四、翼身对接装配间隙三维分布在线测量与工艺优化技术.....	9
五、基于增强现实的民机零件安装及状态智能检测.....	11
六、基于浮动装夹的大型结构件加工变形控制工艺研究.....	14
II 热工艺.....	16
一、铝合金飞机蒙皮表面涂层激光复合清洗及去除机理研究.....	16
二、环形阵列超声检测技术研究及其在钛合金增材制造构件质量检测中的应用.....	19
三、面向飞机制造的硬质合金刀具激光修复技术研究与应用开发.....	22
四、表面痕量残留快速检测方法研究与验证.....	25
III 复材工艺.....	28
一、液体成型用隔框试验件编织预成型体制备工艺研究.....	28
二、连续纤维增强热塑性复合材料 L 形制件热变形成型工艺缺陷形成机理分析.....	31
三、基于碳纤维复合材料闭角双扭桁梁结构件制造的芯模研制技术研究.....	34
IV 特设工艺.....	37
一、PTE 设备在功能测试平台的远程控制技术研究.....	37
二、民机地面功能自动化集成测试用例开发与管理.....	40
V 新兴领域.....	42
一、无动力下肢外骨骼.....	42
二、基于 5G 环境的智能化 AGV 开发.....	46
三、基于肢体动作捕捉的虚拟现实技术仿真平台.....	49
VI 国际合作.....	52
一、铝合金电弧增材制造强化机制研究.....	52
二、基于实时传感反馈牵引力人工导引的机器人辅助装配技术研究.....	54

I 冷工艺

一、 基于阵列式吸盘的复合材料机身壁板柔性装配及变形控制技术

1. 项目名称

基于阵列式吸盘的复合材料机身壁板柔性装配及变形控制技术

2. 项目背景

现代民用飞机采用复合材料主承力件已成为趋势，复合材料机身壁板结构尺寸大、刚性强、变形控制复杂，在壁板对接装配及机身筒段对接装配过程中，极易出现偏差与干涉。本项目旨在研究基于阵列式吸盘的复合材料机身壁板柔性装配及变形控制技术，以满足我国未来大型民机及高复材比例机身结构的装配。

国外民机装备供应商正在研发并在复合材料机身壁板中推广使用基于并联耦合机构的多点阵吸附式柔性装配工装，其中空客公司已在其型号的大尺寸机身壁板中采用与 Fraunhofer 研究院共同研发的该类系统，研究基于实测数据快速仿真的可控应力自动仿形匹配算法。通过可控力的施加，实现壁板的可控变形，降低高刚性复合材料结构件装配过程中的偏差和干涉，同时也避免使用传统工艺接头，减少对复材机体重复加工的损伤性。我国在壁板柔性工装研制及装配工艺方面，仅局限于金属钣金件加工过程的支撑，缺乏针对复合材料的装配控制和用于大尺寸件调姿装配的柔性工装研制经验。

目前，我国民用航空制造业已经引来发展新时代，采用合理分布的多点阵吸附式壁板柔性工装，实现装配过程仿真与实现的贯通，实现复合材料壁板的可控变形控制与无工艺接头支撑，是实现现代大型高复合材料含量民机智能装配的重要发展方向。

3. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

项目针对宽体客机大型复合材料壁板装配的特点,研究复合材料壁板姿态仿真与变形控制技术,建立基于实时姿态的变形控制模型;研究基于阵列式吸盘柔性工装的大型复合材料壁板装配工艺,吸盘夹持工艺及策略。

技术指标:

- (1) 实测姿态仿真与变形控制模型;
- (2) 复合材料机身壁板姿态仿真与变形控制策略;
- (3) 复材机身壁板阵列式吸盘柔性装配工装设计方案;
- (4) 复材机身壁板可控变形装配工艺方案。

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

- 1) 复材机身壁板施压控制及整体可控变形控制技术研究;
- 2) 实测数据快速仿真与全主动仿形匹配算法研究;
- 3) 面向产品的复材机身壁板阵列式吸盘柔性装配工装设计;
- 4) 复材机身壁板调姿装配工艺及验证技术方案研究。

(2) 研究结果的验证方式

研究报告评审。

6. 预期成果

- (1) 复材壁板施压控制及整体可控变形控制技术方案 1 份;
- (2) 复合材料机身壁板姿态仿真及变形控制策略方案 1 份;
- (3) 复合材料机身壁板阵列式吸盘柔性装配工装设计方案 1 份;
- (4) 复合材料机身壁板装配工艺方案 1 套;
- (5) 复合材料机身壁板验证方案报告 1 份;
- (6) 申请国家发明专利不少于 2 项,录用合作论文 EI 收录不少于 3 篇。

7. 建议研究周期

研究周期 24 个月

8. 所需研究经费

总额 25 万元。

二、民机部件激光直接物品标识的工艺研究和工艺规范的制定

1. 项目名称

民机部件激光直接物品标识的工艺研究和工艺规范的制定

2. 项目背景

我国航空业正处于高速发展阶段，无论是军机还是支线客机、国产大飞机，都进入了快速发展的轨道。在全球制造业信息化的新技术革命和航空领域特殊的行业需求的双重冲击下，企业的信息化成为企业胜出的决定性因素。发展可自动识别的标识技术，实现产品全生命周期产品标识有效性，是确保产品全生命周期可追溯性的一种必要手段，更是企业实施信息化最基本的关键能力之一。

航空制造领域零部件众多，产品部件质量确保“零缺陷”，产品部件的耐用性好，寿命长，这些特殊的行业要求对标识的持久性，标识技术的适用性以及标识质量的可靠性都提出极大的挑战。

激光直接物品标识技术是以激光精细标刻方式将机器可读二维码信息（数据文件）标记在物品上，实现产品标识的自动识别。与传统的条形码、二维码印刷标签不同，二维码信息直接标记在物品表面，与被标识物合二为一，可以确保物品标识在产品制造、仓储、流通和使用的整个生命周期完好无损。

激光直接物品标识技术以其速度快、自动化程度高、尤其是激光标识能在恶劣的工作环境下保持较高的可识读率以及激光作用于工件表面所产生标识的牢固永久性等突出特点，颇受人们青睐，已经成了现代工业生产过程中标配的一道工序。激光直接物品溯源技术可柔性地对工件实行产品单个识别编号，以二维码为信息载体，标在产品上，可极为有效地帮助实行生产工序控制、质量控制以及防止假冒产品，极大的契合了航空制造对标识技术的需求，有着极大的应用潜力。

激光直接物品标识工艺是激光直接物标溯源技术开拓应用领域的切入点，是激光直接物标溯源技术扩大应用领域和深耕具体应用领域的着力点。国外激光直接物品标识技术在航空领域已经广泛被采用，并形成了系列的标准和工艺规范。在国内激光直接物品标识技术在航空领域没规模应用的瓶颈在于缺乏激光标识工艺的工艺指导和符合航空行业的工艺规范；因此开展激光直接物品标识工艺的

研究，并形成相应的工艺规范 and 标准，是突破激光直接物标溯源技术在航空领域应用瓶颈的主要手段。

3. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

本项目针对航空制造领域对产品标识的应用需求，基于先进的激光直接物标技术，开展可实现高质量、高持久性、在恶劣工作环境下识读率高、对零部件的性能和完整性无负性影响的激光标识的工艺研究，并形成相应的工艺规范，为激光直接物品标识在航空领域的广泛使用提供工艺指导和质量评价标准。助力我国航空制造企业的信息化推进，提高我国航空制造业在全球的竞争力。

技术指标：

(1) 采用先进的激光技术，对航空部件进行激光直接物品标识工艺研究，确保激光直接物品标识的识读率为 100%。考核校验方式为 100%样品校验。

(2) 可适用于铝合金、钛合金、复合材料及其他航空专用金属材料。

(3) 技术成熟度从 TRL2-3 级提升至 TRL4-5 级。

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

本项目拟解决的关键技术为开发一种符合航空行业标准，可实现高质量、高持久性、在恶劣工作环境下识读率高、对零部件的性能和完整性无负性影响的激光直接物品标识工艺。

1) 激光与物质的相互作用机理

2) 高质量、高识读率、对标识产品的性能和完整性无负影响的激光标识的工艺研究

3) 建立激光标识质量的评价标准和激光标识对产品性能影响的检测方法

(2) 研究结果的验证方式

1) 采用二维码扫描器对标识进行扫描，验证其识读率；

2) 对标识前后的部件性能（包括静力、结合力等）进行对比，获得其对零部件的性能和完整性的影响规律；

6. 预期成果

- (1) 激光直接物品标识工艺研究、激光标识测试与评估报告 1 份；
- (2) 航空部件激光直接物品标识工艺规范初稿；
- (3) 针对典型航空材料制作激光直接物标样品，实现二维码识读率 100%；
- (4) 论文 1 篇，专利 1 项；

7. 建议研究周期

24 个月

8. 经费预算

总额 25 万元

三、钛合金/复合材料叠层构件自动制孔孔径一致性研究

1. 项目名称

钛合金/复合材料叠层构件自动制孔孔径一致性研究

2. 项目背景

目前对于孔径尺寸较大的孔，复合材料/钛合金叠层是两种切削机理完全不同的难加工材料，其对工艺参数和刀具要求都不尽相同，导致钛合金和复合材料叠层制孔孔径尺寸一致性差，无法满足实际加工需求，为了提高我国钻削大尺寸、大厚度钛合金/复合材料叠层孔加工质量，实现其自动化生产，必须开展钛合金/复合材料构件大尺寸制孔刀具研究。

3. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

针对紧公差带钛合金/复合材料叠层，进行自动制孔刀具研制与工艺研究，得出钛合金/复合材料孔径尺寸一致性的变化规律，开发出钛合金/复合材料钻孔专用刀具及工艺方法，满足孔径一致性质量要求。

技术指标：

- (1) 制孔范围覆盖 4.5-16mm，叠层孔深覆盖 0-50mm；
- (2) 复合材料孔壁粗糙度 $Ra < 3.2$ 、钛合金孔壁粗糙度 $Ra < 1.6$ ；
- (3) 无需采用铰孔工艺，仅采用钻孔，制孔阶差小于 0.04mm；

5. 主要研究内容.

(1) 拟解决的关键技术

1) 专用刀具开发

针对目前刀具不能满足现场质量要求及制孔寿命低的情况，开发钛合金/复合材料叠层的专用刀具，降低钻削加工温度，满足钛合金/复合材料叠层制孔需求。

2) 孔径尺寸一致性的变化规律

对紧公差带钛合金/复合材料叠层，通过研究钛合金/复合材料结构形式，得出在不同孔径规格，不同制孔参数下的孔径尺寸一致性规律。

3) 变参数工艺技术

基于钛合金/复合材料叠层顺序变化的变参数工艺技术。

(2) 研究结果的验证方式

案例验证。

6. 预期成果

- (1) 叠层结构一致性制孔专用刀具及设计方案一套；
- (2) 钛合金/复合材料叠层孔径一致性变化规律研究报告一份；
- (3) 钛合金/复合材料制孔工艺试验报告；
- (4) 钛合金/复合材料叠层孔径一致性变化数据库软件一套；
- (5) 钛合金/复合材料叠层制孔试验件；
- (6) 发明专利 1 项，发表论文 3 篇。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

四、翼身对接装配间隙三维分布在线测量与工艺优化技术

1. 项目名称

翼身对接装配间隙三维分布在线测量与工艺优化技术

2. 项目背景

在翼身对接装配生产过程中，由于对接区域的狭长装配间隙有工程要求，需要在外翼调姿过程中同时保证间隙要求。然而，该区域的间隙测量，通常是操作人员通过油腔口盖钻入中央翼内采用塞尺的方式进行间隙检测。可是该区域的操作空间较小，对操作人员的身高与体形都有要求，需要配备特殊的操作人员。为保证翼身对接质量，外翼通常需要调整多次，且每调整一次都要将间隙测量一次，操作过程十分耗时耗力，成为翼身对接批产提速的技术瓶颈。考虑到翼身对接缝的高刚度特性，在线测量与虚拟装配结合的方法来实现间隙的在线测量有着现实的可行性。因此针对装配工艺需求，设计翼身对接间隙在线测量方法，开发间隙分布的三维可视化分析软件并与自动对接系统集成，有着强烈的工程需求和应用价值。

3. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

研究翼身对接装配工艺，设计翼身对接区域狭长间隙的检测方案，开发一套融合激光跟踪仪、多相机摄影测量、激光扫描与一体的在线测量的检测系统，开发间隙分布的三维动态可视化分析软件并实现与自动对接系统的集成。从而根据外部调姿点及间隙的控制要求，配合自动调姿系统，实现翼身自动对接，且保证装配质量。

技术指标：

- (1) 测量系统的三维空间测量精度不低于 0.1mm；
- (2) 在线测量的数据采集分析周期不大于 5 秒
- (3) 实现翼身对接间隙的在线测量，测量分析效率提升 50%以上

5. 主要研究内容.

- (1) 拟解决的关键技术

- 1) 对接现场大尺寸、多尺度组合式测量方法
- 2) 多站异构测量数据的融合分析与评估方法
- 3) 基于虚拟装配的间隙量计算分析与三维可视化计算
- 4) 面向对接加垫优化的间隙优化与大部件调整技术
- 5) 测量系统与对接系统的集成

(2) 研究结果的验证方式

在两个型号产品翼身对接中工程应用

6. 预期成果

- (1) 组合式测量网络数据处理软件一套；
- (2) 间隙在线测量与三维可视化分析系统一套
- (3) 翼身对接间隙测量操作规范一份
- (4) 录用合作论文，EI 收录不少于 2 篇，专利不少于 1 篇。

7. 建议研究周期

12 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

五、基于增强现实的民机零件安装及状态智能检测

1. 项目名称

基于增强现实的民机零件安装及状态智能检测

2. 项目背景

民机产品由于其结构复杂性与标准化程度差，其自动化程度相对较低，以航空产品为例，波音空客等一流航空企业的自动化率仅为 50%，实际装配过程存在大量的手工装配过程，如何采用增强现实（AR）技术，进一步提高生产效率，辅助复杂零件过程装配及检测，是目前复杂产品制造业的重点研究方向。

对于安装数量大、复杂结构件、系统件装配环节，如飞机系统件支架安装、线缆端插等，传统的安装及检测过程，采用人工对安装位置上的零件牌号与图纸进行逐一比对，确定所安装零件的正确性，该过程耗时、低效、且易发生错误。

急需借助图像识别与增强现实技术，对比理论模型，实现结构件及系统件的高效智能安装及检测。

3. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

研究基于移动式智能设备，采用深度摄像头感知技术，获取所观测物体的数据，通过物体识别、空间定位（Slam）、虚实融合、云服务平台等核心技术，实现飞机的流程化组装、状态呈现、远程指导、工作过程记录到云服务平台，最终对飞机智能制作过程中的部件、系统件组装进行具体场景的辅助，以及对最终安装状态的智能检测。

技术指标：

- （1）能够基于移动式智能设备，基于图像识别技术自动识别物体；
- （2）支持私有云部署；
- （3）所使用的移动式智能设备，其重量不超过 500g；
- （4）实现所提取物体与实际模型的比对，对于体积不小于 30mm*30mm*30mm 的物体，其识别率达 96%；
- （5）实现对端插及孔位的识别，其识别准确率高于 96%；
- （6）实现虚实叠加显示，匹配精度误差低于 1%；

(7) 对于 5 米*3 米的壁板，整个识别过程不超过 10 秒；

(8) 增强现实软硬件接口和模板需具备可重用功能，包含可以推广到其它案例中重用以及案例内部功能的可重用；

(9) 技术成熟度从 TR3 级提升至 TRL5 级。

5. 主要研究内容.

(1) 拟解决的关键技术

1) 识别技术

飞机组装过程一般在室内进行，飞机体型庞大，结构复杂、线缆密集众多、结构插接繁琐，相似性较高，这些因素都给识别技术带来了严重挑战。其次，工作环境和对象也不允许外部添加辅助识别，如 marker（现有技术中，为了提高识别准确率而张贴的人为设计的识别标志）。因此，本项目必须研究和解决多角度无 marker 三维物体识别技术，项目设计采用三维扫描重建特征提取和多模物体识别技术，以及深度信息，提高维修环境下的物体识别准确率和可靠性。

2) 虚实融合技术

要将数字信息准确地叠加到现实物体之上，实时准确的定位跟踪技术是非常关键的，其中从摄像机捕捉到图像到空间位置刷新之间的延迟时间至关重要。基于此，本项目将采用物体识别结合 SLAM 跟踪定位的技术方案。

3) 云端服务平台

飞机在制造过程中，通讯采用 5G 网络，通信通道顺畅，识别技术具有放置在云端的带宽条件，同时为了保证相应的及时性，以及应付通信信号的波动，需要同时考虑云端识别和本地识别。为了解决这个问题，本项目设计采用识别特征云端存储，缓存本地识别的方案。云端进行云计算，支持三维重建、物体识别、AR 内容管理等算法，利用云端的大算力支持 AR 眼镜本地化运行。

(2) 研究结果的验证方式

能够完成飞机智能制造过程中的两个应用场景：部件组装、端插（线缆连接）。

1) 部件组装

大飞机在组装过程中，能够完成完整的一个通用的部件组装流程，包含增强现实的辅助装配及结果检测。

2) 端插（线缆连接）

大飞机在组装过程中，能够完成完整的一个通用的端插（线缆连接）流程，包含增强现实的辅助端插及结果检测。

6. 预期成果

（1） 软件

- 1) 基于平板的零组件安装状态增强现实比对展示系统模板 1 套；
- 2) 复杂产品零组件安装状态检测系统模板 1 套；
- 3) 基于增强现实的民机零件安装及状态智能检测私有云部署 1 套；

（2） 硬件

- 1) 基于移动设备的零组件增强现实安装状态展示系统 1 套；
- 2) 安装状态检测识别系统 1 套；

（3） 专利 2 项、软件著作权 2 项，论文 2 篇。

7. 建议研究周期

研究周期 24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

六、基于浮动装夹的大型结构件加工变形控制工艺研究

1. 项目名称

基于浮动装夹的大型结构件加工变形控制工艺研究

2. 项目背景

《中国制造 2025》,是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领,目前已经将大飞机等航空装备的制造列为其十大重点领域之一。新一代飞机结构件更复杂、制造周期要求更短、精度要求更高。随着中国智能制造技术的不断推进,对基础加工工艺的智能化要求越来越高。加工变形控制是航空航天结构件智能数控加工的关键技术,是材料、设计和制造等领域的热点难题。加工过程监测的方法能够准确获取事前难以有效预测的加工物理量,是保证加工质量的一种有效手段。目前对零件变形的监测主要是针对零件的局部变形,工艺调整策略也较简单,仅能针对局部变形进行控制,尚未实现基于监测数据的零件整体变形控制,其原因在于,一方面缺乏整体加工变形的监测手段,另一方面缺乏综合考虑监测数据及材料、零件结构和加工工艺等因素的加工变形控制方法。针对以上问题,亟需突破飞机大型复杂结构件的变形控制技术。

3.项目归属的重点专业领域

冷工艺。

4.项目目标及技术指标

项目目标:

本项目针对飞机结构件加工易变形的问题,以能够在加工过程中自适应释放、监测并消除工件变形浮动装夹工艺装备为基础,研究基于浮动装夹的加工变形控制工艺,实现飞机大型结构件加工过程中变形的实时监测,并根据监测信息对加工工艺、工装进行实时调整,从而减小工件卸载后的变形量及后期校形工作量,为缩短复杂结构件的制造周期奠定技术基础。

技术指标:

- (1) 加工零件的变形量: $\leq 0.1\text{mm}$;
- (2) 可夹持的工件尺寸: $1000\text{mm} \times 250\text{mm} \times 150\text{mm}$;
- (3) 浮动装夹单元夹紧力范围: $\geq 1000\text{N}$;
- (4) 变形监测点监测精度: $\leq 0.03\text{mm}$;
- (5) 技术成熟度从 TRL2 级提升到 TRL4 级。

5.主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

1) 基于浮动装夹原理的飞机结构件加工变形监测技术

以浮动装夹取代传统的固定装夹，在加工过程中对变形量进行实时监测，突破工件整体加工变形无法监测的难题。

2) 实现飞机结构件加工变形数据分析及累积重用

采集飞机结构件各加工阶段加工变形数据，分析不同加工工艺条件下工件的变形情况及变形数据与加工工艺、零件结构之间的关联关系。

3) 基于变形监测数据的自适应加工技术

针对不同的零件结构，研究浮动装夹的布局；充分考虑不同加工阶段加工变形的测量需求，研究基于变形监测数据的加工工艺调整等自适应加工关键技术，并进一步对浮动装夹工艺装备进行改造升级。

(2) 研究结果的验证方式

通过零件加工检测报告验证浮动装夹加工零件的精度，通过结项评审会验证技术工作的完整性，通过典型外形的零件验证技术的适用性。

6.预期成果

- (1) 面向飞机结构件的浮动装夹装置单元 1 套；
- (2) 面向飞机结构件的浮动装夹装置使用规范 1 份；
- (3) 面向飞机结构件的浮动装夹加工工艺研究报告 1 份；
- (4) 发表高水平学术论文 2 篇，发明专利 1 项。

7.建议研究周期

研究周期 24 个月。

8.所需研究经费

经费总额共计 50 万元。

II 热工艺

一、铝合金飞机蒙皮表面涂层激光复合清洗及去除机理研究

1. 项目名称

铝合金飞机蒙皮表面涂层激光复合清洗及去除机理研究

2. 项目背景

在大型客机约 9 万次起降的设计周期里，飞机要经受复杂的温差湿度等服役环境对飞机机体结构进行“冷冻热蒸的考验”，可能使机身某件部件出现损坏，需要定期对飞机进行检修。检修时首先需要对飞机机身进行除漆，然后对机身进行探伤。传统的机身脱漆方法有机械法和化学法，具有质量不稳定、效率低、污染环境、操作复杂、人工作业强度大、容易破坏机身等缺点。因此，急需探索一种高效、高质、绿色无损的去除新技术。

激光清洗被誉为“21 世纪最具潜力绿色清洗技术”，目前，激光清洗技术处于快速发展阶段，成为激光制造技术领域一个新的研究热点。欧、美等发达国家都正在大力开展和推广激光清洗技术的研究与应用，如美国希尔空军基地正在开展激光剥离 F-16 飞机雷达罩复合材料漆层的研究；美国 General Lasertronics Corporation 公司正在开展激光清洗技术在 H-53 直升机玻璃纤维复合材料螺旋桨叶片表面的涂层剥离的应用研究；德国 CleanLASER 公司已将激光清洗应用于飞机维修时的脱漆处理。因此，激光清洗可能是目前飞机机身表面涂层去除的最佳方法之一。但是，目前国内关于该技术研究还处于空白，相关研究亟待开展。

3. 项目归属的重点专业领域

热工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

针对现有飞机蒙皮结构表面去除涂层工艺质量不稳定、效率低、人工作业强度大，破坏环境等缺点，开展铝合金表面涂层激光复合清洗工艺及去除机理研究，突破多光源激光复合去除表面涂层工艺、蒙皮表面激光去除质量与热效应控制、以及短脉冲激光与涂层材料相互作用去除机理等关键技术研究，从而为飞机机身检修采用绿色高效表面处理技术奠定理论和应用基础。

技术指标:

- (1) 表面涂层去除后基材表面保护性氧化膜无损伤;
- (2) 涂层清洗精度 $\leq \pm 20 \mu\text{m}$, 清洗后单位面积残留物 5%;
- (3) 去除过程中基材表面瞬间温度 $\leq 80^\circ\text{C}$;
- (4) 技术成熟度从 2 级提升到 5 级。

5. 主要研究内容.

(1) 铝合金表面涂层激光复合清洗工艺

开发不同波长和脉宽的多光源激光复合逐层去除铝合金表面涂层的新技术, 研究针对不同厚度、成分和颜色的漆层激光复合清洗工艺, 根据表面颜色、化学成分、粗糙度、清洗厚度、表面形貌、表层微观组织及硬度等指标评价激光去除工艺。

(2) 铝合金表面涂层多光源激光复合清洗动态行为

针对不同波长和脉宽的多光源激光复合清洗涂层过程的物理现象, 如激光与涂层相互作用瞬时特征、涂层逐层脱离材料表面的剥离特征、清洗物剥离后的飞行轨迹与空间分布状态等动态行为变化进行分析。

(3) 铝合金表面涂层激光复合清洗质量与热效应控制

围绕铝合金表面不同种类、颜色的涂层, 开展激光能量参数、时空特性等对清洗质量的影响规律; 通过对清洗过程中铝合金表面的热循环、表面瞬间温度分布等热效应特征进行分析, 从而控制清洗质量和效果。

(4) 铝合金表面涂层激光复合清洗与剥离机理

通过建立不同光源的激光清洗剥离的物理模型, 依据“光束扩散理论”, 建立光子在涂层中的微观传输模型, 采用蒙特卡洛法跟踪大量光子运动轨迹, 利用有限元软件计算得出光子在涂层中的分布情况和热量传导, 阐述多光源激光复合清洗作用下铝合金表面涂层的剥离机理。

6. 预期成果

- (1) 典型飞机蒙皮激光清洗验证件 1 件;
- (2) 典型铝合金表面涂层激光清洗试验件 10 件;
- (3) 飞机蒙皮铝合金表面涂层激光复合清洗工艺 1 份;
- (4) 申请专利 2-3 项;

(5) SCI/EI 论文 3-5 篇。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

二、环形阵列超声检测技术研究及其在钛合金增材制造构件质量检测中的应用

1. 项目名称

环形阵列超声检测技术研究及其在钛合金增材制造构件质量检测中的应用

2. 项目背景

钛合金增材制造技术具有一体化、集成化、整体化、复杂近净成形等优势，已实现了商用飞机中央翼缘条、挡窗框和行李架等大型复杂结构件的快速制造，并逐步代替传统钛合金制造技术在其他关键钛合金构件的制造中进行应用。然而，由于增材制造工艺的特殊性，钛合金增材制造构件的声衰减远大于常规金属材料且具有各向异性，航空航天等工业应用中的钛合金材料又常常具有大厚度、形状复杂等特点，采用常规超声检测方法几乎无法对钛合金增材构件内部的缺陷进行检测和评价，很大程度上限制了其在飞机核心构件中的应用。环形阵列超声检测技术是一种基于环形阵元晶片同心圆排列的多通道超声技术，由于单个阵元尺寸较大，能在同样阵元数量下产生更高能量且完全对称的聚焦声场，成像信号受被测试样高衰减和各向异性的影响较小，同时又具有阵列超声声束控制灵活的特点，能利用先进的阵列超声聚焦算法进一步提高检测分辨率和检测效率，是一种有效解决当前超声检测技术在钛合金增材构件的无损检测和评价上存在的问题的检测方法。因此研究先进的阵列超声检测方法对钛合金增材制造构件内部可能存在的各类缺陷进行准确快速检测，对保障商用飞机增材制造构件的安全可靠具有重要意义，同时在钛合金增材制造关键构件的制造工艺改进和应用推广方面也具有推动作用。

3. 项目归属的重点专业领域

热工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

钛合金增材制造构件的高衰减、各向异性、复杂晶粒及组织特性对传统无损检测技术提出了更大的挑战。为此，本项目利用先进的环形阵列超声检测技术，开展钛合金增材制造构件内部缺陷高精度无损检测技术研究。通过研究钛合金增材制造结构的衰减特性和各向异性等声学特性建立其超声检测模型，分析合成声束控制和衰减补偿处理方法；突破环形阵列超声换能器对于增材制造构件检测的

合成声束控制理论及声场特性的评价技术,建立环形阵列超声检测关键参量的优化设计方法;提出基于钛合金增材制造构件内部回波数据的检测成像算法,并分析检测影响因素、优化检测参数、评价缺陷检测结果,最终形成适用于航空航天等关键领域钛合金增材构件的快速、高效、准确检测。

技术指标:

- (1) 超声检测灵敏度优于 $\Phi 0.4\text{mm}$ 平底孔当量,检测厚度不小于 40mm。
- (2) 支持 A/B/C/D/S 型及三维成像显示。
- (3) 可适用于两种以上型号钛合金增材制造材料的检测。

5. 主要研究内容

钛合金增材制造材料的声学特性及阵列超声检测模型研究、钛合金增材制造构件中的环形阵列超声声束控制及优化方法研究、基于环阵换能器虚拟聚焦数据的缺陷三维成像技术研究、典型钛合金增材制造构件的环形阵列检测技术验证。

(1) 拟解决的关键技术

1) 基于复杂内部组织的钛合金增材制造构件的高精度检测技术

结合高衰减、各向异性和多晶粒等特性,研究适用于钛合金增材制造结构中的声线路径及声场分布的计算算法,研究环形阵列超声换能器的子阵元激发延迟时间、激励电压以及增益等参数的控制方法,建立钛合金增材制造构件检测的合成声束扭曲修正控制技术;结合小波分析、谱分析、声衰减校准等手段解决由于增材制造高衰减和多晶粒性引起的回波信号信幅度小、信噪比差等引起检测结果正确性下降的问题,并最后结合上述研究结论对获取信号后的环阵融合成像算法进行设计校准,实现缺陷高精度定量检测,这是钛合金增材制造构件环形阵列超声检测技术的重点。

2) 基于环阵换能器虚拟聚焦回波数据的缺陷三维重构成像技术

常规采用一维线阵换能器全矩阵数据的成像结果主要是基于平面虚拟聚焦点的二维截面。为了在本项目中利用环阵超声声场空间完全对称、聚焦能量高等优势对钛合金增材制造构件内部缺陷进行更加直观地成像和评价,需要深入研究适用于二维环阵换能器的全矩阵数据数学模型及虚拟聚焦控制技术,然后根据声学特性研究成果对钛合金增材结构检测的后处理算法进行修正扩充。同时,结合自动扫查系统和高级绘图函数接口根据真实工件比例对钛合金增材制造构件内部缺陷进行三维重构成像,这是本课题拟解决的另一个关键技术。

(2) 研究结果的验证方式

在乙方的实验场地或典型检测环境下,针对所设计加工的典型钛合金增材制造材料结构试件,在试件关键待检测位置由具有计量检测资质的第三方厂家加工预埋实际尺寸的缺陷,利用本课题提出的环形阵列超声检测方法利用所搭建的阵列超声检测系统进行检测和缺陷识别,与课题中检测精度、检测厚度、成像方式等技术指标的要求进行对比验证。

6. 预期成果

- (1) 钛合金增材制造构件环形阵列超声检测方案设计 & 仿真报告 1 篇;
- (2) 典型钛合金增材制造试件 ≥ 2 件;
- (3) 应用于钛合金增材制造构件的环形阵列超声检测技术研究及实验报告至少 2 篇;
- (4) 钛合金增材制造构件的环形阵列超声检测演示系统一套;
- (5) 专利不少于 2 篇.

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

三、面向飞机制造的硬质合金刀具激光修复技术研究与应用开发

1. 项目名称

面向飞机制造的硬质合金刀具激光修复技术研究与应用开发

2. 项目背景

近年来，随着碳纤维复合材料（CFRP）技术的不断进步，其作为次承力构件和主承力构件应用在客机上，其质量占比也开始逐步提升，我国国产大型客机中国商飞 C919 的机尾和侧翼也采用了碳纤维复合材料。CFRP 是由碳纤维和基体组成的二相或多相结构，具有非均质和各向异性，同时其分子结构介于石墨与金刚石之间，具有超高的硬度，甚至超过金刚石。

加工这一类超硬材料的刀具要承受较大的切削力、扭转力和较大的冲击和振动，同时由于与工件的剧烈摩擦，导致温度上升，致使切削刀具刀片发生崩刃、裂纹、破碎等破损现象和卷刃、磨损等现象，刀具性能的下降必然会影响被加工零件表面的质量和尺寸，使生产效率降低，切削加工成本增加。每年因为磨损而报废的刀具量也是巨大的。由此可见，如果利用激光绿色再制造技术对磨损刀具进行修复能使其达到使用要求，那么企业将会节约大量贵重材料和资金、降低生产成本、提高企业效益，争强企业竞争力。

刀具的激光绿色再制造包含 3D 数据模型获取、缺损部位修补、刀具修磨、测量检测、修复后处理等多项内容，涉及逆向反求技术、激光熔覆、激光磨削等关键技术。

刀具的 3D 数据模型包含所有刀具几何参数数据，是刀具修复、测量检测的重要依据。反求技术可通过对刀具进行测量，获得刀具表面形貌的点云数据，通过点云数据的拓扑处理，重构实物三维模型，实现从样品生成产品数字化信息模型。无法正面获得刀具几何参数的情况下，利用反求技术可逆向获取刀具的 CAD 数据模型，用于磨削加工和刀具修复后几何尺寸评定。

激光熔覆技术是利用高强度激光束照射在金属工件表面，使同步送进或预铺在工件表面的材料熔化，在工件表面形成一种物理、化学或力学性能优良的新表层的增材制造技术。它利用原有零件作为再制造毛胚，使零部件恢复原有尺寸、形状和性能，可用于磨损刀具缺损部位的修补。

硬质合金刀具硬度高，加工困难，常规方法是采用人工修磨或多轴数控磨床进行磨削。刀具修复常为局部修复，修复部位面积小且定位困难。激光磨削是采用高能量密度的脉冲激光进行基材表面烧蚀和剥离进行加工的工艺方法，脉冲激光光斑小，以振镜控制光斑扫描，易于找正定位，加工范围灵活可控；激光为非接触加工，无切削力造成的工件变形、位移误差，加工精度较高；激光热输入可控，与材料作用时间远小于材料晶格热传导时间，是一种近乎无损的冷加工方式，能抑制脆硬材料加工的热裂倾向。可用于对受损刀具进行几何形貌恢复，是更适宜刀具修复的塑形方法。

针对反求技术，国内外做了大量的研究，并取得了一定的进展；硬质合金基体激光熔覆、硬质合金激光磨削等关键技术，国内研究较少，激光熔覆层与硬质合金基体的结合，激光熔覆制备硬质合金涂层开裂、气孔等缺陷，激光磨削精度控制，激光磨削热作用对磨削面表层/亚表层缺陷的影响等问题有待研究。激光绿色再制造技术的工业应用，尤其在商用大飞机制造等领域整体较少。

3. 项目归属的重点专业领域

热工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

针对碳纤维复合材料切削刀具修复在民用飞机制造的应用需求，开展适用于碳纤维复合材料切削刀具的 3D 反求技术、硬质合金材料的激光熔覆修复、激光磨削技术研究，解决修复区域缺陷控制、修复精度控制等关键技术，提高典型磨损刀具的利用率，延长其服役时间，降低其使用成本。

技术指标：

（1）采用硬质合金刀具反求技术、激光熔覆或激光磨削技术，完成飞机碳纤维复合材料加工用典型刀具部件的修复。

（2）技术成熟度从 TRL1-2 级提升至 TRL3-4 级。

5. 主要研究内容

研究内容有刀具修复可行性评估及修复技术方案设计、刀具 CAD 数据模型反求技术研究、硬质合金基材及其涂层的激光熔覆工艺可行性研究、硬质合金激光磨削工艺及磨削表层/亚表层缺陷控制研究、修复后刀具的后处理技术研究。

(1) 拟解决的关键技术

开展碳纤维复合材料切削刀具 CAD 数据反求技术研究，提高反求 3D 模型的几何精度；开展适用于硬质合金材料的激光磨削工艺技术研究，解决磨削表层/亚表层缺陷控制、修复精度控制等关键技术，恢复典型受损刀具的几何形貌，提高刀具利用率。

- 1) 刀具 CAD 数据模型精确反求技术；
- 2) 激光磨削表层/亚表层损伤控制技术；
- 3) 刀具修复精度控制技术

(2) 研究结果的验证方式

采用实验验证，对修复前后刀具几何尺寸及性能进行对比，验证其性能。

6. 预期成果

- (1) 硬质合金刀具修复样件 1-2 个；
- (2) 硬质合金刀具激光磨削修复样件质量测试与评估报告；
- (3) 硬质合金刀具激光修复检测规范初稿
- (4) 申请国家专利 2 项，论文 2 篇。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元

四、表面痕量残留快速检测方法研究与验证

1. 项目名称

表面痕量残留快速检测方法研究与验证

2. 项目背景

本项目研究多材料基体零件表面因制造过程引发的痕量残留对涂层性能的影响。

涂层是飞机最重要的表面防护手段，其防护质量的关键在于涂层施工前的表面状态与清洁程度。目前涂装前的表面状态主要通过时间控制，表面清洁程度依靠溶剂擦洗过程控制，对带涂装表面本身的检测尚未引入快速可靠的技术方法与手段，由此可能因为不同存量的残留污染物，造成涂层性能稳定性不高、不合格原因分析难等问题。

痕量残留、污染分析目前在食品、电子、医药、环保等行业已经有了大量的应用，采用光谱法等进行官能团判定、标准图谱对比等多种方式已经大量实现实际应用，分析精度可以达到 ppm 级别甚至更高，已经具备了待涂装表面痕量污染的检测能力，但是在适用性方面、标准谱图建立、图谱-污染物定性定量分析可行性方面还没有进行系统的研究。

因此开展基于先进光谱技术手段与分析方法，开展待涂装表面状态的标准谱绘制、污染物定性定量分析技术，将极大提高飞机涂装质量判断、提高与故障分析能力，为未来基于状态感知的自动化、智能涂装线实现奠定基础。

3. 项目归属的重点研究领域

热工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

面向民用飞机待涂装表面的状态检测需求，针对铝合金、复合材料的典型表面状态，基于光学检测方法，开展标准谱图绘制、制造污染物谱图绘制，并开展痕量污染情况下待涂装表面的谱图变化规律研究，进而完成污染状态对附着力的影响机制研究，形成待涂装表面污染物的快速检测方法，形成污染控制、消除的工艺要求。

技术指标：

(1) 光学分析手段对油脂、纤维、水汽、氯离子、铁离子的检出精度达到 PPM 级。

(2) 检测方法实时可靠，重复性达到 80%以上。

(3) 获取痕量污染物含量控制阈值，阈值以下涂层附着力级别不低于 8 级，耐液压油介质性超过 30 天。

(4) 技术成熟度从现在的 TRL2 级提升至 TRL4 级。

5. 主要研究内容

(1) 主要研究内容

1) 待涂装表面状态与清洁度分析方法与模型建立

采用光谱法分析和建立铝合金、铝合金铬酸阳极化、铝合金化学转化膜、复合材料表面特征，获取基于各个表面的光谱特征模型与分析方法。

2) 复杂基体表面痕量污染物光谱信号增强与分析技术

以待涂装表面可能存在的油脂、纤维、颗粒、氯离子、铁离子等污染物为对象，研究选择性激励技术方法，获取污染物的存在，定性为主定量为辅，获取相关的比对分析方法。

3) 痕量污染物对涂层附着力性能影响规律研究与验证

根据痕量污染物的分析方法，设置相应的试验手段，采用量化的附着力试验，验证和改进分析技术的准确性，获取污染物对附着力、耐介质等性能的影响。

4) 基于光谱的快速、便携检测方法研究与设备设计

依据以上的试验与分析手段，基于现场的生产检验现状，提出可靠性高于 95%的检验方法、取样频率等，力争提出简捷、便携的检验检测方法与设备设计思路。

(2) 研究结果的验证方式

案例验证、测试报告验证。

6. 预期成果

(1) 待涂装表面状态与清洁度分析方法与模型；

(2) 复杂基体表面痕量污染物分析信号增强技术

(3) 痕量污染物对涂层附着力性能影响规律研究与验证技术报告；

(4) 基于光谱的快速、便携检测方法研究与设备选型报告；

(5) 标准试块 6 件；

(6) 技术规范 1 份；

(7) 发明专利至少 2 项，高水平学术论文 5 篇。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元

III 复材工艺

一、液体成型用隔框试验件编织预成型体制备工艺研究

1. 项目名称

液体成型用隔框试验件编织预成型体制备工艺研究

2. 项目背景

机身隔框属于弯曲杆件，对于弯曲杆件，没有专用自动化设备的情况下，用预浸料方法制备时在杆件凹面容易产生褶皱，引起纤维的屈曲松弛，降低了复合材料的性能，或者进行剪口放弃纤维连续性，这又会导致结构整体性不好。

目前国外只有美国 ATK 公司和法国 Duquein 公司开发了隔框类零件的专用预浸料自动化成型设备，生产的隔框零件已经在型号上成功应用，并申请了设备专利，对外不卖设备。

编织的优点是适合制备异型管件与杆件，编织时按照编织模具的外形与尺寸做近净型编织，整个结构中纤维连续，结构整体性好，是机器编织，制备效率高。波音 B787 部分隔框就是采用编织成型。但常规编织有两个不足，一个不足是纤维交织引起碳纤维屈曲，降低了零件的面内力学性能。另一不足是常规编织结构中没有 0° 和 90° 纱。

单向编织 (Unidirectional-Braiding) 是近些年来空客与波音在传统编织的基础上相继开发的一种新型编织技术，用于制备复合材料机身隔框等杆件，使零件更轻，质量一致性更好，可靠性更高。它既具有编织容易制备异型杆件的优点，又降低了编织结构中碳纤维的屈曲，提高了复合材料面内力学性能，并且结构中可以有 0° 和 90° 纱。这种结构制备的杆件纤维连续，整体性好，纤维材料性能的利用率高，使零件更轻，并且是机器编织，制备效率高，产品质量一致性好。

单向编织在国内航空界还没有开发过，远远落后于国外。

复合材料机身隔框的制备，目前国内还是采用预浸料的手铺方法，为了避免褶皱，纤维方向偏差大，生产效率低，一致性不好。上飞公司做了改进与优化，

引进了 0° 铺层的自动铺丝，解决了纤维方向准确性问题和纤维褶皱问题，但未最终解决自动化成型问题。

大飞机需要与时俱进，开发与采用最新的先进技术，适用于隔框类异型杆件的自动化成型。

3. 项目归属的重点专业领域

复材工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

本项目要为复合材料机身隔框编织预成型体试验件开发出 0° 纱、90° 纱、0/90° 之外的角度纱的单向编织工艺，碳纱与碳纱之间没有弯曲交叉，为下一步用单向编织工艺制备隔框编织预成型体做技术准备。

技术指标：

（1）所能达到的精度

按照隔框编织预成型体的设计要求，总共铺层 14 层，包括 0°，90°， $\pm 45^\circ$ 纱层。所用碳纤维为 12K 碳纤维，编织件要达到的技术指标：

- 1) 实现 0° 碳纱、90° 碳纱的引入
- 2) 实现 $\pm 45^\circ$ 碳纱不交叉弯曲的编织；
- 3) 纤维角度偏差： $\pm 5^\circ$ 以内；
- 4) 同一铺层纤维间隙： $\leq 1.5\text{mm}$ ；
- 5) 同一铺层纤维重叠：不允许；纤维屈曲：不允许。

（2）可制造尺寸

编织模具横截面尺寸按照宽体客机机身隔框横截面 1:1 尺寸设计，编织件长度为 1730mm，满足后续液体成型研究用隔框编织预成型体试验件长度要求。

（3）可适用于材料.

可以适用于 12K 碳纤维。

5. 主要研究内容

（1）拟解决的关键技术

1) 单向编织工艺开发：

单向编织工艺中角度纱的编织工艺、0° 纱的编织工艺、90° 纱的编织工艺；

特定隔框类弯曲杆件角度纱的编织工艺， 0° 纱的编织工艺， 90° 纱的编织工艺；特定隔框类弯曲杆件矩形截面模具横截面 4 个圆弧角 0° 纱的编织工艺；确保 0° 纱、 90° 纱排列平整、均匀、纱线不出现扭转的优化编织技术。

2) 隔框编织工艺路线的仿真和模拟

按照隔框试验件的编织模具和编织结构对隔框编织预成型体进行仿真和模拟，考察纱线路径等对编织工艺的影响，优化工艺参数。

3) 隔框编织预成型件的制备与质量评价

使用单向编织工艺按照设计要求进行隔框编织预成型体的编织加工，并对编织预成型体的角度偏差、间隙等进行质量评价。

4) 隔框零件的液体成型制备与质量评价

采用上飞公司提供的工装，用液体成型工艺对隔框的编织预成型体进行零件制备，并采用无损和剖切破坏的检测方法对零件内外部质量进行评价。

(2) 研究结果的验证方式

试验件验证

6. 预期成果

- (1) 工艺指南 1 份；
- (2) 隔框试验件编织预成型体 3 件；
- (3) 技术研究报告 1 份
- (4) 期刊文章 3 篇

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

50 万元。

二、连续纤维增强热塑性复合材料 L 形制件热变形成型工艺缺陷形成机理分析

1. 项目名称

连续纤维增强热塑性复合材料 L 形制件热变形成型工艺缺陷形成机理分析

2. 项目背景

热塑性复合材料因柔韧的高分子链具有优良的韧性、较高的损伤容限和使用温度，是提高商用飞机结构和工艺先进性的重要选材之一。。其中，热变形是制造小型、大批量热塑性复合材料飞机制件的主要工艺，能在加热加压条件下将热塑性复合材料平板快速转变为所设计的形状，从而保证简单的工艺流程、极高的生产效率、和较低的设备与人力成本。

传统的逐层铺贴模压成型工艺存在诸多弊端：预浸料铺层定位困难，尤其是大曲面复杂制件的制备需要极其精细的定位铺放，保证纤维位置和方向精度极为费时，否则降低制件性能的均一性；成型工艺繁琐，良好的制件性能需要铺贴于层间固定交替进行，多次的层间固定极大地降低生产效率；制件孔隙控制困难，预先铺贴过程中的气体难以完全排出，容易造成制件孔隙率较高。

热塑性复合材料可以在树脂熔融状态下进行二次加工成型，具有独特的热变形特性。相较于传统的铺层模压成型工艺，热塑性复合材料热变形成型工艺是一项经济、快速、可靠的新型复杂件成型技术。不但纤维定位容易、层间性能优异、孔隙率可控，而且工艺简化，人为影响因素较少，因而在航空航天领域有着广泛的应用前景。

国内民用航空业对连续纤维增强热塑性复合材料热变形成型工艺研究起步较晚，仍有许多关键性技术需要探索，核心问题是成型过程中缺陷的形成与控制机理：加压方式和热历史对孔隙的影响；树脂种类和纤维方向对拐角褶皱的影响等。

3. 项目归属的重点专业领域

复材工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

针对连续纤维增强热塑性复合材料 L 形制件热变形过程的缺陷演化形式,研究专用材料在不同成型工艺条件下的缺陷形成机理及控制方法,研究 L 型制件铺层设计与缺陷特征的关系,为热变形成型工艺在商用飞机制造领域的应用解决若干关键工艺问题。

技术指标:

(1) 原材料分别使用连续碳纤维增强 PPS 和 PEEK 板材,织物层数不少于 6 层或单向带不少于 10 层,L 形制件含余量展开面积不小于 180mm×180mm;

(2) 基于 (1) 条件所得制件,7mm 余量以内制件厚度与板材偏差 $\leq 10\%$,孔隙率 $\leq 1\%$;

(3) 获得 L 形制件热变形成型工艺缺陷形成的监测方法,及演化的定量描述方法。

(4) 技术成熟度从 TRL2 级提升至 TRL4 级,即从“提出概念和应用设想”提升至“以原理样品或部件为载体完成实验室环境验证”。

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

1) 关键 L 形制件热变形成型工艺结构材料的设计与制备技术

关键工艺结构 L 形制件的纤维含量、树脂种类和铺层形式是影响热变形成型工艺参数和缺陷形成及演化的关键因素,研究不同树脂种类、纤维含量、铺层形式对 L 形制件质量的影响,优化工艺结构材料的组成与形态。

2) 树脂基体聚集态结构分析和调控技术

对热塑性树脂基体而言,结晶区与非晶区的取向、应力分布、密度、热收缩率均有显著区别,结构材料树脂基体的聚集态结构调控是控制层间滑移和缺陷演化的关键,分析成型过程中树脂基体的热历史和应力诱导方式,研究树脂基体聚集态结构演化行为及其对制件质量的影响规律,可以揭示制件质量控制机理。

(2) 研究结果的验证方式

研究结果以典型结构的复合材料试验件和变形机理报告为验收内容,具体成果的评价以专家评审的方式进行。

6. 预期成果

(1) 连续纤维增强热塑性复合材料热变形成型 L 形结构件 4 组 (包含单向 CF/PEEK、单向 CF/PPS、织物 CF/PEEK、织物 CF/PPS 四种材料体系), 每组 3 个制件, 均满足技术指标 (1)、(2) 要求;

(2) 连续纤维增强热塑性复合材料热变形成型外形精度和孔隙率控制方法的研究报告 1 篇

(3) 连续纤维增强复合材料热变形成型工艺缺陷监控和演化描述的研究报告 1 篇

(4) 发表核心期刊论文不少于 1 篇

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

50 万元。

三、基于碳纤维复合材料闭角双扭桁梁结构件制造的芯模研制技术研究

1. 项目名称

基于碳纤维复合材料闭角双扭桁梁结构件制造的芯模研制技术研究

2. 项目背景

使用碳纤维复合材料制造当代领先机型和更多未来机型的机翼/机身等主承力结构已经成为了世界主流商用飞机制造商的最佳选择。得益于碳纤维复合材料可设计的优势，机翼形状可以进一步向气动优化方向倾斜。为了将气动最优化，主流机翼设计成了翼尖上翘，同时从翼根到翼梢也存在有一定的扭转角。复杂的机翼型面结构也要求其主翼梁有着类似的复杂双扭结构，给翼梁的制造带来了前所未有的挑战。同时为了照顾翼型结构，“C”字型翼梁，尤其是后翼梁的“C”字型结构为闭角结构，使用传统碳纤维复合材料零件制造工艺将会面临难以脱模的问题。另外，在机身结构中，主要以帽型长桁为主，帽型长桁与机身蒙皮组成的闭腔结构具有很大的制造难点，特别是对于采用共固化制造技术，腔体内部填充的芯模不仅需要具有高温下能够有效传压的能力，而且在零件固化后需要方便的进行脱模。

为了解决其生产制造中遇到的困难，空客在其新一代机翼翼梁的生产制造过程中引入了可重塑外形芯模。此种芯模在常温下为硬质固体，中空，在特定的温度下会软化，可传导压力，零件固化完成后只需要在脱模时将芯模再次加温且内部抽真空，芯模会在大气压力下发生坍塌，此时只要将其从零件内抽出便完成了脱模过程。

3. 项目归属的重点专业领域

复材工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

希望能够借此项目，研究并且制备出一种可重塑外形芯模，其有以下的要求：

(1) 芯模在加热到一定温度后可以软化，便于脱模，且软化温度要低于碳纤维复合材料的玻璃态转化温度；(2) 芯模在软化取出后要便于重塑外形，即同一个芯模可以循环反复使用，以此降低成本。本项目将首先针对芯模材料做好充分的基础性能研究，并分别设计一套能够用于闭角双扭翼梁结构及双曲率帽型长桁结

构制造的芯模，在完成芯模研制之后，实际运用到零件结构制造过程中，形成一套适用于零件制造的工艺方法，攻克其中的诸如模具定位、模具匹配、脱模等一系列的技术难点。

由于此种可重塑外形芯模可以简化碳纤维复合材料零件的工艺流程，降低碳纤维复合材料零件的生产成本和生产工时，且便于大批量生产制造传统方法难于脱模或内腔形状较为复杂的零件，因此也有着极大的价值及极好的前景。

希望通过本项目的研究，能够推动先进理念复合材料零件的制造，解决“设计得出但是造不出”的问题，推动复合材料结构制造观念突破传统金属结构零件设计的已有框架，推进国产大飞机复合材料零件设计水平的提高，为未来国产大飞机的复合材料机翼/机身的制造技术进行必要的技术准备。

技术指标：

- (1) 芯模的成型面粗糙度 Ra1.6；
- (2) 采用芯模成功完成梁/长桁零件制造，芯模脱模过程简单且不损伤零件，所制造的零件内部质量及外观质量均基本满足复合材料验收技术条件要求；
- (3) 芯模脱出后能够重塑外型，并且重复使用次数可以达到 20 次以上；
- (4) 技术成熟度达到 TRL5 级。

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

- 1) 芯模材料基础性能及适用性研究；
- 2) 针对闭角双扭翼梁及双曲率帽型长桁的芯模研制技术研究；
- 3) 碳纤维复合材料闭角双扭桁梁结构件制造技术研究。

(2) 研究结果的验证方式

试验件验证

6. 预期成果

- (1) 芯模材料基础性能及适用性研究报告 1 份；
- (2) 闭角双扭翼梁及双曲率帽型长桁芯模研制技术报告 1 份；
- (3) 碳纤维复合材料闭角双扭桁梁结构件制造技术研究报告 1 份；
- (4) 小尺寸闭角双扭翼梁试验件 1 件；
- (5) 小尺寸双曲率帽型封闭长桁试验件 1 件；
- (6) 在国内外重要会议或者学术期刊上发表论文 1 篇；

(7) 申请专利 1 项。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元

IV 特设工艺

一、PTE 设备在功能测试平台的远程控制技术研究

1. 项目名称

PTE 设备在功能测试平台的远程控制技术研究

2. 项目背景

目前，在飞机总装功能测试过程中，PTE 设备种类繁多，设备使用也仅仅是手工操作，对于有些带有远程通信接口设备并没有发挥系统综合集成测试的目的，对于 PTE 设备未带有通信接口功能的，在未来集成测试过程中也是一个挑战。随着测试技术及测试设备向着开放分布式、网络化、集成化、智能信息化和模块柔性组合化的方向发展，PTE 设备的远程化、网络化控制在综合集成测试中是不可或缺的。鉴于国内民机总装功能测试集成化的紧迫需求，故急需开展 PTE 设备在功能测试平台的远程控制相关课题研究，探索如何将带有远程通信接口及不含通信接口的 PTE 设备与功能试验集成测试相结合，接入总装功能测试平台。该项项目成果将对国产民机地面功能试验的效率有着明显的提升。

3. 项目归属的重点专业领域

特设工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

本项目针对国内民机总装测试阶段对于 PTE 设备实现集成、远程控制的需求，拟采用开源架构以及 IVI 驱动的虚拟仪器技术，以综合航电通信系统 PTE 设备如 KTS-2000、IFR-4000 为模板，设计自动化设备互通信接口硬件模块以及交互通信软件系统，软件系统可作为总装功能测试平台的 PTE 通信子模块。重点突破 PTE 设备在集成测试平台中传输协议框架设计技术、总线适配驱动层优化设计技术等一系列关键技术，实现飞机功能测试阶段所用总装 PTE 设备远程控制，为综合航电集成测试中 PTE 设备的远程控制和设备管理奠定基础。

技术指标：

- (1) 通信接口采用有线或者无线的形式，接口支持 RS232 或 IEEE-488 等；
- (2) 传输距离大于 50 米；

- (3) 具有良好的通用性、操作性和可扩展性，支持至少 3 台 PTE 设备同时连接和数据管理，可根据需要方便地进行扩展与裁剪；
- (4) 通信接口模块具备电源保护管理模块，具有隔离、ESD 保护功能，隔离电压达到 2000V；
- (5) 工作温度范围：0-50°。

5. 主要研究内容

(1) 拟解决关键技术

1) PTE 设备在集成测试平台中传输协议框架设计技术

针对民用飞机上的机、电、液、气等典型系统 PTE 设备，提取其共性因素，并针对功能需求不同，传输速率、传输量等的要求不同，以及测试原理、测试方式的不同，采用.NET 开源架构设计通用化、可组合、可剪裁的测试平台框架及相关模块，使得具有可定制化、裁剪化、模块化、网络化等优势。

2) 总线适配驱动层优化设计技术

总线适配驱动层目的是使测试平台支持机上不同航空总线类型，实现统一的总线测试、总线交互接口和总线测试流程。定义完善的数据通信接口中间层实现对不同的总线、不同的硬件通讯板卡以及地面信号模拟器（包括 PTE）进行统一的资源管理、数据管理、收发管理。

(2) 研究结果的验证方式

案例验证，至少能够与 3 台 PTE 设备通信，含有线、无线通信方式。

6. 预期成果

(1) 硬件成果：

- KTS-2000 设备交互通信接口模块
- IFR-4000 设备交互通信接口模块

(2) 软件成果：

- 基于开源架构的 PTE 集成管控软件 1 套；
- 基于开源架构的 PTE 集成测试软件设计文档 1 套（含软件需求说明书、概要设计说明书、详细设计说明书、软件测试报告、用户使用手册、源代码等）；
- 申报专利 1 项；
- 学术论文 1-2 篇。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

50 万元。

二、民机地面功能自动化集成测试用例开发与管理

1. 项目名称

民机地面功能自动化集成测试用例开发与管理

2. 项目背景

目前国内民机总装功能测试仍以单系统手动测试为主，电子化水平低，测试效率低，无法满足批产提速的紧迫需求。国外波音、空客面向其型号需求，已开发了总装地面功能试验集成测试系统，利用自动化集成测试用例开发与管理技术实现了功能试验测试流程自动化定制，有效减轻了试验人员的负担，提高了生产效率。鉴于我国民机采用多总线技术、信息高度交联化，为解决测试技术相对落后、测试效率偏低的现状，故急需开展面向型号的地面功能自动化集成测试用例开发与管理技术研究，从实际功能试验需求角度实现地面功能试验流程自动化，显著提升国产民机地面功能试验的效率。

3. 项目归属的重点专业领域

特设工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

针对国内民机总装功能测试手动化、电子化水平低，测试效率低等问题，以液压能源系统地面功能试验 OATP 为研究对象，开展自动化集成测试用例开发与管理技术研究，重点突破基于关键字的测试用例开发技术、基于 ICD 配置文件的测试激励与解析技术、通用测试资源驱动与动态测试数据管理技术等一系列关键技术，实现液压能源系统地面功能试验测试流程自动化、定制化、高效化。

技术指标：

- (1) 测试工艺流程自动化执行率至少达到 70%；
- (2) 实现测试流程自动化，效率较原测试方法提升至少 50%；
- (3) 实现通用测试资源 PTE 驱动；
- (4) 实现 ICD 配置文件的导入加载，实时总线激励与解析；
- (5) 实现图形化测试用例的开发与存储；
- (6) 测试用例执行与响应时间不超过 50 毫秒，实时监控周期不超过 100 毫秒；

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

1) 基于 OATP 的测试用例规范化描述及图形化开发

测试用例中最小执行单元（测试关键字）的定义，测试行为、测试逻辑和测试流程的描述，串行、并行及循环等各类测试行为模式的运行支持，以及测试过程中人机交互行为描述。并建立人机友好的图形化开发环境，实现测试用例的快速搭建及复用。

2) 基于 ICD 配置文件的测试激励与解析

机载总线 ICD 配置文件的格式及导入加载，测试用例中总线资源的描述，基于 ICD 配置文件的在线实时总线激励与解析功能实现。

3) 通用测试资源驱动与动态测试数据管理

建立测试资源的通用驱动规范，以液压能源系统地面 PTE 为例，实现通信协议、板卡驱动的抽象与虚拟化封装，满足测试资源互换及扩展需求。研究基于订购-发布模式的测试数据动态管理机制，实现测试数据分布多用户共享及实时监测。

(2) 研究结果的验证方式

实验室验证

6. 预期成果

- (1) 自动测试用例开发设计指南 1 份；
- (2) 测试资源通用封装与管理规范 1 份；
- (3) 液压能源系统地面 PTE 适配接口与电缆；
- (4) 测试用例开发与管理软件 1 套；
- (5) 申请国家发明专利至少 1 项；
- (6) 在国内外期刊及会议发表学术论文至少 2 篇。

7. 建议研究周期

24 个月

8. 所需研究经费

总额 25 万元。

V 新兴领域

一、无动力下肢外骨骼

1. 项目名称

无动力下肢外骨骼

2. 项目背景

据国家统计局统计，制造业的从业人员数量在 2013 年达到了 5000 万之多。在航空制造业中，还存在着许多需要人工去重复性操作的工种，例如零件搬运、螺钉手动紧固、零部件表面打磨等等。这些工种有个典型的共性特征，即需要工人重复的蹲起或长时间保持半蹲姿势。长期从事此类工作的工人，很容易引起下肢肌肉和关节劳损，进而缩短职业寿命，并可能带来严重的职业后遗症。对于企业而言，需要尽可能的减少工人的疲劳受损度。

穿戴式助力外骨骼对减轻在制造行业从业人员的工作强度，提高工作效率，预防体力劳动导致的身体损伤，提高患者生活质量、减轻家庭和社会负担等方面具有重要的现实意义。助力外骨骼在国内外已经发展了多年，主要用于军事、工业、医疗、消防以及航空航天领域。

针对航空制造业的产业特点，被动式外骨骼更加适合工人进行穿戴并辅助其工作。目前国际上相关的成熟产品屈指可数，美国加州公司 SUITX 生产的 legX，瑞士公司 Noonee 生产的 Chairless Chair 均是用于辅助工人长时间保持下肢处于半蹲姿势的无动力外骨骼，他们在欧美的汽车、飞机制造行业已经取得了一定的认可。由于它们售价十分昂贵，难以在劳动密集型的中国制造业市场推广。

3. 项目归属的重点专业领域

新兴领域

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

本项目旨在研发一款无动力被动式下肢助力外骨骼，用于辅助制造业工人在作用过程中长时间保持半蹲姿势，并能够在作业过程中给予一定支撑力，减轻其下肢肌肉及膝关节的劳损强度。外骨骼要求成本低廉，以便于在劳动密集型的中国制造业大量推广。该外骨骼需要拥有多种工作模式：1）随动模式，可以灵活

跟随使用者活动，不对其正常行走、蹲起和楼梯攀爬等日常活动造成干扰；2) 锁定模式，可以按使用者的要求，在任意可达姿势下锁定，为工人提供一个舒适的支撑倚靠；3) 助力模式，可以利用自身储能元件将人体所做负功收集起来，并在人体做正工时将能量释放达到辅助的作用。外骨骼在保证强度的情况下应尽可能的轻质化，减少对使用者带来额外的负担。此外，该外骨骼要便于穿戴，并可以根据不同身高的使用者进行尺寸调节。

技术指标：

- (1) 外骨骼总自由度数：12
- (2) 外骨骼助力/可锁定自由度数：2~4
- (3) 设备总重： $\leq 5\text{kg}$
- (4) 穿戴者身高范围：160~180cm
- (5) 穿戴者体重范围： $\leq 80\text{kg}$
- (6) 外骨骼材质：高强度轻质合金、碳纤维及新型复合材质
- (7) 穿戴方式：绑带绑缚

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

1) 人体生物工程学研究

下肢外骨骼必须能够随动人体进行平地 / 坡地行走、蹲下 / 站起、坐下 / 起立、转弯等日常作业中的常见动作，各关节的布置与自由度设置应该在满足这些常见运动要求的基础上，尽可能的简化；下肢外骨骼各部分机械结构的几何尺寸必须是可调的，例如腰胯部位的宽度与大、小腿的长度，以适应不同身材的使用者，即具有身材兼容性；下肢外骨骼必须具有较强的人机耦合性；下肢外骨骼的机构应该在具有足够的承载能力、结构强度的前提下，整机尽可能的轻巧；下肢外骨骼必须设有安全保护设施，对各关节的运动范围进行限制。

2) 下肢动力学研究

由于所提出的外骨骼具有助力作用，需要分析人体下肢在运动过程中各个关节的受力情况，得到人体各关节力矩与身高、体重、关节角度的关系，进而对外骨骼的弹性储能元件进行选型与优化。此外还需分析人体的做正工周期与做负功周期，以此来确定储能元件的工作方式。

在双腿支撑模式下，两脚与地面接触形成完整闭环约束，人体上肢运动速度较慢且基本保持恒定，近似为准静态过程，通过构建上下肢质量映射关系，将上肢质量转化到对应的下肢，分别建立左右腿的动力学模型，从而综合分析完成双腿支撑模式的动力学建模。

3) 外骨骼结构设计

下肢外骨骼是一种并联穿戴于使用者下肢外侧的机械系统，主体结构为两条与人体下肢功能类似的机械腿。作为助力型外骨骼，结构除了机械腿外，还包括腰部结构和绑缚连接设备。从仿生的角度出发，在人体生物工程学与下肢运动学的基础上，需要完成对下肢外骨骼各关节自由度的配置与腿部结构的详细设计，使得下肢能够协调地随动人体下肢进行常见的运动。在分析下肢动力学的基础上，需要对各关节的储能单元进行选配与设计，使得外骨骼能够为人体提供足够的辅助力以减轻负担。此外还需要对关节铰链的锁定机构进行设计，确保外骨骼能在各个姿态下稳定可靠地进行锁紧。

4) 零部件强度校核与优化

助力外骨骼要求保证轻质高强度，因而需要对各个部件进行强度优化设计，在保证结构强度的前提下实现结构最轻量化。外骨骼是一套复杂的机械系统，采用手工计算进行强度分析难以在准确性和精度上达到工程要求，因此有限元法成为一种极为重要的研究手段和分析方法，在工程领域中得到了广泛的应用。有限元方法基本步骤可以分为前处理阶段、解决阶段、后处理阶段。

(2) 研究结果的验证方式

实物验证

6. 预期成果

- (1) 拟基于仿生结构创成理论开发新型外骨骼，建立外骨骼模型；
- (2) 完成对外骨骼的运动学、动力学及关键零部件的有限元分析；
- (3) 申请专利：不少于 2 项；
- (4) 发表学术论文：不少于 2 篇；
- (5) 培养人才：不少于 3 名；
- (6) 制作无动力下肢外骨骼样机：1 套。

7. 建议研究周期

12 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

二、基于 5G 环境的智能化 AGV 开发

1. 项目名称

基于 5G 环境的智能化 AGV 开发

2. 项目背景

机器人作为新型产业的代表，能通过开发新的需求创造更新的产业，是实现中国制造 2025 的关键，也是中国经济进入新常态后，带动经济发展的新引擎。2017 年 10 月 1 日正式是是最新《国民经济行业分类》中，机器人制造首次作为独立的行业列入，根据新的分类，机器人制造与特种作业机器人制造两个行业小类，可以说我国的机器人产业已经走向快车道的规模化发展阶段。AGV 机器人作为机器人产品的细分品类，目前是国产机器人中无论从技术还是市场规模都是具有国产最具代表性的产品。

2017 年 AGV 机器人无论从产业规模还是产品销量都实现稳定增长，据中国移动机器人产业联盟数据，新战略机器人研究所的调研，2017 年中国市场 AGV 机器人相关产品新增量较 2016 年实现 49% 的增长，2017 年中国市场新增移动机器人（AGV）21890 台，其中包括流 AGV、停车及户外重载 AGV 等。

随着中国对外开放格局的行成，在工业 4.0 建设及 5G 应用的持续推进下，工厂内部的智能化和无人化程度不断发展，对 AGV 相关产品的需求量明显增加。

3. 项目归属的重点专业领域

新兴领域

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

满足在 5G 通讯环境下对于传感器的传输、计算等方面的要求，实现远程云端的计算、管理、路径规划等。

项目依据电动化系统底盘及相关控制技术，结合激光、视觉及导航等传感器技术，充分利用人工智能算法、深度学习算法及 SLAM 路径规划算法等核心技术，实现设备目标项目的自主化运行。降低原有设备对于周边环境要求的苛刻，提升其自主化程度。

技术指标：

(1) 额定载荷 $\geq 1000\text{KG}$

- (2) 起升高度 $\geq 120\text{mm}$
- (3) 轴距（升起/下降）：1400mm/1425mm
- (4) 速度：前进 0~80m/s；转弯 0~20m/s；后退 0~18m/s
- (5) 导航精度：巡航 50mm；挺稳 10mm；
- (6) 传感器：视觉、激光、超声波等
- (7) 通讯方式：控制台与 AGV 采用无线局域网及 5G 通讯交换信息。
- (8) 充电方式：自动充电
- (9) 安全装置：非接触式防碰传感器、急停开关。

5. 主要研究内容

主要研究内容有基于 5G 通讯技术的远程计算与控制管理技术研发、多传感器融合的智能导航 SLAM 技术研发、未知大型复杂环境下的高效路径规划研究、多机器人协同作业技术研发、大功率锂电池保护、管理及在线充电技术研发。

（1）拟解决的关键技术

1) 多传感器信息融合技术

二维码、激光、视觉、超声等相关传感器的集成化应用。

2) 自主导航和定位

实现无轨导航和路径规划。

3) 多机器人协同作业

集群化模式下的多设备并发运行管理

4) 自主充电与能量管理技术

实现自动充电管理和在线电池评估管理

（2）研究结果的验证方式

专家评审验证

6. 预期成果

- (1) 工艺指南 1 份；
- (2) 5G 环境下的 AGV 使用验证报告一份；
- (3) 应用于自主行走 AGV 设备技术研究报告（或论文）至少 2 篇

7. 建议研究周期

12 个月

8. 所需研究经费

50 万元。

三、基于肢体动作捕捉的虚拟现实技术仿真平台

1. 项目名称

基于肢体动作捕捉的虚拟现实技术仿真平台

2. 项目背景

虚拟现实技术及动作捕捉技术影响力正在逐渐扩展到民用制造业，如航天航空、轨道交通、汽车、重工等大型制造业。

民机是牵涉到大量且多种人力的产业，包含装配、拆解、保养等均须大量人力协同配合，动作捕捉系统和强大的分析软件能针对各种人力需求进行有效的分析与模拟，提前分析工人在装配操作时的可装配性、可达性，优化工艺方案。此套动捕设备可单独对肢体（不含手指）及全身进行动作捕捉，例如单臂，单腿，或只针对双臂，适用于制造、维修领域中只针对上半身或双臂要求等领域需求。

3. 项目归属的重点专业领域

新兴领域

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

基于虚拟现实技术在航空产品装配、维修等领域中，虚拟场景与现实物体相结合实现半物理仿真可视化的装配仿真，结合动作捕捉技术保证人机交互的精准性及操控性。

技术指标：

（1）支持同一场景下实现协同编辑，支持实时定义或改变零部件的属性、物理特性等，其他终端可随时进行同步；支持沉浸式环境与桌面协同，支持桌面与桌面协同；

（2）支持同一场景下实现协同评审，支持剖切、测量、标记、动画录制播放、快照、虚拟拆装与操作；支持在协同过程中，可通过网络实时实现对各终端环境中全部对象的位置、状态、视角等的同步；

（3）支持多人异地协同，即可通过网络连接，实现公司不同地点之间的设备协同操作、实时展示，满足沉浸式环境下的异地培训和交流需求。

(4) 支持 CAVE 仿真平台、可移动仿真系统和头盔仿真系统的多人异地协同交互操作。

(5) 最终效果无需校准；实时、1:1 精准的动作捕捉；刷新率 90 赫兹；低延迟；高还原度。

(6) 定位精度精确 $<1\text{mm}$ ；姿态精度 $<0.3^\circ$ ；

(7) 定位延迟低于 20ms。

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

1) 追踪技术

实时采集光学场地中物体上的光学马克点信息并计算刚体位置旋转信息；实时采集 IMU 传感器信息；结合刚体光学信息及 IMU 传感器信息进行融合计算处理；将被跟踪的所有刚体数据通过网络广播给应用客户端；实时接收控制器按键事件数据并将其通过网络广播给应用客户端；实时采集人体动作数据，并通过网络广播给应用客户端；客户端 SDK 接收刚体数据，驱动 3D 场景中的相机、头显模型、控制器模型及其它道具刚体模型对象；客户端 SDK 接收控制器按键事件数据，对上层应用层提供相应接口以用于交互逻辑的处理；客户端 SDK 接收动作捕捉数据，并驱动场景中的骨骼模型进行相应的动作展示。

2) 动作捕捉技术

使用 IK+ 室内定位技术做主动动作捕捉算法、使用惯性动作捕捉做辅助算法的方案。

主要特点有两点：可以充分发挥惯性动作捕捉系统适应性强，抗干扰抗遮挡，成本较低等优势；避免了其无法长时间对人体姿态进行精确跟踪的劣势。

3) 人机功效技术

● 中国标准人体库

人机工效仿真内置最新中国人体库，可任意扩展，创建企业标准、地区标准、行业标准的仿真人体模型数据库，可对仿真假人的百分位、体型进行自定义设置，符合产品和生产线当地人体模型，用户可基于中国人体创建虚拟人，在虚拟场景中进行可视、可达、可操作性人机工效验证。

● 虚拟人动作姿态库

支持人体机构运动学定义和动作捕捉实时驱动人体姿态,虚拟现实场景中的假人能够获得协调的姿态和动作;姿态库可实时存储、编辑、扩展和实时调用,进行人体姿态、人体关节转角进行仿真分析。

- 可视性、可达性分析

在人机工效仿真过程中,通过虚拟人仿真进行可视可达性分析,可有效的显示作业过程中的双眼视角,准确的分析出人机交互过程中操作者的可视范围,同时在虚拟场景中进行交互操作,可显示左右手的可达范围,根据仿真分析结果对可视、可达与活动空间进行分析。

- 舒适性分析

模块采用了标准化的 RULA 准则,以可视化的方式显示人体重要关节的舒适性信息,实时反馈人机工效状态实现任务过程中人机工程仿真模拟,可对不符合人机工效的工作姿态作出标示。

- 工作强度分析

通过工作强度分析可对人体工作姿势、角度、疲劳恢复和新陈代谢能量进行分析。

(2) 研究结果的验证方式

专家评审验证

6. 预期成果

- (1)《基于肢体动作捕捉的虚拟现实技术仿真平台》技术方案报告 1 份;
- (2) 基于肢体动作捕捉的虚拟现实技术仿真硬件平台 1 套;
- (3) 基于肢体动作捕捉的虚拟现实技术仿真软件 1 套。

7. 建议研究周期

12 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

VI 国际合作

一、铝合金电弧增材制造强化机制研究

1. 项目名称

铝合金电弧增材制造强化机制研究

2. 项目背景

丝材+电弧增材制造（WAAM）是一种新的制造技术。它可用来直接制造大型三维近净形金属部件。WAAM 工艺已被证明可用于生产钢铁，钛和铝等大中型中等复杂程度的结构零件。与激光粉末系统相比，WAAM 的硬件成本显著降低，沉积速率提高了两个数量级。沉积的材料具有高度完整性和良好的材料特性。高强铝合金在航空航天业应用广泛。但与其它金属的相比，增材制造高强度铝合金需要克服很多挑战，包括控制微观结构，消除孔隙，提高强度等。

3. 项目归属的重点专业领域

热工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

针对目前电弧增材制造铝合金强度低的问题，以 2319 铝合金焊丝为对象，研究基于热处理 WAAM 铝合金增强强化机制以及控制方法以制造满足航空材料标准的高强铝合金试验件。

技术指标：

- （1）抗拉强度 $>400\text{MPa}$ ；
- （2）气孔类体积型缺陷检出尺寸：直径 $\leq 0.1\text{mm}$ ；
- （3）裂纹类面积型缺陷检出尺寸：开口 $\leq 0.05\text{mm}$ 。

5. 主要研究内容.

（1）拟解决的关键技术

1) 研究 2319 铝合金 WAAM 制造控性技术

针对 2319 铝合金开展 WAAM 工艺研究，研究不同参数下 WAAM 试验件的力学性能、内部组织及缺陷，获得较优的工艺参数窗口。

2) 研究有效的 WAAM 铝合金的热处理规范

研究 WAAM 不同增材方式，包括单道薄壁增材方式，平行多道厚壁增材方式，以及摆动厚壁增材方式，对于热处理效果的影响。研究基于局部加热及局部急冷工艺的在线热处理复杂 WAAM 铝合金构件的可行性。

(2) 研究结果的验证方式

案例验证。

6. 预期成果

- (1) 2319 铝合金 WAAM 试片不少于 10 件；
- (2) 2319 铝合金 WAAM 典型件 1 件（尺寸大于 300mm*200mm）；
- (3) 2319 铝合金 WAAM 强化机制报告；
- (4) 2319 铝合金 WAAM 缺陷检测报告；
- (5) 发表论文 2 篇；
- (6) 发明专利 1 项。

7. 建议研究周期

研究周期 24 个月

8. 所需研究经费

总额 50 万元。

二、基于实时传感反馈牵引力人工导引的机器人辅助装配技术研究

1. 项目名称

基于实时传感反馈牵引力人工导引的机器人辅助装配技术研究

2. 项目背景

在飞机总装过程中，由于空间限制和设备多样性，目前主要依靠人力进行装配，这种装配模式对操作人员的技能水平和劳动力依存度较高，其装配精度不易控制，装配效率较低，易发生擦伤电缆或设备、工作人员疲劳作业等风险，一定程度上影响飞机的装配质量和进度。

工业机器臂具有载重量大、定位精度高、装配一致性好、响应速度快等特点，可以很好的满足大重量、高精度的飞机装配需求。但与大批量工业产品相比，飞机装配通常为单件小批量，装配工况不固定，变化多样，需要系统具有充分的柔性来满足不同工况的装配需求。

引入一种人-机融合的精密调试方法，通过在工业机器臂上增加力觉实时传感系统，通过力传感器感知操作人员意图和负载受力，实现零部件的机器人辅助安装，结合操作人员的经验和工业机器臂的负载优势，以力觉技术为媒介，实现大重量设备高精度、高效率的装配。

3. 项目归属的重点专业领域

冷工艺

4. 项目目标及技术指标

项目目标：

“基于实时传感反馈牵引力人工导引的机器人辅助装配技术研究”项目针对未来产品小批量、多样化的特点，旨在解决工业机器人柔性随动控制、机器人干涉检测与响应、设备柔性对接、不同尺寸设备的柔性夹持等关键技术问题，使得传统工业机器人具备了充分的柔性，感知操作人员的意图，实现人机协作，适应多样化的产品装配生产需求，解放人力，提高装配效率和质量。

技术指标：

(1) 系统所能达到的精度:0.2mm

(2) 最大负载: 50KG

(3) 系统响应时间: 5ms

(4) 技术成熟度从现在的 TRL2 级提升至 TRL5 级

5. 主要研究内容

(1) 拟解决的关键技术

1) 基于“人-机”融合感知的人机协同装配模式，研制飞机的机器人精密辅助装配系统，集成力监测、移动控制等功能模块，实现多传感器的融合感知和人机协同控制，考虑在飞机指定空间内的大重量设备装配问题；

2) 基于多维度力补偿的装配机器人末端高精度柔性随动控制技术研究。提出装配过程中机器人末端全位姿的受力感知算法，实现装配机器人负载重力、力矩、惯性力的高精度补偿，解决装配机器人高精度随动控制中受力感知的难题；

3) 提出面向飞机装配的“点-面接触、面-面对接、紧固件柔性安装”的系列机器人柔性装配方法，通过机器人和移动平台结合，增加系统的应用性，实现飞机大重量载荷的柔顺安装；

4) 创新性提出基于力和位置双闭环精确控制的飞机关键部件柔性抓取和夹持技术，研制了装配机器人用柔性自动夹持装置，实现大尺寸、大重量、大跨度的卫星部件柔性抓取和可靠夹持；

5) 创新性提出力觉控制的安全防护控制方法，系统具备大小两个六维力传感器，小的力传感器用于感知人手作用的力与力矩信息，而后将这些信息传送给作为控制系统的上位机，上位机对六维力传感器的信号进行处理后，转换成机械臂的运动控制的指令，传送给机器人控制器，控制机械臂产生运动，大的力传感器用于感受设备与飞机舱体的接触力，使二者在接触过程中保持微作用力接触设备，保护设备和舱体的安装面，实现了飞机装配过程中的环境自适应感知和防干涉运动控制。

(2) 研究结果的验证方式

为了验证方法的有效性，将以某飞机的某类设备安装为工况进行装配试验，用于完成大重量部件的柔顺安装测试。

6. 预期成果

(1) 工艺指南 1 份；

(2) 力觉控制系统 1 套；

(3) 应用于飞机大重量设备精密装调上的牵引式力觉的机器人柔性装配技术研究报告至少 1 篇；

(4) 申请专利 1 项，论文 1 篇。

7. 建议研究周期

研究周期为 12 个月。

8. 所需研究经费

总额 50 万元。