

基于双温区测试的整机装配工艺优化策略

张征

天津航空机电有限公司

DOI:10.32629/pe.v3i6.18017

[摘要] 本研究旨在优化航空气动式火警传感器整机装配工艺,提升其装配效率与可靠性,从而更好地保障航空安全。气动式火警传感器双温区测试基于热传导与气体热胀冷缩特性,通过精准调控温区参数模拟产品使用工况,探寻产品装配质量在温度影响下的规律。其与整机装配工艺紧密关联,可通过温度影响、数据映射及验证迭代反馈工艺缺陷。该测试从方案设计、数据采集预处理及薄弱环节定位识别工艺问题,进而从装配顺序、测试参数动态调整及质量管控体系构建优化策略,提升整机装配稳定性及温区适配性,降低温度引发的装配缺陷导致的故障率。

[关键词] 双温区测试; 整机装配工艺; 数据采集; 优化策略

中图分类号: TJ81+0.6 **文献标识码:** A

Optimization Strategy of Assembly Process Based on Dual-temperature Zone Test

Zheng Zhang

Tianjin Aviation Electromechanical Co., LTD

[Abstract] This study aims to optimize the assembly process of aero-pneumatic fire alarm sensors to enhance assembly efficiency and reliability, thereby better ensuring aviation safety. The dual-temperature-zone testing of pneumatic fire alarm sensors utilizes thermal conduction and gas thermal expansion/contraction characteristics. By precisely regulating temperature zone parameters to simulate product operating conditions, this method investigates the impact of temperature on assembly quality. Closely integrated with the overall assembly process, it identifies process defects through temperature effects, data mapping, and iterative validation. The testing approach covers scheme design, data acquisition preprocessing, and weak-link identification. It further proposes strategies for optimizing assembly sequence, dynamic adjustment of test parameters, and quality control system construction to improve assembly stability and temperature zone compatibility, ultimately reducing fault rates caused by temperature-induced assembly defects.

[Key words] double temperature zone test; assembly process of complete machine; data acquisition; optimization strategy

引言

在现代航空领域,火警传感器作为飞机安全系统的重要组成部分,其性能直接关系到飞行任务的成功与否以及乘客和机组人员的生命安全。气动式火警传感器因其抗干扰能力强、成本较低且易于实现自检测等优势,在航空火警探测系统中得到了广泛应用^[1]。特别是在APU舱和发动机舱等关键区域,气动式火警传感器能够通过对气体压力变化的敏感监测,快速感知过热或着火状态,并向飞行员提供及时报警信号,从而避免潜在的安全隐患^[2]。然而,火警传感器的可靠性不仅取决于其设计原理和制造质量,还与其整机装配工艺密切相关。研究表明,装配工艺的不合理可能导致传感器在长期使用过程中出现误报或漏报现象,进而影响飞行安全^[1]。因此,研究航空气动式火警传感器

的整机装配工艺,对于提升其可靠性和稳定性具有重要意义。

1 整机装配工艺的概述

整机装配工艺属于航空制造中的核心部分,它包含了各个部件的整合、调试以及验证工作,该工艺依据设计图纸展开,依照精密装配的标准,借助机械连接、气体腔内密封装配、稳定性测试等一系列工序,按设计要求集成并调试为完整功能设备的工艺过程,核心目标是确保设备性能、可靠性与可制造性。

此工艺要符合航空领域对于高可靠性、轻量化以及抗恶劣环境等要求,严格控制零部件公差匹配、信号传输的抗干扰性以及电磁兼容性,并且经过多轮调试与性能测试,保证产品在机电系统在飞行过程中的稳定性,这是保障航空装备安全服役的关键制造流程。

2 双温区测试与整机装配工艺关联机理

2.1 双温区测试核心原理与技术指标

双温区测试的关键是打造高低温有差异且能控制的环境,借助模拟整机在实际运行时出现的温度状况,探索装配质量在温度应力作用下的响应规律。它的核心原理依据热传导以及热膨胀收缩的特性,运用精密的温控系统达成两个独立温区温度的精确调控,以此保证温区的稳定性以及梯度的合理性。技术指标主要包含温区范围、温度均匀性、升温降温速度、恒温保持时间等关键参数,其中温区范围要与整机实际服役的温度区间相匹配,温度均匀性的误差一般控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之内,升温降温速度按照测试需求设定为 $1\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$,恒温保持时间要契合装配缺陷充分暴露的条件,同时结合测试效率进行综合优化^[3]。

2.2 整机装配工艺核心环节与关键控制点

整机装配工艺的核心环节包含零部件预处理、核心组件装配、整机总装以及初步调试等阶段,零部件预处理着重于清洁度的控制以及尺寸精度的校验,以此保证零部件符合装配基准的要求,核心组件装配作为装配工艺的关键所在,需要保证关键部件的配合精度以及连接的可靠性。整机总装强调装配顺序的合理性以及操作的规范性,初步调试针对装配后的基础功能进行验证。关键控制点主要有零部件配合间隙、连接紧固力矩、接口密封性、装配过程清洁度、各模块同轴度或者平行度等,借助对这些控制点的精确掌控,可有效地降低装配误差,提高整机装配质量以及稳定性。

2.3 双温区测试反馈装配工艺问题的作用机制

双温区测试借助温度环境的动态改变,将装配工艺中潜在的缺陷和不足进行放大,其反馈作用机制主要覆盖三个方面。首先是应力激发方面,温度交替变化致使零部件出现热胀冷缩现象,装配过程中所存在的配合偏差以及连接松动等问题,会在温度应力的作用下显现出来,形成可被检测的性能波动^[4]。其次是数据映射方面,凭借收集测试过程中的温度响应、振动参数以及功能实现精度等数据,构建数据与装配工艺环节的关联模型,精确确定数据异常所对应的装配工序。最后是验证迭代方面,针对测试所发现的问题,逆向推导出装配工艺中存在的漏洞,为工艺优化提供直接的依据,同时经由优化后再次进行测试,验证改进措施的有效性,形成“测试—反馈—优化—验证”的闭环机制。

3 基于双温区测试的装配工艺问题识别

3.1 双温区测试方案设计与实施

双温区测试方案的设计要紧密关联整机装配工艺的特点以及实际服役环境,主要从测试目标、测试对象、温区参数、测试流程以及安全保障这五个维度来开展。测试是为了准确找出装配过程中由于温度变化而产生的配合偏差、连接松动、密封性不足等潜在问题,测试对象选择整机的关键组件以及核心接口,以保证能覆盖装配工艺的核心环节。温区参数的设计要同时考虑极端工况和常规工况,合理设定高低温区的温度范围,精确控制温区梯度,防止温度突变给整机带来不可挽回的损害,同时确

定科学的升温降温速率以及恒温时长,一般升温降温速率设定为 $2\sim 3^{\circ}\text{C}/\text{min}$,恒温时长不少于2小时,以便充分显现装配缺陷^[5]。测试流程要规范且有序,依次完成测试前整机状态检查、温区环境校准、整机入箱固定、参数设定、运行监测以及测试后状态复检等步骤,在实施过程中要加强人员操作规范,实时监测温区温度稳定性以及整机运行参数,及时处理测试过程中出现的异常状况,保证测试数据的真实与可靠,为后续装配工艺问题的识别提供精确依据。

3.2 测试数据采集与预处理方法

测试数据采集要构建多维度数据采集体系,把传感器技术和数据采集系统结合起来,实现全流程数据捕获,采集内容有温区温度数据、整机各关键部位应力应变数据、材料膨胀数据以及功能实现精度数据等。依据测试参数特性挑选适配的传感器类型,温度传感器选精度达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的铂电阻传感器,应力应变传感器用高精度应变片,位移传感器选激光位移传感器,以此保证数据采集的精准性。数据采集频率要按照测试工况动态调整。数据预处理是提升数据质量的关键步骤,首先要进行数据清洗,通过去除异常值、缺失值以及重复数据,用拉格朗日插值法补充缺失数据,利用 3σ 准则识别并去除异常值^[6]。接着进行数据标准化处理,采用min-max标准化方法把不同量纲的数据转换到同一区间,消除量纲差异对后续分析的影响,最后依靠数据平滑处理,采用移动平均法降低随机噪声干扰,整理出结构化、标准化的数据集,为装配工艺薄弱环节定位提供高质量的数据支持。

3.3 装配工艺薄弱环节定位与问题分类

装配工艺薄弱环节的定位要依据预处理后的测试数据,把数据挖掘技术和工艺分析方法结合起来构建多维度定位模型,借助关联分析来确立测试数据异常和装配工序之间的映射关系,运用聚类分析将测试结果中数据异常特征相似的归为一类,以此锁定对应的装配工序,结合现场装配流程核查,针对定位出的装配工序展开实地调研,剖析工序操作规范、设备精度、人员技能等因素给装配质量带来的影响,精准定位薄弱环节。问题分类要依照科学性与实用性原则,结合装配工艺特点以及问题表现形式,分成四大类,其一为配合精度类问题,包含零部件配合间隙超标、过盈量不合理等情况。其二是连接可靠性类问题,像紧固力矩不足、焊接质量缺陷等都覆盖在内。其三是密封性类问题,例如焊接密封缺陷、密封件安装不当等。对每一类问题细化其具体表现形式和产生原因,构建清晰的问题分类体系,为后续针对性制定优化策略奠定基础。

4 整机装配工艺优化策略构建

4.1 基于温度适配性的零部件装配顺序优化

温度适配性视角下的零部件装配顺序优化,最关键的是融合不同零部件的热物理特性,以此避免温度变化给装配精度带来叠加影响。首先要开展材料热膨胀系数测试,明晰各零部件在高低温环境中的形变规律,构建零部件温度敏感性分级体系,把形变程度划分成高敏感、中敏感、低敏感这三个等级。装配顺

序规划依照先基准后附件、先核心后辅助、先低敏感后高敏感的准则, 优先装配热变形较小的基准零部件, 搭建起稳定的装配基准框架, 接着逐步装配热敏感性较高的零部件, 对于涉及多部件协同的核心组件, 借助双温区模拟装配试验, 验证不同装配顺序下的精度保持能力, 确定出最优序列。同时还要考量装配过程中的温度传导影响, 合理安排工序间隔时间, 防止前序装配产生的残余热量对后续零部件的装配精度造成影响, 借助这种优化策略, 可有效减少温度应力引发的配合偏差, 提高整机在不同温度工况下的装配稳定性, 提升装配质量的一致性。

4.2 双温区环境下装配参数动态调整策略

双温区环境下的装配参数动态调整策略将温度变化当作核心变量, 建立起装配参数与温度工况的动态匹配模型。先是借助大量双温区试验, 收集不同温度区间内的最优装配参数, 像紧固力矩、压紧力、焊接温度等关键参数, 以此构建多维度参数数据库, 依据该数据库运用机器学习算法训练参数预测模型, 实现依据实时温度数据自动输出最优装配参数的功能。针对高敏感零部件装配, 引入实时温度反馈机制, 利用嵌入式温度传感器实时监测装配区域温度, 一旦温度偏离预设范围, 系统便会自动触发参数调整指令, 保证装配参数与当前温度工况精确适配, 同时制定参数调整阈值标准, 明确不同温度波动幅度所对应的参数调整幅度, 防止频繁调整致使装配效率降低。针对装配过程中的温度梯度问题, 采用分区参数调控方式, 为不同温区的装配工序设置差异化参数, 兼顾各区域装配质量需求, 此策略可有效解决固定参数在温度变化时适配性不足的问题, 让装配合格率在宽温度范围内维持稳定。

4.3 关键装配工序质量管控体系优化

优化关键装配工序质量管控体系, 要关注双温区测试所识别出的薄弱环节, 构建起全流程闭环管控机制。首先需要明确关键工序的管控范围, 依据问题识别的结果, 把零部件配合、核心组件连接密封等工序确定为重点管控对象, 制定专项管控细则, 引入智能化检测设备, 在关键工序设置在线检测节点, 运用机器视觉、激光测量等技术实现装配精度的实时检测, 检测数据会自动上传至管控平台, 形成具有可追溯性的质量档案。建立质量异常预警机制, 依据历史测试数据设定各管控指标的预警阈值。当

检测数据接近或者超出阈值时, 系统会及时发出预警并暂停工序, 等问题排查解决后再恢复生产, 加强人员管控, 针对关键工序操作人员开展专项培训, 培训内容包括温度适配、装配技巧、设备操作规范等, 考核合格后方可上岗, 并且定期进行技能复核。此外, 建立管控效果评估机制, 定期结合双温区测试结果分析管控体系的有效性, 持续优化管控指标、检测方法以及预警阈值, 形成动态提升的质量管控体系。

5 结语

双温区测试可给整机装配工艺的优化给予精准导向, 它和装配工艺深度融合起来, 可以有效解决温度应力引发的质量难题, 借助问题识别机制找到工艺薄弱环节, 结合温度适配性对装配顺序进行优化, 动态调整参数并完善质量管控体系, 提升了装配质量的稳定性以及宽温区适配能力。未来要持续深入开展测试与工艺的关联研究, 优化测试方案和数据分析方法, 促使装配工艺朝着更精准、智能的方向进步, 契合复杂服役环境对整机质量提出的更高要求。

参考文献

- [1]柳昌龄.MA600飞机APU火警探测系统可靠性研究[J].科技创新导报,2017,14(2):10-11.
- [2]尹梅莉,田永堂.飞机发动机舱火警探测系统改进研究[J].航空科学技术,2014,25(12):35-38.
- [3]惠贺军,黄政,殷旺,等.双温区声功回收型脉管制冷机环境温度影响研究[J].制冷学报,2024,45(06):50-56.
- [4]夏士兴.双温区热扩散掺杂Fe²⁺:ZnSe激光晶体的制备及激光输出性能[J].人工晶体学报,2022,51(11):1845-1850.
- [5]王德森,慕志光,栗江涛,等.嵌入式单系统双温酒柜恒温方案[C]//中国家用电器协会.2021年中国家用电器技术大会论文集.青岛海尔特种电冰柜有限公司;数字化家电国家重点实验室,2021:35-43.
- [6]曹艳,王彤,刘超.基于多自由度旋转的航空发动机整机装配技术探索[J].科技风,2019,(17):265-266.

作者简介:

张征(1999—),男,汉族,河北省唐山市滦南县人,本科,机电一体化,装配。