

航空刹车系统电子产品修理质量提升实践

蒲学斌

西安航空制动科技有限公司 陕西 咸阳 713100

摘要: 航空刹车系统电子产品作为飞机制动控制核心组件,其修理质量关乎飞行安全。本文剖析了影响修理质量的人员、技术与工艺、设备与物料、管理与环境等因素,提出提升修理质量的核心路径,包括构建人员能力提升体系、优化技术与工艺、全流程管控设备与物料、升级质量管理体系与优化环境、完善修理后可靠性验证与保障等,并探讨了数字孪生、区块链、绿色维修等未来研究方向,为提升航空刹车系统电子产品修理质量提供参考。

关键词: 航空刹车系统;电子产品修理;故障诊断;维修工艺

引言: 航空事业高速发展,飞行安全备受关注。航空刹车系统电子产品作为飞机制动控制的关键部分,其功能实现与安全性直接影响飞行全流程的可靠性。然而,在实际修理中,多种因素制约着修理质量的提升。深入分析这些影响因素,探寻有效的质量提升路径,对于保障飞行安全、推动航空事业稳定发展具有重要意义。本文将围绕航空刹车系统电子产品修理质量提升展开研究。

1 航空刹车系统电子产品的功能与安全性要求

航空刹车系统电子产品作为飞机制动控制的核心组件,其功能实现与安全性直接关乎飞行全流程的可靠性。功能层面,需精准完成刹车指令接收、信号转换与放大、制动力调节、故障监测与报警等核心任务,同时适配飞机起飞、巡航、着陆等不同工况的动态需求,保障刹车动作的及时性与精准性。安全性要求方面,需满足航空领域高可靠性标准,具备极强的抗干扰能力,可抵御电磁辐射、温度骤变、振动冲击等复杂环境影响;需建立多重容错机制,避免单一组件故障引发系统失效^[1]。同时要符合航空安全认证规范,通过严格的环境试验、耐久性试验与失效模式分析,确保在全寿命周期内稳定运行,杜绝因电子产品故障导致的刹车失灵、制动跑偏等重大飞行安全隐患。

2 航空刹车系统电子产品修理质量影响因素分析

2.1 人员因素

人员因素是影响航空刹车系统电子产品修理质量的核心主观因素,贯穿修理全流程。修理人员专业资质与技能是基础,需掌握维修理论、结构原理及检测仪器操作,缺乏对新型元件和复杂系统的认知,易出现故障定位偏差、操作失误等问题。实操经验决定问题解决效率,经验匮乏者面对复杂故障难以快速精准判断,导致修理周期延长或修复不彻底。质量意识与责任担当同样

重要,侥幸心理、未严格遵循规范可能留下隐患。持续学习能力也影响修理质量,航空电子技术快速迭代,无法及时掌握新型修理技术与工艺标准,将难以适配新型产品修理需求。

2.2 技术与工艺因素

技术与工艺是保障航空刹车系统电子产品修理质量的核心客观因素,其科学性与先进性决定修理精准度与可靠性。修理技术的适配性与先进性是关键,先进故障诊断技术可快速定位微小、隐性故障,提升识别准确率;依赖传统技术可能无法发现潜在问题,导致产品运行不稳定。工艺标准规范统一是避免二次损伤的基础,关键工序对参数要求极高,参数控制不当可能损坏元件、导致参数偏离。工艺文件完整可操作可规范操作行为,技术验证机制完善可精准评估修复后产品性能,避免不合格产品投入使用。

2.3 设备与物料因素

设备与物料是航空刹车系统电子产品修理质量的硬件保障,其性能与质量决定修理可行性与修复效果。维修设备精度与稳定性是故障检测与修复的基础,精度不足可能漏检隐性故障,运行不稳定可能引发元件损伤。检测仪器适配性也很关键,不兼容将无法精准完成故障诊断与性能校准。物料质量是修复后产品稳定运行的核心保障,需符合航空级标准,具备耐环境性与耐久性,劣质或非适配物料可能引发二次故障。物料管理规范性也影响质量,存储不当或领用错配均会直接影响修理质量。

2.4 管理与环境因素

管理与环境是航空刹车系统电子产品修理质量的重要保障,为修理工作提供支撑。管理因素涵盖质量管理体系、流程管控、人员管理等,完善体系明确质量要求与验收标准,避免违规操作;规范流程管控确保工作有序推进,便于质量追溯。科学人员管理机制可提升修理

人员专业能力与责任意识。环境因素包括修理场地的温湿度、洁净度、电磁环境等，航空刹车系统电子产品对环境要求严苛，高温、高湿、粉尘、强电磁干扰等都可能影响修理质量，适宜的修理环境是保障修理质量的基础条件。

3 航空刹车系统电子产品修理质量提升核心路径

3.1 人员能力提升体系构建

人员能力提升体系构建是提升航空刹车系统电子产品修理质量的核心举措，需建立“培训-考核-激励”全链条闭环管理机制。培训体系需兼顾理论与实操，结合航空刹车系统电子产品技术发展趋势，构建分层分类的培训内容，针对新入职人员开展基础理论与规范操作培训，针对资深人员开展新型技术、复杂故障解决等进阶培训；采用“理论授课+案例研讨+实操演练”的多元化培训模式，邀请行业专家、技术骨干授课，结合实际修理案例复盘，提升培训针对性与实效性^[2]。考核认证体系需严格规范，建立涵盖理论知识、实操技能、故障解决能力的综合考核标准，实行持证上岗制度，定期开展复训考核，确保人员技能水平持续达标。建立科学的激励机制，将修理质量、故障解决效率、培训考核结果与薪酬福利、晋升机会挂钩，鼓励修理人员主动提升专业能力；搭建技术交流平台，开展技能比武、技术攻关等活动，营造钻研技术、严控质量的良好氛围，全面提升修理人员的专业素养与责任意识。

3.2 技术与工艺优化

技术与工艺优化是提升航空刹车系统电子产品修理质量的核心支撑，需依托技术创新与标准完善实现精准修理。在技术优化方面，积极引入先进的故障诊断技术，如基于人工智能的故障诊断系统、红外热成像检测技术、电路仿真分析技术等，提升对微小故障、隐性故障的识别准确率，缩短故障定位时间；针对复杂电子元件修复，引入精密微焊接技术、芯片级维修技术等，提升修复精度与可靠性。在工艺优化方面，建立科学完善的工艺标准体系，结合不同型号、规格的航空刹车系统电子产品特性，制定针对性的修理工艺文件，明确焊接温度、调试参数、检测标准等关键指标，确保各工序操作有章可循；强化工艺过程管控，对焊接、拆封、调试等关键工序实行全程参数监控，避免人为操作偏差；建立工艺验证与持续改进机制，通过试修验证、质量反馈优化工艺参数，针对修理过程中出现的工艺问题及时调整完善，提升工艺的适配性与科学性，从根本上减少工艺性故障。

3.3 设备与物料全流程管控

设备与物料全流程管控是保障航空刹车系统电子产品修理质量的硬件基础，需构建“全生命周期、全流程覆盖”的管控体系。设备管控方面，建立设备全生命周期管理机制，从设备采购、验收、使用、维护到报废实行全过程管控，采购时优先选择符合航空维修标准的高精度设备，验收时严格核查设备性能指标；定期开展设备校准与维护，建立维护档案，确保设备始终处于稳定运行状态；规范设备使用流程，明确操作人员资质要求，避免违规操作导致设备精度下降。物料管控方面，构建全流程质量追溯体系，严格筛选物料供应商，优先选择具备航空资质的供应商，对采购物料实行严格的入库检验，核查物料型号、规格、质量证明文件等，杜绝劣质、非适配物料入库；优化物料存储环境，根据物料特性控制温湿度、防磁、防静电，避免物料受潮、氧化、损坏；规范物料领用流程，实行按需领用、精准匹配，做好领用记录，确保物料可追溯，从源头保障维修物料质量。

3.4 质量管理体系升级与环境优化

质量管理体系升级与环境优化是提升航空刹车系统电子产品修理质量的重要保障，需通过体系完善与环境改善筑牢质量防线。质量管理体系升级方面，以航空行业质量标准为依据，完善现有质量管理体系，明确修理各环节的质量职责、操作规范与验收标准，将质量管控贯穿于故障接收、诊断、修复、检测、交付全流程；建立全流程质量追溯机制，规范维修记录填写，确保每道工序的操作过程、检测数据可追溯，便于后续质量问题排查；强化质量监督与审核，定期开展内部质量审核与过程检查，及时发现并整改质量管理漏洞，持续提升体系运行有效性。环境优化方面，针对航空刹车系统电子产品精密性特点，严控修理场地环境指标，搭建恒温恒湿车间，配备温湿度监控与调节设备，确保温湿度符合维修要求；提升场地洁净度，配备除尘设备，避免粉尘、杂质沾染电子元件。

3.5 修理后可靠性验证与保障

修理后可靠性验证与保障是确保航空刹车系统电子产品修理质量的最后一道防线，需构建多层次、全场景的验证与跟踪体系。可靠性验证方面，建立分级验证标准，结合产品实际运行工况，设计涵盖静态性能测试、动态模拟测试、耐久性测试、环境适应性测试等多维度的验证项目，如模拟飞机起飞、着陆等不同工况下的制动性能测试，考核修复后产品的参数稳定性与响应及时性；采用先进的测试设备与数据采集系统，精准记录测试数据，对比原厂标准参数，确保产品性能达标；对验

证不合格产品, 严禁交付使用, 需重新排查故障并二次修复验证。保障方面, 建立售后跟踪机制, 与航空公司建立信息联动渠道, 及时收集产品使用过程中的运行数据与故障反馈, 对出现的问题快速响应, 分析故障原因并优化修理方案; 建立产品修理档案, 记录产品基本信息、故障情况、修理过程、验证数据、使用反馈等内容, 为后续同类产品修理提供参考; 定期开展修理质量复盘, 总结验证与使用过程中发现的问题, 持续优化修理流程与技术工艺, 提升整体修理可靠性。

4 未来研究方向

4.1 数字孪生技术在维修工艺仿真中的应用

数字孪生技术在航空刹车系统电子产品维修工艺仿真中的应用, 是未来提升维修精准性与效率的重要研究方向。该技术通过构建与物理实体完全映射的数字孪生模型, 整合产品设计图纸、材料属性、故障历史、维修工艺等多维度数据, 实现维修全流程的可视化仿真。在维修工艺优化方面, 可通过数字孪生模型模拟拆封、焊接、元件更换、参数调试等关键工序, 分析不同工艺参数对维修质量的影响, 精准定位最优工艺方案, 避免传统试错式工艺优化带来的资源浪费与二次损伤; 同时可预判工艺执行过程中可能出现的风险, 如元件过热、线路干涉等, 提前制定规避措施。在人员培训方面, 数字孪生模型可构建虚拟维修场景, 模拟复杂故障维修环境, 让修理人员在虚拟环境中开展实操训练, 提升对复杂工序的操作熟练度, 降低实际维修中的人为失误。

4.2 基于区块链的维修数据共享与防伪机制

基于区块链的维修数据共享与防伪机制, 可有效解决航空刹车系统电子产品维修领域数据可信度与共享效率问题, 是未来重要研究方向。区块链技术的去中心化、不可篡改特性, 可确保维修数据的真实性与安全性, 将维修全流程中的关键信息, 如物料采购记录、故障诊断数据、修理工艺参数、检测结果、维修人员资质等, 录入区块链系统, 形成不可篡改的维修数据链, 有效防范维修数据造假、假冒伪劣物料流入等行业乱象^[3]。在数据共享方面, 区块链技术可实现多主体间的安全数据共享, 打破航空公司、维修企业、零部件供应商、监管部门之间的信息壁垒, 各主体可基于权限查询相关维修数据, 提升维修协同效率与监管透明度; 例如, 监管

部门可通过区块链系统快速核查维修记录的真实性, 航空公司可精准追溯产品维修历史, 保障飞行安全。

4.3 绿色维修技术(无铅化、低能耗工艺)

绿色维修技术的研发与应用, 契合全球航空业可持续发展趋势, 其中无铅化、低能耗工艺是航空刹车系统电子产品维修领域的核心研究方向。无铅化工艺研究聚焦于替代传统含铅焊接材料与工艺, 研发适配航空电子元件的无铅焊接材料, 如无铅焊锡、无铅助焊剂等, 优化无铅焊接工艺参数, 解决无铅焊接过程中存在的焊接强度不足、耐热性差等问题, 减少维修过程中铅元素对环境的污染与对人员的健康危害; 同时, 推动无铅化检测技术发展, 确保无铅焊接质量符合航空维修标准。低能耗工艺研究主要围绕维修设备与流程优化, 研发低能耗的精密维修设备, 如节能型检测仪器、低功耗焊接设备等, 降低设备运行过程中的能源消耗; 优化维修流程, 减少不必要的工序环节, 提升维修效率, 间接降低能耗; 另外, 探索可再生能源在维修场地的应用, 如太阳能供电的维修设备, 进一步提升维修过程的绿色化水平。绿色维修技术的应用, 不仅可降低航空维修行业的环境足迹, 还可提升企业的可持续发展能力, 符合航空业绿色转型的发展要求。

结束语

航空刹车系统电子产品修理质量的提升是一个系统工程, 涉及人员、技术、设备、管理等多方面。通过构建人员能力提升体系、优化技术与工艺、加强设备与物料管控、升级质量管理体系与环境、完善修理后可靠性验证与保障等举措, 可有效提升修理质量。同时, 数字孪生、区块链、绿色维修等未来研究方向, 将为修理质量提升注入新动力, 推动航空维修行业向更高水平发展, 保障飞行安全。

参考文献

- [1]张万顺,孟帅,李鑫,等.航空机轮刹车振动力学建模与试验分析[J].液压与气动,2022,46(05):215-220.
- [2]白钧生,王靖,李碧波,等.多类型航空刹车器件性能试验台设计[J].机床与液压,2023,51(23):155-160.
- [3]方新文,康磊.航空刹车盘轴式动力试验台主体结构设计[J].工程与试验, 2022, 62(2):75-77.