

飞机电子设备维修中的常见问题与解决方案

任盈锋, 何正欣

深圳航空有限责任公司, 广东 深圳 518128

DOI:10.61369/ME.2026010001

摘 要： 本文对飞机电子设备维修中常见的问题及解决办法进行了详细的分析。飞机电子设备是航空器的重要组成部分，飞机电子设备的可靠程度直接影响到飞行安全和任务完成情况。本文首先对飞机电子设备的分类、功能和发展趋势进行概述，然后分析了硬件故障、软件故障、环境因素、人为操作这四类维修问题，并提出了相应的解决策略。本文主要研究用先进的检测技术、修复工艺、预防性维护等提高飞机电子设备维修效率和可靠性，为航空安全保驾护航。

关 键 词： 飞机电子设备；设备维修；常见问题；解决方案

Common Issues and Solutions in Aircraft Electronic Equipment Maintenance

Ren Yingfeng, He Zhengxin

Shenzhen Airlines Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518128

Abstract： This paper provides a detailed analysis of common issues and solutions in the maintenance of aircraft electronic equipment. Aircraft electronic equipment is a crucial component of aviation systems, and its reliability directly impacts flight safety and mission success. The study first outlines the classification, functions, and development trends of aircraft electronic equipment. It then examines four types of maintenance issues—hardware failures, software failures, environmental factors, and human operational errors—and proposes corresponding resolution strategies. The research primarily focuses on enhancing the efficiency and reliability of aircraft electronic equipment maintenance through advanced inspection technologies, repair techniques, and preventive maintenance, thereby safeguarding aviation safety..

Keywords： aircraft electronic equipment; equipment maintenance; common issues; solution

引言

复杂多变的飞行环境和强负荷的工作条件，使电子设备的故障难以避免。快速、准确诊断并修复这些故障是航空维修领域的重要研究课题。本文主要分析飞机电子设备维修中常见的问题，提出有效的解决办法，以期对提高航空维修水平有所借鉴。

一、飞机电子设备概述

（一）飞机电子设备的定义与分类

飞机电子设备（Avionics）是集成在航空器中用来实现飞行控制、导航通信、目标探测、信息处理和系统监控等功能的电子系统总称。按照功能模块划分，核心子系统有五部分。一是飞行控制系统。二是导航与定位系统。三是通信和数据链系统。四是显示和座舱系统。五是电子对抗与侦察系统^[1]。

（二）飞机电子设备的功能与作用

一是飞行安全保障，飞控系统和导航系统一起保证飞机在复杂气象条件下稳定飞行。在低能见度（RVR<300米）的时候，GNSS/INS组合导航可以把着陆偏差控制在±1米以内。二是任

务效能的提高，目标探测系统同武器火控系统联动，完成目标识别、跟踪、打击的全流程自动化。现代有源相控阵雷达（AESA）探测距离大于400公里，可以同时跟踪200个以上目标。第三步就是运营效率的提高，通信系统和数据链支持空地协同决策，减少地面等待时间。

（三）飞机电子设备的发展趋势

第一是智能化。用人工智能算法实现故障预测和自主决策。以数字孪生技术为基础的健康管理系统（PHM）可以提前72小时预测设备故障，误报率小于0.5%。二是集成化架构，采用综合模块化航电（IMA）架构，用高速光纤总线（AFDX）来实现资源共享。IMA系统重量比传统架构减少了40%，全生命周期成本降低30%。第三，使用低功耗芯片（7nm制程的FPGA）以及电源管

作者简介：

任盈锋（1988.02-），男，浙江绍兴人，汉族，本科，工程师，从事民用航空器维修研究。

何正欣（1987.12-），男，湖北荆州人，汉族，本科，工程师，从事民用航空器维修研究。

理技术来使整个系统比传统方案减少60%的功耗。某型无人机航电系统使用氢燃料电池供电，续航时间大于10小时。

二、飞机电子设备维修中的常见问题

（一）硬件故障问题

1. 电路板损坏

电路板是电子设备的核心部件，电路板是否稳定直接关系到整个设备性能的好坏。常见的损坏类型有焊点脱落、基材分层、导电层腐蚀、元件物理损伤等。航空电子设备故障中电路板损坏所占比例约为35%，其中由于环境应力造成的微裂纹扩展占主要部分。高湿度环境（相对湿度>85%）会加快导电层氧化，接触电阻增大10%~20%，温度循环（-55℃~125℃）引起的热应力会使焊点疲劳寿命降低到设计值的1/3。维修时应采用X射线检测、红外热成像等非破坏性方法定位故障，用精密焊接设备（激光焊机）进行微米级的修复，修复后需要通过HALT（高加速寿命试验）验证可靠性，保证MTBF（平均无故障时间）恢复到设计值的90%以上^[2]。

2. 连接器松动或损坏

连接器是信号传输的关键节点，接触的可靠性影响着系统的稳定性。统计表明，连接器故障占硬件问题的22%，主要是由于机械振动（频率5Hz~2000Hz）引起的接触面微动磨损，温度变化引起的热胀冷缩（CTE失配）。金镀层接触件插拔10⁶次后接触电阻会增大到初始值的5倍，锡镀层接触件在振动环境中容易形成氧化绝缘层，造成信号衰减大于3dB。维修中需要使用接触电阻测试仪（分辨率为0.1μΩ）检测接触质量，对磨损接触件进行镀层修复或更换，并使用锁紧装置（防松螺母）将连接器预紧力控制在设计范围（通常为5~15N·m）内，以减小振动的影响。

3. 传感器失效

传感器属于数据采集终端，它的精度好坏直接影响到系统的控制性能。失效模式有零点漂移、灵敏度衰减、非线性误差增大等，温度漂移是主要原因。例如压阻式压力传感器在-40℃到85℃范围内，零点温度系数为0.1%FS/℃，灵敏度温度系数为0.05%/℃，导致测量误差超过允许范围（±0.5%FS）。维修时需要使用温度补偿算法（多项式拟合）修正输出信号，对老化传感器进行标定（用标准源产生±0.01%精度的参考信号），保证校准后误差≤0.2%FS。对不能修复的传感器要选用与原设备兼容的替代型号，主要看量程、输出信号类型（4~20mA）、接口协议（ARINC 429）是否匹配。

（二）软件故障问题

1. 程序错误或冲突

软件错误一般由代码缺陷、多任务调度冲突引起，会使得系统出现死锁、功能异常或者数据错误。软件故障占维修总量的18%，内存泄漏（运行100小时内内存泄漏1~5MB）和实时性超限（任务响应时间超过设计值20%）是主要的问题。修复需要用静态代码分析工具（LDRA Testbed）检测潜在的缺陷，用动态测试（覆盖率分析）验证修复效果，保证代码行覆盖率≥90%，分支覆盖率≥80%。

2. 数据丢失或损坏

数据丢失可以是由于存储介质故障（NAND Flash坏块率随着擦写次数的增加而上升，一般为0.1%到1%），文件系统错误或者通信中断造成的。修复要用到数据恢复算法（ECC校验等）来恢复被破坏的数据，使用冗余存储（RAID 5等）来提高数据的可靠性，保证数据的可用性≥99.999%。

3. 软件更新与兼容性问题

软件更新要解决版本兼容性、硬件依赖、安全认证等问题。更新前要通过回归测试来验证功能完整性，用差分更新技术（更新包体积减少60%到80%）降低传输风险，保证更新成功率大于等于99.5%。

（三）环境因素导致的问题

1. 温度、湿度影响

高温（>70℃）会加快电子元件老化（电解电容寿命减半），低温（<-40℃）会使材料变脆（塑料件断裂）。湿度大于85%时容易产生凝露现象，会导致短路现象的发生，绝缘电阻降低到1MΩ以下。维修中需要用环境应力筛选（ESS）来模拟极端条件，检验设备耐受性，用导热硅脂（热导率大于3W/m·K）和密封胶（防护等级达到IP67）提高设备的环境适应性。

2. 振动与冲击影响

振动（5到2000赫兹、加速度5到20g）会引起焊点疲劳、元件松动、结构裂纹。冲击（峰值加速度>50g）会造成瞬态故障。维修时需要通过模态分析来优化设备的安装方式，采用减振器使共振频率降到激励频率的1/3以下，用冲击试验（半正弦波冲击，持续时间11ms）检验结构强度。

3. 电磁干扰问题

电磁干扰（EMI）会造成信号失真（信噪比降低10到20dB）或者出现异常的功能。维修时要采用屏蔽设计（使用导电涂层，使屏蔽效能≥60dB），滤波技术（插入损耗在10MHz~1GHz范围内≥40dB）来抑制干扰，保证设备符合RTCA/DO-160标准的要求。

（四）人为操作问题

1. 操作不当导致的损坏

操作不规范（断电插拔、违规校准）会造成设备物理损坏或者参数出错。根据统计，此类问题占人为故障的45%。维修时要制定标准化的操作流程（SOP），用操作权限管理（双因素认证等）来限制重要的操作，降低误操作的风险^[3]。

2. 维护保养不足

维护周期太长（润滑间隔超过设计值2倍），或者有遗漏的项目（没有换滤网）都会使设备性能下降。在维修中要建立预防性维护计划（PMP），用CBM（基于状态的维护）技术（如振动检测）来动态调整维护周期，保证设备的可用率≥99%。

3. 培训不足与技能缺失

培训不够会造成维修人员对于新型设备（全电传飞控系统）的使用不熟练，从而延长维修时间（平均延长30%）。维修时要创建分层培训体系（基础理论、实操演练、故障模拟），用技能评定（通过率≥95%）保证人员资质符合要求。

三、飞机电子设备维修问题的解决方案

（一）硬件故障解决方案

1. 电路板修复与更换技术

电路板是电子设备的主要部件，它的好坏直接影响到整个设备的性能。对于电路板的故障，首先要用自动光学检测（AOI）和X射线检测技术找到缺陷，精度可以达到0.01mm。对表面贴装器件（SMD）的虚焊问题采用热风重焊的方法，温度控制在 $260 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，时间不超过3秒，可以修复90%以上的焊接缺陷。多层板内层短路要结合飞线修复和层间绝缘处理，用聚酰亚胺胶带（厚度0.05mm）隔离，介电强度 $\geq 500\text{V}/\text{mil}$ 。当修复成本大于新板价格的60%时，应启动更换程序，保证新板符合MIL-STD-883标准。

2. 连接器紧固与更换方法

连接器接触不良属于造成信号中断的常见原因。使用微电阻测试仪（分辨率 $0.1\mu\Omega$ ）检测接触电阻，阻值大于 $50\text{m}\Omega$ 时需要紧固。圆形连接器用扭矩扳手按制造商规范（一般 $0.6 \sim 1.2\text{N} \cdot \text{m}$ ）进行旋紧，矩形连接器用插拔力测试仪（ $0 \sim 500\text{N}$ ）验证接触可靠性。当连接器外壳腐蚀深度大于0.2mm或者插针磨损量超过原尺寸的15%时，需要全部更换，保证新件符合SAE AS39029标准。

3. 传感器校准与更换流程

传感器误差会造成飞行数据不准确。使用六自由度校准平台对加速度计进行动态校准，频率响应范围要覆盖0.1Hz到1000Hz，非线性度不能大于0.1%FS。压力传感器校准应在温箱内进行，温度范围 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ，压力精度 $\pm 0.05\%$ FS。当传感器输出漂移大于量程的2%或者响应时间大于5ms时，就应启动更换程序。更换之后需要进行机上地面测试，验证数据和主参考系统偏差 $\leq 0.5\%$ 。

（二）软件故障解决方案

1. 程序调试与错误排查技巧

用静态代码分析工具（LDRA Testbed）做代码规范检查，覆盖率要达到MC/DC。对于实时操作系统（RTOS）任务调度异常，用逻辑分析仪（采样率 $\geq 1\text{GHz}$ ）捕获任务切换时序，分析任务优先级分配是否合理。当系统死机频率大于1次/1000飞行小时的时候，就要做堆栈深度分析，保证剩余空间不小于总容量的20%。

2. 数据恢复与备份策略

使用RAID6阵列（双校验盘）来存储重要的飞行数据，单个硬盘出现故障也不会造成数据的丢失。定期增量备份（间隔 ≤ 24 小时），全量备份（周期 ≤ 7 天），备份介质要符合DOD 5220.22-M标准。当存储介质的坏块率大于0.1%时，应立即开始数据迁移，用ECC校验来保证数据的完整性。

3. 软件更新与兼容性测试方法

更新之前必须在铁鸟试验台上做功能验证，测试用例覆盖率大于等于95%。使用版本控制工具（Git）来管理代码的更改，可以对每一次的修改进行追踪。多模块协同系统要进行接口兼容性测试，保证数据格式和通信协议的一致性。更新之后要执行回归测试，保证原有功能不受影响，测试周期不少于三个飞行循环。

（三）环境因素应对策略

电子舱温度要保持在 $-20^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 之间，用环控系统来实现精确的温度控制（精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）。湿度控制采用分子筛吸附技术，露点温度 $\leq -40^{\circ}\text{C}$ 。对高温部件（功率放大器）采用热管散热，热阻 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。关键设备安装使用隔振器，自然频率20–50Hz，振动传递率小于10%。惯性敏感元件用金属橡胶减振器，冲击隔离效率 $\geq 80\%$ 。结构件用有限元分析（FEA）优化设计，保证在10g随机振动环境下结构应力小于材料屈服强度的60%。屏蔽效能要达到GJB5792-2006的要求，在10kHz到18GHz频段内屏蔽衰减大于等于60dB。用导电橡胶密封条（体积电阻率 $\leq 0.01\Omega \cdot \text{cm}$ ）来实现缝隙屏蔽，搭接长度不小于6mm。对于高频电缆使用铁氧体磁环（初始磁导率大于1000）抑制共模干扰，插入损耗 $\geq 20\text{dB}@100\text{MHz}$ 。

（四）人为操作问题改进措施

编制三级维护手册（航线/机库/深度维修），确定每一个操作的标准工时（误差 $\leq 10\%$ ）和工具清单。开发虚拟仿真培训系统（VR），使90%以上的实操课程实现数字化模拟。培训周期分为基础（40学时）、进阶（60学时）、专家（80学时）三级，考核通过率要达到95%以上。

建立预防性维护大纲（PMP），对飞行50小时、200小时、1000小时的飞机进行维护。利用RFID技术实现工具清点的自动化，漏检率小于等于0.1%。建立维修记录大数据平台，对故障趋势进行分析，提前30天预警潜在问题。实施技能矩阵管理，把维修技能分成10个等级，每个等级对应一定的操作权限。每季度开展技能比武，考核项目有故障诊断速度（ ≤ 30 分钟）、修复质量（一次通过率 $\geq 98\%$ ）、工艺规范性等。建立技能津贴制度，高级技师津贴不低于基本工资的30%，形成持续技能提升激励机制。

四、结语

本文提出的解决方案包括故障诊断、修复工艺、预防性维护、人员培训等几个方面，以建立一个高效可靠的维修体系。未来由于技术的不断发展，飞机电子设备维修会越来越智能化、精准化。只有不断改进维修流程、提高维修技术水平，才能更好的解决航空维修所面对的各种挑战，为航空事业的发展提供助力。

参考文献

[1] 怀若宇. 基于智能检测的飞机电子设备维修技术优化 [J]. 信息与电脑, 2025, 37 (22): 151–153.

[2] 梁融. 航空电子设备的故障诊断与维修技术研究 [J]. 中国高科技, 2025, (16): 83–85.

[3] 王岩. 飞机电子设备维修专业课程标准的优化与实施路径研究 [C]// 中国企业文化促进会职业教育专业委员会. 文化企业赋能教育新业态的融合模式与创新实践研讨会论文集. 吉林通用航空职业技术学院, 2025: 280–282.