

# 飞机电子系统故障诊断与维修策略

张文聪

北京飞机维修工程有限公司武汉分公司 湖北 武汉 430300

**摘要:** 在航空领域,飞机电子系统作为核心构成部分,其性能与可靠性对飞行安全起着决定性作用。随着航空电子技术日新月异的发展,飞机电子系统愈发复杂,故障诊断难度与维修要求也随之提高。本文深入剖析飞机电子系统故障诊断的方法与技术细节,探究常见故障类型,并提出针对性维修策略,旨在为飞机电子系统的维护保障提供坚实的理论支撑与实践指导。

**关键词:** 飞机电子系统;故障诊断;维修策略;飞行安全

## 1 引言

飞机电子系统作为现代航空器的“神经中枢”,涵盖了通信、导航、飞行控制、发动机控制等众多关键领域。以波音787梦想飞机为例,其电子系统包含超过500万行代码,涉及数千个电子设备和模块,高度集成化和复杂化的特点使得故障的发生难以避免。一旦电子系统出现故障,可能引发通信中断、导航失误、飞行控制异常等严重后果,甚至导致空难事故。例如,2009年法航447航班空难,就是由于空速管结冰导致飞行控制系统数据异常,最终飞机坠毁,造成228人遇难。因此,快速、准确地诊断飞机电子系统故障并采取有效维修策略,是航空领域亟待解决的关键问题。

## 2 飞机电子系统概述

飞机电子系统由多个关键部分组成。通信系统是飞机与外界信息交互的桥梁,包含甚高频(VHF)、高频(HF)和卫星通信系统,分别适用于短距离、远距离及全球通信。导航系统为飞机提供定位、航向和速度信息,惯性导航系统(INS)自主性强但有误差积累问题,全球定位系统(GPS)定位精度高,多普勒导航系统在复杂气象下性能受影响。飞行控制系统是飞行安全保障,采用电传操纵技术,能精确控制飞机舵面和发动机,冗余设计确保故障时可切换备用通道。显示系统将运行状态等信息直观呈现给飞行员,主飞行显示器(PFD)、导航显示器(ND)和多功能显示器(MFD)各司其职。自动飞行系统可自动控制飞行参数,减轻飞行员负担,自动驾驶仪和自动油门是其核心部件。

## 3 飞机电子系统常见故障类型

飞机电子系统常见故障类型多样。硬件故障指电子元器件、电路板等物理部件损坏或失效,如芯片因过压等损坏、电容因高温等爆裂、电阻因机械振动等断路、电路板因焊接不良等短路,会导致系统功能部分或完全

丧失。软件故障是软件程序错误或异常,由编程错误、算法缺陷、数据错误、病毒感染等引发,表现为系统死机、功能异常等<sup>[1]</sup>。传感器故障会使系统获取的飞机状态信息不准确或不完整,像传感器失灵、漂移、噪声干扰等,分别由传感器损坏、老化、电磁干扰等因素造成。电磁干扰故障源于雷电、无线电设备等产生的电磁辐射,可能致系统信号失真、误动作甚至损坏电子设备。

## 4 飞机电子系统故障诊断方法与技术

### 4.1 传统故障诊断方法

#### 4.1.1 直观检查法

直观检查法是最基本的故障诊断方法,通过观察电子设备的外观、指示灯状态、连接器插接情况等,判断设备是否存在明显的故障迹象。例如,检查电路板是否有烧焦、变形的痕迹,这可能是由于过流或短路导致的;检查连接器是否松动、氧化,松动可能会导致信号传输中断,氧化会增加接触电阻,影响信号质量。同时,观察设备的指示灯状态,如电源指示灯、故障指示灯等,根据指示灯的亮灭情况可以初步判断设备的工作状态。

#### 4.1.2 仪器检测法

仪器检测法是利用各种电子测试仪器,如万用表、示波器、频谱分析仪等,对飞机电子系统的电路参数、信号波形等进行测量和分析,以确定故障的位置和性质。(1)万用表测量:使用万用表可以测量电阻、电压、电流等参数。例如,测量电阻值可以判断元器件是否断路或短路;测量电压值可以判断电源是否正常供电,以及电路中各点的电位是否正确;测量电流值可以判断电路的工作状态是否正常,是否存在过流现象。

(2)示波器观察:示波器可以观察信号的波形,分析信号的质量和时序关系。例如,观察传感器输出的信号波形,可以判断传感器是否正常工作;观察数字电路的

时钟信号和数据信号波形,可以判断信号的传输是否正确,是否存在时序错误<sup>[2]</sup>。(3)频谱分析仪分析:频谱分析仪可以分析信号的频率成分,检测信号中的干扰和噪声。例如,在电磁兼容性测试中,使用频谱分析仪可以检测飞机电子系统发射的电磁辐射是否超标,以及外界电磁干扰对系统的影响。

#### 4.1.3 替换法

替换法是将怀疑有故障的部件或模块用正常的部件或模块进行替换,观察系统功能是否恢复正常,从而确定故障部件。替换法简单易行,但需要准备充足的备件,并且在替换过程中要注意正确连接和安装,避免引入新的故障。例如,当怀疑某个电路板出现故障时,可以将该电路板从系统中取出,换上一块正常的电路板,如果系统功能恢复正常,则说明原电路板存在故障。

### 4.2 现代故障诊断技术

#### 4.2.1 基于模型的故障诊断技术

基于模型的故障诊断技术是通过建立飞机电子系统的数学模型,将系统的实际输出与模型预测输出进行比较,根据比较结果的差异来判断系统是否存在故障以及故障的位置和类型。建立飞机电子系统的数学模型是该技术的关键。模型可以采用物理模型、数学模型或混合模型的形式。物理模型是基于系统的物理原理和结构建立的,能够准确描述系统的动态特性,但建模过程复杂,计算量大。数学模型则是通过数学方程来描述系统的输入输出关系,建模相对简单,但可能无法准确反映系统的物理特性。混合模型结合了物理模型和数学模型的优点,既能够准确描述系统的动态特性,又具有一定的简化性。将系统的实际输出与模型预测输出进行比较,通过残差分析来判断系统是否存在故障。如果残差超过了一定的阈值,则说明系统存在故障。然后,利用故障诊断算法,如参数估计法、状态估计法等,对故障进行隔离,确定故障的位置和类型。

#### 4.2.2 基于信号处理的故障诊断技术

基于信号处理的故障诊断技术是利用信号处理的方法,如傅里叶变换、小波变换、相关分析等,对飞机电子系统产生的信号进行分析和处理,提取信号的特征信息,通过与正常信号特征的比较来判断系统是否存在故障。傅里叶变换可以将时域信号转换为频域信号,分析信号的频率成分。例如,对于周期性信号,通过傅里叶变换可以得到其基波和谐波的频率和幅值,从而判断信号是否正常。如果信号中出现了异常的频率成分,可能说明系统存在故障。小波变换具有良好的时频局部化特性,能够分析信号的瞬态特征。对于非线性、非平稳信

号,小波变换可以有效地提取信号的特征信息。例如,在检测传感器输出的瞬态故障信号时,小波变换可以准确地捕捉到信号的突变点,从而判断传感器是否存在故障。相关分析可以分析两个信号之间的相似程度<sup>[3]</sup>。例如,比较传感器输出的信号与参考信号之间的相关性,如果相关性降低,可能说明传感器存在故障。

#### 4.2.3 基于人工智能的故障诊断技术

基于人工智能的故障诊断技术是利用人工智能算法,如神经网络、模糊逻辑、专家系统等,对飞机电子系统的故障进行诊断。神经网络具有良好的自学习和自适应能力,能够通过对大量故障样本的学习,建立故障诊断模型。例如,将飞机电子系统的各种故障状态和对应的特征参数作为训练样本,输入到神经网络中进行训练,训练好的神经网络可以根据输入的特征参数判断系统是否存在故障以及故障的类型。模糊逻辑可以处理不确定性和模糊性信息,适用于对故障特征不明显的系统进行诊断。例如,在判断传感器故障时,传感器的输出值可能存在一定的模糊性,模糊逻辑可以根据模糊规则对传感器的状态进行判断。专家系统则是将领域专家的知识 and 经验以规则的形式存储在计算机中,通过推理机制对故障进行诊断。专家系统通常包括知识库、推理机和人机接口等部分。知识库中存储了大量的故障诊断规则和案例,推理机根据输入的故障信息和知识库中的规则进行推理,得出故障诊断结果。

## 5 飞机电子系统维修策略

### 5.1 预防性维修

预防性维修是指在飞机电子系统出现故障之前,按照规定的维修周期和维修项目,对系统进行检查、维护和保养,以防止故障的发生。预防性维修主要包括以下内容:定期对飞机电子系统的各个部件进行检查,包括外观检查、功能测试、性能校准等,及时发现潜在的故障隐患。例如,定期检查传感器的精度和灵敏度,可以使用标准测试设备对传感器进行校准,确保其测量值在允许的误差范围内;检查电路板的焊接质量和连接器的插接情况,使用放大镜等工具观察焊点是否有虚焊、毛刺等问题,检查连接器是否插接牢固。飞机电子系统在运行过程中会积累灰尘、油污等杂质,这些杂质可能会影响系统的散热和电气性能。因此,需要定期对系统进行清洁保养,保持系统的清洁和干燥。例如,使用专用的清洁剂和工具对电路板、机箱等进行清洁,清洁时要注意避免清洁剂进入电子元器件内部;对于散热风扇等部件,要定期清理灰尘,确保其散热效果良好。随着航空电子技术的不断发展和飞机运行环境的变化,飞机电

子系统的软件可能需要进行更新和升级,以修复软件漏洞、提高系统性能和安全性。因此,需要按照规定的程序和要求,及时对系统软件进行更新。软件更新前要进行充分的测试和验证,确保更新后的软件不会引入新的问题。

### 5.2 修复性维修

修复性维修是指在飞机电子系统出现故障后,对故障部件进行修复或更换,使系统恢复正常功能。修复性维修主要包括以下步骤:利用故障诊断方法和技术,准确确定故障的位置和性质,为后续的维修工作提供依据。故障定位是修复性维修的关键环节,要求维修人员具备丰富的专业知识和实践经验<sup>[4]</sup>。例如,通过仪器检测和信号分析,确定故障是发生在硬件电路还是软件程序上;如果是硬件故障,进一步确定是哪个元器件或电路板出现了问题。在确定故障位置后,需要将故障部件与系统其他部分进行隔离,防止故障扩大和影响其他部件的正常运行。例如,断开故障电路板的电源和信号连接,将其从系统中取出。在隔离过程中要注意做好标记,以便后续的维修和安装。对于可修复的故障部件,如电路板上的元器件损坏,可以采用焊接、更换元器件等方法进行修复。在修复过程中要严格按照维修手册的要求进行操作,使用合适的工具和材料,确保修复质量。对于无法修复的故障部件,则需要更换新的部件。更换部件时要注意选择与原部件型号、规格一致的备件,并进行正确的安装和调试。在完成故障部件的修复或更换后,需要对整个系统进行测试,验证系统功能是否恢复正常。系统测试包括功能测试、性能测试、安全测试等,确保系统满足设计要求和标准。例如,对通信系统进行通话测试,检查语音质量和通信稳定性;对导航系统进行定位精度测试,确保其能够准确提供飞机的位置信息。

### 5.3 视情维修

视情维修是根据飞机电子系统的实际运行状态和故障发展趋势,动态地确定维修时间和维修内容的一种维修策略。视情维修需要借助先进的监测和诊断技术,实时获取系统的运行数据和故障信息,通过对这些数据的分析和处理,预测系统的剩余寿命和故障发生的可能

性,从而制定合理的维修计划。利用传感器和监测设备对飞机电子系统的关键参数进行实时监测,如温度、电压、电流、振动等。将监测数据传输到地面监控中心或飞机上的数据处理系统,进行实时分析和处理。例如,通过温度传感器监测电子设备的温度,当温度超过设定的阈值时,及时发出警报。基于历史数据和监测数据,利用数据分析算法和模型,对飞机电子系统的故障发展趋势进行预测。例如,采用时间序列分析、机器学习等方法,对设备的剩余寿命进行预测,提前安排维修计划,避免设备在飞行过程中出现故障。根据故障预测结果和设备的实际运行状态,制定合理的维修决策。如果设备剩余寿命较短,故障发生的可能性较大,则安排提前维修;如果设备运行状态良好,故障发生的可能性较小,则可以适当延长维修周期。

### 结语

飞机电子系统故障诊断与维修策略是保障飞机安全可靠运行的核心环节。随着航空电子技术的持续发展,飞机电子系统的复杂程度与故障诊断难度不断攀升。为有效应对这些挑战,需综合运用多种故障诊断方法与技术,制定科学合理的维修策略,并强化人员培训、维修设备与工具保障、维修资料管理以及质量管理体系建设等方面的工作。唯有如此,才能及时精准地发现并排除飞机电子系统的故障,提升飞机的安全性与可靠性,为航空运输事业的蓬勃发展筑牢坚实根基。展望未来,伴随人工智能、大数据、物联网等新兴技术的蓬勃兴起,飞机电子系统故障诊断与维修技术也将不断创新与完善,为航空安全提供更为可靠的保障。

### 参考文献

- [1]燕中山,金城.飞机电子系统线路的故障维修分析[J].电子测试,2020,(01):118-119.
- [2]刘斐.飞机电子系统发展对维护工作的价值[J].设备管理与维修,2022,(12):67-69.
- [3]拱艳禹,张华杰.航空电子系统中的安全诊断技术分析[J].电子技术,2024,53(05):134-135.
- [4]郭意.电子测试技术在飞机维修中的应用[J].电子测试,2022,36(23):128-130.