

A320FAM飞控系统原理分析与故障处置

杜佳楠

西部机场集团宁夏机场有限公司地面服务分公司机务工程队 宁夏 银川 750001

摘要: 本文聚焦A320FAM飞控系统,深入剖析其原理与故障处置。在原理层面,阐述分布式架构、基于反馈控制理论的运行机制及各舵面协同控制逻辑;针对常见的硬件、软件与信号传输故障,分析成因及危害,并介绍内置测试、地面设备检测等诊断方法,以及分级故障处置策略。研究成果对保障A320FAM飞行安全、提升维修效率具有重要参考价值。

关键词: A320FAM; 飞控系统; 原理分析; 故障处置

1 A320FAM 飞控系统概述

A320FAM飞控系统是A320系列飞机实现稳定操控的关键,采用先进的电传操纵技术,以电信号传输取代传统机械连杆,显著减轻飞机重量,提升信号传输准确性与可靠性。其突出优势在于飞行包线保护功能,能实时监测飞机飞行状态,当飞机接近或超出设计飞行包线时,自动干预飞行员操作,有效规避失速、超速等危险状况,极大增强飞行安全性。系统具备高度自动化能力,支持正常法则、直接法则、备用法则等多种飞行模式,可依据飞行阶段与故障情况灵活切换。在正常法则下,自动优化控制律,提供最佳操纵性能;故障时切换至备用模式,确保飞机维持基本操控。与自动飞行系统紧密集成,实现自动起飞、巡航、着陆等功能,不仅降低飞行员工作负荷,更提升了飞行效率与整体运营效益。

2 A320FAM 飞控系统原理分析

2.1 飞控系统架构

A320FAM飞控系统采用了分布式架构设计,主要由两台飞行控制计算机(FCCA和FCCB)、传感器系统、舵面作动系统以及各种控制和显示单元组成。两台飞行控制计算机是飞控系统的核心处理单元,它们相互冗余备份,以确保系统的可靠性。在正常情况下,两台FCC同时工作,通过交叉数据总线进行数据交换和同步,共同完成控制律计算和指令输出^[1]。传感器系统为飞控系统提供飞机的实时飞行状态信息,主要包括大气数据传感器(如大气数据计算机、静压孔、动压管等),用于测量飞机的空速、高度、气压等参数;惯性传感器(如惯性基准组件),用于确定飞机的姿态、位置和加速度;以及其他传感器(如迎角传感器、襟翼位置传感器等),为飞控系统提供更全面的飞行信息。舵面作动系统则负责将FCC输出的电信号转换为舵面的机械运动,它由液压伺服作动器和电动作动器组成,根据不同的舵面需求

进行驱动。另外,A320FAM飞控系统还设有各种控制和显示单元,如驾驶舱内的侧杆、控制显示单元(CDU)等,方便飞行员进行操作和监控。

2.2 控制原理

A320FAM飞控系统基于反馈控制理论运行。飞行员通过侧杆、脚蹬输入操纵指令,以电信号传输至飞行控制计算机(FCC);同时,传感器系统采集飞机姿态、速度、高度等实时状态信息,也传送至FCC。FCC依据预设控制律算法,综合计算指令与飞机实际状态,得出所需舵面偏转角度,并向舵面作动系统发送指令,驱动舵面动作。舵面偏转改变飞机空气动力,调整姿态与轨迹,传感器持续监测状态变化并反馈给FCC。FCC据此实时调整舵面角度,形成闭环控制,确保飞机按飞行员意图稳定飞行。其中,控制律算法根据飞行阶段、状态及参数变化,自动优化控制策略,保障飞机达到最佳飞行性能与操纵品质。

2.3 舵面控制

A320FAM飞机的舵面主要包括升降舵、副翼、方向舵、扰流板、襟翼和缝翼,在飞控系统控制下各司其职。升降舵位于水平尾翼,通过飞行员操纵侧杆,向上或向下偏转来控制飞机俯仰,改变飞行高度。副翼安装于机翼后缘外侧,左右副翼反向偏转,产生滚转力矩,实现飞机的左右滚转。方向舵在垂直尾翼,飞行员蹬脚蹬产生电信号,经飞控系统控制其偏转,调整飞机航向。扰流板分布于机翼上表面,飞行时辅助副翼增强滚转控制,着陆时升起破坏气流,减小升力、增加阻力,辅助减速。襟翼和缝翼安装在机翼前后缘,在起降阶段增大机翼升力,降低飞机起飞和着陆速度。

3 A320FAM 飞控系统常见故障分析

3.1 故障类型

A320FAM飞控系统的故障类型多样,可大致分为硬

件故障、软件故障和信号传输故障。硬件故障主要涉及飞控系统的物理部件损坏,如飞行控制计算机(FCC)内部电路板故障、传感器失效、舵面作动器液压泄漏或机械卡死等。这些硬件故障可能由于部件的老化、制造缺陷、外部环境因素(如振动、高温、潮湿等)导致。软件故障则与飞控系统的控制律软件、操作系统或数据处理程序相关^[2]。软件故障可能表现为程序运行错误、逻辑混乱、数据计算偏差等,其成因包括软件设计缺陷、程序更新过程中的错误、病毒或恶意软件攻击等。信号传输故障主要是指电信号在飞控系统各部件之间传输过程中出现的问题,如电缆损坏、接插件松动、电磁干扰等,这些故障会导致信号丢失、失真或延迟,影响飞控系统的正常工作。

3.2 故障成因

硬件故障的成因较为复杂。一方面,长期的飞行使用会导致部件的磨损和老化,例如舵面作动器的液压密封件在频繁的伸缩运动中逐渐磨损,导致液压泄漏;飞行控制计算机的电子元件在长时间的高温、高电磁环境下工作,性能会逐渐下降,最终引发故障。另一方面,制造过程中的质量问题也可能导致硬件故障,如传感器的精度不达标、部件的装配工艺缺陷等。软件故障的成因主要与软件开发和维护过程相关。在软件开发阶段,如果代码编写存在逻辑错误、边界条件考虑不周全,或者在软件测试过程中未能全面发现潜在问题,就会在实际运行中引发故障。软件更新过程中,如果没有进行充分的兼容性测试,也可能导致新的软件版本与现有系统不匹配,产生运行异常。信号传输故障的成因主要是外部环境因素和安装维护不当。飞机在飞行过程中会受到强烈的振动和电磁干扰,可能导致电缆外皮破损、接插件松动,影响信号传输;在飞机的维护过程中,如果电缆铺设不合理、接插件连接不牢固,也会增加信号传输故障的发生概率。

3.3 故障影响

飞控系统故障会对飞机的飞行安全和正常运行产生严重影响。硬件故障可能导致飞机部分或全部舵面失去控制能力。软件故障可能导致飞控系统的控制逻辑混乱,使飞机的操纵性能下降。例如,控制律软件中的错误可能导致飞控系统在不该干预飞行员操作时进行干预,或者在飞机处于危险状态时未能及时提供有效的保护,增加了飞行风险。信号传输故障会导致飞控系统各部件之间的信息传递不畅,使飞行员的操纵指令无法准确传达给舵面,或者传感器数据无法及时反馈给飞行控制计算机,影响飞控系统的正常闭环控制,进而影响飞

机的飞行稳定性和可控性。

4 A320FAM 飞控系统故障诊断与处置

4.1 故障诊断方法

A320FAM飞控系统采用了多种故障诊断方法,以快速准确地定位故障。首先是内置测试(Built-InTest, BIT)功能,飞控系统的各个关键部件(如飞行控制计算机、传感器等)都具备BIT功能,能够在飞机启动、飞行过程中和地面维护时自动检测自身的工作状态,一旦发现异常,就会将故障信息存储在系统的故障记忆单元中,并通过驾驶舱内的警告系统向飞行员发出提示。其次是地面测试设备诊断,在地面维护时,维修人员可以使用专用的地面测试设备与飞控系统连接,通过设备对系统全面的测试和分析^[3]。这些设备能够模拟各种飞行状态和输入信号,检查飞控系统的响应是否正常,从而进一步确定故障的具体位置和原因。另外,数据分析也是故障诊断的重要手段,通过对飞机飞行过程中记录的飞控系统相关数据(如传感器数据、控制指令数据等)进行分析,维修人员可以发现潜在的故障隐患,或者对已发生的故障进行深入研究,找出故障的根本原因。

4.2 故障处置策略

当飞控系统发生故障时,需要采取合理的故障处置策略,以确保飞行安全。对于一些不影响飞机基本操纵能力的轻微故障,如单个传感器失效,飞控系统会自动采取相应的容错措施,切换到备用传感器或采用其他传感器数据进行融合计算,维持系统的正常运行,飞行员可以继续按照正常程序飞行,并在合适的时机进行故障记录和报告。对于影响飞机部分操纵性能的故障,如某一个舵面作动器故障,飞控系统会自动切换到相应的故障降级模式(如直接法则或备用法则),限制飞机的部分性能,但仍能保证飞机具备基本的操纵能力。此时,飞行员需要根据飞行手册的指示,调整操纵方法,谨慎驾驶飞机,并尽快选择合适的机场进行着陆。对于严重影响飞机飞行安全的故障,如飞行控制计算机双发故障,飞行员应立即按照紧急程序进行操作,利用飞机的备用操纵系统(如机械备份操纵)控制飞机,并优先选择最近的合适机场进行紧急着陆,同时及时与地面塔台和航空公司的运行控制中心取得联系,获取支持和指导。

4.3 故障处置案例分析

在实际运营中,曾发生过一起A320FAM飞机飞控系统故障案例。一架A320飞机在巡航阶段,驾驶舱突然响起警报,显示飞行控制计算机A出现故障。此时,飞控系统自动切换到正常法则下的单FCC工作模式,由飞行控制

计算机B继续承担控制律计算和指令输出任务。飞行员根据飞行手册的指示,密切关注飞机的各项参数和飞行状态,发现飞机的操纵性能并未受到明显影响。在确认飞机能够安全飞行后,飞行员按照正常程序继续执行航班任务,并在着陆后及时向维修人员报告了故障情况。维修人员通过对故障FCC进行检测和分析,发现是其内部的一块电路板出现短路故障,更换电路板后,飞控系统恢复正常运行。另一起案例中,一架A320飞机在起飞过程中,副翼作动器出现液压泄漏故障。飞控系统立即检测到该故障,并自动切换到直接法则,限制飞机的滚转操纵性能。飞行员迅速意识到故障情况,根据紧急程序调整操纵策略,减小起飞推力,保持飞机的稳定,最终安全地完成起飞和着陆。事后,维修人员对副翼作动器进行全面检查和维修,更换损坏的液压密封件,排除故障隐患。

5 A320FAM 飞控系统维护与预防

5.1 日常维护

A320FAM飞控系统的日常维护对于确保其可靠性和安全性至关重要。日常维护工作主要包括对飞控系统各部件的外观检查、功能测试和数据记录。在每次飞行前后,维修人员需要对驾驶舱内的侧杆、控制显示单元等操作设备进行外观检查,确保其无损坏、无松动;对飞行控制计算机、传感器等核心部件进行功能测试,通过内置测试(BIT)功能检查其工作状态是否正常,并记录测试结果。还需要对舵面作动系统进行检查,查看液压管路是否有泄漏、作动器的机械连接是否牢固,对襟翼、缝翼等活动部件进行润滑和清洁,防止部件磨损和卡死。定期对飞控系统的电缆和接插件进行检查,确保电缆无破损、接插件连接紧密,避免因信号传输问题引发故障。日常维护过程中发现的任何异常情况都应及时记录并报告,以便进行进一步的诊断和维修。

5.2 故障预防

为了预防飞控系统故障的发生,需要采取一系列有效的预防措施。首先,加强对飞控系统部件的质量控制和选型管理,在飞机制造和部件更换过程中,选用可靠性高、性能稳定的产品,从源头上降低故障发生的概率。其次,优化飞机的使用和维护环境,减少外部因素对飞控系统的影响。定期对飞控系统的软件进行更新和

维护也是重要的预防措施。航空公司和维护单位应及时获取飞控系统软件的最新版本,并进行充分的测试和验证后进行更新,以修复已知的软件缺陷,提高系统的稳定性和安全性^[4]。加强对飞行员和维修人员的培训,提高他们对飞控系统的熟悉程度和操作技能,使飞行员能够正确识别和应对飞控系统故障,维修人员能够准确诊断和修复故障,也是预防故障发生和降低故障影响的关键环节。

5.3 维修管理与优化

A320FAM飞控系统的维修管理与优化,是保障飞行安全、降低运营成本的关键。在维修管理上,需构建完善的维修计划与流程,依据飞控系统各部件使用寿命及维护需求,制定详细定期维护计划,确保部件按时检查、保养与更换;同时建立高效故障报告和处理机制,以便飞行员和维修人员及时反馈故障信息,维修部门迅速响应,缩短飞机停场时间。维修优化方面,积极引入状态监控维修(CBM)等先进理念与技术,通过实时监测飞控系统部件状态,精准预测故障,实现按需维修,减少不必要的维护工作。利用大数据分析技术,对飞控系统历史故障数据和运行数据进行深度挖掘,总结故障规律,优化维修策略,持续提升飞控系统的可靠性与维修效率。

结束语

本文系统完成了A320FAM飞控系统原理分析与故障处置研究,明晰了系统运行逻辑与故障应对方案,为飞机安全运行与维护提供理论支撑。未来,随着航空技术发展,飞控系统将更智能化、集成化,后续可围绕新兴技术对飞控系统的影响、故障预测与健康管理等方向深入探索,持续提升飞控系统性能与可靠性。

参考文献

- [1]李世林,罗文东.A320飞机座舱增压系统技术分析[J].内燃机与配件,2021(7):160-161.
- [2]罗亚菲,还耀文.空客A320飞机典型客舱释压故障分析与研究[J].航空维修与工程,2022(9):58-60.
- [3]李秀易,赵相淳.A320缓慢释压故障处置的人机交互优化方案[J].自动化应用,2023,64(11):17-18.
- [4]张旭.飞机发动机引气系统故障及维护分析[J].内燃机与配件,2020(23):155-156