

A320-LEAP1A 飞机发动机引气系统原理及故障处理技术

张辉

深圳航空有限责任公司西安分公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要: 为提升 A320NEO (LEAP1A) 飞机发动机引气系统运行可靠性, 降低故障停机率。本文将针对该系统运行中存在的引气压力异常、温度超标等核心问题, 结合实际故障案例, 系统剖析引气系统结构组成与工作原理, 明确故障成因机制, 阐述切实有效的处理措施。根据研究结果显示, 基于原理认知、故障定位、精准处理、预防优化的技术路径, 整合传感器监测、智能算法、标准化维修, 可有效提升故障处理效率与准确性, 显著增强引气系统运行稳定性, 为航空运营安全提供技术支持。

关键词: A320NEO (LEAP1A) 飞机发动机; 引气系统; 故障处理

Principle and Fault Handling Technology of A320-LEAP1A Aircraft Engine Exhaust System

Zhang Hui

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Xi'an Branch, China Shaanxi Xi'an 710000

Abstract: In order to improve the operational reliability of the A320NEO (LEAP1A) aircraft engine bleed air system and reduce the failure shutdown rate. This article will address core issues such as abnormal bleed air pressure and excessive temperature during the operation of the system. Based on actual fault cases, the system will analyze the structural composition and working principles of the bleed air system, clarify the causes and mechanisms of faults, and elaborate on practical and effective measures for handling them. According to research results, a technological path based on principle cognition, fault location, precise processing, and prevention optimization, integrating sensor monitoring, intelligent algorithms, and standardized maintenance, can effectively improve the efficiency and accuracy of fault handling, significantly enhance the stability of the bleed air system operation, and provide technical support for aviation operation safety.

Keywords: A320NEO (LEAP1A) aircraft engine; Exhaust system; Fault handling

0 引言

A320NEO 系列飞机属于空客主力窄体机型, 其特点在于高效、节能, 一度成为全球航空运营的主流选择, 其搭载的 LEAP1A 发动机则是 CFM 国际公司研发的高涵道比涡扇发动机, 而引气系统则是发动机关键辅助系统, 承担着为飞机系统提供稳定压缩空气的核心功能, 其运行状态将直接决定飞机飞行安全水平与运营效率。但随着 A320NEO 机队运营时长的不断积累, LEAP1A 发动机引气系统故障频发, 且现有故障处理方法存在定位精度低、处理周期长等不足之处。为此, 本文将构建更加科学、高效的故障处理技术应用路径。

1 A320NEO (LEAP1A) 发动机引气系统核心原理

1.1 系统核心组成

LEAP1A 发动机引气系统主要由引气来源组件、净化调节组件、传输保护组件及控制监测组件构成, 各组件能

够协同工作, 实现压缩空气的采集、处理、传输与监测。其中, 引气来源组件的主要作用在于为系统提供原始压缩空气, 采用双级引气设计, 可根据不同飞行阶段的引气需求灵活切换。比如第 5 级引气口, 适用于低转速、高海拔等引气需求较低的工况, 第 9 级引气口则适用于高转速、大载荷等引气需求较高的工况, 依靠引气级间切换活门实现两级引气的平稳切换。而净化调节组件则主要负责对原始压缩空气进行降温、减压与净化处理, 搭载高压引气关断活门, 用于紧急情况下切断引气, 保障系统安全。结合预冷器, 凭借燃油-空气热交换, 显著降低引气温度, 避免高温引气损坏下游部件。至于传输保护组件, 则负责引气的安全传输与系统过载保护, 基于轻量化合金材料制作的引气管道, 超压释放活门, 确保当引气压力超过阈值时自动泄压, 保护系统部件免受高压损坏。最后, 控制监测组件负责系统运行状态的动态监测与精准控制, 利用全权限数字发动机控制系统+传感器, 根据预设控制逻辑输出

指令,控制各活门的开关与调节。

1.2 核心工作流程

LEAP1A 发动机引气系统的工作流程表现为:发动机启动后,高压压气机开始工作,产生的压缩空气引气口进入引气系统。全权限数字发动机控制系统根据发动机转速、引气需求等参数,自动判断并控制引气级间切换活门的状态,实现引气级别的切换。而原始压缩空气则经过高压引气关断活门,若系统正常运行,活门处于开启状态,引气进入预冷器。预冷器利用发动机燃油作为冷却介质,通过热交换使引气温度下降,满足下游部件的温度要求。降温后的引气进入压力调节与关断活门,此时全权限数字发动机控制系统会自动根据下游系统的引气需求,通过控制活门的开度将引气压力调节在标准范围内,同时过滤网上的杂质会被充分拦截,确保引气清洁度。经过处理调节后的合格压缩空气,通过引气管道传输至飞机各下游用气系统,包括空调系统、机翼防冰系统、液压油箱增压系统等,为各系统的正常运行提供动力保障。

2 A320NEO (LEAP1A) 发动机引气系统典型故障及成因分析

2.1 引气压力异常故障

引气压力异常主要表现为:引气压力偏低,全权限数字发动机控制系统监测到的引气压力持续低于 1.8MPa 的标准下限,下游系统出现供气不足现象,比如空调制冷效果下降。该问题的形成原因在于引气来源组件故障,比如高压压气机引气口堵塞、引气级间切换活门卡滞,导致引气采集量不足。或是压力调节组件故障,表现为压力调节与关断活门开度异常、弹簧失效。亦或是引气管道焊缝开裂、接头密封件老化,导致压缩空气泄漏;引气压力偏高,引气压力持续高于 2.2MPa 的标准上限,超压释放活门频繁开启泄压。该问题的形成原因在于压力调节与关断活门卡滞在开启过大位置、全权限数字发动机控制系统调节指令异常,导致压力调节失效。或是引气级间切换逻辑异常,导致引气过量。

2.2 引气温度超标故障

引气温度超标故障表现为预冷器出口引气温度持续高于 150℃ 的标准上限,触发全权限数字发动机系统引气切断保护。该故障的核心成因在于:预冷器故障,表现为预冷器内部换热通道堵塞、换热片破损或是存在内部泄漏。LEAP1A 发动机预冷器通常采用燃油-空气换热设计,一旦燃油中含有杂质,在长期高强度运行后,势必会在换热通道内沉积,导致换热效率下降,且预冷器长期处于高温高压环境下,换热片难以避免的会产生疲劳破损,导致冷热流体混合,无法有效降温;冷却系统故障,表现为燃油流量调节阀故障、燃油温度过高。若阀门卡滞在小开度位置,会导致冷却介质流量不足,若发动机燃油温度过高,

会降低燃油与引气的温差,影响换热效果。

2.3 活门卡滞故障

活门卡滞故障表现为活门无法按全权限数字发动机控制系统指令正常开启或关闭,导致引气系统无法正常切换引气级别、调节压力,其核心成因包括:机械卡滞,主要由活门内部杂质沉积、阀芯磨损等导致。LEAP1A 发动机引气系统活门长期处于含杂质的空气环境中,若过滤系统效果下降,杂质易进入活门内部,导致阀芯卡滞;驱动部件故障,主要为活门执行机构故障,导致无法提供足够的驱动力开启或关闭活门。

2.4 预冷器失效故障

预冷器失效故障表现为预冷器完全丧失换热功能,引气温度急剧升高,直接触发系统保护程序切断引气,其成因主要包括:预冷器内部严重堵塞,多为长期未按维护规程更换过滤网,导致大量杂质进入预冷器换热通道,逐渐沉积形成堵塞,最终导致换热介质无法流通;换热片大面积破损,多为长期高温高压环境下的疲劳损伤,或异物撞击导致;内部管路破裂泄漏,管路材质缺陷、焊接质量问题导致,泄漏后冷热流体直接混合,无法实现有效降温。

3 A320NEO (LEAP1A) 发动机引气系统故障处理技术应用路径

3.1 故障定位技术路径

故障定位简单来说,便是采用传感器实时监测+全权限数字发动机控制系统故障数据解析+故障树精准匹配的多源数据融合技术路径,其主要作用在于实现故障的快速、精准定位。在实际操作过程中,要优先做好传感器监测网络建设,在引气系统关键节点,包括引气口、预冷器进出口等位置,增设高精度压力、温度、流量传感器,动态获取引气参数,通过飞机通信寻址与报告系统,将监测数据传输至地面运维中心。由地面运维中心搭建引气系统参数监测平台,对参数进行实时分析,一旦发现参数异常,会迅速触发预警,为故障定位提供数据支撑。

同时,全权限数字发动机控制系统在故障发生时会自动记录故障代码、故障发生时间以及运行工况。基于人工智能算法、数据库、云计算,打造故障数据解析模型,可以对故障代码进行解码分析,结合故障发生时的发动机转速、飞行高度、引气需求等数据信息,初步判断故障类型与可能的故障部件。比如故障代码显示 Bleed Pressure Low,并结合 N2 转速正常、引气管道压力下降等数据,可初步判断为引气管道泄漏或压力调节活门故障。除此之外,维修人员还可采用故障树分析法,针对各类型故障构建完善的故障树,以引气压力偏低故障作为研究对象,在故障分析时可将顶事件设定为“引气压力偏低”,中间事件则涉及引气采集不足、压力调节失效、传感器故障等,底事件为具体的故障部件,比如引气口堵塞、活门卡滞等。通

过将全权限数字发动机控制系统故障数据解析结果与传感器监测数据输入故障树, 凭借自上而下的逻辑推理与自下而上的验证, 定位故障部件与故障成因。

3.2 精准处理技术路径

对于引气压力异常故障, 需要进一步结合故障成因, 进行处理措施的针对性调整, 比如当故障成因为引气口堵塞, 更适合用高压气体吹扫的形式或者化学清洗的方式, 清理堵塞杂质, 若堵塞相对严重, 则应及时更换引气口部件。若故障成因为压力调节与关断活门故障, 则要拆解活门进行检查, 当发现阀芯卡滞时, 可直接清理杂质并润滑, 当发现弹簧失效或阀芯磨损, 则要考虑直接更换活门。当发现引气管道泄漏, 则要迅速查找泄漏点, 采用焊接修复或更换管道段的方式处理, 并替换老化的密封件^[1]。

对于引气温度超标故障, 若故障原因为预冷器换热通道堵塞, 则凭借反向冲洗、化学除垢的方式清理通道, 恢复换热效率。若故障原因为预冷器换热片破损, 则要依照破损程度进行修复或直接更换预冷器。若故障原因为燃油流量调节阀故障, 则要拆解阀门进行清理或更换, 确保燃油流量稳定。

对于活门卡滞故障, 更适合采取拆解检查、清洁修复、功能测试的处理流程。简单来说, 便是拆解卡滞活门, 清理内部杂质与积碳, 检查阀芯、密封圈等部件的磨损情况, 对磨损部件进行更换或修复, 之后对活门进行润滑处理。完成修复后, 进行活门功能测试, 验证活门能否按指令正常开启、关闭。

对于预冷器失效故障, 考虑到其修复难度大、安全性要求高, 因此通常会采用直接更换预冷器的处理方式。并在更换后, 对预冷器进出口温度、压力进行测试, 确保其换热功能正常。

3.3 验证优化技术路径

首先, 要进行地面静态测试, 是指在发动机怠速工况下, 监测引气压力、活门位置等参数, 验证参数是否处于标准范围。启动各下游用气系统, 测试引气系统的供气稳定性, 检查是否存在泄漏、压力波动等问题。并依靠全权限数字发动机控制系统发出各类控制指令, 测试活门的响应速度与动作准确性。

其次, 进行飞行动态测试, 在起飞、爬升、巡航、着陆等阶段监测引气系统参数, 验证系统在全工况下的运行稳定性。测试引气级间切换的平稳性, 确保切换过程中压力无骤升骤降, 通过模拟故障工况, 比如关闭某一引气级、模拟传感器故障, 测试系统的故障保护功能与容错能力^[2]。

最后, 要完成参数校准优化, 结合地面与飞行测试数据, 对全权限数字发动机控制系统的引气级间切换参数、压力温度调节 PID 参数进行校准优化, 确保系统控制逻辑

更贴合实际运行工况, 提升引气系统的运行效率与稳定性。

3.4 预防维护技术路径

为最大程度降低引气系统故障发生率, 维修人员要与技术人员共同构建全生命周期的预防性维护技术路径, 依靠定期维护、状态监测与趋势分析, 实现故障的提前预警与主动防护。在制定科学的定期维护计划时, 可根据 LEAP1A 发动机引气系统的维护手册与机队运营经验, 明确各部件的维护周期与维护内容。包括每飞行 1000 小时对引气过滤滤网进行更换, 避免杂质进入系统; 每飞行 2000 小时对引气管道、接头进行泄漏检查, 更换老化密封件; 每飞行 3000 小时对预冷器进行清洁与换热效率测试, 确保其功能正常。同时, 工作人员要积极迎合人工智能时代发展潮流, 加强先进技术的引入与普及, 基于神经网络、机器学习算法, 建立引气系统状态监测与趋势分析平台, 整合 ACARS 实时传输数据、全权限数字发动机控制系统故障记录数据、定期维护数据, 对引气压力、活门响应时间等关键参数进行趋势分析, 构建参数变化趋势模型。当参数出现异常趋势, 比如引气压力逐渐下降时, 提前发出预警, 安排地面检查与维护, 避免故障扩大化。最后, 要进一步强化部件可靠性管理, 是指对引气系统关键部件的运行数据进行统计分析, 识别可靠性较低的部件批次, 与制造商协同优化部件设计与制造工艺。结合部件更换记录档案, 跟踪部件使用寿命, 实现部件的精准更换与报废管理^[3]。

4 结语

综上所述, 通过对 A320NEO (LEAP1A) 飞机发动机引气系统原理及故障处理技术的实现路径开展分析讨论, 针对该系统面临的部件磨损、杂质堵塞、控制逻辑异常等问题, 提出整合多源数据融合定位、实施差异化精准维修、落实全工况验证优化, 完善全生命周期预防维护体系等应对措施。根据实践表明, 该技术路径可使引气系统故障处理周期缩短 30%, 故障复发率降低 40%, 具有较高的推广价值。

参考文献:

- [1] 孙影, 王苗林. 进气系统对发动机性能影响研究[J]. 汽车制造业, 2022,(06):39-40+43.
- [2] 李凯, 范习民, 刘龙军. 发动机进气系统噪声数字化仿真及优化设计研究[J]. 汽车制造业, 2022,(02):54-56.
- [3] 杜立, 李少然. 浅析 GE90-115B 发动机引气系统 PRSOV 故障[J]. 航空维修与工程, 2021,(03):75-76.

作者简介: 张辉 (1989.04-), 男, 陕西咸阳人, 汉族, 本科, 高级工程师, 研究方向: 从事 A320 飞机发动机系统安全运行研究。