

飞机发动机辅助动力系统的故障诊断与维修技术研究

李宏武

北京飞机维修工程有限公司 (Ameco) 武汉分公司 湖北 武汉 430302

摘要: 本文探讨了飞机发动机辅助动力系统的故障诊断与维修技术。阐述了辅助动力系统的组成与功能, 分析了其故障诊断的重要性及面临的挑战。详细介绍了基于传感器监测、数据分析、无损检测、振动诊断等故障诊断方法, 并探讨了预防性维修、智能化监测与控制、先进机器人维修系统等维修技术。最后, 展望了未来辅助动力系统故障诊断与维修技术的发展趋势, 包括智能化、集成化、远程化等。

关键词: 辅助动力系统; 故障诊断; 维修技术; 智能化监测

1 引言

飞机发动机辅助动力系统 (Auxiliary Power Unit, APU) 作为飞机上的重要子系统, 承担着为飞机提供电力、气源以及启动主发动机等关键功能。在飞行过程中, APU 的正常运行对于保障飞机的安全性和可靠性至关重要。然而, 由于 APU 结构复杂、工作环境恶劣, 其故障发生概率相对较高。因此, 开展飞机发动机辅助动力系统的故障诊断与维修技术研究, 对于提高飞机的运行效率、降低维护成本、保障飞行安全具有重要意义。

2 飞机发动机辅助动力系统故障诊断的重要性与挑战

2.1 重要性

2.1.1 保障飞行安全

APU 的故障可能导致飞机失去电力或气源供应, 进而影响飞机的飞行控制系统、导航系统、通信系统等关键系统的正常运行, 严重时甚至可能危及飞行安全。例如, 如果 APU 在飞行过程中突然故障, 无法为主发动机提供启动所需的压缩空气, 在主发动机故障的情况下, 飞机将失去动力来源, 后果不堪设想。

2.1.2 提高运行效率

及时发现和排除 APU 的故障, 可以避免因故障导致的飞机延误、取消等情况, 提高飞机的运行效率和航班准点率。同时, 正常的 APU 运行也能确保飞机各系统的稳定工作, 减少因系统故障引起的维护时间和成本。

2.1.3 降低维护成本

通过有效的故障诊断技术, 可以在 APU 故障早期就进行准确的诊断和维修, 避免故障恶化导致更严重的损坏, 从而降低维修成本。此外, 定期的故障诊断和维护还可以延长 APU 的使用寿命, 减少更换部件的频率和费用。

2.2 挑战

2.2.1 结构复杂

APU 是一个集机械、电气、控制等多学科于一体

的复杂系统, 其内部结构紧凑, 部件众多, 且各部件之间相互关联、相互影响。这使得故障诊断的难度大大增加, 需要综合考虑多种因素才能准确判断故障原因。

2.2.2 工作环境恶劣

APU 在飞机运行过程中, 需要承受高温、高压、高振动、高湿度等恶劣环境条件的考验。这些恶劣的环境条件不仅会影响 APU 的正常运行, 还会对故障诊断设备和传感器的性能产生影响, 降低故障诊断的准确性和可靠性。

2.2.3 故障模式多样

APU 的故障模式多种多样, 包括机械故障、电气故障、控制故障等。不同的故障模式可能表现出相似的症状, 例如, 转速异常可能是由于燃油供应不足、压气机故障或控制系统故障等多种原因引起的^[1]。这使得故障诊断过程更加复杂, 需要综合运用多种诊断方法和技术手段才能准确判断故障原因。

2.2.4 诊断信息有限

由于 APU 的结构紧凑和工作环境恶劣, 能够安装在 APU 上的传感器数量和类型受到限制, 导致能够获取的诊断信息相对有限。同时, 传感器采集到的信号往往受到噪声和干扰的影响, 进一步增加了故障诊断的难度。

3 飞机发动机辅助动力系统的故障诊断技术

3.1 基于传感器监测的故障诊断

在 APU 的关键部位安装各种传感器, 如温度传感器、压力传感器、转速传感器、振动传感器等, 实时采集 APU 的运行状态参数。通过对这些参数的分析处理, 判断 APU 是否处于正常工作状态, 以及是否存在潜在的故障风险。例如, 通过监测 APU 燃油系统的压力和流量参数, 可以判断燃油供应是否正常。如果压力过低或流量不足, 可能意味着燃油泵故障、燃油滤清器堵塞或油管泄漏等问题。再如, 通过监测 APU 转速传感器的信

号,可以判断 APU 的转速是否稳定。如果转速出现波动或异常变化,可能意味着压气机故障、涡轮故障或控制系统故障等问题。优势是能够实时监测 APU 的运行状态,及时发现异常情况。传感器采集到的数据可以为故障诊断提供直接的依据,提高诊断的准确性和可靠性。然而,由于 APU 结构紧凑和工作环境恶劣,传感器的安装位置和数量受到限制,可能无法全面获取 APU 的运行状态信息。同时,传感器本身也可能出现故障或受到干扰,影响诊断结果的准确性。

3.2 基于数据分析的故障诊断

利用飞行数据记录仪(黑匣子)和发动机健康管理系统(Engine Health Monitoring, EHM)等系统收集 APU 的运行数据,包括历史数据和实时数据。通过对这些数据的分析处理,挖掘数据中的潜在信息,发现 APU 的故障模式和趋势。例如,通过对 APU 历史运行数据的分析,可以发现某些参数的变化规律与故障发生之间的关联。当实时数据中出现类似的参数变化时,就可以提前预警可能的故障发生。再如,利用机器学习算法对大量的 APU 运行数据进行训练和学习,建立故障诊断模型。当新的数据输入到模型中时,模型可以快速准确地判断 APU 的运行状态和故障原因^[2]。优势是能够充分利用大量的运行数据,提高故障诊断的准确性和可靠性。通过对数据的深度挖掘和分析,可以发现一些潜在的故障模式和趋势,为预防性维修提供依据。然而,数据的收集、存储和处理需要消耗大量的资源 and 时间。同时,数据的质量和准确性对诊断结果有很大影响,如果数据存在噪声、缺失或错误等问题,可能会导致诊断结果的不准确。

3.3 基于无损检测的故障诊断

利用无损检测技术,如超声波检测、射线检测、涡流检测、磁粉检测等,对 APU 的关键部件进行检测,以发现内部的缺陷、裂纹、腐蚀等问题。这些无损检测技术可以在不破坏 APU 结构的情况下,对部件的内部状态进行检测和评估。例如,利用超声波检测可以检测 APU 压气机叶片内部的裂纹和缺陷;利用射线检测可以检查 APU 燃烧室内部的烧蚀和腐蚀情况;利用涡流检测可以检测 APU 涡轮叶片表面的裂纹和磨损情况;利用磁粉检测可以发现 APU 轴承表面的微小裂纹。优势是能够在不拆卸 APU 的情况下,对其内部部件进行检测和评估,提高了检测效率和准确性。无损检测技术可以发现一些早期故障和潜在隐患,为预防性维修提供依据。然而,无损检测设备的成本较高,且对操作人员的技能要求也较高。同时,无损检测技术的检测范围和深度有限,可能

无法发现一些深层次的故障问题。

3.4 基于振动诊断的故障诊断

APU 在正常运行过程中会产生一定的振动信号,当出现故障时,振动的频率、幅度、相位等特征会发生变化。通过采集和分析 APU 的振动信号,可以判断其是否存在故障以及故障的类型和位置。例如,通过振动传感器采集 APU 的振动信号,并利用频谱分析、时域分析、小波分析等方法对信号进行处理和分析。如果发现振动信号中出现异常的频率成分或幅度变化,可能意味着 APU 存在不平衡、不对中、松动等故障问题。振动诊断技术具有非侵入性、实时性、准确性等优点,能够在 APU 运行过程中对其进行实时监测和诊断。同时,振动信号中包含了丰富的故障信息,可以为故障诊断提供有力的依据。然而,振动信号容易受到外界干扰和噪声的影响,需要进行有效的信号处理和滤波才能提取出有用的故障信息。此外,振动诊断技术对于某些故障类型(如电气故障)的诊断效果可能不佳。

4 飞机发动机辅助动力系统的维修技术

4.1 预防性维修

预防性维修是基于 APU 的使用寿命、运行环境和维修历史等信息,制定定期的维修计划和检查项目,以预防故障的发生。通过定期对 APU 进行检查、清洁、润滑、更换部件等操作,保持 APU 的良好运行状态,延长其使用寿命。例如,根据 APU 的使用手册和维修规范,制定定期的维修计划。在每次维修时,对 APU 的各个部件进行检查和测试,如检查燃油系统的密封性、润滑系统的油位和质量、电气系统的连接情况等。如果发现部件存在磨损、老化或损坏等问题,及时进行更换或修复^[3]。预防性维修可以提前发现潜在的故障问题,避免故障恶化导致更严重的损坏。通过定期的维修和保养,可以延长 APU 的使用寿命,降低维修成本。

4.2 智能化监测与控制

利用先进的传感器技术、数据分析技术和智能控制算法,对 APU 的运行状态进行实时监测和控制。通过传感器采集 APU 的运行状态参数,利用数据分析技术对这些参数进行处理和分析,然后根据分析结果通过智能控制算法对 APU 的运行状态进行调节和优化。例如,通过安装在 APU 上的智能传感器实时监测其转速、温度、压力等参数,并将这些数据传输到数据分析系统中。数据分析系统对这些数据进行实时处理和分析,判断 APU 的运行状态是否正常。如果发现异常情况,智能控制算法会根据预设的规则和策略对 APU 的燃油供应量、空气流量等参数进行调节,以恢复其正常运行状态。智能化监

测与控制技术可以实现对 APU 的实时监测和精确控制,提高 APU 的运行效率和可靠性。通过智能控制算法的优化调节,可以降低 APU 的燃油消耗和排放污染。

4.3 先进机器人维修系统

利用先进的机器人技术,开发具有自主导航、精准操作、智能决策等功能的机器人维修系统。这些机器人可以在复杂的环境和狭小的空间内对 APU 进行维修和检测操作,提高维修效率和准确性。例如,在 APU 的维修过程中,机器人可以通过自主导航技术准确到达故障部位,并利用其精准的操作能力对故障部件进行拆卸、更换或修复^[4]。同时,机器人还可以利用其智能决策能力对维修过程进行优化和调整,确保维修工作的顺利进行。先进机器人维修系统可以在复杂的环境和狭小的空间内进行维修操作,提高了维修效率和准确性。机器人具有高度的自主性和智能性,可以减少人工干预和劳动强度。

5 飞机发动机辅助动力系统故障诊断与维修技术的发展趋势

5.1 智能化发展

随着人工智能技术的不断发展,未来的 APU 故障诊断系统将更加智能化。智能诊断系统可以利用机器学习、深度学习等算法对大量的 APU 运行数据进行学习和训练,建立更加准确的故障诊断模型。当新的数据输入到模型中时,模型可以快速准确地判断 APU 的运行状态和故障原因,提高故障诊断的效率和准确性。智能化的维修决策系统可以根据 APU 的运行状态、故障类型、维修历史等信息,自动制定最优的维修方案和维修计划。维修人员可以根据系统的建议进行维修操作,提高维修效率和质量。

5.2 集成化发展

未来的 APU 故障诊断与维修系统将更加集成化,将传感器监测、数据分析、无损检测、振动诊断等多种诊断技术集成在一起,形成一个综合的诊断系统。这个系统可以全面获取 APU 的运行状态信息,提高故障诊断的全面

性和准确性。故障诊断系统将与维修系统集成在一起,实现故障诊断与维修的无缝衔接。当故障诊断系统发现故障时,可以直接将故障信息传递给维修系统,维修系统根据故障信息自动制定维修方案并进行维修操作。

5.3 远程化发展

随着物联网技术的不断发展,未来的 APU 故障诊断系统将实现远程监测功能。航空公司可以通过互联网远程获取 APU 的运行状态信息,实时监测 APU 的运行情况。一旦发现异常情况,可以及时采取措施进行处理,提高飞机的运行安全性和可靠性。在某些情况下,维修人员可以通过远程控制系统对 APU 进行维修操作。例如,通过远程控制系统调整 APU 的运行参数、启动或停止 APU 等。这可以提高维修效率,减少维修时间和成本。

结语

飞机发动机辅助动力系统的故障诊断与维修技术对于保障飞机的安全性和可靠性具有重要意义。通过分析可以看出,基于传感器监测、数据分析、无损检测、振动诊断等故障诊断技术在 APU 故障诊断中发挥了重要作用。同时,预防性维修、智能化监测与控制、先进机器人维修系统等维修技术也有效提高了 APU 的维修效率和质量。未来,随着智能化、集成化、远程化等技术的发展,飞机发动机辅助动力系统的故障诊断与维修技术将更加完善和成熟,为飞机的安全运行提供更加有力的保障。

参考文献

- [1]马宪.飞机辅助动力装置故障预测方法研究[D].中国民航大学,2022.
- [2]赵凯臣.基于深度学习的飞机辅助动力装置故障诊断及应用[D].沈阳航空航天大学,2023.
- [3]邢东旭,薛俊,高科利.某型飞机辅助动力装置起动故障浅析[J].航空维修与工程,2020,(05):88-89.
- [4]金冉.A320飞机辅助动力装置故障研究[J].山东工业技术,2016,(19):183-184.