

老龄化航空器维修适航符合性验证

张锋 聂航 魏彪

深圳航空有限责任公司西安分公司维修部, 中国·陕西 西安 710000

摘要: 随着国家民用航空器老龄化加重, 老龄化航空器的维修适航符合性验证成为保障航空安全的重要环节之一。本文结合老龄化航空器维修适航符合性验证的概念和意义, 分析当前验证工作中面临的问题, 结合适航法规的要求和实践, 探索如何在高强度使用下, 保障老龄化航空器的安全使用, 以及如何进行维护进行探讨, 为提升老龄化航空器维修适航提供理论参考和建议。

关键词: 老龄化航空器; 维修适航; 符合性验证

Aging Aircraft Maintenance Airworthiness Compliance Verification

Zhang Feng, Nie Hang, Wei Biao

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

Abstract: With the increasing aging of civil aviation aircraft in the country, the compliance verification of aging aircraft maintenance has become one of the critical links in ensuring aviation safety. This paper combines the concept and significance of aging aircraft maintenance compliance verification, analyzes the challenges currently faced in verification work, and explores how to ensure the safe operation of aging aircraft under high-intensity usage as well as the maintenance strategies. It provides theoretical references and recommendations for improving the maintenance compliance of aging aircraft.

Keywords: Aging aircraft; Maintenance airworthiness; Compliance verification

0 引言

随着社会经济的高速发展, 航空器的老龄化问题越来越严重。航空器老龄化通常指那些服役年限接近或超过设计预期寿命, 或飞行循环、飞行小时数达到临界值的航空器。老龄化航空器在长期运行过程中, 受环境、内部结构、系统磨损等问题影响, 其适航状态的不确定性明显增加, 而维修适航符合性验证作为确认航空器维修后符合适航标准的关键手段, 直接关系到航空器的运行安全和国家民航业的可持续发展。

1 老龄化航空器维修适航符合性验证的难题

1.1 机身结构磨损和腐蚀损伤

老龄化航空器的机身结构容易出现两种问题, 一种是金属疲劳产生的小裂纹, 另一种是环境腐蚀造成的损伤。这两类损伤都极为隐蔽, 还会互相影响, 难以通过常规检测手段识别出来。航空器结构在设计之初, 工程师通常以“安全寿命”思路, 认为结构在设计寿命内不会出现能检测到的裂纹, 但实际情况不是这样, 老龄化航空器的实际飞行环境往往比设计时了解的情况更为复杂, 如航空器经常飞沿海航线, 海洋性气候下的高湿度、高盐雾环境会加速机身蒙皮的腐蚀进程; 航空器频繁的起降循环, 导致起落架、机翼等部位的承受压力会远超设计预期^[1]。

在维修适航符合性验证中, 传统的目视检查法和普通

的超声波检测法, 存在检测有限的问题, 难以测量航空器内部的损伤程度, 看不到藏在机身深层的腐蚀。例如, 对于铝合金机身蒙皮的微裂纹, 常规超声波检测的分辨率难以识别小于 0.5mm 的裂纹, 但这种微裂纹在后续飞行中可能会加快损伤速度, 带来更大的风险问题。此外, 疲劳损伤与腐蚀损伤的相互影响, 会加速航空器结构性能的衰减。

1.2 系统性能衰减的符合性评估

老龄化航空器上的许多关键性系统, 如航电系统管导航通讯、动力系统管发动机推力、液压系统管起落架和机翼操作等, 在长期运行过程中存在部件老化、性能衰减的问题。与结构损伤不同, 系统性能衰减没有固定规律, 还会受很多因素影响, 其符合性验证很难通过单一的参数检测来实现。例如, 老龄航空器的发动机性能衰减的表现为推力下降、油耗增加, 但这一现象可能是因为压气机叶片磨损、燃烧室积碳、控制系统老化等多种因素导致的。

在平时的维修验证中, 如果只通过地面检测发动机的推力参数进行排查, 可能查不出问题, 无法全面呈现航空器在高空、高速等实际飞行情况下的性能情况; 同时, 一部分机载系统的老化属于“功能性退化”, 例如航电系统的信号传输延迟, 在常规检测中可能未超过安全值, 但在复杂的天气情况或高负荷运行场景下, 可能引发系统故障, 影响航空器飞行安全。此外, 很多老旧机型的机载系统已

经停产, 维修时只能采用替代的零部件, 但这些替代零件能不能和原来的系统匹配, 有没有统一的检查标准, 现在都没有明确说法, 这也是符合性验证的一大难题。

1.3 维修记录数据零散

适航符合性验证需要通过完整、准确的维修数据为依据, 这些记录包括飞机的设计资料、每次的维修记录、检测报告等, 但老龄化航空器的维修数据往往经历过多次转手、多次维修, 而且不同的维修单位记录的方式不一样, 导致维修历史数据缺失、混乱; 另一方面, 传统的纸质维修记录无法电子化, 难以实现数据的实时更新和共享, 维修人员在开展验证工作时, 无法快速获取航空器的全生命周期损伤数据和维修措施等信息, 只能凭借自身经验判断修得好不好, 大大降低了验证工作的准确性。

此外, 老龄化航空器的维修方案需要根据适航指令(AD)和服务通告(SB)进行调整, 但部分早期的适航指令技术要求与当前的适航标准存在差异, 无法整合不同时期的法规要求与维修数据, 不能形成统一的验证依据, 也是影响符合性验证效率的关键因素之一。

2 老龄化航空器维修适航符合性验证的技术与方法

2.1 损伤容限理论的结构符合性验证方法

针对机身结构的损伤问题, 损伤容限理论是解决老龄化航空器结构损伤验证的核心理论, 它的核心思想是承认航空器结构里可能存在小损伤, 通过精准检测找到这些损伤, 再分析它会不会变大、什么时候会影响安全等, 确定结构的剩余寿命。在维修适航符合性验证中, 根据损伤容限理论的方法, 具体分为以下步骤:

2.1.1 损伤检测

不能只靠目视检测法, 应采用数字化检测技术, 比如相控阵超声波检测, 可以调整探头的角度, 像“雷达扫描”一样查机身的每个角落, 连0.1毫米的微裂纹都能找出来; 红外热成像检测, 机身深层有腐蚀或裂纹的地方, 温度会和周围不一样, 用这个仪器一检测就能发现; 涡流阵列检测更适合检查金属表面的损伤, 速度快、灵敏度高。这几种方法结合起来, 对航空器关键结构部位进行全面检测, 能够精准识别各种损伤情况, 并检测损伤的尺寸、位置与扩展趋势。相较于传统检测技术, 数字化检测技术具有分辨率高、检测速度快、数据可追溯的优势, 可以实现对微小损伤的可视化分析。

2.1.2 剩余寿命评估

根据检测得到的损伤数据, 结合结构材料的疲劳裂纹扩展情况, 利用电脑分析软件建立结构损伤模型, 把损伤数据输入进去, 模拟不同飞行转态下损伤的情况, 计算结构材料的剩余寿命^[1]。例如, 针对波音737系列老龄航空器的机翼下翼面裂纹问题, 可以通过分析模拟裂纹在航空

器起降循环下的扩展路径, 确定裂纹扩展到危险尺寸的时间, 然后根据这个结果制定维修方案, 是把裂纹打磨掉, 还是用复合材料修补, 确保修完之后飞机还能安全飞行很久。

2.1.3 维修措施的符合性验证

在完成维修后, 再次通过数字化检测手段复查一遍, 确认损伤地方已经消除或控制在允许范围内, 并结合剩余寿命评估结果, 验证维修措施是否满足适航法规中关于结构强度与完整性的要求。同时, 还要对维修后的结构进行疲劳试验或加速老化试验, 比如把修过的机翼部位放在模拟起降压力的机器上, 反复压它一万次, 看看修过的地方会不会再出问题, 只有验证维修部位的耐久性, 确保其在后续使用阶段内不会再次出现超出安全值的损伤, 才能确定机身结构符合安全标准。

2.2 系统集成测试的性能符合性验证方法

针对老龄化航空器机载系统性能衰减的问题, 可以采用“部件—系统—整机”的三步测试法, 确保系统性能符合适航标准。

2.2.1 部件检测

对单个老化严重的零件进行性能测试, 比如导航传感器、液压泵, 看看参数是不是符合要求。对于停产零部件的替代品, 需要进行兼容性测试, 验证其与原系统的接口匹配性和功能一致性。比如某架老空客A320换了新的导航传感器, 就要在地面测试它的信号准不准、抗干扰能力强不强, 和原来的航电系统连在一起能不能正常工作, 确保信号不延迟、不出错。

2.2.2 系统级集成测试

单个零件没问题, 将维修后的机载系统进行组装, 模拟实际飞行状态的功能测试、性能测试、环境检测。比如测试发动机, 模拟高空低温的条件, 看看在不同推力下, 发动机的油耗、推力是不是达标; 测试液压系统, 模拟飞机起飞降落时的高负荷, 看看压力是否稳定、有没有漏油。这样能全面检查系统的性能, 及时发现隐藏的问题, 并且系统级集成测试需结合适航法规要求, 制定明确的测试依据, 确保测试结果能够追溯。

2.2.3 整机试飞验证

对于维修后的老龄化航空器, 如果飞机修的是发动机、机翼这种关键部位, 光地面测试还不够, 需开展整机试飞验证, 在实际飞行状态下评估航空器的适航状态。试飞验证的内容包括飞行性能、操纵性与稳定性、系统功能可靠性等, 测试航空器的起飞滑跑距离、爬升率、巡航速度等, 试飞数据需要和航空器出厂时的数据和同型号新机的试飞数据进行对比, 验证维修后的航空器性能是否符合适航标准。比如某航空公司给一架飞了22年的麦道MD-82换了发动机, 试飞后的数据显示, 推力和油耗都

符合标准,这才算系统验证通过。

2.3 终身数据的验证管理方法

要解决维修记录杂乱的问题,最好的办法是给每架飞机建一个全生命周期数据平台,简单来说就是给飞机弄个“电子身份证”,把它从出厂到退役的所有数据都存进去,实现维修数据的整合、分析和应用。

2.3.1 全生命周期数据平台建设

利用物联网、大数据、区块链等技术,构建航空器全生命周期数据的管理平台,整合航空器的设计数据、生产数据、运行数据、维修数据、检测数据等信息^[1]。在飞机的关键部位装传感器,比如机身、发动机、起落架,实时采集飞行时的压力、温度、零件磨损数据,自动传到平台上。同时,用区块链技术存维修记录,这样的数据不会被篡改,谁都能查,也能保证真实可靠。

2.3.2 数据分析验证

根据大数据分析技术,对航空器全生命周期数据进行整合,建立适航状态评估模型,就能找到飞机的“毛病规律”。比如分析某机型的历史数据与故障数据,发现飞沿海航线的飞机机身腐蚀更快,就能提前制定防腐维修计划,不用等飞机出故障再修;通过对结构损伤数据与飞行状态数据的分析,预测损伤扩展趋势,制定个性化的维修计划。

2.3.3 数字化验证流程

将适航法规要求与验证流程输入数据管理平台,平台能自动对比维修措施和标准要求,自动生成验证报告。还可以用数字孪生技术,在电脑上建一个和真实飞机一模一样的虚拟模型,模拟维修后的飞机飞行状态,提前发现潜在风险。这样一来,验证工作就不用靠人工翻阅记录,效率和准确性都得到了大大提高。

3 老龄化航空器的维护

3.1 优化维护方案

航空器的维护方案是所有工作的依据,为航空器保持可靠性能力提供了前提。随着航空器老龄化问题出现,维修方案也应该根据航空器的情况进行调整和修改,加入更多检查项目,来保证航空器的安全飞行。检查项目应增加日常定期检查没有涉及的结构件上,例如起落架的安全座椅、驾驶杆组件、方向舵脚蹬等。国家应从维修立法出手,对其进行修订,来保证对老龄化航空器的维护情况。

3.2 加强维护过程

对航空器进行维护,延缓航空器老龄化问题,如在航空器飞行后,及时清理航空器,确保其没有腐蚀物质残留,避免环境腐蚀情况加重。振动区域的磨损不可避免,应该

在问题出现之初,及时进行修补和补漆,避免其继续磨损加重。维护人员应该对航空器的维护进行严格执行和检查,确保维修方案的有效执行。

3.3 完善维护手段

国家飞速发展,航空制造技术不断进步,维护和修理技术也在不断完善,在保证维护质量的前提下引进先进的设备,可以极大的节省成本和人力财力,帮助维护人员更好的进行维护工作,解决老龄化航空器人力无法发现的隐患问题。但因为消息迟滞和维修理念的因素,新技术和新理念在航空领域迟迟没有推行完善,这需要国家、企业以及每个人都要改进和努力,引入新维护方式,完善维护手段。

4 结语

老龄化航空器的维修适航符合性验证,是保障航空安全的重要环节,核心就是解决三个问题:结构损伤、系统性能、维修记录。用精准的数字化检测技术,能搞定结构损伤的问题;用“部件—系统—整机”的三步测试法,能确保系统性能达标;用全生命周期数据平台,能让维修记录清晰明了,有效提升验证工作的科学性 with 准确性。随着人工智能、数字孪生技术的发展,航空器的维修验证会变得更智能化、个性化、全周期化。比如可以在电脑上建一个飞机的虚拟模型,实时监测航空器的飞行状态,提前预测哪里会出问题;用 AI 算法自动分析检测数据,制定个性化的维修方案,将进一步提升老龄化航空器的持续适航管理水平,为全球民航业的安全可持续发展提供有力保障。民航业的发展离不开安全保障体系的支撑,面对日益严重的老龄化航空器趋势,国家需要加强适航法规的建设、技术创新与管理优化,不断完善老龄化航空器维修适航符合性验证体系,为国家民航业的安全、可持续发展提供保障。

参考文献:

- [1] 苟江,周彬. 老龄化通用航空器维护技术探讨 [J]. 航空维修与工程, 2019,(01):66-68.DOI:10.19302/j.cnki.1672-0989.2019.01.022.
- [2] 田斐斐,张艳利,匡巧玲. 通用航空维修工程与工程管理 [J]. 设备管理与维修, 2018, (10): 25-27. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2018.05D.14.
- [3] 陈磊. 飞机系统老龄化评估研究[D]. 中国民航大学, 2009.

作者简介:张锋(1990.03-),男,陕西渭南人,汉族,本科,助理工程师,研究方向:从事民用航空器维修与适航研究。