

老龄飞机维修经验对我国民机研制生产的借鉴

Learning Experience of Aging Aircraft Maintenance for Civil Aviation Designing and Manufacturing

南方航空沈阳飞机维修基地 董宇



董宇

航空工程硕士,南方航空沈阳飞机维修基地大修部经理,资深工程师,从事飞机航线、大修以及工程技术管理和生产管理等工作 16 年;研究方向为飞机维修工程技术(主要是系统方面)和大修生产管理。目前正在研究“飞机维修生产计划的制定及其优化的研究”这一课题。

自 1988 年美国 ALOHA 航空的波音 737-200 型飞机起飞后机身蒙皮撕裂并脱落的严重飞行事故后,老龄飞机问题成为世界民航业的研究热点。截至 2010 年底,国内机队 15 年以上的老龄飞机已经达到 110 架,10~15 年的飞机有 224 架,未来 5 年

国内民机工业还没有面临老龄飞机维修和管理的困难,但随着中国航空事业的快速发展以及飞机设计和制造的现实需要,为了确保老龄飞机的持续适航性和运行安全,我国民机研制和生产应借鉴民航老龄飞机的维修经验,更好地发展国产大飞机项目。

这些飞机将逐步进入老龄。

老龄飞机维护中出现的问题

目前,国际上通常把在役日历时间达到 14 年或以上的民用航空器定义为老龄飞机。民用航空器通常在使用到老龄以后可靠性水平下降,航班正常性和可用率降低,故障率上升,为保证飞机正常可靠运行,相关维修成本和投入增多。

老龄飞机会出现一些具体问题:航空器及其系统、零部件的性能发生较为明显的衰退;零部件开始出现老化问题;电气线路的绝缘老化,容易发生短路、打火等问题;橡胶封严的密封性变差;机械附件的磨损进一步加重。南航的麦道系列飞机在 12C 的大修中经常发现各操作舵面连接部位的接耳或轴承磨损过度或损坏,尤其是升降舵以及随动片等部

位。发动机区域的导线或管路由于高热和高振等原因发生老化等。例如在南航的 A300 飞机的发动机维护中经常发现,其发动机 EGT 导线与热电偶的连接处经常阻值不够、接线片烧蚀等问题引起飞机运行时出现故障。如果不及时发现这些问题并采取措施,将产生非常严重的后果。

结构方面的问题变得更为普遍和突出,腐蚀、疲劳、应力、裂纹等原因导致材料的性能下降,包括材料的强度、耐压、抗拉性能等;在南航和海航老龄飞机的维护中腐蚀问题最突出,尤其是在货舱下部或客舱的潮湿区域等,另外客舱座椅安装导轨和地板梁,机身框架与蒙皮内侧以及桁条与隔热棉接触区域、机翼大梁的前后结合面、大梁的腹板结合面以及蒙皮与桁条的结合面等部位都是腐蚀多发区。疲劳或应力裂纹这些问题

在机龄 15 年以上的飞机维护中也是经常遇到的。例如南航 A300 机型由于是宽体飞机,蒙皮较厚,经常在外蒙皮的铆钉连接处发现萌生的裂纹;而 MD90 飞机是窄体飞机,蒙皮较薄,经常在内蒙皮的铆钉孔、蒙皮板的结合面等隐蔽部位发生裂纹,这些问题的发现一般是在大修过程中拆卸了所有外部附件或客舱装饰板和隔离棉后才能发现。在飞机主要承力部件上发现的裂纹较少,但对空客早期设计的 A300 飞机在 30000 飞行小时后,经过探伤检查经常发现机身 39 和 47 号框,以及起落架与机身结构连接的 5 号肋高锁钉孔处存在裂纹。

另外,由于系统、零部件的可靠性下降,系统、零部件的故障明显增多。飞机老龄后出现的故障类型也与新飞机有所不同,很多故障是部件和系统多处老化和性能衰减累积的结果,这样故障排除的难度大大增加。例如在排除某老龄飞机襟缝翼不协调故障时,测量了 6 个襟翼位置传感器,发现 3 个出现偏差,调节后故障依旧;又更换了 3 个内漏的襟翼作动筒后,故障依旧,最后检查发现相关的 8 条钢索过松,重新调节后故障排除。同样现象的故障对于新飞机来说一般是由 1 个原因引发的,但老龄飞机的问题往往是多方面的累加。

老龄飞机维修经验借鉴和自我探索

1 设计服务目标(DSO)的选择

设计服务目标是指飞机的主要结构在设计使用目标时间内不会出现疲劳裂纹。我国民航在飞机设计时应考虑用户的需求,将结构维修成本降至最低限度,使主要结构设计在 DSO 之内、在可靠度和置信度内不出现疲劳裂纹。尤其是对老龄化比较敏感的部附件和结构,要充分考虑静强度、刚度/颤振、耐久性(疲劳、腐蚀)、破损安全、损伤容限、适坠性、生

产性、维修性(可修复和可检性)等因素,如果我国民航在研制和生产中提炼、分析和比较国外的多种设计方法、程序及其误差,采用与波音公司 DSO 设计较相近的理念制定耐久性、损伤容限和腐蚀防护设计标准,将更有利于老龄飞机维护和降低使用成本。

2 完善飞机维修大纲

制定维修大纲时也要充分考虑飞机老龄后的影响因素。当前国外飞机 MPD 中对电气系统的导线、部件的绝缘层老化、连接点的烧蚀和腐蚀检查要求比较宽泛,往往是故障发生以后才能发现问题;对操纵系统各舵面铰接点和钢索的润滑和检查要求也较以往的 MSG-2 方案少,但从南航 MD90 机队使用 15 年以上的飞机大修经验上看效果并不好。例如,MD82 方案要求在大修中吊装方向舵、升降舵和副翼等主要舵面进行检查,结果发现大量轴承磨损和部件结构损伤;但 MD90 飞机维修大纲采用 MSG-3 后对这些部位只进行不离位检查,结果大量问题不能被发现,最终在修后几年内陆续发生问题,相关舵面的损伤部件还是要停厂吊装更换。所以,我国民航在制定飞行操纵系统重要部件的维护要求时也应考虑这些经验,不能因为 MSG-3 比 MSG-2 先进就全盘采用,对于特殊位置和部件应特殊对待。另外,对老龄飞机航线维修应有相关要求,可适当增加维护内容和维修深度。从目前国内的经验上看,对座舱增压系统、大气数据系统、近地警告系统、气象雷达系统、登机门、勤务门警告系统、起落架电气导线等应增加检查,另外要对日利用率和放行制定相关限制条件等。

机群中使用时间最长或飞行循环次数最多的飞机达到设计使用目标的 1/2 时,制造厂要制定补充结构检查大纲(SSID)。根据国外老龄飞机的情况,对一般区域的结构项目应

有明确的检查要求,给出可能产生疲劳裂纹的具体部位,检查方法、检查门限值和重复检查周期以及抽样检查要求;对重要结构部件要按损伤容限值(DTR)确定检查周期和方法,由 TC 持有人给出每项结构项目 DTR 检查表和额定值,营运人自己选择检查方法和间隔;对工龄探索等项目要将附加结构检查要求作为维修大纲的补充维修项目,统一列入 MRB 报告的结构检查大纲中。

飞机的腐蚀防护和控制方案最好整合到维修方案中,这个方案要明确腐蚀等级的定义、基本方案(检查内容、执行时间、检查间隔)、报告要求等。如果方案的执行时限和间隔是日历时间,应根据需要用飞行小时或循环进行折算,制定检查时限的标准。从我国维护老龄飞机的实际情况来看,腐蚀防护和控制(Corrosion Prevention and Control Program,CPCP)方案在近些年飞机出现大量腐蚀问题后才开始受到重视。通常在维护中发现龙骨梁、厨房、厕所和大翼油箱等是腐蚀多发区。另外,货舱区域由于大量运输海鲜,在桁条和蒙皮的结合处极易出现化学腐蚀。由于国内老龄飞机维修经验较少,往往照搬国外制定的方案,没有注意这些区域,检查间隔过长,出现腐蚀后不能及时处理,造成二级腐蚀损伤。例如原北航的 MD82 飞机在机身长桁与蒙皮之间没有施加结合面密封和填角密封,造成长桁和蒙皮多次发生严重腐蚀。我国民航在设计和制造上也应考虑像结构结合面和填角部位的密封等细节问题。

3 应用加强区域分析程序 EZAP 和广布疲劳损伤 WFD 研究

目前老龄飞机在维护中普遍面临导线老化和磨损等问题,在 A300 和 MD 系列飞机的大修中经常出现,检查难度大,发生故障后也不容易排除。例如,1 根导线出现问题要更换整个线束;线束的布局问题造成导

线与周围结构干涉磨损,导线与接线片之间烧蚀等。所以我国民机在设计 and 制造时应充分考虑飞机老龄后的维护问题,当前国际比较流行加强区域分析程序,侧重飞机的导线系统设计和维护,即在给定的飞机区域内明确所有系统、结构、部件和任何已经或可能存在的可燃物质(如油气,灰尘,布屑,污染等);确定该区域是否同时存在导线和易燃物质;如果该区域同时存在导线和易燃物质,将制定维护任务以清除或减少该区域易燃物的积存并对该区域进行重复检查。厂家根据这类区域导线的类型、尺寸和密度以及火灾潜在性、环境影响及意外损伤的可能性,明确维修任务、间隔和检查级别。通过这些分析程序的应用可以提高电气系统的设计和维修标准、明确施工标准并确定部件腐蚀的可接受标准。

老龄飞机维修经常面临的另一个难点是结构中存在的广布疲劳损伤,特征是飞机的多个部位或构件上同时存在多个疲劳裂纹损伤。这些裂纹一旦发生聚合和连通,结构剩余强度就会急剧降低,直接影响到飞机的安全性和可靠性。原北航 MD82 飞机也曾出现过机身蒙皮搭接处的铆钉孔萌生许多小裂纹,由于检查和修理及时才没有造成后果。根据南航历年大修工作经验,飞机蒙皮的纵向和周向连接、桁条与隔框连接、机翼与机身连接、机身隔框和后增压框等部位容易出现广布疲劳损伤。对裂纹的萌生,空客使用蒙特卡洛这种统计试验的方法来模拟;对剩余强度这样的结构设计参数,FAA 主要是应用有限元分析、塑性区接触、裂纹尖端张角和 T^* 积分等评估方法。虽然目前波音等制造厂还没有发布 WFD 方案,但我国民机研制部门应在飞机设计和制造的开始阶段关注广布疲劳损伤并对上述重点区域采取预防措施。

4 建立完善的服务通告体系

56 航空制造技术·2011年第18期

随着维护经验增加和设计水平的改进,飞机制造厂在改进制造生产线的同时,也应发布服务通告等技术性文件(如 SB、SIL、AOL 等)及时向飞机营运人提供所制造飞机的改进方法和改装方案。对这类技术文件的要求,航空公司可以从运行安全和运营成本的角度决定是否采用,当然适航当局强制要求的项目必须执行。另外飞机在使用后经过重要改装和重大结构修理后相关构型也会有所变化,制造厂应及时更新信息。老龄飞机的维修要靠大量的工程技术信息的支持,波音和空客公司的相关体系和服务比较完备,能够及时向飞机营运人提供相关信息的支援,使老龄飞机在运行过程避免了许多问题的发生。我国民机发展的时间较短,这方面的工作相对滞后,所以应在项目的开始阶段就应开展相关工作。

5 机身增压边界结构修理评估方案 RAP 和机群数据体系

当前国外飞机制造厂非常关注飞机机身增压边界的结构修理,对以前设计使用的机型都要求在设定使用循环后建立相关评估,这对老龄飞机的使用和安全运行至关重要。美国联邦条例规定,对于 A300、波音 737、波音 747 和 MD80 等型飞机,当飞行循环数超过规定的飞行循环数后,飞机维修方案中必须包括机身增压边界结构修理技术要求评估细则,否则持照营运人不能使用这些飞机进行营运。例如,MD80 和波音 737 系列都是 60000 循环要建立评估。其实这种评估方案也是在国外大量老龄飞机因为以前的结构修理对现在使用的航空器的结构完整性产生影响后才逐步推出的,相当于事后补救措施。由于以往老龄飞机的结构维修大多没有记录或记录不全,而机身增压边界结构的损伤容限可能会因为以前某个修理而降低,所以老龄飞机在规定使用时间后必须按厂家指南提供的评估程序确定对这些

区域的修理是否需要制定附加检查;当结构维修或检查间隔变更时,营运人必须评估这些改变对修理评估的影响。我国的老龄飞机目前还没有使用这么长时间,相关的经验几乎没有,但国外已经有了一些老旧机型的评估指南,这对我国民机研制和生产会有所帮助,应提前考虑考虑飞机使用到老龄后的相关问题,建立结构修理档案并强制性要求营运人在进行机身增压边界结构修理时上报方案,否则不予批准。

老龄飞机结构问题大都与历史维护不规范或历史运营中故障修理有关,并因此导致了多项重要的结构修理。飞机制造厂应建立完善的机群信息系统,为航空营运人提供能够分析预测老龄飞机损伤规律的数字化信息平台,以便有效监控老龄飞机健康状况、分析研究损伤原因并采取有效的预防和控制措施。这些信息应包括机队腐蚀损伤、疲劳损伤、结构损伤及修理信息的收集、评估、损伤规律预测及预警。这样就能有效地阻止、延缓航空器在进入老龄后常发问题的出现,确保航空器能够处于良好的技术状态。由于我国民用飞机的制造和使用经验较少,可以通过加深与波音和空客等飞机制造厂家合作,借鉴他们的已有数据来评估,制定科学有效的飞机维修文件体系。所以在设计制造的同时应着手建立本国航空工业的机群调查体系,以便国产民机运行后相关数据的收集和分析改进。

结束语

国内民机工业还没有面临老龄飞机维修和管理的困难,但随着中国航空事业的快速发展以及飞机设计和制造的现实需要,为了确保老龄飞机的持续适航性和运行安全,我国民机研制和生产应借鉴民航老龄飞机的维修经验,更好地发展国产大飞机项目。
(责编 良辰)