

某型民用飞机试飞现状及思考

Status and Consideration of Flight Test for the Certain Civil Aircraft

李娟妮¹ 张超² / Li Juanni¹ Zhang Chao²

(1. 中国飞行试验研究院, 西安 710089; 2. 中国商飞试飞中心, 上海 200232)

(1. Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China; 2. COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

国内某型民用飞机是我国第一架完全具有自主知识产权的运输类飞机,并且首次按照CCAR25部进行适航审定的试飞。对该型民用飞机的试飞状况、试飞中存在问题及改进措施进行了详细介绍,并对今后试飞工作提出了建议及思考,以对未来其他民用飞机试飞工作提供参考。

关键词:民用飞机;飞行试验;适航

[Abstract] Civil aircraft is the Chinese first self-owned intellectual property transport aircraft which is certificated fully based on CCAR25 for the first time. In this paper, the status of flight test, the problem in the flight and improvement measures are described. Some advice and consideration of flight test is presented in order to provide a reference for other civil aircraft flight test in the future.

[Key words] Civil Aircraft; Flight Test; Airworthiness

0 引言

飞行试验在飞机研制过程中处于一个十分重要的环节,是对飞机在真实环境下性能及系统功能的验证,也是对飞机设计的进一步完善。民用飞机的飞行试验,是用适航规章验证民用航空器是否具有最低安全标准,是否具有投入商业运营资格。波音787飞机,由于飞行试验过程中部分问题未暴露出,在刚刚投入市场运营一周后问题连发,相继发生了起火、漏油和玻璃裂纹等故障,随后不得不停止运营,对部分系统重新进行验证。因此,民用飞机的试飞重点是飞机的安全性、经济性^[1],要求其必须严格按照适航管理的标准进行审定试飞,以保证民用航空器安全,维护公众利益^[2]。

1 试飞中存在的问题

作为我国第一架完全具有自主知识产权的某型民用客机,首次同时按照《中国民用航空条例》CCAR25部和美国的《联邦航空条例》FAR进行适航审定试飞。与国内外其他民机试飞一样,该型民用客机的飞行试验需要面对高标准适航要求、短周期试飞要求、高难试飞技术、多复杂试飞科目、多场

地试飞等问题。目前该型民用飞机的试飞现状及存在问题主要为以下几点。

1.1 短试飞周期与多试飞工作量的矛盾

由于民用飞机市场经济的特点,民用飞机的飞行试验客观上是不允许试飞周期太长的,如果试飞任务不能够按照项目计划顺利完成,就会直接影响飞机的取证基础和交付进度,给制造商和客户造成不同程度的经济损失。国外民用飞机从首飞至取证周期一般约为10~18个月,累计飞行时间一般为1600~2000个小时。法国空客公司A380飞机试飞周期为1年半。

根据民机的研制规律,民用飞机的飞行试验必须经过飞机制造商的研制试飞和适航当局的合格审定试飞两个阶段^[3]。研制试飞主要是对飞机飞行品质及系统进行检查,并对飞行暴露出的问题进行排除,使得飞机整体及其系统不断完善,达到设计规范的要求。民用飞机完成研制试飞后获取型号检查核准书(TIA),就开始正式进入合格审定试飞阶段。合格审定试飞是申请人在适航当局的监控下按照适航审定程序及适航规章对试飞大纲中的试飞科目进行适航验证试飞,必要时局方会指派自己的飞行员对试飞内容进行选择性的验证飞行。

某型民用支线客机从首飞至完成研制试飞的整个过程中,在此阶段充分检查和暴露了飞机部分系统问题,经过系统调参及排故试飞,很好地完善了飞机系统功能。虽然部分科目的研制试飞远远超出了前期预期的工作量,但是为后续合格审定试飞奠定了坚实基础。在合格审定试飞阶段,要求根据试飞大纲的内容进行适航验证试飞。该型民用飞机共计 30 多份试飞大纲,涉及 292 个试飞科目,具体试飞内容包括:飞机性能操稳、起落架系统、动力装置系统、APU 系统、防火系统、燃油系统、空调系统、自动飞行系统、导航系统、通信系统、功能可靠性试飞等。其中很多试飞科目,如飞机性能、操稳等要求在规定的不同构型下、不同飞机重量以及最不利重心下进行试飞。还有一些试飞科目需要进行不同场地的跨区域、跨时间飞行验证,如空调系统试飞,必须进行常温天试飞(试验要求温度在 15℃~25℃)、高温高湿试飞(试验要求温度 $\geq 40^{\circ}\text{C}$)、高寒试飞(试验要求温度 $\leq -40^{\circ}\text{C}$),自然结冰试飞要求的最大连续结冰和最大间断结冰。这些特殊的自然气象,很难及时预测,即使试验中遇到一些特殊气象,又不一定能够满足试验要求,可能需要重复进行多次,才能完成试验任务。这种过多的外场试飞对整个试飞资源的合理分配本就是一种挑战,同时增加了试飞工作的复杂性。

为确保该民用飞机满足适航条款要求,在该型民机合格审定试飞中,局方在该型机上选取了除少数试飞科目由局方和申请人飞行员共同进行验证试飞,其它大部分试飞科目要求先完成申请人表明符合性试飞后,再进行局方验证试飞,也就是说这一部分试飞科目必须经过申请人表明符合性试飞和局方试飞,才算完成。甚至有些试飞科目在进行申请人表明符合性试飞前,还必须先完成必要的研制试飞。试飞任务量的翻番,无疑延长了试飞周期。

复杂且过多的任务量与研制周期尽可能短的要求相矛盾,使得项目进度存在较大风险。

1.2 民机试飞验证技术及管理经验不足与适航高标准之间的矛盾

适航验证是民机试飞中一项重要的内容,它是以保证民用航空器的安全为目标的技术管理,是民航管理者在制定各种最低安全标准的基础上,对民用航空器验证飞行中进行的管理和监督,是民机研制过程必须遵循的法律^[4]。目前国际上民机验证试飞主要采用的适航条例是美国联邦航空条例

FAR、欧洲联合适航性要求 JAR 等。我国采用的适航条例是由中国民用航空总局颁发的 CCAR25 部,该条例经过不断的修订完善,现行的有效版本与美国联邦航空局颁发的 FAR25 部基本等同并做到基本同步修订。

我国的航空工业已经经过了几十年的发展和建设,特别是在军用飞机的发展上,具备较强的试飞能力,在飞行技术、试验方法等方面有着丰富的经验,但民用飞机的飞行试验开展较晚,特别是对于民用飞机的适航验证技术和适航管理的研究工作才刚刚开始,民机试飞的相关管理条例及程序还在完善中,适航理念在试飞工作的各个环节还未得到很好的体现。

在该型民用客机的适航验证试飞中,由于申请人和局方对适航条例有着不同的理解。因此,需要花大量时间在适航验证技术和适航管理上进行申请人与局方的协调、沟通。例如在该型民用支线客机试飞大纲的编制中,申请人与局方就试飞大纲的格式及内容协调了较长时间。同时作为该型民用客机在适航验证试飞过程中的支撑性文件试飞大纲,还在随着局方对适航条例的深入性理解,不断地进行修改、完善。

美国联邦航空局是通过“咨询通报”(AC)来指导民机研制、试飞单位满足适航要求。该型民机的大部分验证试飞技术是以美国联邦航空局(FAA)发布的 AC25-7《运输类飞机合格审定飞行试验指南》作为技术指导,它所提供的方法是合格审定试飞的常规方法,不具有强制性。但还有一部分试飞科目,如起落架摆振试飞、燃油结冰试飞、溅水试验等试飞科目,其相应的飞行验证技术还无法通过 AC 具体实施,需进行自主研发。虽然 FAA 鼓励申请人还可开发更为有效的和成本低廉的验证方法,但这些技术本身在飞行验证中就很难实施,且目前在国内无任何经验可借鉴,需进行自主研发,存在一定的技术风险。

1.3 飞机技术状态构型逐步到位与试飞科目要求紧迫进行的矛盾

在民机试飞过程中,最为突出的一个问题是,飞机技术状态很难一步到位,是一个逐步完善的过程。飞行工作常常只能是飞飞停停,很难突破持续的飞行状态。飞机技术状态不到位时,试飞经常是面对“等米下锅”,飞机技术状态满足试飞科目要求时,又必须“下锅即熟”。这种试飞状态,对现场人力、物力等资源的保障和调整是极大的考验,试飞

团队需要适应这种变化和调整。

1.4 试飞测量参数要求多与测量系统资源有限的矛盾

试飞科目多,相应的测量参数也就多,该型民用飞机测量参数达到5万多。一些特殊试飞科目,如结构载荷试飞、电源系统试飞,还需要加装专用的测试系统进行参数测量。目前国内民机试飞用的测量系统,均采用国际先进测量设备,在测量精度、测量范围等方面均可满足试飞测试要求。测量的参数越多,对于解决现场试飞中出现的各种突发故障的分析就越有利。

再好的系统都有它的局限性,飞机的测试系统一样有限。随着试飞工作的不断深入,各个系统对于测试参数的需求“只增不减”。而所有的测量设备需通过机上改装来实施,改装工作过多后,势必会对飞机的构型产生一定影响,并且飞机自身结构系统对于设备的加装也是有限的。

2 民机试飞的初步探索

民机试飞中的各种困难和不完善是民机试飞技术发展中要面对的一个必然过程,特别是在中国民机试飞道路上,需要通过不断的学习,建立适用于其民用飞机飞行试验发展的思路。笔者通过长期的试飞摸索,结合该型民用飞机自身特点和面对的问题,在该型机的试飞中做了以下尝试。

2.1 对试验机进行科学、合理的任务分工

为缩短研制周期,加快项目进度,必须投入一定数量的飞机供项目试飞用。一般四架以上试验机将更有利于合理安排试飞任务,国外民机试飞一般投入5~6架飞机。如果客观条件不满足,则需根据现有的试验机数量、试飞工作量、试飞科目要求等,对试验机进行科学、合理的试飞任务(试飞科目、测试改装)分工,也可以有效地缩短试飞周期,避免因试飞科目、飞机构型之间的制约导致试飞工作难以开展。对于该型民用飞机共投入4架试验机进行飞行试验。项目工作组根据试飞内容,对试验机进行了科学分工。第一架试验机主要以验证飞机性能操稳品质为主,第二架试验机主要以验证动力装置系统及结构载荷系统试飞为主,第三架试验机主要以验证飞机航电系统、空调系统为主,第四架试验机主要验证机头改后的性能补充试飞为主,后期试飞证明该试验机的试验任务分工是合理的。

机进行了科学分工。第一架试验机主要以验证飞机性能操稳品质为主,第二架试验机主要以验证动力装置系统及结构载荷系统试飞为主,第三架试验机主要以验证飞机航电系统、空调系统为主,第四架试验机主要验证机头改后的性能补充试飞为主,后期试飞证明该试验机的试验任务分工是合理的。

2.2 通过项目计划拉动项目进度

严谨、科学、逻辑性强的试飞计划是主导并推动整个项目前进的基石。在试飞计划的编制上,首先通过明确一级试飞计划,确定项目工作节点,再通过编制二、三级试飞计划,进行项目工作分系统的任务、资源详细分解及实施,确保项目计划按期完成。试飞科目计划安排中考虑其他相关试飞科目的制约、构型变化、系统软硬件升级等因素,进行动态管理、提前预警,确保项目工作大节点。

2.3 改进试飞方法,提高试飞效率

如此复杂的飞行试验,不仅需要科学合理的计划管控,同时也需要先进的飞行方法和技术作为支持,以提高试飞效率、缩短试飞周期。在该型民用飞机的试飞方法探索中,通过与国外先进机型的试飞方法比较研究,改变了原传统军机试飞中由易到难、由简到繁、先常规后风险的试飞方法。在该型民用飞机前期试飞中完成飞机及发动机性能平台检查后,就安排进行一些对后续全局试飞有重大影响的试飞科目,甚至是一些风险试飞,比如颤振试飞、失速速度试飞等。为后续试飞科目确立了试飞基准,确定了该型飞机最小和最大飞行极限包线,从而保证了飞机在此包线内的各种性能和飞行品质的试飞都是安全的。

2.4 积极主动与局方沟通,力求做到有问题早暴露早有对策

试飞项目组就试飞大纲、测试改装方案、试飞科目风险评估单等内容与局方进行积极沟通,并认真听取局方意见,不断完善试飞方法及试验程序。就试飞科目的审定程序,通过长期的协调,基本确定了试飞流程。如图1所示

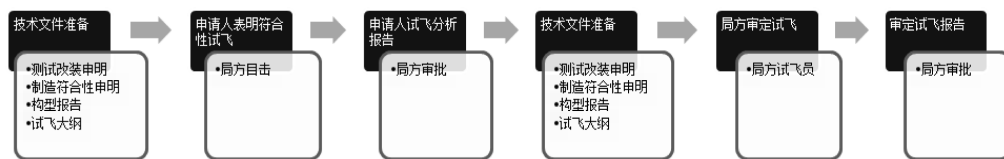


图1 试飞科目适航审定流程图

(下转第78页)

件下,是比较好的修补类密封胶,件号有 PR-1826、PR-1829、PR-2001、PR-2050 等。

6 结论

密封胶经过了几十年的发展,从最初用的 PS870、PS890,到现在的主流 PR1776,以及将来的 PR1782 等产品,其比重、固化速度、环保性能等都在不断地进行改进和发展。在飞机上执行部件修理、修补油箱等工作时,使用密封胶密封或防腐是必不可少的,只有了解密封胶的性质才能选择正确的密

(上接第 70 页)

3 思考及建议

3.1 加强项目团队管理,引进国外先进技术和管理经验

项目团队的管理能力直接影响到项目的成功与否。在项目团队建设中,组建精兵强将,以适航部门牵头、技术部门提供技术支持,按照各自的职责划分,制定必要的团队工作机制和工作模式,最大限度发挥团队管理优势。另外必须认识到国外民用飞机先进国家的飞行试验技术和管理经验,是值得学习的。通过国际合作,引进先进的设计技术,提高试验技术水平,同时选拔优秀的科技人员参加国际合作,充实科研队伍。但我们在走国际合作道路的同时,更要立足于自身基础之上,要借助自身条件和优势主动谋求发展。在该型民用飞机的试飞现场,很多国际一流的航空产品供应商如 GE、霍尼韦尔、汉胜、柯林斯等在现场派驻代表进行技术支持,这些公司有着先进试验技术手段和丰富经验。虽然绝大部分供应商会进行核心技术的保密,但通过现场的试飞参数测量方案及排故方法,包括管理方法,还是会给我们提供一些可借鉴的方法及思路,这就需要我们的技术人员善于思考、及时总结经验。

3.2 加强适航规章和条款的理解,针对疑难条款成立攻关团队

目前我国运输类飞机的适航标准中国民用航空规章第 25 部(CCAR25 部),可以说是以美国《联邦航空条例》为蓝本的翻译版。对于规章中条款的理解,还有待深入。国内的飞行试验方法指南主要是针对军机,对于民用飞机的适航审定试飞方法,仅依赖于 AC25-7 的指导方法,对于部分适航审定的规章标准,还很难用定量的方法对其进行评估,在使用这些方法和程序进行审定试飞时存在比较大的困难。主要原因还是缺乏与这些审定标准相匹配的指标、指导文件以及审定方法等。欧美国家的适航审定理念及其技术发展得比较快,相应的规

密封胶,只有采用合适的施工方式才能发挥密封胶应有的功能,从而在最大程度上保证飞机的安全性能。

参考文献:

- [1] Boeing 737 Aircraft Maintenance Manual AMM51-31-00 波音 737 飞机维护手册 AMM51-31-00.
- [2] Boeing Process Specification BAC5000 波音工艺规范 BAC5000.
- [3] SAE Aerospace Material Specification AMS-S-8802b 美国汽车工程师学会航空材料规范 AMS-S-8802b.

章比较完善,可通过各种渠道搜集国外先进民用飞机飞行试验标准,逐步健全和完善国内民用飞机的飞行试验体系标准。

成立适航条款专题研究组,掌握 FAA 的适航法律法规要求和相关技术标准,对疑难条款制定专项研究计划、课题攻关,通过邀请适航当局参加专题评审等,改进和提高我们自身对国内外适航法规学习、掌握和研究的程度。对试验中采用的先进性技术,用安全性分析、计算等证明等效符合适航审定的要求。

3.3 加强风险预案管理

从事任何项目都会存在一定的风险,在项目管理中做好合理的风险研究及分析,是制定风险防范措施和控制预案的关键,有了正确、科学的风险控制措施,才能确保项目顺利进行,万无一失。在民机试飞风险管控过程中,首先在项目实施方案制定初期,就需对试飞中存在的技术、进度、资金等风险进行详细分析,并针对具体风险类别进行团队职责划分,明确团队职责及风险预案措施;在项目推进过程中,逐步实施节点风险管控,抑制风险因素。

4 结论

国内民机型号的增多,民机试飞经验的不断积累,是保证今后民机试飞工作合理、有效、有序的开展重要前提,可以为今后民机试飞工作奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 陈晨. 民用飞机飞行试验标准现状及思考[J]. 航空标准化与质量, 2009, 5: 35-37.
- [2] 李勤红, 张克荣. 民机适航试飞技术的现状与发展[J]. 航空科学技术, 1998, 5: 12-16.
- [3] 王维翰. 民用飞机飞行试验特点[J]. 民用飞机设计与研究, 2006, 2: 1-10.
- [4] 郝莲. 民机研制适航取证总体技术方案探讨[J]. 航空制造技术, 2012, 22: 62-65.