

民用飞机燃油系统负加速度 试飞技术研究

Negative Acceleration Flight Test Technique Study for Civil Aircraft Fuel System

吕美茜¹ 魏锦洲¹ 刘宏亮² / Lv Meiqian¹ Wei Jinzhou¹ Liu Hongliang²

(1. 中国飞行试验研究院, 西安 710089;

2. 空军试飞团, 西安 710089)

(1. China Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China;

2. Flight Test Troop of China Air Force, Xi'an 710089, China)

摘要:

一个新型的民用飞机要投入航线使用,必须经过适航合格取证试飞,获得型号合格证、生产许可证和适航证,具备三证才允许走向市场^[1]。民用飞机适航取证试飞项目有许多,其中负加速度试飞是民用飞机燃油系统适航取证试验的重要验证项目。民用飞机负加速度试飞在国内尚属首次,具有对机组操纵技术要求高、风险难度大的特点。结合某型民机燃油系统合格审定试飞,研究了民用飞机负加速度的试飞技术,提出了用抛物线试飞方法来完成负加速度试飞任务。主要介绍了负加速度试飞中可能出现的问题、试飞前应准备的工作、试飞方法等,并对试验结果进行了分析。

关键词:负加速度;燃油系统;试飞方法

[Abstract] Before a new type of civil aircraft get into serves in its airline, it must firstly pass the airworthiness certification flight test, and get the type qualification certification, the production permission certification and airworthiness certification, and then, it is permitted to get into market^[1]. There are many different types of airworthiness certification flight test for civil aircraft, in which the Negative Acceleration test is an important one for civil aircraft fuel system airworthiness qualification test. The Negative Acceleration flight test for civil aircraft is the first time attempt in domestic aviation field, this test needs excellent pilot flight skill, and is very high in risk level. In this paper, based on one civil aircraft fuel system certification flight test results, the civil aircraft negative acceleration flight test technique is studied, the "parabolic curve" method is suggested in the flight test mission. The main purpose of the paper is to introduce the problems that will likely be met in negative acceleration flight test, preparation work before the flight test, flight test method, etc, and the test results are analyzed at last.

[Key words] Negative Acceleration; Fuel System; Flight Test Method

0 引言

飞机燃油系统是用于储存燃油,并保证在任何高度和飞行姿态下,均能够按发动机所要求的压力和流量向发动机持续不间断地供油。此外,燃油系统还可以实现冷却机上其它系统、平衡飞机、保持飞机重心于规定的范围内等附加功能^[2]。

负加速度试飞是一种复杂的、考核综合性强的

试飞项目,会对飞机飞行安全构成极大的威胁。对于民用飞机负加速度试飞,包括美国、欧洲、中国等许多国家都在适航规章中明确给出相关的要求,并在所有型号设计和试验中,都必须进行负加速度分析和试验,飞机必须设计成在飞行包线内作负加速度时,燃油系统、滑油系统、电源系统、动力装置及相关附件不出现任何故障。

某型飞机是我国具有完全自主知识产权的 70

~90座级的以涡扇发动机为动力的中短程新型涡扇支线飞机,属于CCAR25部的中型民用飞机,要取得中国民用航空总局颁发的型号合格证,按照CCAR25.943适航条款^[3],就必须对其负加速度进行分析与试验,以表明其满足适航要求。

对于民用飞机燃油系统的设计和合格审定试飞要求,中国民用航空规章和国外相关的咨询通报^[4]有明确的规定。无论是国外咨询通报还是国内民用飞机适航条例,都明确要求民用飞机燃油系统必须进行负加速度试飞,要求飞机燃油系统在负加速度条件下飞行时能够连续向发动机和辅助动力装置提供所需的压力和流量,不会导致发动机、辅助动力装置及与它们工作相关的部件或系统出现任何危险故障,不会引起发动机停车或其它持久故障,且负加速度飞行的持续时间要能代表预期的非正常使用状态,如大气造成的颠簸或预防空中相撞的机动等。因此,负加速试飞是飞机燃油系统试验的重要科目之一,在民用飞机燃油系统适航取证试飞中也是必不可少的试验项目之一。

所谓负加速度试飞是指飞机重心处的法向过载为 $0 \sim -1.0g$ 的试飞,即飞机失重飞行^[5-6],并要求发动机为最大连续状态,在每个试验条件下持续时间在 $0 \sim -1.0g$ 之间至少为7s,并且累计在负加速度条件下飞行时间总共不低于20s。

负加速度试飞是一个综合试飞科目。通过试飞,可以验证飞机燃油系统、滑油系统等工作可靠性,同时可以考核飞机动力装置和辅助动力系统的功能,也能对飞机的电源系统进行真实检查。

民用飞机负加速度试飞属I类风险试飞科目,且在我国是首次实施。鉴于该科目试飞的风险性,在制定试飞方案时必须充分考虑需考核的试飞科目。本文结合某型飞机的适航取证试飞探讨了民用飞机的负加速试飞技术。

1 飞机在负加速度状态下飞行时可能出现的问题

飞机在负加速度飞行时,飞机上的液体(如燃油、滑油等)会出现失重现象。液体失重是飞机、发动机可靠工作的巨大障碍,液体失重会造成泵吸不上油,大量气体进入管路的现象,致使油压下降、流量脉动。严重时会发生气蚀进而损坏供、输油泵,从而使飞机或发动机工作失常。

对于燃油系统来说,失重时油箱内燃油处于油

气混合、上下翻滚的状态,没有明显界面,因而泵吸不进油或只吸入少量油,从而导致油压下降,流量减少或不稳,严重时供油中断,造成发动机停车。

对于滑油系统而言,失重时,滑油同样会处于漂浮状态,出现气穴现象,导致泵吸不上油,滑油系统供油压力低甚至中断,造成发动机或者APU润滑系统短时失效,使发动机轴承得不到润滑而磨损、卡滞甚至物理损坏或失火等。

在进行负加速飞行时,飞行员也处于失重状态。失重时,头部微痛、耳内发胀,座舱内灰尘和其它活动物体均处于飘浮状态。严重时还可能出现空中晕厥。因此会给飞行员操纵带来一定的困难,负加速度飞行时间难以保持。

2 负加速度试飞前应准备的工作

民用飞机负加速度试飞是一个高风险科目,因此在试飞前应结合该科目试飞的风险点和技术难点做好充分的准备,一般应在以下几方面作好准备工作:

1)应进行相关的地面试验,如吸力供油试验、发动机空中起动、应急电源系统试验等,确保各系统正常工作;

2)试飞员应做好熟悉空中起动的操作程序、应急处理程序等;

3)对飞机、发动机、测试设备和试验改装等进行全面检查,确保飞机、发动机、机载测试系统处于良好状态,所有测试参数正确;

4)地勤人员应对飞机进行清理,清除多余物,固定可能松动的机载设备。

3 试飞方法

在进行负加速度试验时,应考虑发动机附件的状态、燃油/滑油的临界油面高度和加速度的测量位置,发动机考虑选用最大连续状态,在飞行包线内考虑以临界的负加速度飞行。

针对负加速度试飞方法有两种:

1)对于负加速度飞行时间较短的飞机,其方法是飞机在平飞中推杆以负加速度进入下滑或在爬升中推杆以负加速度改平;

2)对允许作较长时间的负加速度飞行的飞机,其方法是在选定的高度上作抛物线飞行,如图1所示,一般分四个阶段:即积累速度阶段(图1中1~2所示)、跃升阶段(图1中2~3所示)、进入和维持

阶段(图1中3~4~5所示)和恢复平飞阶段(图1中5~6~7所示)。

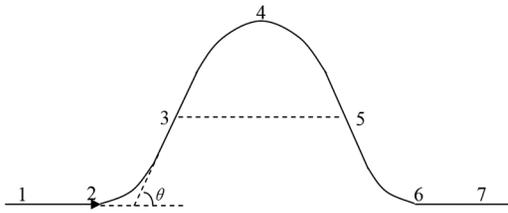


图1 抛物线飞行示意图

民用飞机燃油系统负加速度试飞时间一般要求一次维持7s以上,因此需选用抛物线试飞方法来完成负加速度试飞。该型飞机的负加速试飞是严格按照民用航空规章的规定执行,且在我国首次实施,无任何借鉴经验,因此具有较高的技术难度,具体的技术难点主要包括:

- 1) 如何确定跃升时进入速度和拉起的姿态角 θ 才能维持负加速度时间;
- 2) 跃升后何时推杆、选择多大推杆速率,才能使重心法向过载值在 $n_z = -1.0 \sim 0$ 范围内,且保持时间不少于7s。

4 试验结果及分析

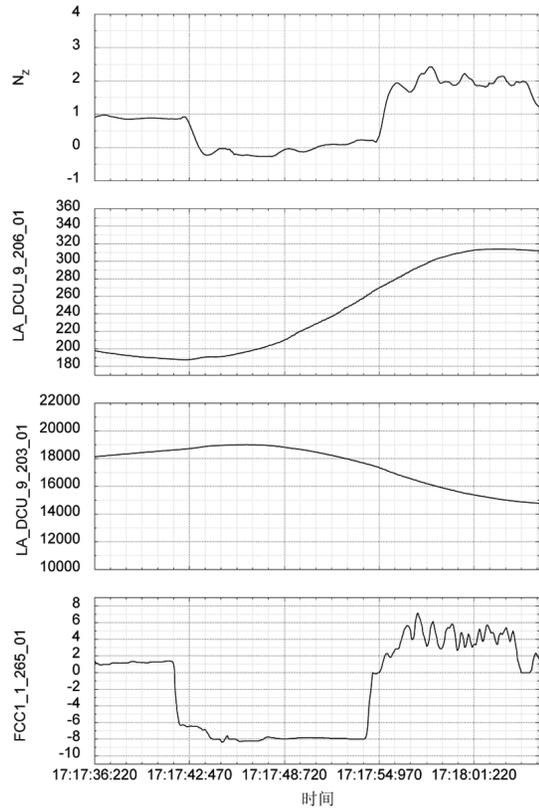
针对某型飞机负加速度试飞是首次进行,其进入速度、推杆速度、改出速度等参数都是未知的,试飞之前只能根据负加速飞行要求的时间,初步估算进入速度。按照估算的进入速度及结合以前军机零、负过载的试飞经验,编制试飞程序,试飞员再按照试飞程序进行试飞。

试飞前,滑油量为最小滑油量,油箱的燃油量为半油状态。

在某型飞机上共进行了三次负加速度试飞,每次负加速度试飞持续时间均超过7s,三次的法向负过载值均低于0。表1为三次负加速的飞行时间,图2为一次负加速度的试验结果,图3为三次负加速度飞行时推杆过程,图4为三次负加速度飞行时过载值。

表1 负加速度飞行时间表

| 次数 | 双发状态 | n_z | 负加速度飞行时间(s) | 备注 |
|-----|------|-----------|-------------|--------------|
| 第一次 | 最大连续 | 0 ~ -0.29 | 10.25 | 开飞前滑油量为5.9夸脱 |
| 第二次 | 最大连续 | 0 ~ -0.45 | 10.87 | |
| 第三次 | 最大连续 | 0 ~ -0.28 | 7.69 | |



注:FCC1_1_265_01为纵向杆位移;LA_DCU_9_203_01为飞行高度;LA_DCU_9_206_01为校准空速; N_z 为过载

图2 一次负加速度飞行时试验结果

由试验得知,三次负加速度时间均超过7s,负加速度累计时间超过20s,满足适航取证要求。通过对试验数据分析得出:

- 1) 某型飞机负加速度试飞的进入速度为240kn~250kn,即飞机在高度15000ft上,双发调整至最大连续状态,增速至240kn~250kn时,开始爬升。爬升过程中逐渐拉杆保持俯仰角 $17^\circ \sim 18^\circ$ 上升;

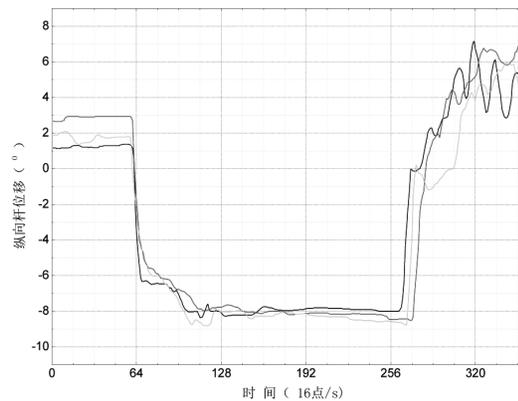


图3 三次负加速飞行时试飞员推杆过程

(下转第64页)

5 结论

通过上述几个部分的介绍,我们可以看出 CAE 技术在飞机地面设备不同设计阶段中的各种应用不仅是可行的、操作简便的,而且是相当必要的。CAE 技术的应用对在地面设备设计所带来的设计质量和设计效率的提高以及设计周期的缩短等方面也是显而易见的。目前,整个飞机设计行业都在向着设计更加智能化、自动化的方向快速发展,并且随着我国整个航空工业的发展,CAE 技术在地面设备设计中将发挥出更大的作用。

(上接第 14 页)

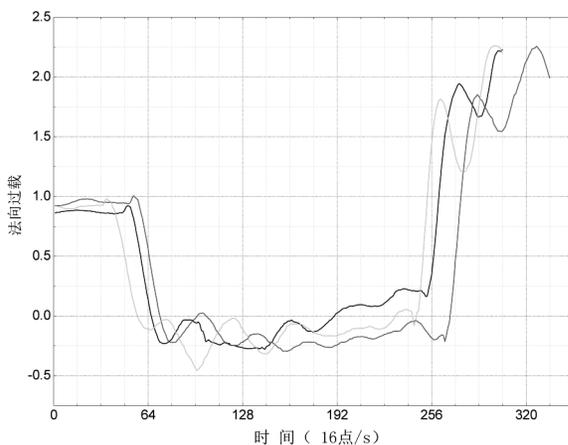


图 4 三次负加速飞行时过载值

2) 当速度减速至 190kn ~ 200kn 时,开始快速(1s 内)推杆,使纵向杆位移为 $-6^{\circ} \sim -6.5^{\circ}$,法向过载约为 -0.22 ,此时由于气动弹性影响使法向过载值都有一个向上的波动,并接近零或瞬时超过零,造成负过载时间不连续,给试验带来困难。因此,试飞员再推杆至 $-8^{\circ} \sim -8.5^{\circ}$,即可保持法向过载 $0 \sim -0.45$,负加速度时间在 7s 以上;

3) 当负加速度时间达到要求后,迅速拉杆(1s 内)退出,退出时其法向过载和校准空速应不大于规定值。退出时俯仰角约为 37° 。

4) 在三次负加速度飞行期间,由于飞机失重,滑油压力突然减小,随后缓慢降低,最小值为 1.5 夸脱。燃油处于一定的漂浮状态,故四个供油泵出口压力出现下降现象,发动机入口压力和 APU 入口压力也呈现缓慢下降趋势。四个供油泵出口压力的最下值分别是 $P_{fsol1} = 179.8\text{kPa}$, $P_{fsol2} = 187.7\text{kPa}$, $P_{fsor1} = 183.2\text{kPa}$, $P_{fsor2} = 183.4\text{kPa}$,左、右发动机入口油压的最小值分别是 $P_{f309l} = 31.7\text{Psig}$, $P_{f309r} = 31.4\text{Psig}$, APU 入口油压的

参考文献:

- [1] Institution of Mechanical of Engineers, Ground Support equipment in the 21st century, UK: Professional Engineering for the Institution of Mechanical Engineers, 2001
- [2] Institution of Mechanical of Engineers Aerospace Industries Division, Aviation Ground Support Equipment: meeting the needs of the future, UK: Professional Engineering for the Institution of Mechanical Engineers, 1999.
- [3] 李建雨. CAD/CAE/CAM 系统原理[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [4] 张洪武. 有限元分析与 CAE 技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

最小值 $P_{apu} = 224.8\text{kPa}$,且供给发动机和 APU 的燃油流量跟随性良好,满足发动机和 APU 的入口要求。

5 结论

负加速度试飞在我国是首次完成。为完成某型民用飞机燃油系统负加速度试飞任务,项目组查阅了大量的资料,分析了试飞中可能出现的问题,制定了相应的安全措施和试飞程序,圆满地完成了负加速度试飞任务。试飞结果证实,某型民用飞机的负加速度试飞是成功的,采用抛物线飞行方法是正确的,法向过载和负加速度飞行时间满足适航取证要求,同时验证了该机燃油、滑油、动力装置以及电源等系统的工作可靠性,满足验证条款和适航要求。这项任务的完成,填补了我国民用飞机负加速度试飞的技术空白,该项任务的完成为某型民用飞机燃油系统合格审定试飞奠定了基础,也为大飞机进行负加速度试飞任务积累了经验。

参考文献:

- [1] 浦传彬,张越梅. 军用飞机定型和民用飞机取证[J]. 航空工业论坛,2008.
- [2] 吕亚国. 飞机燃油系统计算研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.
- [3] CCAR25,中国民用航规章第 25 部—运输类飞机适航标准[S]. 中国民用航空总局,2011.
- [4] 运输类飞机合格审定飞行试验指南[Z]. 西安:中国飞行试验研究院,2003.
- [5] 吕美茜,韩斌,任伟. 失重试验飞机燃油系统的改装与试验[J]. 工程与试验,2011,51(1):13-16.
- [6] 李勤红,冯瑞娜,周晓飞. 小型通用民用飞机的失速试飞研究[J]. 飞行力学,2005,23(3):75-78.