

大型客机一体化试飞改装设计方法研究

Research on Design Method Of Large Civil Aircraft Integrated Flight Test Modification and Installation

杨春霞 / Yang Chunxia

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

研究了大型客机试飞改装的要求和特点,提出了一体化试飞改装的设计方法,结合其在型号研制过程中的具体应用情况,具体阐述了一体化改装设计的方法及关键技术点。

关键词:大型客机;试飞改装;构型管理;适航管理

中图分类号:V217

文献标识码:A

[Abstract] This paper discusses the requirements and characteristics of flight test modification and installation work on large civil aircraft. The integrated modification and installation design method were presented. Combined with its application in aircraft development, the key method and technology of the integrated modification and installation were introduced in detail.

[Key words] large commercial aircraft; flight test modification and installation; configuration management; airworthiness management

0 引言

试飞改装是指为满足飞行试验任务实施和加装测试设备的需要,而对试验机的机械结构、电气线路进行的改动,以及试验用设备的安装和线缆敷设等工作。试飞改装从飞机设计开始,至始至终贯穿设计、制造、装配、试飞和持续改进的全过程。大型客机飞行试验需要在试飞机上开展平台试飞、系统试飞、特殊环境等所有研发试飞、型号合格审定、运营试飞等试飞任务。为完成庞大的试飞任务,必须对参试飞机的结构、系统实施以加、改装各类专项试验设备和测试设备为目的的设计更改工作。为解决改装工作与飞机设计工作之间的矛盾,达到便于构型管理、利于制造符合性检查、利于安全评估的目的,以提高测试改装效率、缩短研制周期,必须在统一的设计平台和技术体系下开展改装设计工作。

1 大型客机的试飞改装任务及特点

1.1 大型客机的改装任务概述

大型客机飞行试验需要在试飞机上开展性能、品质、颤振、结构强度、噪声、结冰试飞、动力装置、

通讯导航、模拟机试飞、特殊环境等所有研发试飞、型号合格审定、运营试飞科目及其它用途的试飞,需要对飞机的结构、系统进行改装,并加装包括应急离机系统、失速改出系统、水配重系统等各类专项试验设备和测试设备,以保证试验试飞的开展、试飞数据的获取。

大型客机改装工作包括改装工作(Modification)和加装工作(Installation)两部分。改装工作一般包括:对结构件的更改设计、结构开孔加强、机械安装面的设计预留和加强、油气管路设计、飞机抽引电气信号的测试接口设计、部分难达部位的测试电缆的敷设设计等工作。加装工作一般包括:传感器、机载测试设备、各类试验设备的安装、测试设备与飞机抽引信号及测试设备之间的互联等工作。一般情况下,改装工作直接对飞机进行设计更改,需要由飞机设计专业直接进行构型的控制,在飞机设计环节进行设计发图;而加装工作在飞机改装设计好的机械或电气的安装面上进行设备的加装和连接工作,由测试改装专业进行加装装配设计工作,在仪器设备加装设计环节进行装配设计发图。改装发图和加装发图都必须纳入设计发图管理,便于构型管理、制造符合性检查和安

全评估工作的开展。

1.2 大型客机的改装任务特点

大型客机改装设计工作存在以下特点：

(1) 改装量大,任务需求复杂

改装设计任务需求复杂,改装的设计任务与试飞任务组织和试验机试飞任务备份关联,按飞机承担的科目风险程度为飞机提供应急离机设备、失速改出设备等安全设备,为承担的试验任务提供重心调配设备、拖锥系统等专项试验设备,对于测试改装则需要对数千个传感器进行位置精准的安装,并进行测试系统设备的安装、布置和互联。对于一个完整型号,改装量大,结构、系统更改设计点多,涉及机械、结构、线缆、配电等各个专业知识,改装的设计、更改和实施工作贯穿型号研制的全过程。

(2) 改装设计涉及飞机全面结构、系统设计和布置

改装设计涉及飞机全机的结构,部分结构还需要根据飞行试验的具体需要有较大的改动,如应急离机的逃生通道设计、失速改出伞设计等,甚至对飞机的气动布局也会产生较大的影响。另外,测试飞机的测试系统部分安装于飞机的系统内部,如推进系统、电源等的测试,有些与飞机的总线直接相连,需要有效地进行电气兼容性和安全性设计,同时,测试系统安装、电气互联的线缆也需要安全地在飞机各系统、各部位进行布置和敷设的设计。

(3) 改装构型管理、适航管理要求高

改装设计需要与飞机设计一样进行严格的构型管理,以确保飞机的安全性和对飞机的状态评估。适航局方也会从试飞任务、符合性试飞方法、测试改装制造符合性等多方面进行审查。

(4) 改装随试飞任务组织的灵活性要求高

改装任务随试飞任务进行组织,由于试飞任务的实施安排要求和备份要求较高,同时测试加装的传感器还有定期校准的要求等,飞机的改装工作组织需要保留一定的灵活性,不能完全按飞机的设计和制造进行控制。飞机的改装工作需要保留一定的灵活性和余量,以满足试飞任务计划的调整和安全评估工作的开展。

1.3 国内外的技术状态

大型客机制造业在美国已有几十年甚至上百年的历史,相关的飞机设计流程体系包括测试改装设计流程体系经过数年优化已非常成熟和高效。空客公司将测试改装(Instrumentation)作为飞机的一个特殊系统进行设计,在飞机设计阶段完成改装设计。在管理关系上,测试改装部门也是作为飞机

设计的一个部门进行管理。波音公司的测试改装部门在试飞环节进行管理,通过项目管理的方式实现在飞机设计环节进行测试改装的设计,与飞机设计工作同时开展改装并行设计。总的来讲,无论波音还是空客,均实现了改装与飞机设计的有机结合,确保改装对飞机不造成安全性影响,实现对飞机改装构型进行控制。

国内大型客机制造业刚刚起步,受国内原有产业流程和环节的影响,传统的飞机改装设计往往安排在飞机设计制造完成后由试飞单位开始改装的设计和实施,包括对结构进行打孔、支架安装、开维护口盖、增加整流罩、引用飞机电源、测试电缆互联及布置等工作,对飞机的结构强度、气动外形和电磁兼容性均会产生一定程度的影响。90年代以后,由于飞机设计开始更多关注飞机的构型控制,飞机设计单位和国内试飞机构逐步提出了架内改装和架外改装设计的概念,将飞机一些大的改装设计在飞机设计阶段提出,由飞机设计部门进行设计,后续试飞单位再组织其它改装的设计和实施工作。某型飞机前四架机按架内架外改装的概念开展改装设计,一定程度上使飞机结构和系统在试飞改装设计阶段没有产生大的更改。为便于构型管理、制造符合性检查和安全评估工作,无论架内、架外改装都必须严格按照设计发图管理规定发图,做到技术上有据可查、质量可控。

根据大型客机试飞工作的要求和特点,迫切需要采用新的改装设计思路,制定新的改装设计技术路径,开展改装设计工作,并且满足构型管理和适航的要求,因此提出了“一体化改装”的设计理念。

2 一体化改装设计的方法

所谓“一体化”是指多个原来相互独立的主权实体通过某种方式逐步统一结合成为一个单一实体的过程。一体化改装设计是指通过在飞机设计期间统筹飞机的试飞和测试要求,并将其纳入飞机结构和各系统设计的过程。

2.1 一体化改装设计流程和方法

大型客机一体化改装工作分为改装(Modification)和加装(Installations)两个环节,一个改装任务包,由测试改装和飞机设计专业统一进行飞机结构和各系统的改装设计协调,形成飞机的改装设计要求和待加装设备的系统设计和采购要求。对于飞机改装部分工作,测试改装专业会同飞机各系统专业和结构各专业进行相应的飞机改装设计,同时形成改装的设备安装布置要求和测试线缆的安装布

置要求,并确定飞机最终形成的与改装设备的机械安装面和电气连接的接口,并发放相应数模供飞机制造部门在飞机制造的同时进行改装工作的并行实施。加装部分在仪器设备加装设计环节进行,一般由测试改装部门进行发图。对于飞机加装部分工作,按改装任务包的要求对加装设备进行验证和采购,并进行设备数模设计,结合飞机改装形成的安装面和电气接口设计完成改装设备的装配设计,并进行装配数模的发放。改装工作实施部门在飞机改装实施的基础上进行改装设备的安装工作。详细设计程序如图1所示。

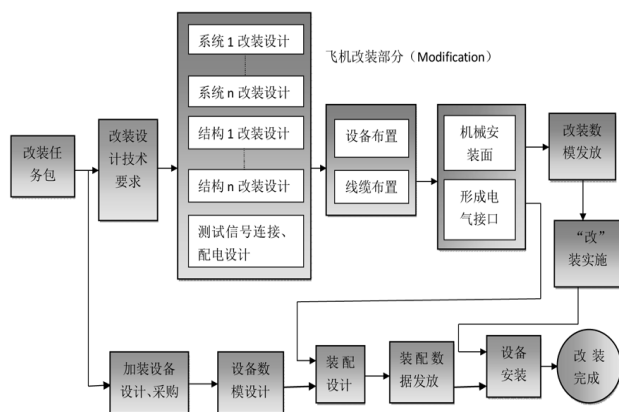


图1 一体化改装设计程序框图

2.2 一体化改装设计标准化和数字化

一体化改装设计将测试改装作为飞机的一个系统进行设计,因此,改装设计中飞机进行更改设计部分应严格按飞机设计的机械规范和电气规范进行设计。对于改装装配设计,也按设计规范进行设计和生产数据的发放,测试线缆部分按测试线缆的设计规范进行控制,便于测试系统根据试飞科目变化要求进行排故和维护。

在改装设计的数字化实现上,将飞机的设计平台向改装设计专业延伸和授权,供改装设计专业进行装配数模的设计,并利用平台向改装实施单位和部门进行生产数据的发放^[1]。一般情况下结构类设计采用的CATIA平台完全适用于改装的机械设计和对数字样机浏览的要求,而飞机电气互联设计采用的CHS设计平台也同样适用于飞机测试电缆的互联设计。

3 一体化改装设计方法在大型客机中的应用

大型客机改装设计按一体化改装思路,开展了各类专项改装和测试改装工作,下面以拖锥系统改装设计和推进系统改装为例说明一体化改装设计方法的具体应用。

3.1 拖锥系统改装的一体化设计

拖锥系统由拖锥、可收放支架和控制机柜等组成,其中拖锥的管体部分需要在沿垂尾前梁预设套管内进行敷设,而拖锥的可收放支架和控制机柜则需要安装和布置在尽量接近后球面框的客舱地板上,基本布置要求如图2所示。

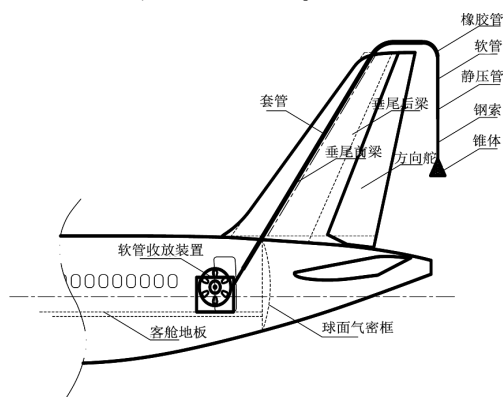


图2 拖锥系统改装总体布置图

将拖锥系统改装任务进行分解,形成对飞机的改装要求包括:在垂尾前梁进行套管预敷设计,球面框预留穿舱孔及密封设计,收放支架和控制机柜安装位置和安装设计;形成拖锥系统加装部分的设计任务包括:可收放拖锥系统的研制,拖锥系统中收放支架、控制机柜等的数模设计和装配设计等。各专业开展并行设计,进行拖锥套管在垂尾前梁的安装设计,发放相应生产数据供飞机制造部门在飞机制造的同时进行改装实施。对于拖锥加装部分工作,按要求进行拖锥系统的研制,进行设备数模设计,结合飞机改装形成的安装面完成整个拖锥系统装配设计,并进行装配数模的发放。改装工作实施部门在飞机改装实施的基础上完成拖锥系统的加装工作。详细流程如图3所示。

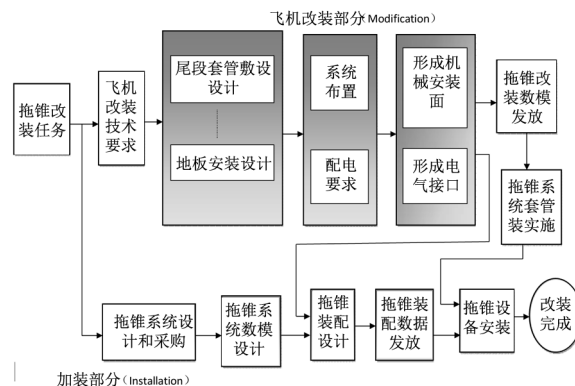


图3 拖锥系统改装设计程序

拖锥系统改装是一个典型的以结构类改装为主的专项改装任务包,该类改装任务在设计时将预

先设计的工作与飞机本身设计数据发放工作并行,而将其它易于装配和维护频率较高的工作放在后续完成,既保证了制造的完整性要求,也确保了试飞改装的灵活性。

3.2 推进系统改装的一体化设计

推进系统在型号的一架试飞机上需要开展的测试改装共涉及左右发共 60 余个由推进系统、液压、颤振和振动专业提出的用于科目试飞和试飞安全监控的测量参数。推进系统改装任务如图 4 所示。

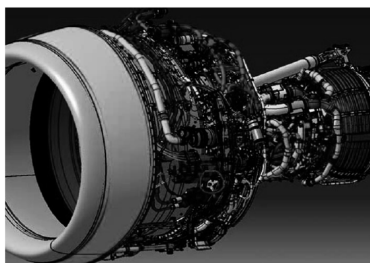


图 4 推进系统改装任务示意图

推进系统改装任务包括:在推进系统内进行振动传感器、压力(管道液体)传感器、热电偶传感器的安装,并将测试线缆和配电缆引至客舱内的电气连接器,供采集器进行信号的采集。按推进系统改装的要求分别进行推进系统内各传感器的安装设计,并定义好测试线缆的要求以及在推进系统内部的改装要求,这部分改装一般交由系统供应商进行实施。从推进系统到客舱内的线缆由设计专业的 EWIS 专业完成,在设计好测试线缆安装要求后,按电缆安装要求提供总体布置专业进行线缆布置设计,并进行干涉部分的更改和调整。加装部分定义好采集器对接电缆和插头的位置和针定义,便完成了整个改装的对接设计。详细设计过程如图 5 所示。

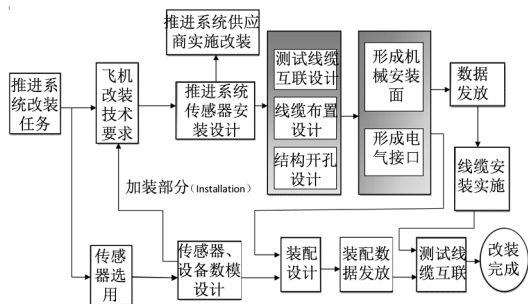


图 5 推进系统改装设计程序

推进系统改装是一个典型的在飞机系统内落实的改装任务包,考虑到对推进系统的改装安全性,推进系统内的改装完全交由该系统供应商负责实施,由于数据采集的责任一般在试飞部门,双方在飞机设计阶段进行预先设计的定义,并形成测试

改装 ICD (Interface Control Document),作为双方设计界面的约定。

4 一体化改装设计的关键技术及特点分析

4.1 一体化改装设计关键技术

(1) 并行设计流程的设计与推行

一体化改装设计涉及多个飞机产品设计团队,且可能隶属于不同的行政部门,因此往往需要一个较为顺畅的设计流程,规范工作流程和分工,作为工作的规范。在设计工作开展过程中还需要根据情况进行优化。

(2) 飞机设计规范向改装设计延伸

一体化改装设计将试飞的机载试验设备和测试设备作为飞机的一个系统进行设计,必须在设计规范、构型管理要求上与飞机设计的规范和构型要求保留一致性,并根据改装工作的具体特点完善和优化。

(3) 可视化飞机设计平台向改装设计的延伸

在改装设计的数字化实现上,将飞机的设计平台向改装设计专业延伸和授权,供改装设计专业进行装配数模的设计,并利用平台向改装实施单位和部门进行生产数据的发放^[2]。

(4) 明确的接口定义设计

由于改装设计在飞机上的落实需要多个设计专业、供应商及生产部门之间进行设计数据的流转,因此每一份设计文件都需要定义好明确的接口定义,以确保下一环节的结果对上一环节的满足。

4.2 一体化改装设计优点

一体化改装设计将测试改装作为飞机的一个系统进行设计,在构型管理、适航管理和飞机安全性管理上具有明显的优势,优点主要包括:

(1) 满足适航和构型管理的要求

一体化改装设计将改装设备作为飞机的一个系统进行设计,按设计规范进行设计,在飞机设计中实现了视图的可见,实现了构型管理的可控,满足制造符合性设计的相关要求。

(2) 保证了各结构、系统改装的安全性

一体化改装设计由测试需求的提出者、测试改装的设计者以及飞机的结构、系统和布置的设计者并行工作,改装设计的结果对飞机的影响进行了充分评估,具备很好的安全性。由于需求专业的参与,改装设计的结果往往也具备很好的需求满足性。

(3) 可以统筹利用飞机设计和制造资源

一体化改装设计可统筹利用飞机设计资源承担设计工作,利用制造资源承担制造工作,对于项

目成本控制有一定的优势。

当然一体化改装设计也有一定的缺点,尤其是改装(Modification)部分,涉及较长的设计流程,流转的设计环节也比较多,不利于项目的直接控制。

5 结论

一体化改装设计思路是现代民机制造业根据适航要求、构型管理要求,依托飞机的设计体系应运而生的一种全新的设计思路,可充分利用设计和制造资源开展改装工作,满足了民机改装构型管理

(上接第 19 页)

应对升力系数有很大影响,且当高度减小(动压增加)时,静气弹性效应对升力系数的影响增大。图 7 给出了考虑弹性影响的 0.7Ma,不同高度过载系数随迎角的变化曲线。图 8 给出了刚性情况 0.7Ma,不同高度过载系数随迎角的变化曲线。由图 7、图 8 可得出对应 2.5g 过载刚性弹性情况不同高度全机迎角,见表 1。由图表可知考虑弹性影响后相同速压下全机迎角比刚性增加 1°~1.2°,因此在载荷计算中必须考虑弹性的影响。

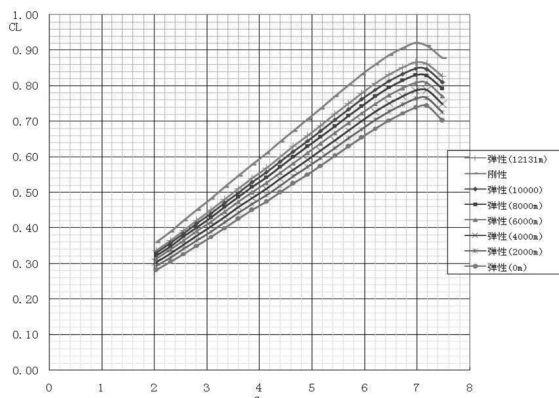


图 6 不同高度升力系数随迎角的变化曲线

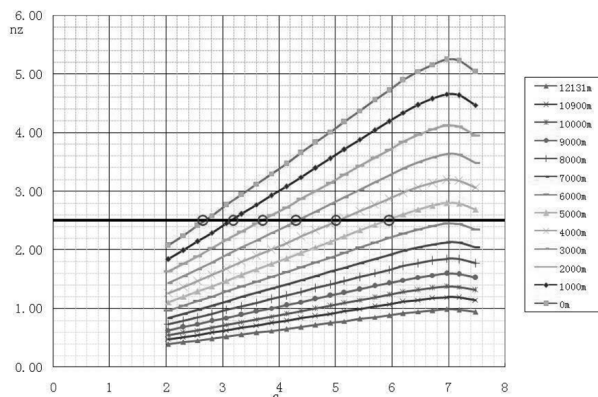


图 7 刚性情况不同高度过载系数随迎角的变化曲线

和适航管理要求。现代民机制造业的全数字化设计平台使得飞机设计以数字样机的形式得以可见,从而支撑了一体化改装的实现^[2]。

参考文献:

- [1] 赵成华. 虚拟制造技术在测试改装中的应用[J]. 测控技术, 2013 年增刊.
- [2] 吴光辉, 刘虎. 大型客机数字化支持体系框架[J]. 航空学报, 2008, 29(5): 1386-1394.

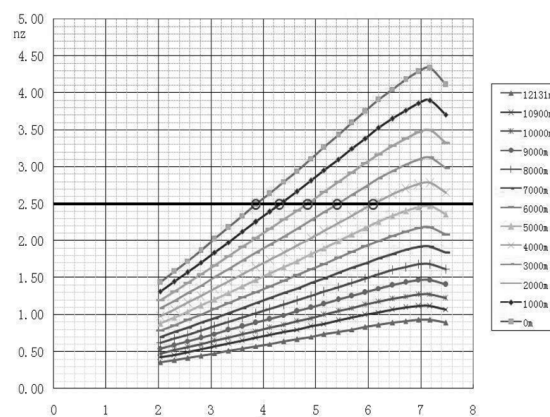


图 8 弹性情况不同高度过载系数随迎角的变化曲线

表 1 2.5g 过载不同高度全机迎角

高度 / m	0	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
刚性情况 / °	2.65	3.18	3.7	4.3	5.0	5.95	
弹性情况 / °	3.85	4.3	4.85	5.4	6.1		

4 结论

本文采用一种基于高阶面元法与结构模态法的静气动弹性载荷计算方法,对风洞压力数据进行了静气弹性修正,可给出刚性与弹性情况下的静气动弹性特性、压力分布、载荷,其方法分析结果可信、合理,可用于大展弦比飞机弹性载荷分析设计。

参考文献:

- [1] 管德. 飞机气动弹性力学手册[M]. 北京:航空工业出版社, 1994.
- [2] 陈桂彬, 杨超, 邹丛青. 气动弹性设计基础[M]. 第 2 版. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
- [3] 管德. 气动弹性试验[M]. 北京:北京航空学院出版社, 1986.