

民机机载成品系统的制造构型审核及验证

As-Built Configuration Audit and Verification Methodology of Airborne System for Commercial Aircraft

上海飞机制造有限公司 赵艳丽 宋启明 赵静 谷春

[摘要] 制造构型的审核及验证是民机构型管理的一部分,基于有效的设计构型控制体系和可靠的质量管理系统。借鉴国外供应商实施构型控制技术的经验,提出了“供应商-主制造商”模式下,基于过程控制、出厂检验、货源检验与接收检验4个环节的一般产品设备的制造构型审核及验证,并分析了TSO选项、制造检查项及机载软件等其他产品的制造构型审核及验证,阐明了在型号研制及取证后2个阶段的制造构型审核及验证工作的不同重点。

关键词: 制造构型 “供应商-主制造商”模式 构型审核及验证 机载软件

[ABSTRACT] As-built configuration audit and verification is part of commercial aircraft configuration control system, and is based on valid as-designed configuration control method and reliable quality control system. With reference to advanced experience, a common methodology is brought forward based on “Supplier-Manufacturer” model, including four steps as process control, supplier’s acceptance test, source inspection and final acceptance of manufacturer. Methodology for TSO products, manufacturing inspection items and airborne software is also analyzed. Different control points are emphasized for configuration audit and verification work in development phase and after-TC phase.

Keywords: As-built configuration “Supplier-Manufacturer” model Configuration audit and verification Airborne software

构型体现在产品生命周期的不同阶段可以分为:设计构型(As-designed Configuration)、工艺构型(As-planned Configuration)和制造构型(As-built Configuration)。构型管理(Configuration Management)的目的是在产品全生命周期内,确保产品的性能、功能特性和物理特性与产品的需求、设计和使用信息之间一致。

构型审核及验证(Configuration Audit and Verification)作为构型管理的六要素之一^[1],通过对文件、产品和记录的检查,以及对程序、流程和操作系统的评估,来检验产品的设计是否满足性能和功能要求,以

及产品的状态是否已被准确地记录在文件之中。其最终的目标是建立对构型文件的高度信任,这些构型文件在整个生命周期内被用作构型控制和产品保障的基础。

构型审核及验证的目的是确保向顾客提供符合功能特性和物理特性的产品,即确保交付产品满足顾客、适航条例和工程设计资料的要求。

1 制造构型审核及验证的支撑

本文所研究的民机制造构型审核及验证是基于“供应商-主制造商”模式,制造构型审核及验证并不是独立的,而是依托于可靠的设计构型控制体系和批准的质量管理系统(图1)。



图1 制造构型审核及验证的支撑

Fig.1 Scheme of manufacturing configuration audit and verification

1.1 设计构型控制体系

通过实施构型管理的其他五要素(构型计划制定和管理、数字数据的构型管理、构型标识、构型更改管理、构型状态纪实)来建立可靠的设计构型控制体系,即下述设计构型数据的批准及更改流程都是可控的。

1.1.1 构型清单

为了定义飞机的产品分解结构并决定构型清单,必须对飞机项下的结构件、机载成品系统及其下属的零组件指定并应用唯一标识号,即ATA章节号及件号,这个标识号代表构型被管理的单元,即构型项。

1.1.2 规范

通过通用技术规范与产品规范建立产品的基线,定

义产品的功能特性,如可靠性、可维护性、安全性等;性能;物理特性,如外形、重量、平衡、惯性矩、电磁特性;接口特性,包括物理接口和功能接口等。

1.1.3 图样

图样包括接口控制图、相关的工程图样(包括二维图样、三维数模等)、相关的零件细目表等。

1.1.4 试验程序

试验程序是验证产品能否达到设计的功能特性、物理特性、接口特性等所需要的检验试验程序,具体包括首件检验程序、鉴定试验程序、出厂试验程序和符合性验证试验程序等。

1.2 质量管理体系

1.2.1 初始评审

供应商入册前的初始评审包括文件审查及现场审查 2 种形式,共有 3 个步骤:

(1) 审查供应商提交的文件,包括:第三方认证、行业标准认证、质量手册和构型管理计划、其他客户的认可、技术能力与产能、业绩表现等。

(2) 对供应商进行质量管理体系和特殊工艺评审(如适用)等现场评审。

(3) 跟踪现场审查不符合项的纠正情况和问题项的改善结果,若主制造商认可该供应商的质量管理体系,则将其纳入供应商清册(ASL)。

1.2.2 定期复审

在初审合格后,主制造商需要定期对供应商进行复审,以确保供应商持续符合其质量体系要求。复审的内容和频率可根据供应商的绩效表现、审查结果、行业认证状态、产品的关重程度等进行调整。

2 一般产品设备的制造构型审核及验证

制造构型审核及验证的目的是保证供应商制造的产品实际构型状态与适用的设计构型之间的符合性和一致性。一般产品设备的制造构型审核及验证主要包括过程控制、出厂检验、货源检验、接收检验 4 个环节(图 2)。

2.1 过程控制

制造构型审核及验证体现在过程控制中主要是指对供应商工艺方法、制造过程、工序能力等进行监控,保证其符合质量体系要求。主制造商向供应商派驻质量或工艺代表来进行过程控制,也可以将符合要求的供应商质量或工艺等人员授权为委任代表(DR),代其对供应商进行监督和内审。

为审核既定的制造方法(数控程序、夹具、工装等)能否按照设计图纸、计划、定单、规范和其他适用的设计文件制造出可接收的产品,供应商还需对机载成品系统

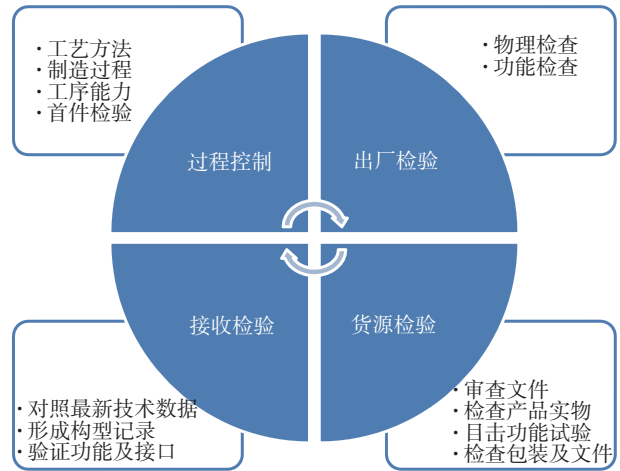


图2 一般产品设备的制造构型审核及验证

图2 Manufacturing configuration audit and verification methodology for regular products and equipment

的首件产品进行首件检验,即验证这种制造方法及计划能否生产出符合设计构型的产品。首件检验是一项存档的、独立的、完整的物理和功能检查,除对首件产品外,下述情况也需要按照主制造商批准的首件检验程序进行首件检验,并将首检报告提交主制造商审阅存档:(1)首检后的产品被拒收;(2)生产商变更;(3)子部件更换;(4)工具或夹具变更;(5)生产地点变更;(6)连续生产中中断。

2.2 出厂检验

对于民机项目的机载成品系统,供应商必须在产品出厂前按照主制造商批准的出厂检验程序完成检验。

出厂检验的内容包括物理检查和功能检查,其中物理检查包括的内容:标识标记、尺寸和装配、安装装配、机械损坏、漏油、连接器方向及型号、消耗件状态、清洁度、密封情况;功能效能检测包括待交付产品功能和性能各方面的检测,保证产品与硬软件要求及规范的符合性,所有的测试结果必须记录在出厂检验报告中。

2.3 货源检验

货源检验是指主制造商在供应商或子供应商处对所采购的产品进行检验、试验或文件审查来确保产品符合具体要求和规范。

货源检验适用的情况包括:(1)重复检验的成本很高;(2)因缺少测试设备或设施而不能在主制造商处检验;(3)昂贵的测试夹具和检验设备;(4)直接发运至使用现场;(5)拒收意味着大型或大量产品高成本的退返费用;(6)先前发生过质量问题;(7)发运至制造商的提前期很长。

货源检验的程度及范围取决于 4 个因素:(1)产品类型;(2)设计复杂度;(3)检测手段;(4)拒收历史。检验形式应包括尺寸检测、功能验证、对供应商检验的

目击、审阅供应商出厂检验程序和记录,以审核产品的制造构型是否满足定单、图样、工程规范及测试要求。

货源检验的关键步骤如下:

(1) 审查要求的文件是否供应商处存档并且是最新有效的;

(2) 审查供应商的记录文件是否已完成并且可接受,如制造大纲(FO)、装配大纲(AO)、检验记录、测试报告、原材料证书、功能检测报告、首检报告(FAIR)、合格证(COC)等;

(3) 检查产品实物以保证对设计构型和定单等要求的符合性,并对工艺、损伤及外来物(FOD)等情况进行检查;

(4) 目击产品的功能试验(适用时);

(5) 检查产品包装是否满足行业规范和主制造商的其他要求;

(6) 检查产品随附文件和其他交付数据是否完整并且可接受;

(7) 检查装箱单、运单等运输文件标注的数量、系列号(适用时)、定单号、产品件号及版次(适用时)等信息是否正确。

考虑到供应商质量体系的水平、历史表现等,可以授权符合要求的供应商代表或第三方检验方为货源检验代表,委任其对货源供应商的制造检验程序及流程进行监督,从而保证供应商交付产品的制造构型达到受控状态。

2.4 接收检验

机载成品系统产品交付后,主制造商主要通过接收检验的形式来进行制造构型的审核及验证,通过对供应商交付的产品、文件及记录进行检查,来检验所交付的产品是否满足设计规范或图纸。接收检验过程需要具备4个条件:(1)训练合格的接收检验员;(2)最新有效的技术数据对接收检验员的可得性;(3)定期校准的、可靠的测试及测量设备;(4)书面的接收检验计划。

供应商应该提供一个主制造商认同的渠道,建立并保持产品构型与构型文件之间的有机联系,便于主制造商和中国民航局(CAAC)评审和审核供应商内部的构型审核活动。供应商应该保证所交付产品的构型状态清晰、准确、可追溯,并将其定义和记录在合同要求交付给主制造商的构型文件中,以支持主制造商的飞机取证和持续适航工作。

在接收检验时,主制造商应该根据CAAC批准的装机设备清册来识别最新的图纸号和更改日期,指出最新工程更改或更改单及其发放日期,对交付的产品及随附文件与发放的设计数据之间的构型一致性进行检查和记录,形成完整的构型记录,把完成的产品记录和设计

构型、工艺构型相比较,以便确定产品制造构型的符合状态。

由于机载成品系统功能的复杂性,全面验证产品功能或与接口系统交联的性能需要经过实验室试验、铁鸟航电等系统集成试验、机上地面试验、试飞等多个环节的审查和验证,才能表明最终接收。

3 其他产品的制造构型审核及验证

除一般产品设备的制造构型审核及验证之外,技术标准规定(TSO)选项、制造检查项、机载软件等其他产品还需要满足一些特殊的审核要求及验证程序。

3.1 TSO 选项

TSO是FAA设定的机载成品系统必须达到的最低适航要求和最低安全标准,对有TSO的机载成品系统必须取TSO认证证书(TSOA)。FAA按照TSO引用的工业技术标准或其他技术要求内容对提出申请的公司所提交的申请文件及相关技术资料进行审查,以判断所申请的设备是否满足最低性能标准、环境标准、软件标准和硬件标准等,并提出建议和意见,如果FAA对审查情况满意,将会颁发TSOA,获得TSOA的产品将在交付时随附FAA适航标签(FAA 8130-3表)。

标有产品件号、系列号等唯一标识的适航标签,可以作为该产品的设计符合相应适航要求、生产与设计符合的标志或证件,在飞机的生命周期过程中进行存档或流转。建议在适航标签的第13栏内标注图纸编号、图纸版次及生效日期、接收检验程序的编号、接收检验程序的版次及生效日期、偏离情况等,以便建立产品设计构型、工艺构型及制造构型的映射关系。

3.2 制造检查项

在型号设计阶段CAAC选取关键产品作为制造检查项进行重点监控,选取标准包括:(1)产品成熟度;(2)是否关重件;(3)是否重复超差;(4)实验或使用过程中是否出现过问题;(5)供应商可信赖等级;(6)是否发生过重大设计更改;(7)是否含软件;(8)TSO状态;(9)是否为提前装机件等。

CAAC对制造检查项主要采用文件审查和现场审查2种形式:(1)文件审查是通过审阅DR签署的SOC等交付文件来验证制造构型;(2)现场审查是指CAAC在供应商或子供应商处实施产品审查、工序审查、质量体系审查并对出厂检验进行目击。若审查结果可接受,CAAC将签发适航标签(AAC-038表)。

根据中美适航双边协议^[2],在型号设计阶段,CAAC还可以通过制造符合性检查请求单(RFC)委托FAA代其对供应商进行制造检查项的审查及验证工作。DR初审后如判定产品符合经主制造商和CAAC批准的最新版

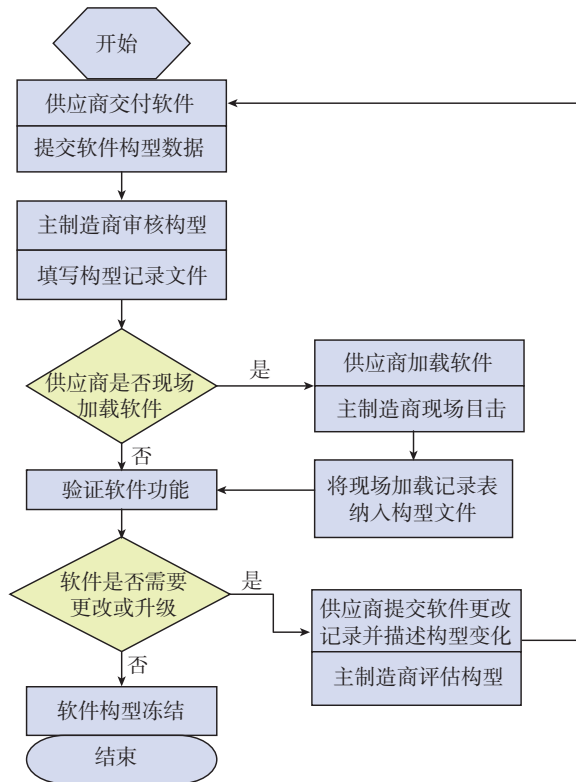


图3 机载软件的制造构型审核及验证

Fig.3 Manufacturing configuration audit and verification methodology for airborne software

版次的设计图样、工艺规范和其他技术资料,则向 FAA 提交制造符合性声明(SOC, FAA 8130-9 表), FAA 进行现场审查及验证并用符合性检查记录单(FAA 8100-1 表)记录,任何不符合项或偏差都必须在取证试验前报告给 CAAC,检查合格的将签发 FAA 适航标签。

3.3 机载软件

机载软件指安装在飞机上作为飞机型号设计的组成部分的软件。机载软件的制造构型审核及验证主要包括软件交付、现场加载或更改软件 2 个环节(图 3)。

3.3.1 软件交付

软件交付有 2 种形式:(1) 供应商将软件加载到设备中,并随产品设备一起交付;(2) 供应商将设备交付后在现场进行软件加载。这两种形式的软件交付时,供应商均需提交能够充分描述软件构型的数据:软件更改记录单、软件版本描述文档、软件构型索引。软件交付后,软件负责人依据供应商软件交付时提交的文件填写软件构型纪实表。

3.3.2 现场加载或更改软件

供应商现场加载或更改软件必须保证同时符合供应商与主制造商的构型控制要求:第一,供应商现场加载软件时,主制造商必须指定责任人进行现场目击,并对供应商提交的加载记录表进行审阅确认。第二,供应

商在现场排故过程中对交付软件进行更改时,主制造商必须评估:(1) 软件更改是否影响系统的安全性;(2) 软件是否得到供应商足够的构型控制,以确保更改前的软件在需要时能够得到恢复,并保证所有的更改部分被清楚定义;(3) 软件的更改是否需要补充或者重新进行相应的验证实验,如实验室试验、机上地面试验。

4 设计构型更改频繁时的制造构型审核及验证

制造构型审核及验证是面向民机研制提出的构型管理手段之一,要结合型号进展与实际灵活地进行调整并加以实施。

在民机型号设计阶段,随着试验试飞的进展,部分机载成品系统的设计构型会频繁进行更改,这种情况下,为确保产品制造构型的有效性和可得性,需要对设计构型更改^[3]的执行设置生效时间和生效架次。

通常,供应商在产品交付时间前 30 天向主制造商发放交付预告,截至当日已批准的工程更改必须在接下来的 30 天落实完毕,当日之后发生的工程更改可以不在本批产品交付前落实,后续将作为未完工项目在主制造商处执行或者在下批交付产品落实。

主制造商应实时进行装机设备清册的更新,以便反映最新有效的设计构型,若接收检验时发现产品的制造构型落后于设计构型,则应对偏离情况进行评估,如果认为不影响产品功能、系统级性能、与其他系统接口、飞机性能等,将予以接收。

对于已经接收的机载成品系统,如果发生设计构型更改,则应根据生效架次判断是否需要更改或升级。

5 未通过制造构型审核及验证的处理

如果在出厂检验环节的制造构型审核及验证后,供应商发现产品存在偏差但不影响产品性能功能,则应向主制造商提出让步接收申请。

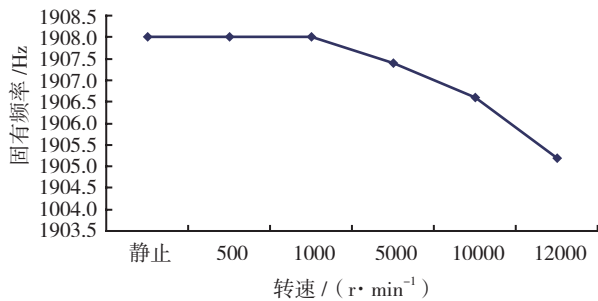
如果产品在接收检验中未通过制造构型审核及验证,主制造商的不合格品评审委员会(MRB)将对其进行评审并决定是否予以原样使用、返工、返修或报废等处理意见。对返修或返工 2 次及以上的产品,供应商需要采取纠正措施(Corrective Action)。

在型号取证后,主制造商还可以通过授权供应商的 MRB 来对不合格产品进行处置。

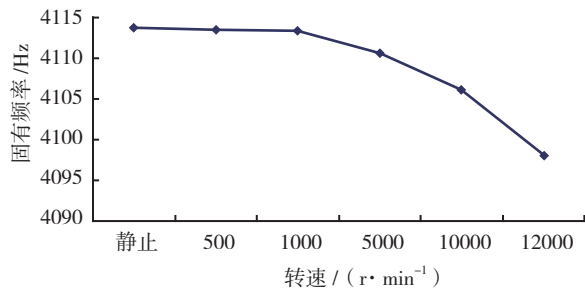
6 总结及展望

民机型号研制阶段,由于设计构型的多变性,制造构型的审核及验证应该建立动态的响应机制。同时,制造构型审核及验证的范围及程度应根据供应商的质量

(下转第 85 页)



(a) 1阶模态



(b) 4阶模态

图5 1、4阶模态下固有频率变化

Fig.5 Natural frequency for 1 and 4 order mode

模拟,为快速分析高速下由于轴承软化现象引起的系统固有频率变化提供了一种思路。但是由于高速运行状态下受力受热情况复杂,还需要将理论分析与实验研究相结合,进一步深入研究。

参考文献

- [1] 袁巨龙,张飞虎,戴一帆,等.超精密加工领域科学技术发展研究.机械工程学报,2010,46(15):161-177.
- [2] 贺大兴,盛伯浩.超精密加工技术的发展现状与趋势.新技术新工艺,2006(5):2-3.
- [3] Gao S H, Long X H, Meng G. Nonlinear response and nonsmooth bifurcations of an unbalanced machine-tool spindle-bearing system. *Nonlinear Dyn.*, 2008, 54:365-377.
- [4] Lin C W, Fu J, Kamman J. Integrated thermo mechanical dynamic model to characterize motorized machine tool spindles during very high speed rotation. *International Journal of Machine Tool & Manufacture*. 2003(43): 1035-1050.
- [5] Kosmatka J B. An improved two-node finite element for stability and natural frequencies of axial-loaded Timoshenko beams. *Computers & Structures*, 1995, 57(1):141-149.
- [6] 熊万里,吕浪,阳雪兵,等.高频变流诱发的电主轴高次谐波振动及其抑制方法.振动工程学报,2008,21(6):600-607.
- [7] Schmitz T L, Ziegert J C, Stanislaus C. A method for predicting chatter stability for systems with speed-dependent spindle dynamics. *Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME Conference*, Charlotte, 2004, 32: 17-23.
- [8] Rantatalo R M, Aidanpaa J O, Goransson B, et al. Milling machine spindle analysis using FEM and non-contact spindle excitation

and response measurement. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2007, 47(7/8): 1034-1045.

[9] 孙伟,汪博,闻邦椿.高速主轴系统静止及运转状态下动力学特性对比分析.机械工程学报,2012,48(11):146-152.

[10] 曹宏瑞,李兵,何正嘉.高速主轴动力学建模及高速效应分析.振动工程学报,2012,25(2):103-108.

[11] Jones A. General theory for elastically constrained ball and roller bearings under arbitrary load and speed conditions. *ASME Trans., Journal of Basic Engineering*, 1960, 82(2):309-320.

[12] 李松生,陈晓阳,张钢,等.超高速时电主轴轴承的动态支承刚度分析.机械工程学报,2006,42(11):60-65. (责编 深蓝)

(上接第76页)

[19] 余安远,郭荣伟,孙妹,等.三种不同的进气道与弹体组合体雷达散射截面特性.南京航空航天大学学报,2002,34(6):517-521.

[20] 余安远,郭荣伟,孙妹,等.一种隐身外形弹体下埋入式进气道的进气机理与低速实验研究.空气动力学报,2003,21(2):182-188.

[21] 余安远,乐嘉陵,郭荣伟.隐身外形飞行器用埋入式进气道的设计与风洞实验研究.空气动力学报,2007,25(2):150-156.

[22] 翁小齐,谢文忠,郭荣伟.一种大偏距埋入式进气道气动特性试验.航空动力学报,2011,26(9):2133-2140.

[23] 李学来.埋入式进气道的技术现状.福州大学学报(自然科学版),2001,29(6):61-66. (责编 深蓝)

(上接第80页)

逃逸、纠正措施执行状态、让步接收情况等质量指标评估结果进行调整,随着构型成熟和工序能力的稳定而逐渐从全检向抽检过渡。在供应商及主制造商质量体系及构型管理受控的基础上,保证构型信息的可得性和追溯性,同时确保设计构型、工艺构型和制造构型之间的符合性。

在型号取证后,除客户定制和适航规章修改外,构型基本处于冻结状态,重点需对制造构型的标识建立完善的管理和流转系统,从而确保构型信息的有序流转;并且在构型管理效果、成本与效率之间进行更好的平衡。

为了建立完整的构型管理系统,需要对构型更改管理进行更深入的研究,并在项目开展中不断进行摸索,最终完善中国民机的构型管理水平。

参考文献

- [1] ANSI-EIA-649-1998, National consensus Standard for Configuration Management, 1998, EIA.
- [2] Appendix to Bilateral Agreement between FAA and CAAC: Process Guidelines for Conformity Inspection Support to CAAC on ARJ-21 Program.
- [3] 姜丽萍.空中客车公司的构型管理.民用飞机设计与研究,2003(3):40-46. (责编 小城)