

# 民用飞机设备合格鉴定试验 (MC9) 研究

章光灿\*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

## 摘要:

阐述了设备合格鉴定试验在民用适航流程体系中重要的作用。结合 SAE ARP 4754A 需求管理的双 V 核心思想, 重点阐述了设备合格鉴定试验各阶段的划分、具体内容和进出准则。需求的确认过程划分为试验需求捕获与分析、试验计划制定和试验程序批准这三个阶段。需求的验证过程划分为试验开展、试验目击、试验报告批准这三阶段。针对上述六个过程详细描述了相应阶段的重点内容及适航要求, 对国内民用飞机设备鉴定试验流程体系的建设有一定指导意义。

关键词: MC9; 设备鉴定试验; 合格审定

中图分类号: V241

文献标识码: A

OSID:



## 0 引言

在现代民机设计中, 安全性和可靠性是两个重要的设计指标要求。安全性直接影响决定飞机是否符合适航要求, 可靠性则影响飞机的制造和运营成本, 这两个因素都是民机进入市场并成功运营的基础条件。目前, 民机设计过程中划分的最小独立单元为设备, 即航线可更换单元 (Line Replaceable Unit, 简称 LRU)。设备合格鉴定试验的目的是验证设备能否在规定的使用工况下执行其功能, 同设计、制造等共同构成确保设备功能能力的保障体系<sup>[1]</sup>。设备的合格鉴定试验是验证设备在各种环境下的适应性所必不可少的试验, 是保证民机安全性和可靠性的有效试验手段。

## 1 设备合格鉴定试验

设备合格鉴定试验是民机研制中验证设备合格性的符合性验证试验之一, 即设备合格性 (MC9)<sup>[2]</sup>。这是适航取证的必要环节, 用于表明型号设计符合审定基础。设备合格鉴定试验是一个受控过程, 审查方全程介入, 包括鉴定试验程序批准、制造符合性检查、试验目击、试验问题处理、试验报

告批准等。申请方需要对整个试验过程进行有效管理, 贯彻适航规章要求, 以保证适航取证工作的顺利完成。

设备合格鉴定试验主要包括基本功能性能试验、DO160G 环境鉴定试验 (自然环境试验、机械环境试验、电源特性试验和电磁兼容性试验) 以及相关的产品设计规范要求的试验。设备合格鉴定试验属于试验室试验, 是设计定型的决策依据之一, 其与系统级试验、机上试验和飞行试验等共同用于表明适航符合性。

## 2 设备合格鉴定试验开展

目前, 我国军机设备鉴定试验已积累一定的基础和经验。但是民机设备合格鉴定试验研制有其更严格的过程保证体系, 研制过程遵循 SAE ARP 4754A 《Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems (民用飞机与系统研制指南)》的要求。设备合格鉴定试验的开展充分体现了 SAE ARP 4754A 需求管理的双 V 核心思想, 被试设备试验需求的捕获确定体现了需求确认 (Validation) 的过程, 根据需求开展鉴定试验即是验证 (Verification) 过程。因此, 民机设备合格鉴定试验的开展需要考虑

\* 通信作者. E-mail: zhangguangcan@comac.cc

引用格式: 章光灿. 民用飞机设备合格鉴定试验 (MC9) 研究, 2020(1):24-28. ZHANG G C. Qualification test for civil aircraft equipment, 2020(1):24-28 (in Chinese).

下文中的几点。

## 2.1 鉴定试验项目确定与分析

设备需要适应飞机运行的各种环境和工况,确定鉴定试验项目是开展设备合格鉴定试验的前提条件。试验项目来源于飞机级合格鉴定需求、民机机载设备环境条件规范(RTCA DO-160G)、工业/行业标准规范等。通过对这些需求/规范的分析,最终确定各设备的鉴定试验项目,其追踪关系如图1所示。

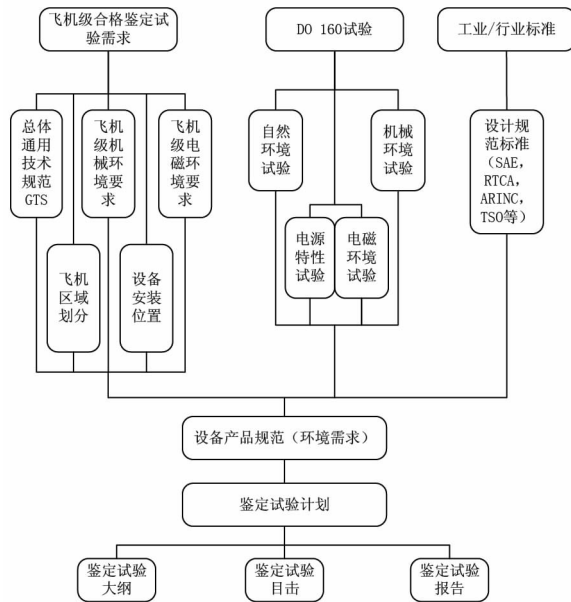


图1 设备合格鉴定试验关系图

飞机级合格鉴定需求包括了总体通用技术规范(GTS)、飞机运行环境包线、飞机级机械环境要求、飞机级电磁环境要求、飞机区域划分及机载设备安装位置分类。

DO-160G定义了一系列最低标准环境试验条件和相应的试验方法,是目前机载设备环境条件和试验程序的国际规范<sup>[3]</sup>。DO-160G共有23项试验,根据环境条件分为四大类试验:①自然环境试验,包括温度和高度、温度变化、湿度、防水性、流体敏感性、沙尘、霉菌、盐雾、结冰、防爆性和防火/可燃性试验;②机械环境试验,包括冲击、坠撞安全和振动试验;③电源特性试验,包括电源输入、电压尖峰和电源线音频传导敏感性试验;④电磁环境试验,包括磁效应、音频传导敏感性、感应信号敏感性、射频敏感性(传导和辐射)、射频能量发射、闪电感应瞬变敏感性、闪电直接效应和静电释放试验。

工业/行业技术规范定义设备的接口、功能、性

能等技术要求和需遵循的设计要求,但这些一般是设备设计所需满足的最低标准。针对一些特殊试验项目比如耐久性试验、脉冲疲劳试验、加速度试验、风车试验等,企业结合自身标准规范体系会形成自己的企业标准规范,用于指导实际产品设计。这些试验项目也都是设备鉴定试验的组成部分。

## 2.2 鉴定计划制定

在捕获上述试验需求并确认其合理性和完整性的基础上,供应商需编制鉴定试验计划(Qualification Plan,简称QP)并获得主制造商批准,进而进入适航审批流程。该计划是整个设备鉴定试验的指导性文件,需全面地规定鉴定试验相关的活动。

鉴定试验计划制定设备的试验矩阵表,包括试验项目、需求来源、试验等级、试验方法、试验构型和试验件数量安排。根据设备是否为新研产品以及是否已成功应用于取证机型,试验方法可选取试验测试(QT)、相似性分析(A/S)和理论分析(A)中任意一种。试验测试是通过试验实施的方式验证设备符合设计的要求;相似性分析是通过与已通过试验验证并获得适航认可的相似设备(设计相似、工作条件相似、安装环境相似)进行比较分析来验证设备符合设计要求;理论分析是基于通用原理或仿真计算来表明设备符合设计要求。

此外,鉴定试验计划还应包括试验室选择与安排、试验测试设备、试验进度规划、审查方的试验目击安排、首飞前试验项(SOF)、试验问题处理流程、鉴定试验大纲及鉴定试验报告编制要求等内容。

## 2.3 试验设计

鉴定试验设计必须确保试验过程能客观真实地获取被试设备在试验环境中的表现数据。因此,试验台架的搭建、试验程序步骤以及试验数据处理对试验结果有效性至关重要。首先,试验台架主要功能是模拟提供被试设备所需要经受试验验证的环境,除此之外试验台架搭建还需要考虑以下几方面因素:①被试设备在试验台架上的安装方式需要尽可能的模拟实际装机方式;②试验台架的设计需保证被试设备能正常工作的外围条件;③试验台架必须具备监控被试设备是否 ze 常工作的能力。其次,试验程序步骤应尽可能详细且具备可重复操作性,不能因试验人员间的个体差异引起试验结果不一致。最后,试验数据处理是对试验过程中的数据进行采集、转换、计算和存储,提取有价值有意义的数

据的过程。为保证试验数据能客观有效地表现实际物理量值,所涉及数据流传输过程中的传感器、数据采集设备和数据处理工具等所产生的累积误差不能影响试验对数据精度的要求。

## 2.4 试验大纲审批

鉴定试验大纲(Qualification Test Procedure, 简称 QTP)依据鉴定试验计划编制,用于指导鉴定试验的具体实施。试验大纲编制中需要明确以下几个方面的内容:

(1) 试验件构型状态,设备鉴定试验主要验证设备硬件,试验件硬件构型如与取证构型不一致,需要进行构型评估,并对试验有效性进行分析说明<sup>[4-5]</sup>;

(2) 试验环境和参试设备清单;

(3) 试验要求、试验方法和具体的实施步骤;

(4) 试验结果判据和有效性评定方法;

(5) 试验前后功能完整性验证试验程序。

同样,鉴定试验大纲也需要在得到主制造商的批准后提交适航审批。试验程序只有在获得审查方的批准认可后,申请方才可以依此开展鉴定试验。原则上试验过程中如涉及到程序步骤、方法、测试设备、试验判据的更改,则需要更新 QTP 后再次提交审查方批准,这样得到的鉴定试验结果才有效,符合适航流程控制的要求。

## 2.5 试验开展

鉴定试验开展前,需确保试验承担方资质(质量保证体系和试验人员资质等)、测试设备、试验件、试验步骤以及试验环境与 QTP 中的规定一致。每一项试验的开展基本都包含试验件初始检查、试验步骤、试验件中间检查、试验问题处理(如有)、试验件最终检查这些过程<sup>[6]</sup>。

试验件的初始检测和最终检查是在试验室环境条件下对试验件进行物理属性和功能的检测。初始检测是在试验开始前进行,其目的是确认试验用的试验件完整性,避免用一个不合格的试验件进行试验,影响试验的有效性。最终检测在试验完成后进行,一般也作为试验合格判据的一部分,用于全面检查试验后试验件是否失效。如多个试验项目连续进行,为提高试验效率并节省试验资源,初始检查和最终检查可以合并<sup>[7]</sup>。试验件中间检测是指在施加验证环境的同时,对试验件的功能和性能进行检测,用于发现只有在验证环境作用下才会显现的试验件

问题。但是由于试验条件的限制,难以对试验件进行全功能检测,所以一般仅模拟试验件的典型功能作为中间检测项目。如果不进行中间检测,有可能漏掉这些试验问题,误认为试验件能够通过这项试验,使试验结果不准确。此外,进行每一项鉴定试验时对试验件进行试验前/中间/后检查的另一个目的是隔离试验过程中的问题。如试验中发生问题,确保此问题不是由先前的试验项引入,以便于试验问题定位与分析。

试验过程中应该严格按照 QTP 中规定的试验项目先后顺序和具体的程序操作步骤开展试验,确保最终试验结果的有效性。原则上试验过程中有任何与 QTP 的偏离,试验承担方应提交偏离,申请方评估对试验的影响并重新获得审查方的认可后才能开展下一步试验。但是为缩短民机研发周期,供应商可根据其自身设计保障体系评估试验过程的偏离项。如果评估发现对试验无任何影响或影响可控,供应商在试验过程中无需提交偏离项,可通过红线更改(Red-Line)的方式记录更改试验程序,在最终提交鉴定试验报告批准时一同提交红线更改记录。

鉴定试验中若出现问题导致试验失败,供应商应立即中止试验的进行,并进行问题分析、定位和采取纠正措施,编制试验问题报告(FRACA)提交主制造商。问题报告需要包含设备件号,设备序列号、问题发生日期、问题描述、问题原因分析、处理情况等信息。鉴定试验问题处理需考虑以下几方面情况:(1) 纠正措施涉及设计、制造工艺等更改使产品构型状态变化的,需分析之前每一项试验结果对新构型是否有效。如果无法证明有效性,应重做相应的试验项;(2) 纠正措施涉及到试验程序更改的,申请方应及时向审查方汇报,获审查方认可后才能重新开展试验;(3) 纠正措施若不涉及产品构型或试验程序更改的,供应商可根据设计保障体系,在最终的鉴定试验报告中连同试验问题报告一并提交审查方审批。

## 2.6 试验目击

鉴定试验的开展是个长期的过程,一般需要 2 年~3 年,试验目击活动的开展是审查方对供应商研发能力、质量体系和试验规范性等全方位的检查考核。制定鉴定试验计划时审查方会根据机载设备的研制保障等级和试验项目的重要性选择特定的试验项目对试验进行现场目击。

鉴定试验目击活动包括试验件制造符合性检查、试验环境制造符合性检查以及试验过程目击这三方面的内容<sup>[8]</sup>。

根据《航空器型号合格审定程序》中第4.2.3条审查要求,审查方制造代表需在目击鉴定试验前根据批准的鉴定试验大纲对试验产品构型、试验产品的安装、试验设备和人员资格等进行现场检查确认。完成上述制造符合性检查活动后,制造代表会出具相应的适航批准标签,表明通过制造符合性检查并冻结目击试验前状态,期间不允许有其他不相关的生产或试验活动。而为保证审查方顺利开展制造符合性检查,申请方需根据自查清单提前完成自查工作并签署制造符合性声明,并在审查方检查前提交。

完成试验前的制造符合性检查后,由审查方工程代表授权开始试验,期间对试验过程全程目击。供应商需要严格按照已批准的试验大纲执行试验过程,过程中有任何与QTP偏离或者试验问题时,都需要立刻终止试验并记录问题。如果能在现场完成对偏离项的评估或解决试验问题,则在获得工程代表批准后可继续试验。如果不能及时的解决,则此次试验目击活动宣告失败,需要重新进行一次与目击活动相关的适航工作。

## 2.7 试验报告审批

鉴定试验报告(Qualification Test Report,简称QTR)的审批是设备鉴定试验的最后一步重要工作。根据民航取证节点,一般需要在型号检查批准(Type Inspection Approval,简称TIA)前完成审批,冻结设备构型作为审查方审定基础。

鉴定试验报告是评定设备鉴定试验结果的主要文件,报告数据内容一般可分为试验数据、相似性分析数据和理论分析数据三大类<sup>[9-10]</sup>。鉴定试验报告中针对试验数据应清楚记录试验件的构型信息,如试验构型与取证构型不一致或试验件有偏离,需进行构型差异评估并分析试验的有效性。试验报告中需包含对试验原始数据、曲线及图表的整理和分析,并给出试验结果是否有效的结论。此外,试验报告中还应纳入试验过程中的问题情况及处理纠正措施,试验前后设备基本功能性能试验(ATP)结果和试验过程中的红线更改记录(Red-Line)。而在鉴定试验报告中,针对采用相似性分析方法表明设备满足试验等级要求的情况,其前提条件是相似性分析的支撑数据必须在先前型号中已获得审查方批

准。相似性分析过程需从试验件与相似设备之间的设计差异、使用及安装环境差异、试验等级差异、试验规范差异以及试验判据差异这些方面切入展开。最后针对理论分析部分,如果是纯理论的方法,报告中需有分析计算过程,且所得的任何结论都要有相应理论支撑;如果是仿真分析的方法,必须有对仿真模型校准的过程,用于证明仿真分析的正确性。

## 3 结论

目前,国内设备鉴定试验相比较国外基础设施比较薄弱,体系不完善,还处于起步阶段。本文对设备鉴定试验需求分析捕获,计划制定,试验开展,适航审批,试验目击活动这几方面进行了重点阐述,对国内民用飞机设备鉴定试验流程体系的建设有一定指导意义。

## 参考文献:

- [1] 王继东. 设备鉴定试验和相关标准[J]. 核标准计量与质量, 2014(2): 35-40.
- [2] 中国民用航空局航空器适航审定司. AP-21-AA-2011-03-R4, 航空器型号合格审定程序[S]. 北京: 中国民用航空局航空器适航审定司, 2011.
- [3] RTCA. RTCA Document DO-160G, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S]. Washington, DC: RTCA, 2010.
- [4] 祝耀昌, 李敏伟. 航空军工产品实验室环境鉴定试验工作情况分析(1)[J]. 航天器环境工程, 2010, 27(1): 114-117+1.
- [5] 祝耀昌, 李敏伟. 航空军工产品实验室环境鉴定试验工作情况分析(2)[J]. 航天器环境工程, 2010, 27(2): 220-226+133.
- [6] 曾蕾, 张胜海, 刘中平. 民用飞机机载设备鉴定试验质量控制[J]. 科技视界, 2017(9): 115-116.
- [7] 祝耀昌. 军工产品环境鉴定试验项目借用、简化和免除条件的探讨[J]. 航空标准化与质量, 2012(5): 23-27.
- [8] 郭瑛. 鉴定试验前的制造符合性检查[J]. 科技与创新, 2016(23): 93-94.
- [9] 王保顺. 航天装备试验鉴定人才培养转型发展的思考[J]. 继续教育, 2017(2): 25-27.
- [10] 汪新, 李飞. 试验鉴定研究中若干问题探讨[J]. 装备学院学报, 2017, 28(2): 84-87.

## 作者简介

章光灿 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机刹车系统设计。E-mail: zhangguangcan@comac.cc

## Qualification test for civil aircraft equipment

ZHANG Guangcan \*

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

**Abstract:** This paper expounds the important role of equipment qualification test in civil airworthiness process system, and defines the specific contents and entry and exit criteria of equipment qualification test at each stage in combination with the double-v core idea of SAE ARP 4754A requirement management. The validation process of requirements is divided into three stages: test requirements acquisition and analysis, test plan formulation and test procedure approval. And requirements verification process is also divided into three stages: test, test witness and test report approval. This paper describes the key content and airworthiness requirements for each stage and has certain guidance meaning for the construction of civil aircraft equipment qualification test system.

**Keywords:** MC9; equipment qualification test; certification

---

\* Corresponding author. E-mail: zhangguangcan@comac.cc