

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.04.01

民用飞机测试体系的讨论

梁志国, 尹肖, 孙浩琳, 张大治

(航空工业北京长城计量测试技术研究所 计量与校准技术重点实验室, 北京 100095)

摘要: 讨论了民用飞机的测试任务和测试活动, 概括出三种测试活动: 性能测试; 功能测试; 故障诊断。结合民机各个阶段的测试任务分析, 提出了一种民机测试体系技术框架, 并将其分为五个方面: 任务体系; 硬件能力体系; 法规体系; 量值溯源体系; 人才队伍体系。讨论了民机测试体系的构建, 并特别讨论了测试活动中计量性的重要性。

关键词: 计量学; 测试; 体系; 民用飞机; 计量; 溯源

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)04-0001-05

The Discussion on the Systems of Civil Airplane Test

LIANG Zhiguo, YIN Xiao, SUN Haolin, ZHANG Dazhi

(National Key Laboratory of Science and Technology on Metrology & Calibration,
Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Both the test tasks and test activity of civil airplane are discussed, three kind of tests are summarized in detail, including performance tests, function tests, and malfunction diagnosis. Combining with the analysis of test tasks in different moment, a technical frame about civil airplane tests is presented, including five parts: tasks system; hardware system; methods and statutes system; traceability system; persons. How to construct the test systems about civil airplane are discussed in detail. Especially, the measurement ability in tests activity is enhanced.

Key words: metrology; test; system; civil airplane; measurement; traceability

0 引言

测试是对给定的产品、材料、设备、生物体、物理现象、过程或服务按规定的程序确定一种或多种特性的技术操作, 也可将其理解为测量和试验的综合。测试性是产品能及时、准确地确定其状态(可工作、不可工作或性能下降)并隔离其内部故障的一种设计特性。

民用飞机测试是一个庞大而复杂的概念, 其内容众多而庞杂, 任务大小不一, 阶段各个不同, 主体单位众多^[1-10]。虽然我国民用飞机测试发展了多年, 但对于是否形成一个体系, 一直存在争议。

测试一直处于任务驱动模式, 本行业的实际行为多数处在学习和模仿先进国家的阶段^[11-15]。实质上处于无行为主体、无行业监管、无准入门槛、无从业资质要求的状态。其构成体系的核心和构成要素不明晰。

目前, 我国测试行业处于应急灭火状态, 当出现故障或事故追究责任时, 才想起用测试手段诊断以解决问题。我国测试行业从整体上缺乏全面布局、规划发展的思想。例如: 测试行业缺乏对被测试对象的主

体功能和性能的测试和关注。测试人员缺乏对测试体系内涵的了解, 民用飞机测试行业与整个测试行业的现状大体一致。

民用飞机测试行业与测试有关的工作均是以试验任务来驱动, 其对测试的理解是: 试验中的测量。从本质上说明测试仅仅是依附于试验的辅助事宜。本文后续内容, 主要针对民机测试体系的内涵、构建等进行阐述与讨论, 并试图给构建民机测试体系的人们提供一种思路和参考。

1 测试的任务

关于测试本身的任务, 在航空行业一直存在共识^[16], 主要包括: ①故障诊断; ②极限特性的探求和获取; ③特征参量变化范围的核验与确认; ④功能正常性的检查核验与确认; ⑤多变量状态的同步与时序核验确认。它们存在于民用飞机从设计研制、试飞、定型、生产、使用维护、修理的各个阶段。在不同阶段, 承担的测试任务不同, 实施测试的主体不同, 想

要达到的测试目标也截然不同。

例如,研制阶段的飞机整机结构强度的静力试验^[17],其任务就是在3~6个月的时间里,确定飞机能够安全承载的最大静力量值是多少;耐久性疲劳强度试验,其任务则是在8~10年里,确定飞机安全飞行的疲劳寿命是多少。

研制阶段的各种离散源冲击试验,也是确认各种情况下的飞机安全性能的试验。例如:鸟撞试验,以不同速度状态的仿真鸟,用空气炮水平射击飞机头部以核验飞机头部损伤程度,来确认是否符合要求;水平冰击试验,采用不同颗粒与不同硬度的冰粒,以不同速度水平击打飞机头部,来核验飞机头部损伤程度,以确认是否符合要求;假人水平冲击试验,对安置在飞行座椅上且安装了各种传感器的仿真人,使用水平空气炮发射1~20 g范围内的水平加速度冲击激励(半正弦或三角波等波形),通过对假人腰椎、颈椎等承载的力、力矩、加速度、位移等量的测量,核验飞机抗击水平冲击的水平,确认是否符合要求;摆锤击胸、击头试验,则是通过使用摆锤,对安置在飞行座椅上且安装了各种传感器的仿真人,进行锤击胸部和锤击头部试验,通过对假人腰椎、颈椎等承载的力、力矩、加速度、位移等量的测量,核验飞机抗击摆锤冲击水平,确认是否符合要求。起落架落震试验,通过将安装在试验工装上的飞机起落架提升几十厘米至2 m高,在机轮不同转速下自由落体着陆,判断造成的损伤,核验飞机抗击跌落冲击水平,确认是否符合要求;起落架摆振试验,通过将安装在试验工装上的飞机起落架提升几十厘米至2 m高,以不同角度自由落体至高速运动的地表,通过产生的侧向扭转的回复周期,判断起落架抗击摆振的性能水平,确认是否符合要求;全机落震试验^[14],则通过将飞机全机提升几十厘米至2 m高,自由落体着陆,以此判断造成的损伤,核验飞机抗击跌落冲击水平,确认是否符合要求。

著名的十大试验台^[6],主要针对飞机地面试验的系统:①飞行控制系统试验台;②飞行品质模拟试验台;③燃油系统模拟试验台;④电网模拟试验台;⑤环控系统模拟试验台;⑥液压系统模拟试验台;⑦进气道调节系统模拟试验台;⑧航空电子综合模拟试验台;⑨座舱盖模拟试验台;⑩座舱照明模拟试验台。另外,各种航空发动机试验台、试车台,各类风洞等也属此类。

以飞机机载设备为例,有以下几大类典型的系统需要进行测试验证与确认^[7]。①飞控系统:包括远控

电传(或液压)操纵系统,自动驾驶系统,组合导航设备(雷达导航系统、无线电导航系统、惯性导航系统、GPS导航系统、导航计算机系统、航向信息系统、无线电罗盘、高度信息系统、大气数据计算机和进场的仪表着陆系统、微波着陆系统等),以及防冰、防撞系统等;②综合座舱显示系统;③机载自动监控系统:包括飞行参数记录装置,机载检测和告警系统等;④综合通讯系统:包括超短波电台、短波电台、机内通话器、语音报警器、计算机等;⑤机载电源系统;⑥环控系统;⑦气象雷达系统。

特别重要的飞行性能的试飞任务,则有更多的试验需要测试来验证完成。

另外,有关民机适航性要求的众多规定,内容要求贯穿于设计、试验、试飞、制造、使用维护等各个阶段^[18-19]。尽管规定得很笼统,也是建立在测试试验的基础上的验证和确认过程。

从本质上说,这些均是民机测试相关的任务对象,为民机测试的主战场。

实际上,对于民用飞机,适航规章和标准可看做一个体系,其主要是安全有关的标准,规定了民用飞机若想通过适航认证,必须满足的一系列要求,包括设计和制造阶段的初始适航性,及使用和维护阶段的持续适航性。其中,一部分要求直接与测试有关,另外的部分,很多只是技术要求。标准的不同条目之间,从表面看并没有明确的逻辑关系,实质上,每一条标准的后面,都隐含着一系列适航事故造就的血的教训。因而,从适航标准有关的测试系列要求,仅仅可以抽象出安全体系的内涵与框架,难以抽象出民机测试体系的内涵与框架。

2 测试体系的概念

“测试历来无体系,测试工作不成体系。”这样的结论有些武断和绝对,但也不无道理。这主要是因为测试虽然渗透到几乎每一项实际工作之中,但在多数情况下都处于从属地位,另外,测试分类偏杂,其任务也偏杂,且无定数,总在变化过程之中。我国航空工业在自主研发方面的能力比较薄弱,自主探求极限特性和特征为主的主动测试行为较少,使得故障诊断、符合性验证类的被动测量行为占据主导地位,而测试或为辅助地位,仅仅作为一种工程手段。总体而言,有三种典型的测试活动:

1)性能测试,就单参量的量值而言,实质上是被测参量极限区间的边界确认,也可以是过程特征值的

边界确认,或过程变化规律的符合性确认;对于多参量量值,还可能包括它们之间的同步、时序、因果关系等的验证与确认。校准过程类似于性能测试,属于计量性能的符合性验证确认行为。

2)功能测试,实质上是其功能符合性的验证与确认。

3)故障诊断,针对功能达不到预期要求,或性能达不到预期要求情况,以测试为手段进行故障定位、故障分离、故障判断等。为故障排除提供技术依据,通常多数属于功能测试,但也可从属于性能测试。

无论哪一种测试,都包含“人”、“机”、“料”、“法”、“环”五个主要要素。“人”为实施测试的主体,可以是技术机构、生产试验单位、部门,最终落实到实施者,以及相应的管理者;“机”是测试所用的仪器、设备、标准器具、装置、设施等,是测试得以实现的物质条件;“料”是被测对象及测试需求,可以是单项或多项,可以是功能或性能;为测试的基本要求;“法”是测试所依据的方法、标准、规范,以及测试结果的处理与呈现;“环”是测试所需要的环境条件。

围绕测试对象的测试目标,各项测试要素的集合,构成被测对象的测试体系,包括以下几方面体系:

①人才体系,即测试人力资源体系,测试任务的实施者,构成测试人才队伍体系,又可分为测试管理队伍体系和测试工程技术队伍体系。

②资源体系,即测试设备资源体系,是测试实践中的标准仪器和设施集合。

③任务体系,由各种不同的测试需求的总集合构成测试任务体系。

④方法体系,由测试方法、标准、规范、法规等集合成测试原理、方法、法规体系。

⑤环境体系,由特殊的多种不同要求的、成体系的环境条件与设施构成环境条件体系。

⑥民用飞机测试体系,是围绕民用飞机测试任务及目标构建的全局性的工作与发展体系,有明确的目的、基本的任务需求、规范的技术要求、可用的技术结论、良好的发展态势。

3 民用飞机测试体系的构建

当明确测试体系所包含的要素之后,便可以主动规划和构建适用于不同对象的测试体系,并不断完善和发展。天然形成的测试资源和测试力量,靠的是利益驱动和需求牵引而产生,往往不完备、不系统。

任何一个工业产品,若想达到安全性、可靠性、维修性、测试性、计量性五个方面的基本要求,并在使用维护中顺利实施,需要在设计阶段就予以考虑。若设计时考虑不全面,后期将难以补救。因此,若非主动构建测试体系,仅靠利益驱动和需求牵引,很多测试任务是无法在实际工作中顺利完成的。因为设计方和测试方并非同一主体,产品使用方对设计方的技术要求并不能做到如此完备而具体,而对于不属于自身必须要求的技术特性,设计方往往选择忽略,从而导致产品缺乏测试性特征。

主动构建测试体系的情况则不然,它是建立在详细的测试需求分析基础上,经过利害分析、目标分析、技术要求分析、技术任务分解、实施方式的验证与确认,经主动构建和持续运营与完善。它包含测试管理体系、测试技术体系、测试监督体系,从产品概念提出和技术设计阶段就予以考虑测试性问题,以及包括测试顺利实现的“人”、“机”、“料”、“法”、“环”的全部测试要素。在系统内达成共识,系统外获得认可。以飞机为例,可构建如下图1所示的测试体系框架。

由图1可见,若将民用飞机全寿命周期分为设计研制、地面试验、试飞定型、工程制造、使用维护5个阶段,每一阶段都可分析整理出若干测试任务,而每一个测试任务又都拥有若干个测试目标。针对每一个具体的测试任务的若干个测试目标,设计构建相应的测试系统,按照标准化的测试方法与流程,获得测试结果,最终处理获得明确的测试结论,从而完成测试任务。

图2所示为民用飞机测试体系的量值溯源框架,其中可见,民用飞机各个测试系统所涉及量值,均需通过各种校准方法溯源到上级计量标准,从而确保测试所获得的结论的准确无误,没有进行量值溯源的测试数据所获得的结论不具备可信性。关于这一点,测试校准实验室认可准则中已明确表述,不再赘述。

从这里可知,民用飞机测试体系构建包括:①梳理出各个阶段的全部测试任务,将其变成标准化测试任务体系;②针对每一项测试任务,制定完善的测试目标系统,并以此构建相应的测试系统,全部测试任务的各个测试系统,构成民机测试系统体系;③全部测试所依赖的理论、方法,构成测试的理论方法体系,应以手册、标准、规范、规程、条例、大纲等各种形式,将其规范化、系统化和标准化,构筑民机测试理

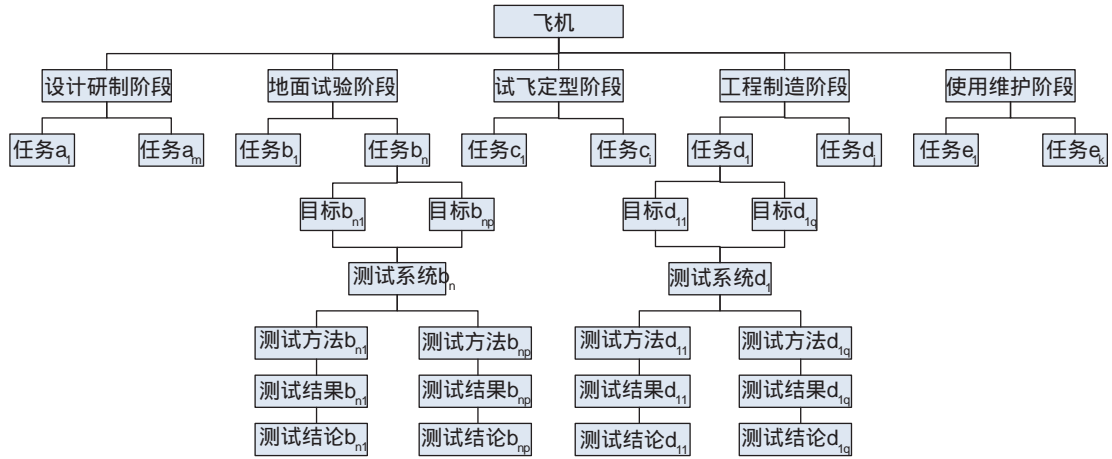


图1 民用飞机测试体系框架

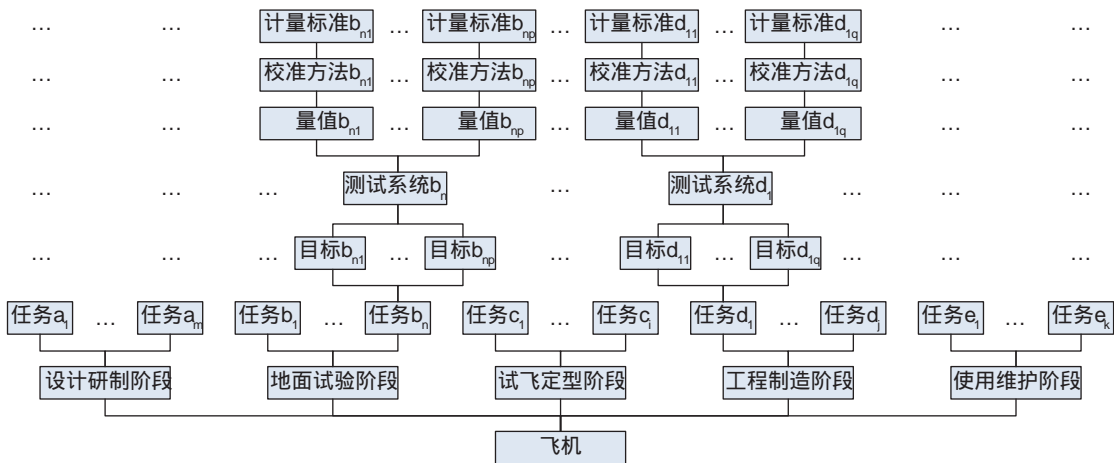


图2 民用飞机测试体系量值溯源框架

论方法及法规体系；④针对全部测试任务所涉及的物理量值，构建完备的如图2所示的量值溯源链，将它们有效溯源到上级计量标准；也可将其称之为编织完善的量值溯源链，构筑完整的量值溯源体系；⑤整合各个阶段、不同单位和部门的测试管理人员与测试技术人员，构建民机测试人才队伍体系；该队伍的从业单位与部门，应该通过相应测试实验室认可准则的认可^[20]，作为测试行业的最低入门要求。

4 讨论

从上述过程可见，民机测试体系实际上包含了任务体系、硬件能力体系、理论方法体系、技术法规体系、量值溯源体系、人才队伍体系等方面的内涵。若想让其完整有效，需要进行顶层设计与行业管理。在飞机设计阶段，同步分析其测试任务体系，同时考虑其测试体系构建问题，并按照安全性、可靠性、维修性、测试性、计量性五个方面的基本要求，进行测试体系的设计构

建，并将其标准化、文件化和制度化^[21]。

特别是测试系统的计量溯源问题，在许多以故障诊断和定位为目的的测试活动中，并未给予应有的重视，从而也影响了以性能获取为目的的测试活动的量值溯源理念。若不在设计建造阶段同时进行计量性设计，会导致测试系统的许多量值，在实际工作中无法进行有效溯源^[8-9]，因而给依赖定量量值给出测试结论的测试工作带来巨大隐患，这也是很多复杂测试系统的典型缺陷，几乎每一个飞机制造厂，都有一些无法完整溯源的测试设施与系统。

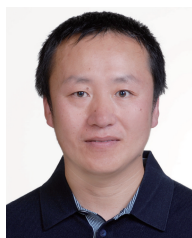
5 结束语

通过讨论民用飞机测试系统的内涵，分析测试体系框架如何构建。民机测试体系技术框架其分为5个不同阶段，以测试任务为驱动进行全面考虑，并从任务体系、硬件能力体系、法规体系、溯源体系、人才队伍五个方面，系统阐述了民用飞机测试体系的内涵。

参 考 文 献

- [1] 黄涛, 王伟. 大型民机试飞测试发展与挑战[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(9): 5-7.
- [2] 杨占才, 朱永波, 王红, 等. 飞机便携式外场测试系统体系结构研究[J]. 测控技术, 2006, 25(3): 1-3.
- [3] 胡帅, 张学涛, 代洁, 等. 民机工业计量测试技术规范研究与体系建设思考[J]. 计测技术, 2016, 36(3): 72-75.
- [4] 张学涛, 邢向楠, 周世锋, 等. 构建民用飞机参数量值溯源体系的探讨[J]. 计测技术, 2014(3): 58-61.
- [5] 张超, 周德新. 民航飞机机载音频系统可测试性研究[J]. 电子测试, 2009(3): 71-75.
- [6] 梁志国, 曹英杰, 孙璟宇, 等. 飞机地面测试试验系统综合校准述评[J]. 航空计测技术, 2001, 21(5): 7-9.
- [7] 梁志国, 靳书元, 孙璟宇. 航空电子计量校准的发展[J]. 航空科学技术, 2001, 72(5): 37-38.
- [8] 梁志国, 吕华溢, 张大治. 专用测试系统计量校准问题讨论[J]. 计测技术, 2017, 37(2): 1-5.
- [9] 梁志国, 吕华溢, 张大治. 计量性是复杂工业产品技术状态控制及大数据管理的基石[J]. 计测技术, 2017, 37(3): 7-12.
- [10] 梁志国, 张大治. 复杂系统的计量性设计与评估[J]. 计测技术, 2017, 37(5): 1-6.
- [11] 张列刚, 张焕春. 军用飞机通用 ATS 体系结构研究[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(4): 346-348.
- [12] 黄建军, 杨江平, 彭飞. 通用自动测试系统(ATS)体系结构及关键技术[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(3): 71-74.
- [13] 刘金甫, 王红. 国外航空电子 ATS 体系结构研究[J]. 测控技术, 2002, 21(1): 5-8.
- [14] 于劲松, 李行善. 美国军用自动测试系统的发展趋势[J]. 测控技术, 2001, 20(12): 1-3.
- [15] 杨廷善. 美国军用自动测试系统管理体系概述[J]. 测控技术, 2003, 22(11): 10-15.
- [16] 梁志国, 张大治, 吕华溢. 动态校准、动态测试与动态测量的辨析[J]. 计测技术, 2017, 37(1): 30-34.
- [17] 牟让科, 刘小川. 民机机身结构和内部设施适坚性设计评估与验证指南[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2016.
- [18] 中国民用航空适航审定规章汇编[S]. 中国民用航空局航空器适航审定司, 2008.
- [19] Ken Farsi. Understanding the FAA Aircraft Certification Process Seminar[Z]. China Aero-Poly technology Establishment, 2011.
- [20] ISO/IEC 17025. Accreditation Criteria for the Competence of Testing and Calibration Laboratories[S]. 2017.
- [21] 梁志国. 计量测试标准化[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017.

作 者 简 介



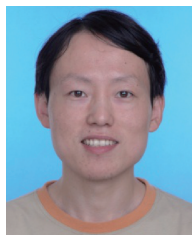
梁志国(1962-), 男, 黑龙江巴彦人, 研究员, 研究生导师, 主要研究方向为数字化测量与校准, 模式识别, 动态校准, 精确测量。已在各种杂志发表文章 160 余篇。1983 年于北京航空学院电子工程系雷达与导航专业, 获工学学士学位; 1988 年毕业于航空航天部第 304 研究所飞行器仪表与测试专业, 获工学硕士学位; 2010 年毕业于北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院测试计量技术与仪器专业, 获工学博士学位。全国无线电计量技术委员会委员; 中国计量测试学会电子计量专业委员会委员; 全国误差与不确定度研究会理事会理事; 中国空气动力学学会测控专业委员会委员; 中国航空工业集团公司特级专家; 中国航空工业集团公司基础技术研究院首席专家; 北京长城计量技术研究所特级专家; 国防计量检定员, 国防计量主考员, 国家计量许可证考评员, 国家计量标准一级考评员, 国家一级注册计量师。



尹肖(1989-), 男, 湖北孝感人, 工程师, 主要研究方向为动态力计量校准、动态应变计量校准、振动与冲击动态测试与校准。2012 年 7 月南京航空航天大学飞行器设计与工程专业毕业, 获工学学士学位; 2015 年 1 月北京长城计量测试技术研究所仪器科学与技术专业毕业, 获工学硕士学位。参与国家重大仪器专项、国防计量技术基础、国家军事计量等多个科研项目。目前正在进行动态应变校准技术有关研究。



孙浩琳(1989-), 男, 山东烟台人, 工程师, 主要研究方向为航空发动机叶尖间隙测量、振动与冲击动态测试。已发表学术论文 3 篇, 获发明专利 2 项。2013 年毕业于福州大学机械学院机械设计制造与自动化专业, 获得学士学位; 2016 年毕业于北京长城计量测试技术研究所测试检测技术及自动化专业, 获得硕士学位, 毕业论文获得中国航空研究院优秀硕士论文。主持完成航空科学基金一项; 参与国家重大仪器专项、国防计量技术基础、国家军事计量等多个科研项目。



张大治(1977-), 男, 吉林吉林人, 高级工程师, 从事振动冲击测试与校准, 动态量值溯源方法方面的研究。动态测试校准技术研究方向学科带头人, 国家振动冲击转速标准化委员会委员。已完成技术基础科研课题 15 项, 国家重大仪器专项 1 项, 创新基金课题 16 项, 智力引进项目 1 项, 获得国防科技进步一等奖 2 项, 二等奖 2 项, 集团科技进步一等奖 2 项, 二等奖 1 项, 已发表论文 15 篇, 获得发明专利 6 项, 参加 4 项国家标准和计量技术规范的制订。