

机载系统地面大型试验技术发展与研究

Technology Evolution and Study on Large-Scale Test of Airborne System

中航工业第一飞机设计研究院 赵永库



赵永库

工程硕士, 研究员, 主要从事航电验证及机载网络等方向的研究。

试验是飞机型号研制过程中最为关键的环节, 可以验证飞机的各种功能、性能是否满足设计要求, 是确保军方用户获得并维持具有作战效能、作战适用性且满足用户需求的关键环节, 日益受到军方和工业部门的重视。

机载系统本身作为一个信息系统, 由计算机、软件、网络和传感器等组成。机载系统的试验环境是以试验网络为核心, 由飞行环境、激励系统、测试系统、仿真系统、试验管理系统等

根据对我国机载系统试验现状的分析, 以及现代信息技术等高新技术的飞速发展及其在军工试验与测试领域的广泛应用, 机载系统试验技术应向综合化、虚拟化、自动化和网络化的方向发展。

组成, 更是一个信息系统。试验技术的创新应充分发挥信息技术的优势, 以信息化手段大幅度提升试验的效率和质量, 推动试验技术的变革。

我国机载系统大型试验现状分析

机载系统一般包括航电系统、任务系统、飞控系统、液压系统、起落架系统、燃油系统、环控系统、机电系统、供电系统等, 这些系统都要开展各自的试验, 有些试验属于大型试验, 比如航电系统的综合试验。另外, 这些系统还要进行交联试验, 一般以航电系统为主导, 完成航电系统与飞机其他系统的交联试验, 这种试验更属于大型试验。

新机的研制都有大量的试验作支撑, 试验的充分性、全面性影响到型号研制的成败, 但我国目前采用的还是传统的“实物试验—改进实物—再试验”的模式, 试验流程、试验方

法等各方面有待提高。

1 试验流程现状分析

飞机机载系统目前大多数采用传统的试验流程模式, 也就是“实物试验—改进实物—再试验”的模式, 试验一般从C型件开始, 经过C型件综合试验、S型件综合试验、机上地面试验、飞行试验等几个阶段。C型件为初样件, 在C型件阶段, 验证系统的设计原理、交联关系是否正确; S型件为试验件, 在S型件阶段, 全面验证系统的功能、性能、交联关系是否满足设计要求; 机上地面试验主要在真实的机载环境中, 验证设备/系统的功能、性能、交联关系是否满足设计要求, 还包括试验室无法进行的试验项目的验证, 比如传感器的验证等; 飞行试验是在真实大气条件下对飞行器、航空动力装置、机载设备和系统进行的各种试验。

上述传统试验过程的特点是在机载设备初样件实物研制出来后才

开展试验,不能尽早发现设计缺陷和问题,更改周期长、代价大,甚至有些缺陷无法更改,使飞机带着缺陷交付用户,严重影响飞机的使用效能。

2 试验方法和手段现状分析

2.1 试验对人的依赖性

传统的试验方法对人的依赖性较大,是一种手工作坊式的试验方法。传统的试验方法在试验任务书下达后,试验人员根据设计文件编写试验大纲,任务书和试验大纲评审后开始试验。在试验过程中,试验人员根据试验大纲中的步骤,一步一步地开展试验,试验操作由人来完成,试验结果的评判要靠人去判断,试验报告要靠人去编写。这种试验过程,编写试验大纲和做试验的人员为同一人,容易形成思维定式,只对正常过程进行验证,对边界条件、非正常过程验证不充分;另外,这种试验过程没有可重复性,不同的操作人员可能会得到不同的试验结果,试验偶发故障也难以复现。

2.2 试验地域限制

由于试验室规模和能力的限制,飞机的各个系统一般由不同试验室(或研制单位)分别开展试验。各研制单位按照规定的机械尺寸、通信接口、通信协议以及其他功能、性能指标,各自在本单位独立完成分系统的开发和测试,然后进行系统综合。

传统意义上的系统综合,往往需要把各个分系统都集中到某个中心试验室,按照实际系统结构连接各系统的通信接口。这时往往也要把各系统的研制人员也集中到中心试验室,然后按照进度计划逐步完成分系统两两之间的双边对接、多个分系统之间的多边对接,最后进行整个机载系统的综合。由于机载系统本身的复杂程度高、对可靠性要求非常严格,上述集成过程往往需要很长的时间。

这种集成综合模式存在以下弊端:(1)要等所有分系统都完成自测以后才能开始联调,经常由于个别分

系统的进度而延误整个系统的进度;(2)各个分系统之间都是“初次见面”,接口标准、通信规程都需要从零开始逐个验证,集成试验往往要持续很长时间;(3)需要把所有分系统都运输到指定联调地点,如果集成是分阶段进行的,则需要多次往返运输;(4)需要有足够大的联调试验场地,在整个联调过程中持续占用,场地费用昂贵;(5)需要各系统研制单位的相关人员全部在场才能开始工作,联调过程中这些人员都必须一直驻扎在现场,人力费用昂贵。

较大。试验人员早期参与就是要从飞机生命周期一开始就参与验证工作。设计流程一般是需求分析、方案设计、初步详细设计、详细设计、试制等过程,因此,验证工作应该从需求阶段就开始,如图1所示。

在需求分析阶段,试验人员应该对需求及派生的需求正确性,以及是否覆盖了研制总要求的全部内容进行验证;在方案设计阶段,应该验证方案设计正确性,对一些关键技术进行原理仿真验证,支持设计方案的确定;在初步详细设计阶段,应该

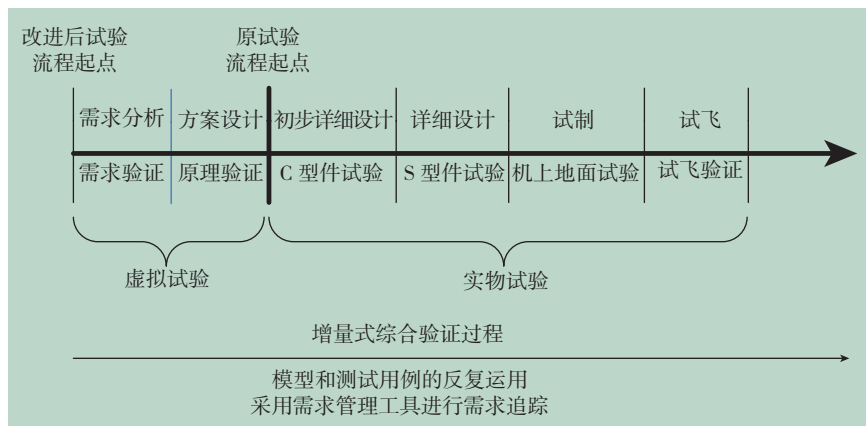


图1 试验流程改进

机载系统大型试验技术创新

根据对我国机载系统试验现状的分析,以及现代信息技术等高新技术的飞速发展及其在军工试验与测试领域的广泛应用,机载系统试验技术应向综合化、虚拟化、自动化和网络化的方向发展。

1 试验流程的改进

美国空军近年来的重大转型中提出的一项重要计划是“空军21世纪灵巧作战(AFSO21)”,它是指导空军持续过程改进的一个顶层计划,该计划提出了多项与试验与评价有关的倡议,“试验人员早期参与,以提高试验的作用和效率”就是其中一项重要倡议^[1]。

传统的试验从实物试验开始,设计缺陷或问题发现得较晚,更改代价

对数据流进行仿真,验证数据流接口关系是否正确、设计是否合理,并建立系统模型,验证系统逻辑关系是否正确;在详细设计阶段,对系统的初样件(C型件)进行试验,验证其设计原理、接口关系是否正确;在试制阶段,对系统的试验件(S型件)进行综合试验,将各设备/分系统的功能集成在一起,形成系统的整体功能,验证系统的接口关系、数据流、控制逻辑等是否满足设计要求,为系统装机试飞奠定基础。

整个验证过程是一个从低级需求向高级需求追踪的过程,分析、验证低级需求的正确性、对高级需求的覆盖率。需求的追踪可以借助需求管理工具对过程进行管理和实施。在系统实物没研制出来之前,可以采用虚拟试验技术,对设备/分系统进

行建模仿真,验证系统设计原理、逻辑关系、数据接口的正确性;虚拟试验建立起来的模型和测试用例可以被反复地应用到后续的实物试验中,从而提高系统研制的效率,保证测试的一致性,达到提高产品的质量的目的。

2 虚拟试验技术

虚拟试验验证是一种基于数字样机模型的复杂产品关键系统试验数据产生、获取和分析的系统过程,它以建模仿真、虚拟现实和知识工程方法为基础,在一个由性能模型、耦合环境、流程引擎和可视化交互机制构成的数字化试验平台中模拟真实产品的物理试验过程。

虚拟试验体系结构如图2所示。虚拟试验体系结构包括试验运行支持总线、指控管理中心、通用测试平台、虚拟试验可视化、试验台、数据库及试验对象的数学模型、几何模型等,各个部分通过总线进行数据、信息、指令的交互^[2]。

虚拟试验运行支持总线是建立在CORBA技术之上的网络中间件,提供了事件服务、命名服务、交易服务等,能够满足各个对象之间的定位、调用以及数据的交互,是整个虚拟试验的基础。

指控管理中心是虚拟试验的神经中枢,负责管理虚拟试验的进度、对象、操作等,具体包括人员管理、试验信息、数据库访问等,并能够监控试验过程。

通用测试平台通过连接不同的数字测试适配器能够对试验台物理样机、虚拟测试对象进行虚拟测试,该平台由2部分组成:通用测试界面

和数字适配器。通用测试界面是测试流程、测试任务、测试信号编写和管理上层应用;数字适配器负责完成测试信号到测试仪器或者虚拟测试仪器的映射、测试数据的双向传输等功能。

虚拟试验可视化是虚拟试验过程显示的界面,它将虚拟样机的几何模型以及试验的环境通过三维环境显示。试验过程中各种数据、状态以及操作均在测试对象的相关部分实时显示。

虚拟试验一定是建立在物理试验基础上的,并利用物理试验的数据进行验证和修正,因此,试验数据库、环境数据库是虚拟试验运行的根据和数据源。

虚拟试验是一个支持虚拟样机运行、虚拟测试、虚拟实验过程逼真显示、虚拟试验数据的存储与处理的计算机系统,由于存在多主机、多对象的交互,因此,是一个典型的分布式系统。

虚拟试验是虚实结合的产物,因此系统具有与真实设备或部件接口

的能力,能够支持在模型与实物之间进行信息交互;当将试验系统与实物结合时,就是一个实时的试验系统。

现代型号的研制从数字化设计到各种试验,最终到产品的制造,虚拟试验应该成为其中不可缺少的一个环节,也就决定了虚拟试验应该是一个开放的系统,具有和设计软件、分析软件、试验软件集成的能力。

3 网络化试验技术

在过去以平台为中心的作战中,一般都以单一武器平台为核心,而在信息化条件下的高技术战争是体系与体系的对抗,多兵种联合是体系作战的表现,因此对平台的性能和功能要求越来越多、越来越高。现在及未来发展的“网络中心战”,强调作战体系的整体功能,强调信息在体系中的作用,要求增加网络信息共享力,实现网络路径的多样化,以提供安全可靠的网络能力。在这种情况下,对信息技术密集的复杂多任务系统的评估与试验的难度系数增加,许多跨平台交互和相关性要求使得传统武器试验与评价方式与战争需求的矛

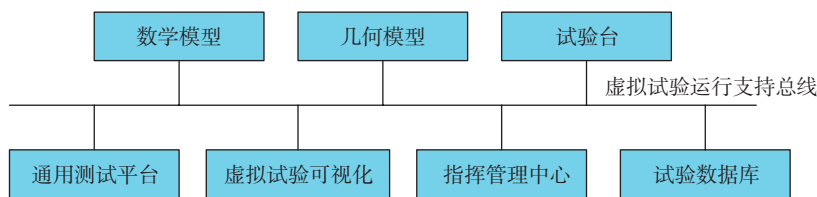


图2 虚拟试验体系结构

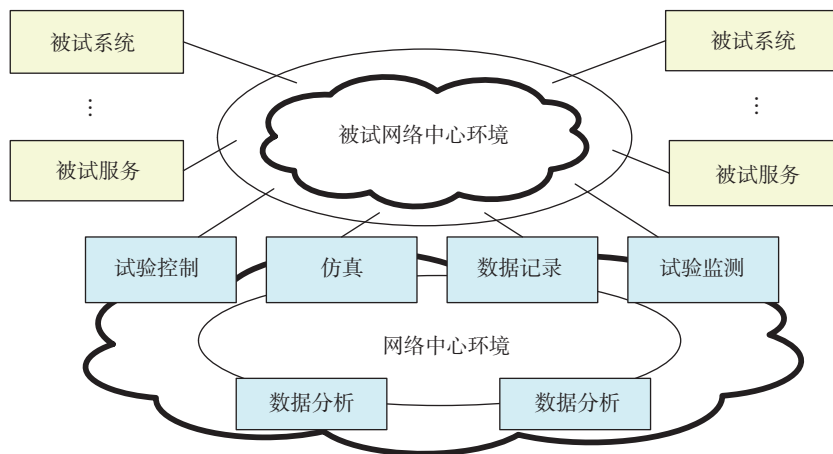


图3 网络化试验与评价

盾日益增加。

如图3所示,网络化试验与评价包含2层含义,一是网络中心环境的试验与评价;二是使试验与评价本身实现网络化,即共享试验与评价信息和资产、支持试验与评价协同、实

现分布式试验及数据收集和分析,从而使试验与评价过程动态性更强、响应更快、更加有效。

网络化试验与评价方法较传统的试验与评价方法在许多方面存在差异。首先,在网络化方法中,试验人员除了关注以往的系统或大系统(SoS)自身的要求外,还必须关注网络使能的要求。尽管某些新的特征(诸如信息需求、信息时间和信息保证)也是传统评估的一部分,但在网络中心环境下,这些特征具有新的意义,以信息保证为例,以前,试验人员关注系统及其直接接口的信息保证特征,在网络中心环境下,信息保证取决于若干个外部参数,超出了被测系统及其连接的控制和责任范围。

网络化试验与评价可以应用于从需求到设计、工程、产品验收和使用中的保障等武器装备寿命周期的所有阶段。它不是一种新的试验环境、要求、阶段或方法,而是一种效率更高、更经济有效地开展试验与评价工作的方式。例如,利用网络化试验与评价就不需要将所有接口的单元都运到集中试验场地,只需把这些单元纳入到试验与评价网络就可以“即插即用”。

试验是一种高费用活动,在系统环境下开展试验会更昂贵,因为需要将多个地理上分散分布的系统集中到一起验证数据链互操作性,并需要建立一种逼真的环境能够提供用户友好的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视和侦察系统及威胁能力。借助网络化试验技术,可以使大系统中的每个系统元素利用彼此的贡献产生出更大的整体效应,减少试验设施设备的重复建设;同时,网络化试验与评价能够尽早识别缺陷、克服各个武器项目孤立拥有的、不能互操作的、价格昂贵的专用试验设施的繁殖问题,并在项目寿命周期早期发现和改进问题^[1]。

上述阐述的网络化试验技术概

念是广义的网络化试验,是将一个型号的各系统(由不同的供应商研制、分布在不同的地域)用网络连接起来进行试验,甚至可以将一个作战协同平台中的各部分用网络连接起来进行试验。广义的网络化试验需要许多技术支撑,比如:网络集成技术、网络同步技术、信息安全技术、分布式试验支持工具、数据管理技术、标准接口定义及中间件技术等,最关键的是体系标准的建立、各单位协同,我国还需要对这方面的技术进行攻关。

虽然,广义网络化试验的实现还需要一个过程,但是,可以在一个单位内部不同试验室之间对网络化试验进行尝试。图4是将一个单位内部各个试验室连接起来,进行网络化试验的示意图。

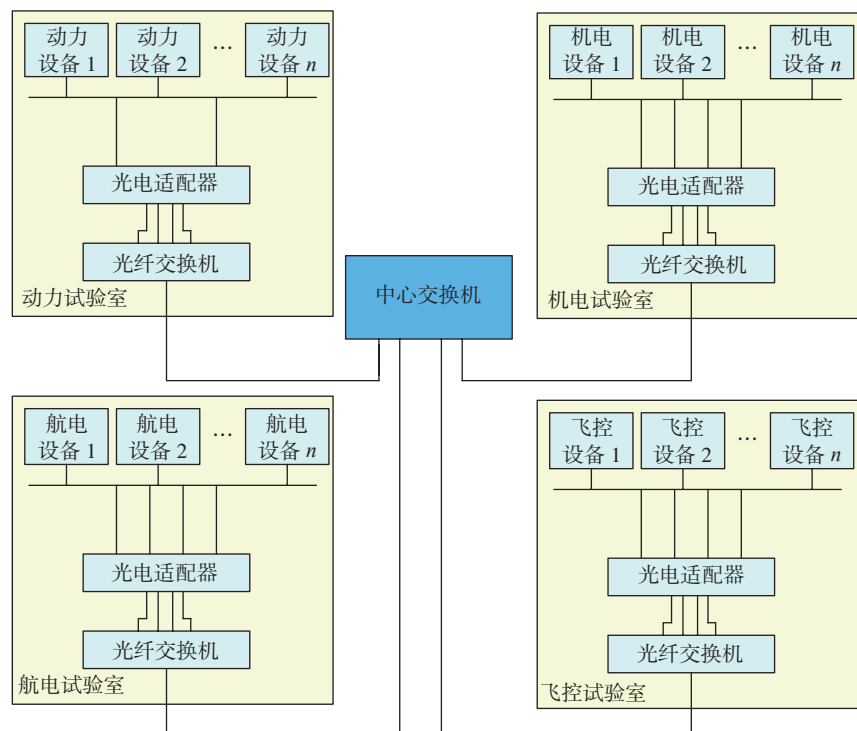


图4 网络化试验的示意图

4 自动化试验技术

传统的试验方法对人的依赖性较强,要靠一组试验人员对激励系统、测试设备、驾驶舱操作系统等进行人工操作,通过激励—响应的情况来判断试验结果的正确性。传统的试

验方法是一种开路测试方法,在科学性、有效性和方式方法上均有待提高。

自动化试验技术是一种测试用例(人)在回路的测试方法,是将被测设备、激励系统、测试系统、操控系统等形成一个闭环系统,通过自动配线技术,提供真实设备和仿真设备之间的灵活切换,通过测试用例的自动执行,来验证系统功能的正确性。

系统以自动测试软件、系统接口数据(SID)、配置运行管理软件及公共接口访问(CIA)传输服务模块为核心,构成支持用例设计及运行环境。同时,配置试验管理、数据监视以及记录回放等功能组件,以支持更全面的试验功能,如图5所示。

系统提供的组件包括:(1)CIA传输服务:定义了一套全局数据访问及控制管理协议,支持多处理器节

点、多个应用程序之间进行数据互操作及协同控制。CIA是测试系统的核心,所有组件的数据交换都是建立在CIA服务基础之上;(2)SID管理服务:用于对测试系统中的接口数据进行统一、完整的描述和管理,包

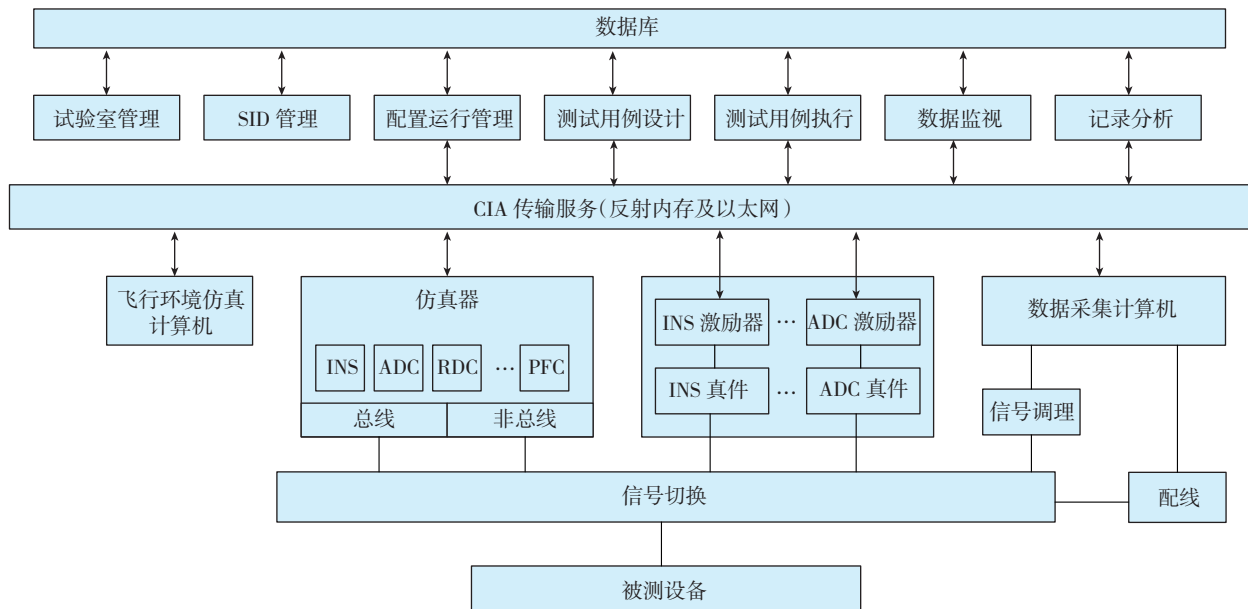


图5 自动化测试系统结构框图

括 ICD 数据和仿真环境数据;(3)配置运行管理:包括:试验工程配置:根据型号任务,创建试验工程,选择型号任务对应的 SID 系统接口数据,进行 CIA 网络配置;试验构型配置:根据试验大纲需求,在试验工程下,划分不同试验构型,对试验构型进行详细配置,确定参与试验的设备、节点及应用,并明确各个应用的 CIA 配置;运行控制功能:通过 CIA 控制协议,控制测试验证系统各功能节点的协同运行;(4)用例测试:提供测试用例编辑、测试运行监控、测试报告生成等功能;(5)数据监视:提供 CIA 传输层数据的图形化监视功能;(6)记录分析:提供 CIA 数据的记录及分析功能;(7)试验管理:提供试验过程信息管理功能。

系统运行过程分为 3 个主要阶段:(1)全局资源配置:首先通过 SID 管理软件建立飞机系统接口数据(SID),然后通过配置运行管理软件配置基于 SID 数据的全局反射内存(CIA)配置文件。上述数据属于全局数据,如不发生更改,仅需配置 1 次;(2)实验构型配置:根据测试需求,通过配置运行管理软件确定测试系统构型,配置真件/仿真件切换

关系,配置信号路由关系,并发布针对各功能节点的 CIA 配置文件。在确定的构型下,使用用例编辑软件编辑试验中使用的测试用例;(3)实验运行过程:首先根据实验构型,做好试验前的准备工作,启动试验所需的节点应用;通过配置运行软件下发试验构型,节点应用收到后进行初始化,如信号切换单元初始化完成构型中规定的真件、仿真件切换,信号路由单元初始化完成构型规定的路由选择;初始化完成后,通过配置运行管理软件启动试验,节点应用进入运行状态;可以根据试验需要,使用用例运行软件运行测试用例,测试后生成测试报告;试验结束时,通过配置运行管理软件停止试验。

自动化试验技术实现测试过程的固化,并通过测试用例的复用,提高测试效率;测试用例自动执行,减少了测试过程的人工输入,缩短了测试工作时间;自动化测试比人工测试拥有更好的一致性和可重复性,每次运行同样的测试用例脚本,可以基本确保有相同的试验结果。

结束语

试验在飞机型号研制过程中发

挥着重要作用,以实物试验为主的试验模式存在诸多问题,需要加大对试验的认识和研究,对试验验证技术进行创新。

试验流程的改进、虚拟试验、网络化试验、自动化试验技术以信息化技术为支撑,是一个有机的统一体,不能孤立地使用。这些技术对解决传统试验模式带来的弊病具有非常重要的价值,可以减少试验次数、节省研制费用、缩短研制周期、提高研制质量。本文提出的试验技术创新方法主要围绕机载系统地面大型试验展开,需要统一规划,各单位密切配合,建立专业研发队伍,共同推进发展。

参考文献

- [1] 张宝珍. 国外武器装备综合试验与评价的发展及应用[EB/OL]. 2012-02-12[2013-06].<http://wenku.baidu.com>.
- [2] 黄玉龙,高宁. 基于虚拟现实的武器虚拟试验技术研究[EB/OL]. 2011-08-13 [2013-06].<http://www.docin.com/p-243108354.html>.
- [3] 张宝珍. 国外网络化试验与评价技术发展综述. 第三届国防科技工业试验与测试技术发展高层论坛文集, 2010-09: 6-14.

(责编 亿霖)