

大型客机总装地面功能试验综合测试管理平台综述*

Review of Aircraft Integrated Test Management Platform on Ground Assembly Functional Test

中国商飞上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所 杨庆华 蔡云芳



杨庆华

博士,主要研究方向为飞机地面总装集成测试、自动化检测。

在现代飞机的设计研制中,按照研制工作的要求,完成零部件的生产后,要求开展零部件的试验,以检验零部件的生产是否满足设计要求;随后进入对零部件的组合和互联阶段,综合功能相对独立的子系统或分系统。然后,开展子系统或分系统

飞机总装功能试验综合测试管理平台从系统功能试验需求、测试技术与信息数据管理 3 个方面出发,能够提高飞机地面总装集成测试自动化水平。由于采用设计、管理、执行三层体系结构,不用进行大的改动就可以应用在多个航空地面应用系统研制、试产、批产等多个阶段。

的试验,验证组成子系统或分系统的零部件之间接口关系是否兼容和协调一致,验证子系统或分系统的功能和性能是否满足设计、规范、标准的要求^[1];最终在完成子系统或分系统的验证试验之后,开展系统的综合功能试验,验证子系统或分系统之间接口关系是否兼容和协调一致,以及从飞机整机的角度全面验证飞机系统的功能和性能是否满足设计、规范、标准的要求。

对于飞机地面总装测试需求而言,飞机总装综合功能试验较多,主要测试系统包括:空气管理系统、电源系统、防火系统、飞控系统、燃油系统、液压系统、起落架系统、航电系

统、动力装置系统、照明系统、机电综合系统等。由此可知,现代飞机系统综合功能试验中,综合的系统越来越多、综合程度越来越高、交互关系越来越复杂,试验中测试技术都向着开放分布式、智能信息化和模块柔性组合化的方向发展。

国内外发展趋势

航空测试技术是航空制造产业的重要支撑技术。一方面,它要根据航空测试需求建立适用于测试对象的测试设备或管理体系;另一方面,在飞机设计研制整个“产学研用”的创新体系中都离不开测试技术。我国自动测试系统的研制经过近年来

* 上飞创新基金(821306-11)资助。

的快速发展,取得了长足的进展。但仍然存在很多不足,使用维护费用较高、测试效率和准确性有待提高、测试覆盖率不足等都是我们必须解决的问题。航空领域的测试技术及系统与常规的测试技术和系统比较起来,具有以下特点^[2-3]:

- (1) 被测参数种类繁多;
- (2) 被测参数随时间的变化规律复杂;
- (3) 需用相同被测参数的设备很多;
- (4) 被测参数的综合显示复杂;
- (5) 测试环境恶劣。

美国波音公司在总装线集成测试方面是通过自主制定适用的测试管理平台、架构、测试编译环境等,通过外包的方式向各测试供应商进行相应的功能设备采购。供应商根据波音公司制定的测试规则、架构,对自己的设备按照波音公司所在的测试环境下进行驱动程序开发,从而达到在波音公司测试架构下的模块化加载和系统功能定制。然后,波音根据系统供应商提供的接口控制文档(ICD)、适航测试规程、被测系统工程输入等参数通过平台进行导入,利用测试管理平台对各种不同信息进行测试级别分类、甄别和测试程序生成。最后,通过测试加载程序对不同测试设备进行自动分批操作和进行不同系统的功能测试,最终输出测试日志和结果。

法国空客公司在总装线功能测试方面与波音大体相同,也是通过全球测试供应商提供测试设备,根据不同飞机构型选择测试设备,然后通过自我开发测试管理平台和相应的测试环境对飞机各系统功能进行试验,达到适航测试要求。

我国在飞机总装地面功能试验方面,目前采用的都是人工测试方法和手段,测试周期长、效率低。一方面,由于采集数据大部分是人工记录方式,造成在设计中心、总装

制造中心和试飞中心之间的共享效率低;另一方面,由于在总体规划中,设计、制造、试飞阶段总体测试架构不统一,造成了不同部门测试设备的重复二次开发,以及大量的资源浪费。

依据上述国内外研究现状可以看出,我国在总装功能综合试验体系架构及应用技术方面与国外存在较大差距。国外已有相关基于总装功能综合试验的综合管理平台投入商业运营,而国内对于民机地面总装功能试验综合测试的研究还停留在理论研究和原理性验证阶段,离实用化还有一定的距离,且部分技术尚未开展相关研究。

飞机总装功能试验综合测试管理平台设计方案

1 总体架构

从飞机总装地面功能测试管理、测试平台配置管理与测量检测管理三个方面对总装车间现场飞机系统

功能试验流程进行管理^[4],并通过测试现场可视化集成管理系统的设计,集成飞机功能试验各子系统,根据不同构型、测试项目将其与通信系统、导航系统、电源系统等系统集成,从而实现对总装测试现场的管理。项目实施内容如图1所示。

飞机地面功能试验测试平台技术的研究以系统功能试验为地面测试需求,测试技术方法与信息数据管理相结合建立飞机总装功能试验综合测试平台并进行应用验证,实现飞机机载功能系统的综合集成测试。

首先,根据测试需求和地面总装功能试验测试定义,以模块化的方式建立测试工具和地面总装测试管理平台构架。通过整理出测试工具需求和测试程序整体模块化需求,以自动测试系统(ATS)为基础建立总装集成测试总体架构,再通过地面总装测试管理平台进行调度,从而针对不同的飞机总装生成指定的飞机测试

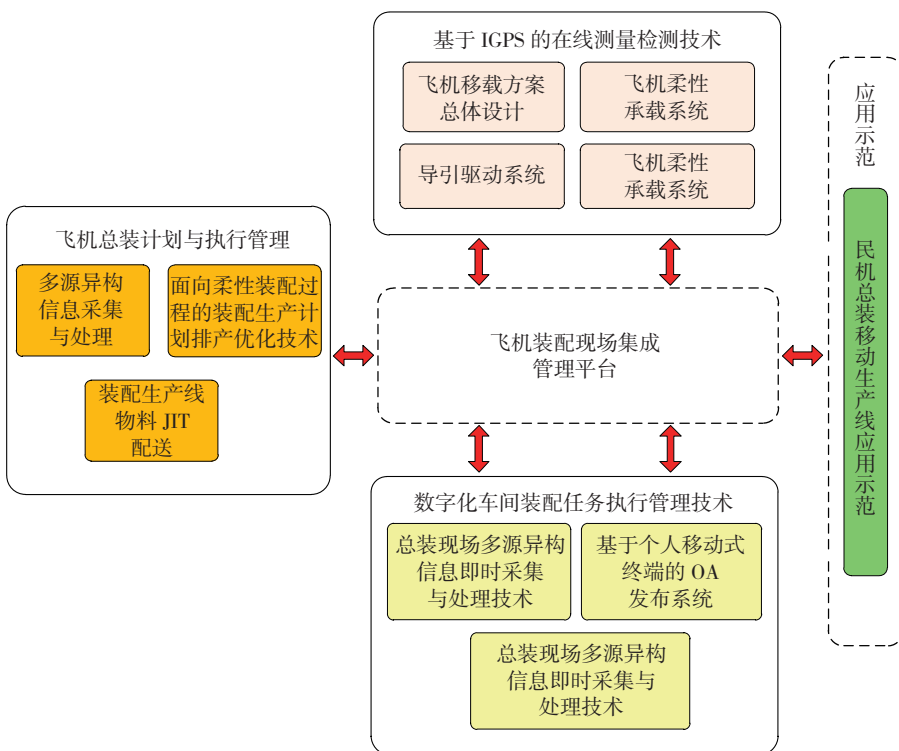


图1 飞机总装功能试验综合测试管理平台

程序输出。

其次,总装功能试验综合测试技术方面,通过研究通用数据描述语言进一步研究通用航空总线测试系统的实时技术和分布式技术、综合航电系统机载电子产品综合诊断与故障预测技术、多终端实时监控分析技术、多终端任意故障模拟技术、逆向故障分析技术、基于 ICD 的数据库专家系统关键技术、ICD 动态加载及 ICD 动态维护技术等对开放分布式测试关键技术进行攻关。另一方面,通过梳理各系统 ICD,拟开发转换软件使得设计系统规范能够自动生成总装集成测试所需机上功能测试程序(OATP),针对飞机不同构型和测试需求,采用数据库的模式,根据总装集成测试 OATP,使用地面测试指令编程(GTI)研究不同飞机配置的测试程序(TB)。

最后,在总体测试架构的规范下,基于上述关键测试技术攻关成果,研制开发开放式飞机地面总装功能试验测试应用平台,对上述测试技术及地面功能试验综合测试平台进行验证和评价。

2 管理平台系统组成

飞机总装功能试验综合测试管理平台主要包括飞机测试需求配置、总装测试设计、总装测试管理和总装测试执行 4 个阶段,其主要测试方案架构如图 2 所示。

在图 2 中,飞机测试需求配置阶段主要通过梳理各系统 ICD,将设计系统规范转变为总装集成测试所需 OATP。

总装测试设计主要根据系统测试需求,整理出测试工具需求和测试程序整体模块化需求,以 ATS 为基础建立总装集成测试总体架构。总装测试管理主要是采用数据库的模式,针对飞机不同构型和测试需求,根据总装集成测试 OATP,通过 GTI 编程,经程序转换自动生成针对不同飞机配置的测试程序。

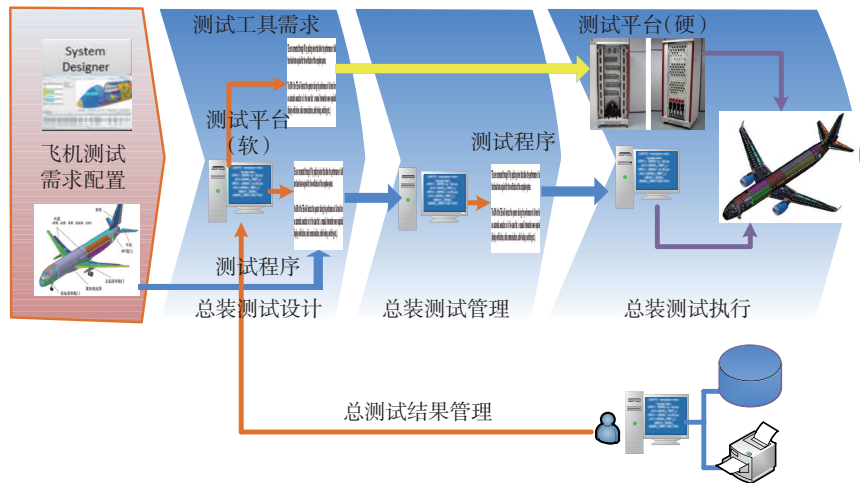


图2 系统平台工作流程

总装测试执行主要根据系统测试工具定义和系统测试程序需求,对总装机上飞机系统进行测试,可通过监控程序(SPY)技术对机上总线系统进行实时信号捕捉或者故障信号注入。

飞机机电系统地面测试架构

1 测试总线选择

通过对飞机机载机电系统工作方式和交联关系的分析,每种设备工作所需的电气接口信号包括传感器信号接口、总线信号接口、离散信号接口 3 种类型。对于总线信号接口,主要包括 AFDX、ARINC429、CAN 等,针对这些总线信号,可采用成熟的商用 PCI04 总线产品或 PXI 总线产品,为保证设备的兼容性和升级能力,这些总线接口模块可选用双通道产品。

2 硬件系统设计方案

机电系统功能试验地面测试系统由“控制、采集、监控主机”和“激励/仿真主机”两部分组成。其主要功能为:(1)测试功能;(2)对机载机电控制系统测试所需要的激励信号、交联传感器信号和相应的测试环境状态信号的模拟仿真功能。两个主机之间则是通过网络总线方式传递相关的指令信号和数据,实现对机载机电控制系统的在线实时控制,数据采集过程。机电系统功能试验测试系统框图如图 3 所示。

控制、采集、监控主机由主控计算机、测试资源和电源等部分组成;激励/仿真主机是根据机上功能试验需求产生相应的激励仿真信号,主要由继电器矩阵切换模块、开关量激励模块、数字量输入输出模块、模拟量输入输出模块、故障注入模块等组成。选

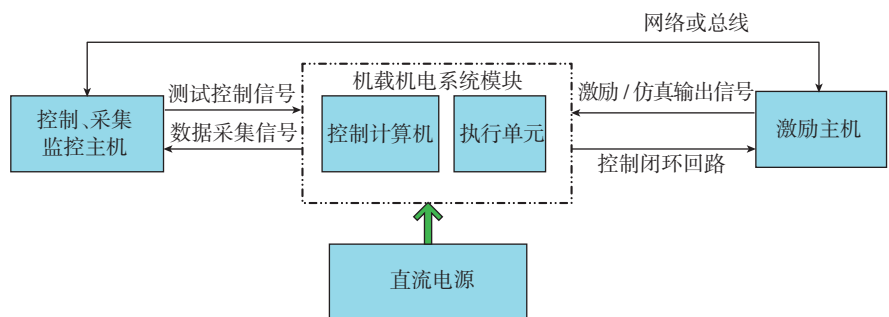


图3 机电系统功能试验地面测试配置框图

用 NI 公司的 PXIe 测试系统为基本测试平台。主控计算机选用 NI 公司的 PXI 嵌入式计算机,采用 Windows XP 操作系统。配合 485、429、CAN 以及 GPIB 等总线通信板卡,实现对在线检测过程中的机载控制系统的控制。测试资源主要由示波器、数字多用表等台式仪器, A/D 信号、I/O 信号、RVDT/LVDT 信号和离散量信号等多种信号的测试板卡组成。同时,主机中配置了相应的信号调理/变换单元,以满足不同的测试信号测量的需要。另外,在机柜中还配置了测试资源矩阵变换电路,以适应不同的测试任务,并满足测试资源不同的配置需求。电源部分则是配置了 28V、5V、±12V、24V 等直流电源,以满足不同的测试对象对电源的要求。

3 软件系统仿真架构方案

基于软件化思想的民用飞机地面总装测试系统解决方案仿真技术,是指利用软件对整个系统进行描述,在计算机平台上通过软件的执行来模拟实际系统的运行情况,确定方案的可行性。这一仿真技术的优点在于通过软件执行模拟系统的运行,在系统没有确定的前提下,对方案进行验证,能够降低系统的开发成本,缩短系统开发周期,并能够提高解决方案的可信性。

基于软件化思想的民用飞机地面总装集成测试系统解决方案仿真技术利用对构件的类化,以面向对象的软件化设计思想为依据,可采用 UML 建模语言对系统功能层次进行仿真,另外采用其他仿真软件如 Simulink 对测控算法进行仿真,通过在不同层次的仿真研究,验证生成的民用飞机地面总装集成测试系统解决方案的可信性。

在系统级的仿真中,组成系统的构件功能以及性能以面向对象——类的形式建立模型。通过构件的搜索与组装得到民用飞机地面总装集成测试系统的解决方案。由于解决

方案中的构件与类化的构件得到的软件对象一一对应,所以整个系统的模型可以通过特定的软件项目进行建立。

构件作为民用飞机地面总装集成测试系统自动定制技术实现的基础,其功能和性能直接影响了系统的功能和性能。构件在设计完成之后,需要进行必要的测试以保证构件的质量。民用飞机地面总装集成测试系统的构件组成较为复杂、构件的种类繁多、具有软硬件结合的特点,所以构件的测试需要各种测试方法以及测试平台的支持。如果根据构件的种类,针对每一种构件开发专用测试平台,则工作量极其巨大,随着构件种类的越来越多,造成资源的浪费并且难以保证构件测试的准确性。据此,研究民用飞机地面总装集成测试系统构件的通用性测试平台,已成为民用飞机地面总装集成测试系统构件化的必备条件之一。

关键技术

飞机总装功能试验综合测试管理平台开发时间与飞机研制同步(或稍微延迟),其根据采用现有货架产品(COTS)结合总线技术、分布式软件技术、自动化技术以实现功能完整、区域全面的地面系统检测;同时结合数据库、信息融合转化技术、网络控制、专家算法等实现管理平台的自动化、系统化和智能化的检测。其关键技术如下:

(1)多总线数据高可靠性高速传输技术研究。

数据总线技术研究,建立由总线通信控制装置、传输介质、网络拓扑结构和通信协议等构成的通信系统,实现测量对象与控制设备之间高可靠性与高实时性的数据交互。

研究通用航空总线测试系统的实时技术和分布式技术;多终端实时监控分析技术;多终端任意故障模拟技术。

(2)基于总线和 COTS 的综合航电仿真测试关键技术研究。

基于总线和 COTS 的综合航电仿真测试主要目的是保证地面总装阶段各子系统及系统与系统之间的功能测试正确性和完整性,迅速诊断故障类型和部位,优化功能模块测试流程,提高总装检测效率。

综合航电系统机载电子产品综合诊断与故障预测;测试资源配置系统软件工具开发技术研究;逆向故障分析技术。

(3)ICD 接口控制文档综合仿真测试技术。

接口控制文件仿真方法研究;研究通用数据描述语言如 XML 对 ICD 进行设计和实现;基于 ICD 的数据库专家系统关键技术;ICD 动态加载及 ICD 动态维护技术;ICD 自动仿真的实现和结果处理。

结束语

飞机总装功能试验综合测试管理平台从系统功能试验需求、测试技术方法与信息数据管理 3 个方面出发,能够达到提高飞机地面总装集成测试自动化水平。由于采用设计、管理、执行三层体系结构,不用进行大的改动就可以应用在多个航空地面应用系统研制、试产、批产等多个阶段。另一方面,通过数据管理平台能够在实际工程应用中大大提高数据共享和集成测试效率,增加总装自动化水平。

参考文献

- [1] 高亚奎,支超有,张芬,等.现代飞机综合试验与测试技术研究.航空制造技术,2012(22):38-44.
- [2] 霍国清,马英哲,谷宏志,等.航天地面应用系统联调测试平台设计.计算机与网络,2010(6):41-43.
- [3] 晓立,侧卫.航空测试技术的发展与展望.航空制造技术,2008(25):55-57.
- [4] 徐伯权,王珩,施振明.大力加强信息系统综合集成的理论基础和方法研究.中国电子科学研究院学报,2009,4(1):1-6.

(责编 日午)