

大型民机试飞测试发展与挑战

黄涛, 王伟

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

摘要: 飞行试验是对飞机的性能进行验证和确认的关键阶段, 试飞测试是保障该阶段工作的重要内容; 国内目前对于军机已拥有了成熟的测试技术、测试方法和可靠的测试设备, 而对于民用飞机特别是大型民机的试飞测试目前还处在起步阶段; 随着国家大飞机研制专项的不断推进, 大型客机试飞测试需求逐步明确; 从大型民机试飞测试需求和测试工作特点出发, 对机载测试技术变革、遥测和数据处理技术等键技术在国外的最新发展和国内大型飞机的现状进行对比分析, 可以看出我国民机试飞测试在网络化机载测试系统应用、遥测传输链路带宽、大数据快速处理等方面存在较大的挑战; 在此基础上对应对挑战的发展策略和后续攻关的方向进行研究, 可以为我国大型飞机特别是民机试飞测试技术的发展提供参考。

关键词: 大型民机; 机载测试; 试飞遥测

Development and Challenge of FTI for Large Civil Aircraft

Huang Tao, Wang Wei

(Flight Test Center of COMAC, Shanghai 200232, China)

Abstract: Flight test is the key stage to verify and confirm the performance of the aircraft. The Flight Test Instrumentation is an important part of this stage. At present, there were mature test methods and test equipment for military aircraft, but the flight test instrumentation for civil aircraft especially for large civil aircraft is still in its initial stage. With the development of national large aircraft, the flight test demand was clear. Based on the analysis of characteristics of the flight test instrumentation, also the analysis of the development of foreign test technology and the present situation of domestic technology, this paper presents an overview of the current challenges in the development of technology and the source of the problem. It also puts forward the development strategy to deal with the challenge. And follow-up the research direction.

Keywords: large civil aircraft; airborne instrumentation; flight test telemetry

0 引言

飞行试验是在真实飞行环境下进行的各种试验。国内目前对于军机已拥有了成熟的测试技术、测试方法和可靠的测试设备, 并已实现了与国际先进水平接轨。而对于民用飞机特别是大型民机的试飞测试方案和设备, 目前还处在起步阶段。随着国家大飞机研制专项的不断推进, 大型客机试飞测试需求逐步明确。

文章从大型民机测试需求出发, 介绍了国外民机试飞测试技术发展趋势, 分析了国内民机试飞测试能力现状和差距, 提出了大型民机试飞测试面临的挑战和后续攻关的方向。

1 大型民机试飞测试需求

1.1 民机飞行试验目的

1) 通过研发试飞, 确定飞机设计参数, 发现并解决设计、制造方面的问题和缺陷, 确定飞机最终构型, 确认飞机产品达到预期的设计要求;

2) 通过表明符合性试飞, 确认和表明飞机及其系统或部件功能正常, 工作可靠, 且在设计的包线范围内具备预期的安全性和适航性;

3) 通过合格审定试飞, 证实飞机设计满足型号合格审定基础所规定的适航标准、专用条件和等效要求;

4) 通过运行及维护的评估试飞, 证实飞机设计和制造符合运行适航规章要求及首批客户运行需求。

1.2 试飞测试作用

飞行试验不仅是用试飞飞机在实际飞行环境中完成特定的试飞科目, 更重要的是通过这个过程, 获取相应的数据和信息, 从而客观的去描述飞机及各机载系统在飞行环境下的真实性能, 要获得这些数据和信息, 必须依赖试飞测试。试飞测试作用就体现在以下几方面。

1) 获取各类原始试飞数据并进行分析处理, 为设计改进、表明符合性和合格审定提供真实试飞数据;

2) 对飞机状态进行实时监控, 是保障试飞安全的重要手段;

3) 提高试飞质量、加快试飞进度的有效措施。

1.3 大型民机试飞测试特点

大型民机飞机系统复杂、性能先进, 严格按照 CAAC/FAA/EASA 的适航审定要求进行试飞, 试验科目多, 与军机和小型民机的飞机试验测试有很大区别。大型民机试飞测试特点包括:

1) 测量参数种类多, 测量参数大, 单架飞机的测量参数将达到上万个;

2) 飞机上测量设备的布置、安装、接线的空间分布广, 布置环境复杂;

3) 每架次飞行时间长, 测试数据量大, 数据处理工作量

收稿日期:2016-06-30; 修回日期:2016-07-07。

作者简介: 黄涛(1980-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事飞行试验测试技术的研究方向。

王伟(1961-), 男, 硕士研究生, 研究员, 中国商飞试飞中心总工程师, 主要从事商用飞机飞行试验技术的研究方向。

大，试飞工程师需要在飞机上进行实时监控、实时进行飞机参数分析和性能评估；

- 4) 试飞周期短，成本控制严格，系统可靠性要求高；
- 5) 多架机异地同时试飞。

2 国外大型民机试飞测试技术发展

2.1 机载测试系统变革

2.1.1 基于以太网的机载测试系统

现代民机试飞测试参数数量越来越多，传统的 IRIG106 第四章 PCM 方式已经无法很好满足现代民机试飞测试的要求。欧洲和美国在 A380 和 B787 飞机的试飞过程中相继采用了基于以太网的机载测试系统，引发了机载测试系统的变革。

1) 系统架构：

目前国内绝大多数的飞机试飞测试系统都是采用 IRIG106 PCM（脉冲编码调制）架构，该架构在军机（中小型飞机）的飞行试验中一直得到了成功的应用。而欧洲和美国早在 A380 和 B787 飞机的试飞过程中相继采用了基于以太网的机载测试系统架构。

表 1 PCM 和以太网架构对比分析

PCM 架构	以太网架构
确定性,采用固定的帧结构,帧格式、参数在数据帧中的位置、码速率都是固定的,可以确切知道采集参数到达目的地的时间；	非确定性,无法确切预知数据包到达的时延,无法完全避免拥塞、丢包。
主辅结构,灵活性较差,一旦确定后更改或扩展比较复杂；	采集器作为网络节点,扩展方便。
采用的是 RS422 传输协议,传输速率受限,最高为 20Mbps；	高带宽、数据传输高达 100Mbps、1Gbps。
命令一响应式总线,点对点通信,不能实现数据共享和数据交换。	全双工网络,能够方便实现数据共享和交换。

2) 网络数据传输协议：

网络化试飞测试系统网络数据传输协议主要基于成熟的 TCP/IP 协议，对其进行了一系列的约束和优化。目前并没有统一的标准，经过实际使用验证过的主要有：欧洲空客公司在 A380 飞机试飞中开发并使用的 IENA 网络数据协议；波音公司 B787 飞机试飞中得到应用的美国 TTC 公司的 NPD 网络数据协议。

3) 时钟同步：

传统 PCM 测试设备采用级联的方式，由主控采集机箱利用 IRIG-B 码或 1PPS 信号来进行时钟同步。网络化测试系统采用 IEEE-1588-PTP 为测试网络的时间同步协议，由主控交换机进行全网时间同步，保证组网设备间时钟频率同步；同时主控交换机由 GPS 授时，PTP 协议将此 GPS 时间授予其他组网设备，保证各设备时间的精度。

4) 设备管理：

鉴于传统 PCM 设备架构的局限性，原有的测试系统并没有实时系统管理的功能。网络化试飞测试系统可通过对网络管理协议的支持使用，方便快捷的进行设备状态监控及设备实时在线管理。该功能主要通过 SNMP 协议实现。

2.1.2 通用化分布式机载采集系统

目前国外大型民机新机型试飞测试都采用了网络化机载测试系统，在此基础上不断改进，通用化分布式机载采集系统成

表 2 IENA 和 NPD 对比分析

	IENA		NPD
共同点	利用成熟的以太网架构和协议,确保网络化测试系统架构和各层次硬件技术与现有商用货架产品兼容,大幅度降低系统开发难度、技术风险及开发成本;		
	对现有网络协议做出了一定的约束和限制,使得原本不确定、较复杂的连接变得更加确定和简单,以适应航空测试实时、准确、可靠的要求。		
不同点	参数寻址	IENA 键值 + 参数类型 + 参数 ID	数据流类型(可确定设备类型)+设备产生的特定数据格式
	数据格式	隐含数据格式,采用“ID + 长度”方式	显含数据格式,采用类似 PCM 帧结构形式形成网络数据包,参数位置固定
	针对数据流的数据格式	无专门格式,所有数据均使用 5 种标准格式生成	对例如模拟量采集器、音视频、总线均有专门的格式定义,数据流需符合格式规范

为新的发展方向。通用化分布式机载采集系统旨在减少测试系统研发和安装的时间与成本，建立一个使用量小，安装速度快，可以在其他飞机上重复采用的通用机载采集系统。A320-NEO 是第一个采用通用化分布式机载采集系统试飞的机型，大大减少了采集器数量和系统安装时间。

1) 数据采集单元向通用型发展：

大量使用通用的机载采集单元，大大增强测试系统的通用性，同时可以远灵活的进行远程更改配置、升级。a. 通用模拟量采集：应变计、RTD、电压、热电偶（除了电荷加速度传感器外）采集使用相同的板卡；b. 数字总线采集：所有总线监测采用相同的硬件 ARINC429、AFDX 采用单一连接器和单一管脚定义 1553、串行总线、CAN 总线采用相同的硬件。

2) 采用分布式架构：

机载采集系统采用分布式架构，分为 3 个区域：机舱内核心采集区域、具有宽带处理能力的远端模拟量采集区域、航电系统远端采集区域。

（1）将采集器尽量靠近传感器，可以减少噪声，改善抗干扰性能；

（2）充分利用采集器的网络优势，减少开孔和布线，满足吊挂和发动机等特殊区域的采集需求；

（3）采集器内置网络交换功能，减少交换机数量；

（4）采用标准网络协议，保证与其他常规的网络系统兼容，采用 PTP 协议和 SNMP 协议，将时间同步和系统监视功能与数据传输合并到同一物理链路上。

2.2 遥测技术发展

2.2.1 遥测体制

国外遥测调制方式已经不局限于传统的 FM 调制方式，向多元化发展：空客使用 COFDM 调制方式已有约 15 年—20 年；以前美国采用 FM 调制方式，目前使用的调制方式有 FM、SOQPSK 等。各遥测调制方式特点如表 3 所示。

2.2.2 遥测组网

2011 年，空客公司的遥测地面站数量达到 9 个，空客公司在 A400M 项目试飞过程中，采用了 5 个遥测监控点，其中 2 个位空客公司试飞中心的遥测监控点，其他 3 个为遥远的异地遥测监控点。在空客试飞中心自有的 9 个地面站中，所有的

表 3 遥测调制方式对比

	数字 FM(NRZ)	SOQPSK	COFDM
调制方式分类	Tier 0	Tier 1	非 IRIG 标准
解调门限 Eb/No (10-5BER)	11.8 dB(单符号检测) 9.5 dB(多符号检测)	11.8—12.2 dB	4.3 dB
频谱占用	1.16 倍码率(最优设置)	0.78 倍码率	0.4—1.3 倍码率
最高码率	20 Mbps	40 Mbps	30 Mbps
存在问题及限制	抗多径能力较弱	1. 对相位噪声敏感,因而不适用于多径环境; 2. 输入码元需要做随机化处理	1. 功放功耗大,对供电要求高; 2. 重新锁定时间较长。
发展趋势	不能满足未来“空地一体化”网络化遥测架构的趋势。	作为相移键控调制(PSK)的衍生体,在卫星通讯上应用广泛。	1. 抗多径能力较强,适合复杂环境条件下的遥测传输; 2. 可应用于网络化遥测。 3. 空客公司广泛使用。

人工操作均在位于 Toulouse 地区遥测监控中心完成,所有遥测地面站均为无人值守模式(真正意义的没有人操作)。由在 Toulouse 遥测监控中心的工程师发出控制信息,控制各个遥测地面站的运转与操作。无人值守遥测站将接收到的遥测信号解调、解码,以网络数据包的格式将数据传出。无人值守遥测站与中心站间的数据和控制信息通过地面网络传输,采用 UDP/IP 数据传输协议。

2.2.3 网络化遥测技术

遥测系统的网络化、集成化、空地一体化成为发展新趋势。2004 年 10 月美国试验中心和项目评估投资机构(CTE IP)启动了 iNET(增强遥测综合网)。2009 年底 iNET 标准(航空试用版)的发布,遥测网络系统 TmNS 的技术框架基本确定。TmNS 在传统串行 PCM 遥测链路的基础上,另外增加了一条远程、宽带 RF 双向数据链路,实现全部试验数据的实时、准实时处理,使系统具有真正意义上的“遥测监控”功能和远程、宽带组网能力。

iNET 项目计划吸收了广大用户和设备供应商的参与,得到了广泛的支持,然目前 iNET 标准尚未正式发布,但各试飞测试设备主流厂家目前都推出了相关产品(如 iNET-X, iNET-READY 等)。

2.3 数据处理技术

2.3.1 机载实时处理监控

机上实时监控系统的实时性、可配置型性不断增强。系统实时处理过程更快,实时性强,显示、分析方面系统具备很高的可配置性。监控画面可视性强,一般 1 个为飞行参数显示画面,还有几个显示与飞行任务相关的数据。显示的数据量较地面少,但是灵活性高,可根据测试点不同灵活变换监控的数据。

2.3.2 地面实时处理监控

地面实时监控系统的计算机处理能力不断增强,能够监控更多的参数,也更加精确。5~6 名数据处理专家进行地面监控,即可完成更深入、精确的数据处理和分析。实时监控软件可自定义显示画面和处理方法,且监控数据可与飞行模拟数据进行对比分析。

2.3.3 试飞数据预处理/事后处理

空客波音均建立了试飞数据处理协同化平台,将试飞数据处理及分析模块集成在平台上,实现了数据处理、分析、管理、分发的一体化。空客公司在 A380 飞机试飞过程中,实现了全部试飞数据预处理实时化,即将整套数据预处理系统迁移至 A380 飞机机舱中,实现全部测试参数的实时解析,大大提高了试飞数据处理效率。

3 我国大型民机试飞测试技术现状

我国民机按照适航条例要求进行试飞测试虽然有一定的经验,但基本上沿用军机和小型飞机的测试方法和测试设备,对于大型民机的试飞测试仍然处于研究摸索阶段。

1) 网络化机载测试系统方案日益成熟,通过原理性验证。

在 ARJ21 支线飞机试飞机载测试系统中首次尝试性的使用了网络数据传输,但其主体结构仍是 PCM 架构。在此基础上充分借鉴国外的成熟经验,已经形成了完整的网络化机载测试系统架构方案,并开展了大量的地面验证和联试试验;

2) 遥测体制以 FM 调制为主,已经尝试使用 SOQPSK 方式。

在 ARJ21 项目中一直沿用传统的模拟 FM 调制方式。试飞院在各类型号的试飞遥测中,主要采用传统的模拟 FM 调制方式,同时也针 SOQPSK 调制方式进行过相应的接收试验;已经开始使用 FM 兼容 SOQPSK 的相关设备。

3) 试飞遥测地面站单站工作为主,开始着手遥测站组网。

目前,国内航空的遥测地面站仍为单站工作模式,覆盖空域范围为 300 公里以内。ARJ21 飞机试飞中首次尝试使用 3 个站点组网工作。相当于空客遥测地面站发展历程 4 个阶段的第一阶段。空客遥测地面站已发展到全部站点联网,所有外围站点无人值守,在遥测控制中心对所有站点进行集中控制。

移动遥测站目前仍未现场操作模式,遥测监控人员随车到现场完成遥测监控工作。固定遥测地面站已于去年完成改造,现为在控制室集中控制,无人在远端遥测站处操作。尚未将所有遥测地面站(固定+移动)统一控制。

4) 尝试部分关键参数机上快速处理。

研制机载关键参数快速处理设备,满足无人值守的情况下将事后数据分析所需的参数进行实时数据处理的需求。采用高性能嵌入式设备实时数据处理技术,实现了 1500 个参数实时工程量转换与存储。

5) 着手建设分布式的试飞数据处理系统。

建设试飞数据处理系统,实现试飞数据解析、分析、使用的平台化管理。系统基于 X86 硬件系统架构和 Hadoop 分布式计算平台及数据库的软件系统架构。利用多服务器并行计算技术对试飞原始数据进行预处理,满足 40G 原始数据在一小时内完成预处理并发布至平台的处理时间要求。基于网络的数据分发机制,对试飞数据进行统一的管理,分类、归档、备份与分发。