

飞机铁鸟技术进展综述

李振水*

中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 介绍了铁鸟的发展历程和主要功能, 研究了铁鸟的基本架构, 分析了现代飞机铁鸟设计中所蕴涵的若干新技术及发展趋势。该技术体现了飞机铁鸟设计的新进展, 可为现代飞机设计及试验验证提供技术参考。

关键词: 铁鸟; 试验综合; 模块化设计

中图分类号: V216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2016) 06-0001-04

飞机铁鸟经历了半个多世纪的发展, 至今仍方兴未艾。对于早期的飞机, 由于系统简单, 其试验验证完全可以在飞机上进行; 随着航空技术的进步, 当今先进飞机的研制需求和设计能力都发生了巨大变化。由于飞控、液压、航电、供电等机载系统的综合程度不断提高, 大量的传感器信息和控制信息交联, 控制软件高达数百万条甚至千万条语句, 试验量巨大, 不可能在真实飞机上完成, 必须借助铁鸟, 因此铁鸟已经成为现代飞机研发必备的大型试验设施。

铁鸟技术的发展同样是巨大的, 已经从只具有单一被试系统的简单试验台演变成复杂的、具备多系统试验综合能力的设施, 并朝着模块化、组合式的方向发展。正是由于铁鸟的研制周期和试验周期与新型号飞机的研发周期、性能验证、经济性关系密切, 空中客车集团、波音公司、洛克希德·马丁公司等航空巨头无一例外地特别重视铁鸟综合试验环境的研究和建设, 以求降低研发成本、缩短周期、避免设计缺陷和设计返工。因此, 研究和剖析国际上的这些新的技术进展和趋势具有重要意义。

1 发展历程

早期的飞机以及操纵系统都非常简单, 驾驶员通过机械线系(钢索或拉杆)可以直接操纵舵面偏转, 这一时期的系统试验也非常简单, 可以在飞机上完成试验, 不需要专门的试验设施。随着飞机性能提高和飞行包线扩大, 驾驶员依靠自身力量已很难操纵飞机, 即无法克服舵面上的铰链力矩。直到 20 世纪 40 年代末, 能够减轻驾驶员负担的液压助

力器应运而生。液压助力器的出现, 将飞机操纵系统和液压系统联系在一起, 但同时也导致系统试验越来越复杂, 必须借助专门的试验设施——铁鸟开展试验验证。

铁鸟诞生后的数十年中, 飞机的发展经历了由简单到复杂的过程。早期的铁鸟还不能算是名符其实的“铁鸟”, 只能视作飞机操纵系统或是液压系统的试验台。当操纵系统逐渐增加了阻尼器、增稳、控制增稳、多余度管理功能, 液压系统成为具有多功能、多余度和多用户的复杂系统, 同时飞控、液压、航电、起落架等多个系统紧密交联并在试验室综合的时候, 这种全系统级的试验台才演变成成为真正意义上的铁鸟, 因为工程师和试飞员可以在铁鸟上, 即在地面上“试飞”这架飞机^[1]。

长期以来, 铁鸟试验一直是新型飞机研发阶段必须进行的大型试验, 国际先进飞机制造商已经给铁鸟赋予了“系统综合”的内涵。铁鸟设施亦非常庞大、复杂、昂贵, 它不但用于单个系统的性能验证, 也可以完成多个系统的交联试验、试飞员在环试验、故障模拟试验、耐久性试验, 同时支持适航取证和改进改型。图 1 所示为当今较为先进的 A380 飞机铁鸟。

2 铁鸟构成

根据使用场合的不同, 工程上通常按照铁鸟的构成要素、布置区域、主次结构这 3 种方式描述铁鸟的构成。

(1) 按铁鸟的构成要素划分

按照构成要素划分, 铁鸟可以分为台架、被试系统、试验设备等三大部分。

收稿日期: 2016-02-29; 退修日期: 2016-04-18; 录用日期: 2016-05-12

* 通讯作者. Tel.: 029-86832030 E-mail: lizhenshui@163.com

引用格式: Li Zhenshui. Review of the latest development on the iron bird technology [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (06): 01-04. 李振水. 飞机铁鸟技术进展综述 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (06): 01-04.



图1 A380 飞机铁鸟
Fig.1 A380 iron bird

(a) 台架是铁鸟的承力框架,用于安装被试系统和试验设备,台架可以细分为若干个部分;

(b) 被试系统是铁鸟试验测试的对象,代表着飞机系统。被试系统通常是完整的系统,可以有若干个,每个系统又可以细分为分系统、子系统、部件;

(c) 试验设备用于开展铁鸟试验,包括能源供给、被试系统激励、试验管理、试验过程控制、测试等试验用设备。

(2) 按铁鸟的布置区域划分

按照铁鸟的布置区域划分,铁鸟可以大致分为机头段、左机翼段、右机翼段、机身段、尾段等五大部分,各段安装的被试系统亦与飞机相对应。

(a) 机头段包括模拟座舱、舱外视景系统、仪表板和操作台、驾驶员操纵机构、前起落架及控制系统、部分航电系统以及部分机载设备;

(b) 机翼段(左右对称)包括副翼及操纵系统、扰流板及操纵系统、襟翼及操纵系统、缝翼及操纵系统、发动机驱动的液压泵源模拟系统、液压系统管路和电缆以及部分机载设备;

(c) 机身段包括主起落架及控制系统、舱门及控制系统、飞控系统操纵线系、液压系统附件和管路、刹车系统操纵线系以及部分机载设备;

(d) 尾段包括方向舵及操纵系统、升降舵及操纵系统、水平安定面及操纵系统、液压系统管路以及部分机载设备。

当然,这种划分是针对常规布局飞机而言的,对于不同用途的飞机会有一些差别。例如,有些飞机的主起落架并不安装在机身里而是在机翼里;有些飞机将不同舵面的功能合并,以减少一些舵面;还有些飞机的机翼具有折叠

或倾转功能,可能会选择铁鸟的一侧机翼来模拟这种特殊功能。

(3) 按铁鸟的主次结构或规模划分

按照构成铁鸟的主次结构或规模划分,铁鸟可以分为试验台主体和若干小型的(局部的、小型的、分系统)试验台。

试验台主体几乎包含了全部被试系统和试验设备,而分系统试验台仅包含部分系统。之所以这样设置,是因为分系统试验台需要完成某些特殊的试验功能;或是用于试验的时间更早,为了节约经费、降低试验台主体的规模和复杂程度,通过局部试验台这种组合方式来实现铁鸟的全部功能。也就是说,分系统试验台可以单独用于试验,也可以与主试验合并为一个整体成为完整的铁鸟。

3 若干技术进展

铁鸟技术的进展不仅集中反映了飞机系统设计技术的发展,也体现了系统试验技术的进步和工程师们为降低铁鸟成本所做的努力。

(1) 更强调“综合”功能

从系统综合设计的角度讲,飞机系统的综合大致经历了3个阶段:二代机及以前的飞机较少有一体化设计,综合程度低,各系统独立设计,再折中平衡;后来在三代机上逐步形成了部分系统的综合设计,主要是航电系统综合、机电系统综合、飞控系统综合;到本世纪初,以美国四代机的飞行器管理系统(VMS)为代表,进入到全机级的大系统综合时代。铁鸟作为系统验证的工具,自然要具备试验综合与验证的能力,当今的铁鸟已经在飞控系统和液压系统综合的基础上,包含了全部或部分的起落架收放系统、机轮刹车系统、转弯系统、航电系统、反推液压控制系统、供电系统、机电管理系统、舱门作动系统、液压驱动的发电机以及其他一些需要交联试验的系统。例如,A380飞机铁鸟集成了飞控、液压、起落架、航电、电气等五大系统,B787飞机铁鸟在主试验台上集成了飞控、液压、航电、电气等系统。

(2) 全尺寸模拟架构下的工程简化

实现全尺寸模拟(又称1:1模拟)是对铁鸟的基本要求,即尽量采用飞机真件且安装位置与飞机对应一致,一些重要部件的安装支座有时也采用真件,以求得模拟的高逼真度。然而对于现代飞机,特别是大型飞机来讲,这个要求会导致铁鸟过于复杂、成本过于昂贵。为此,工程师们设想了一些简化的办法,并陆续付诸实施。这些简化措施包括:飞

机舵面采用模拟件,重点模拟舵面的质量和转动惯量;用负载模拟器代替大负载作动装置(如起落架收放作动器、舱门收放作动器);用简易的加载装置代替复杂的气动载荷模拟系统;将超长机翼对折甚至取消一侧机翼;将高尾翼降低放至地平面;采用模块化结构等。以图1所示的A380飞机铁鸟为例,它没有采用真实舵面以节约成本、将机翼向后机身对折以减小占地面积、将高尾翼上的活动舵面(方向舵、升降舵、水平安定面)放至地面以降低铁鸟高度。

这些工程简化措施对于节省经费、减小占地面积和空间具有显著效果,设计和实施都更加便利,但对于模拟的逼真度会有所影响,应该根据试验需求视情简化,并借助仿真分析手段评估影响程度和适当补偿。

(3) 模块化构型

所谓模块化构型,就是设计若干局部的、小型的试验台,使其既可以自成体系、完成相关的试验任务,又能够方便地与铁鸟主体相连接、成为铁鸟的组成部分。例如,可以把副翼、方向舵、升降舵操纵系统分别安装在3个相对独立的试验台上,进行各自的舵机-舵面系统试验;与此同时,这3个试验台(通过电缆连接)又共同组成了飞机的主操纵系统,可以参与全系统级的试验。对于一些试验任务相对独立、组成部件相对集中的系统,如起落装置系统、舱门控制系统、机翼变形模拟系统等,适合于采用这种设计方法,对于简化铁鸟构型非常有效。例如,B787飞机铁鸟应用这项技术后,总重量相比B777铁鸟减轻了约55%。图2为B787飞机襟缝翼作动系统试验台,该试验台自成体系,可以独立进行试验,也可以作为铁鸟的组成部分,与铁鸟的主飞控系统、航电系统、供电系统或液压系统交联,进行多系统交联试验。



图2 B787飞机襟缝翼作动系统试验台
Fig.2 Boeing 787 LE & TE systems test rig

(4) 扩展试验范围

一直以来,铁鸟的最主要目的是针对新研飞机首飞之前的全系统级功能和性能验证,如今其作用已大为扩展,主要体现在:

(a) 多系统交联试验:包括系统间的两两交联、多系统交联、全系统交联;

(b) 试飞机组培训:包括理论培训和实际操作培训2个方面,其中实际操作培训主要包括飞行模拟器培训、铁鸟培训、机上实习、地面滑行练习,完成这些地面操作培训后才能参加升空试飞;

(c) 故障状态和风险科目的演练:对于许多故障状态的飞行科目和风险科目,如果在空中试飞,风险和代价很大,有些甚至无法进行,而在铁鸟(包括飞行模拟器)上演练则方便得多,能够起到为空中试飞做好充分准备、减少试飞架次、降低成本、降低风险的作用;

(d) 排故:新研飞机鉴定试飞过程中,出现故障在所难免,有些故障在飞机上很难排除,需要利用铁鸟进行故障复现、定位及更改验证;

(e) 改型和系列化发展:一种新机型研发成功后,必然要进行系列化发展,包括改为特殊用途机型,而将基本型飞机的铁鸟稍加更改,就可快速地用于改型飞机的系统验证。

(5) 数学仿真与物理模拟紧密结合

尽管采用了许多新的设计技术来降低铁鸟成本,铁鸟仍然过于复杂和昂贵。如何简化铁鸟试验需求和缩短铁鸟试验周期仍然具有重要意义,而借助数学仿真工具开发的虚拟试验技术就是很好的途径。美国洛克希德·马丁公司在研发F35之初,对采用虚拟试验技术设定的目标是:与研发F22相比,研制周期缩短50%、风洞试验减少75%、试飞架次减少40%、定型试验周期缩短30%。近年来,空中客车集团和巴西宇航借助LMS公司开发的Virtual. Lab Motion、Imagine. Lab等仿真工具,开始研发虚拟铁鸟(Virtual Iron Bird)并取得一定进展,同样也是利用虚拟铁鸟预先开展一部分试验项目,从而简化和/或减小物理模拟试验的规模,即减小了铁鸟的规模。

(6) 铁鸟试验技术

由于飞机系统更多地采用了电信号传输、总线技术、计算机控制、冗余控制,并将这些控制功能或控制元件尽可能从机械和液压部件中剥离出来,自成一体,所以铁鸟试验技术与过去相比有了很大的变化和发展。在保持传统的针对机械、液压系统的试验测试基础上,增加了大量的针对传感器、控制

器、控制律、控制逻辑、余度管理、综合信息显示 / 告警、维修信息以及软件的试验测试,对航电系统和机电管理系统的依赖性更强,因为几乎所有的控制信息、显示 / 告警信息、维修信息都与航电系统和机电管理系统相关联。为了能够实现上述的试验测试和提高效率,必须研制各类试验器 / 激励器 / 仿真器以及用于大型试验管理和调度的设备。

4 结束语

飞机系统综合化程度的提高导致对铁鸟试验综合之功能的需求更为迫切,同时也使得铁鸟更加庞大、复杂、昂贵。为了降低铁鸟研制成本和减少试验数量,需要采用模块化架构、虚拟铁鸟等新技术,并将虚拟铁鸟和物理铁鸟紧密结合,以获得对飞机系统试验验证的最佳解决方案。总之,飞机铁

鸟技术仍在快速发展、方兴未艾。

AST

参考文献

- [1] 李振水. 飞机铁鸟试验台与铁鸟试验[J]. 飞机工程, 2012 (1): 28-30.
- LI Zhenshi. Aircraft iron bird test bed & test[J]. Aircraft Engineering, 2012 (1): 28-30. (in Chinese)

作者简介

李振水 (1961—) 男, 研究员, 副总设计师。主要研究方向: 飞机液压系统 / 起落架系统 / 铁鸟设计和研究。

Tel: 029-86832030

E-mail: lizhenshui@163.com

Review of the Latest Development on the Iron Bird Technology

LI Zhenshui*

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: This article introduced the development course and major functions of the iron bird technology, and investigated its basic architecture and analyzed several new technologies and development trend for modern aircraft design. These technologies represent the latest progress of the iron bird design, and are used for reference to the aircraft design and experiment.

Key Words: iron bird; integration test; modular design

Received: 2016-02-29; Revised: 2016-04-18; Accepted: 2016-05-12

*Corresponding author. Tel. : 029-86832030 E-mail: lizhenshui@163.com