

# 试飞铺就通天路

(上接一版)

在地面飞行仿真单元中，航空工业试飞中心成功研制出了多种大型地面试验设施，有力支撑了我国试飞员专业化培训及商用试飞员培训。同期展开的空地一体试飞技术研究有效提高了试飞的经济性。此外，在变稳直升机控制与变稳能力估算、工程模拟试飞建模与模型校验技术等领域亦获重大突破。

空中飞行仿真单元在某型号飞行试验指令嵌入技术研究与验证等方面连续告捷；民用飞机操纵系统故障试飞技术填补了国内民航操纵系统故障情况下条款符合性验证试飞方法和评价方法的空白。坚持创新驱动，航空工业试飞中心积极寻求可行的五自由度变稳飞机建设方案，确保了通用变稳机地面试验台建设。

针对中国航空工业的发展现状及未来航空工业技术的发展趋势，大型飞机验证单元先后完成特殊气动布局飞行器飞行品质研究、带动力模型自由飞试验技术等重点任务，降低了研制风险及试飞验证风险，拓展了模型自由飞试验研究领域。结合型号科研试飞和特殊气动布局飞行器飞行品质研究，航空工业试飞中心较为全面地解决了某型号飞什么、如何飞的问题，提升了我国在全新型号上的系统飞行试验能力。

“十三五”期间，随着飞行试验模式向基于建模验模的数值化试飞转型升级，飞行仿真专业的地位和作用不断凸显，其在航空科技发展和武器装备发展中的地位也不断提升，智能飞行系统研究与演示验证、特种试飞驾驶技术研究等必将开启我国飞行仿真研究领域的新一元。

## 航空发动机空中验证再破技术封锁

GJB243A—2004《航空燃气涡轮动力装置飞行试验要求》明确提出：“以新型号飞机、直升机为首选配装对象的新型动力装置的飞行试验，只有在发动机及对飞行安全有重大影响的动力装置附件和系统，通过高空模拟台试验及飞行试验台试验的前提下条件下，才允许选择该新型飞机、直升机作为试验载体。”因此，在发动机研制过程中，高空台或飞行台必不可少。

1976年，经过十余年努力，航空工业试飞中心终于改装成功了Ty-16发动机试验平台。这是新中国航空工业领域的第一个发动机试验平台。利用该试验平台，试飞中心先后完成了十多种国产飞机发动机的试飞研究。2006年，利用某型机改装而成的发动机飞行试验台在试飞中心投入使用，中国航空发动机空中试验技术被推向新的高度。

2010年，针对国产大飞机发动机特点以及高空试验需求，航空工业试飞中心再次迎难而上，采用整体规划及一体化设计，自主设计研制了被试发动机试验短舱、被试发动机电动油门操纵、被试发动机功率提取、试验供电、飞行台电气控制、空气引气启动、机载测试等17项试验任务系统。在国内首次实现了大飞机发动机高空试验能力。据了解，新研的飞行台不仅具备新型涡扇发动机的试验能力，还能满足一定推力级的涡喷、涡扇、涡桨等型发动机的试验能力，极大提升了飞行台的通用性及先进性，扩展了飞行台专项试验能力，进一步完善了我国的发动机飞行试验资源体系。

该项目采用了“新研短舱+转接挂架”的模块化设计技术，解决了新型发动机在飞行台上安装的关键技术问题；采用无级可调加载控制技术，在国内首次实现了发动机空中引气和液压无级加载控制；优化了设备布局，改善了人机环境，减轻了结构重量，提高了飞行台试验任务系统抗干扰能力；而双操纵双冗余度电传油门操纵技术和先进网络机载测试技术，则全面满足了被试发动机控制试验要求和机载数据测试的需求。

在新型发动机飞行台研制中，实现被试发动机空中试验定量加载的试验要求是一项关键技术。试飞中心认真论证，将气动伺服控制及电液伺服控制应用于飞行台试验加载系统的设计及研制中，实现了飞行台中液压及引气加载系统无级可调的功能，使我国首次具备了航空发动机空中按要求的定量功率提取的试验能力。

在对原飞行台减重10吨的基础上，航空工业试飞中心在新型涡扇发动机飞行台研制中攻克了全新的发动机安装短舱及挂架技术，实现了具有数字化发动机控制、操纵及显示能力；试验台不仅具备相应的发动机空气启动方式和飞行台及发动机状态监控、测试功能，还具备为发动机FADEC、测量设备提供高品质电源的能力。项目总体技术达到国内领先、国际先进水平。

2012年11月23日，新型飞行台首飞成功。一位和航空发动机试飞专业打了一辈子交道的老专家哽咽着说：“打破国外技术封锁，终成凤凰！”

## 试验研究机促进航空科技跨越发展

纵观航空发展的历程，推动航空科技进步的原动力是层出不穷的背景需要，包括军机作战和民机运营中不断面临的新挑战。而实现航空科技逐步优化并走向顶端，试验研究机试飞验证的作用非常关键。目前，我们把用于航空科学技术研究和新技术演示验证或空中实验的飞机统称为试验研究机。

早在1965年，航空工业试飞中心就改装了一架轰5弹射试验机，从那时开始，试飞中心相继独立自主改装研制成功了失重试验研究机、发动机飞行试验台、BW-1纵向变稳飞机和IFSTA综合空中飞行模拟试验机、雷达电子试验机、预警指挥试验机等。

当前，随着新型号研制步伐的加快，以及大量具有自主知识产权新技术的应用，现有的试验研究机已不能完全满足航空技术发展的需求。在这种背景下，航空工业试飞中心在“十二五”期间励精图治，完成了结冰喷水机、光电测量试验机、空中红外测量试验机、通用机载武器试验机的建设，有效满足了跨代型号试飞及各类装备的空中试验。而结冰喷水机的研制成功，则标志着我国跻身该研究领域国际先进行列。

由于须对结冰机理、防冰措施及应急处置方案等加强研究，而研究的基本条件就是需要一架结冰喷水机进行人工结冰空中试飞。此外，20世纪90年代运7-200A进行自然结冰试飞考核时，在新疆耗时4个月，飞行40架次，只有一个架次获取到了真正有效的冰型结果。这也是ARJ21-700型飞机远赴加拿大进行自然结冰试飞的一个重要原因。

在结冰喷水机研制中，航空工业试飞中心解决了结构强度仿真计算、气动力计算、系统加装对飞机平台的影响等难题，攻克了供水系统喷雾环研制、机外加装大型杆控系统等技术。其中喷雾环作为结冰喷水装置的核心部件，设计采用“气包水”结构，喷出的水雾可完全满足中国民用航空规章第25部(CCAR25)的气象要求。

2015年12月28日，在结冰喷水试验机首次空中系统功能验证试飞中，充分验证了系统功能、小翼下放功能以及喷水功能。该试验机可在指定高度和温度条件区域实施喷水，通过调整液态水含量和平均水滴直径来模拟CCAR25附录C中的结冰气象条件，为运输类飞机适航审定试飞自然结冰试飞科目的安全高效完成提供有力的支持，为后续开展人工模拟结冰试飞研究奠定了基础。至此，我国成为继美国、俄罗斯、德国后少数在该领域展开技术研究的国家。

当前，着眼于型号验证需求，根据“探索一代，预研一代，研制一代，装备一代”的精神，试飞中心将以“综

合试飞和一机多用”为原则，协调多个技术领域，持续加强通用的基础性平台建设，在试验研究机建设上走出一条具有自主创新、集成创新特色的发展道路。

## “电”“光”风云际会 鼎立支撑战略制胜

纵观未来战争，是在陆、海、空、天、电磁、信息等多维空间上的对抗，其本质是探测与反探测、跟踪与反跟踪、截获与反截获的多元化、深层次对抗，涉及多个领域，所有这些技术的发展都迫切需要目标与环境特性技术研究的全面支撑。

简单地说，目标特性技术是一项基础事态属性应用的技术研究工作，主要涉及永不消失的“电”波、无处不在的“光”波等。而目前国际通用的目标特性研究以及特征提取都要基于大量测量试验结果的分析，都需要飞行试验测量研究，都是去伪存真，都为探索真相，都是穷根问叶，都为“且脱此身”。因此，履行强军首责，航空工业试飞中心必须保战略制胜。

“十二五”期间，依靠创新驱动转型，航空工业试飞中心高瞻远瞩，相继完成多波段目标特性测量雷达、地空/空空红外目标测量设施建设，在我国航空工业领域率先实现了覆盖全波段电磁频谱以及红外区域飞行器目标特性测量能力。

航空工业试飞中心作为国内唯一一家可以进行动态测试的目标特性测试场，建成的多波段目标特性测量雷达系统由多部目标特性宽带测量雷达和专用目标特性数据处理系统组成，该系统不仅能进行低可探测目标的RCS起伏特性、极化散射特性、角闪烁、一维距离像、ISAR、多普勒频率和宽带测量，还能对外实时输出精确的空中目标坐标数据，标志着试飞中心已完全具备了获取空中目标电磁散射特性数据和动态特性研究的能力。

通过多波段目标特性测量雷达系统建设，航空工业试飞中心突破了关键技术指标设计，提出了极化散射矩阵测量技术方案，解决了目标特性未来发展的技术难题；建立了国内先进的动态RCS测量雷达系统，缩短了我国与国际动态目标特性测量技术的差距；建立了我国宽带测量雷达标定试验程序，提出了宽带测量雷达幅相误差补偿方法；完成了海量宽带数据与处理原则建立，形成了雷达宽带测量数据处理程序集，实现了空中目标ISAR成像。同期，试飞中心开发了分布式动态RCS数据处理系统，有效提高了数据处理效率。我国的目标特性动态测试场已经走上高精度、高灵敏度、高分辨、高效率、宽频域、多功能的发展之路。

在红外隐身目标特性动态测试系统建设中，航空工业试飞中心先后完成了多种地面配套设备的研制，解决了气动外形综合设计、多路数据采集及时序控制、高容高速多通道处理、热像仪控制软件二次开发、camlink数字记录图像还原等关键技术问题。目前，试飞中心红外隐身目标特性动态测试系统可集中波热像仪、长波热像仪、光谱仪、电视摄像机于一体，实现了对空中目标红外动态测试。发挥集成创新技术优势，试飞中心在地面测量平台建设上统一了时间标准，扩展了测台设置范围，解决了人工捕获目标等难题，极大促进了我国目标红外特性测试水平再上新台阶。

## 我国航空试飞测试技术 跻身世界先进水平

大国博弈，航空工业的发展及其

技术成熟是一块重要砝码，而能够支撑这块砝码质量的，就包括试飞测试技术。58年来，航空工业试飞中心通过持续自主创新，相继建成机载测试、光电测量、遥测监控、数据处理、传感器及校准等试飞测试实验室，自主研发了A/GDAS系统及先进的网络化试飞数据处理系统，有利推动了中国航空工业的跨越式发展。

在2013年的航空试飞测试技术成果展上，业内专家指出，航空工业试飞中心的测试技术处于国内领先水平，既符合飞行试验的发展需求，也与中国航空工业的发展相匹配。通过网络化试飞测试系统关键技术研究，试飞中心已全面掌握了大型飞机试飞测试系统设计与集成技术，机载多路、多种格式视频信号采集与遥测传输技术，机载关键参数实时快速处理与记录技术，机载多路振动信号遥测实时分析处理技术，机载多网络数据包处理技术等多项关键技术，并建成了国内首套大型综合试飞测试系统综合演示验证平台，有力支撑了试飞测试技术由传统PCM架构向网络化架构的发展，单机测试参数由2000个提升到20000个。

据介绍，国内首套大型综合试飞测试系统综合演示验证平台的建成，不仅可以大大提高试飞机载测试系统的研制和集成能力，还可为我国开展航空试飞测试技术研究、开展新一代具有自主知识产权的试飞测试系统体系研究，以及新型试飞测试设备和系统的研究、集成和演示验证，试飞测试方法的研究和技术攻关，飞行试验校准技术和校准方法的研究等铺平了道路。

“十二五”期间，航空工业试飞中心在空天地一体化试验与测试体系研究领域加力突破，展开了旨在创建我国具有自主知识产权的新一代网络化通用机载测试系统(aNET)与综合遥测网络(TmNS)的通用体系结构。目前，新一代网络化通用机载测试系统已投入使用，其中14项技术创新成果获国家专利，以及逐渐形成的一套适合于军工试验未来发展的综合遥测网络标准，为未来我国建立空、天、地、海一体化的遥测网络系统奠定了重要基础。通过新一代网络化通用机载测试系统研制的工程实践，我国已经掌握了基于INET标准的机载网络化测试系统研制的核心技术，部分核心设备的技术指标优于国外同类产品，关键技术实现了与世界航空强国的并驾齐驱。

提升整体测试能力，突破测试技术瓶颈，推进测试产业发展，试飞中心初步形成以新一代网络化机载测试系统、机载网络记录系统、机载分布式参数采集系统、光纤通道数据采集记录系统为代表的专用采集器系列、机载图像采集记录设备和GPS/北斗组合定位授时设备为核心的产品，多种试飞测试参数传感器及天线等已形成系列；地面实时安全监控系统在国内首开先河；机载BD/GPS授时定位器IRIG-B(B/C)码时分同步精度更是优于4微秒，技术独树一帜。

## 数字化改装重塑 “集团公司的核心竞争力”

从单一测试改装到飞机分系统改装、外形改装、结构改装，再到机上全系统改装，航空工业试飞中心试验机改装技术曾被集团公司领导誉为“集团公司的核心竞争力”。“十二五”期间，试飞中心在飞行器改装设计与施工等方面填补了多项技术空白，试验机改装能力在国内首屈一指。

在国内试验机改装行业中，航空工业试飞中心的总体设计能力和系统

设计能力已处于领先地位；外形测绘和逆向设计能力引领国内先进水平；电气线缆布局和改装调试水平代表了行业最高水准。从“无师可从”“无本可鉴”到大型、特大型试验机改装关键技术突破，试飞中心每月可以同时进行5~6架试验机的改装；单机改装周期与国内同行相比，平均时间缩短了近20天。

通过对运7、运8等型号的改装，试飞中心以较低成本改装完成了与美国媲美的大型航电试验机；首次在运8货运型上加装气密舱套，使参试人员活动空间增加了3倍；飞机任意姿态称重方法研究在业内独占鳌头；ARJ21-700飞机水配重系统、拖锥系统、电负载系统、失速伞系统填补了国内技术空白，达到甚至超越国际先进水平。

为了改善我国航空飞行试验平台紧缺局面，航空工业试飞中心敢想敢干，实现了首次为运输类飞机前机身加装试验小翼，首次在飞机上使用高压直流电源及其配电技术，首次突破运7、运8最大构型和电源容量限制等多项创新成果。

对标国际先进，航空工业试飞中心自主研发成功的试验机电气改装分布式智能配电系统，与目前国内普遍采用的多模块集成式SSPC配电模式相比，不仅能够满足全机加装改装设备、传感器的供电需求，而且能满足未来高压直流电的应用需求，在大飞机的配电改装中实现了新跨越。

在航空装备由机械化向信息化跨越、民机制造业加速振兴的时代潮流中，试飞中心通过CATIA三维设计平台，采用MBD技术，展开“基于数字样机的数字化改装技术”实践，将C919飞机测试改装布局设计、安装模拟、线束设计等完全融入飞机设计环节，开创了国内飞机设计、制造“一体化协同管控”模式。

通过“一体化测试改装设计”，航空工业试飞中心积极融入航空产品研发全产业链及全价值链，做到了改装设计环境向制造端的延伸，将协作模式从基于数据发送接收的串行模式转向设计工艺工装一体化并行模式。目前，试飞中心在C919飞机上已形成了单数据库、多应用、多电子仓库、跨异体网络的分布式架构，完全可支撑设计、工艺、工装并行开展基于模型的关联设计工作，确保了“数字化改装技术”落地。未来，随着对“一体化测试改装设计”的深入实践，试飞中心将继续在一体化产品定义、一体化电子数据组织、一体化技术状态管理、一体化供应链及异地一体化改装设计等方面展开新的探索。

## 民机适航审定试飞技术与国际接轨

民机产业历来被视为国家竞争力的制高点，ARJ21-700新型涡扇支线客机适航审定试飞无疑是中国大飞机翱翔蓝天的奠基礼。从2009年7月ARJ21-700飞机101架机转入航空工业试飞中心算起，至2015年年初，试飞中心以百折不挠的精神在ARJ21-700型飞机适航审定试飞中创造了一个又一个奇迹，用大智大勇凝聚成了我国的民用飞机空速系统校准飞行试验要求标准研究等10项民机试飞标准研究报告，为其他运输类飞机和旋翼类飞机的适航审定试飞工作提供了一套完整范本。

在ARJ21-700飞机试飞全过程中，风险试飞科目有57项。来自试飞中心试飞员学院和空军试飞局的试飞员一次次驾机冲天，首次完成了国产民机的失速试飞；首次完成最小离地速度试飞；首次完成故障模拟、操纵器与舵面卡阻试飞；首次完成起落

架摆振试飞；首次完成最小飞行机组试飞；首次完成功能与可靠性试飞；首次完成燃油结冰试飞；首次完成模拟冰型与自然结冰试飞；首次完成转子不平衡试飞，创造了中国民机试飞的多项历史纪录。

最小离地速度(Vmu)是指飞机不呈现任何危险特性，能够在离地后继续起飞的最小速度，是运输类飞机起飞极限性能达到的速度。在国际上仅有为数不多的几名试飞员能够完成试飞。该科目试飞中，航空工业试飞中心不仅保证了试飞架次成功率达到100%，给出了飞机各种推重比下的最小离地速度，还创造了飞机尾橇触地滑跑姿态角最大曾达到13.8、飞机曾保持擦地姿态16秒不落地等纪录。FAA审查代表用“Outstanding performance”(杰出的表现)评价了此次试飞。

大侧风试飞被誉为ARJ21-700适航审定试飞的“样板工程”。航空工业试飞中心机组在“偶遇”机场顺风达到飞机起降时最大顺风限制的情况下，果断低空复飞，超越了《试飞大纲》的范围，在真实状态下检验了新支线在低空、最大顺风时飞机具有良好的操纵性，以及飞机各系统工作的有效性，为ARJ21-700飞机顺风着陆的飞行手册编定提供了依据。

目前，航空工业试飞中心已全面掌握了民机颤振、失速、最小操纵速度、决策速度、最大能量刹车、发动机空中启动、热燃油试飞、自然结冰、负过载、不可用燃油量试飞、应急供电等关键科目的试飞技术，上百个项目的试飞结果不仅填补了中国民机试飞技术的空白，加快了我国民机事业的发展步伐，也全力支持了国内适航管理体系、适航审定能力建设与国际接轨。

而面对与航空发达国家的差距，航空工业试飞中心在C919大型客机试飞准备工作中自加压力，进一步提出“突破制约民机合格审定试飞的总体设计技术、电传试飞技术和应急安全技术；突破技术验证试飞所需的气动力测量技术和试验技术；突破民用飞机机载设备适航取证试飞关键技术；基本建成与国际接轨，融研究、研制、试验、生产和使用管理于一体，具备综合化和信息化的民用航空产品飞行试验管理体系”等新目标。他们必将用实力和努力让梦想再次照进现实，让“航空报国”情怀落地。

潮平两岸阔，风正一帆悬。落实航空为本强军首责，落实创新驱动发展战略，航空工业试飞中心始终坚守“航空报国”的初心不懈怠，始终坚定战略自信与能力自信不动摇，始终坚持目标导向与问题导向不畏难，在坚持“一体两翼、开放共赢、改革创新、协调发展”理念，深化技术研究、拓展科技领域，支撑试飞业务前伸后沿；解放思想、与时俱进，构建开放共赢科研大环境；以创新驱动发展、以智慧推动升级，全面提升核心技术竞争力；统筹规划、协调发展，开创能力供给与科研任务相匹配的新局面中，必将迎来航空试飞事业大发展的又一个春天。

(航空工业试飞中心 供稿)

# 创新添活力 智造赢未来

——航空工业西飞推进技术创新与智能制造工作纪实

取得了初步成效。

## 依托型号研制推进智能制造

近年来，西飞在大飞机等研制项目的牵引下实施了数字化装配技术与装备、大飞机数字化装配生产线建设等一批重点项目，使公司飞机制造技术水平得到了明显提升。

面对新的工业革命浪潮和航空武器装备升级换代的繁重任务，西飞领导班子认识到，公司必须在新一轮科技与产业革命中把握机遇、迎接挑战、率先发展，实现企业从“航空制造”向“航空智造”的转变，进而达到从优秀到卓越的突破。

为此，公司在分析现状和差距的基础上，以战略性的眼光确定了西飞智能制造发展的总体思路和目标，即：通过构建“一个环境、六大平台”，努力将公司打造为架构清晰科学、流程精益求精、虚拟现实深度融合、智能化合理有度的信息物理系统。

从整体思路出发，西飞明确了“在不断加深两化融合的同时，依托型号，服务型号，最终实现全面信息化、适度智能化”的智能制造发展技术目标。

在数控精益加工生产线、大飞机部装生产线、大飞机总装脉动生产线建设中，公司将数字量传递、数字化协调、数字化制造全面应用于生产制造，在

国内率先实现了机翼、机身及全机结构的数字化装配集成技术新突破。

智能制造的推进，为西飞创新发展注入了新的活力，“创新能力、质量效益、两化融合、绿色发展，打造卓越绩效企业”，成为公司实施创新转型、提质增效的新目标。

## “两化融合”为智能制造提供支撑

西飞智能制造发展的总体思路和目标中提到的“一个环境”，是指信息化网络基础环境；而“六大平台”，则是指挥路和综合管理与支持平台、市场营销管理平台和、设计制造协同与工艺设计平台、生产组织管理与制造执

行平台、采购及供应商管理平台、客户服务管理平台。

为了给技术创新、绩效提升和智能制造提供有力的支撑，西飞紧密结合AOS推进工作制定了信息化建设总体规划，以企业运营管理为主线，集成工艺、采购、成本、质量、现场管理等相关业务流程，围绕业务架构中的主价值链运营流程构建公司IT架构，实现对飞机制造全要素、全流程的动态管控和企业经营指标的总体把控。

目前，西飞通过两化深度融合，将“项目抓总、体系保障”的要求全面体现在各业务领域信息化系统中，初步体现出智能制造的优势。

——通过设计制造协同与工艺设计信息化平台的构建，突破了时间、空间、地域的限制，保障了全行业优势资源“异地协同—联合制造”模式在大型飞机型号中的成功应用。

——通过生产组织管理与制造执行平台的应用，对各类工艺资源实行结构化治理，将工艺过程数据结构化纳入制造执行平台，更加准确地配合生产计划和拉动计划，提升了全生命周期的装备数字化制造能力。

(下转四版)