

# 民用飞机适航性试验验证流程优化

张运瑞 苏丹丹 杨 映 周纪帆

新乡航空工业(集团)有限公司 河南 新乡 453000

**摘要:** 本文聚焦民用飞机适航性试验验证流程优化。先概述适航性试验验证概念与现有流程环节,接着剖析流程策划、实施、收尾与审查对接以及数字化与风险管控层面存在的核心问题。随后提出基于并行工程、信息化技术应用、试验方法与技术优化、流程管理规范化与标准化等优化策略,并阐述数字化技术在试验验证流程优化中的应用。旨在提升试验验证效率与质量,推动民用飞机适航审定工作发展。

**关键词:** 民用飞机; 适航性试验验证; 流程优化

引言: 民用飞机适航性试验验证是适航审定的核心技术支撑,关乎航空安全与行业规范发展。其涵盖飞机全生命周期与民航标准的符合性验证,涉及地面与飞行试验等多类活动。当前,民用飞机适航性试验验证遵循特定闭环流程,但在实际运行中,各阶段暴露出诸多问题,影响验证效率与质量。因此,深入探讨流程优化策略,引入数字化技术,对提升民用飞机适航性试验验证水平具有重要意义。

## 1 民用飞机适航性试验验证流程概述

### 1.1 适航性试验验证的基本概念

适航性试验验证是指依照既定程序和标准,通过一系列试验、分析与评估活动,证实民用航空产品(包括飞机、发动机、机载系统等)符合适航规章及环境保护要求的综合性工作,是适航审定过程中的核心技术支撑。从学术定义来看,适航性是一个抽象的集合概念,具体体现为飞机在设计、制造、使用、维护等全环节与民航标准的符合性,而试验验证则是将这种符合性转化为可量化、可核查证据的具体手段。其不仅包括飞机测试改装、飞行测试、数据处理等显性试验活动,还涵盖鉴定、评估、符合性表明等隐性思维活动,分为地面试验与飞行试验两大类别<sup>[1]</sup>。根据《民用航空产品和零部件合格审定规定》(CCAR21)等规章,试验验证需采用规范的符合性验证方法,为适航管理局颁发设计批准、生产批准等行政许可提供关键依据。

### 1.2 现有适航性试验验证流程的主要环节

现有民用飞机适航性试验验证流程遵循“策划-实施-收尾-审查”的闭环逻辑,主要包含四个核心环节,各环节衔接紧密、相互支撑。首先是试验策划阶段,明确适航验证目标、依据适航规章确定试验范围,编制详细的试验大纲,明确试验科目、判定准则、测试参数及风险防控措施,并完成试验方案的局方审查。其次是试验实

施阶段,按照试验大纲开展地面试验与飞行试验,包括研发试飞、表明符合性试飞等,同步进行数据采集、记录与初步分析,及时处理试验过程中出现的设计缺陷与技术问题。然后是试验收尾阶段,完成试验数据的全面整理、分析与归档,形成完整的试验报告,梳理符合性证据链。最后是审查对接阶段,向适航管理局提交试验资料,配合局方开展审定试飞与符合性审查,根据审查意见完善试验证据,最终完成适航验证闭环。

## 2 适航性试验验证流程存在的核心问题

### 2.1 流程策划阶段问题

流程策划阶段是适航性试验验证的基础,也是问题较为集中的环节,主要体现在三个方面。一是适航要求解读不深入,部分策划人员未能充分结合预期用途和运行场景,准确提炼适航规章的工程要求,仅简单“对条款”,导致试验大纲与实际适航需求脱节,出现试验科目遗漏或冗余的情况。二是试验方案缺乏系统性与前瞻性,未充分考虑设计与验证的协同性,部分设计方案未预留验证空间,导致后续试验难以开展,需反复调整策划方案。三是跨部门协同不足,策划过程中未充分联动设计、制造、试验、适航等相关部门,导致试验目标与设计目标、生产实际衔接不畅。

### 2.2 流程实施阶段问题

流程实施阶段是试验验证的核心执行环节,其运行效率与质量直接影响整个流程的推进,主要存在试验资源配置不合理,试验设备、场地、专业人才等资源分布不均衡,核心设备利用率不足,部分专用试验装置研发滞后,同时专业人才短缺,难以满足复杂试验任务的需求。试验过程管控不严格,部分试验环节未严格按照试验大纲执行,存在操作不规范、数据记录不完整等情况,影响试验数据的真实性与有效性。试验与设计衔接不畅,试验过程中发现的设计缺陷反馈不及时,设计修改与试验

调整不同步,导致试验重复开展,大幅延长试验周期。多主体协同效率低,申请人、试验机构、局方之间沟通不顺畅,试验进度反馈不及时,难以形成工作合力<sup>[2]</sup>。

### 2.3 流程收尾与审查对接阶段问题

流程收尾与审查对接阶段作为试验验证的收官环节,直接关系到适航审查的效率,主要存在三个突出问题。一是试验数据整理与归档不规范,部分试验数据缺乏系统性梳理,数据格式不统一、溯源性差,试验报告编制不完整,未能形成逻辑严密的符合性证据链,影响审查效率。二是与适航审查对接不顺畅,未提前与适航管理当局沟通审查重点,提交的试验资料存在遗漏、不符等问题,导致审查意见反复反馈,增加返工成本与时间成本。三是收尾工作不彻底,试验过程中的遗留问题未及时闭环,试验总结不深入,未形成可复用的经验成果,难以作为后续机型的试验验证提供参考,同时缺乏对试验全过程的复盘分析,不利于流程持续优化。

### 2.4 数字化与风险管控层面问题

在数字化转型与风险管控日益重要的背景下,当前适航性试验验证流程在这两个层面存在明显短板。数字化层面,仍以传统纸质文档与电子文档结合的管理方式为主,数字化技术应用不深入,缺乏统一的数字化平台,试验数据分散存储,难以实现数据共享、协同分析与高效检索,同时虚拟仿真、数字建模等技术的应用范围有限,未能充分发挥数字化降本增效的作用。风险管控层面,缺乏完善的全流程风险管控体系,风险预判不全面,主要依赖专家经验,对试验过程中的安全风险、技术风险、进度风险识别不及时,未建立科学的风险评估与预警机制,同时风险应对措施针对性不强,难以有效规避或降低试验过程中的各类风险,甚至可能影响试验安全与进度。

## 3 民用飞机适航性试验验证流程优化策略

### 3.1 基于并行工程的流程优化

基于并行工程的流程优化是解决流程衔接不畅、周期过长的关键手段,核心是打破传统串行流程的壁垒,实现各环节的并行协同。一方面,在试验策划阶段,同步联动设计、制造、试验、适航、运营等多部门,开展并行协同策划,提前梳理适航要求,将试验验证需求融入飞机设计全过程,确保设计方案预留充足的验证空间,避免后续因设计与验证脱节导致的返工<sup>[3]</sup>。另一方面,推动试验实施与设计优化并行开展,建立快速反馈机制,试验过程中发现的设计缺陷及时反馈给设计部门,同步推进设计修改与试验调整,减少试验重复。同时,将适航审查工作与试验验证并行推进,提前与适航管理当局沟

通,及时对接审查要求,提前梳理符合性证据,缩短审查对接周期,实现试验验证与适航审查的高效协同。

### 3.2 信息化技术在流程优化中的应用

信息化技术是提升试验验证流程效率、实现流程优化的重要支撑,需全面融入试验验证全环节,破解数据分散、协同不足等问题。首先,搭建统一的适航性试验验证信息化管理平台,整合试验策划、实施、数据管理、审查对接等全流程信息,实现试验大纲、数据记录、报告编制等环节的线上化处理,提升工作效率。其次,应用大数据技术对试验数据进行集中管理与深度分析,挖掘数据背后的规律,为试验方案优化、设计改进提供数据支撑,同时实现试验数据的可追溯、可共享。引入协同办公系统,打通各部门、多主体之间的信息壁垒,实现试验进度、数据成果、审查意见的实时同步,提升协同工作效率,减少沟通成本,推动试验验证流程的信息化、智能化转型。

### 3.3 试验方法与技术的创新优化

试验方法与技术的创新优化,是提升试验验证质量、降低试验成本的核心路径。在航空领域,必须紧密结合航空技术发展趋势,突破传统试验模式的局限。在试验设计方法上,要大胆创新。优化试验科目设置,摒弃一些冗余、低效的试验环节。采用正交试验、仿真试验与物理试验相结合的多元方式,通过科学规划和精准计算,减少不必要的物理试验次数。在确保试验结果准确可靠、保证试验质量的前提下,有效降低试验成本。同时,积极推动试验技术升级,引入先进的测试设备与技术,提升试验数据采集的精度与效率,为后续分析提供更精准的数据支撑。扩大虚拟仿真技术的应用范围,在虚拟环境中模拟极端飞行工况、故障场景等,提前验证设计方案的可行性,避免在实际物理试验中因方案缺陷造成的时间和资源浪费,从而缩短物理试验周期。另外,针对新型机型如eVTOL的特点,研发专用试验技术与方法,完善符合性验证路径,满足新型航空器适航试验验证需求,推动我国试验技术与国际先进水平接轨,提升我国航空产业的国际竞争力。

### 3.4 流程管理的规范化与标准化

流程管理的规范化与标准化是确保试验验证流程有序推进、提升试验质量的重要保障,需建立完善的标准体系与管理机制。首先,制定统一的适航性试验验证流程标准,明确各环节的工作内容、操作规范、时间节点、责任主体,规范试验大纲编制、数据记录、报告编制等核心环节的要求,确保试验验证工作的规范性与一致性。其次,完善试验验证质量管理制度,建立全流程质量管

控体系,加强对试验过程、数据成果、报告编制的审核与监督,杜绝操作不规范、数据失真等问题,确保试验数据与报告的真实性和有效性。最后,建立流程持续改进机制,定期对试验验证流程进行复盘分析,总结经验教训,结合技术发展与适航标准更新,及时优化流程标准与管理机制,实现流程的持续提升。

#### 4 数字化技术在试验验证流程优化中的应用

##### 4.1 基于模型的系统工程(MBSE)在试验验证中的应用

基于模型的系统工程(MBSE)是数字化试验验证的核心技术之一,其核心是通过建立统一的数字模型,贯穿试验验证全流程,实现试验验证的模型化、规范化与高效化。在试验策划阶段,利用MBSE方法构建飞机系统模型,明确试验需求与验证目标,优化试验大纲设计,确保试验科目与适航要求的精准对接,同时实现试验方案的可视化仿真,提前识别试验风险。在试验实施阶段,基于系统模型开展虚拟试验,模拟试验过程与工况,与物理试验形成互补,减少物理试验次数,同时通过模型实现试验数据的实时关联与分析,提升数据处理效率。在审查对接阶段,以系统模型为载体,形成可追溯、逻辑严密的符合性证据链,便于适航管理局开展审查,缩短审查周期,同时为后续机型的试验验证提供可复用的模型资源,提升试验验证的标准化水平。

##### 4.2 试验数据管理平台建设

试验数据管理平台是数字化技术应用的重要载体,其建设核心是实现试验数据的集中管理、共享复用与深度分析,破解数据分散、利用率低等问题。平台需整合试验全流程产生的各类数据,包括试验大纲、测试数据、分析报告、审查意见等,建立统一的数据标准与数据字典,确保数据格式统一、溯源性强。同时平台需具备数据存储、检索、分析、共享等核心功能,支持多部门、多主体的协同访问,实现试验数据的实时共享与高效流转,减少数据重复录入与传递成本<sup>[4]</sup>。另外,平台可集成大数据分析工具,对试验数据进行深度挖掘,识别试验过程中的规律与问题,为试验方案优化、设计改进、风险防控提供数据支撑,同时实现试验数据的全生命周期

管理,确保数据的安全性与完整性,为适航审查提供可靠的数据依据。

##### 4.3 数字孪生技术在试验验证中的应用前景

数字孪生技术作为航空领域数字化转型的核心技术,在民用飞机适航性试验验证中具有广阔的应用前景,其核心是构建飞机实体与虚拟模型的实时映射,实现试验验证的全流程仿真与智能管控。未来,数字孪生技术将逐步应用于试验验证全环节,在试验策划阶段,可构建高保真的飞机数字孪生模型,模拟各类飞行工况与试验场景,优化试验方案,提前识别试验风险;在试验实施阶段,通过传感器采集飞机实体的实时数据,同步更新虚拟模型,实现试验过程的实时监控与仿真分析,精准捕捉试验过程中的异常情况,同时开展虚拟试飞,覆盖极端工况,降低物理试验的风险与成本。在持续适航阶段,数字孪生模型可实时监控飞机运行状态,为持续适航验证提供数据支持,推动适航验证从“静态批准”向“动态监控”转变,未来随着AI与边缘计算技术的融合,其应用将更加广泛,为适航性试验验证带来革命性变革。

#### 结束语

民用飞机适航性试验验证流程优化是提升适航审定效率与质量的关键。通过剖析现有流程问题,提出并行工程、信息化技术应用、试验方法创新及流程管理规范化等策略,并探讨了数字化技术在其中的应用,如MBSE、试验数据管理平台及数字孪生技术等。未来,随着技术不断发展,持续优化流程、加强数字化应用,将为民用飞机适航性试验验证带来更高效、精准的解决方案,推动航空业安全发展。

#### 参考文献

- [1]徐步祥.民用运输类飞机CCAR25.1529"持续适航文件"适航性要求研究[J].大众标准化,2022(13):115-117.
- [2]赵珊,陈国慧,张娟,等.民用飞机机轮电滑行系统适航符合性验证技术研究[J].民用飞机设计与研究,2024(3):112-116.
- [3]陈力,程伟豪.民用飞机操稳试飞中的临界状态确定[J].科技创新与应用,2023,13(12):15-19.
- [4]李琳,彭雄.民用飞机供应商适航管理要求研究[J].航空维修与工程,2022(5):33-36.