

适航要求下民机航电系统建设条件研究

吴 军

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 710072

摘 要：民用航空器适航性是安全飞行根基，航电系统更是飞行任务核心，深入探究二者关联意义重大。论文通过梳理适航标准发展脉络，剖析国际适航指南及我国对接情况，从管理平台、设计开发工具、集成验证环境和信息化基础支撑平台四方面，系统分析民机航电系统建设条件。研究发现，适航要求促使航电系统设计更注重安全性、可靠性与可维护性，研发流程更规范严格，涵盖从需求分析到系统验证的全流程管控。希望论文能够为完善我国民机航电系统建设体系、提升自主研发能力、增强国际市场竞争力提供了理论依据与实践参考。

关键词：适航要求；民机航电系统；建设条件；适航标准

引言：民用航空作为高端制造业的重要领域，其发展水平是国家科技实力与工业基础的集中体现。近年来，全球民用航空市场持续扩张，航空运输需求不断增长，对民用航空器的安全性、可靠性和智能化水平提出了更高要求。适航性作为民用航空器安全飞行的根本保障，贯穿于航空器全生命周期，其标准的严格执行是确保航空安全的关键防线。其中，航电系统承担着飞行任务组织、管理及信息处理等核心功能，直接影响飞机的整体性能与运营效率。

基于此，深入研究适航要求下民机航电系统的建设条件，不仅有助于突破技术瓶颈，提升我国民机航电系统的自主研发能力，更能以严格的适航标准为依托，确保民用航空器的安全运行，最终推动我国民用航空产业迈向高质量发展。

1 适航要求概述

1.1 适航性的定义与内涵

适航性是指航空器在预期运行环境和使用限制下，持续保持安全飞行能力的固有特性。这一概念包含三个核心要素：设计适航性、制造适航性和持续适航性。第一，设计适航性要求航空器在初始设计阶段就满足适航标准规定的安全基准，包括结构强度、系统可靠性及性能指标等；第二，制造适航性确保生产过程中的质量控制体系能够完整实现设计意图，通过工艺规范、检验标准等手段保证产品一致性；第三，持续适航性则关注航空器在服役期间通过维护、修理和大修（MRO）保持安全状态的能力。

1.2 适航标准的重要性

适航标准作为航空安全的技术法规，其重要性体现在三个层面：首先，在安全层面，通过建立统一的技术门槛，消除航空器设计制造中的系统性风险。以FAA

FAR 25部为例，其对运输类飞机航电系统提出的300余项具体条款，构成了防止灾难性故障发生的技术防线。其次，在产业层面，适航标准是航空制造业国际分工的基础语言，空客A350和波音787的全球供应链协同，正是建立在各国对RTCA DO-160G等环境测试标准的共同认可之上^[1]。据统计，全球90%的民航当局直接采纳或等效采用FAA/EASA标准，这种标准化显著降低了技术贸易壁垒。最后，在经济层面，适航认证已成为民航市场的准入许可证，我国ARJ21飞机为取得FAA适航证进行的54项重要设计改进，充分体现了标准对产品竞争力的塑造作用。特别对于航电系统，适航标准推动形成了“需求捕获-架构设计-验证确认”的V型开发流程，使研发成本降低20%以上。

2 民机航电系统适航规范体系

2.1 国际适航指南

国际适航指南是民机航电系统适航规范的核心框架，由美国联邦航空局（FAA）、欧洲航空安全局（EASA）等权威机构主导制定，并利用国际组织（如国际民航组织ICAO）协调推广。其中，FAA的《联邦航空条例》（FAR）第25部、第29部等针对运输类飞机和涡旋发动机飞机的适航要求，明确了航电系统在功能安全、环境适应性及故障容错等方面的技术门槛。如，FAR 25部对运输类飞机的航电系统提出300余项条款，涵盖电磁兼容性、软件验证、硬件冗余设计等内容。欧洲EASA的CS-25/29标准与FAR体系高度兼容，但在部分细节（如环境测试方法）上存在差异，体现了区域适航管理的灵活性。

国际适航指南的协同性通过行业标准组织（如RTCA/EUROCAE）进一步强化。如，DO-160G系列标准定义了航电设备的环境测试方法，包括振动、温度冲击、电磁干扰等极端条件；DO-178C/ED-12C规范机载软件开发的

全生命周期过程,要求采用模块化设计、代码追溯及覆盖率分析;DO-254则针对硬件设计提出安全性评估与验证要求。此外,SAE ARP4754A指南为航电系统需求工程提供方法论支持,强调需求可追溯性与验证闭环。这些标准共同构成“设计-制造-验证”的完整链条,被全球90%以上的民航当局采纳,成为空客A350、波音787等机型供应链协同的技术基准。据统计,适航指南的严格执行使航电系统研发效率提升20%,同时将灾难性故障概率降低至 10^{-9} /飞行小时以下,显著提升了航空安全水平。

2.2 我国适航规章与标准的对接

我国在制定民机航电系统适航规章时,充分借鉴了国际适航指南的经验,并结合我国航空工业的实际情况进行了本土化改进。我国的适航标准以法律规章的形式予以确认,具有强制执行力。在航电系统开发过程中,我国要求严格遵循相关适航规章,确保系统满足安全性和可靠性要求^[2]。如,在航电系统的设计阶段,需要按照ARP4754A的要求进行需求分析和系统设计,明确系统的功能和性能指标;在软件开发过程中,要遵循DO-178B/C的标准,进行严格的软件验证和确认;在硬件开发方面,需符合DO-254的要求,确保硬件的可靠性和安全性。通过与国际适航标准的对接,我国民机航电系统能够更好地融入国际航空市场,提高国产民机的国际认可度和竞争力。

3 民机航电系统建设条件分类

3.1 管理平台

管理平台是民机航电系统建设的基础与核心枢纽,对项目全生命周期进行有效管控。它涵盖以下几个方面:第一,项目计划管理,通过科学规划项目进度,合理分配资源,确保各阶段任务按时完成;第二,质量管理方面,依据适航标准制定严格的质量规范与检验流程,对设计、开发、生产等环节进行全程质量监控,保障产品质量;第三,风险管理模块能识别、评估项目潜在风险,如技术难题、成本超支等,并制定应对策略,降低风险影响。并且,管理平台还具备沟通协调功能,促进项目团队内部、各部门之间以及与供应商、客户等外部单位的信息流通与协作,保障项目顺利推进。另外,它对项目文档进行集中管理,确保文档的完整性、准确性和可追溯性,为适航认证和后续维护提供有力支持。管理平台的有效运行,能够显著提升民机航电系统建设项目的整体效能,确保项目在适航要求的框架内高效、有序地推进。

3.2 设计开发工具

设计开发工具是民机航电系统建设的关键支撑,直

接决定着系统设计与研发的效率与质量。在硬件设计方面,需采用专业的电子设计自动化(EDA)软件,如Cadence、Mentor Graphics等,实现电路原理图设计、印刷电路板(PCB)布局布线以及硬件仿真验证,确保硬件设计的准确性与可靠性。软件设计上,要运用集成开发环境(IDE),如Eclipse、Visual Studio等,结合适航标准要求的软件设计方法,进行代码编写、调试与优化。并且,借助需求管理工具,如DOORS,对系统需求进行精准捕获、跟踪与管理,保证需求在设计与开发过程中的有效传递与实现。另一方面,模型驱动开发(MBD)工具也发挥着重要作用,它通过建立系统模型,实现从模型到代码的自动生成,提高开发效率与一致性,减少人为错误,为适航要求的严格落实提供有力技术保障,助力民机航电系统高质量建设。

3.3 集成验证环境

按照ARP4754指南要求,民用飞机系统验证过程自底向上开展,产品的集成与验证需要在每一层级实施,对该层级的需求进行验证。航电系统集成验证包括设备集成验证、分系统集成验证、航电系统集成验证三个层次。在设备集成验证阶段,对单个设备的功能和性能进行测试,确保设备符合设计要求。分系统集成验证是将多个设备集成为一个分系统,验证分系统之间的接口和协同工作能力。航电系统集成验证则是将各个分系统集成成为一个完整的航电系统,进行全面的性能、安全性和验证。只有低层级产品集成完且得到功能及性能验证后,才能进一步集成为更高层级产品或系统。如,在初教6综合航电系统的集成验证中,先对各个显示设备、控制设备进行单独测试,然后将它们集成为显示控制分系统,最后将显示控制分系统与其他导航、通信等分系统集成,进行整个航电系统的验证。

3.4 信息化基础支撑平台

信息化基础支撑平台是业务应用的必备支撑环境,主要建设内容包括服务中心、数据中心(含异地灾备中心)、网络平台、安全中心。服务中心提供各种信息化服务,支持航电系统的研发、生产和维护。数据中心负责数据的存储、管理和备份,确保数据的安全性和可靠性。异地灾备中心可以在主数据中心出现故障时,及时恢复数据和服务,保障业务的连续性。网络平台为航电系统的各个组成部分提供通信连接,实现数据的传输和共享。安全中心则负责保障航电系统的信息安全,防止数据泄露和网络攻击。

4 适航要求对民机航电系统建设的影响

4.1 对系统设计的影响

一是在安全性方面,系统需要具备故障安全设计,即系统故障或功能丧失也不影响飞行安全。如,客舱电子电气系统一般遵循fail-safe的设计理念,对于通过系统安全性分析得出没有功能危险性的系统或设备,可通过最低限度的鉴定试验来证明其正常工作模式、非正常工作模式以及所有的故障模式都不会对飞机的安全运行和安全裕度、重要系统的正常工作以及乘员的安全造成不利影响。并且,随着人工智能技术在航空领域的应用,智能故障预测与健康管理(PHM)系统也逐步成为安全性设计的重要组成部分,在实时监测系统运行数据的基础上,能够提前识别潜在故障风险,进一步提升系统的安全性能。

二是在可靠性方面,系统需要采用成熟的技术和设备,进行严格的可靠性设计和验证。采用冗余设计、故障诊断和容错技术等,提高系统的可靠性。另一方面,为确保设备的可靠性,研发团队需要对关键部件进行长时间的环境可靠性测试,包括高温、低温、高湿度、强电磁干扰等极端条件下的性能测试,以验证其在复杂航空环境中的稳定运行能力。同时,可靠性设计还涉及到供应链管理,优先选择具有良好可靠性记录的供应商,从源头保障设备质量。

三是在可维护性方面,系统需要保证设备间的通用性和互换性,并尽可能采用远程监控和维护等方式,实现快速维修^[4]。而且,基于卫星通信和物联网技术的远程健康监测系统,能够实时将航电设备的运行数据传输至地面维护中心,技术人员可通过数据分析提前制定维护计划,在飞机落地后快速定位故障并更换备件。此外,增强现实(AR)技术也逐渐应用于航电系统维护领域,维修人员通过佩戴AR设备,可获取设备的三维维修指南和故障诊断提示,显著提升了维修效率和准确性。^[3]

4.2 对研发流程的影响

适航要求促使民机航电系统研发流程更加规范、严谨。从需求分析阶段起,就需依据适航标准精准界定系统功能与性能需求,确保需求完整、无歧义。在设计阶

段,要遵循严格的设计规范,进行多轮设计评审,保证设计符合安全性、可靠性等要求。开发过程中,采用模块化开发方式,各模块独立开发且严格遵循适航标准,便于质量控制与问题追溯。同时,建立完善的版本管理机制,对设计变更进行严格管控,确保每次变更都经过充分评估与验证。

需要注意的是,在开发过程中,要进行严格的过程控制和数据管理,确保每个环节都符合适航要求。在验证阶段,要进行全面的测试和验证,包括功能测试、性能测试、安全性测试等,确保系统满足适航标准。比如,在C919的适航认证过程中,研发团队严格按照适航要求进行研发和验证,经过了大量的试验和测试,确保了飞机的安全性和可靠性。

结语:适航要求是民机航电系统安全运行与质量保障的基石。它通过构建完善的规范体系,从设计、研发到集成验证,全方位引导航电系统建设走向标准化、规范化。无论是管理平台的统筹协调,设计开发工具的精准支撑,还是集成验证环境的严格把关与信息化基础支撑平台的稳固保障,均以适航标准为导向,确保系统满足安全性、可靠性与可维护性要求。未来,需进一步加强产学研用协同创新,攻克技术难关;优化资源配置,平衡成本与效率;深化国际合作与交流,提升我国民机航电系统的国际竞争力,推动我国民用航空工业迈向更高发展阶段。

参考文献

- [1]孟鹏,唐中君.国外民机产业质量治理的共性经验探索[J].航空标准化与质量,2024,(04):30-35+56.
- [2]徐博,刘贝.基于APQP的民机项目质量管理研究[J].科技风,2023,(11):148-150.
- [3]黄志勇.民用飞机生产质量保证体系建设研究与实践[J].航空标准化与质量,2021,(01):32-36.
- [4]田鼎莹.叶片尾缘掠型对离心压气机特性影响研究[J].工程热物理学报,2021,42(2):399-406.