

飞机电气线路互联系统研制通用标准构建研究

张伟涛 于天浩 (通讯作者) 王祥宇

石家庄海山实业发展总公司 河北石家庄 050000

摘要: 随着航空航天技术的飞速发展,飞机电气线路互联系统作为现代飞机的重要组成部分,其设计和构建标准的完善性和先进性已成为行业关注的焦点。在现代航空技术中,飞机电气线路互联系统不仅负责飞机上众多关键设备的供电与通讯,还在保障飞行安全、提高系统性能、降低成本、确保可维护性和可靠性等方面扮演着至关重要的角色。随着飞机电气化程度的加深,一套统一的、全面的通用标准变得愈发迫切,旨在消除潜在的技术壁垒,提高系统之间的兼容性和互操作性,从而确保飞机的高效运行。飞机电气线路互联系统在现代飞机设计中扮演着至关重要的角色,负责传输和管理飞机上的电力,通信和控制信号。随着航空技术的快速发展,这些系统变得越来越复杂,对于其可靠性和安全性标准的需求也日益增强。本研究旨在探讨飞机电气线路互联系统的研制过程中通用标准构建的重要性,以期提升整体系统性能和安全性。

关键词: 飞机; 电气线路; 互联系统; 标准构建

引言

飞机电气线路互联系统,也称为飞机电气网络,是现代飞机中不可或缺的组成部分。它包括了飞机上的所有电力分配、控制和监测系统,如电源、电源管理系统、配电系统、电缆、接插件、开关、熔断器等。该系统的主要任务是确保飞机上各种电气设备的稳定、安全、高效运作,通过复杂的线路网络连接飞机的各个电子和电气部件,实现信息的快速、准确传输。

一、飞机电气线路互联系统概述

飞机电气线路互联系统的主要功能包括但不限于:
电源分配与管理:通过精密的控制系统,该系统确保电力的稳定供应,以满足飞机上各类电子设备和系统的能源需求。
信号传输:飞机电气线路互联系统还负责在飞机的不同子系统间传输控制和监测信号,确保飞机的运行安全。
故障诊断与保护:系统具备自我诊断和保护机制,能够在系统或设备出现异常时,如过载、短路等,自动断开电路,防止进一步的损害。
维护与更新:系统设计有可扩展性和模块化,便于维护和升级,同时允许新设备的接入和旧设备的更换。
数据通信:在现代飞机上,电气线路互联系统还可能承担数据通信的任务,连接并管理飞机上的各类传感器和控制设备,实现数据的实时传输和分析。

二、通用标准构建的关键要素分析

(一) 安全性与可靠性要求

安全性是飞机电气线路互联系统通用标准构建的基

石。在航空工程中,安全性意味着系统必须能够在预期的操作条件下持续、稳定地工作,同时在异常情况下具备故障隔离和保护功能。可靠性则关乎系统在预期使用寿命中的故障率,这直接影响到乘客和机组成员的生命安全。一个健全的通用标准应确保系统设计能抵御潜在的电气故障、过载、短路等问题,同时具备自我诊断和恢复机制,以降低停机时间和维修成本。

(二) 电磁兼容性设计

电磁兼容性(EMC)设计是飞机电气线路互联系统的另一关键考量。在飞机这种复杂而紧密的环境中,设备间可能会相互干扰,导致功能异常。通用标准应包含严格的EMC测试和控制策略,确保所有组件在运行时不会产生或受到不必要的电磁干扰,从而保持整个系统的稳定运行。这可能涉及到屏蔽、滤波和隔离等技术手段,以降低电磁噪声和耦合,保证系统的正常运行。

(三) 模块化与可扩展性

模块化设计是飞机电气线路互联系统通用标准中的重要部分,它允许系统在维护和升级时更加灵活。模块化设计可以简化系统的维护和扩展,减少因整体更换或大规模改造而带来的停机时间。通过定义清晰的接口和标准化组件,可以确保不同模块之间的互换性,提高系统的可维护性和未来技术升级的能力。

三、通用标准构建的步骤与方法

(一) 需求分析阶段

在构建飞机电气线路互联系统的通用标准过程中,

需求分析是首要步骤。这一阶段旨在明确标准的预期目标、使用场景和关键性能指标。通过与各利益相关方的深度交流，包括飞机制造商、设计师、工程师、航空公司以及维护人员，以确保标准的普适性和实用性。此阶段需要识别和记录可能的使用场景，确定系统在极端环境下的性能需求，以及对系统可靠性和安全性的期望。

（二）标准框架设计阶段

在需求分析基础上，接下来是设计标准的整体架构。这涉及到确定标准的层次结构，如基础要求、安全要求、电磁兼容性、性能指标、测试方法和结果评估等方面。标准框架设计应具备灵活性，以适应未来技术发展，并涵盖从设计、制造、安装到维护的整个生命周期。标准框架还需包括对系统互连性、可扩展性以及针对不同飞机平台的兼容性要求。

（三）标准草案编写阶段

在这一阶段，需求和框架转化为具体的条文和指导原则。标准草案包括详细的技术要求、试验方法、检验程序以及合格评定指南。内容涵盖电气线路互联系统的材料、设计、制造和测试要求，同时考虑与其他系统集成时的兼容性。草案还应包括合规性验证的程序，以确保所有参与者能够遵循一致的流程。

（四）评审与修改阶段

在标准草案完成后，需要邀请行业专家、制造商、航空公司以及认证机构进行多轮评审，以确保标准的全面性和实用性。评审过程关注标准的适用性、清晰度和可操作性，同时收集反馈，以便对草案进行必要的修订和完善。这一阶段旨在消除歧义，确保标准的科学性、一致性和公平性，以得到广泛接受和遵循。

（五）发布与实施阶段

在通过评审和修改后，通用标准将正式发布并开始在行业内推广实施。这一阶段包括培训相关从业者理解和执行新标准，更新设计和生产流程，以及调整检查和认证程序。持续的监控和评估机制在此阶段也至关重要，以跟踪标准执行效果，及时发现并解决实施过程中可能出现的问题。随着标准的实施，飞机电气线路互联系统的可靠性和安全性将得到显著提升，从而推动整个行业的发展。

四、飞机电气线路互联系统应用优化措施

（一）电气线路设计与布局优化

在飞机电气线路互联系统的设计过程中，线路布局的优化扮演着至关重要的角色，它涉及到多维度的细致考量以实现系统性能的最优化。首先，需要对线束的长度进行精确计算，以确保在满足电气性能需求的同时，

减少不必要的线缆使用，从而减轻飞机的总体重量，这是提升燃油效率和航行性能的关键因素。此外，直径的选择直接关系到电流传输的效率和线束的机械强度，需要在保证电流承载能力的同时，确保线缆在安装和维护过程中不易受损。

绝缘材料的选取同样不容忽视，它不仅需要具备轻质的特性以减重，而且需具备耐高温和耐腐蚀的性能，以抵御飞机运行中可能遭遇的极端环境。在密闭、狭小的飞机内部空间中，合理规划线路布局和确保其在各种复杂条件下的稳定性显得尤为重要。优化布线路径，可以降低电磁干扰对飞机上其他电子设备的影响，维持机载电子系统的协调运行。

通过精心设计线路布局，可以降低系统故障风险，提高整体电气网络的可靠性，这对于确保飞行安全和提高飞机的综合性能至关重要。因此，每一个设计细节，从线束的尺寸和材料选择，到路径规划和绝缘处理，都是在飞机电气线路互联系统设计中必须深思熟虑和精心实施的要素。

（二）电源管理与能效优化

电源管理是飞机电气线路互联系统的基石，其重要性不言而喻。优化电源管理涉及多个关键层面，首先是精准的电源分配策略，这要求在设计时考虑到飞机在各种飞行阶段的动态电力需求，通过智能电源管理系统（BMS）实现精细化的能源调度。BMS的核心功能在于动态监控和预测电力需求，通过实时数据采集与分析，确保电力负载的均衡分配，以防止过载或欠载情况，从而最大化资源利用率。此外，通过实施动态调整和优化电源输出，系统能够确保在任何飞行状态下，电力的消耗与产生能够维持精确平衡，有助于减少不必要的能源浪费。这种精确匹配有助于降低能量损耗，增加飞机的能源效率，同时提升了整个电气系统的运行性能和稳定性。

（三）故障检测与诊断系统的改进

实施智能化的实时监控和故障检测机制是提升飞机电气线路互联系统可靠性的关键步骤。这包括集成高精度的传感器网络，该网络能持续监测系统各项关键参数，如电压、电流、温度等，以捕捉微小的异常变化。通过大数据分析和机器学习算法，这些传感器能够智能识别和学习正常与异常状态的模式，从而实现实时预警，精准定位潜在的电气故障。故障诊断系统需具备易用性，以便快速定位问题源头，缩短停机时间，降低维修复杂度。设计阶段应充分考虑诊断流程的简便性，确保故障能迅速被识别并及时解决，降低维护成本，从而增强飞

机的可用性和出勤率。此外，通过远程监控和数据分析，能够实现预防性维护，提前预判潜在问题，进一步优化飞机的运行效率和安全性。

（四）维护与更新策略

建立预防性的维护计划，涵盖定期的健康检查和系统性能评估，能够及时发现并解决电气线路互联系统中的微小瑕疵，以预防潜在的大问题。采用精密的诊断仪器和数据分析软件，可以实时捕捉系统性能的细微变化，从而预测并防止故障的发生，有效压缩非计划的停机事件。同时，利用远程监控和数据采集系统，可对电气线路互联系统进行不间断的健康诊断，确保任何潜在问题在初期阶段就能被识别并得到妥善处理。此外，定期的软件和固件升级不仅确保了与最新的技术发展同步，还保证了电气线路互联系统始终符合或超越行业设定的安全标准，从而增强系统整体的稳定性和适应性。

（五）互联系统的网络安全与数据保护

在飞机电气线路互联系统中，数据安全不仅关乎系统稳定性，更直接影响到飞行安全。加密技术的运用成为保护网络通信的坚固防线，它通过编码和解码算法，确保信息在传输过程中不被拦截或篡改，同时防止非法入侵者窃取或操纵关键的系统数据。冗余备份策略的实施，如镜像系统和分布式存储，能在单点硬件或组件故障时，迅速切换到备用组件，维持系统不间断运行，降低了服务中断的风险，提升了整体的可靠性和抗风险能力。此外，通过定期的系统健康检查和安全审计，可以识别并消除潜在的脆弱点，进一步巩固了电气线路互联系统的网络安全，增强了飞行运营的安全环境。

（六）用户培训与操作手册

提供全面的操作员培训课程，涵盖理论学习和实践操作，确保机组人员不仅理解电气线路互联系统的基本原理和工作方式，还能掌握在不同飞行阶段和紧急情况下的应对策略。通过模拟器训练和实地操作，强化机组人员对系统的直观理解与熟练操作，降低因操作不当引发的系统故障风险。同时，定期的技能刷新和知识更新课程至关重要，以便团队能够迅速适应技术进步和系统更新。持续的教育训练也使员工保持对新功能和接口的敏锐度，确保他们能有效应对日益智能化和自动化的电气系统，进一步提升飞机电气系统的运行效率和安全性。

（七）系统标准化与兼容性

推动电气线路互联系统的标准化工作至关重要，它旨在促进不同组件间的无缝协作。首先，标准化电源接口规范统一，意味着所有飞机电气组件都能够遵循相

同的电压、电流和功率等级，从而确保在电源适配过程中不会出现兼容性问题。其次，标准化的信号传输协议可确保各种模块之间的信息交流流畅无阻，无论这些信号是控制指令、传感器数据还是故障诊断反馈，都能在标准化的通信协议下稳定、高效地运行。再者，控制指令的标准化使得所有设备能够理解和执行统一的指令集，无论是基本的开关控制还是复杂的自动化流程，都能在系统中得到准确、一致的响应。这样的标准化举措不仅简化了维护过程，降低了因非标准化导致的适配难题，而且在需要替换或升级部件时，可以快速实现对接，大大缩短停机时间，降低了运营成本。此外，整体运行效率的提升得益于标准化带来的流畅性和一致性，确保飞机电气线路互联系统在任何条件下都能保持高效率和可靠性，从而进一步优化了飞行器的性能。

结束语

随着本文的深入探讨，飞机电气线路互联系统的通用标准构建的重要性不言而喻。通过全面分析关键要素，包括安全性、可靠性、电磁兼容性、模块化设计、可扩展性和维护性，我们得以理解到，构建这样的标准并非易事，它需要跨学科的知识，严谨的工程实践，以及对飞机电气系统的深刻洞察。通用标准的建立是一个动态的过程，涉及到从需求分析、框架设计、草案编写，到评审和实施的每一个步骤。每个阶段都需要深思熟虑和精心的规划，以确保新标准的广泛适用性和前瞻性。这一过程中，我们需要克服技术创新带来的挑战，促进跨领域的深度合作，以及建立一个持续改进和更新的机制。

参考文献

- [1] 肖璐, 杨阳, 杨硕, 等. 飞机电气线路互联系统仿真及试验验证技术[J]. 飞机设计, 2022, 42(4): 5.
- [2] 王小辉, 朱丽, 车程, 等. 电气线路互联系统安全性设计与分析方法研究[J]. 西北工业大学学报, 2022(003): 040.
- [3] 孟驰华, 马娅娜, 韦清瀚, 杨昌. 基于航空交流故障电弧标准的电弧仿真研究[J]. 测控技术, 2022, 41(10): 73-81.
- [4] 李勇军, 叶青, 周勇军, 等. 飞机干扰弹异常发射故障分析与改进[J]. 军民两用技术与产品, 2023(4): 44-47.
- [5] 张志亮, 戴洪德, 王希彬, 等. 飞机线路系统故障电弧检测技术综述[J]. 舰船电子工程, 2024(4).