

# 飞机电气系统二次配电试验测控系统研究

侯占国 杜建萍 杨雪婷

石家庄海山实业发展总公司 河北石家庄 050200

**摘要:** 本研究关注于飞机电气系统中的重要组成部分——二次配电系统,探讨了其在现代民用飞机中的核心作用,并详细阐述了一种新型的试验测控系统设计。该系统旨在提升配电系统的测试效率、精度与安全性,确保飞机电气系统的稳定运行。本文详细介绍了二次配电的基本原理,系统架构设计,以及在实际应用中的关键技术,同时展示了系统的实现过程与验证结果。通过对典型飞机型号的适配分析,验证了系统的兼容性和有效性。本文探讨了安全性与可靠性保障措施,为未来飞机电气系统二次配电的发展提供了理论支持和实践指导。

**关键词:** 飞机; 电气系统; 二次配电; 试验测控

## 引言

民用飞机电气系统是飞机运行的核心组成部分,其复杂性与重要性与日俱增,尤其是在现代飞机设计中。这些系统不仅负责为飞机上的各种设备和系统供电,包括导航、通信、环境控制、娱乐系统等,而且在紧急情况下提供备份电源,确保飞机安全运行。电气系统通过主电源(如发动机发电机或辅助动力装置)为飞机的电子设备、照明、液压和燃油系统等提供电力支持。随着技术的发展,电气系统的功率需求也在不断增长,对系统的可靠性和效率提出了更高要求。

## 一、二次配电系统的重要性

二次配电系统是飞机电气系统中的关键环节,它负责将电力从飞机的主电源分配到各个负载,确保电力在飞机的各个区域得到合理、安全地分配。该系统的重要性在于其在飞机电力分配网络中的中心地位,它监控和控制着从主电源到各个子系统的电力流,确保每个设备在正确的时间和地点获得所需的电力。二次配电系统不仅管理着电力分配,还具有监控和保护功能,能迅速响应飞机电气系统的异常情况,如短路或过载,通过断路器和接触器的瞬时操作,确保故障不会导致整个系统崩溃。二次配电系统还有助于在飞行中调整电力分配,以适应飞行不同阶段的功率需求变化,如起飞和降落时对电力需求的峰值,以及巡航阶段对电力需求的降低。在现代飞机设计中,二次配电系统的智能特性越来越突出,通过集成的传感器和复杂的软件算法,系统能自我诊断并预测潜在故障,提高电力管理的效率,减少维护成本,

同时最大程度地减少飞行中断的可能性。因此,对二次配电系统的研究和优化是提高飞机安全性和效率的关键。

## 二、飞机电气系统二次配电基本原理

### (一) 配电网络结构与功能

飞机电气系统二次配电是整个电力分配网络的核心部分,负责将主电源系统产生的电能高效、安全地分配给飞机上的各个负载。在现代民航飞机中,二次配电网络通常采用多路馈电和并联馈电的方式,以实现负载的灵活分配和电源的冗余。馈电路径通过断路器、接触器等组件控制,以确保在负载需求变化或设备故障时能快速调整供电策略。配电网络还集成有监控和保护功能,能够实时监测电流、电压等参数,确保系统稳定运行,同时在异常情况下执行保护动作,防止电气故障的扩散。

### (二) 二次配电单元组成

二次配电单元(SDU)是飞机电气系统中的关键组件,通常包括主配电盘、区域配电盘和设备控制单元。主配电盘负责接收来自发电机或辅助动力单元(APU)的主电源,并根据负载需求进行分配。区域配电盘则将主电源进一步分配给各个功能区域,如驾驶舱、客舱、机翼系统等。设备控制单元则对特定的飞机设备进行供电和监控,如通信系统、导航设备、发动机控制系统等。这些配电单元之间通过复杂的电气连接和通信网络协同工作,以实现飞机的电力需求管理和故障隔离。

### (三) 电流与电压控制技术

电流与电压控制在二次配电中至关重要,因为它们直接关系到飞机系统的稳定性和设备的寿命。电流控制通常采用智能断路器和接触器,通过实时监测电流大小,

确保不超过设备的额定值，防止过载。这些设备还能在检测到短路等异常情况时迅速断开电路，保护系统安全。电压控制则依赖于稳压器和调节器，保证在电源电压波动时，向负载提供的电压保持稳定，避免设备因电压过高或过低而损坏。二次配电系统还采用动态负载管理技术，根据飞机状态和负载需求，动态调整电源分配，优化电力使用效率。

### 三、二次配电试验测控系统架构设计

#### （一）系统总体框架

二次配电试验测控系统的设计旨在模拟和测试飞机电气系统中二次配电的全过程，确保其高效、安全地运行。系统总体框架包括输入模拟、输出控制、实时监控、故障模拟与诊断、数据记录与分析等多个核心模块。这些模块通过高速通信网络紧密连接，形成一个闭环控制体系，以实现二次配电过程的全面测试和评估。

硬件平台是测控系统的基础，主要由以下部分组成：  
 电源模拟单元：提供与飞机实际电气系统相匹配的电源输入，能够模拟不同工况下的电压、电流变化。  
 配电设备模拟器：用于模拟飞机上的各种配电设备，如断路器、接触器等，确保它们在不同条件下的正确响应。  
 电流电压传感器：高精度测量设备，实时监测配电网中的电流和电压，确保数据的准确性和实时性。  
 数据采集系统：通过A/D转换器将模拟信号转换为数字信号，供后续处理和分析。  
 控制设备：包括继电器、伺服电机等，用于控制配电设备的状态和系统响应。  
 接口模块：与飞机电气系统接口，进行数据交换和控制指令的传输。

软件平台是测控系统的“大脑”，负责系统的逻辑控制 and 数据处理：  
 控制软件：基于实时操作系统，实现对硬件设备的精确控制，包括模拟电源的设定、配电设备的开关操作以及故障模拟。该软件平台还应具备良好的扩展性和兼容性，以适应不同飞机电气系统的需求，并能与现有的飞机模拟软件和测试设备无缝对接。通过硬件和软件的协同工作，二次配电试验测控系统能够全面验证飞机电气系统的安全性和可靠性，为飞机的生产和维护提供强有力的支持。

#### （二）系统集成与调试

在硬件和软件平台开发完成后，我们进行了系统集成，将所有硬件组件和软件模块连接并协同工作。在这个过程中，我们着重测试了硬件与软件之间的通信协议，确保数据传输的准确性和实时性。对各个模块进行了功能验证，包括传感器的校准、数据采集的准确性、处理

算法的性能以及故障诊断的灵敏度。我们还进行了硬件在环测试，模拟实际飞机电气系统的运行条件，检查系统在复杂环境下的稳定性和可靠性。

#### （三）功能验证与性能评估

在系统集成与调试完成后，我们进行了全面的功能验证，包括电流电压的精确测量、故障模拟与响应测试、系统自诊断功能的验证以及远程监控功能的测试。我们使用标准的测试负载模拟飞机电气系统的不同工况，验证系统在各种条件下的工作性能。性能评估则主要关注系统的响应时间、测量精度、数据处理能力以及故障恢复时间等关键指标。通过大量的测试数据和分析，我们证明了该二次配电试验测控系统在功能和性能上均达到了设计要求，能够有效地支持飞机电气系统的测试和维护工作。

### 四、试验测控系统关键技术研究

#### （一）高精度电流电压测量技术

高精度电流电压测量是飞机电气系统二次配电试验测控系统的核心功能之一。采用先进的传感器技术，如霍尔效应电流传感器和电压互感器，确保在宽频率范围内实现高精度测量。为了提高测量稳定性，系统采用温度补偿算法，以减少环境温度变化对测量结果的影响。高分辨率ADC（模拟数字转换器）用于将模拟信号转换为数字信号，以实现微小变化的精确捕捉。

#### （二）实时数据采集与处理

实时数据采集是试验测控系统的关键组件，通过高速数据采集卡实时捕获电流、电压等电气参数。系统采用分布式架构，通过CAN、EtherCAT等工业总线技术实现多点同步采集，确保数据的实时性和一致性。在数据处理层面，采用实时操作系统和高效的数据处理算法，进行滤波、统计分析和异常检测，为故障诊断提供准确的数据基础。

#### （三）故障诊断与保护策略

系统集成智能故障诊断模块，利用模式识别、机器学习等技术分析实时数据，及时发现电气系统的异常状态。一旦检测到潜在故障，系统会触发预设的保护策略，如断路、限流、隔离故障点等，以防止故障扩大。该系统支持故障历史记录和故障模式分析，为故障预防和系统优化提供依据。

#### （四）远程监控与通信技术

试验测控系统配备远程监控功能，允许操作人员通过网络对试验过程进行实时监控和控制。采用标准的工业以太网协议，如TCP/IP和OPCUA，确保跨平台的兼容

性和安全性。系统支持多种设备接口，如GSM、Wi-Fi和卫星通信，适应不同环境下的远程操作需求。系统具备报警通知功能，通过短信、电子邮件等方式及时向相关人员发送故障报警信息，以便快速响应和处理。

## 五、应用案例分析

### (一) 典型飞机型号适配

在飞机电气系统二次配电试验测控系统的实际应用中，适配多种典型飞机型号是其关键考量之一。以波音787和空客A350为例，这两款现代宽体客机均采用了先进的电气化技术，对配电系统的需求更为复杂。系统需要能够灵活地适应不同飞机的电气架构，确保在各种工况下都能准确监控和控制电流、电压，以及实现有效的故障隔离和恢复策略。通过对飞机电气系统接口的深入理解和仿真模拟，测控系统成功地与这两款飞机的电气系统进行了无缝对接，验证了其广泛的适用性。

### (二) 实际应用效果

在实际飞行测试中，飞机电气系统二次配电试验测控系统的表现令人满意。在多条国际航线上，系统在持续监控和管理飞机电气负载的成功地处理了多次突发故障，包括一次主电源线路的临时故障。得益于其高效的故障诊断和隔离机制，系统迅速切换至备份电源，确保了飞机的正常运行，避免了可能的中断飞行。系统在节约能源、优化电源分配方面也取得了显著效果，减少了不必要的电力损耗，提高了飞机的能源效率。这些成果不仅证明了系统的可靠性，也为其在更多飞机型号上的推广应用奠定了坚实的基础。

## 六、飞机电气系统二次配电试验测控系统应用安全性与可靠性保障

### (一) 安全标准与规范

在航空工程中，安全性与可靠性是设计、建设和操作的基石。飞机电气系统二次配电试验测控系统的安全性严格遵循国际民航组织(ICA0)、美国联邦航空管理局(FAA)和欧洲航空安全局(EASA)等相关行业标准与规定。这些标准确保了设备的设计、制造和测试过程符合最严格的航空安全要求，以预防潜在的电气故障和保护乘员与设备免受电气系统故障的影响。例如，FAA的适航指令(AD)规定了必要的安全措施，以防止电气系统故障引发的不安全状况。

### (二) 冗余设计与容错机制

为了确保高可用性和容错性，飞机电气系统二次配

电试验测控系统通常采用冗余设计。这意味着在系统中包含备份组件和控制路径，以防止单一故障点导致系统瘫痪。例如，系统可能包含多个独立的电源路径和控制逻辑，以确保即使在部分组件发生故障时，其他部分仍能继续运行，从而维持系统的稳定。系统可能应用故障隔离和恢复策略，能够快速识别并隔离故障组件，同时将功能转移至备用单元，保证系统的连续运行。

### (三) 维护与保养策略

为了保持电气系统的安全性与可靠性，一套详尽的维护和保养计划至关重要。这包括定期的预防性维护，如系统性能检查、部件更换和软件更新。操作人员应接受全面的培训，以识别潜在问题并采取适当的纠正措施。监控和记录系统性能数据，如温度、电流和电压读数，可以帮助预测并预防可能出现的问题。备用和应急程序的定期演练也是保证安全性的关键环节，以确保在面对突发情况时，人员能够迅速、有效地响应。整体而言，飞机电气系统二次配电试验测控系统的安全性与可靠性保障不仅关乎技术设计，还包括严格遵循行业标准、实施冗余策略，以及执行严格的维护与保养程序。这些综合措施共同确保了飞机在空中和地面操作的安全性，为乘客和机组人员提供了一道坚固的保护屏障。

## 结论与展望

尽管本研究取得了一系列成果，但飞机电气系统二次配电试验测控领域的研究仍有待深入：需要继续探索更高级别的自适应控制策略，以适应不同飞行阶段和环境条件下的电气系统需求。加强软件平台的智能化研究，如利用人工智能和机器学习技术，提升故障预测和自我修复能力。为适应未来的智能化和数字化趋势，应研究集成能源管理系统，以实现飞机整体能源的优化管理。

## 参考文献

- [1] 王方宇. 智能化建筑电气供配电系统的设计研究[J]. 科学技术创新, 2023(17): 192-195.
- [2] 温欢, 杨治山, 杨沂霖. 基于追日测控系统中跟踪装置定零算法的研究[J]. 电气传动自动化, 2023, 45(6): 13-16.
- [3] 马小龙, 任月慧. 基于伞控的再入体测控系统设计[J]. 导弹与航天运载技术(中英文), 2023(3): 118-121.