

# 大飞机电源系统适航性技术研究方向分析

## Analysis on Airworthiness Technology of Large Aircraft Power System

中航工业第一飞机设计研究院 孙健全



孙健全

中航工业一飞院高级工程师,主要从事飞机适航管理与技术工作。

我国已启动大型飞机重大专项,飞机电源系统必须满足 CCAR25 (FAR25) 适航规章要求<sup>[1]</sup>。设计人员在进行电源系统适航性设计与验证时,由于缺少系统性的指导材料,对如何充分表明适航条款的符合性思路和方法不清晰,尤其对一些新的要求如复杂系统设计、电气互联系统(EWIS)设计、安全性评估等在系统设计验证时缺乏经验。本文通过对电源系统相关技术研究和工程应用的技术总结,以及对相关适航条款要

通过对电源系统技术研究和工程应用的技术总结,以及对适航要求的分析研究,提出了大飞机电源系统适航设计与验证技术专题,明确了研究方向。

求的技术分析,提出电源系统适航性设计与验证技术专题研究方向,供相关方面参考。

### 电源系统概述

电源系统的功能是向飞机各用电系统或设备提供满足预定设计要求的电能,包括足够的电容量和可靠的输配电,并保证供电质量符合要求。根据主电源类型的不同,飞机电源系统经过了低压直流、恒速恒频交流、变速恒频交流、高压直流和变频交流的发展历程。目前,国际上先进的主电源构型为变频交流和高压直流,电源系统具有容错供电与负载自动管理能力,采用分布式配电系统,通过应用总线及计算机控制技术,实现飞机电能的就近传输、分配、控制、保护和管理。

飞机多起事故都与电源系统故

障有关。如 2009 年 12 月 21 日,一架 DH8D 型飞机,在空中出现左交流总线、右交流总线、1 号交流发电机、2 号交流发电机等警告灯几乎同时亮,机组采取紧急着陆措施。事故调查表明电线之间出现过电弧,使局部过热,导致故障发生。另一起事故发生在 2008 年 9 月 22 日,一架美国航空公司的波音 757-200 型客机,由于电气问题,仪表着陆系统(ILS)接收机失效迫使机组执行目视着陆,期间左侧主起落架一个轮胎损坏。事故的原因是触点腐蚀引起继电器失效。

电源系统的主要适航条款为 CCAR25 部的 25.1310、25.1351、25.1353、25.1355、25.1357、25.1363、25.1301、25.1309、25.1316、25.1317、25.1431、25.1701 ~ 25.1733 条。

25.1310 条提出了电源容量和分配的要求,电源系统应保证主要系统

的能源载荷要求。

25.1351 条为电源系统的总则,该条款主要对电气系统容量、发电系统、外部电源及无正常电源时的运行提出了要求,在选择发电系统容量、系统数、电源种类时需进行飞机电气负载分析,即根据系统的安全性评估结果配置供电系统,系统和设备应考虑临界的环境条件影响。25.1353 条主要提出了对电气设备和控制装置电磁兼容性影响和蓄电池的设计安装要求,电气设备和控制装置产生的电磁干扰和防干扰能力应符合规定的要求,线束组合及敷设应考虑到当任一个线束故障时,特别是承载大电流的线束故障时,对重要电路和供电的损害应尽可能小。25.1355 条对配电系统提出了要求,配电系统设计中应考虑某些特定设备或系统供电,这些设备或系统往往从飞行安全考虑应由两个独立电源可以向它供电,当一个独立电源失效时,可以自动或手动操纵使另一个独立电源向其供电。25.1357 条对电路保护装置提出了要求。25.1363 条提出了电气系统试验要求,试验应包括试验室试验、机上地面试验和飞行试验等,电气系统试验室试验一般有电源系统性能试验、供电特性试验、电源系统与用电设备配套试验及电气系统故障试验等。

25.1431 条款主要提出了电子设备电磁兼容要求和供电特性要求,25.1316 提出了系统闪电防护要求,25.1317 提出了高能辐射场(HIRF)防护要求。25.1301 条对系统设备功能和安装提出了要求,25.1309 条主要提出了环境试验要求及系统安全性分析要求。25.1701 ~ 25.1733 条是对电气线路互联系统(EWIS)的要求。

大型民机电源系统为复杂系统,基于 25.1309 条适航条款,系统应符合 SAE4754《高度综合或复杂飞机系统的合格审定考虑》和 SAE4761《民用机载系统和设备安全性评估过程指南与方法》的要求,软件应符合

RTCA DO-178B《机载系统和设备合格审定中对软件的考虑》的要求,电子硬件应符合 RTCA DO 254《机载电子硬件设计保证指南》的要求,设计部门对于这些新的设计标准的应用还不够熟练。

提出的电源系统适航设计与验证技术专题研究方向应能表明电源系统主要适航条款的符合性,同时又能覆盖电源系统设计的主要内容和新的设计要求,为大飞机电源系统适航设计与验证提供借鉴。

### 电气负载与电源容量分析 适航性技术研究

电气负载的统计和分析是电气系统设计的首要环节和基础性工作。电气系统从方案设计阶段就必须对飞机的电气负载进行统计与分析。

电源分析的内容是针对各个独立的电源,分析在飞机飞行的各个阶段,各种因素对电源容量的影响,计算出相应的电源实际供电能力。负载分析包括稳态分析和瞬态分析。电源容量分析的目的是根据电气负载分析和电源在各种加载状态下的供电能力,考虑适当的容量裕度和瞬态要求,验证一次电源、二次电源、应急电源、蓄电池和辅助动力装置驱动的电源的容量是否符合设计规范,能否满足机载用电设备的供电要求。

CCAR25 部第 25.1310、25.1351 适航条款给出了电气负载统计和分析的明确要求。虽然在电源系统设计时,一般也进行电气负载统计和分析工作,但系统化的按 25.1310 和 25.1351 条要求,进行电气负载统计和分析工作还缺乏经验,需要重新梳理,提出一套完整的符合适航条款要求的操作性较强的电气负载统计和分析工作指南,应包括分析的内容、分析的程序、分析的方法、分析报告的编写等内容,主要研究项目有:(1) CCAR25 部第 25.1310、25.1351 和其他相关适航条款及验证方法分析研

究;(2) 电气负载统计与负载分析技术;(3) 电源容量分析研究。

### 电源系统配置适航设计与 验证研究

主电源是指由飞机主动力装置直接驱动的发电装置,主电源的直流或交流发电机决定了整个飞机供电系统的特性。主电源确定之后,为了适应用电系统或设备对供电类型的不同要求,还应根据需要设置二次电源。一旦主电源系统发生故障时,必须有应急电源。由辅助动力装置驱动的电源装置,称为辅助电源,主要用于地面维护、发动机起动等。辅助电源也可作为应急电源。

飞机技术的发展带来飞机的用电量的快速增加,要求飞机供电系统的容量也相应增加。飞机供电系统的电压等级从 28V 低压直流向 115V、400Hz 恒频交流、270V 高压直流、115V 变频交流和 230V 变频交流方向发展。多电飞机将是先进飞机发展的方向,其特征是具有大容量的供电系统和广泛采用电力作动技术,飞机质量相对较轻、可靠性高、维护性好、电源系统容错能力要强,电源系统应能具有计算机检测、监控、管理和保护系统,并接受飞机自动管理中心的管理,系统要有多余度不中断供电并提供多种形式的电能。

CCAR25 部第 25.1301、25.1309、25.1351 和 25.1353 条款对电源系统的配置提出了明确要求,需要通过对标准、规范及技术手册等的研究,结合多电飞机电源系统的发展方向,提出供电系统配置的适航设计与验证指南,应包括:(1) CCAR25 部第 25.1301、25.1309、25.1351、25.1353 和其他相关适航条款及验证方法分析研究;(2) 主电源、二次电源、辅助电源和应急电源等的配置技术;(3) 电源系统容错供电与系统重构技术研究;(4) 电源系统综合控制与管理技术研究。

## 配电系统适航设计与验证研究

配电系统将电能可靠而有效地输送到各用电系统和设备的输入端。配电系统由传输电线和控制与保护装置组成。配电系统设计中, 首先应确定配电形式, 设置配电点, 进行电线的选择, 并配以适当的保护装置。通过电网计算, 确定各配电点的电压变化范围, 以满足用电系统或设备的要求。

飞机配电系统采用分布式配电系统, 通过应用多路总线及计算机控制技术, 实现飞机电能的就近传输、分配、控制、保护和管理, 具有容错供电和负载自动管理能力<sup>[2]</sup>。分布式配电采用分布式汇流条配电, 有两种控制方式, 一种是遥控配电, 要求控制线进座舱, 负载人工控制, 体积质量较大, 不适合多电飞机; 另一种是自动配电, 多电飞机波音 787 采用分布式自动配电。自动配电系统是一种按关键飞行负载、关键任务负载、非关键负载分类的容错配电系统。

CAR25 部第 25.1301、25.1309、25.1355、25.1357 条适航条款对配电系统有明确要求, 通过对标准、规范及技术手册等的研究, 提出配电系统适航设计与验证指南, 应包括一般配电系统设计方法、电网计算等内容, 主要研究项目有: (1) CCAR25 部第 25.1301、25.1309、25.1355、25.1357 和其他相关适航条款及验证方法分析研究; (2) 分布式配电系统技术研究; (3) 电气负载自动管理技术研究; (4) 电网计算方法分析研究。

### 电气互联系统(EWIS)适航设计与验证研究

1996 年一架波音 747 飞机在纽约上空起火爆炸。事后调查发现燃油箱中可燃蒸汽的点火是导致这起造成 230 人死亡的灾难性事故的原因, 而点火源极可能是因电缆失效产生了进入燃油箱的火花。两年后, 一

架 MD-11 坠入大西洋, 机上 229 人无一生还。尽管确切的原因尚不能肯定, 但空中娱乐系统电缆一段导线上熔凝铜的存在表明发生过电弧, 而此处正是火灾发生的地方。

2007 年 12 月 10 日起, FAA 通过 25-123 号修正案给 25 部增加了一个由 17 条规定组成的 H 分部, 而且还特别另外新增了 FAR-26 部来处理 H 分部涉及的电气线路互联系统 EWIS 有关持续适航的问题。在电气系统相关的规范标准中, 对飞机布线等有相应的规定要求, 但缺少系统化的从安全影响角度对电气线路互联系统的完整性要求。CAR25 部中 H 分部(EWIS)<sup>[3]</sup>第 1701 ~ 1733 适航条款对电气线路互联系统有明确要求, 通过对标准、规范及技术手册等的研究, 提出电气线路互联系统系统适航设计与验证指南, 应包括具体条款分析, 一般设计要求、验证要求等内容。主要研究项目有: (1) CCAR25 部 H 分部(EWIS)第 1701 ~ 1733 适航条款及验证方法分析研究; (2) 电气线路互联系统(EWIS)适航设计与验证分析研究。

### 电气系统试验适航验证技术研究

电气系统的设计必须经过试验验证, 一般主要包括电源系统机载设备鉴定试验、电气系统地面模型试验、机上地面试验、飞行试验等。机载设备鉴定试验主要包括功能性能试验、自然环境试验、机械环境试验和电磁环境试验等。

电气系统地面模型试验通过试验模型模拟被试供电系统各种正常、非正常、转换工作状态, 以及人为设置可能发生的各种典型故障, 对被试供电系统的工作原理、操作与转换功能、主要机载设备性能等进行验证和考核。

电气系统功能试验主要包括地面服务和维修试验、发动机起动试

验、飞行准备试验、外部电源试验、系统与外部电源的相容性、正常工作方式地面功能试验、非正常工作方式的地面功能试验、应急方式地面功能试验。

飞行试验包括正常工作状态飞行试验、非正常工作状态飞行试验、应急工作状态飞行试验等。

CAR25 部第 25.1301、25.1309、25.1316、25.1317、25.1353、25.1431、25.1363 等适航条款对电源系统试验提出了明确要求, 通过对标准、规范及技术手册等的研究, 提出电气系统试验适航验证指南, 应包括机载设备鉴定试验、电气系统地面模拟试验、机上地面试验、飞行试验等内容。主要研究项目有: (1) CCAR25 部第 25.1301、25.1309、25.1316、25.1317、25.1431、25.1363 和其他相关适航条款及验证方法分析研究; (2) 电气系统地面模拟试验技术研究; (3) 电气系统的机上地面试验技术研究; (4) 电气系统飞行试验技术研究; (5) 机载设备鉴定试验技术研究。

### 结束语

通过对电源系统技术研究和工程应用的技术总结, 以及对适航要求的分析研究, 提出了大飞机电源系统适航设计与验证技术专题, 明确了研究方向。这些专题覆盖了电源系统主要适航条款要求, 后续有关部门可进行有针对性的分析研究, 给出具体设计与验证指南, 为电源系统适航工作提供参考和借鉴。

### 参考文献

- [1] 中国民用航空局 CCAR-25-R4 运输类飞机适航标准. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [2] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册-16. 北京: 航空工业出版社, 1999.
- [3] AC 25.1701-1, Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes, 2007.

(责编 良辰)