

基于多电飞机概念下的飞机电气发展方向

中航工业洪都 吴秀杰 江 鹏 杨彬彬 郭 鹏 张睿纯

【摘要】本文主要剖析了进入21世纪以来诞生的三种多电飞机，即A380、B787和F-35的电气系统新技术，指出电气科技的发展是实现多电飞机的关键，多电飞机技术的应用推进了航空科技的发展。

【关键词】多电飞机；起动/发电机；固态功率控制器；电液作动机构；机电作动机构

1. 引言

随着F-35、A380和B787飞机的先后诞生，多电飞机已经从概念逐步变成了现实，多电飞机是下一代先进战斗机的一个重要特征。一方面，由于对战斗机性能要求的提高而使电子设备的用电量猛增。另一方面，缩小或取消集中式的液压系统，广泛采用电力作动器和功率电传技术作为飞机操纵、环控、液压、机轮刹车的动力源，使飞机可靠性、维修性、灵活性大为改善，重量大幅度降低。多电飞机的实质是用电力系统部分取代次级功率系统，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。

2. 概述

本文通过对目前国外先进飞机电气系统的阐述，提出了今后飞机电气系统发展方向，并揭示了多电飞机的特征，对多电飞机供电系统的电气关键技术进行了简单阐述，探讨了多电飞机的电气系统关键技术的研究现状和发展趋势，阐述了PSP和ELMC的功能，发展多电飞机电源系统关键技术的设计方案。

3. 国内外研究状况

在激烈竞争的航空领域，降低飞机的使用维护费用是减少飞机全寿命周期费用的重要措施。现在的飞机制造商更强调采用新技术来降低飞机的飞行费用和维护费用，在多电飞机上尽量采用电力系统代替飞机上的其它二次能源，这样可以大大降低系统重量和成本，提高飞机的维护性和可靠性。

早在20世纪70年代初期，美国空军就在进行用机电作动系统取代液压作动系统的研究，后来随着电传操纵系统的装机使用，人们开始多电飞机电气系统技术的研究。波音公司开展了先进电源系统和控制方案的研究，用通用多功能硬件和计算机技术将电源系统和数字电子信息系统结合在一起。F-22、F-35战斗机和波音787、A380等民航电气系统中采用电气负载自动管理多路传输技术。F-22已经采用了多电飞机技术，用软件控制配电中心保护飞机布线不受故障影响，并为电力管理和余度进行负载转换。F-22还采用了负载自动管理、自检测和故障隔离等新技术。F-16、YAH-64以及海军LAMPS舰载直升机使用了分布式配电及负载自动管理技术。美国的第一代多电飞机C-141“电运输星”和F-18“系统研究机”使用了功率电传作动器技术，大量采用钕钴永磁电动机作为电力作动器。此外美、英、法国早已开始了分布式配电和负载自动管理系统的研制，把电气系统纳入公共设备管理系统。

4. 飞机电气系统发展需求

4.1 电力容量需求

未来飞机机载电源的功率需求有非常大的提高，每个发动机提供的电力将达到500KW。为此美国在研制500KVA起动/发电机，欧洲也在研究300KVA以上发电机，以满足对电力容量的要求。

4.2 供电体制的变化

随着电力系统容量的增加，飞机上直流28V电源的应用范围将进一步缩小。为了减轻输电电线的重量，需要采用更高的电压，如270V直流电。

4.3 不间断供电需求

对于依赖电作动器的飞机来说，要求在整个飞行包线都要保证飞行控制作动器的电力。虽然允许短时间中断，但是飞行控制完全采用电作动的多电飞机，决不允许长时间的电力中断。

4.4 负载自动管理

随着飞机上用负载的增加，只能依靠计算机实现对负载进行自动管理。通过固态功率控制器SSPC和机电功率控制器EMPC实现对负载的控制、状态检测，故障隔离及系统重构是多电飞机电气系统的基本需求。

5. 多电飞机定义

从字面上讲，多电飞机就是大量用电飞机。从其内涵讲，是一种在飞机上尽可能用电力作动方式取代液压、气压和机械作动方式的飞机。从系统综合角度上讲，多电飞机是在功能上实现机载机电系统综合化的一个实例。在多电飞机上减少了次级功率的类型，仅保留供电系统，取消了液压和气压系统，同时采用双重用途的部件（起动/发电机）把发电系统和发动机起动系统综合在一起，从而实现了机载机电系统综合化。

5.1 多电飞机优越性

与传统的战斗机相比，多电飞机具以下优越性：

- (1) 更小的易损性。
- (2) 多电飞机在战斗受损后生存能力强，也更安全。
- (3) 促进了航空科技的迅速发展。
- (4) 具有更好的性能，减小了飞机起飞重量，减轻了飞机冷却负担，飞行控制和刹车等功能得到改善。

5.2 发展多电飞机关键技术问题

基于系统级优化技术的多电飞机，各系统将采用更新的技术来满足飞机整体性能的需求，带来了飞机电气系统革命化的变化，比较突出的关键技术如下：

5.2.1 起动/发电技术

传统的发动机引气方式影响发动机的效率和稳定性。为了优化飞机的性能，把发电系统和发动机系统进行了综合，在多电发动机中，直接把发电机安装在发动机轴上，作为起动/发电机。

内置式发电机要求可靠性高，需要采用开关磁阻式无刷电机。因为该发电机具有极高的可靠性以及高温、高速和大功率密度运行的能力，所以说高可靠性的内置式开关磁阻起动/发电系统是多电飞机首先要解决的问题。

由于内置式开关磁阻起动/发电机安装在发动机油槽内，所以起动/发电机要考虑高温和过速时转子材料的应力和找出控制涡流损耗的最佳方法。

5.2.2 组合动力装置

通过组合动力装置IPU，把主发动机起动系统、应急动力装置和辅助动力装置合并成一个部件，为主发动机起动状态，飞行应急状态以及地面检查等辅助状态提供电力。

5.2.3 电作动技术

机电作动器是未来作动技术发展的目标，但是作为飞机上的关键设备，现在主要还是采用电静液作动器为主。

5.2.4 负载自动管理技术

5.2.4.1 电气负载管理中心（ELMC）

ELMC是具有局部处理能力的智能终端，对其周围负载进行控制和管理。主要功能有：

- (1) 汇流条监测功能；
- (2) 控制SSPC；
- (3) 继电器监控以及二极管监测；
- (4) 通讯功能；

(5) 自检测（BIT）功能。

5.2.4.2 供电系统处理机（PSP）

PSP控制整个电气系统，负责整个电源系统的状态获取，实现电源系统故障判断和供电系统布局处理功能。主要功能有：

- (1) 控制系统的启动和关闭；
- (2) 控制系统电气数据总线；
- (3) 接收和处理系统状态数据，实现负载的管理；
- (4) 连接航空电子系统；
- (5) 进行系统供电系统故障判断和故障诊断。

5.3 先进飞机配电系统的应用意义

分布式配电和数字式负载管理技术已在美国新研制的P-7A反潜机上使用。美国为先进战术战斗机上研制的容错供电子系统样机也采用了上述两种技术。我国的飞机配电系统技术多年来没有得到足够的重视，飞机供电系统多采用传统的集中配电方式。飞机配电系统技术的滞后阻碍着其它机载系统性能的提高，从而也影响飞机的整体性能，因而迫切要求采用新型配电布局方案，更新现有的配电控制和管理系统，以适应新一代先进飞机的性能要求。必须尽快对下列技术的研究：

- (1) 实现负载的自动管理、提高供电系统可靠性和供电品质。
- (2) 提高配电系统的维护性、减轻地勤人员的工作量。
- (3) 提高配电系统的可操作性和可扩展性。
- (4) 节约空间、减轻共电系统重量。

6. 总结

我国的飞机电气技术与国外的差距还比较大，只有通过科技来降低飞机的全寿命周期费用，才能在全球的航空领域生存发展。参考国外的技术发展路线，结合我国的国情，在发展多电飞机技术方面重点分阶段地解决以起动/发电技术、自动配电技术和混合作动技术为主，探索大功率外置式起动/发电技术作为飞机的主电源的相关技术，探索基于总线的自动配电技术，采用固态功率控制器对常规负载的控制，并逐步提高固态配电的功率水平，作动技术可参照A380等飞机的思路，开发锂电池的应用技术，探索飞机电气系统的设计平台技术，逐步采用电气系统仿真技术，在硬件设计前进行验证降低系统设计成本和风险，提高发电功率，扩大用电负载类型，探索电气除冰技术及电气环控技术，加大基础研究力度，在基础元件和材料上能有重大的突破，基本解决多电飞机技术发展的限制因素。

7. 结束语

我国航空工业经过近年的发展，已取得较大的进步，特别是通过各大型号的研制，普遍加强了对预研项目的重视，但整体来说对飞机的应用需求研究缺乏总体宏观考虑，预研项目进展缓慢，对长期预研和基础研究不够重视。需站在国家战略高度发展我国的航空产业，根据国情在广泛吸收跟踪国外技术基础上坚定地走自主研发的道路，开发出具有一定国际竞争力的具有完全自主知识产权的新一代飞机。

参考文献

- [1] 严仰光, 龚春英, 王慧贞, 秦海鸿. 多电飞机和电气科技[M].
- [2] 中国航空工业发展研究中心. 新一代机载设备和武器系统技术跟踪[M].
- [3] 飞机设计手册: 第16分册[M]. 航空工业出版社.