

飞机失速自动改出装置的设计

Design of Stall Auto-protecting Device for Aircraft

曹春泉 余慧玲 / Cao Chunquan Yu Huiling

(中航通飞研究院有限公司, 珠海 519040)

(China Aviation Industry General Aircraft Institute Co., Ltd, Zhuhai 519040, China)

摘要:

采用机械操纵系统的飞机相对电传控制飞机不具备飞行包线保护功能, 驾驶员可能在误操作情况下使飞机进入失速状态, 特别是新机研制试飞和失速飞行试验。失速自动改出装置通过控制反驱作动器带动操纵系统, 抑制驾驶员将飞机操作进入失速, 并在飞机进入失速后帮助驾驶员改出失速。模糊控制理论具备常规控制理论所不具备的很多优势, 可以使控制律更简单、直观和有效, 用于失速改出控制将使系统更加简单易行。

关键词: 失速; 失速保护; 模糊控制; 飞行安全

中图分类号: V241

文献标识码: A

[**Abstract**] Compared with the aircraft which used wire flight control system, the aircraft that had mechanical control system was not provided with the flight envelope protection function, so the pilot may made the aircraft in stall with incorrect operation, especially in the trial test and the stall flight test when designing a new type of aircraft. Stall auto-protecting device can control reverse driving actuator to push the mechanical control system, restrain the pilot from leading the aircraft into stall, and eventually help the pilot to make the aircraft recover from stall. Fuzzy control theory has much more superiority than the conventional control theory, which can simplify the control law in a more efficient and direct way.

[**Key words**] Stall; Stall Protection; Fuzzy Control; Flight Safety

0 引言

飞行试验是用飞行器在飞行环境中, 通过各种飞行探索飞行机理, 研究和掌握飞行规律, 鉴定飞机和机载设备的性能, 不断丰富和发展飞行基础理论和应用技术, 并为航空设备的设计提供技术基础的一门科学。

飞行控制系统的飞行试验是以飞机为控制对象, 对控制系统的功能和技术指标进行验证的飞行试验, 是飞行控制技术研究的重要手段^[1]。按任务和时机的不同以及试验目的的不同, 可以划分为很多种不同的飞行试验任务, 如调整试飞、验证试飞、适航审定试飞、科研性试飞等。

不管是哪种飞行任务, 都带有一定的危险性, 按 GJB626A-2006《军用固定翼飞机和旋翼机科研试飞风险科目》, 新机首飞也是属于 I 或 II 类的风险科目^[2]; 而民机中的失速速度、全发停车等科

目^[3]也都是属于 I、II 类的危险科目。

近年来在试飞过程中由于驾驶员控制失误导致的飞行事故不在少数, 如在印度屡出事故的米格-21。

按 GJB3814-1999《军用飞机失速/过失速/尾旋试飞验证要求》: 对每种型号的失速/尾旋试验机, 均应安装经批准的应急改出系统^[4]。

现代新研飞机, 很多采用电传控制, 电传控制系统本身集成有飞行包线保护功能, 能够有效地避免飞机进入失速状态。但国内外现役及在研的通用类飞机一般还是采用机械操纵系统作为主飞行控制系统, 这类飞机不可避免地会在飞行中由于驾驶员可能的误操作而进行危险的飞行状态。

参考电传控制系统的设计理念及军用飞机应急改出系统的设计思想, 可以在使用机械操纵系统的飞机中安装失速保护系统, 用于对飞机的失速保护。

目前飞机上使用的失速告警方式主要有三种：(1) 飞机的自然特性；(2) 声、光告警；(3) 振杆器（也称抖杆器）。

实际上，即使采用上述三种失速告警方式，也不能避免飞机进入失速并且及时改出，特别是因驾驶员误操作，且在其心理素质不佳的状态下。如果随机飞行时有一位经验丰富的副驾驶，那么就能及时纠正驾驶员的错误，避免发生很不幸的事故。失速保护装置的目的就是辅助驾驶员操作，在应急状态下抑制驾驶员的操作和帮助驾驶员改出失速。

1 失速自动改出装置

对于专家系统或者说智能控制系统在飞机故障判断上的使用国内外都有很多的探讨。以智能控制为代表的新一代控制理论（如模糊控制、神经网络控制等）在飞控系统中的应用研究正呈现出方兴未艾的局面^[5]。

1999年 NASA -Langley 的 F-15 主动控制研究

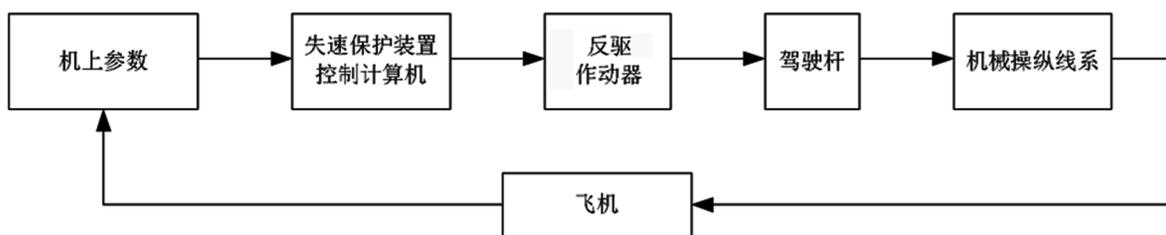


图1 失速保护装置与机上系统接口

1.1 控制计算机

控制计算机的目的是采集机上参数，结合控制律确定飞机在目前状态下是否会进入失速以及应当采取的措施。控制计算机以模糊控制律为核心。模糊控制是通过模拟人的经验行为对模型进行控制的一种数字控制模式。

模糊控制设计的一般过程如下：首先设计模糊控制器的结构；然后设计控制规则，根据一些模糊化函数，比如高斯模糊函数将精确量模糊化；最后模糊推理及模糊量非模糊化，选择论域、量化因子、比例因子等。

当模糊系统作为开环控制时，它通常会设置一些控制参数，然后根据这些控制参数来运行，许多应用于电子消费品的模糊系统就属于开环控制器。当模糊系统作为闭环控制时，它会测量过程的输出，并连续地对过程进行控制，应用于工业过程的模糊系统就属于这类控制器^[7]。

计划成功地对智能飞行控制系统进行了飞行试验。这一智能飞行控制系统由华盛顿大学和波音公司联合设计，其中应用神经网络可实时计算飞机的气动导数并提供给闭环控制器^[6]。

基于规则的逻辑控制系统，要求将系统的控制规律描述得很精确，而模糊控制系统却可以避开上述问题。

通过对国内外富有经验的驾驶员在飞机进入失速状态后的改出操作方式进行收集整理，制成模糊控制系统的规则核心。通过机上传感器采集飞机的参数，如攻角、滚转角、过载、高度、速度等，判断飞机是否即将进入失速，并采取操作抑制或辅助驾驶员进行操纵，将飞机改出失速。详细框图如图1所示。

在人工飞行控制状态下，若飞机有进入失速的倾向或进入失速状态，失速自动改出装置将根据飞机的高度、速度、姿态代替飞机驾驶员操纵驾驶杆带动升降舵动作，直至飞机远离失速状态或改出失速。

1.2 反驱作动器

反驱作动器是失速保护装置的执行机构，它与机械操纵系统并联改装，负责将控制计算机发出的控制信号（电信号）转化为机械动作，带动机械操纵系统动作，最终控制舵面偏转。

反驱作动器以现有成熟技术进行研制，类似于飞机上现有的自动驾驶仪舵机；其供电以机上常用的28V DC为主，这样可以方便为现有机型进行改装。参考常规自动驾驶仪舵机的配置，可以由直流无刷电机、减速器、速度反馈机构、位置反馈、电磁离合器等组成。

反驱作动器通常并不接电，只在失速保护控制计算机控制下接入电源。

反驱作动器安装靠近驾驶杆，这样可以更直接抑制驾驶员的操作。

1.3 机上参数

机上参数主要有飞机攻角、空速、俯仰角、襟翼

位置、气压高度、无线电高度、法向过载、俯仰角速率、起落架状态等。这些参数均是飞机上的常规测量参数,可以直接引用,不会为实现该功能增加飞机上测试系统的配置。

2 安全性及经济性

失速保护装置是用于飞行控制系统为机械操纵系统的飞机,防止驾驶员因误操作进入失速,同时帮助驾驶员改出失速。飞机使用机械操纵系统,而不使用电传控制系统的原因,无外乎成本和重量。若失速保护装置的成本和重量过高,将丧失其有效性和广泛的适用性。同时失速保护装置应在飞机批准的适当高度损失之内,具有有效的改出能力。在可能是最不利的飞行状态和操纵位置下,应能够成功地进行工作,并使意外启动的可能性为最小。

为尽可能满足飞机的安全性又不使失速保护装置的成本过高,要达到一个平衡,只能在装置的余度配置上进行考虑。

常规飞机上使用的自动飞行控制系统(又称自动驾驶仪)一般采用的是控制双余度,电机双余度的配置。作为一个应急处置系统,需要关注的不是飞机发生失速时系统不启动工作,而是飞机状态正常的情况下,出现非指令或误指令操作。因此在控制计算机中采用计算-监控两通道及机上自检,防止误操作即可。当计算-监控两通道的指令不一致时,即切断控制计算机的工作,并通过告警系统(现有飞机一般都装有发动机指示与告警系统,EICAS)向驾驶员进行反馈,提请驾驶员直接关断失速保护装置的供电。

机上自检采用上电自检,最大限度地在飞机起飞前发现系统的故障。反驱作动器采用电气单余度即可。从适航考虑,分析飞机和系统的安全性时也不会考虑多重故障同时发生的情况,即不会考虑飞机进入了一个驾驶员无法改出的失速状态,同时失速改出装置还发生了不能工作的故障,且这个故障在飞机起飞时还是未检测出的。

3 前景及展望

失速保护装置目的是用于机械操纵系统飞机,保护飞机免于进入或改出失速状态,其功能在现有部分机型上已由电传飞行控制系统承担。用于机械操纵系统飞机,主要还是科研试飞飞机和中小型

的通用类飞机,既可以保护飞机及驾驶员的安全,也不额外增加飞机太多的成本。

飞机的动态特性与飞行速度、高度有密切的关系。飞机在不同状态的传递函数是不相同的,飞机沿着某一轨迹飞行,可以得出不同时刻的各个状态点上的传递函数,从而形成一组传递函数^[8]。若自动飞行控制系统设计时只选用其中一组固定的参数,那么是很难满足飞机的不同状态的;因此一般都采用增益调度法,但其设计复杂、工作量大。

模糊控制基于隶属度函数和模糊合成法则等思想,巧妙地综合了人们的直觉经验,实现了在经典控制理论和现代控制理论不太奏效场合的自动化控制,由于模糊控制技术具有不依赖被控对象的精确数学模型、设计简单、便于应用、抗干扰能力强,响应速度快、易于控制和掌握、对系统参数的变化有较强的鲁棒性等特点,能适用于飞行包线这样一个复杂的环境。使用模糊控制作为核心,代替常规的PID控制律,主要是基于飞机进入失速及改出失速时飞机的状态太多,常规的控制律难以实现面面俱到的精确控制,不如采用规则控制的简单实用。若模糊控制(规则控制)在失速保护装置中能够得到成功的应用,那么稍加改进就可用于自动飞行控制系统。

参考文献:

- [1]张德发.飞行控制系统的地面与飞行试验[M].北京:国防工业出版社,2003.
- [2]陈启顺.GJB 626A-2006 军用固定翼飞机和旋翼机科研试飞风险科目[S].2006.
- [3]AC25-7A Advisory Circular Flight Test Guide for Certification of Transport Category Airplanes[S].1998.3.31.
- [4]徐鑫福,冯亚昌.飞机飞行操纵系统[M].北京:北京航空航天大学出版社,1988.
- [5]朱家强,郭锁凤,朱纪洪.战斗机非线性飞行控制技术的研究与发展[J].航空学报,2005,26(6):720-725.
- [6]Blanchett T P. PID Gain Scheduling using Fuzzy Logic[J].ISA Transaction,2000,39(3):317-325.
- [7]王立新.模糊系统与模糊控制教程[M].北京:清华大学出版社,2003,6:1-90.
- [8]张明廉.飞行控制系统[M].北京:航空工业出版社,1994:407.