

# 某型飞机纵向静稳定性试飞方法研究

## Research on Flight Test Method of Longitudinal Static Stability for Some Aircraft

王 勇 刘庆灵 / WANG Yong LIU Qingling

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(Flight Test Center of COMAC, Shanghai 200232, China)

### 摘 要:

纵向静稳定性试飞属于飞行试验科目中的经典科目,依据 CCAR25 部要求,传统民用运输机执行此科目时主要考察飞机改变速度所需的杆力方向、杆力-速度平衡曲线以及操纵结束后飞机速度的恢复能力。但对于具有纵向中立静稳定性设计特点的全电传飞机,传统的适航条款和试飞方法都已不再适用。在咨询通告 AC25-7C 和某型飞机专用条件的基础上,给出了使用操纵品质等级评定方法(HQRM)来开展纵向静稳定性试飞的基本方法和判据要求。

**关键词:**纵向中立静稳定性;飞行试验;操纵品质等级评定

**中图分类号:**V217+.3

**文献标识码:**A

[Abstract] Longitudinal static stability flight test is a classical flight test subject. According to CCAR 25, the longitudinal static stability flight test is to verify the control force vector, force versus airspeed curve and airspeed recovery ability after control release for the conventional aircraft while for fly-by-wire aircraft with longitudinal neutral static stability, conventional airworthiness requirements and flight test method are not applicable. Based on AC25-7C and special conditions of certain aircraft, the handling quality rating method (HQRM) is presented to evaluate longitudinal static stability in this paper.

[Keywords] longitudinal neutral static stability; flight test; handling quality rating method

## 0 引言

飞机在平衡飞行状态下纵向受到瞬时干扰后具有恢复到原来平衡状态的趋势称为纵向静稳定性。在 CCAR25 部运输类飞机适航标准中,纵向静稳定性是民用运输类飞机必须要进行试飞验证的科目,主要是考察改变速度所需的杆力方向、杆力-速度平衡曲线以及操纵结束后飞机速度的恢复能力。

### 1 某型飞机纵向中立静稳定性设计特点

对于采用机械连接控制俯仰操纵面的传统飞机,纵向静稳定性表现为拉杆力使飞机从配平速度减速,而推杆力使飞机从配平速度加速。由于以下原因,适航规章 CCAR25 部对纵向静稳定性进行了规定:

1) 通过控制器上的杆力增加或者减小给飞行

员提供速度变化提示。

2) 对飞机的短时无意操纵不会对飞行高度、空速和过载系数带来明显变化。

3) 飞行员可以预期俯仰操纵响应。

4) 达到并维持配平速度和高度时飞行员的注意力(工作负荷)水平是可接受的。

5) 纵向稳定性提供突风稳定性。

对于某型飞机,侧杆的俯仰控制运动通过法向过载系数或“g”指令控制升降舵面的初始运动来获得指令要求的过载,然后通过水平安定面和升降舵的整体运动自动配平飞机,从而实现中立的 1g 松杆稳定性。飞机的飞行航迹由初始侧杆输入指令控制并可以在松杆后维持,直到飞行员给出另外的指令。该控制功能应用于从  $V_{aprot}$  (迎角保护限制启动的速度)到  $V_{MO}/M_{MO}$  速度范围内的正常控制律。一

且超出这个速度范围,控制律将实现传统的纵向静稳定性。由于具有中立静稳定性的特点,该型飞机并不符合 CCAR25 部关于纵向静稳定性的要求。

## 2 某型飞机纵向静稳定性试飞方法确定

某型飞机纵向中立静稳定性的设计特点,使得传统的杆力和控制面偏度之间的对应关系并不适用于其“过载指令式”的飞行控制系统,传统的纵向静稳定性试飞方法也就不再适用。需要通过适合其使用的飞行试验机动作来进行飞机飞行品质的评定从而评估纵向静稳定特性,这可以通过运输类飞机合格审定飞行试验指南 AC25-7C 附录 5 提出的操纵品质等级评定方法(HQRM)来完成。

操纵品质等级评定方法(HQRM)是美国联邦航空局(FAA)针对运输类飞机制定的基于驾驶员对操纵品质进行主观评定的方法,该方法是随着采用电子飞行控制系统(EFCS)技术飞机的研制而发展起来的。依据 AC25-7C,确定 HQRM 适航符合性评定的流程如图 1 所示,主要包含以下四部分关键内容。

- 1) 大气扰动、飞控系统故障和飞行包线的单一概率的确定以及组合概率的计算;
- 2) 飞行任务的选择;
- 3) 操纵品质等级的评定;
- 4) 基于操纵品质评定结果的适航符合性验证。

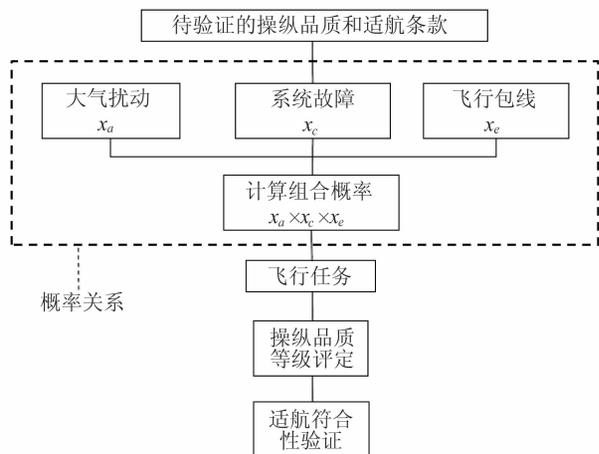


图 1 HQRM 评定流程

## 3 HQRM 评估纵向静稳定性试飞方法分析

### 3.1 计算组合概率

#### 3.1.1 大气扰动概率

依据 AC25-7C,大气扰动按强度大小可分为三个等级,不同的等级对应不同的发生概率,见表 1。

表 1 大气扰动强度等级

等级	定义	发生概率
轻微	大气扰动可引起飞机的姿态和高度发生瞬时的、轻微不稳定的变化。侧风风速小于 10kn。	$10^0$
中等	类似轻微扰动,但更加强烈,可引起飞机的高度和姿态改变,一般表现为飞机指示空速的变化。侧风风速小于 25kn。	$10^{-3}$
严重	其扰动可引起飞机的姿态和高度发生大的、突然的偏离,通常引起较大的指示空速偏离,侧风风速显著地超过可以保证飞机最低起降安全的侧风值。侧风风速大于 25kn。	$10^{-5}$

#### 3.1.2 飞行包线概率

依据 AC25-7C,根据飞机的飞行状态,飞行包线分为正常飞行包线(NFE)、使用飞行包线(OFE)和限制飞行包线(LFE)三种,各飞行包线的概率见表 2。

表 2 飞行包线概率

类型	缩写	状态	发生概率
正常飞行包线	NFE	通常与常规的、实际的操纵和给定构型有关(无论是全发工作还是发动机失效状态下)。	$10^0$
使用飞行包线	OFE	超出了正常飞行包线范围,通常是警告开始发出的状态。	$10^{-3}$
极限飞行包线	LFE	大大超出飞行包线范围,通常与飞机设计极限或 EFCS 保护极限相关。	$10^{-5}$

#### 3.1.3 故障组合概率表

依照某型飞机飞控系统功能危险性评估分析报告,某型飞机的故障组合概率见表 3(不考虑  $\leq 10^{-9}$  的故障)。

表 3 飞控系统故障组合概率表

飞控模式	故障概率 ( $X_c$ )	飞行包线概率 ( $X_e$ )	大气扰动概率 ( $X_a$ )	组合概率 ( $X_c \times X_e \times X_a$ )
正常模式	1	1	1	1
		1	$10^{-3}$	$10^{-3}$
		1	$10^{-5}$	$10^{-5}$
直接模式	$10^{-6}$	1	1	$10^{-6}$

### 3.2 确定 HQRM 评估纵向静稳定性的飞行任务

AC25-7C 将 HQRM 考核飞行任务分为三类,根据纵向静稳定性的科目特性,及其与飞行包线的对应关系,可以选择如下飞行任务对该型飞机的纵向静稳定性进行适航符合性评定,具体见表 4。

表 4 HQRM 评估纵向静稳定性飞行任务

飞控模式	飞行包线	科目	飞行任务
正常模式	正常飞行包线(NFE)	闭环精确轨迹操纵	在不同的大气扰动和初始偏离下的仪表着陆系统精确着陆
			在不同的大气扰动和驾驶舱显示状况下,对下述飞行过程进行速度/高度/航向跟踪:起飞、爬升、巡航、下降、等待、构型/功率改变以及各飞行状态之间的过渡
		俯仰/纵向操纵	收敛转弯或对称拉杆/推杆推/拉杆偏离配平速度
			从俯仰颠簸中改出
		航线操纵	低速下的复飞
			起飞/着陆拉平时速度过低或有侧风
直接模式	正常飞行包线(NFE)	俯仰/纵向操纵	收敛转弯或对称拉杆/推杆推/拉杆偏离配平速度
			从俯仰颠簸中改出
		航线操纵	低速下的复飞
			起飞/着陆拉平时速度过低

### 3.3 确定 HQRM 评估纵向静稳定性的判据

AC25-7C 中给出了操纵品质等级评定准则的建议,某型飞机专用条件中提出了一种对原 HQRM 准则等效的操纵品质等级评定准则,该准则在飞行控制系统安全性分析的基础上,综合考虑飞行包线、大气扰动及飞行控制系统的故障,确定了各种情况下飞机飞行操纵品质的最低要求,见表 5,可以作为使用 HQRM 方法进行纵向静稳定性结果评定的判据。

根据表中要求,某型飞机在正常模式下,各种可能的飞行包线和大气扰动组合状态下至少要求飞行品质是足够的;在直接模式下,各种可能的飞行包线和大气扰动组合状态下至少要求飞行品质是可控的。

## 4 结论

纵向静稳定性试飞是经典的操稳试飞科目,主要考察飞机是否具有合适的静稳定性。在 CCAR25 部运输类飞机适航标准中,对纵向静稳定性主要是考察改变速度所需的杆力方向、杆力-速度平衡曲线以及操纵结束后飞机速度的恢复能力。但某型飞机纵向中立静稳定性的设计特点,使得传统的杆力和控制面偏度之间的对应关系并不适用于其“过载指令式”的飞行控制系统,传统的纵向静稳定性试飞方法也就不再适用。本文在咨询通告 AC 25-7C 和某型飞机专用条件的基础上,给出了使用操纵品质等级评定方法(HQRM)来开展纵向静稳定性试飞的基本方法和判据要求。鉴于目前国内有关具有中立静稳定性设计特点的全电传飞机的稳定性试飞方法还在探索 and 实践中,希望本文提出的建议方法能为以后国内民机的纵向静稳定性试飞工作提供参考和借鉴。

表 5 操纵品质等级评定要求

失效概率	轻微紊流( $10^0$ )			中度紊流( $10^{-3}$ )			重度紊流( $10^{-5}$ )		
	NFE	OFE	LFE	NFE	OFE	LFE	NFE	OFE	LFE
	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	1	$10^{-3}$	$10^{-5}$
$1 \sim 10^{-1}$	S	S	A	S	A	C	A	C	
$10^{-5} \sim 10^{-6}$	A	C		C					

注:S为满意的,A为足够的,C为可控的,阴影面积部分代表出现概率 $\leq 10^{-9}$ 。

#### 参考文献:

[1] 中国民用飞机航空局. CCAR 25-R4 中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2011.

[2] 25-7C Flight Test Guide For Certification Of Transport Category Airplanes[S]. US:Ali Bahrami,X/X/2012.

[3] National test pilot school. Longitudinal Static Stability[S]. US:NTPS, 2011.