

# 民机纵向静稳定性试飞方法研究

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

殷湘涛 王 勇 赖培军 朱海云 孙明明 裘志杰 /

Yin Xiangtao Wang Yong Lai Peijun Zhu Haiyun Sun Mingming Qiu Zhijie

(中国商飞民用飞机试飞中心,上海 200232)

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

### 摘 要:

目前国内民用运输机执行纵向静稳定性试飞时主要采用稳态法,而此方法存在试验时因飞行高度变化过大过快而难以采集足够试飞数据的缺点。针对 FAA 咨询通告 AC25-7C 中提出的两种关于纵向静稳定性的试飞方法进行对比分析,从而考察平飞加减速法的可执行性,分析传统的稳态法和新的平飞加减速法的优缺点和实际飞行试验时的可行性,得出初步结论为平飞加减速法有其独特的优点,主要适用于能平飞配平的试验点,而对于飞机发动机设置于最大推力和慢车推力试验点的适用性,还需通过试验进一步考察确定。

**关键词:** 飞行试验;纵向静稳定性;平飞加减速法

**中图分类号:** V217+.33

**文献标识码:** A

[Abstract] The conventional way to perform the longitudinal static stability flight test for civil transport aircraft is stabilized method. While the main disadvantage of the stabilized method is insufficiency of flight test data due to the fast and large altitude changing. This article focuses on the advantage and disadvantage about the applicability of the longitudinal flight test methods proposed by AC25-7C, which are stabilized method and acceleration-deceleration method. The initial conclusion is that the acceleration-deceleration method can apply to the level flight trim test points, and the method is still to be confirmed by simulator test and flight test during the applicability of the maximum thrust and idle thrust test points.

[Key words] flight test; longitudinal static stability; acceleration-deceleration method

## 0 引言

在某型号飞机纵向静稳定性试飞过程中,采用了 AC25-7A 推荐的“stabilized method”,即稳态法,该方法在实际试飞中发现存在高度变化过大过快,难以满足 AC 要求的高度容差的问题。AC25-7C 发布后,提出了一种在平飞状态中执行纵向静稳定性试飞的方法,理论上新方法不存在旧方法的缺点。本文主要分析传统试飞方法和新提出的试飞方法的优缺点,以期能在实际试飞中择优选择合适的试飞方法,提高试飞效率,加快试飞进度。

## 1 传统纵向静稳定性试飞方法介绍

传统试飞方法在 AC25-7C 中被称为“stabilized

method”,即稳态法。具体方法为:飞机在预定的试验构型、速度和高度配平,然后缓慢施加拉杆力,使飞机缓慢减速。根据所试验的速度范围,以可接受的速度增量继续这一过程,直到达到稳定、不失速飞行的最小速度,或者对此形态所要求的最小速度。对于每一组试验点,要求从配平速度开始进行连续的拉杆力试验,以消除迟滞影响。在速度恢复过程中,应逐渐松杆以便让飞机缓慢向配平速度和零杆力恢复。由于操纵系统存在一定的摩擦力,飞机稳定的最终速度通常小于初始配平速度(自由恢复速度)。再从配平速度开始进行试验,用上述同样的方法逐渐施加推杆力加速,然后逐渐松杆,让飞机缓慢向配平速度和零杆力恢复。同样,此时飞机稳定的最终速度通常大于初始配平速度(自由恢

复速度)。

将通过上述方法获得的纵向操纵力试验点相对应的空速绘成曲线,以表明纵向稳定性的正的稳定梯度以及在整个试验空速范围内杆力与空速关系曲线没有局部反向。在图上还应注明初始配平点和两个自由恢复速度点,以便评定飞机的自由恢复速度范围是否符合条款要求,如图1所示。

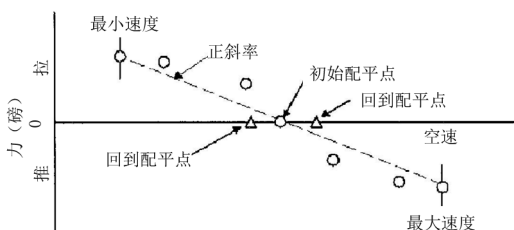


图1 纵向静稳定性曲线

## 2 传统纵向静稳定性试飞方法缺点分析

### 2.1 传统方法的缺点

传统试飞方法存在以下两方面的缺点和规避措施:

(1)通过推拉杆改变空速的后果之一是引起飞机高度变化,从而相应地改变 $M$ 数和输出功率或推力。因此,对于整个机动过程,应采用一个限制为 $\pm 3\ 000\text{ft}$ 的合理小的高度容差。如果超出这个高度容差,可通过改变功率以及襟翼和起落架位置但不改变配平位置的方法使飞机回到初始配平高度。然后以原来的飞机形态继续进行未完成的推杆或拉杆机动。

(2)在每个试验点保持力为常数的同时,空速和瞬时垂直速度会以周期性形式变化。这是由于长周期(沉浮)振荡的缘故。由于长周期(沉浮)振荡可能会给数据点带来偏差,所以,在处理数据点时,应在每一个数据点对这些振荡速度取平均值,以消除这种影响。

### 2.2 某型号飞机试飞经验

通过以上方法可以在一定程度上避免或消除稳态法存在的缺陷,但根据某型号飞机的实际试飞经验,在某些试验点,以上方法也无法很好地规避缺陷。具体分析如下。

纵向静稳定性爬升试验点的目标配平高度为 $3\text{km}$ ,配平速度为最佳爬升率对应空速,襟缝翼0卡位,发动机推力设置在双发最大爬升推力。由于当

时试验实施者认识到难以在目标高度配平并在 $\pm 3\ 000\text{ft}$ 的高度容差内完成试验点,因此选择在目标高度的高度容差下限 $7\ 000\text{ft}$ 配平,并一直爬升到 $12\ 000\text{ft}$ 完成试验点。申请人认为此种方法在一定程度上符合AC中要求的“在目标高度配平,并在目标高度的 $\pm 3\ 000\text{ft}$ 高度容差带内完成试验点”的要求。但是局方并不认可此种方法,局方要求飞机必须在目标高度配平,而不是在目标高度的高度容差极限位置配平,因为在容差下限或上限配平,并在整个容差带内进行试验,则可认为飞机完成试验动作的高度变化为 $\pm 6\ 000\text{ft}$ ,而不是 $\pm 3\ 000\text{ft}$ ,不符合AC的要求。

## 3 AC25-7C 新提出的平飞加减速试飞方法介绍

AC25-7C新提出了一种在平飞状态中执行纵向静稳定性试飞的方法,该方法的核心思想是通过改变推力的方法改变飞机速度,然后在速度恢复的过程中获取飞机杆力和速度的关系曲线。该方法的优点是理论上可以解决使用传统静稳定性试飞方法带来的高度变化过大过快的问题,但由于目前尚未找到此方法在机型试飞中成功应用的先例,具体效果还不明确,是否会带来某些新问题还不确定。

## 4 AC25-7C 新提出的平飞加减速试飞方法操作程序

根据AC25-7C新提出的试飞方法,本文尝试给出以下纵向静稳定性——平飞加减速法试验操作程序。

### 4.1 加速段

(1)在目标高度和速度配平飞机,并记录好发动机推力设置值;

(2)在不改变纵向配平的前提下,平稳增加发动机推力,使飞机加速至试验点要求的最大速度;

(3)同时,在整个加速过程中,通过操纵飞机的升降舵来使飞机保持在同一高度;

(4)在不改变纵向配平的前提下,迅速收发动机推力至初始值;

(5)同时,在整个减速过程中,通过操纵飞机的升降舵来使飞机保持在同一高度,直至飞机缓慢恢复至初始配平速度附近,且杆力为零的状态;

(6)在飞机减速过程中,获取并记录飞机的纵向静稳定性数据。

#### 4.2 减速段

(1)在与加速段相同的目标高度和速度重新配平飞机,并记录好发动机推力设置值;

(2)在不改变纵向配平的前提下,平稳减少发动机推力,使飞机减速至试验点要求的最小速度;

(3)同时,在整个减速过程中,通过操纵飞机的升降舵来使飞机保持在同一高度;

(4)在不改变纵向配平的前提下,迅速增加发动机推力至初始值;

(5)同时,在整个加速过程中,通过操纵飞机的升降舵来使飞机保持在同一高度,直至飞机缓慢恢复至初始配平速度附近,且杆力为零的状态;

(6)在飞机加速过程中,获取并记录飞机的纵向静稳定性数据。

根据 AC 建议,整个加减速试验过程的高度公差为 $\pm 2\ 000\text{ft}$ 。

### 5 平飞加减速试飞方法优缺点分析

#### 5.1 平飞加减速法的优点

相对传统纵向静稳定性试飞方法,平飞加减速试飞方法的优点主要表现在以下几个方面。

(1)高度变化小。平飞加减速试飞方法完成整个试飞动作过程中高度改变要比传统方法小很多,减小了高度变化对马赫数和发动机推力的影响,从而提高了试验点成功率,缩短了单个试验点所需的试飞时间,提高了试飞效率。

(2)无长周期(沉浮)振荡的影响。由于平飞加减速试飞方法飞行员操作驾驶杆是一个连续的过程,因此从本质上消除了长周期(沉浮)振荡对数据的影响,提高了数据质量。

(3)可直接获得自由回复速度。由于平飞加减速法是在整个加减速过程中获取并记录数据,因此可以直接获得自由回复速度,缩短了试飞时间,提高了试飞效率。

#### 5.2 平飞加减速法的缺点

同时,平飞加减速试飞方法也存在一些缺点,主要表现在以下几个方面。

更适用于平飞试验点。对于爬升和着陆(发动

机慢车)试验点,在试验点目标状态下,飞机无法维持稳定平飞状态,因此无法保持飞机在近似水平飞行,同时也无法通过改变发动机推力来改变空速。经初步分析,平飞加减速试飞方法主要适用于大速度下( $V_i > 250\text{KTAS}$ )的巡航试验点。

推力恢复过程中引起的俯仰力矩变化对试验结果的影响程度未知。由于发动机一般存在一定的安装角,发动机推力的改变会产生一定的俯仰力矩,从而会对纵向静稳定性数据产生一定影响。在飞机速度回复阶段,当发动机推力设置至初始位置时,需要分析发动机推力改变所需时间及其对俯仰力矩的影响。

### 6 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。AC25-7C提出了两种建议的纵向静稳定性试飞方法:稳态法和平飞加减速法。其中,稳态法是目前应用最为广泛的试飞方法,在某型号飞机纵向静稳定性试飞过程中采用的也是该方法,但该方法存在高度变化过大过快的固有缺陷;平飞加减速法是一种在平飞状态中执行纵向静稳定性试飞的方法,该方法理论上可以解决使用传统静稳定性试飞方法带来的高度变化过大过快的问题,但通过本文分析研究,此方法主要适用于平飞配平的试验点,对于飞机发动机最大推力和慢车推力的试验点并不完全适用。由于目前尚未找到平飞加减速法在机型试飞中成功应用的先例,具体效果还不明确,是否会带来某些新问题还不确定。因此本方法值得进一步研究,并通过飞行模拟器和真机进行进一步试验验证。

#### 参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR25-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,2012.
- [3] National test pilot school. Longitudinal Static Stability[S]. US:NTPS, 2011.