

民用飞机最小离地速度试飞 实施方法研究

Research on Minimum Unstick Speed Flight Test Implementation Method for Civil Aircraft

陈明太 刘立苏 / Chen Mingtai Liu Lisu
(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)
(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

对民用飞机最小离地速度(V_{MU})试飞实施方法进行了研究,主要包含了条款的理解、试验准备、试验分工、模拟器工作准备、试飞技术和数据处理等内容,为民用飞机最小离地速度试飞提供指导。同时作为国内新兴的职业——试飞工程师(FTE),也对其在试飞过程中的分工和职责进行了阐述。

关键词:民用飞机;最小离地速度;试验分工;试飞技术

[Abstract] This paper researched minimum unstick speed (V_{MU}) flight test implementation method for civil aircraft including regulation comprehension, test preparation, task sharing, simulator test preparation, test technique and data analysis and guidance for minimum unstick speed flight test of civil aircraft. The paper also described the task sharing and responsibilities for flight test engineers during the test.

[Key words] Civil Aircraft; Minimum Unstick Speed; Task Sharing; Test Technique

0 引言

进行最小离地速度(V_{MU})试飞的主要目的是为了确定最小抬前轮速度(V_{Rmin})。目前,在民用飞机的最小离地速度试飞过程中存在一些问题:国内引入了试飞工程师这一职业,但对其在最小离地速度试飞过程中应承担的任务和角色比较模糊;充分的模拟器试验和明确的机组责任分工,对最小离地速度(V_{MU})试飞的完成有积极的促进作用。

对整个最小离地速度试飞实施过程中需准备和注意的事项进行了梳理。针对上面的问题都进行了详细地阐述,也提出了自己的解决方法,旨在为后续民用飞机在最小离地速度试飞准备和实施阶段提供参考。

1 条款理解

美国联邦适航条例(FAR)中有关最小离地速度(V_{MU})的条款,为 FAR25.21 和 25.107(d)(f)。

最小离地速度(V_{MU})为校正空速,在等于和高

于该速度时,飞机可以安全离地并继续起飞至脱离地面效应。最小离地速度(V_{MU})试飞必须覆盖所有起飞构型以及可用的单发(OEI)和全发(AEO)推重比(T/W)范围。

在最小抬前轮速度(V_{Rmin})下,如果以最大可用速率抬前轮,离地速度(V_{LOF})必须大于或等于 $110\% V_{MU}$ (AEO)和 $105\% V_{MU}$ (OEI)。对于“几何结构受限”的飞机来说, 110% 和 105% 分别减少到 108% 和 104% 。需要注意的是 FAR 25 部中允许全发(AEO)条件下减少到 108% ,但不允许单发(OEI)条件下减少到 104% 。

为了定义给定的襟/缝翼构型的“几何结构受限”,必须按下列的准则演示:

(1)在 $0.96V_{LOF}$ 和 V_{LOF} 速度之间,飞机的俯仰姿态必须在擦地角的 5% 范围内。

(2)在 $0.96V_{LOF}$ 和 V_{LOF} 速度之间,飞机尾部下表面有 50% 时间必须和地面接触。

(3)如果缓冲器对俯仰姿态的影响很小,那么在飞机尾部下表面加装特殊的缓冲器(如:尾撬)是

可接受的。

(4)从离地点到离地 35 ft 高度范围内,飞机的俯仰姿态角不能小于离地点时的姿态角,或速度增量不超过 10%。

(5)在演示过程中,到 35 ft 高度的距离不能大于相同试验条件(重量、温度、高度)下正常起飞距离(未修正)的 105%。

2 理论

最小离地速度(V_{MU})是飞机的一种气动特性,是飞机几何结构、襟/缝翼构型、重心位置(水平安定面设定)、地面效应和发动机推力设置的函数。飞机飞行手册数据扩展时,一般使用 $V_{MU}/V_{S1g} = f(\text{襟/缝翼构型}, T/W)$ 形式进行表示。图 1 中随推重比(T/W)变化的直线斜率表示推力垂直分量的影响(如:在大推重比(T/W)条件下增加推力垂直分量可使飞机在更小的空速升空)。

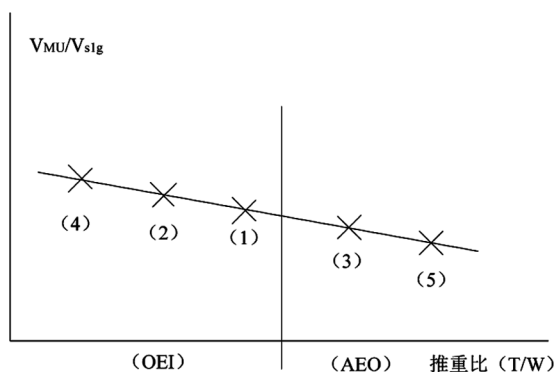


图 1 V_{MU}/V_{S1g} 与 T/W 关系图

规章要求最小离地速度(V_{MU})试飞应在最前重心条件下进行。最前重心是最不利条件,是由于此时水平安定面需要提供最大的抬头配平量。如果最小离地速度(V_{MU})试飞不能在最前重心条件下试验,那么试验得到的最小离地速度(V_{MU})必须使用和失速速度相同的修正公式换算到最前重心上。

3 试验准备

试验飞机必须安装专门的尾撬,而且应装有易磨损的滑撬,并能够对最大磨损量进行标记,同时能实时测量尾撬距离地面的高度(可采用类似无线电高度表工作方式)。在最小离地速度(V_{MU})试飞开始之前,确保有足够的滑撬备件是很重要的。

必须确定安装尾撬后在地面上可达到的最大俯仰姿态(通过几何计算)。如果最大俯仰姿态受

主起落架车架倾斜影响变化很大,那么必须确定在地面和飞行中车架的位置数值。

基于前期的飞行试验或风洞数据(升力曲线、 V_{S1g} 、地面效应等),设计人员必须提供每个试验点条件下的下列数据:

- (1)飞机总重和推力(确定推重比(T/W));
- (2)理论的 V_{MU} 值和离地距离;
- (3) V_{MU} 速度下带起落架放下的爬升梯度;
- (4)到 35 ft 高度上的计算距离

(5)如果重量存在偏差,为了保持目标推重比(T/W), N_1 (或 EPR) 允许的调整量。同时为了保证覆盖可用的推重比(T/W)范围,每个襟/缝翼构型条件下 3~5 个试验点是足够的。由于在不同重量下进行最小离地速度(V_{MU})试飞不好实施,因此推重比(T/W)范围的覆盖可以通过只调整推力获得。

所有最小离地速度(V_{MU})试飞都在双发工作条件下进行。因此单发(OEI)推重比(T/W)范围的试验点(图 1 的试验点(1)、(2)和(4))也是在对称推力下进行。

4 试验分工

试验时最好安排 3 名飞行员在驾驶舱中,一至两名试飞工程师(FTE)在客舱中。飞行员 1 负责控制俯仰姿态,飞行员 2 为另一名飞行员,假设飞行员 1 为左座。需要注意的是如果有异常情况发生,飞行员 2 负责接管操纵飞机,这与传统的驾驶舱分工不同(通常左座飞行员负责飞行安全)。

驾驶舱的分工如图 2 所示。

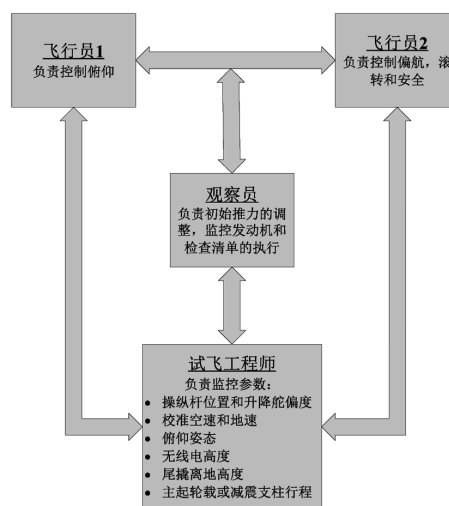


图 2 机组人员工作分工

(下转第 40 页)

载荷情况建立铺层顺序与稳定性之间的关系。

参考文献:

[1] 中国航空研究院编. 复合材料结构稳定性分析指南

[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.

[2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 10 册: 结构设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000: 748-793.

(上接第 13 页)

5 模拟器工作准备

所有参与最小离地速度(V_{MU})试飞的机组人员必须在模拟器上进行飞行技术演练。

模拟器试验必须考虑由于加速度和抬头姿态引起的油箱里燃油运动, 这种运动可以导致重心向后移动 2% ~ 4%。因此必须在模拟器模型里对该运动进行修正, 从而在重心的选择和飞行员训练方面能有更好的结果。模拟器试验内容如表 1 所示。

表 1 模拟器试验内容

阶段	试验内容
第一阶段	重心和水平安定面配平量的选择
第二阶段	建立合适的飞机抬头技巧以保证平滑的尾部触地, 感受以正确的俯仰姿态升空直到脱离地面效应所需要的杆位移。
第三阶段	训练异常情况(如: 发动机失效)的处置。

6 试飞技术

飞行员 2 负责对准跑道, 如果跑道中心线上没有指引灯, 那么可以对准跑道中心线, 否则对准沿偏离跑道中心线大约 5m 的地方。在试验过程中尽量避免尾撬接触到跑道中心线上的指引灯。如果有小的侧风, 飞机应偏向上风侧的跑道对准。

观察员缓慢地设定到所需推力, 同时飞行员 2 负责保持飞机沿跑道轴线。观察员喊“推力设定”, 飞行员 2 左手靠近油门杆, 准备接管操纵。

飞机速度在大约 80 节时, 飞行员 1 拉杆到底, 开始抬前轮动作。当前轮开始离地, 在目标离地速度到达之前(提前 5 节 ~ 10 节)松点杆以调整抬头速率, 从而使尾部平滑触地。初始的抬头速率必须对应相应的加速度: 对于小推重比(T/W), 抬前轮动作可以缓慢和靠后一点开始。对于大推重比(T/W), 抬前轮动作应尽早进行, 因为飞机在很短时间内加速到离地速度。

试飞工程师(FTE)向驾驶舱通报“主起落架离地”信息。离地后, 飞行员 1 将俯仰角保持在比离地时的俯仰角稍微大一点的值上(通常大 0.5°)。同时他还需小心地避免俯仰角过大, 因为在地面效应中可能存在非线性的气动特性, 会产生突然的抬头。

飞行员 2 可以修正航向或滚转姿态(扰流板不打开), 以保持飞机沿跑道轴线飞行且倾斜角接近于 0° 。

当飞机脱离地面效应后, 最小离地速度试飞结束, 典型地在 1 倍翼展无线电高度以上。同时飞行员 2 可以缓慢地增加推力, 并接管操纵, 然后可以收起起落架正常爬升。

7 数据处理方法

最小离地速度(V_{MU})试飞数据处理包括四个步骤: 首先, 根据地速, 风速/风向和场温/场压得到当量空速时间历程曲线; 其次, 根据尾撬离地高度, 俯仰姿态, 主起轮载或起落架减震支柱行程和当量空速时间历程曲线, 按照第 1 节中(1)、(2)、(4)、(5)条准则判断试验点是否合格, 如果合格, 可以判断得到离地点的当量空速值, 即为当前构型条件下的最小离地速度(V_{MU}); 再次, 根据使用和失速速度相同的修正公式换算到最前重心上; 最后, 将一个起飞构型下的所有最小离地速度(V_{MU})数据以 V_{MU}/V_{Sig} 对应 T/W 的形式进行线性拟合, 如图 1 所示。

8 结论

综上所述, 最小离地速度(V_{MU})试飞是一项高风险, 操作技巧要求严的试飞科目, 需要参试人员在前期做好充分的准备, 并且机组人员之间需要协调一致。机组人员的定义也不局限于驾驶舱内, 同时还需探索一条充分发挥试飞工程师角色和作用的道路。

参考文献:

[1] FAR 25, Airworthiness standards: transport category airplanes.

[2] AC 25-7B, Flight test guide for certification of transport category airplanes, 2011.

[3] Aircraft Performance Flight Testing, Technical Information Handbook, Wayne M. Olson, 2000.

[4] Jet transport performance methods, Walt Blake, 2009.