

# 民用飞机大侧风验证试飞方法研究

## Research on Flight Test Method for Civil Aircraft Crosswind Certification

付琳 孙康宁 徐南波 / Fu Lin Sun Kangning Xu Nanbo

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘要:

抗侧风作为飞机飞行的一项重要能力,需要通过试飞的方法进行验证,以表明飞机的抗侧风能力满足民用飞机适航规章条款的要求。主要从大侧风的试飞方法、试飞技术、试飞结果处理方法、适航验证等方面进行研究,提供民用飞机的大侧风验证试飞方法和适航符合性方法研究。

**关键词:**侧风;验证试飞;适航

**中图分类号:**V217

**文献标识码:**A

[ **Abstract** ] Takeoff and landing ability with crosswind is very important to a civil airplane, which has to be demonstrated via flight test in order to show the ability with crosswind and to meet the regulations of CCAR25. This paper researches the flight test method, flight test technology, data processing and airworthiness demonstration, and provides flight test demonstration method and airworthiness compliance method with strong crosswind

[ **Key words** ] crosswind; flight test; airworthiness

## 0 引言

大侧风对飞行的影响不可忽视,季节的转变或者雷暴的推进等复杂多变的气象条件都有可能产生大侧风。对飞行员而言,最主要的是要做好飞机的方向、位置、下沉率、推力等飞行状态的控制和对潜在风切变的处置。飞机在出厂时一般都要经过验证侧风的飞行,以验证飞机的抗侧风能力,给出最大验证侧风值。然而,这一数值可能并不代表飞机的极限抗侧风能力,而是飞机经过验证试飞时的最大侧风。一般航空公司会考虑安全裕度,在运行时将本机型最大侧风数值限制为稍小于或等于厂家给出的验证侧风值。因此,飞机的验证侧风试飞对于飞机的适航和运营来说至关重要。

## 1 相关适航条款

CCAR25 中对民用飞机侧风试飞的适航规章要求为: § 25.233a、§ 25.237a、§ 25.143a 和 § 25.143b。

对演示的侧风风速的具体要求如下:对于陆上飞机和水陆两用飞机,必须制订在干跑道上对起飞

和着陆经演示时安全的  $90^\circ$  侧风分量,该分量必须至少是 20 节或  $0.2V_{SO}$  (取大者,但不必超过 25 节)。

侧风试飞演示程序有如下相关要求:

“应在至少 20 节或  $0.2V_{SRO}$  的  $90^\circ$  侧风分量(两者取大者,不必超过 25 节)条件下,进行三次起飞和三次着陆,并且至少有一次着陆要进行到飞机完全停止。”

## 2 验证试飞方法研究

### 2.1 试飞机场选择

大侧风试飞演示要求飞机起降过程中与飞机前进方向垂直的侧风分量的统计值达到一定标准(20kn 以上)。天气条件随机性强和难预测等原因将极大地增加飞行演示的难度,因此侧风试飞演示应选择满足如下气象条件的机场跑道进行:

- (1) 跑道建设方向尽量与风向垂直;
- (2) 风速大小满足侧风试飞演示条件。

### 2.2 试飞机构型要求

选择进行试飞的验证机型应满足如下构型要求:(1) 满足正常试飞的基本构型及功能;(2) 飞控

系统、失速保护系统、大气数据系统、自动飞行系统和动力装置系统等构型明确,工作正常,能够保障试飞的安全有效。

验证试飞演示前应完成制造符合性检查。

### 2.3 风速、风向测试方法

风速和风向可采用移动气象车测得。飞行演示时气象车停靠在跑道附近,测量离地面 10m 高处的风速和风向,并至少以每秒 1 次的频率记录。

### 2.4 试飞状态选择

民用飞机的抗侧风能力与飞机的状态相关,重量越轻、重心越后、速度越小则飞机的抗侧风能力越小。因此为了获得符合适航规章要求的风速限制演示值,应选择最不利抗侧风情况对应的飞机状态来进行试飞。

同时,考虑到飞机存在左、右侧燃油不对称的情况,因此试飞应选择在最大燃油不对称情况下(系统开始触发燃油不对称警告)进行飞行演示。

对于不同的系统状态,需要在飞控系统正常模式和降级模式两种情况下进行飞行演示。

降级模式的最低抗侧风能力应按系统失效概率和大气扰动水平等进行综合确定。

### 2.5 侧风着陆演示方法

一般来说,侧风着陆的方法有几种,包括偏流法、航向法和侧滑法。

偏流法是在机翼横向水平方向的同时使用偏流角,保持所需水平轨迹。在飞机刚要接地拉平时,使用下风方向舵消除偏流角,使飞机纵轴对正跑道中心线;航向法是在接地后瞬间消除偏流角的方法;侧滑法是进跑道后利用修正技巧将飞机纵轴对准跑道延长线,使主轮在跑道的中心线上接地。由于偏流法在接地拉平使用方向舵后,上风机翼会前掠造成横滚,飞机横向响应较大,因此在大侧风情况下选择偏流法和侧滑法的组合方式进行着陆更为安全,即在空中使用偏流法,在接地前转换成侧滑法。

为了演示出临界情况的抗侧风能力,在验证试飞演示时飞机的轮转弯功能接通,但不允许使用不对称刹车。另外,在试飞演示前需将方向舵和副翼的舵面最大偏转位置限制在对应的舵面容差下限。

## 3 试飞结果处理方法研究

### 3.1 风速的计算

由于风速和风向是在时刻变化的,因此可以采

用如下方法获得试飞演示的 90°侧风风速。

若气象车每 1s 测量一次瞬时的风速、风向数据,根据下述公式计算瞬态正侧风风速:

$$V_{\text{瞬时}} = V \cdot \sin(\Psi_{\text{风向}} - \Psi_{\text{跑道}}) \quad (1)$$

由于起飞和着陆过程中风速和风向随时间是变化的,因此采用每个时刻的 90°侧风风量的算术平均法得到单次起飞和着陆过程中的平均正侧风风速。计算平均正侧风风速的时间段如下:

(1)起飞过程:从轮速 0kn(松刹车)至离地高度(AGL)达到 50ft;

(2)着陆全停过程:从 AGL 为 50ft 至轮速减小到 0kn(飞机停止);

(3)着陆连续拉起过程:从 AGL 为 50ft 至飞机在地面空速最小。

### 3.2 风速离散度

用标准差来表明每个时间段正侧风风速的离散度。计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - V)^2 / n - 1} \quad (2)$$

其中, $\sigma$  表示标准差, $V_i$  表示各个时间点的正侧风风速, $V$  表示整个时间段的平均正侧风风速。

### 3.3 测试设备和主要测试参数

验证侧风飞行演示使用的专用测试设备和安全保障设备包括:(1)遥测系统,进行地面实时监控;(2)驾驶员辅助仪表,用于关键参数的显示;(3)移动气象车,用于实时测量机场的风速风向。

主要测试参数如下:

(1)重量、重心、襟缝翼、起落架、飞控模式、偏航阻尼器、左油箱燃油、右油箱燃油、大气温度;(2)高度、速度、马赫数;(3)纵向操纵力、纵向操纵位移、横向操纵位移、脚蹬位移;(4)方向舵偏度、水平安定面偏度;(5)俯仰角、滚转角;(6)迎角;(7)法向过载;(8)俯仰角速度、滚转角速度、偏航角速度;(9)发动机低压转速;(10)减速板手柄位置或减速板位置;(11)振动加速度信号;(12)失速推杆信号、失速抖杆信号。

### 3.4 数据处理结果

试飞完成后可给出不同侧风起飞和着陆的情况,给出试飞的构型、高度和速度、平均正侧风风速以及使用的最大舵面(包括方向舵和副翼及扰流板偏度)。

(下转第 73 页)

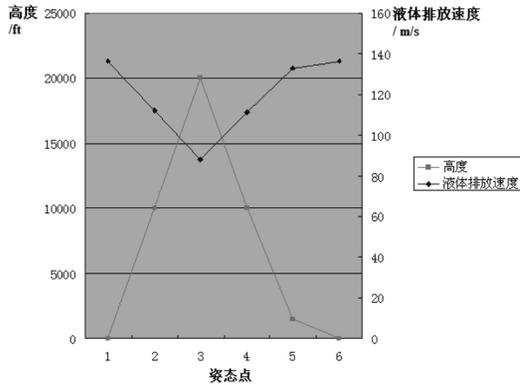


图3 空中典型姿态下APU舱排液管出口液体排放速度

## 4 结论

APU舱引射排液是一种复杂的气液两相流混合过程。本文通过假设,获得了一种APU舱引射排液装置排液管液体排放速度的一维估算方法,根据该方法计算了地面和空中典型姿态下APU舱排液管出口的液体排放速度。这些计算结果可作为全

机级APU舱排液路径数值模拟的输入条件。通过这些计算结果,还得到以下结论:

(1)相比纯重力排液,引射排液可以有效增加排液管出口液体排放速度。

(2)APU舱排液管出口液体排放速度与飞行高度成反比。随着飞行高度的增加,液体排放速度不断减小。

### 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,2001.
- [2] 梁德旺. 流体力学基础[M]. 北京:航空工业出版社,1998.
- [3] Draft Advisory Circular AC No. 25.863-1 Flammable Fluid Fire Protection.
- [4] GB3537-2006 3号喷气燃料.
- [5] SAE AIR1168/1 Thermodynamics of Incompressible and Compressible Fluid Flow.

(上接第42页)

同时可根据平均正侧风风速和最大使用舵面的关系曲线来判断飞机的抗侧风能力趋势,如图1~图3所示。

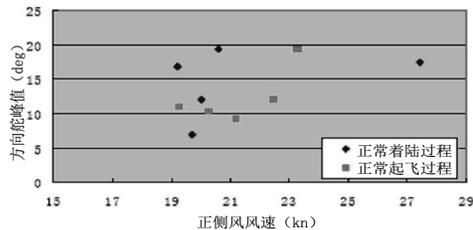


图1 方向舵峰值与正侧风的关系

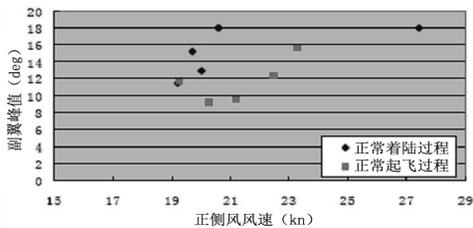


图2 副翼峰值与正侧风的关系

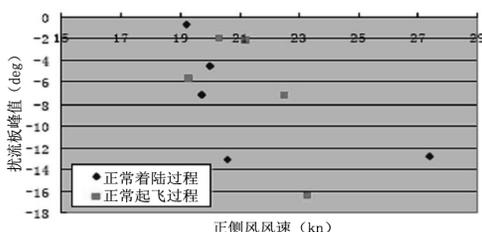


图3 扰流板峰值与正侧风的关系

## 4 适航符合性研究

验证侧风能力的飞行演示试验受气象条件限制较大,尤其要满足三次侧风起飞和三次侧风着陆的飞行演示气象条件。因此侧风演示的结果有两种:

(1)可用于确定满足最低要求,但不应看作是飞机操纵特性限制值的侧风分量值。该“演示过的”侧风值应作为资料包含在飞机飞行手册中;

(2)可确定一个认为是最大限制值的侧风分量值,直到在该值条件下飞机可安全起飞和着陆。该“限制值”应在飞机飞行手册的使用限制中给出。

## 5 结论

大侧风试飞一直是民机型号研制的难点问题,本文以型号项目研制经验为基础,从侧风的验证条款要求,试飞演示方法、风速计算准则、适航符合性等方面提供了一整套方法,填补了国内民用航空大侧风技术的空白。

### 参考文献:

- [1] AC25-7A. Flight Test Guide for Certification of Transport Category Airplanes[S]. 1998. 3. 31.
- [2] 中国民用航空局. CCAR25-R3 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,2001.