

飞机风挡雨刷系统地面试验方法研究

王向转 刘斌慧

(上海飞机设计研究院环控氧气系统设计研究部,上海 200235)

Study of the Ground Test Method for Aircraft Windshield Wiper System

Wang Xiangzhuan Liu Binhui

(Environmental Control and Oxygen Systems Department of SADRI, Shanghai 200235, China)

摘要:提出了一种进行飞机风挡雨刷系统地面试验的试验方法。提出等效降雨强度的概念,并按照雨量相等的原则,把飞机在飞行过程中主风挡玻璃遭遇的降雨强度转换成风挡雨刷系统地面试验所需的等效降雨强度,为风挡雨刷系统的地面试验提供一个较为真实的降雨环境,解决了进行风挡雨刷系统地面试验的关键问题。通过工程实践,证明本方法是可行且有效的。

关键词:风挡雨刷系统;等效降雨强度;雨量

[Abstract] A ground test method for the Windshield Wiper System is given in this paper. Equivalent Intensity of the Rainfall is raised in this paper, and the intensity of the rainfall that the two front windshields encounter when the aircraft is flying in the rain is transferred to the equivalent intensity of the simulated rainfall in the Ground Test based on the truth that the quantity of the two rainfalls is same. The Ground Test for Windshield Wiper System can be done by calculating the equivalent intensity of the simulated rainfall, the key parameter. The method has been proved to be practical and effective by the engineering practice.

[Key words] Windshield Wiper System; Equivalent Intensity of the Rainfall; Quantity of the Rainfall

0 引言

民用飞机在进行风挡雨刷系统的适航取证时,通常选择在降雨气象条件下进行飞行试验,这是一种行之有效的办法。考虑到飞行试验的安全性,在飞行试验前先进行地面试验越来越受到重视。

进行风挡雨刷系统的地面试验,需要考虑2个方面的因素:(1)自由来流对雨刷的作用;(2)降雨。

目前,进行风挡雨刷系统的地面试验,有以下几种方法:(1)采用雨风洞。雨风洞可以很好地模拟自由来流和降雨对雨刷的叠加作用,为风挡雨刷系统的地面试验提供一个较为真实的试验环境。但是雨风洞也有一定的缺点:试验对设备的要求高,费用大。如:试验过程中要得到高速稳定的自由来流,就要求鼓风机具备很大的功率,同时要有足够长的通道使来流趋于稳定。再者,考虑到阻塞度的影响,风洞的横截面积不宜过小,这也增加了试验的难度。

(2)分别考虑自由来流和降雨对雨刷的作用并把这种作用施加到雨刷臂和雨刷刃上。其具体过程是:首先,在风洞中测定自由来流对雨刷的作用力,得到相应的参数。其次,进行雨刷系统地面试验时,在自然降雨环境中,把自由来流对雨刷的作用力施加到雨刷上。这种方法比雨风洞试验过程复杂,而且由于没有考虑到飞行过程中飞机风挡玻璃上遭遇的降雨和自然降雨不同,因而试验结果有一定的偏差。

本文分析了飞机在飞行过程中遭遇的降雨环境,提出把飞机在飞行过程中遭遇的降雨强度按照降雨量相等的原则转换成地面试验应该采用的降雨强度,并运用到工程实践中,得到了满意的结果。实践证明,本方法是一种可行且有效的方法。

1 总体思路

民用航空规章 25 部中 § 25.773 对除雨设备有明确的要求:

“对于降水情况,采用下列规定:(1)飞机必须具有措施使风挡在降水过程中保持有一个清晰的部分,足以使两名驾驶员在飞机各种正常姿态下沿飞行航迹均有充分宽阔的视界。此措施必须设计成在下列情况中均有效,而无需机组成员持续关注:(i)大雨,速度直至 $1.5V_{SR1}$,升力和阻力装置都收上。”^[1-2]

要在地面试验验证雨刷在大雨(15mm/h)^[3]条件下的除雨效果,需要分析飞机在大雨中飞行时所遭遇的降雨环境。

飞机在大雨中飞行时,雨滴除了竖直下降的速度外,还有一个与飞机飞行速度相反的相对速度。在进行地面试验时,飞机是静止的,不能简单地采用15mm/h的竖直降雨来模拟飞机飞行时遭遇的降雨情况,而是要考虑雨滴的相对速度,用等效降雨强度

来模拟飞机在飞行时遭遇的降雨情况,为风挡雨刷系统地面试验提供一个较为真实的降雨环境。

2 等效降雨强度

2.1 定义

等效降雨强度是在考虑了雨滴的下降速度和对飞机的相对速度的综合效果后所得到的适合地面试验使用的降雨强度。

2.2 雨量相等的原则

计算等效降雨强度,采用的是雨量相等原则。该原则可以描述为:飞机在飞行过程中和静止状态下,单位时间内风挡玻璃上收集到的雨量相等。这样,计算出的飞机以正常飞行姿态飞行时风挡玻璃上单位时间内收集的雨水量,可以转换成地面试验时的等效降雨强度。

2.3 等效降雨强度的计算

根据雨量相等原则,要计算等效降雨强度,首先要计算在大雨条件下飞机以某一飞行姿态飞行时,单位时间内飞机风挡玻璃所收集的雨量,其具体的计算过程如下。

2.3.1 假设条件

本计算需要以下假设:

- (1) 自由来流速度为 0,即雨滴垂直下降,雨滴下落速度为常数;
- (2) 在某一降雨强度条件下,单位体积内所含雨水总量为恒值,且雨滴均匀分布;
- (3) 雨滴完全落在玻璃上,忽略飞溅掉的雨滴;
- (4) 雨滴垂直下落速度为 5m/s(大雨的平均雨速);
- (5) 飞机以正常姿态飞行,无侧滑角,无航迹偏转角。

2.3.2 风挡玻璃在地面坐标系上的投影

飞机机头理论外形如图 1 所示。飞机静止在水平地面上时,左侧主风挡玻璃在地面坐标系 OXYZ 的三个平面 OXZ 平面、OXY 平面、OYZ 平面上的投影如图 2 所示。在这三个平面的投影面积分别为 S_1, S_2, S_3 。

2.3.3 飞机状态

本文对下列两个飞行阶段飞机风挡玻璃所遭遇的降雨环境进行了分析计算:

- (1) 飞机在大雨中,从滑跑、起飞、爬升直至速度达到 $1.5V_{SR1}$;

- (2) 速度从 $1.5V_{SR1}$,经下降、进场着陆、滑行,直至速度为 0。

2.3.4 等效降雨强度计算公式

根据假设,飞机以某一正常飞行姿态飞行时,无侧滑(即侧滑角 $\beta = 0$),无航迹偏转角($\psi_s = 0$)。其迎角为 α ,航迹倾斜角(又称航迹角)为 θ 。如图 3 所示。

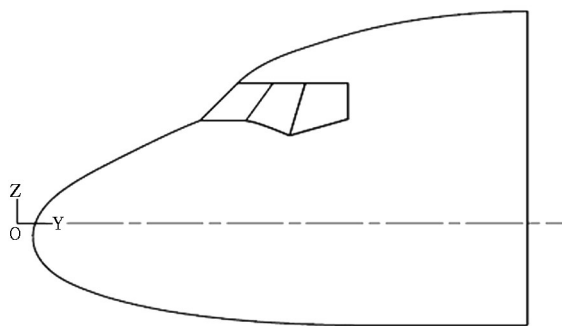


图 1 飞机机头理论外形

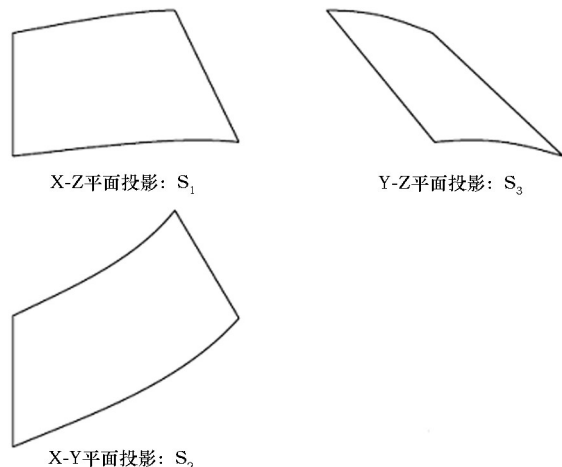


图 2 左侧主风挡在 OXZ 平面、OXY 平面、OYZ 平面的投影

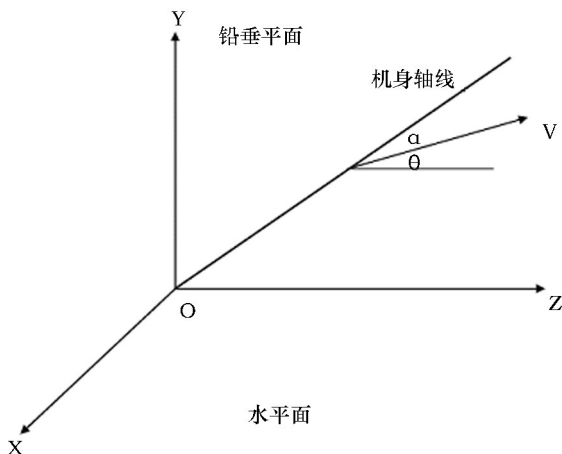


图 3 飞机在飞行时的迎角与航迹倾斜角

在上述假设条件下,给定飞机在某一时刻速度大小为 V_1 ,雨滴垂直下落的速度为 V_2 ,且速度始终保持不变。在降雨强度为 q 时,在某时间段 Δt 内,风挡玻璃上收集的“雨水总量”为:

$$(V_{HOR}S_{VER} + V_{VER}S_{HOR}) \times W \times \Delta t \quad (1)$$

其中,

$$V_{HOR} = V_1 \cos\theta \quad (2)$$

$$V_{VER} = |V_1 \sin\theta + V_2| \quad (3)$$

$$S_{VER} = |S_1 \cos(\alpha + \theta) - S_2 \sin(\alpha + \theta)| \quad (4)$$

$$S_{HOR} = |-S_1 \sin(\alpha + \theta) - S_2 \cos(\alpha + \theta)| \quad (5)$$

其中, W 表示在降雨强度为 q 时,空气中单位体积的含水量。

主风挡玻璃在 OYZ 平面上的投影与雨滴相对于飞机的速度 V_s 平行,该平面不收集雨水。在同样的降雨强度 q 和 Δt 时间段内,地面面积为 S_2 的平面上收集到的“雨水体积总量”为 $V_2 S_2 \Delta t$ 。

飞机主风挡玻璃单位时间内收集的雨水量相当于地面试验时单位时间内收集雨水量的 M 倍。飞机在降雨强度为 q 的垂直降雨中以某一正常姿态飞行时,风挡玻璃上承受的降雨强度,可以等效为飞机静止不动时,降雨强度 N 的情况。

其中:

$$M = (V_{HOR}S_{VER} + V_{VER}S_{HOR}) / (V_2 S_2) \quad (6)$$

$$N = V_{HOR}S_{VER} + V_{VER}S_{HOR} / (V_2 S_2) \times q \quad (7)$$

3 计算结果

根据飞机以最大起飞重量从速度 0 到速度为 $1.5V_{SRI}$ 过程中的性能参数,结合降雨强度计算公式(1)计算得到了飞机在起飞爬升各飞行姿态对应的地面试验应该提供的等效降雨强度,如表 1 所示。

根据飞机下降并以最大着陆重量着陆时的性能参数,结合降雨强度计算公式(1)计算得到了飞机在下降、进场、着陆阶段各飞行姿态对应的地面试验应该提供的等效降雨强度,如表 2 所示。

以上计算结果可作为进行风挡雨刷系统地面试验的输入条件。在进行地面试验时,只要提供等效降雨强度,即可模拟飞机在飞行中所遭遇的降雨强度。

表 1 飞机起飞爬升阶段
地面试验应提供的降雨强度

真空速(m/s)	迎角(deg)	姿态角(deg)	降雨量(mm/h)
...
56.434	0.000	-0.280	166.774
67.935	0.000	-0.280	197.718
70.129	0.000	-0.280	203.619
70.150	0.000	-0.280	203.677
70.172	0.000	-0.280	203.735
...

表 2 飞机下降进场阶段
地面试验应提供的降雨强度

真空速(m/s)	迎角(deg)	姿态角(deg)	降雨量(mm/h)
...
91.565	0.000	10.061	210.371
88.726	0.000	10.892	200.109
88.703	0.000	10.977	199.622
85.864	0.000	10.810	194.619
83.452	-3.044	7.177	191.896
...

4 结论

本文提出等效降雨强度的概念,并按照雨量相等的原则,把飞机在飞行过程中主风挡玻璃所遭遇的降雨强度转换成地面试验所需的等效降雨强度。并根据某型飞机的飞行性能参数,计算出了该型飞机在进行地面试验时所需的等效降雨强度。从而为飞机风挡雨刷系统地面试验提供了关键的参数,为飞机风挡雨刷系统地面试验提供了一种新方法。通过工程实践,证明本方法是可行且有效的。

参考文献:

- [1] 中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准.
- [2] FAR25 Amendment 108.
- [3] MIL-R-81589 Rain Repellent Fluid Application System, Aircraft Windshield.