

# 飞机实验室风吹雨气候环境试验技术研究

张亚娟, 吴敬涛, 孟宁

(中国飞机强度研究所, 西安 710065)

**摘要:** 为了解决目前飞机整机风吹雨试验只能在外场自然环境条件下进行, 试验周期长, 费用大的难题, 研究飞机实验室风吹雨试验技术。通过研究飞机遭遇极端气候风吹雨引起的环境效应, 基于气候环境实验室风吹雨试验环境条件的建设能力, 借鉴国内外相关环境试验标准以及国外飞机气候环境试验经验。规划了飞机整机实验室风吹雨试验项目和试验顺序, 设计了飞机实验室风吹雨试验方法, 总结了试验需要检测及评估的范畴。为飞机实验室风吹雨试验的实施提供技术参考。

**关键词:** 风吹雨试验试验方法; 试验项目; 试验程序

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.11.012

**中图分类号:** TJ01      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)11-0059-05

## Wind and Rain Test of Aircraft in Climatic Environment Laboratory

ZHANG Ya-juan, WU Jing-tao, MENG Ning

(Aircraft Strength Research Institute of China, Xi'an 710065, China)

**ABSTRACT:** To solve the problems that the aircraft wind and rain test can only be carried out in the natural environment of the outfield, the test cycle is long and the cost is large, the wind and rain test technology of aircraft laboratory was studied. The environmental effects caused by wind and rain in extreme climate were studied. Based on the construction capacity of environmental conditions of wind and rain test in climate environment laboratory by referring to relevant domestic and international environmental test standards and foreign aircraft climate environment test experience, wind and rain test project and test sequence of the aircraft laboratory were planned. The wind and rain test method of the aircraft laboratory was designed, and the category of the test needs detection and evaluation was summarized. It provides technical reference for implementation of wind and rain test in aircraft laboratory.

**KEY WORDS:** wind and rain test; test methods; test items; test procedures

风和雨是自然界主要的环境要素,是产品必然要经受考验的气候环境条件。自然界的暴雨、降雪及冻雨等气候环境常常伴随着强风,形成风雨交加的极端恶劣气候条件,会对建筑物或停放于停机坪上的飞机等造成破坏,也会严重影响飞机起飞和降落过程中驾驶员的视觉,被风吹起并在空中飞行的沙子和灰尘也经常穿透和破坏设备。因此飞机的环境适应性验证试验应充分考虑由于风(自然界最常见的风吹雨)引起的恶劣效应。

国外气候环境模拟技术方面的研究已经进行多年,建立了功能完善的气候环境模拟试验设施,并已进行了多架飞机的风吹雨试验研究。目前由于我国没有可供飞机进行整机风吹雨试验的气候风洞,也没有可供飞机整机进行风吹雨试验的气候环境实验室,因此飞机只能在外场自然环境环境下进行风吹雨试验,往往受自然条件的限制,使试验周期长,费用大。中国飞机强度研究所气候环境实验室及风吹雨气候环境模拟设施的建设,可以为飞机风吹雨气候环境适应

性验证的环境条件提供物质基础。

在 GJB 150.8、AECTP-300 及 MIL-STD-810G 等环境试验标准中<sup>[1-4]</sup>，风吹雨试验是淋雨试验的试验程序之一，适用于户外部署，且没有采取防降雨和吹雨措施的装备。作为部署服役区域广阔，需要频繁起飞降落的飞行器，风吹雨试验的环境考核比普通的降雨和滴雨更真实。文中结合中国飞机强度研究所即将竣工的气候环境实验室吹风及降雨试验系统的试验能力，依据国内外环境试验标准中与风吹雨试验有关的试验方法，以及美国开展飞机实验室风吹雨试验的文献资料，设计了飞机气候环境实验室风吹雨试验的试验方法，包括试验条件、试验程序及试验检测评估等内容，可为气候环境实验室风吹雨试验技术的开展提供参考。

## 1 环境效应

飞机服役期间大部分时间处于露天停放状态，必然要经受风吹雨淋，飞机上的许多窗口、口盖和结构缝隙没有采取适当密封措施，成为潜在的进水“通道”，而这些进水“通道”大多是垂直或与地面具有一定角度，因此竖直方向的降雨，必须借助水平方向气流的作用，才能实现考核试面的淋雨验证<sup>[5]</sup>。研究发现，飞机在起飞、着陆时是安全事故的多发期，在飞机起飞、着陆时遭遇强雨雪天气时，由于飞机具有飞行速度产生强气流，简单的竖直降雨无法模拟真实的气候环境，必须模拟一种强气流环境下风挡表面风吹雨的真实降雨环境。

综上所述，飞机风吹雨试验可以更真实地模拟自然降雨环境，是飞机淋雨环境试验必不可少的试验程序，会影响飞机的许多军事活动和性能。主要的环境影响包括：会干扰雷达信号的传播，损害无线电通讯，影响火炮和导弹的准确性，降低或削弱光学监视；雨滴能侵蚀飞行的飞机和导弹的表面，雨水积存在产品表面，会降低材料的强度，促使金属腐蚀，损坏飞机表面涂层<sup>[6]</sup>；雨水能渗透到飞机内部，使电气或电子装置绝缘下降，工作失常甚至失效损坏，还可能在内部结冰，使零件泡胀或破裂，造成缓慢性退化和功能失效。

## 2 风吹雨试验环境条件

飞机风吹雨试验是气候环境实验室淋雨系统与吹风试验系统协同工作的叠加型气候环境试验项目，试验环境条件主要包括：气候环境实验室、吹风试验设备、淋雨设备及试验控制参数等。

### 2.1 气候环境实验室

飞机风吹雨环境试验在气候环境实验室进行。该

气候环境实验室是国内最大、模拟气候环境因素最多的实验室，能够模拟高温、低温、太阳辐射、温度/湿度、淋雨、降雪、冻雨、结冰和吹风等典型气候环境的能力。气候环境实验室容积超十万平方米，其可控温度范围为 $-55 \sim +74$  °C，可控湿度范围为 10% ~ 95%，能满足飞机、导弹武器系统等装备室内环境试验需求，能开展整机的风吹雨、风吹雪等试验项目，以及在实验室内模拟飞机起飞、降落时风雨、风雪叠加的真实气候环境。

### 2.2 吹风试验设施

与普通吹风模拟系统相比，气候环境实验室吹风试验系统，既要解决直流式风洞室内大量取气，对周围设备产生负压影响的问题，又要解决风洞的移动、安装与固定等问题，是国内唯一的可移可拆，需室内吸气的直流式风洞。吹风试验系统主要由低速吹风系统和高速吹风系统两部分组成。

气候环境实验室吹风试验设备典型布置如图 1 所示，吹风试验系统的主要性能指标：

1) 风速范围。低速吹风系统距离出风口下游 4 m 处的流向风速能覆盖 5 ~ 18 m/s 范围，且风速连续自动可调；高速吹风系统距离出风口下游 4 m 处的流向风速能覆盖 5 ~ 55 m/s，且风速连续自动可调。

2) 风速均匀性。低速吹风系统距离出风口下游 4 m 处有效面积内的风速不均匀度 $\leq \pm 7\%$ ；高速吹风系统距离出风口下游 4 m 处有效面积内的风速不均匀度 $\leq \pm 4\%$ ，均能满足环境试验标准对风速均匀性要求。

3) 高度调节范围。低速吹风系统底层风机（风机竖直方向并列布置）轴心距地面高度连续可调节，调节范围覆盖 2 ~ 8 m；高速吹风系统风洞出风口中心距地面高度连续可调节，调节范围覆盖 3.0 ~ 8.7 m。

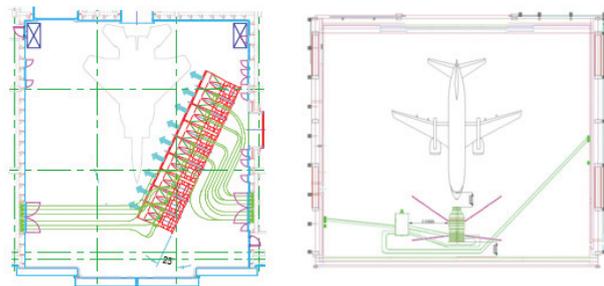


图 1 气候环境实验室吹风试验系统

### 2.3 淋雨设施

淋雨设施技术指标：降雨强度位 0.636 ~ 38.2 cm/h；雨滴直径为 0.5 ~ 4.5 mm；在 50 ~ 382 cm/h 降雨强度范围内，喷淋面内降雨强度不均匀度 $\leq 20\%$ ；淋雨有效面积为 1300 m<sup>2</sup>。淋雨设施能够满足 GJB 150.8A—2009、GJB 2417—1995 等试验标准要求。飞机试验状态与淋雨设备的相对关系如图 2 所示。

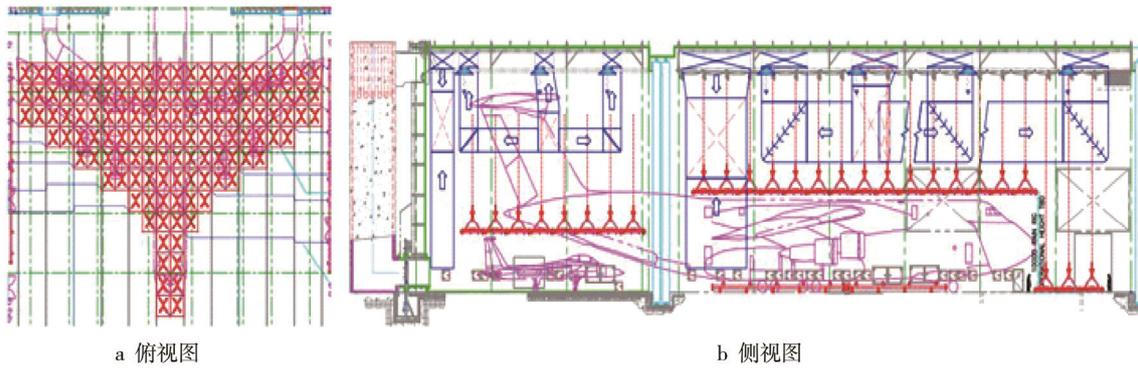


图 2 飞机淋雨试验设备

## 2.4 试验控制参数

试验需确定条件包括以下几点。

1) 环境室。能实现试验所需温度、湿度、试验循环次数及试验持续时间等试验参数可控的室内环境。

2) 试验对象。分析有关技术文件的要求确定试验方法,飞机需要暴露的试验区域,飞机在风吹雨环境中或经风吹雨环境试验后应完成的功能。

3) 淋雨设备。降雨强度、雨滴尺寸、喷嘴喷雾散布面积和喷水压力。

4) 吹风设备。风速及吹风区域,采用皮托管和微差压变送器组成的测量系统来测定气流速度,并通过风机阵控制系统软件把风速直观的显示在电脑上。

## 3 试验项目及顺序

充分考虑飞机结构及服役特性,依据国内外几个主要环境试验标准及美国等发达国家飞机气候环境试验资料,结合飞机气候环境实验室的试验能力,推荐飞机风吹雨试验项目主要包括:低速风吹雨试验、高速风吹雨试验和风吹冻雨试验。低速风吹雨试验主要模拟飞机地面停放时遭遇暴风雨袭击的极端恶劣天气;高速风吹雨试验主要是模拟飞机起飞和降落时,风挡区玻璃和雨刷遭遇雨水冲刷的自然环境;风吹冻雨是模拟风雨交加的冻雨天气,风吹冻雨造成飞机积冰,破坏结构,影响飞行安全。

试验顺序应依据前一项试验不影响后一项试验的试验效果,及试验操作实施的合理化原则。推荐试验顺序依次为:低速风吹雨试验、高速风吹雨试验、风吹冻雨试验。

## 4 试验方法

### 4.1 低速风吹雨试验

#### 4.1.1 试验条件

适用于飞机机身、机头等考核部位非水平表面

的淋雨试验,主要是考核飞机机头及机身上窗口、舱门、重要的电子电气设备窗口、仪表板、密封垫圈等结构的密封性;考核除水、排水及除冰装置的有效性;飞机暴露于风雨环境中以及暴露之后满足性能要求的能力。实验室温度室温,风吹雨试验的风速为  $18\text{ m/s}$ ,  $18\text{ m/s}$  风速一般是自然界暴风雨期间的风速,因为大气中风水平分量比它的垂直分量大得多,因此试验中要求水平风速需满足不小于  $18\text{ m/s}$ 。试验时水平风速可使雨水倾斜  $45^\circ$  对试件的垂直面扑打,降雨强度位  $10.2\text{ cm/h}$ ,雨滴直径为  $0.5\sim 4.5\text{ mm}$ 。推荐选用降雨强度、风速及试验持续时间的叠加环境谱如图 3 所示。

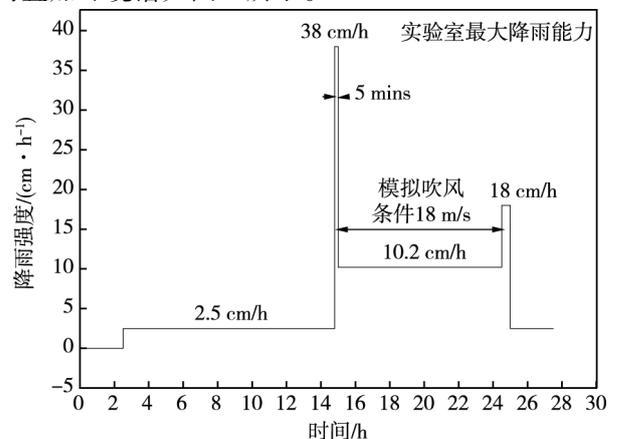


图 3 低速风吹雨试验环境谱

#### 4.1.2 试验程序

在雨水分配器降雨之前的室温环境下,完成吹风试验设备的安装,根据飞机需考核部位的位置调整吹风试验系统升降机构的高度,确保满足要求的风速能覆盖整个试验区域,再根据试验要求进行吹风试验系统的风速调试,确保水平风速不小于  $18\text{ m/s}$ <sup>[2]</sup>。根据淋雨试验程序控制图适时启动吹风试验系统,使垂直降落的雨水在风力作用下均匀地扑打到被试装置表面。吹风持续时间约  $10\text{ h}$ ,也可根据技术文件要求进行调整。淋雨试验结束后进行水渗透、排水有效性及电气电子设备使用性能和安全性等检测。

## 4.2 高速风吹雨试验

### 4.2.1 试验条件

用于模拟飞机起飞和降落时,风挡区除雨系统遭遇降雨的气候环境。实验室温度室温,要求风挡雨刷系统工作的最大雨情为大雨(25 cm/h,见 GJB 1172.5 中的 1 h 降水量全国记录极值<sup>[7]</sup>),雨滴直径为 0.5 ~ 4.5 mm,风速不小于 55 m/s。试验要验证雨刷在大雨等降雨环境下的除雨效果,需分析可能遭遇的降雨环境。降雨持续时间不小于 30 min,可视检测项目进行剪裁。

### 4.2.2 试验程序

在室温环境下,淋雨试验之前,根据被试飞机的状态,安装并调试吹风试验系统,确保吹风有效区域能覆盖飞机主风挡区域,风速不小于 55 m/s。如水和实验室的温差小于 10 °C,可通过降低水温实现该要

求。每个暴露试验周期开始时,使环境室温度稳定在高于水温(10±2)°C的温度上。试验开始前,将风挡区雨刷恢复到正常工作状态。按技术文件的规定调节降雨强度,推荐降雨强度 25 cm/h,以 55 m/s 的风速进行风吹雨试验,试验持续至少 30 min。在试验期间按技术要求进行雨刷工作性能检测,如果检测不能再 30 min 内完成,应保持风吹雨试验条件,直到完成检测工作。记录检测结果,评估雨刷工作的可靠性。

## 4.3 风吹冻雨试验

### 4.3.1 气象条件

风吹冻雨适用于模拟飞机飞过冷气候环境及飞机地面停放时遭遇极端特殊的冻雨天气,导致风吹雨水流过飞机机身等考核部位后,雨水冻结,从而导致排水孔被堵及密封结构内部有冰形成。大连机场某次冻雨与典型冻雨气象条件对照见表 1<sup>[8]</sup>。

表 1 大连某次冻雨与典型冻雨气象条件对照表

过程	发生时段	持续 时间/min	风向 范围	风速范围/ (m·s <sup>-1</sup> )	地面温度 范围/°C	逆温层 高度	暖层 温度/°C
大连某次冻雨	17:51 ~ 19:55	124	330° ~ 340°	5 ~ 6	-5 ~ 0	164 ~ 831 m	0 ~ 2
典型冻雨	多集中在夜间	20 ~ 90	偏北风为主	4 ~ 7	0 ~ 3	850 hPa ~ 地面	0 ~ 4

### 4.3.2 试验程序

依据冻雨的气象特点,建议试验程序为:风吹冻雨试验一般在高速风吹雨试验之后进行,这样可减少试验设备的安装时间。先在降雨的同时降低温度,把实验室的温度降低并稳定在 2 °C,降雨速度控制在约 2.5 cm/h<sup>[9]</sup>,进行轻微降雨 2 h。在这个时间段,启动风机以 7 m/s 的风速对试验区域进行风吹雨试验;然后将环境室温度降低至-4 °C,持续风吹雨试验 2 h,使试验区域表面形成约 1.3 cm 厚的冰层。停止吹风降雨,保持环境室温度稳定在-4 °C,进行试验区域的性能检测。检测完毕,实验室加热回温结束试验。

## 5 试验检测

低速风吹雨试验需检测项目包括:仪表板、进气口、废气排放管和门等的密封性和排水能力的检测,这样可确定雨水泄露区域及积水的影响;密封设备、密封圈的密封性检测和排水通道的积水检测;空速管静压系统是否被堵住;仪表板的密封圈或遮罩是否打开;攻角探测器是否受到影响。

高速风吹雨试验需要检测的项目包括:检测雨刷刃载荷;检测雨刷在 LOW 和 HIGH 模式下的摆动速度;检测雨刷刃在玻璃表面的接触情况;检测雨刷刃

停止时的位置;检测雨刷的刮刷效果。

风吹冻雨需要检测的项目包括:空速管静压系统是否被堵住;仪表板的密封圈或遮罩是否打开;攻角探测器是否受到影响;在发动机进气道和通风口是否有潜在的外来物体(冰块)损伤;在遮罩构架附近是否有结冰;排水孔是否堵住或有积冰;在移动面(如控制面)附近是否有积冰;在打开仪表板或站在光滑表面时的人为因素问题。

## 6 试验评估

低速风吹雨试验需评估内容:飞机机体抗水浸蚀情况;允许水浸蚀的部位排水通畅情况;渗水对电子设备使用性能及安全性的影响。

高速风吹雨试验需评估内容:风挡玻璃区雨刹的清洗、除冰和雨水功能;风挡玻璃表面变暗、刮伤、鼓泡、分层或开裂情况。

风吹冻雨需评估的内容:确定飞机机体表面或内部的冰堆积范围,这些冰堆积可能造成机身内设备故障、损坏可动结构、进气道积冰对发动机动力的影响;评估除冰设备的除冰功能;起落架和舱门积冰后,起落架机构和舱门运行情况;冰累积的潜在危险除去之后,各系统运行情况;评估飞机机体表面防护涂层破损等级;评估机组地面辅助系统的电动机械和承重的功能。

## 7 结语

文中所涉及的风吹雨试验项目都是模拟自然界极端恶劣气候环境,也是影响飞机等军用设备气候环境适应性,造成飞机事故频发的主要气象环境。国外虽有较多关于飞机风吹雨及风吹冻雨试验研究的报道,但是现有的国内外环境试验标准中,没有相应的试验方法。由于我国以前不具备飞机实验室气候环境试验的条件,也没有对飞机实验室风吹雨气候环境试验技术进行过研究,因此,该研究可为飞机实验室风吹雨试验的实施提供技术参考。

### 参考文献:

- [1] MIL STD 810G, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [2] GJB 150 8A—2009, 军用装备实验室环境试验方法,第8部分:淋雨试验[S].
- [3] MIL-STD-810G, Environmental Handbook for Defence Materiel Part3 Environmental Test Methods[S].
- [4] AECTP-300, Climatic Environmental Tests[S].
- [5] 王转向,刘斌慧.飞机风挡雨刷系统地面试验方法研究[J].民用飞机设计与研究,2011(4):28-30.
- [6] 马志宏,李金国,张景飞.军用设备淋雨环境试验技术[J].环境技术,2007(5):14-16.
- [7] GJB 1172.5—91, 军用设备气候极值地面降水强度[S].
- [8] 王鑫,刘妍芳.一次冻雨天气过程与典型冻雨形势差异分析[J].空中交通管理,2011(12):21-23.
- [9] GJB 150 22A—2009, 军用装备实验室环境试验方法,第22部分:积冰/冻雨试验[S].
- [10] GJB 4239—2001, 环境工程通用要求[S].