

飞机级闪电间接效应防护试验方法介绍

Summary of Aircraft Level Indirect Effects of Lightning Test Method

李慧颖 严林芳 李 钧 李春芳/Li Huiying Yan Linfang Li Jun Li Chunfang
(上海飞机设计研究院, 上海 200232)
(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200232, China)

摘 要:

概述了闪电间接效应定义, 飞机级闪电间接效应(IEL)防护试验的必要性, 分析了IEL耦合机理, 并对飞机级IEL防护试验方法进行了初步介绍。

关键词: 闪电间接效应; 耦合机理; 适航取证

[Abstract] In this paper, it introduced the definition of indirect effects of lightning and the necessary of lightning indirect effects protection on aircraft. Furthermore, it analyzed the indirect effects coupling mechanisms, and preliminary discussed the indirect effects of lightning test method on aircraft level.

[Keywords] Indirect Effects of Lightning; Coupling Approach; Certificate

0 引言

近年来, 飞机上执行飞行关键/重要功能的传统机电控制、机电指示系统逐渐被电子式飞行控制系统、电子式显示指示系统和全权发动机数字控制系统等所替代, 使得机载电子/电气设备对外部闪电环境更加敏感; 此外, 为了飞机减重, 而大量使用非金属材料, 使得飞机本身对闪电所造成的外部电磁环境的屏蔽效能大大降低, 所有这些都对飞机闪电间接效应防护设计提出了更高的要求。

我国对民用飞机闪电间接效应防护验证工作的研究与应用起步较晚, 与国际上先进的飞机制造商相比存在较大差距。

本文介绍了飞机级闪电间接效应低电平脉冲注入试验方法, 并严格按照CCAR25/FAR25的要求进行闪电间接效应试验方法研究。该试验方法和理念在国内的技术研究领域尚属先进。

1 闪电间接效应定义

飞机遭受自然界闪电附着后, 飞机机身成为传导通路, 闪电电流通过机身表面传输, 分布在闪电入点与出点之间。同时, 位于飞机内部的线缆屏蔽层及单根导线上感应出瞬态电压及电流。这种外部闪电环境通过各种耦合机制对机载航空电子/电气设备产生干扰, 导致设备功能暂时或永久失效, 严重时将影响飞机持续安全飞行或着陆的效应称闪电间接效应^[1-2]。

2 闪电间接效应耦合机理^[3]

飞机外部的闪电环境通过多种耦合途径在飞机内部电子/电气系统的互联线束上感应出复杂的瞬态电压及电流波形。耦合途径及感应的波形与飞机本身的特性有关, 例如: 飞机结构、结构材料、机身上的电磁开口、线缆敷设路径、线束屏蔽特性及电路特性等。主要的耦合机制包括以下几个方面:

(1) 电磁开口和缝隙

机外瞬态电磁场穿过驾驶舱风挡、窗户、口盖缝隙、非金属蒙皮及雷达罩等电磁开口和缝隙进入到飞机内部, 在内部安装的设备线束及导线上感应出瞬态电压和电流。

(2) 结构穿透

飞机外部的电磁场穿透机体结构进入飞机内部, 在飞机内部的设备线束及导线上感应出瞬态电流, 该电流波形的长度比飞机外部的电流持续时间要长。对于铝结构导体等金属结构, 通常耦合电流的幅值较小; 而对于碳纤维等复合材料结构, 耦合电流幅值通常较大。

(3) 机体结构IR电压

闪电电流流过机体结构, 在机内电气电路两端产生结构IR电压, 对于金属结构, 结构IR电压值很小; 而对于碳纤维等复合材料结构, 结构IR电压值很大, 从而导致机内设备线束及导线上感应的瞬态电压幅值很大。

(4) 外部导体引入

机外安装的设备/电气部件或结构部件, 如果安装位

置搭接或者绝缘不良，则可能通过贯通导体将外部闪电电流引入到机体内部。如天线、航行灯、加热器的连接导线，或者机械系统的钢索、管路等。

3 飞机级闪电间接效应(IEL)防护试验的必要性及目标

1988年越南一架客机在曼谷上空遭遇闪电袭击，76人遇难；2000年我国武航一架飞机在降落时遭遇闪电袭击，51人遇难。闪电间接效应防护研究属于电磁环境效应控制领域。飞机在机场或飞行途中经常会遭遇闪电袭击（包括自然闪电和触发闪电），据统计，每架客机每年大约遭遇4~5次不同程度闪电袭击现象。

为了避免闪电间接效应导致飞机发生灾难性功能故障，美国和欧洲等适航当局先后颁发了各类适航条例，如FAR23部、25部、27部、29部等适航条例，还有SAE ARP5412、SAE ARP5414、SAE ARP5416等，这些都对飞机的闪电防护提出了严格的要求。

根据适航部门的相应要求，飞机级闪电间接效应防护设计的目标是：

(1) 对于其功能失效会影响或妨碍飞机继续安全飞行和着陆的各种电子/电气系统的设计和安装，必须保证在飞机遭遇闪电环境时，执行这些功能的系统其工作与健康能力不受消极影响。

(2) 对于其功能失效会影响或降低飞行性能或给飞行机组带来不利运行条件的各种电子/电气系统的设计与安装，必须保证在飞机遭遇闪电环境之后能及时恢复这些功能。

4 飞机级IEL防护试验方法介绍

飞机级闪电间接效应试验方法包括：扫频测试和电流脉冲测试。飞机级测试数据可以支持飞机闪电防护设计，也可作为飞机型号合格取证依据。本文介绍低电平脉冲注入测试方法，该试验方法严格依据适航符合性验证试验的相关要求，能为民用飞机的适航取证提供支持。

4.1 试验目的

通过飞机级闪电间接效应试验，测量飞机在遭遇闪电附着后，在电子/电气系统的线束及导线上感应的电流及电压波形/幅值，该电流或电压叫做实际瞬态电平（Actual Transient Levels, 简称ATLs）。ATLs通常用来指导飞机闪电防护设计，或是验证飞机闪电防护设计是否满足闪电间接效应适航条款的要求。

4.2 试验对象的要求

支持飞机适航取证的飞机级闪电间接效应试验，要求飞机装机件完整，功能完备，同时要求：

(1) 飞机为完整且可正常运行的原型机；

(2) 机上没有安装试飞电缆，如已安装，则这些电缆的两端和连接器必须断开，屏蔽层必须和飞机结构隔离；

(3) 飞机系统不上电，但必须具有完整的电路连续性；

(4) 系统/设备按照各自OATP完成相关功能检查，或待测系统/设备按照设计要求安装和测试完毕，待测线束具有完整的电路连续性；

(5) 为安装测试探针和仪器而对飞机的修改不能影响闪电电流的传输路径或者产生附加的开路；

(6) 测试前，任何燃油和易起火的燃油蒸汽都必须去除或者做安全处理；

(7) 试验前，飞机和发动机要接受适航的符合性检查。

4.3 试验装置

试验装置包括：受试飞机、回路导体网络地平面、回路支架、耐高压绝缘垫。试验装置布置图见图1。回路导体网络地平面由金属铝箔组装而成，尺寸由飞机的外形尺寸确定。回路导体网络地平面用于模拟发生闪电附着时，机身与外部环境之间形成的均匀场，回路支架用于支撑构成闪电回路的接地铝箔。试验时，起落架下垫高压绝缘垫，用于飞机与地之间的电隔离，确保闪电通过规定的闪电出点回到回路导体网络地平面。图2为试验的最终装置图。

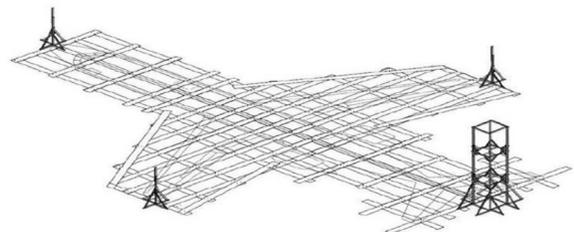


图1 回路导体网络地平面布置图

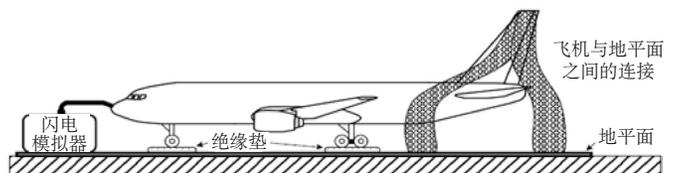


图2 试验最终装置图

回路导体网络地平面的敷设，理想情况应该尽量模拟飞机在飞行过程中遭遇闪电附着后电流在飞机表面的分布情况，电流应尽量均匀地分布在机身上。但是，对于民用飞机，机体较大，模拟闪电电流在机身上均匀分布较为困难。因此，实际应用中一般采用地平面敷设回路导体来模拟外部闪电环境。这将导致飞机底部靠近地平面区域的电流密度比实际状态恶劣，例如：安装于机

翼的导线/系统, 以及安装在E/E舱和前/后货舱的电子/电气系统都属于上述情况。但是, 这种构型同时也将导致位于飞机上部区域内的电流密度比实际要小, 例如: 客舱顶部以及驾驶舱风挡位置都属于此类情况。

4.4 测量的参数及终端处理方法

飞机级闪电间接效应试验典型测量包括: 单根导线的开路电压 (Voc) 测试、单根导线的开路电流 (Isc) 测试, 以及线束电流 (Ibc) 测试。

(1) 开路电压: 测量单根导线到飞机附近地面的感应电压。受试导线的测量端要求开路状态, 可接出一根短的跳线, 便于测量; 其远端要求使用尽量短的低阻抗跳线短接到飞机的金属结构。如果导线外带有屏蔽外套, 需在受试导线两端使用跳线将其短接, 进行接地处理。具体处理方式参考图3(a)。

(2) 短路电流: 受试导线两端都需短接到附近的飞机金属结构, 导线屏蔽外套的处理方式同(1)。测量在单根导线上的感应电流值。具体处理方式参考图3(b)。

(3) 线束电流: 受试线束两端正常与设备相连, 不需要做任何处理。测量在线束上的感应电流值。具体处理方式参考图3(c)。

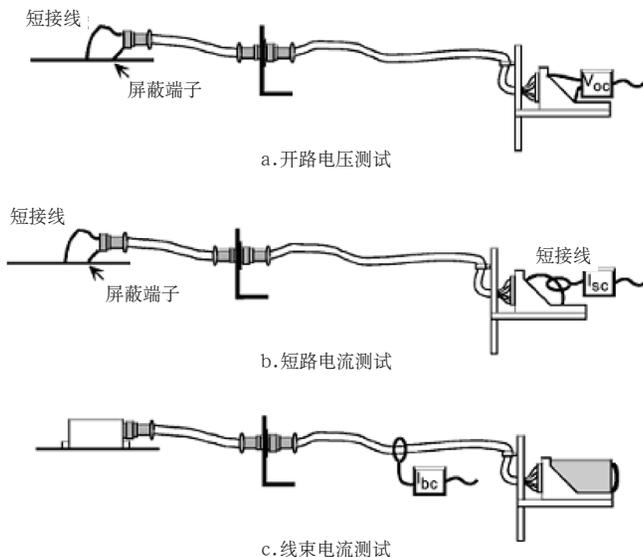


图3 测量布置图

4.5 试验波形

飞机级闪电间接效应试验使用低电平的电流、A波和H波形进行注入, 如: 试验注入信号的电平为标准闪电波形电平的1/100, 因此为了描述真实的闪电环境被测数据, 还需通过波形校正, 并线性外推到实际的闪电环境。

对于A波和H波, 由于信号的物理特性不同, 因此具有不同的校正方法。

(1) A波

对于A波, 外推所考虑的主要因素是注入波形的峰值电流。这主要是由于A波变化速率较慢, 当注入的标准波形通过机身时波形上升沿的变化速率不会产生较大变化, 因此波形校正时只需对波形幅值进行校正。

(2) H波

对于H波, 外推所考虑的主要因素是注入波形的峰值电流和电流变化率。由于H波变化速率非常快, 当注入的标准波形通过机身时, 波形上升沿的变化速率可能会产生一定的变化, 且在波形标定时难以调整到标准波形, 因此波形校正时需考虑波形幅值的不足和波形上升速率的畸变两个因素, 即有两个校正因子: 幅值校正因子和最大上升沿的变化速率 (di/dt) 校正因子。

5 结论

闪电间接效应试验可以有效模拟闪电电流在飞机上的分布, 以及对位于飞机内部的电子/电气设备的影响。通过该试验得到的实际瞬态测试数据可用于表明飞机闪电防护的有效性, 以及设备的余度。

随着复合材料在飞机上使用范围逐渐增加, 对闪电效应的防护要求也在不断提高。后续还需加大闪电间接效应防护试验方面的研究, 分析其耦合机理, 采取有效的措施, 提高飞机系统防闪电效应能力。

参考文献:

- [1] SAE ARP 5412A Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms[s].SAE Aerospace,2005.
- [2] SAE ARP 5413 Certification of Aircraft Electrical/Electronics Systems for the Indirect Effects of Lightning[s]. SAE The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and space international, 1999.
- [3] SAE ARP 5415A User's Manual for Certification of Aircraft Electrical/Electronic Systems for the Indirect Effects of Lightning[s].SAE The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space INTERNATIONAL, 2002.
- [4] SAE ARP 5416 Aircraft Lightning Test Methods[s].SAE Aerospace,2005.
- [5] AC 20-136A protection of aircraft electrical/electronic systems against the indirect effects of lightning[s].AIR-100,2006.

更正

《民用飞机设计与研究》2011年第4期目次中《APU飞机级控制系统设计研究》的第二作者唐红刚应为唐宏刚, 《基于ARINC-618协议的地空数据链技术研究》的第一作者徐建源应为徐见源, 特此更正。

《民用飞机设计与研究》编辑部