

飞机天线罩防雷击设计

刘骏源*

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723000

摘要: 天线罩是用来保护载机天线及雷达系统免受外界影响的透波壳, 天线罩通常采用非金属材料制成, 非金属材料对于金属材料更易受雷击损伤。雷电会对天线罩内设备造成损坏, 具有很大的潜在危险。天线罩采取有效的防雷措施, 保护天线罩内设备不受雷击损坏。本文介绍了飞机天线罩防雷措施、防雷系统设计原理和设计流程、不同类型雷击条的选择、安装技术等, 根据要求进行防雷击测试, 测试结果表明有效的防雷措施可以保护天线罩中天线和设备。

关键词: 雷达天线罩; 雷电防护; 分流条飞机

DOI: <https://doi.org/10.37155/2717-5170-0401-3>

闪电是一种常见的自然现象, 可以释放出巨大的能量。雷电的发现可以追溯到公元前1500年, 商代甲骨文中“雷”字记载。东汉哲学家王冲在其著作《论衡》中首次描述了雷声。美国科学家本杰明·富兰克林(1706-1790)在1850年代首次进行了雷电实验。

雷电对人类飞行来说是危险的, 因为它的性质是高电压和强电流, 具有很强的破坏性。平均每天在大气中发生近800万次闪电, 产生的高压可达1亿伏特, 约2%的闪电电流可达200kA以上。据统计, 平均每3000个飞行小时, 一架商用客机就会遭受雷击, 而战斗机在其生命周期中平均会遭受两次雷击。我国民航局提供的数据显示, 每年约有50起因雷击引起的飞行事故, 其中雷击损坏最严重的是导致雷击的结构件。天线罩就是其中之一。

1 天线罩雷电防护系统设计

1.1 飞机和天线罩雷电分区

对飞机天线罩进行雷电防护设计, 首先要确定天线罩所在区域。飞机雷击区域的划分是雷电直接效应防护的重要步骤。通常天线罩位于飞机雷电防护1区, 1区包含飞机的各端部, 如机头、机翼上短舱前段、机翼和各尾翼尖、机身尾锥, 以及其它重要的飞机外面凸出物, 经验表明, 它们可能是雷电先导的附着点。

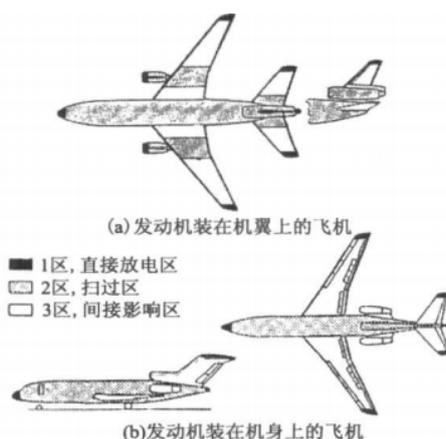


图1 飞机雷电附着区域示意图

1.2 天线罩雷电防护设计原则

位于飞机雷电防护1区的天线罩的防雷设计原则如下: (1) 连接雷击进入点与离开点之间的天线罩表面导电通道应具有多次传输 $200 \pm 20\text{kA}$ 峰值电流和在5ms内传输平均幅值为 $2 \pm 0.2\text{kA}$ 电流, 传导最大载荷量10C电荷能力。(2)

*通讯作者: 刘骏源, 1990.01, 汉族, 男, 湖南衡阳, 陕西飞机工业有限责任公司, 设计员, 工程师, 本科, 研究方向: 飞机雷电防护设计。

防雷系统必须能够可靠运行,有效保护天线罩和天线罩内的电气子设备。闪电击中的是保护天线罩内系统而不是天线罩。(3)防雷系统的使用应考虑天线罩电性能的设计要求,避雷分流条对电磁波的拦截和反射要小,不能引起天线罩电性能降低。避雷分流条与飞机的结构应有良好的电搭接,稳定可靠。(4)选择的雷电防护避雷分流条采用的工艺方法不应破坏天线罩的结构性能。(5)避雷分流条可以牢固的固定在天线罩结构上,防止在飞行过程中受到雨水和雷击电磁力的影响而脱落。(6)天线罩避雷分流条必须考虑适用性和维修方便性。(7)在布置避雷分流条时,应注意避雷分流条应尽可能置于天线电场的低能量区域。根据避雷分流条形状的大小确定分流条的间距、数量和危险着雷区和着雷点。在保证良好防雷性能的前提下,避雷分流条应尽量少和短。在机罩表面布置和安装时,需要考虑设备在机罩内的相对位置,以便合理。(8)考虑经济性和成本。

根据上述设计原理,天线罩采用避雷分流条进行防护设计,天线罩避雷分流条主要分为三种,见表1。

表1 天线罩常用分流条及其比较

分流条种类	安装方法	优点	缺点
纯金属分流条	螺接、胶接、铆接或复合连接	连接紧固,造价低廉,导通性良好,维护费用低,可修理	相对较重,对电性能影响较大,复杂形状,表面安装较为困难
纽扣分流条	结构胶胶接	受形状影响较小,对雷达的电性能影响较小	相对较重,价格昂贵,维护费用较高
金属氧化物分流条	压敏胶胶接	受形状影响最小,重量最轻,对雷达的电性能影响最小	价格昂贵,维护费用最高,需要及时更换

综合考虑对天线罩的电气性能指标、天线罩的形状以及经济性和可维护性的要求,使用纯金属避雷分流条用于天线罩的防雷方案最优,不仅能满足电气性能要求的指标,与纽扣分流条和金属氧化物分流条相比,成本最低,后期维护保养最为简单。当天线罩被雷击时,会通过天线罩上避雷分流带将高幅度的雷电流引导至机身,进而到达机身外层空间^[1]。因此,还必须考虑避雷分流条的电动力和热稳定性特性。当避雷分流条不能满足功率或热稳定性要求时,避雷分流条不能可靠地保护天线罩。好的情况是避雷分流条损坏,增加维护成本,影响正常飞行,最坏的情况是无法保护天线罩。例如,当天线罩在空气中受到大量闪电时,闪电可以打破或击中天线罩,可能会造成飞机部分机载设备失效,严重影响飞行安全。

避雷金属分流条的材质一般为2A12铝和T2铜。铝制金属条更轻,可紧贴天线罩。其熔点低,但电导率仅为IACS的50%(与国际标准铜的电导率相比),铜制金属条密度更高,熔点高,电导率为101.5%IACS,与铝分流条相比,具有更加优良的导电性。相同电导率下,铝制分流条重量约为铜制分流条重量二倍。

2 避雷分流条的安装

避雷分流条安装步骤如图2所示。

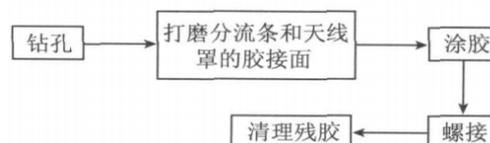


图2 雷电分流条安装步骤图

注意避雷分流条底座与天线罩金属框架的接缝处不能粘胶,否则避雷分流条与框架不能形成良好的电气涂层。安装完成后需测量避雷分流条与罩体金属框架搭接电阻,其搭接电阻不得大于 0.1Ω ,搭接面积不得小于 60mm^2 。

3 试验

天线罩的防雷试验包括雷电电压试验和雷电流试验两个部分。雷电电压测试用于确定避雷分流条的位置和范围,

并验证任何方向的雷击都将落在避雷分流条上而不是落在天线罩上。雷电流测试评估避雷分流条是否能承受雷电流的影响，验证其是否满足防雷安全要求。天线罩雷击区在I区，按照标准要求，雷电压试验波形为电压A波和电压D波，A波正负电压幅值约为1400kV，幅值为约1400kV，D波正电压约500kV，负电压约1300kV^[2]。放电间隙约1m考虑到空间闪电方位的不确定性，选择了几个必要的动作方向。雷击在该地区的不同方向。雷电流测试采用电流分量A和电流分量B组成的复合分量，分量A和B需要进入连续雷击点。雷电流分量的放电距离设置为10mm，A波峰值为200-20kA，B波峰值电流为2kA左右。由于避雷分流条对称分布，分流条1和2进行了3次雷电流测试，分流条3和4进行了1次雷电流测试。天线罩处于实际安装状态，配备模拟天线和收发器。天线罩分流条为1×9mm截面2A12铝带和2×9mm截面铜带。

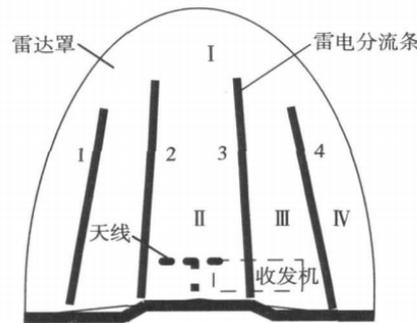


图3 天线罩雷击区域划分图

4 结果和分析讨论

4.1 电性能测试

避雷分流条的宽度是影响天线罩电性能的主要因素。使用9mm宽避雷分流条的天线罩进行电性能测试，平均功率传输系数为89.2%，最小功率传输系数为75.02%，满足天线罩电性能的指标要求。

表2 不同雷电分流条天线罩雷电

分流条种类	分流条编号	试验次数	参数				试验件损伤情况	
			A波电流		B波电流			
			峰值电流 /kA	作用积分 /10 ⁶ A ² S	平均电流 /kA	库仑量 /C		
1×9mm 铝分流条	1	1	30	0.75	1.35	7.4	无异常	
		2	170	1.09	0.83	5.4	分流条碎片状飞散	
		1	184	2.78	2.14	10.9	无异常	
		2	184	2.80	2.07	11.1	无异常	
	1	3	184	2.88	2.14	10.9	根部分流条凸起最高 8mm	
		2×9mm 铜分流条	1	184	2.76	2.07	10.7	无异常
			2	181	2.69	2.0	11.2	无异常
			3	187	2.96	2.17	11.2	分流条轻微变形
3	1		193	5.04	2.0	11.1	分流条根部脱胶	
4	1	197	4.54	2.03	10.1	分流条根部脱胶		

4.2 雷电压试验

按照标准要求,对天线罩的四个区域进行了80多次不同方向的雷击电压试验,雷击全部落在分流条上。试验结果表明,在天线罩上安装4个相距300~600 mm的避雷分流条合理可行,可以满足天线罩的防雷要求。

4.3 雷电流试验

使用截面积为 $1 \times 9\text{mm}$ 的铝制避雷分流条按图3所示安装在天线罩上,在第一次雷电流作用后,发现避雷分流条的截面积过小。当施加外力时,避雷分流条变成金属碎片并散开。天线罩表面有切割痕迹,但无损检测表明天线罩未损坏,说明避雷分流条的初步设计不能承受最严重的雷击,不满足防雷要求。经初步电流测试结果,要满足雷电流测试,铝制避雷分流条截面积需 25mm^2 以上,铜制避雷分流条截面积需 13mm^2 以上。考虑到天线罩电性能因素,分流条的宽度要求保持不变,同时兼顾强度因素和安全裕度,使用铝条厚度需大于 3mm ,使用铜条的厚度只需要 2mm 即可^[3]。避雷分流条太厚,容易变形,天线罩的双曲面很难进行粘拧,所以二次设计把避雷分流条改成了横截面为 $2 \times 9\text{mm}$ 的铜制分流条。安装好分流条后,再次进行雷电流测试,测试结果良好。由此可见,配备 $2 \times 9\text{mm}$ 横截面的铜制分流条的测试结果符合标准要求。雷电流测试结果见表2。

5 结论

(1)使用4根铜制避雷分流条,间距300~600mm。通过胶水和螺丝连接工艺安装的避雷分流条可以满足该类型天线罩的防雷要求和电性能要求;(2)综合考虑天线罩电性能指标、气动外形、重量和工艺施工要求,选择避雷分流条的宽和厚。使用截面积为 18mm 的铜制避雷罩,可以满足飞机雷电防护1区的雷电安全要求,节省天线罩生产成本。

参考文献:

- [1]李亚美.飞机天线罩雷电防护设计仿真研究[D].河北工业大学,2016.
- [2]成玉平.机载毫米波天线罩的设计技术与应用[D].南京理工大学,2019.
- [3]沈伋,吕继淮.飞行器雷达罩设计方法的研究[J].南京航空航天大学学报,2018,(05):594-598.