

飞机空中客舱创口雷电直击耦合概率计算

王耀华, 王亮, 杨小强, 熊伟, 庞敬军, 樊成飞

(解放军理工大学 工程兵工程学院, 南京 210007)

摘要: 计算了飞机客舱后部形成4个110 mm×130 mm大小的创口时雷电直击耦合入飞机客舱内的概率。依据卫星观测的全国1995—2005年平均总闪电密度分布数据, 计算得出在我国雷电密度最大的湛江地区飞行时, 雷电直击耦合到4个创口的概率仅为180万亿分之一。

关键词: 飞机; 闪电密度; 雷击的选择性; 尖端放电; 雷电直击耦合

中图分类号: V321.2⁺28 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)03-0097-03

Coupling Probability Calculation of Lightning Strike through Cuts on Airplane Cabin

WANG Yao-hua, WANG Liang, YANG Xiao-qiang, XIONG Wei, PANG Jing-jun, FAN Cheng-fei

(Engineering Institute of Corps of Engineers, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

Abstract: The probability of lightning strike that couples to airplane cabin through four cuts was calculated, and each size of the cuts in the back of the airplane is 110×130 mm². According to the distribution data of the nationwide average total lightning density by satellite observations from 1995 to 2005, it was calculated that the probability of lightning strike coupling to the four cuts is only about one of 180 trillions when the airplane flies in Zhanjiang region where the lightning density is the biggest in our country. It is not likely to take place in such a small probability.

Key words: airplane; lightning density; lightning strike selectivity; point discharge; lightning strike coupling

雷电是大气对流活动的产物, 是发生于大气中的一种高电压放电现象。按照放电部位分类, 可分为云闪(包括云内闪、云际闪和云空闪)和地闪两大类。雷电作为自然界中影响人类活动的严重灾害之一, 不仅会造成地面的人员伤亡和经济财产损失, 还会给航空航天等行业带来严重威胁。当飞机穿越雷

雨云层飞行时, 雷雨云带有大量电荷, 由于静电感应, 飞机就带上了与雷雨云相反的电荷。此时, 雷雨云与飞机以及它们之间的空气组成了一个已充电的电容器, 雷雨云和飞机分别是这个巨型电容器的正负极板, 当雷雨云与飞机之间的电压高到一定程度的时候, 空气被电离击穿成为了导体, 从而在雷雨云

收稿日期: 2010-09-20

作者简介: 王耀华(1949—), 男, 安徽砀山人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事军用精确爆破研究。

与飞机之间建立了良好的放电通道^[1]。如果此时雷电通过飞机空中客舱创口直击耦合入客舱内,将会给飞机飞行安全带来灾难性后果,因此有必要研究这种耦合的几率有多大。

1 我国闪电密度的时空分布特征

雷电的空间分布特征常用总闪电密度来描述,总闪电密度^[2]是指1 a内单位面积地面和海洋上空发生各类闪电的次数,单位为次/(km²·a)。

图1所示为卫星观测的全国1995—2005年平均总闪电密度分布情况^[2]。全国的总闪电密度平均值为4.2次/(km²·a),其中陆地的闪电密度平均值为4.6次/(km²·a),海洋的闪电密度平均值为3.3次/(km²·a),极大值为34.8次/(km²·a),位于广东省的湛江地区,其次是广州市的30.4次/(km²·a)。就排名来说,广东、广西、海南闪电密度的平均值位居前列,都在11次/(km²·a)以上,其次为贵州、江西、天津、北京和福建,而新疆、西藏和青海则位居最后,新疆仅为1.3次/(km²·a)。

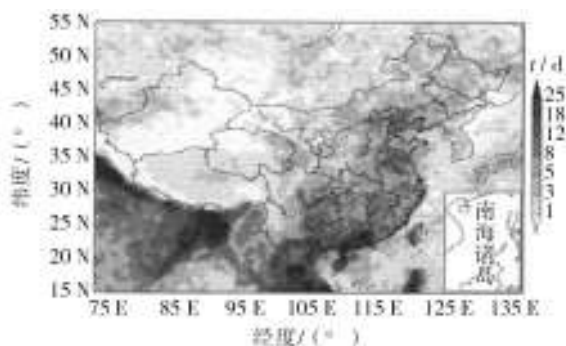


图1 卫星观测的全国1995—2005年平均总闪电密度分布情况
Fig. 1 The distribution of average total lightning density by satellite observations from 1995 to 2005 in China

各地区闪电密度的最大月份多为7,8月,7月最多,占44%,而闪电密度最小月份多在1,12月。闪电密度最大的时刻比较分散,多在午后到夜晚的时段,16:00最多,占22%,闪电密度最小的时刻多在早晨到上午的时段。文中的气象资料来自中国气象科学院。

2 雷击的选择性

对于雷击选择性的机理,国内外学者作了大量

的研究,并给出了影响雷击选择性的一些因素。这些研究发现,电场强度是影响雷击选择性的最主要因素,雷电的先导作用是向电场强度相对最大即电荷最密集的地方发展的。机头、翼端等凸出的尖端部位是飞机上电荷密度最大的部位,从而也成为飞机上最容易遭受雷击的部位^[3]。

尖端放电是一种重要的大气电现象,它是指在强电场作用下,物体尖锐部分发生的放电现象。无论是金属尖端还是树木尖端或水滴、冰晶尖端,其放电性质都是相同的^[4]。

雷电发生时,在雷电形成的强电场作用下,各类物体的尖端曲率大处,电荷较其它地方密集。电荷密度大,物体尖端电荷形成的尖端电场就强,紧贴尖端的小团空气中电力线就密集,电势梯度就大。由于局部电场强度超过气体的电离场强,致使其附近部分气体发生电离和激励,空气被击穿而发生放电。如一个初始带电粒子(不妨假设为电子),在电场作用下由阴极向阳极运动时,将与气体原子(或分子)相互碰撞,当碰撞能量足够大时,会发生碰撞电离,使束缚电子脱离气体原子而成为自由电子,原子分解为正离子和电子,此时空间出现2个电子。这2个电子又分别与2个原子发生碰撞电离,出现4个自由电子,如此链式反应进行下去,类似于电子雪崩,空间中的自由电子将迅速增加,从而在物体尖端处会堆积大量的电荷。

因此,创口形成后会在创口周围残留很多尖锐的金属毛刺,雷电即使打在不容易遭受袭击的创口所在机身客舱部位,也会被诱导到创口周边的金属毛刺上,而不会通过创口耦合入客舱内部。

在飞机遭受雷击的统计试验中,约90%的雷击是打在飞机的机头、翼端等凸出的尖端部位,机身只承受不到10%的直接雷击^[5]。图2为飞机雷击选择部位示意图,由此可以计算雷电直击到创口的概率。

3 雷电直击到创口的概率

雷电直击耦合到创口的概率计算包括3部分:首先计算整个飞机上空在规定时间内15~17 s内发生各类闪电的总次数;其次计算能够直击到飞机机身上的雷电次数;最后计算出雷电直击到客舱创口上空的概率。

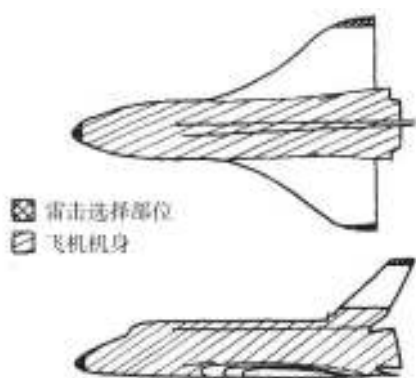


图2 飞机雷击选择部位示意

Fig. 2 The sketch map of lightning strike selectivity area of airplane

某新型涡扇支线飞机^[6-7]的全机长 l_F 为33.463 m,最大客舱宽度 b_F 为3.143 m,机身当量直径 d_F 近似为3.886 m,机翼面积 S_W 为79.86 m²。图3为机身的几何参数示意图。

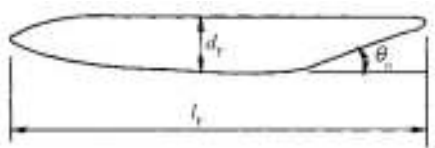


图3 机身的几何参数

Fig. 3 Fuselage geometric parameter

以平行于机身轴的平面切割机身所得到的最大机身截面面积 A_F :

$$A_F = l_F b_F \approx 105.174 \text{ m}^2$$

飞机总面积 A :

$$A = A_F + S_W = 185.034 \text{ m}^2$$

以垂直于机身轴的平面切割机身所得到的最大机身截面面积 S_F :

$$S_F = \pi \left(\frac{d_F}{2} \right)^2 \approx 11.86 \text{ m}^2$$

机身表面的近似总面积^[5] S :

$$S = 2.85 l_F \sqrt{S_F} \approx 328.441 \text{ m}^2$$

创口面积 Q :

$$Q = 5.72 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

创口面积占机身表面总面积的比率 K :

$$K = \frac{Q}{S} \approx 1.559 \times 10^{-4}$$

首先,计算整个飞机上空在规定时间15~17 s

内发生各类闪电的总次数。取最长时间17 s计算,飞机总面积 A 上的空间里,发生各类闪电的总次数为 N_j :

$$N_j \approx 10^{-11} N_s$$

其次,由雷击的选择性可知,直击到飞机机身上的雷电约占出现在整个飞机上空总闪电次数的10%,则17 s内直击到飞机机身上的总闪电次数为 N_c :

$$N_c = 10\% N_j = 10^{-12} N_s$$

最后,由创口面积占机身表面总面积的比率 P ,可求出直击到创口上空的总闪电次数 N_k :

$$N_k = K N_c = 1.559 \times 10^{-16} N_s$$

据此,参照卫星观测的全国1995—2005年平均总闪电密度分布情况,可以推算出创口在17 s内可能遭受雷击的次数。

全国的总闪电密度平均值 N_s 为4.2次/(km²·a),则创口在17 s内可能遭受雷击的次数 N_k 约为 6.548×10^{-16} 次/(km²·a)。

对 N_k 取倒数得近似值 1.5×10^{15} ,从而可知飞机在全国范围内飞行时,每飞行1500万亿次,才能遭遇1次雷电直击到创口上空,即创口遭到雷击的概率为1500万亿分之一。

同理可求得:飞机在我国陆地范围内飞行时,创口遭到雷击的概率为1400万亿分之一;在我国海洋范围内飞行时,创口遭到雷击的概率为1900万亿分之一;在我国雷暴密度最大的湛江地区飞行时,创口遭到雷击的概率为180万亿分之一。

4 结语

通过以上分析可以看到,飞机空中客舱创口上空被雷电直击的概率非常小,在我国雷暴密度最大的湛江地区飞行时,也仅为180万亿分之一,而且1 a中仅7月份的雷电次数就占了全年的44%,如果能够避开七月份试飞,发生雷电直击到创口上空的概率又将减少近一半。

由此可以认为客舱创口在15~17 s的停留时间里,雷电直击耦合入创口的情况微乎其微。

参考文献:

[1] 程小慷. 雷电对飞行的影响[J]. 四川气象, 2002, 22(1):

(下转第103页)



图3 装备内部温度分布

Fig. 3 Equipment temperature distribution

表1 仿真值与试验值

Table 1 Simulation value with the experimental comparison

项目	测点					
	C		A		B	
	温度/°C	RH/%	温度/°C	RH/%	温度/°C	RH/%
仿真值	26.1	49.6	25	58	25.2	60
试验值	27.3	50	26.4	63	25.7	67

经过实验论证,动态除湿过程中的湿度和温度仿真值与测量值基本吻合,但仍然存在一定的误差。存在误差的原因主要是:

1) 在建立物理模型时,为了更方便地建立仿真模型而对封装装备内部进行了大量的简化;

2) 封装装备与外界环境存在热交换,不是严格的密闭隔热环境。

4 结语

1) 提出了装备快速封装技术中传感器配置的

原则与具体实施方法。

2) 应用CFD技术对封装装备整个除湿过程进行了动态仿真,得出在动态除湿过程中温湿度场的分布情况:温度场梯度不大,但是湿度场梯度较大,分布情况较为复杂。

3) 经过仿真研究和实验论证确定了某型封装装甲装备温湿度传感器配置的数目和位置。

对装备快速封装技术中传感器的配置研究方法可推广到其他装备的封装操作中,为进一步研究封装装备状态监测奠定了基础。

参考文献:

- [1] 王浚,黄本诚,万才大,等. 环境模拟技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996:230—231.
- [2] 郑铁军,张会奇,孟凡金. 湿热环境下装甲装备封存方法应用研究[J]. 装备环境工程,2010,7(4):95—96.
- [3] YI Jiang, CHEN Qingyan. Study of Natural Ventilation in Buildings by Large Eddy Simulation[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001, 35(89): 1155—1178.
- [4] 王瑞金. FLUENT技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [5] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社,2001:342—345.

(上接第99页)

37—39.

- [2] 马明,吕伟涛,张义军,等. 中国雷活动特征分析[J]. 气象科技,2007,35(9):1—7.
- [3] 杨光,张九营. 从雷击的选择性谈雷电防御[J]. 气象与环境科学,2008,31(9):202—204.
- [4] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2003.

- [5] 潘忠林. 现代防雷技术[M]. 成都:电子科技大学出版社,1997.
- [6] GB/T 14410.6—93,飞行力学概念、量和符号 飞机几何形状[S].
- [7] 苏青. 2007年中国重大科学技术与进展[J]. 科技导报,2008,26(1):19—27.