

直 9 直升机机载数据传输电缆电磁耦合分析

鹿泽伦¹, 郝 钢², 于水游¹

(1. 总参陆航部军代局驻天津地区军代室, 天津 300000;

2. 总参陆航部军代局驻北京地区军代室, 北京 100000)

[摘要] 通过对数据传输电缆的仿真分析计算, 得到了传输信号频率、电缆回路之间的距离与电磁耦合之间的关系。对于直 9 系列直升机中数据传输电缆的物理模型计算结果表明, 感应电压会在传输频率为 75MHz 时达到最大值, 线间距离为 1.5mm 时具有最小值。分析结果为直 9 系列直升机 / 飞机机载数据电缆的布线优化和电磁兼容改进设计提供一定参考依据。

关键词: 直 9 系列直升机; 机载数据传输电缆; 电磁耦合; 仿真分析

Electromagnetic Coupling Analyzing of Airborne Data Transmission Cables of Z9 Helicopter

LU Zelun¹, HAO Gang², YU Shuiyou¹

(1. Tianjin Office, Military Representative Bureau, Arm Aviation Department of PLA GSD, Tianjin 300000, China;

2. Beijing Office, Military Representative Bureau, Arm Aviation Department of PLA GSD, Beijing 100000, China)

[ABSTRACT] Through the calculation and simulation analysis of the airborne data transmission cable, we get the relation of the frequency of excitation signal and the distance between the cable loops. The physical model calculation results of Z9 series helicopter data cable show that the induction voltage is maximum when the frequency is 75MHz, and the induction voltage is minimum when the distance between lines is 1.5mm. The result could provide a certain reference value for optimization of sensitive data transmission cable and improve electromagnetic compatibility design of Z9 series helicopter or aircraft.

Keywords: Z9 series helicopter; Airborne data transmission cable; Electromagnetic coupling; Simulation analysis

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.03.074

从 21 世纪 80 年代初至今, 直 9 系列直升机经历了引进专利生产、国产化和改进改型 3 个阶段的发展。1992 年完成了国产化后, 为满足多种需求, 特别是国防建设的需要, 以直 9 国产化直升机为平台, 开发了直 9 舰载型、侦察型、武装型等 10 余种军事或准军事用途的系列直升机, 大大拓宽了该系列直升机的用途^[1]。直 9 直升机的国产化成功奠定了我国直升机工业发展的基础, 成为我国直升机自主发展改进改型的立足点^[2]。

随着不断的改进改型, 直 9 直升机机载电子设备种类和数量不断增多, 射频设备种类变化较大, 产生了很多电磁兼容问题^[3]。直升机电磁兼容的设计与控制发展方向是“预测分析法”^[4-6]。系统和设备设计和研制的过程中, 采用合理的数值仿真计算方法, 根据电路布局以及设备的特性、天线布置方式等直升机内的电磁耦合现象进行预测和分析, 为试验验证和工程应用提供了依据^[7-8]。本文根据直 9 系列直升机的电磁环境特点, 研

究其机载数据传输电缆的电磁耦合特性, 重点分析传输信号频率、电缆回路之间的距离及屏蔽与电磁耦合之间的关系, 经过仿真计算, 提出优化的布线方式。

1 仿真模型的建立

由于直 9 系列直升机机载数据传输电缆上的电场分布在纵向上是均匀分布的^[9], 因此电缆端口的电场分布可以反映电缆的电磁特性。根据直 9 系列直升机机载数据线缆的物理参数, 建立二维的数据线电缆端口模型进行分析计算。实体模型参数在 Ansoft Maxwell 中利用基本绘制工具建立数据传输电缆端口和金属屏蔽层截面的模型^[10]。由于本仿真要分析金属屏蔽对数据传输电缆之间电磁兼容的影响, 因此先建立两条并行数据传输电缆端口模型, 分析计算后在该基础上再建立金属屏蔽层。数据传输电缆端口模型各部分尺寸及材料的基本参数如表 1 所示。

表1 模型相关尺寸及材质的相关参数

结构	半径 / mm	材料	材料	相对介电常数	体积电导率 / ($S \cdot m^{-1}$)	介质损耗因子
线芯	1	铜	铜	1	5.8×10^7	0
内绝缘层	1.2	PE	聚乙烯	2.3	1×10^{-6}	0.0005
外绝缘层	1.6	PVC	聚氯乙烯	3	1×10^{-8}	0.01

按照以上尺寸,建立好的模型如图1所示。在建立好的模型的基础上,根据有限元计算分析的要求^[11],对模型进行网格的剖分。根据电磁场理论可知,电磁场的求解就是麦克斯韦方程组的求解,为了保证麦克斯韦方程的有效性,需要假设场矢量是单值、有界且在空间沿其导数方向连续。因此,合理的边界条件是计算进行和准确性的前提条件。本仿真使用的是 Ansoft Maxwell 中的交变电场求解器,在交变电场条件下包括默认边界条件(Default Boundary Conditions)、狄利克莱边界条件(Vector Potential Boundary)、对称边界条件(Symmetry Boundary)、无穷远边界条件(Balloon Boundary)和主从边界条件(Master/Slave Boundary)。由于直9系列直升机的机载数据传输总线的位置相对独立,以尽量避免其他设备的干扰电磁,所以本仿真采用无穷远边界条件。

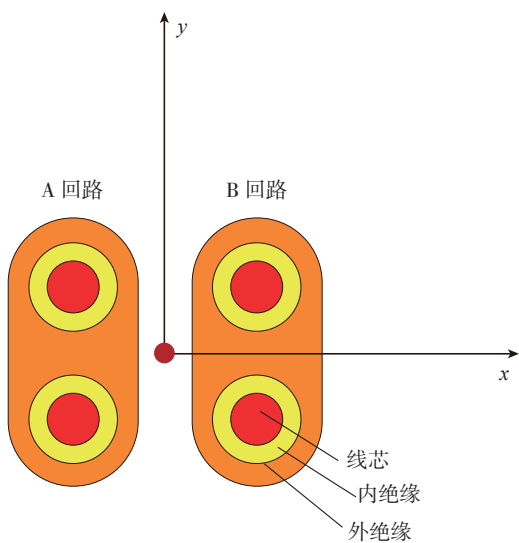


图1 数据传输电缆模型

Fig.1 Model of data transmission cable

2 仿真结果分析

对直9系列直升机机载数据传输电缆之间的电磁耦合,可以使用感应电压的大小来表征。激励信号的频率、电缆之间的距离等因素,都会影响数据传输电缆中的感应电压。仿真计算首先假设两根数据传输电缆处于真空中,相接处平面为理想的绝缘平面、理想的电场

边界条件。对未加装金属屏蔽层的模型进行仿真计算。对负载回路的两根电缆的导电线芯加载幅值相同、相位相差 180° 的交变电压激励。通过设置合理的计算条件,对模型中非负载电缆的感应电压进行计算,计算后可得电感应分布云图,如图2所示。可见加载交流电压激励的电缆回路对未加载电压的电缆回路有电场的耦合作用,这个电场的耦合作用可能会干扰电缆中正常信号的传输。

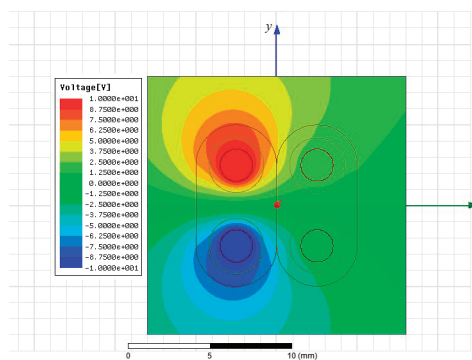


图2 电缆端口电场分布

Fig.2 Electric field distribution of cable port

2.1 频率对感应电压的影响

直9系列直升机的机载数据传输电缆工作频率在 $1 \sim 100$ MHz 之间,所以仿真过程中首先使两根数据传输电缆平行相邻,选择 1MHz, 10MHz, 20MHz, ..., 100MHz 及 75MHz 这几个频率对非负载电缆中感应电压进行计算,输入信号频率与感应电压的关系如图3所示。

由图3可见,感应电压在 $70 \sim 80$ MHz 之间到达最大。这是由于高频传输的电缆具有天线的辐射特性。天线能够定向辐射和接收电磁能量,是由于时变的电流和被加速的电荷都可以产生辐射,辐射产生的电磁能量能够在空间中传播^[12],被外界导体所接收。数据总线传输电缆在高频传输时,会对外辐射能量,这个能量可以被外

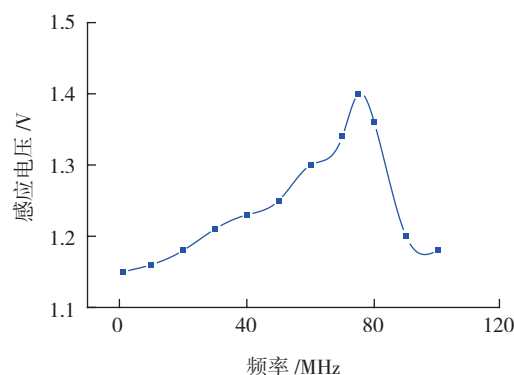


图3 传输频率与感应电压的关系

Fig.3 Relation between frequency of the signal transmission and induced voltage intensity

界的导体设备接收,与对称振子天线的某些辐射特性具有相似性。

在对称振子天线理论中,当天线的金属导体的长度等于传输和接收的电磁波波长的 1/4 时,天线的接收和发射效率达到最高。当输入信号的频率为 75MHz 时,波长为 4m,由于仿真过程中材料参数的设定都是单位长度 1m 的标准,所以相当于波长的 1/4,因此数据传输电缆在 75MHz 的频率下的发射和接收效率最大。在仿真试验的条件下,对称振子天线的相关理论可以解释感应电场强度的大小与输入信号频率变化之间的关系。

2.2 线间距离对感应电压的影响

加载激励的电缆发射的电磁波在空间传播过程中会有能量的损耗,若增大电缆回路之间的距离,可以减小电磁耦合干扰。直 9 系列直升机机载数据传输总线的长度在 1~1.5m 之间,所以本文选择 60MHz 的传输频率计算电缆回路之间距离改变时的电磁耦合情况。由于直升机上的空间有限,所以不可能无限增大数据传输电缆之间的距离。本文仿真根据直 9 系列直升机的机载数据传输电缆的空间要求,选择两根电缆之间距离为 0.5mm, 1mm, 1.5mm, ..., 4mm, 计算未加载激励电缆回路的感应电压。可得到如图 4 所示的电缆之间距离与感应电压强度之间的关系。可见随着电缆回路之间的距离增加,感应电压成减小的趋势,在距离为 1.5mm 时感应电压减小明显。

本文仿真的机载数据传输总线电缆、负载激励信号的电缆回路与非负载电缆回路构成幻路,幻路中电磁波的传输也有衰减特性^[13]。当两个数据传输总线电缆之间的距离为 1.5mm 时,两根电缆的导电线芯间的中心距离与导体线芯直径之比接近 2.3,衰减比较小,所以在未加载激励中耦合的能量也比较小,表现为感应电压的减小。

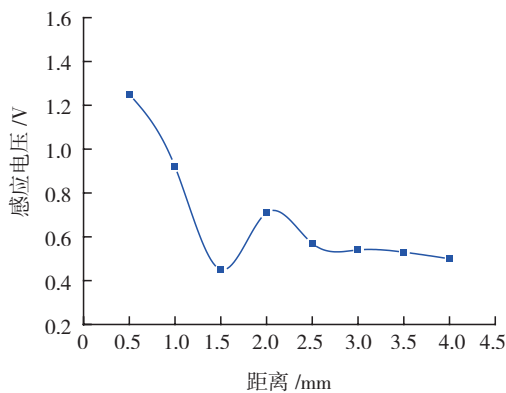


图4 电缆之间距离与感应电压之间的关系

Fig.4 Relation between distance of cables and induced voltage intensity

3 结束语

通过对数据传输电缆的仿真分析,得到了传输频率、线间距离对未加载回路中感应电压的影响。对于文中计算的物理模型,感应电压会在 75MHz 时达到最大值,在线间距离为 1.5mm 时达到最小值。研究的结果对相关类型直升机机载数据传输电缆的电磁兼容性性能的控制具有一定指导意义。

参考文献

- [1] NIGEL J C. The past, present and future challenges of aircraft EMC[J]. Ieee Electromagnetic Compatibility Magazine, 2012;1(1):75-78.
- [2] 鹿泽伦,张然,李基堂. 直-9 系列直升机典型电磁兼容问题改进措施[J]. 电子世界, 2014(11): 97.
- [3] LU Zelin, ZHANG Ran, LI Jitang. Improvement measures for typical electromagnetic compatibility of Z-9 series helicopter[J]. Electronics World, 2014(11): 97.
- [4] ARCHAMBEAULT B. Concerns and approaches for accurate emc simulation validation[J]. Sym. of EMC, 2003, 16(6):329-334.
- [5] 苏东林,雷军,王冰切. 系统电磁兼容技术综述与展望[J]. 宇航计测技术, 2007, 27(1): 34-38.
- [6] SU Donglin, LEI Jun, WANG Bingqie. Review and perspective of system-level EMC technologies[J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2007, 27(1): 34-38.
- [7] MOORE G. Development, implementation and management of a system level EMC design mitigation plan[C]//2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Atlanta: IEEE, 2003, 1:173-176.
- [8] 蒋倩,侯志霞,梁雪梅,等. 大型飞机大部件数字化对接计算机仿真技术[J]. 航空制造技术, 2013(22): 87-89.
- [9] JIANG Qian, HOU Zhixia, LIANG Xuemei, et al. Computer simulation technology of digital alignment of large size aircraft large part[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(22): 87-89.
- [10] 赵刚,李国成. 舰船电磁兼容设计与仿真发展对策研究[J]. 舰船电子工程, 2007, 27(2): 9-12.
- [11] ZHAO Gang, LI Guocheng. Development countermeasure investigation of EMC design and simulation for ships[J]. Ship Electronic Engineering, 2007, 27(2): 9-12.
- [12] 王希豹. 某型飞机无线电系统低频接地设计的改进[J]. 航空制造技术, 2002(11):71-72.
- [13] WANG Xibao. Improvement on the design of low frequency grounding for helicopter avionics system[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2002(11):71-72.
- [14] BRUNS H D, SINGER H L. Validation of MoM simulation results[C]//2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Atlanta: IEEE, 2003: 317-322.
- [15] PARMANTIER J P. Numerical coupling models for complex systems and results[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2004, 46(3):359-367.
- [16] SUN L, NIE J H, WU F J. Study on conducted EMI

(下转第84页)