

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.02.014

# 基于 CST 软件仿真的线束隔离研究

## Research on Wire Harness Separation Based on CST Simulation

刘岩东 刘 洋 / LIU Yandong LIU Yang

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110000)

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company, Shenyang 110000, China)

### 摘 要:

在民用飞机电气线路互联系统(EWIS)设计中,通过物理隔离防止电弧和电磁干扰(EMI)是适航审定的重要内容。以隔离距离为研究对象,基于电磁仿真软件 CST,构建多种模型,对不同类型线缆间、不同信号线路进行了仿真,证明了物理隔离不但是防止电弧产生的有效方式,而且能够极大地降低电磁干扰,同时使用屏蔽线缆和多芯扭绞等防护方法,也是降低电磁干扰的有效措施。

**关键词:** 电气线路互联系统(EWIS); 仿真; 隔离; 电磁干扰(EMI)

**中图分类号:** V219

**文献标识码:** A

[ **Abstract** ] The prevention of arc and electromagnetic interference(EMI) through physical separation is an important issue during the process of electrical wiring interconnection system(EWIS) design for commercial aircraft. Based on CST, this article sets up different types of the electromagnetic interference and simulates the types of cables and the electromagnetic interference between different signals through physical separation space. It is proved that physical separation can not only prevent the arc but also reduce the EMI. Using shielded and multi twisted cable can reduce EMI effectively.

[ **Keywords** ] electrical wiring interconnection system(EWIS); simulation; separation; electromagnetic interference (EMI)

## 0 引言

因电气线路故障导致了一些严重的飞行事故的发生, FAA (Federal Aviation Administration) 于 2007 年年底通过了 25-123 号修正案做出的更改,在 FAR-25 中增加 H 分部。EWIS 是“电气线路互联系统”的简称<sup>[1]</sup>,以此为所有新机型的 EWIS 适航审定提出了明确的要求<sup>[2]</sup>,其中通过隔离等方式防止电弧和电磁干扰是重要的适航审定内容<sup>[3]</sup>。

在飞机设计前期确定线束隔离代码及隔离规范是 EWIS 设计的基础,即按照导线所承载的电流强度和信号敏感强度将其分为不同种类,按照一定的规则进行成束综合设计,相同信号类型的导线可以绑扎为一束,而不同类别的导线必须按照一定的距离敷设。同时,根据机上不同的使用环境,使用

同轴电缆、屏蔽电缆或扭绞电缆来减少电磁干扰。由于线束与线束、线束与机体结构之间有了足够的物理隔离,也在一定程度上防止了电弧发生。因此,建立合理的线束敷设的隔离规范,不但可以减小电磁干扰,也是预防电弧的一项重要方式。

在国内民用飞机 EWIS 设计和适航取证过程中,线束隔离距离缺少足够的实际运营数据,因此有必要通过理论分析和仿真模拟,建立 EWIS 线缆间电磁干扰的量化模型,计算不同条件下线缆间的电磁干扰强度,从而达到设置合理隔离距离及通过增加适当屏蔽防护解决问题的目的。

## 1 隔离距离仿真

### 1.1 CST 软件

CST 软件是以 MWS-Microwave Studio 为核心,

在 Mafia 软件基础上推出的三维高频电磁场仿真软件。其电磁仿真平台不但能够对孤立器件进行优化,还能够在全局层面上对整个系统的各个部件进行协同优化设计,形成全新的系统组合仿真技术,它将复杂的电磁系统分解为简单系统,并采用最优的电磁或电路算法进行快速精确地仿真,从而对整个系统进行高效的优化设计。

本研究采用多导体传输线法进行仿真分析,在传输线上只传输横电磁波为假设条件,应用多导体传输线方程,模拟传输线的分布参数对导线上传输的信号的影响,从而计算出串扰的结果。该分析模型求解步骤相对简单,易于计算机实现,得到的结果也较为精确。

### 1.2 构建模型

共地平行线缆如图 1 所示,有干扰源的称为发射线缆,受影响的称为接收线缆。线缆长度为  $l$ ,线缆间距为  $d$ ,线缆距地板高度为  $h$ 。发射线缆一端接激励源  $E_s$ ,另一端接负载  $Z_L$ ;接收线缆两端都接负载  $Z_L$ 。

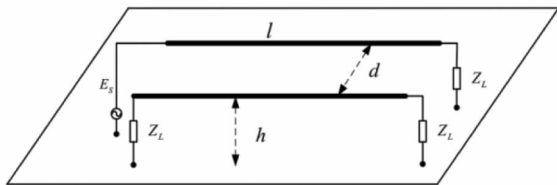


图 1 平行共地线缆示意图

依据实际工程中大量使用的 MIL-W-22759 导线规范,在软件数据库中生成仿真所需的 AWG8 以及 AWG24 线规的导线,满足 NEMA WC27500 规范的 24 线规单芯屏蔽电缆、双绞绞电缆以及屏蔽双绞绞电缆等。

取线缆下模拟地的铝板长 2 m、宽 0.4 m、厚度 5 mm,发射线缆为 AWG8 的单芯非屏蔽导线,接收线缆为 AWG24 的单芯非屏蔽导线、双芯扭绞及单芯屏蔽导线,导线长度  $l$  均为 1 m,距地板高度  $h$  为 10 mm,负载特性阻抗  $Z_L$  为 10  $\Omega$ 。图 2 所示正弦交流电激励信号,频率为 400 Hz,电压幅度为 115 V。

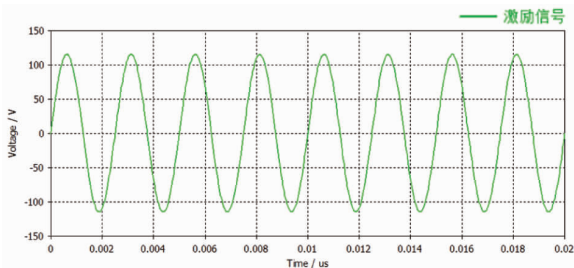


图 2 正弦交流电激励信号

### 1.3 三种构型的仿真

以 AWG8 的单芯非屏蔽导线为发射线缆,分别以 AWG24 单线芯非屏蔽线缆、AWG24 双扭绞非屏蔽线缆和 AWG24 单芯屏蔽线缆为接收端,取间距  $d$  分别为 2 in(1 in = 2.54 cm)和 4in 时,接收线缆上串扰电压值随线缆间距变化曲线如图 3 和图 4 所示。

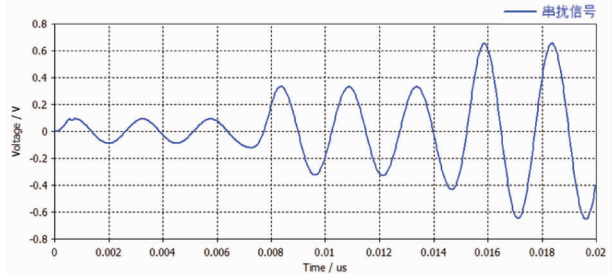


图 3 线缆间距 2 in 时接收线缆串扰信号

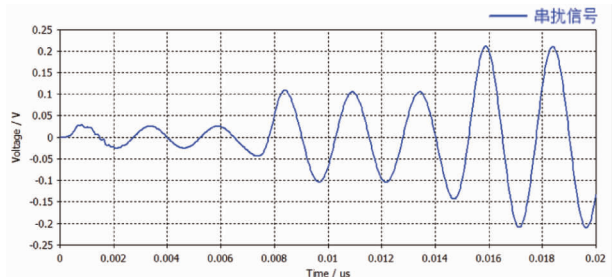


图 4 线缆间距 4 in 时接收线缆串扰信号

保持发射端线缆设置不变,间距  $d$  取为 4in,分别以 AWG24 双芯扭绞和 AWG24 单芯屏蔽线缆为接收端,所得信号值及前述信号值见表 1。

表 1 三种构型仿真串扰结果

间距	AWG24 单线芯非屏蔽	AWG24 双芯扭绞	AWG24 单芯屏蔽
2in	0.621 V		
4in	0.211 V	0.009 V	0.001 25 V

从以上结果能够得出:

- 1) 相同发射、接受条件下,距离能够降低串扰影响,如表中的 0.621 V 降为 0.211 V;
- 2) 同距离条件下,双芯扭绞形式导线可以大幅降低串扰影响,如 0.211 V 降为 0.009 V;
- 3) 同距离条件下,屏蔽形式导线可以几何量级降低串扰影响,如 0.211 V 降为 0.001 25 V,当系统对线缆的要求进一步提高,单芯导线和双扭绞导线不能满足所需指标时,可以选择采用屏蔽导线。屏蔽导线是具有高效屏蔽效能的传输线,不仅能有效抑制对传输线路的串扰,也能够降低线缆内部传输的信号对周围的电磁干扰。

## 2 典型 EWIS 隔离规范定义

EWIS 隔离规范通常指如何按一定的规则区分承载机上系统电源、信号的线路,定义线路隔离代码,以此将这些线路设计成线束,同时各种线束之间必须保持一定的隔离距离进行敷设,以防止 EMC 干扰和电弧的产生。如 HB6524-91 规定将线路按照信号分为 I ~ VI 类线路<sup>[4]</sup>,但经过 20 多年的发展,此规定对于现代民用飞机的设计具有一定的局限性。本研究对某型飞机线路特性和功能进行具体分析,按照系统的功能、EMC 特性和冗余特性提出了一种新型隔离规范,具体定义如下:

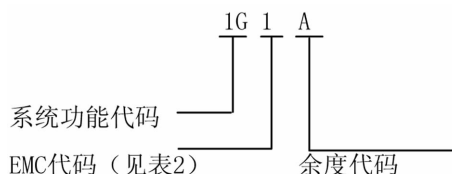


图 5 典型隔离规范定义

不同系统功能代码、冗余的线束,按照其系统本身特点,具有专门的物理隔离要求,其要求与 EMC 代码共同决定了线束的隔离,一般选择数值要求大的为实际规定要求。本文不讨论系统功能及冗余代码对隔离的影响。

表 2 电磁兼容代码定义

EMC 代码	定义	备注
1	电气设备电源线	电源与电气负载之间的布线,包括: (1)在电源和电气负载之间传输 115 V/200 V, 400 Hz 单相或三相交流电的布线; (2)在电气负载传输 36 V 交流或 28 V 直流电的布线
2	电子设备电源线	属于电子负载和仪表负载与电源之间的布线,包括: (1)向电子和仪表负载传输 36 V 交流和 28 V 直流电的布线; (2)传输 5 KV 以内的二次直流电压的布线
3	低电平敏感线	指敏感设备所使用的电线电缆组成的敏感电路,该类线包括: (1)模拟信号电路,音频和视频电路,灵敏度控制电路,音量控制电路等; (2)自整角机的全部信号电路及桥式电路; (3)低电平数字输入电路; (4)低电平调解电路
4	隔离线	指天线同轴电缆和飞行功能部件电缆,传输设备与天线之间的功能信号或者作为连接飞行所必须的特殊电气功能部件的电缆

不同 EMC 代码之间的隔离距离如表 3 所示。

表 3 EMC 代码隔离距离(单位:in)

EMC 代码	1	2	3	4
1	-			
2	6	-		
3	6	3	-	
4	6	3	3	-

## 3 隔离距离规范的仿真验证

每条接收线缆上的串扰值都是其他发射线缆共同作用的结果,即多对一耦合,因此需要对每条发射线缆在干扰线缆上产生的耦合电压进行叠加。叠加是分析串扰的一个重要原则。假设当接收线缆上的电压为 0 V 时,5 V 的方波差分信号在接收线缆上产生的串扰噪声电压为 300 mV。当接收线缆传输 5 V 的方波差分信号时,其上产生的串扰噪声电压仍为 300 mV,此时接收线缆上的总电压为原有的信号和串扰信号电压之和。如果有多条发射线缆将噪声耦合到同一条接收线缆上,则接收线缆上的总串扰电压为所有串扰电压之和。

依托所建立仿真分析方法,结合项目中 EWIS 布线设计在 EMC 方面分类,可针对每个 EMC 分类,各选用一种代表性信号,进行隔离距离验证。根据对不同 EMC 信号的定义,选取适当的典型信号及线缆规格,如表 4 所示。

表 4 信号及线规选取

EMC 代码	典型信号	线缆规格
1	115 V, 400 Hz, 11.5 A	8AWG 单芯导线
2	36 V, 400 Hz, 3.6 A	12AWG 单芯导线
3	5 V, 方波差分信号	24AWG 屏蔽双扭绞
4	20 V, 3 MHz, 三角波	RG58 同轴电缆

依据表 4 中对信号属性及表 3 中对 EMC 隔离的要求,每组仿真选用高发射功率和接受敏感的 EMC 代码分别作为接收线缆和发射线缆,以 6 in 为距离进行仿真验证,结果见表 5。

表 5 分组仿真结果

发射端	接收端 3	接收端 3	接收端 4	接收端 4
发射端 1	0.011 V		0.004 8 V	
发射端 2		0.008 V		0.002 4 V

从仿真结果可以得出:

1) 1类对3类线的串扰电压最大幅值为0.011 V,表明该敏感线路系统允许的串扰值应大于0.011 V,否则应采用加大距离、使用屏蔽等防护措施;

2) 2类对3类的串扰电压最大幅值0.008 V,表明该敏感线路系统允许的串扰值应大于0.008 V,否则应采用加大距离、使用屏蔽等防护措施;

3) 1类信号对4类线的串扰电压最大幅值为0.004 8 V,表明该线路系统允许的串扰值应大于0.004 8 V,否则应采用加大距离、使用屏蔽等防护措施;

4) 2类信号对4类线的串扰电压最大幅值为0.002 4 V,表明该线路系统允许的串扰值应大于0.002 4 V,否则应采用加大距离、使用屏蔽等防护措施。

## 4 结论

经过非屏蔽导线平行线缆间、双扭绞导线平行线缆和屏蔽导线串扰仿真,以及承载不同 EMC 信号线路隔离距离的验证,可以得出以下结论:

1) 距离对于平行线缆的串扰影响非常大,随间距减小,干扰影响程度急剧上升;

2) 使用扭绞和屏蔽保护材料是减少线缆串扰影响的有效措施;

3) 不同 EMC 信号线路的隔离距离能够在很大程度上影响系统的工作,如果系统本身允许的范围小于干扰值,应采取增大隔离距离、使用屏蔽或扭绞等措施进行保护。

在实际设计中,可以采用此原则进行初步隔离设计,对民用飞机的 EWIS 设计具有一定的参考意义。

### 参考文献:

- [1] 中国民用航空总局. 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4-2010[S]. 2010.
- [2] 刘岩东. EWIS 设计中的适航要求分析[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2013, 30(4): 23-27.
- [3] Federal Aviation Administration. Certification of electrical wiring interconnection systems on transport category airplanes: AC25. 1701-1-2007[S]. US: 2007.
- [4] 中华人民共和国航空航天工业部. 飞机电线、电缆电磁兼容性分类及布线要求: HB6524-91 [S]. 北京, 1991.

### 作者简介

刘岩东 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用飞机电气设计; E-mail: liu.yandong@sacc.com.cn

刘洋 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用飞机电气设计; E-mail: liu.yang3@sacc.com.cn