

# 飞行控制装备电磁干扰机理及防护研究

刘述民, 张勇强, 王全顺, 董国强, 和可月

(空军石家庄飞行学院, 石家庄 050081)

**摘要:** 在复杂电磁环境下, 飞行装备很容易受到电磁脉冲的干扰而偏离航线或坠毁。为了增加其抗干扰能力, 利用超宽带干扰源对飞行控制装备进行了强电磁脉冲效应试验。根据试验结果并利用电路检测和模拟仿真等办法, 得出了电磁脉冲干扰的作用机理, 共模电流和差模电压共同作用下使控制箱产生了令飞行器坠毁的畸变控制指令。针对干扰机理, 对飞行控制装备提出了“软硬”相结合的电磁防护措施。

**关键词:** 飞行器; 复杂电磁环境; 电磁干扰; 防护

**中图分类号:** O441.4; V216.5<sup>+</sup>7      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)06-0017-04

## Research on Electromagnetic Interference and Protection of Flight Control Equipment

LIU Shu-min, ZHANG Yong-qiang, WANG Quan-shun, DONG Guo-qiang, HE Ke-yue

(Shijiazhuang Flying College of the Air Force, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** Under complex electromagnetic environment, flight equipment is likely to be disturbed by electromagnetic pulses, which causes flight route deviation or crash. In order to increase its immunity to electromagnetic pulses, the effect experiment of electromagnetic pulse on flight control equipment was carried out by UWS-HPM. Using the method of circuit check and analog simulation, the action mechanism of electromagnetic interference was drawn by experimental result. Under common-mode current and difference-mode voltage combined action, the control box deliver distorted control instruction that can make aircraft to crash. Aiming to the interference mechanism, the protection methods of flight control equipment was proposed by software and hardware combination.

**Key words:** aircraft; complicated electromagnetic environment; electromagnetic interference; protection

随着高科技在军事领域的广泛应用, 各种军用电磁辐射体以及电磁脉冲武器大量涌向战场, 使得现代战场的电磁环境日益复杂、多变、恶劣<sup>[1-2]</sup>。飞行装备由于具有大量的电子元件和微电子器件, 很

容易受到电磁脉冲的干扰。在电磁脉冲的干扰作用下, 飞行装备就会偏离航线或发生坠毁现象<sup>[3-4]</sup>。为了对飞行装备进行电磁防护, 首先需要研究飞行装备的电磁干扰机理。因此, 以某型飞行装备为研究

收稿日期: 2012-08-14

作者简介: 刘述民(1963—), 男, 河南原阳人, 硕士, 特级飞行员, 研究方向为飞行教育理论。

对象,通过分析电磁干扰的机理,来解决飞行装备电磁防护的问题。

### 1 装备的电磁环境效应

为了体现飞行装备在复杂电磁环境下强电磁脉冲(EMP)的干扰效应,以某型装备为研究对象,在模拟飞行的状态下进行了装备电磁脉冲效应研究,实验方法如图1所示。采用超宽带作为电磁脉冲干扰源,试验过程中,在强电磁脉冲的干扰下,该型飞行装备控制波形发生了畸变。由于该控制波形是在屏蔽室内的控制箱中产生,可以得知EMP是通过控制线进入控制箱中。飞行装备主要依赖控制指令进行飞行,一旦控制指令在复杂电磁环境中受到干扰产生错误,飞行装备就有坠毁的危险。

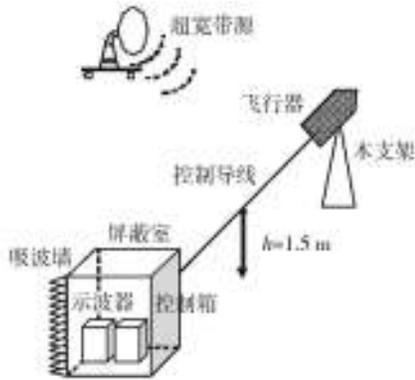


图1 装备电磁干扰实验方法  
Fig. 1 Equipment set in interference test

### 2 装备控制箱干扰机理

在EMP作用下,线缆上会产生共模电流和差模电压,线缆末端控制箱中的电路也主要由这两种干扰发生作用。

1) 共模电流的干扰作用。为了研究EMP对控制箱的干扰机理,对控制箱的电路结构进行分析。由于EMP主要由控制线引入控制箱中,因此首先查看与控制线相连的信号接口处理板中的输入单元。回输信号处理电路如图2所示,控制线连接在a1, a2和a3上。从图2中可以看出,与控制线相连的各输入电路中都有一个光电耦合器件,加装这个光耦器件是对EMP起隔离作用(特别是共模电流),使得干

扰信号无法影响控制箱内部电路的正常工作。然而,从印刷电路板(PCB)布线结构上看,就会发现问题所在,如图3所示。与控制线相连的光电耦合器件在设计时被布置到电路板的中后部,使得与光电耦合器件输入端相连的印刷线(即控制线的末端)同后级电路的印刷导线相邻且并排铺设。这种结构在传输低频信号时,线间串扰效应不明显,光耦器件可以发挥作用。当输入信号叠加高频干扰时,相邻的印刷线间存在较大的分布电容和分布电感;当与控制线相连的印刷线在传递夹杂高频干扰的信号时,高频干扰(主要指共模电流)就会“绕过”光耦器件,通过串扰效应进入其它后级电路中,对后级敏感电路产生影响,致使光耦器件失去了隔离干扰的作用。印刷线串扰模型如图4所示<sup>[5]</sup>。



图2 回输信号处理电路  
Fig. 2 Diagram of feedback signal processing circuit

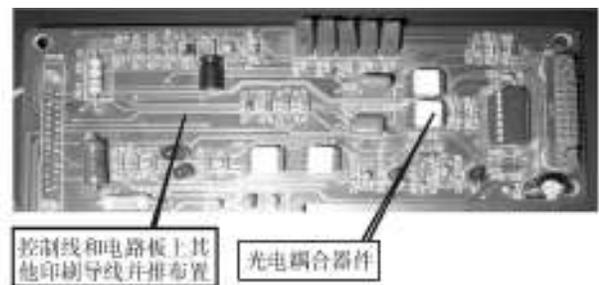


图3 回输信号处理实际电路板  
Fig. 3 Circuit board of feedback signal processing

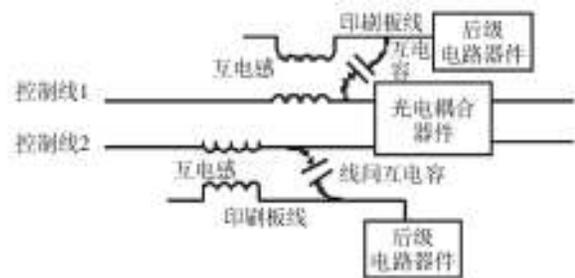


图4 印刷线串扰模型  
Fig. 4 Crosstalk model in printed panel

控制箱是以单片机为核心的专用微机系统,其主机板除温度补偿电路外均为数字电路,有CPU、串口通讯、A/D模数转换、RAM芯片、定时器、锁存器和触发器等模块。当CPU内部复位电路信号线上有干扰信号或RST脚上存在干扰信号时,这种干扰会被误认为是复位信号,而使系统重新启动;模拟输入端上迭加有干扰信号、CPU读入了数据线上带有干扰信号的错误数据、强干扰使A/D工作异常都可能导致A/D转换严重偏离正常值;干扰使串口控制寄存器发送或接收的内容发生改变等,可能引起接收数据和发送数据不一致,从而使通讯出错;硬件RAM芯片被干扰可导致RAM内容被改写;由于干扰或其它原因使控制箱内主程序陷入死循环中,就可能导致死机;锁存器等也是敏感器件,当其受干扰引起存储数据改变时,可能导致工作紊乱;信号接口处理板也含有反相器等数字器件,当它们受到干扰时会影响控制指令的正确产生。

2) 差模电压的干扰作用。虽然光电耦合器件对共模电流有隔离作用,但当高频干扰(共模电流)通过串行干扰进入其它后级电路中,两条控制线对地就会形成不同的负载,必然引起差模电压。负载越不平衡,差模电压越大。当两线上干扰引起的差模电压大于光耦器件的阈值电压时,就会使光耦器件的前级导通,对后级形成一个脉冲信号,此脉冲信号经过后级电路放大后会影响到控制箱形成控制指令的基准信号。由于基准脉冲的时序发生错误,控制箱终端放大器就会产生错误的控制指令(控制指令紊乱或错误翻转)。为了说明并验证这个问题,采用PSPICE电路仿真软件对图2电路进行了信号仿真。图5a是a3端输入的正常信号,图5b和图5c分别是输出端b2和b3的正常信号。如图6a所示,当输入信号叠加两个干扰信号后,输出端b2和b3的输出信号时序就会紊乱错误,如图6b和图6c所示。

3) 干扰机理。从分析可以得出,无论何种方式产生作用,都是由于控制箱内的单片机产生错误引起的。由此可知,控制箱内的单片机是最敏感部件。无论是控制指令的何种效应,都是电磁脉冲作用下的结果,受共模电流和差模电压的共同作用。因此,EMP对装备的干扰作用机理是:控制导线暴露在电磁环境中,接收电磁脉冲场信号形成共模电流,并通过制导导线的传导耦合方式进入控制箱,在控

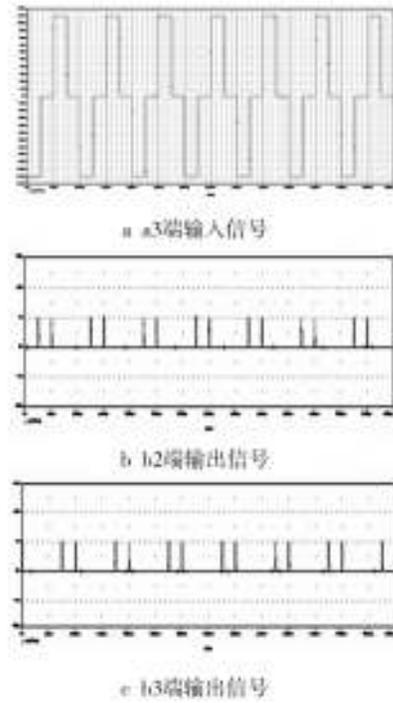


图5 正常信号的仿真

Fig. 5 Simulation of regular signal

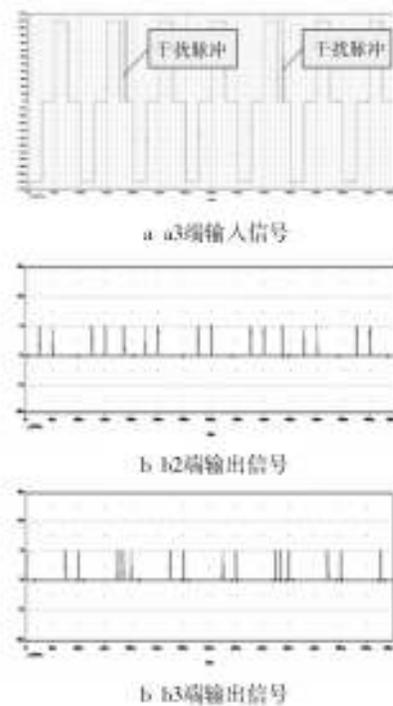


图6 叠加干扰后的信号仿真

Fig. 6 Simulation of signal with interference

制箱内形成二次辐射;由于负载的不平衡在线端形成差模电压,并具有假信号的特性;控制箱内的敏感

部件单片机在两种干扰信号的作用下,产生使控制指令受干扰而导致飞行器坠地的效应,如图7所示。

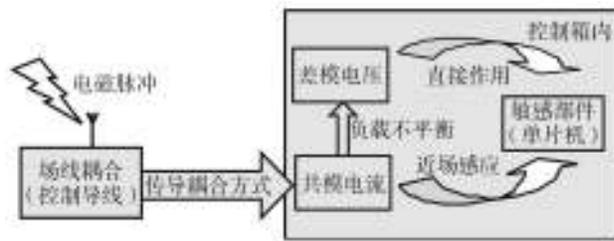


图7 EMP对控制箱的干扰机理

Fig. 7 Interference mechanism of EMP to control-box

### 3 装备的电磁防护方法

分析电磁脉冲的干扰机理,装备的电磁防护就具有了针对性和可实现的方法。为了提高装备防护的有效性,在防护设计中应采取多级防护和裕度防护的思想。在控制箱外端可采用控制线加屏蔽以及控制线两端加滤波器的方法;在控制箱内部,首先要从PCB设计着手,如在PCB板实际结构空间位置上将与控制导线相连接的光电耦合器件调整到结构最前端,并使板上印刷线尽量远离线缆末端,增大印刷线的间距,设计较短的地线等<sup>[6]</sup>。

为了减少单片机的死机现象,在软件方面应采取指令冗余、看门狗、软件陷阱及自动恢复程序等方法<sup>[7-8]</sup>。

### 4 结论

1)在复杂电磁环境下,控制箱发出的指令受到EMP的干扰会发生畸变,由此导致飞行器的坠毁;

2)干扰机理是,EMP通过控制线进入控制箱,从而在箱体内部形成共模电流和差模电压,两种作用使控制箱指令产生畸变;

3)装备可采用多级防护措施以及“软硬”相结合的防护方法。

#### 参考文献:

- [1] 刘尚合,孙国至.复杂电磁环境内涵及效应分析[J].装备指挥技术学院学报,2008,19(1):1—5.
- [2] 常新龙,王建龙,张磊.电磁环境下桥丝式电火工品安全性仿真研究[J].包装工程,2011,32(23):122—125.
- [3] 张勇强,魏光辉,刘小强,等.控制装备卡尔曼滤波的电磁防护方法[J].北京理工大学学报,2009,29(2):28—30.
- [4] 刘述民,张勇强,吴杰,等.飞行装备ARMA滤波的电磁防护方法[J].装备环境工程,2011,8(6):87—90.
- [5] 安霆,刘尚合,孙国至,等.某型装备的UWB电磁脉冲效应研究[J].高压技术,2008,34(11):2428—2433.
- [6] 李勇明,曾孝平.高频PCB设计中出现的干扰分析及对策[J].电子工艺技术,2003,24(1):13—15.
- [7] 侯民胜.单片机的ESD,EMP效应及加固技术研究[J].电子工程师,2007,33(2):59—62.
- [8] 杨将新,李华军,刘东骏.单片机程序设计及应用[M].北京:电子工业出版社,2006.

(上接第16页)

可以用该系统完成。在酸性盐雾腐蚀疲劳试验中,应注意以下几点:1)喷雾系统应该置放于一个可以升降的支架上,以保证喷雾的顺畅;2)盐雾沉降量可以通过供气压力或盐溶液供给量来调节;3)及时补充纯净水和盐溶液,确保饱和器不干烧。

### 4 结语

通过对长期腐蚀疲劳试验的总结,提出了对非对称构件——搭接件进行典型腐蚀疲劳试验的方法。该方法包括了试验件设计、载荷谱施加原则以及作为重点的腐蚀环境施加技术,通过某项搭接件的系列腐

蚀疲劳试验证明了该方法的可行性和有效性,可以为复杂结构的腐蚀疲劳试验提供借鉴的经验。

#### 参考文献:

- [1] 刘文斑,李玉海.飞机结构日历寿命体系评定技术[M].北京:航空工业出版社,2004:41.
- [2] GB 10123—88,金属腐蚀及防护术语和定义[S].
- [3] 刘文斑,李玉海,贾国荣.腐蚀条件下飞机结构使用寿命评定与监控方法研究[J].北京航空航天大学学报,1996,22(3):259—263.
- [4] 陈跃良,段成美,金平.飞机结构局部腐蚀容限研究[J].强度与环境,2000(1):60—63.
- [5] 刘道新.材料的腐蚀与防护[M].西安:西北工业大学出版社,2004:180—183.
- [6] GJB 150.11A—2009,军用装备实验室环境试验方法[S].