

复杂电磁环境下的装备电磁兼容性

宋 昆,薛耀锋,张 波

(总后勤部建筑工程研究所,西安 710032)

摘要:复杂电磁环境中存在诸多的电磁干扰因素,在装备的战场适应性方面提出了电磁兼容性要求。为了提高战场生存能力,装备或系统的电磁兼容性应满足 GJB1389A“系统电磁兼容性要求”相关规定。针对某型野战装备的特点进行了装备电磁兼容性设计,结合 GJB1389A 的要求设计了电磁兼容性的具体检验方法;在半电波暗室通过系统自兼容检查、传导安全裕度测试、电场辐射安全裕度测试以及外部射频电磁环境适应性测试等试验验证了装备的电磁兼容性满足要求。

关键词:复杂电磁环境;电磁干扰;电磁兼容性;EMC

本文引用格式:宋昆,薛耀锋,张波.复杂电磁环境下的装备电磁兼容性[J].四川兵工学报,2014(12):38-41.

中图分类号:TN01

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2014)12-0038-05

Study on EMC of Equipment under Complex Electromagnetic Environment

SONG Kun, XUE Yao-feng, ZHANG Bo

(Construction Engineering Research Institute, General Logistics Department, Xi'an 710032, China)

Abstract: Complex electromagnetic environment contains a lot of electromagnetic interference factors, which require equipment with good electromagnetic compatibility. In order to improve battlefield survivability, the equipment shall meet the relevant requirements of GJB1389A “*Electromagnetic compatibility requirements for systems*”. According to the characteristics of a certain type of equipment, its electromagnetic compatibility was improved by grounding, shielding and other methods. According to the requirements of GJB1389A, the electromagnetic compatibility testing methods of the equipment were designed. It past the tests of self-compatibility, radiated susceptibility, conducted susceptibility and electromagnetic environmental adaptability in semi-anechoic chamber, which proves it was well designed in electromagnetic compatibility.

Key words: complex electromagnetic environment; electromagnetic interference; electromagnetic compatibility; EMC

Citation format: SONG Kun, XUE Yao-feng, ZHANG Bo. Study on EMC of Equipment under Complex Electromagnetic Environment[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(12): 38-41.

为适应信息化作战的需求,装备中使用了越来越多的电子元器件,使得战争中的电磁环境越来越复杂。复杂电磁环境是指在一定的战场空间,由时域、频域、能域和空域上分布密集、数量繁多、样式复杂、动态随机的多种电磁信号交叠而成的,对装备、燃油和人员等构成一定影响的战场电磁环

境^[1]。信息化战场上交战双方激烈对抗条件下所产生的多类型、全频谱、高密度的电磁辐射信号,以及己方大量使用电子设备引起的相互影响和干扰,从而造成在时域上突发多变、空域上纵横交错、频域上拥挤重叠,会严重影响装备效能^[2]。电磁环境影响对信息化装备的抗干扰、防电磁打击能

力提出了更高的要求。因此,无论是武器装备还是后勤装备的研制上都应注重电磁兼容性的设计与验证,提高战场环境适应能力。

1 电磁干扰因素对装备的影响

复杂电磁环境中的电磁干扰因素既有自然干扰源和无意干扰源,又有强烈的有意干扰源^[3]。它们共同构成了战场的电磁环境如图 1 所示。在复杂电磁环境下,电磁信号干扰对装备的正常使用构成威胁,高强度的电磁干扰信号通过高压击穿、器件烧毁、电涌冲击、瞬时干扰、微波加热、强电场效应以及磁效应等损伤机理造成装备不能正常工作^[4],常见的失效模式有装备工作失灵、功能损坏以及系统瘫痪等。

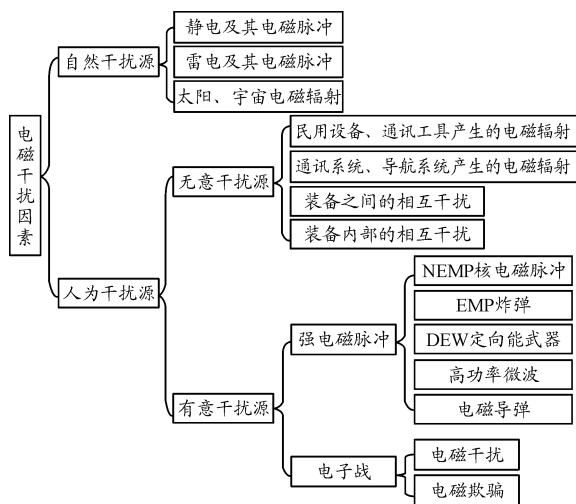


图 1 复杂电磁环境中的电磁干扰因素

2 电磁干扰的应对措施

要确保在复杂电磁环境下的生存能力,装备必须具备良好的电磁兼容性和一定的电磁防护能力。

2.1 装备的电磁兼容性要求

电磁兼容性 (electromagnetic compatibility, EMC) 是指设备、分系统、系统在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态^[5]。包括:

1) 设备、分系统、系统在预定的电磁环境中运行时,可按规定的安全裕度实现设计的工作性能,且不因电磁干扰而受损或产生不可接受的降级;

2) 设备、分系统、系统在预定的电磁环境中正常地工作且不会给环境 (或其他设备) 带来不可接受的电磁干扰。

装备的电磁兼容性要求装备或系统自身在复杂电磁环境中能够正常工作,同时不能影响周期其他的装备正常工作。目前装备的研制时,在电磁兼容性的要求与试验上一般是依据 GJB151A—97“军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求”、GJB152A—97“军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量”以及 GJB1389A—2005“系统电磁兼容性要求”等。这

些标准是在研究美军标的基础上,结合我国的具体情况修订编写的,供三军通用的基础标准。其中 GJB1389A 针对系统的电磁兼容性提出了要求,工程实践表明,顺利通过电磁兼容性试验的零部件、设备或分系统,在构成相关系统后,不一定能完全符合系统电磁兼容性要求,所以还需要对整体系统的电磁兼容性进行相关的测试,包括如安全裕度、高强度辐射场、雷电等测试项目^[6]。

2.2 提高装备电磁兼容性的措施

电磁环境效应的控制,主要从电磁环境 (信号)、电磁传播途径 (辐射和传导) 和敏感源三方面来进行控制,切断以上任何一项都可解决电磁兼容的问题^[7-8]。抑制和防护干扰的基本原则:抑制干扰源,切断干扰传播路径,提高敏感器件的抗干扰性能。在电磁兼容性设计中主要应从优化信号设计、优化电路设计、合理选择元器件和防护材料,采用屏蔽、滤波、隔离、搭接、接地、合理布局等方法,通过分析和实验,达到电磁兼容的设计目的和指标要求。

3 装备电磁兼容性的检验

装备的电磁兼容性是否达到设计指标要求一般可以通过计算机建模仿真或者实验室模拟环境进行检验。计算机建模仿真一般在设计阶段进行,可以发现问题并提前整改采取措施,目前国内外较为著名的电磁兼容性预测分析软件有美国 Ansoft 公司的 Ansoft-HFSS 软件、德国 CST 公司 CST-SD 软件、美国 Zeland 公司 FIDELITY 软件以及美国 FLO-MERICS 公司的 Micro-Stripe 等等,可以根据仿真结果可以作为 EMC 设计的参考,进一步优化零件或系统的电磁兼容性设计。实验室条件下的检验则一般在研制后期定型或鉴定阶段进行,验证系统的电磁兼容性是否满足试验大纲的要求。国内的大型电磁兼容测试实验室主要有:中国兵器工业集团第二〇一研究所测试中心、中国航天科工集团第二研究院二〇三所电磁兼容实验室、北京机械工业仪表所可靠性与电磁兼容检测中心、中国船舶工业电磁兼容性检测中心等单位。

4 某型吊运车电磁兼容性设计及试验

4.1 功能介绍

某型吊运车主要用于野战条件下大型军用物资及装备的吊装与运输作业。由陕汽 SX2190N 底盘、折臂式随车起重机以及控制系统构成。除了具备手动吊装功能以外,为了保证操作者的作业视野以及操作安全,还需要增加有线遥控功能以及力矩限制安全报警功能。

除底盘 (底盘作为定型产品,已通过电磁兼容性试验) 外,主要电子元器件包括负载反馈式电磁比例多路阀、控制器、PCB 板、线控器、重量传感器、长度传感器以及角度传感器等,线控器上具有显示屏能够实时显示作业重量、幅度以及当前额定起重量等参数。

4.2 试验要求分析

试验大纲要求装备的电磁兼容性应能够满足 GJB1389A 的相关要求。GJB1389A 适用于新研制或改进的各种武器装备,如飞机、舰船、导弹和地面系统等,实际使用中应根据装备的特性及使用环境对标准的要求进行裁剪。由于在雷电环境下起重机是不允许作业的,因此雷电的直接效应和间接效应不进行测试。某型吊运车主要进行安全裕度、系统内电磁兼容性以及外部射频电磁环境 3 个方面的试验。

4.3 设计上采取的措施

提高装备的电磁兼容性,必须在功能设计的同时进行电磁兼容性设计^[9]。设计上主要从以下方面提高系统的电磁兼容性:严格零部件的筛选,控制器与传感器等外购件选取通过电磁兼容性试验的合格产品。由于线控器、传感器、控制器以及多路阀都是通过 PCB 板连接并交互信号,因此 PCB 板的设计较为关键。PCB 制板的措施主要从三个方面进行:元器件布局上,把模拟信号部分、高速数字电路部分以及噪声源部分(继电器和大电流开关)等合理地分开,使相互间的信号耦合为最小;合理布局地线,降低地线阻抗;电源滤波器通过铜网编织接地带与接地点就近相连提高电源稳定性。控制器、PCB 板等均位于金属电控柜中,能够屏蔽部分干扰信号。线控器与控制柜之间的额连接应为屏蔽电缆,内部含有铜滤网,提高抗干扰能力。

4.4 试验方法与试验情况

某型吊运车电磁兼容性试验在中国兵器工业集团第二〇一研究所电磁兼容实验室半电波暗室进行,试验环境温度 30℃,湿度 40% RH。由于 GJB1389A 并没有对具体的试验方法进行说明,因此需要对装备的试验方法进行具体设计。

4.4.1 系统自兼容检查

1) 试验方法。在装备典型工况下对主要车载设备进行自兼容性检查,即在不同状态下对敏感设备进行监测并判断是否能够自兼容。

2) 试验结果。在手动操作多路阀进行吊装全过程状态和通过线控器和电控柜操作进行吊装的全过程状态下,电控柜、线控器、多路阀等设备工作正常,整车系统自兼容。

4.4.2 传导安全裕度测试

1) 试验方法。按照图 2 所示方法,通过电流卡钳测量整车待测系统电源线及互联线缆的传导发射电流,以测得的传导发射电流值作为基准曲线;在该曲线最大发射量值基础上增加至少 6 dB 后,通过注入卡钳将干扰电流施加到整车待测系统电源线及互联线缆上进行试验,通过检查整车待测系统是否敏感,评估是否符合安全裕度要求。

图 3 所示为在 10 kHz ~ 400 MHz 频率范围内,在车辆发动后通过线控器和电控柜操作,依次进行吊运车的展开、回转、伸缩以及收拢等全过程,对电控柜端电源线、传感器信号线、多路阀信号线等位置进行传导发射测量得到的基准曲线。

在基准曲线量值增加至少 6 dB 后,传导干扰按照图 4 所示曲线分别在电控柜端电源线、传感器信号线、电磁阀信号线等位置注入。

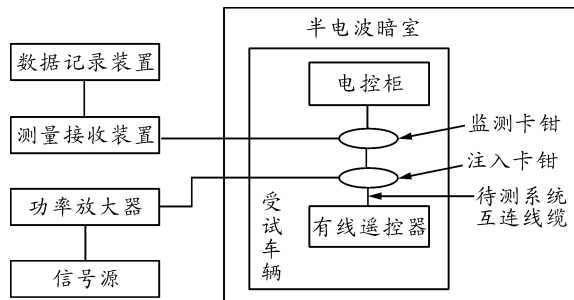


图 2 传导安全裕度测试示意图

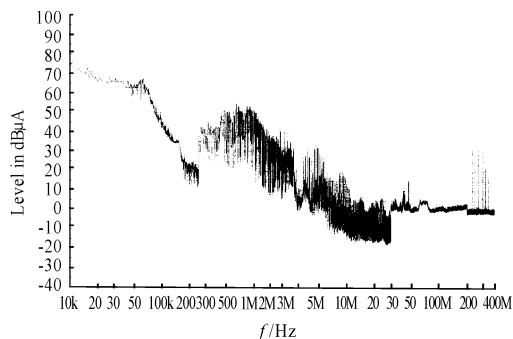


图 3 传导发射测试曲线

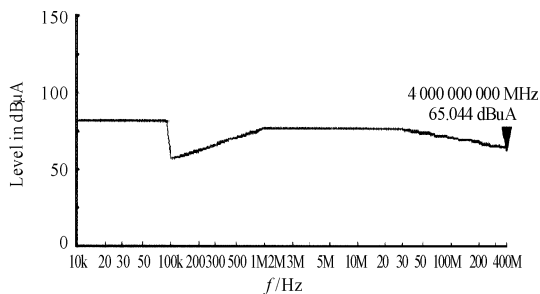


图 4 传导干扰注入曲线

2) 试验结果。干扰注入过程中,通过线控器和电控柜操作控制吊运车全部工作状态,系统工作正常,无不允许的故障和响应,传导安全裕度满足 6 dB 的要求。

4.4.3 电场辐射安全裕度测试

1) 试验方法。通过接收天线测量整车处于最大发射状态时的电场发射值,以测得的电场辐射发射值为基准场强;在该电场最大发射量值基础上增加至少 6 dB 后,通过发射天线将产生的干扰电场施加到整车上进行试验,通过监测整车系统是否敏感,评估其是否符合安全裕度要求。

图 5 所示为在 10 kHz ~ 2 GHz 频率范围内,分别采用杆天线(10 kHz ~ 30 MHz)、双对数周期天线(30 MHz ~ 1 GHz)、双脊波导喇叭天线(1 ~ 2 GHz)进行电场辐射安全裕度测试的示意图。天线位于测试配置边界边缘的中垂线上,距离车体右侧,电控柜和吊运系统配置边界前缘 1 m。杆天线位于地面接地平板上方 0.9 m,双对数周期天线、双脊波导喇叭天线位于地面接地平板上方 1.5 m。在车辆发动与操作的过程中,测量得到的电场辐射发射测试曲线如图 6 所示。

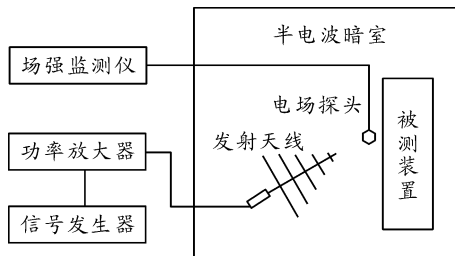


图5 电场辐射安全裕度测试示意图

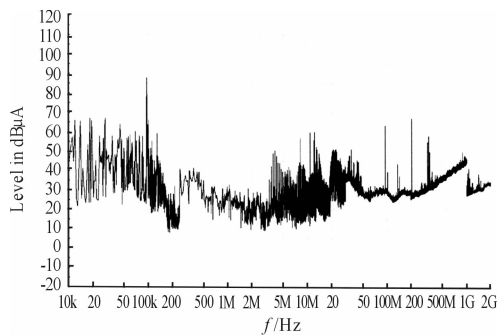


图6 电场辐射发射测试曲线

在车辆发动、线控器、电控柜、多路阀等通电状态,分别采用宽带发射天线(10 kHz~20 MHz)、对数周期偶极子天线(20~220 MHz)、VHF/UHF对数周期天线(220 MHz~2 GHz)在电场辐射发射量值基础上增加至少6 dB后,电场辐射干扰测试曲线按照10 V/m进行测试,测试曲线如图7所示。

测试过程中,电场发射天线前端距离场强探头(测试参考点)1 m,天线与水平面形成一定角度以达到有效的照射面积,场强探头位于车体右侧电控柜位置处。

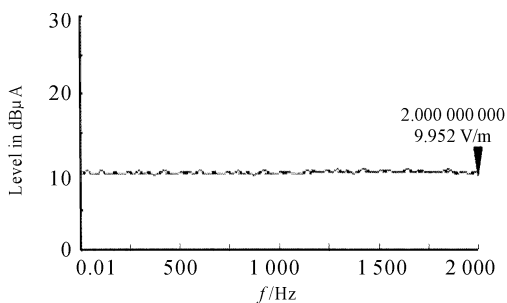


图7 电场辐射干扰测试曲线

2) 试验结果。在施加干扰过程中,观察线控器电源、状态、通讯指示灯以及显示屏数据显示正常;测试结束后,通过线控器和电控柜操作吊运车,工作正常。吊运车电场辐射安全裕度满足6 dB的要求。

4.4.4 外部射频电磁环境适应性测试

1) 试验方法。由电场发生装置产生规定场强的电场,将该电场辐射至受试装备,考核其设备和线缆是否由于外部

辐射场的耦合形成干扰信号而使系统产生敏感现象。参照图8所示进行测试布置,其中发射天线的任意部分应离地至少0.25 m,天线应与水平面形成一定的角度以达到有效的照射范围。

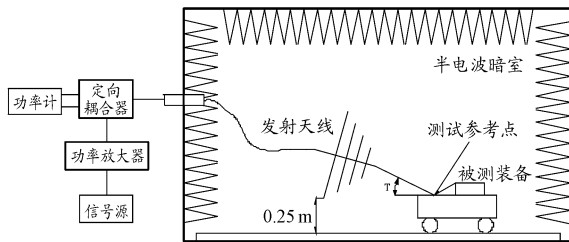


图8 电场辐射发射测试曲线

在车辆发动、线控器、电控柜、多路阀等通电状态,分别采用宽带发射天线、对数周期偶极子天线、VHF/UHF对数周期天线施加干扰。如图9所示,测试频率为10 kHz~2 MHz时,场强为25 V/m;测试频率为2 MHz~2 GHz时,场强为50 V/m。天线和场强探头位置与电场辐射安全裕度测试中一致。

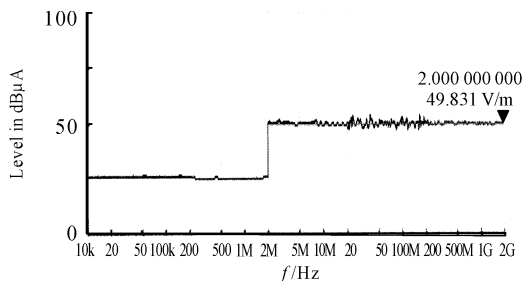


图9 外部射频电磁环境测试曲线

2) 试验结果。在施加干扰过程中,线控器电源、状态、通讯指示灯以及显示屏显示正常;测试结束后,通过线控器和电控柜操作控制吊运车全部工作状态,系统工作正常,与规定的外部射频电磁环境兼容。

5 结论

复杂电磁环境要求装备具有良好的电磁兼容性,GJB1389A对系统的电磁兼容性提出了明确的要求,以某型吊运车为例,提出了具体的电磁兼容性要求,设计上通过严格筛选零部件与元器件,从PCB板的布局、布线、接地,电控柜的屏蔽以及信号线的选择等方面提高了系统的兼容性,在鉴定阶段设计了试验方法,通过试验对装备的自兼容性、安全裕度以及外部射频电磁环境适应性进行了试验验证,结果证明吊运车的电磁兼容性满足设计要求。

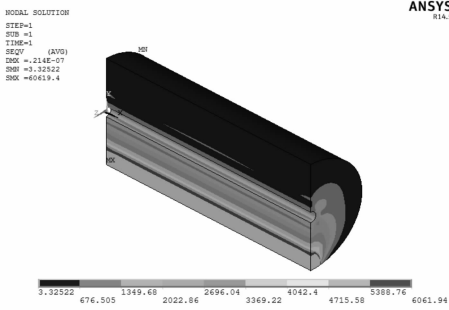


图5 水平放置柱体炸药应力分布云图

当改变炸药底面半径即改变炸药质量的情况下,孔边应力分布曲线如图6所示,因为水平放置炸药孔周边应力分布不具有对称性,所以取炸药孔上下边缘、孔中部3条路径查看这3条路径在3种不同质量下的应力分布,共计9条曲线。从图6中可以看出:水平放置柱体炸药在自身重力作用下孔的端部会出现应力集中现象;应力分布在柱体炸药轴线上具有对称性;炸药孔中部应力比上下边缘应力要大;水平放置柱体炸药在质量增加的同时,孔边应力随之增加;当炸药质量达到40 kg(炸药底面半径为0.2 m)的时候,炸药部件最大应力值达到48.345 0 kPa可能与炸药部件屈服强度^[8]接近,对炸药部件结构稳定性会造成一定影响。

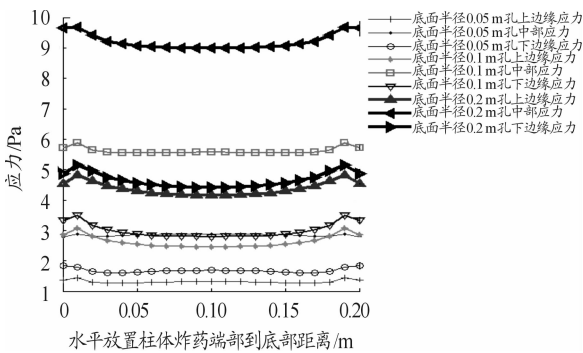


图6 水平放置炸药柱体不同质量孔边应力分布曲线

4 结论

含孔炸药在自重作用下,孔边应力集中比较明显,符合应力集中相关理论,计算中发现同等质量炸药水平放置时孔边最大应力约为竖直放置的2.88倍,为保证炸药部件结构稳定性,可以在重力增加的情况下改变炸药部件的放置方式。

参考文献:

- [1] 梅凤翔,水小平. 工程力学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [2] 李成,郑艳萍,铁瑛. 不同荷载作用下圆孔板孔边及孔口附近应力场的仿真分析[J]. 中国机械工程,2008,19(1):99-102.
- [3] 李成,铁瑛,赵华东,等. 不同材料及荷载下含椭圆和圆孔树脂基复合材料板孔边应力场比较[J]. 高分子材料科学与工程,2012,28(5):183-186.
- [4] 刘述伦,薛江红. 应力集中圆孔附近的形变场[J]. 安徽建筑工业学院学报:自然科学版,2011,19(4):22-24.
- [5] 花成,舒远杰,吴博,等. RDX与D-RDX基PBX炸药撞击安全性研究[J]. 含能材料,2010,18(5):497-500.
- [6] 戴开达,刘夔龙,陈鹏万,等. PBX炸药有效弹性模量的有限元模拟[J]. 北京理工大学学报,2012(32):1154-1158.
- [7] 刘伟,高维成,于广滨. ANSYS12.0宝典[M]. 北京:电子工业出版社,2010:88-89.
- [8] 颜熹琳,周阳,周筱雨. JOB-9003炸药的载荷环境试验[J]. 火炸药学报,2009,32(1):36-39.

(责任编辑 周江川)

(上接第41页)

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] 白庆本,王军,周福文. 战场复杂电磁环境下装甲装备野战抢修面临的问题及对策研究[J]. 装备制造技术,2013,(10):219-222.
- [3] 孙国至,刘尚合,陈京平,等. 战场电磁环境效应对信息化战争的影响[J]. 军事运筹与系统工程,2006,20(3):43-47.

- [4] 徐永成,罗日荣,陈循. 复杂电磁环境下装备损伤模式与保障问题研究[J]. 国防科技,2008,29(4):27-33.
- [5] GJB72A—2002,电磁干扰和电磁兼容性术语[S].
- [6] GJB1389A—2005,系统电磁兼容性要求[S].
- [7] 高斌,唐晓斌. 复杂电磁环境效应研究初探[J]. 中国电子科学研究院学报,2008,3(4):345-350.
- [8] 杜鹏,董琳琳. 舰船电子工程[J]. 中国电子科学研究院学报,2011,31(2):173-175.
- [9] 梁双港,林荣刚,凤卫锋. 论军用装备研制中的电磁兼容性控制[J]. 电子质量,2014,(2):72-74.

(责任编辑 周江川)