

·测试、试验与仿真·

高强辐射场电磁兼容设计及测试技术

吴一超

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘要:介绍了当前光电装备发展状态下,复杂电磁环境对于系统提出的新要求,尤其是高强辐射场对光电系统的研制和验证提出的新要求。叙述了电磁屏蔽的工程化设计方法,并结合工程实际提出了一种电磁屏蔽效能验证的工程方法。文中采用内场试验法和外场试验法两种方法进行屏蔽效能的验证工作,并引入了线性外推的方式。所叙述的屏蔽设计方法,已在项目的实际应用得到验证,尤其是高强辐射场下的屏蔽效能验证方法,对后续光电装备在舰船等复杂环境下的验证具有很强的指导意义。

关键词:屏蔽设计;屏蔽效能验证;内场测试;外场测试;线性外推

中图分类号: O441.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-03-0062-03

Electromagnetic Compatibility (EMC) Design and Testing Technology of High Intensity Radiation Field

WU Yi-chao

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: Under the current development situation of electro-optical equipments, the new requirements for systems in complex electromagnetic environment are introduced, especially the new requirements for the development and verification of electro-optical systems from high intensity radiation field. The engineering design method of electromagnetic shielding is introduced. Incorporated with engineering practice, an engineering method of electromagnetic shielding effectiveness verification is presented. Two methods of shielding effectiveness verification are carried out based on the experiment testing and field testing methods. And linear extrapolation mode is introduced. The shielding design method has been verified in applications. Especially the shielding effectiveness verification method under high intensity radiation field has a strong guiding significance to the subsequent electro-optical equipment verification under complex environments.

Key words: shielding design; electromagnetic shielding effectiveness verification; experiment testing; field testing; linear extrapolation

随着光电装备的发展,高强辐射场是不可逾越的问题,尤其在舰船的环境下,高强辐射场下的电磁兼容设计和验证对于装备的研制有重要的影响,往往决定装备的技术指标和装备形态,对光电装备而言,由于需要执行探测任务,必然要有探测的孔径预留,这也就给高强辐射场下电磁兼容设计提出

了更高的要求。电磁兼容问题考虑的越早,问题越简单,解决问题所需要的成本越低,在产品的设计方案中就要考虑电磁兼容措施,避免电磁兼容问题。

GJB1389A-2005系统电磁兼容性要求给出了系统所面临的外部电磁环境,在大部分频段场强远高

于 200 V/m, 在 1~3.6 GHz 的频段内, 舰船环境的发射机主波束下或陆军直升机外部电磁环境下, 峰值场强甚至达到万伏米级, 均值场强达到千伏米级。若对系统开展安全裕度试验, 要求系统具有 16.5 dB 的安全裕度, 则需要模拟更高的场强, 而这样的指标在一般的实验条件下无法实现, 同时这样的指标对于系统的设计和屏蔽效能测试方法提出了更高的要求。

1 电磁兼容影响因素

电磁兼容三要素是干扰源、耦合途径及敏感设备, 干扰源是客观存在的, 因此通常采用的抑制方法为切断削弱干扰耦合、减小敏感设备的敏感度。一般除了低频磁场外, 大部分金属材料可以提供较高的屏蔽效能, 但在实际的情况下, 缝隙、孔径和腔体结构在装备设计中不可避免, 导致常见的金属做成的屏蔽体并没有如此高的屏蔽效能, 甚至没有屏蔽效能, 因此要进行特殊的设计和考虑。

电磁屏蔽是解决电磁兼容问题的重要手段, 是抑制辐射干扰的最有效手段。大部分电磁兼容问题都可以通过电磁屏蔽来解决, 用电磁屏蔽的方法来解决电磁兼容问题的最大好处是不会影响电路的设计, 对原设计影响较小。

屏蔽体对辐射干扰的抑制能力用屏蔽效能 SE (shielding effectiveness) 来度量。屏蔽效能是没有屏蔽体时, 从辐射干扰源传输到空间某个位置 P 的场强 E_1 与加入屏蔽体后, 辐射干扰源传输到空间同一个位置 P 的场强 E_2 的比值, 它表征了屏蔽体对电磁波的衰减程度, 通常用分贝 (dB) 来表示, 表达式为

$$\text{屏蔽效能: } SE = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (1)$$

2 屏蔽设计

电磁屏蔽的实质是减小两个设备间电场感应的影 响, 电磁屏蔽的原理是在保证良好接地的条件下, 将干扰源所产生的干扰终止于良导体制成的连续屏蔽体。因此, 接地良好及选择良导体作为屏蔽体是电磁屏蔽能否有效地关键因素。

(1) 设备机箱电磁兼容设计

由于屏蔽体连接处结合表面不平、焊缝中有裂纹, 螺钉、柳丁和点焊连接点间隔内出现不紧闭的空隙等, 都会在金属板的结合处留下一些细长的缝

隙。当这些缝隙长度接近电磁波波长的四分之一时, 就会造成较严重的泄漏。提高缝隙屏蔽效能常采用以下措施:

减小缝隙长度: 使用螺钉、柳丁紧固接合面是屏蔽箱盒壳体常用的紧固方法, 螺钉间距决定了缝隙可能的最大长度。从提高屏蔽效能的角度, 要求螺钉间距越小越好。

提高接合面的加工精度是减少漏缝的有效方法, 通常采用铸造成型加工、端面切削磨平和电焊接加工等可以取得较好效果。

通过在缝隙中加导电衬垫或涂导电涂料, 也可使配合表面有良好的电气接触, 减小缝隙电磁泄漏, 提高屏蔽效能。

(2) 模块屏蔽设计

装备机箱多采用功能电路和母板插接的方式, 通过并行总线进行数据交联, 为使装备满足高强辐射场的需求, 可将每一个功能模块采用金属导电壳体封装的形式, 功能模块采用屏蔽处理的串行总线, 尽量减少高强辐射场直接作用在电路板或导线上。

(3) 电缆的屏蔽设计

装备处于高强照射场, 由于电缆长度较长, 如果不进行有效的屏蔽, 极易产生压降, 同时传统的防波套屏蔽效能很低, 对高频辐射屏蔽能力更差, 线缆上产生的压降会对装备正常工作产生较大影响, 甚至影响安全性。表 1 为不同品种防波套在不同频率下的屏蔽效能。

表 1 不同品种防波套在不同频率下的屏蔽效能

产品名称	屏蔽效能/dB		
	10 kHz~200 MHz	200 MHz~1 GHz	≥1 GHz
普通防波套	≤50	≤60	基本无效能
柔性超轻防波套	50~80	50~80	50

3 屏蔽测试

屏蔽效能的测试是验证屏蔽设计的关键, 采用两种方法测试系统的屏蔽能力, 一种是内场测试法, 另一种为外场测试法。

3.1 内场测试法

内场测试法的实现手段有直接照射和混响室测试两种方法。直接照射方式测试方式简单, 利用天

线直接照射测试设备,但缺点是随着测试频率的提高,波束变窄,无法对大型系统进行测试。混响室法的测试环境较复杂,需要搭建混响室,优点是测试区域较大,且在测试区域内电场可认为是统计性的均

匀分布,同时混响场内,场强可近似于全向极化的,能够更好的检验系统的对于各种极化条件下屏蔽效能,文中采用的是混响室法进行的验证工作。内场测试配置图如图1所示。

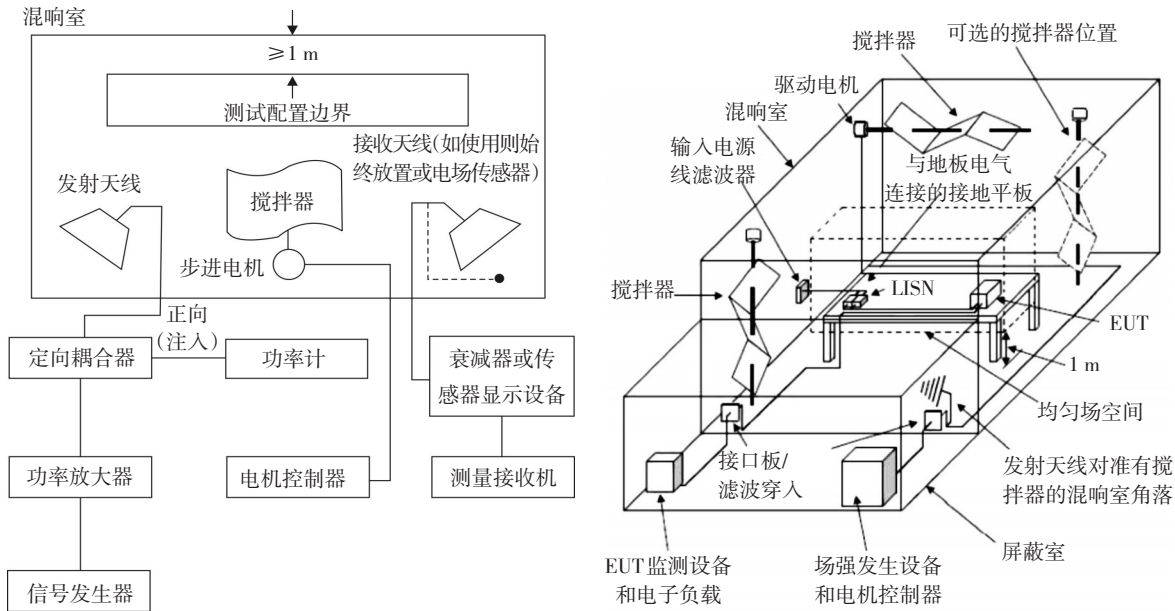


图1 内场测试配置图

混响室测试环境主要有发射天线、搅拌器、步进电机和相关传感器构成,混响室内发送天线产生射频信号时,电磁能量被混响室墙壁和金属机械搅拌器来回反射,随着搅拌器不停而缓慢地转动,混响室内的电场分布不断发生改变,室内空间每一点的场强大小和方向也不断发生变化,搅拌器的转动会有效地改变由室内发射天线产生的电磁边界,从而改变室内的电场分布,最终稳定并形成满足电磁边界条件的模式电场分布。统计上讲,在混响室中心一定范围的工作区内,电场是均匀和各向同性的。被测设备放置于混响室电场均匀的区域。

被测系统放置在其中,施加电场应力,首先在低场强段进行测试,若系统可近似为纯阻性,则可以使用线性外推法,推测出系统在高场强段的响应特性,得到系统电磁兼容特性。

3.2 外场测试法

外场测试法采用脉冲直接照射的方式,主要用检验系统对瞬时脉冲的响应特性,试用于在高频段对固定频点高场强的条件下进行测试。

外场测试环境主要为脉冲源和传感器,被试品

放于测试区域,外场测试的脉冲源基本为定频定场强,因此需要根据实际需要调节被试品的位置来调节测试频点,但调节的带宽较窄。外场测试布置图如图2所示。

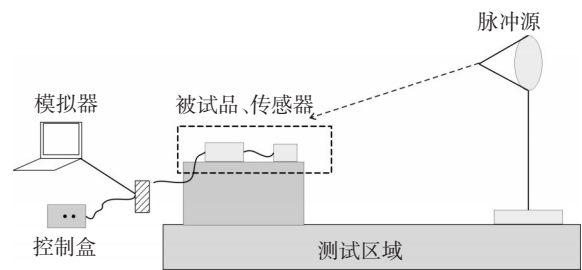


图2 外场测试布置图

4 结论

随着装备的发展,装备所处的电磁环境更为复杂,尤其高强辐射场下的电磁兼容设和测试技术在装备的设计中的作用越发重要,甚至是设备研制能否成功的关键。文中采用的屏蔽设计方法和测试方法是经过试验验证有效的手段,尤其是测试方

(下转第73页)

从图4中可以看出,当烟幕扩散稳定后,采用单黑体温度对比法得到的红外烟幕遮蔽率为96.8%~95.4%;采用双黑体电平差值法得到的红外烟幕遮蔽率为95.1~93.3%,最大误差小于3.5%,同时两种方法测得的烟幕遮蔽率变化趋势一致,说明可以采用单黑体温度对比法或双黑体电平差值法测试红外烟幕的遮蔽率。

通过分析比较两种测试方法,在外场条件下测试红外烟幕的遮蔽率及干扰持续时间等参数时,需要布设大面积热源阵列,采用双黑体电平差值法比较困难,且测试误差较大,可以采用单黑体温度对比法测试红外烟幕的遮蔽率,且通过合理布设热源阵列,可以简单的计算出烟幕的形成面积和持续时间等参数。在内场条件下,由于试验测试设备和仪器布设方便,可以采用双黑体电平差值法测试红外烟幕的遮蔽率,且试验数据处理简单快捷。

4 结 论

重点研究了红外烟幕遮蔽率的测试方法,并分析了单黑体温度对比法和双黑体电平差值法的测试原理。单黑体温度对比法主要利用红外热像仪的测温功能,通过测得烟幕燃放前后黑体靶标的温度、烟幕温度和背景温度,计算得到红外烟幕的遮蔽率,而双黑体电平差值法计算比较简单,通过烟幕燃放前后高低温黑体的电平值,就可以计算得到红外烟幕的遮蔽率。通过在烟幕中燃放定量的干

扰药剂,比较了两种方法的测试结果,测试误差小于3.5%。通过分析比较两种方法的优缺点,单黑体温度对比法适合于外场条件下红外烟幕遮蔽率的测试,而双黑体电平差值法适合于内场条件下的红外烟幕遮蔽率测试。

参考文献

- [1] 时家明,路远.红外对抗原理[M].北京:解放军出版社,2002.
 - [2] 李志国,白云塔,张思将.基于热像仪的红外烟幕遮蔽率测试方法研究[J].红外,2008,29(11):25-28.
 - [3] 马德跃,李晓霞,郭宇翔,等.红外烟幕遮蔽率及其分布表征方法[J].应用光学,2014,35(4):707-712.
 - [4] 吕俊伟,卢毅,张鹏,等.一种用热像仪获得烟幕透过率的方法[J].红外技术,2006,28(10):602-605.
 - [5] 安刚,王玄玉,冯宗伟.利用热像仪测试烟幕红外消光系数方法研究[J].现代仪器,2006(4):38-39.
 - [6] 李云红,孙晓刚,原桂彬.红外热像仪精确测温技术[J].光学精密工程,2007,15(9):1336-1441.
 - [7] 朱晨光,潘功配,关华,等.红外烟幕遮蔽率测试方法研究[J].红外技术,2004,26(4):81-84.
 - [8] 马韬,耿敏.红外目标探测系统的仿真模拟[J].光电技术应用,2017,32(2):62-67.
 - [9] 于群,闵江.舰载多光谱液态烟幕干扰技术研究[J].光电技术应用,2017,32(6):1-5.
 - [10] 王铎.基于形态学和邻域差值的红外小目标检测算法[J].光电技术应用,2016,31(2):19-21.
-
- (上接第64页)
- 法,能很好验证系统的电磁特性,具有很好的实践作用。
- ## 参考文献
- [1] 刘培国.复杂电磁环境的认为可靠性分析[J].电磁兼容技术,2008:9-10.
 - [2] 汪鹏,张炜.舰船短驳天线隔离度的预测与分析[J].舰船电子工程,2007:3-4.
 - [3] 王红旭.高速数字电路设计技术的应用研究[J].西安电子科技大学,2006:31-32.
 - [4] 阎照文,苏东林,袁晓梅.FEKO5.4电磁场分析技术与实例详解[M].北京:水利水电出版社,2009:15-27.
 - [5] 侯冬云,孟凡民.舰船系统级电磁兼容性要求[J].舰船电子工程,2004:115-118.
 - [6] 杨强,高成,宋双,等.高强辐射场环境下电缆耦合规律分析[J].电工电气,2012:9-10.
 - [7] 侯扬,李伟.电子设备机箱的电磁屏蔽结构设计及仿真[J].光电技术应用,2018,33(2):59-62.
 - [8] 唐建华.飞机研制的新要求—谈高强度辐射场(HIRE)防护[J].国际航空,2007(11):65-66.
 - [9] 张庆达.电缆实用技术手册(安装、维护、检修)[M].北京:中国电力出版社,2006:50-51.
 - [10] 姜漫.大型光电设备的电磁兼容设计[J].安全与电磁兼容,2007.