

Analyses of Electromagnetic Coupling through Joint Lap on Equipment Enclosure under EM Pulse

Run Xiong

Engineer Academy of PLA, Xuzhou Jiangsu
Email: xiongrun1983@sina.com

Received: Jun. 22nd, 2015; accepted: Jul. 3rd, 2015; published: Jul. 13th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In this paper, the computer enclosure model is established, and both the enclosure and the joint lap are modeled by finite-difference time-domain method (FDTD) cells. Programs are written in Fortran Software and the electromagnetic coupling through joint lap is obtained from numerical simulation. From analyses of the field distribution and waveforms, it can be seen that resonance occurs and the resonant frequency depends on the enclosure dimension. Secondly, the shielding effectiveness of the enclosure is limited under the EM pulse, and the amplitude of the coupled electric field can reach as high as 1415 dBV/m. Finally, the coupled electric field in the joint lap width direction is larger than that in the length direction. Thus the electronic devices are supposed to locate in the joint lap length direction rather than the width direction.

Keywords

Electromagnetic Coupling, Finite-Difference Time-Domain Method, Joint Lap, Shielding Effectiveness

电磁脉冲对装备机箱搭接缝耦合的研究

熊 润

中国人民解放军工程兵学院, 江苏 徐州
Email: xiongrun1983@sina.com

收稿日期：2015年6月22日；录用日期：2015年7月3日；发布日期：2015年7月13日

摘要

本文建立了装备机箱的物理模型，依据时域有限差分法原则对机箱和搭接缝进行网格剖分。在Fortran软件中编程仿真，通过数值计算得到了电磁脉冲通过搭接缝的耦合。通过分析机箱内的电场分布情况和时域波形分析，可以看到进入机箱内的电磁干扰产生谐振，谐振频率和机箱的几何尺寸有关。机箱对高功率电磁脉冲的屏蔽作用非常有限，机箱内峰值场强高达1415 dBV/m。此外，垂直于搭接缝方向的耦合电场大于平行与搭接缝方向的耦合电场。因此，电子器件应该尽量沿平行与搭接缝方向布置。

关键词

搭接缝，时域有限差分法，电磁耦合，屏蔽

1. 引言

装备机箱通常由铁皮搭接而成，这种搭接缝成为电磁脉冲耦合进入机箱内部的重要途径[1] [2]。电磁脉冲的能量通过搭接缝耦合进入装备内部，影响其电子器件正常工作甚至对个别部件造成损害。因此，有效地评估计算通过机箱壳体上搭接缝耦合进入机箱内部的对电磁干扰，研究增强机箱电磁防护能力的措施成为一个非常急迫的问题。为分析电磁脉冲对机箱内电子器件的影响，首先要对通过机箱搭接缝耦合进入机箱内部的电磁场进行分析。

1966年 Kane. S. Yee 提出了时域有限差分法[3] [4]。作为一种电磁场的数值计算方法，经过时域有限差分法的一次计算，可以得到机箱内部各个场点各个时刻的电磁场值，结果经过 Fourier 变换后可以获得宽频带的信息。因此，时域有限差分法特别适合用来分析电磁脉冲对装备机箱搭接缝的耦合[5] [6]。

本文选取了两种具有代表性的电磁脉冲，窄带高功率微波(HPM)和超宽带电磁脉冲(UWB)，作为激励源[7]。建立了装备机箱的物理模型，依据时域有限差分法原则对机箱和搭接缝进行网格剖分。在 Fortran 软件中编写了时域有限差分法程序，通过数值计算得到了电磁脉冲通过搭接缝的耦合。分别研究了两种电磁脉冲激励下，通过搭接缝耦合进入机箱内部的电场，分别从时域和频域两个方面进行了分析，得出了一些有益的结论，为增强机箱电磁脉冲防护能力设计提供了依据。

2. 计算模型及仿真方法

2.1. 装备机箱搭接缝模型

由于装备机箱的种类繁多、结构外形各异，给建模带来很大困难。为此，在本文的分析中选取具有代表性的工控机作为研究对象，并对模型进行一定的简化处理，如图 1(a)所示。机箱外形尺寸为 450 mm × 420 mm × 180 mm。装备机箱通过由钢板搭接并通过螺钉铆接而成，搭接缝位于机箱的顶端，尺寸如图 1(b)所示。其搭接厚度为 1 cm，搭接缝宽度为 0.5 cm，每个面上的搭接缝被 2 个螺钉分成 3 部分。

2.2. 激励源

为分析不同电磁脉冲激励下通过机箱搭接缝的电磁耦合，本文采用了两种激励源：窄带高功率微波(HPM)和超宽带电磁脉冲(UWB) [7]。HPM 时域波形是脉冲调制的正弦波，既可以单脉冲方式工作，又可以多脉冲(脉冲串)方式工作。UWB 时域波形是无载频的双极性脉冲波，既可以单脉冲方式工作，又可以

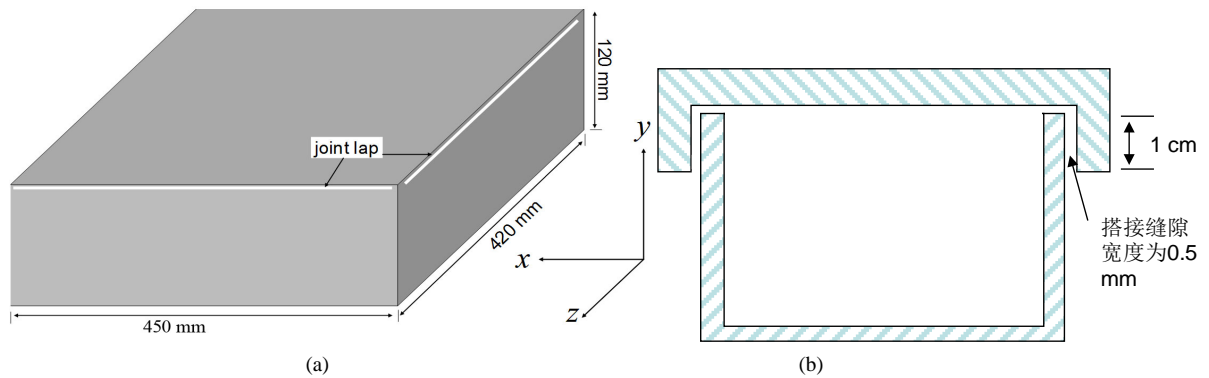


Figure 1. The equipment enclosure model and joint lap location; (a) equipment enclosure size and the joint lap location; (b) joint lap dimension

图 1. 装备机箱模型及搭接缝位置；(a) 机箱尺寸及搭接缝位置；(b) 搭接缝尺寸

多脉冲方式(脉冲串)工作,单脉冲电场时域波形可用微分高斯脉冲近似。在本文的分析中,电磁脉冲沿 $-x$ 方向入射。

2.3. 数值方法

时域有限差分法是把带时间变量的 Maxwell 旋度方程转化为差分方程,差分格式中每个网格点上的电场(或磁场)分量仅与它相邻的磁场(或电场)分量以及上一时间步该点的场值有关。在每个时间步上分别计算网格空间各点的电场和磁场分量,随着时间步的推进,就能模拟出电磁脉冲与机箱的相互作用过程 [3]。

2.4. 机箱内耦合电场分布

为衡量电磁脉冲通过机箱搭接缝的耦合,我们首先分别观测了机箱内部各个点上的电场,并输出了机箱中心三个方向电场分量。此外,我们还记录了机箱内部各个点上每一时刻的场量,并通过峰值场强计算公式:

$$E_p(t) = 20 \log \left[\sqrt{E_x(t)^2 + E_y(t)^2 + E_z(t)^2} \right] \text{dBV/m} \quad (1)$$

得到了各个时刻的场强。为确定电磁辐射耦合最严重的情况,我们输出了机箱内各点在脉冲持续时间内的峰值场强。

3. 仿真结果与分析

3.1. HPM 激励下的耦合

图 2(a)为 HPM 激励下从机箱搭接缝耦合进入机箱内部的电磁场最大峰值分布。可以看到,机箱内电磁干扰最严重的地方都集中在机箱顶部搭接缝附近,可达 70 dBV/m;机箱内部大部分空间位置最大峰值场强都在 60 dBV/m 左右。

此外,我们还观测了机箱中心点位置三个方向电场分量的时域波形。从时域波形可以看到,电场 E_x 最大场值小于 10^{-11} V/m,电场 E_y 最大场值为 549 V/m,电场 E_z 最大场值 1345 V/m,三个方向电场的合成电场峰值为 1415 V/m。电场 E_x 为数值计算的数值色散误差,电场 E_z 分量最大,如图 2(b)所示。

3.2. UWB 激励下的耦合

图 3(a)所示为 UWB 激励下,从机箱搭接缝耦合进入机箱内部的电磁场最大峰值分布。可以看到,通

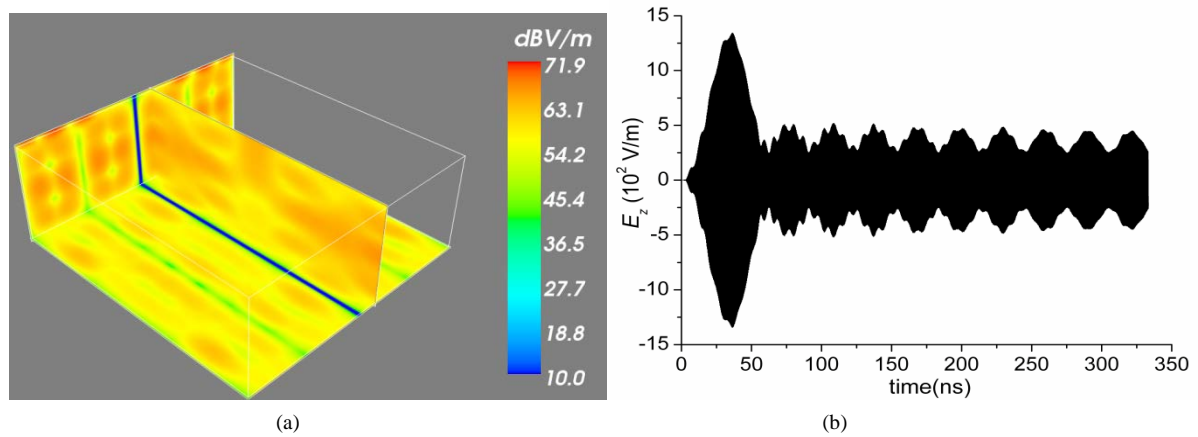


Figure 2. The response under HPM pulse; (a) Distribution of the peak electromagnetic field value in the enclosure; (b) Time domain waveform of E_z at the center of the enclosure

图 2. HPM 激励下的响应; (a) 机箱内部峰值场强分布; (b) 机箱中心电场 E_z 分量时域波形

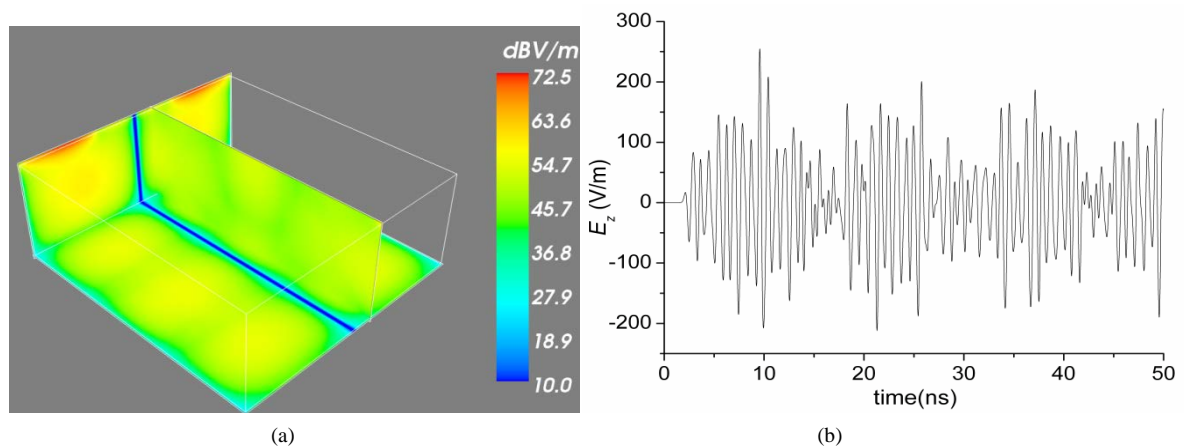


Figure 3. The response under UWB pulse; (a) Distribution of the peak electromagnetic field value in the enclosure; (b) Time domain waveform of E_z at the center of the enclosure

图 3. UWB 激励下的响应; (a) 机箱内部场强峰值分布; (b) 机箱中心电场 E_z 分量时域波形

过搭接缝耦合进入机箱内部的电场最大值出现在搭接缝附近, 超过 70 dBV/m, 在机箱内部大部分空间位置最大峰值场强都在 50 dBV/m 左右。

此外, 我们还观测了机箱中心点位置三个方向电场分量的时域波形。从时域波形可以看到, 电场 E_x 最大场值小于 10^{-12} V/m, 电场 E_y 最大场值为 51 V/m, 电场 E_z 最大场值 255 V/m, 三个方向电场的合成电场峰值为 265 V/m。与 HPM 激励时一样, 电场 E_x 为数值计算的数值色散误差, 电场 E_z 分量最大, 如图 3(b) 所示。

4. 结论

通过对 HPM 和 UWB 激励下机箱内部电磁场时域波形和电场空间分布的分析, 可以得到以下结论:

- 1) 进入机箱内的干扰波形产生振荡, 且不断衰减, 谐振频率和机箱的几何尺寸有关。
- 2) 装备机箱在电磁脉冲照射下是非常脆弱的, 屏蔽作用非常有限, 机箱内峰值场强高达 1415 dBV/m。
- 3) 垂直于搭接缝方向的耦合电场大于平行与搭接缝方向的耦合电场。因此, 电子器件应该尽量沿平行与搭接缝方向布置。

基金项目

受中国人民解放军理工大学电磁环境效应与光电工程重点实验室资助，资助号：FD201506。

参考文献 (References)

- [1] 何鸣, 刘光斌, 胡延安, 姜立强 (2006) 孔缝对导弹电子设备机箱电磁屏蔽效能的影响. *宇航学报*, **2**, 262-267.
- [2] 高攸纲 (2004) 屏蔽与接地. 北京邮电大学出版社, 北京.
- [3] Taflov, A. and Hagness, S.C. (2000) *Computational electrodynamics: The finite-difference time-domain method*. Artech House, Boston.
- [4] 葛德彪, 闫玉波 (2005) 电磁波时域有限差分方法. 西安电子科技大学, 西安.
- [5] Xiong, R., Chen, B., Cai, Z.Y. and Chen, Q. (2012) A numerically efficient method for the FDTD analysis of the shielding effectiveness of large shielding enclosures with thin-slots. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, **40**, 251-258.
- [6] Xiong, R., Chen, B., Mao, Y.-F., Li, B. and Jing, Q.-F. (2012) A simple local approximation FDTD model of short apertures with finite thickness. *Progress in Electromagnetics Research*, **131**, 135-152.
<http://dx.doi.org/10.2528/PIER12072201>
- [7] 周璧华, 陈彬, 石立华 (2003) 电磁脉冲及其工程防护. 国防工业出版社, 北京.