

金属化纤维电磁防护复合材料电磁仿真及性能研究

刘 鹏¹, 梁 斌², 宫 剑¹, 王诚城², 管立斌¹, 苏青林¹, 刘 艳¹, 张慧迪²

¹中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原

²江苏中天科技股份有限公司, 江苏 南通

收稿日期: 2023年6月9日; 录用日期: 2023年7月18日; 发布日期: 2023年7月28日

摘 要

本文以镀镍碳纤维作为主要增强材料, 利用TexGen软件进行织物多维结构建模; 采用时域有限积分法(FITD)仿真电磁波在织物结构中的传播效应, 对金属化纤维电磁防护复合材料的屏蔽效能进行了电磁仿真。用热压罐成型工艺制备了一类金属化纤维电磁防护复合材料, 对该材料的屏蔽效能(频段: 30 MHz~10 GHz)进行了实测。对仿真结果和实测结果进行分析对比, 发现两者较为吻合, 表明该电磁仿真技术可以有效地对电磁防护复合材料的电磁屏蔽性能进行预判。

关键词

金属化碳纤维复合材料, 镀镍碳纤维, 屏蔽效能, 织物建模, 电磁仿真

Research on the Metal-Coated Carbon Fiber Electromagnetic Shielding Composites Simulation and Performance

Peng Liu¹, Bin Liang², Jian Gong¹, Chengcheng Wang², Libin Guan¹, Qinglin Su¹, Yan Liu¹, Huidi Zhang²

¹No. 33 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan Shanxi

²Jiangsu Zhongtian Technology Co., Ltd., Nantong Jiangsu

Received: Jun. 9th, 2023; accepted: Jul. 18th, 2023; published: Jul. 28th, 2023

Abstract

The electromagnetic shielding composites are composed of the nickel-coated carbon fibers as the

文章引用: 刘鹏, 梁斌, 宫剑, 王诚城, 管立斌, 苏青林, 刘艳, 张慧迪. 金属化纤维电磁防护复合材料电磁仿真及性能研究[J]. 材料科学, 2023, 13(7): 674-678. DOI: 10.12677/ms.2023.137072

main enforced material of electromagnetic shielding effect. The multi-dimensional modeling of the fabric composite was done in TexGen. The shielding effectiveness of the composites was calculated by electromagnetic simulation FITD method which can simulate the propagating effect of electromagnetic waves. The shielding composites were prepared under autoclave process. The result of shielding effectiveness of the composite under frequency range from 30 MHz to 10 GHz was obtained by real test. By comparing the shielding effectiveness simulation and real test result, the conclusion is that the simulation result fits the real test results well and the electromagnetic simulation of metal-coated fiber composite can predict the effectiveness efficiently.

Keywords

Metal-Coated Fiber Composite, Nickel-Coated Carbon Fiber, Shielding Effectiveness, Fabric Modeling, Electromagnetic Simulation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

碳纤维复合材料具有重量轻、模量高、热膨胀系数低、耐腐蚀等优异特点，可广泛应用于武器装备机箱、机柜壳体制造，例如雷达的电子设备高频机箱，满足雷达装备研制的小型化、轻型化、高机动性要求，提高机箱的电磁防护性能，从而保证电子设备在恶劣环境下最大程度实现其电磁防护性能。

为了提高碳纤维复合材料的电磁屏蔽效能，可采用镀镍碳纤维作为复合材料的功能填料，得到一种兼具轻量化性能和电磁防护功能的新材料。由于纤维增强复合材料的电磁防护性能与诸多因素相关，采用实验测量的方法得到电磁防护性能，往往存在研发周期长，成本高等问题，因此对材料的电磁仿真模拟方法来进行性能预判，可极大地缩短高性能电磁防护复合材料的设计周期，为该材料的研发提供有力依据。

2. 研究进展

目前国内有多个团队利用计算机软件开展了纤维织物复合材料建模和屏蔽效能的仿真研究工作。李奇军等[1]考虑不锈钢纤维织物三维结构，假设该织物为金属网进行仿真分析。苏钦城等[2]用 CST 微波工作室对机织物结构进行仿真计算，并利用有限积分法仿真计算机织物电导率、织物密度和织物层数等对电磁屏蔽效能的影响，发现对电磁屏蔽机织物有较好的适用性。孙晓军等[3]提出了用 TexGen 软件对玻璃纤维织物进行了建模的方法，并阐述了该方法的特点和优势。

3. 复合材料电磁屏蔽效能建模与仿真分析

3.1. 复合材料的电磁仿真建模

TexGen 软件作为国际上专业的织物几何结构模拟软件之一，可准确模拟多种纤维织物结构。在基于 TexGen 软件建模中，纱线轨迹是由确定的点通过样条函数等方法拟合得到。纱线截面形状可微观地反映出纱线交织状态，是纱线结构的重要参数。由于纱线在织造过程中受挤压，纱线的实际截面并非圆形，而是类似椭圆形。

本文中的复合材料组成是金属化纤维纱线。以平纹织物为研究对象，该材料的几何结构主要由纱线的轨迹及其截面形状构成。纱线轨迹可考虑为三维空间中纱线截面中心的连线，表达纱线长度及其弯曲状态。

纱线的截面参数为宽度 2 mm，厚度 0.2 mm，经纬纱 1:1 排列，建立平纹织物复合材料电磁仿真模型。

3.2. 仿真分析

通常对纤维织物模型进行电磁仿真中，需对模型进行理想化假设，假定纱线电导率各向同性；织物交织点处经、纬纱接触电阻为 0，且织物由无限个组织单元在同一平面上循环而成[4]。

本文采用 CST 软件定义了平纹织物组织的单元周期边界条件，然后使用频域求解器的有限积分法对织物组织单元进行仿真分析。将织物的三维模型导入 CST 软件，利用该软件自带的 Unit cell 功能，设置织物在自由空间，电磁波沿 z 轴方向传播，如图 1 所示。以平纹织物为研究对象，设置电磁波频率为 30 MHz~10 GHz。

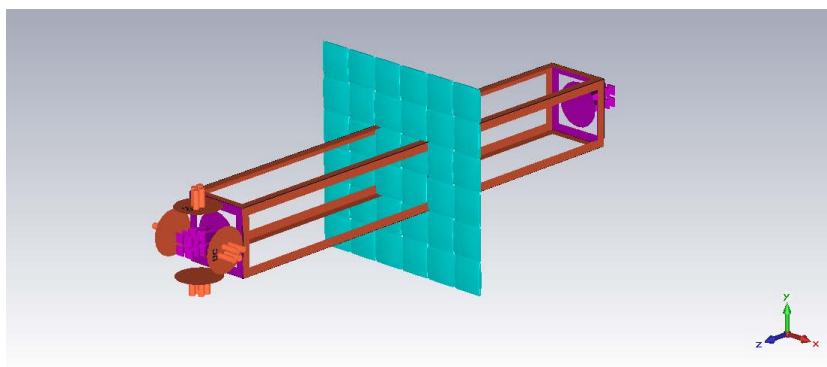


Figure 1. The boundary condition for electromagnetic simulation of the model

图 1. 电磁仿真模型的边界条件

3.3. 仿真结果

电磁屏蔽仿真模型属于电磁波从材料一侧穿透到材料另一侧的穿透型，同时假设该材料是由结构单元在同一平面重复而成，设置仿真环境为真空、电磁波频率从 30 MHz~10 GHz 后得到平板型基于 FIT 算法的电磁屏蔽仿真模型如图 2 所示。由于金属化纤维为非磁性物质，故其磁导率接近真空，本项目将其磁导率理想化为真空处理。

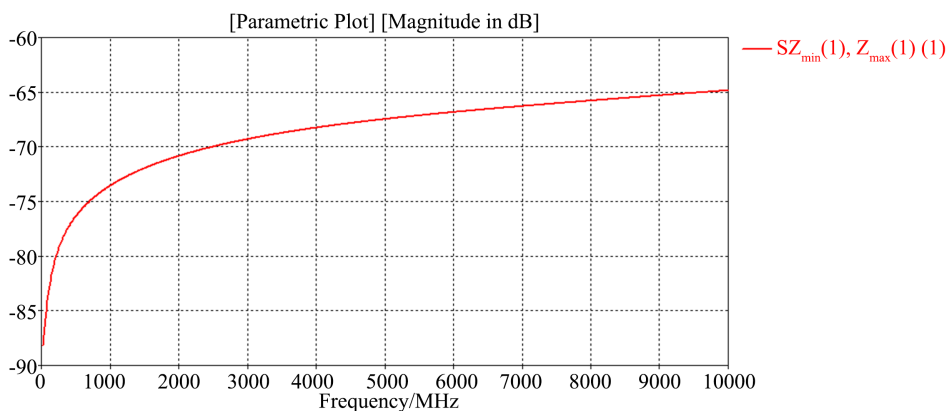


Figure 2. The simulation result for the shielding effectiveness of the composite

图 2. 屏蔽效能仿真计算结果

金属化纤维织物复合材料的两端电场分布结果和表面电流结果如图 3 和图 4 所示。

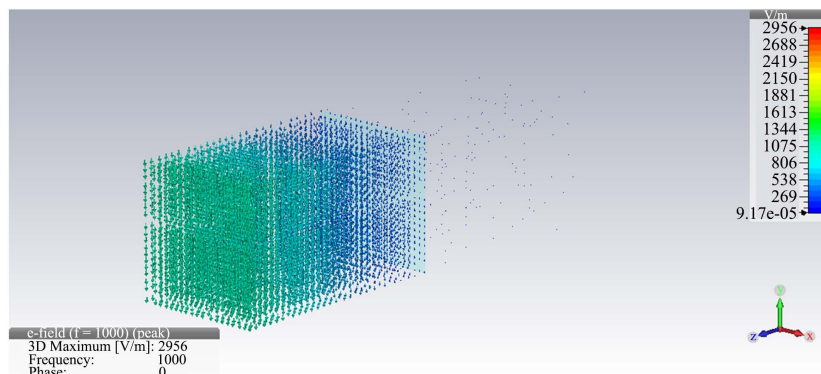


Figure 3. The simulation field distribution of the composite
图 3. 场强分布结果

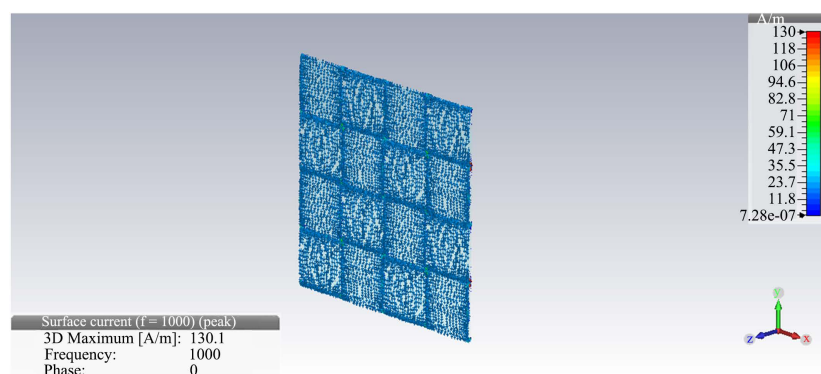


Figure 4. The simulation current distribution of the composite
图 4. 表面电流结果

通过分析图 3 和图 4 电场场强和表面电流结果可知，金属化纤维复合材料对激励源的电磁波产生了屏蔽效果，场强值由绿色密集云图衰减为蓝色稀疏云图；表面电流的较大处主要存在于纤维间的编织搭接空隙上，符合屏蔽材料对电磁波的屏蔽机理。

4. 金属化纤维复合材料屏蔽效能测试

采用热压罐工艺进行了金属化纤维复合材料的制备。样件尺寸： $650\text{ mm} \times 650\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。利用 GJB6190-2008 电磁屏蔽材料屏蔽效能测量方法[5]中屏蔽室窗口法进行测试，测试原理如图 5 所示。

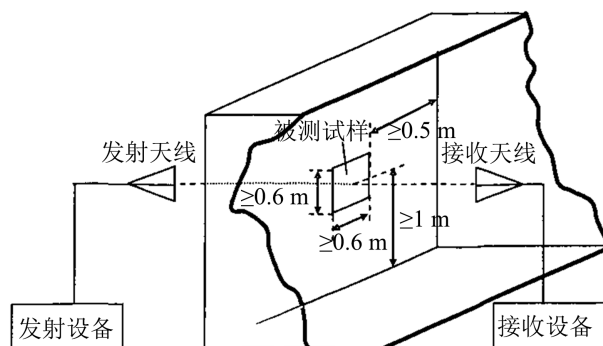


Figure 5. The method for shielding effectiveness of shielding material
图 5. 0.6 m 屏蔽室窗口法测量原理

测试频段 30 MHz~10 GHz。选取测试频点 30 MHz, 100 MHz, 450 MHz, 1 GHz, 10 GHz。测试结果如表 1 所示。

Table 1. The shielding effective test results of the metal-coated carbon fiber composite
表 1. 金属化纤维复合材料屏蔽效能

序号	频率/Hz	屏蔽效能/dB	仿真结果/dB
1	30 M	84	88.18
2	100 M	96	83.57
3	450 M	97	76.80
4	1 G	86	73.56
5	10 G	62	64.85

金属化纤维复合材料的屏蔽效能在 30 MHz~10 GHz 频段下选取 5 个频点, 屏蔽效能测试值和仿真结果在 30 MHz 和 10 GHz 两处频点的差值在 5 dB 之内, 较为接近; 实测值在 30 MHz 频点下的屏蔽效能值比 10 GHz 频点下高 20 dB 左右, 仿真结果也得到了这样的结果; 其中 100 MHz 之后的屏蔽效能值出现了递减趋势, 仿真结果也出现了这样的趋势, 通过对比发现, 实测结果与仿真结果较为吻合。

5. 结论

采用电磁仿真分析软件对金属化纤维增强复合材料进行屏蔽效能计算, 具备快速高效的特点。仿真结果与实测结果在 30 MHz 和 10 GHz 频点较为接近, 屏蔽效能的仿真结果出现了与实测结果一致的递减趋势。综上所述, 采用电磁仿真分析的方法对金属化纤维复合材料进行屏蔽效能预判是可行有效的, 可作为金属化纤维复合材料的电磁防护性能的有力设计手段。

参考文献

- [1] 李奇军, 刘长隆, 周明, 等. 含不锈钢纤维机织物电磁屏蔽机理及其效能的仿真研究[J]. 功能材料, 2013, 44(14): 2041-2046.
- [2] 苏钦城, 赵晓明, 李卫斌, 李建雄. 基于有限积分法的机织物电磁屏蔽效能仿真分析[J]. 纺织学报, 2016, 37(2): 155-160.
- [3] 孙晓军, 赵晓明, 郑振荣, 林华. 新型织物仿真软件 Tex Gen 的特点及其应用[J]. 纺织导报, 2013(4): 70-73.
- [4] 孙天, 张一曲, 赵晓明, 齐业雄. 纬编针织物电磁屏蔽效能 CST 仿真分析[J]. 材料导报, 2019, 33(9): 3130-3134.
- [5] 吴红森, 沈涛, 韩玉峰, 杨金涛, 袁岩兴. GJB 6190-2008. 电磁屏蔽材料屏蔽效能测量方法[S]. 北京: 国防工业科学技术委员会, 2006.