

结合电磁场仿真的聚合物基电磁干扰屏蔽复合材料的制备与应用性研究

赵国凯^{1, 2} 杨帆^{1, 2} 朱铭强^{1, 2, 3*}

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学林学院 杨凌 712100; 3. 农业农村部农村可再生能源开发利用西部科学观测试验站 杨凌 712100)

摘要:【目的】制备可应用于绿色电磁干扰屏蔽的聚合物基复合材料。【方法】首先, 利用掺杂多壁碳纳米管改善锰锌铁氧体导电性, 以硫酸-硝酸体系作为多壁碳纳米管的表面活化剂, 除去多壁碳纳米管表面的无定型碳和杂质颗粒, 使其短切、产生官能团为锰锌铁氧体提供附着位点。然后, 以聚乙烯醇和海藻酸钠为粘结剂, 二维石墨烯为导电骨架, 碳纳米管-锰锌铁氧体复合粉体为磁性-导电填料, 采用反复冻融法合成复合气凝胶骨架。接下来, 在气凝胶表面包覆杜仲胶@环氧树脂 (PEUR) 复合橡胶, 制备聚合物基电磁干扰屏蔽复合材料。最后, 使用 ANSYS HFSS 模块对复合材料的屏蔽效能进行仿真, 使用 SolidWorks 软件中将其应用于电磁干扰屏蔽装置三维结构设计及优化, 并结合实际情况进行屏蔽装置样机试制与性能测试。【结果】碳纳米管-锰锌铁氧体复合粉体的加入有助于石墨烯在凝胶基体上褶皱化程度的提升并提高凝胶骨架的电导率, 从而形成一些局部的异质界面或微孔结构来帮助提高复合材料的电磁干扰屏蔽性能。当碳纳米管-锰锌铁氧体复合粉体的掺杂量达到 200 mg 时, 其平均 SE_T 为 49.4 dB, 最大 SE_T 为 51.6 dB。当碳纳米管-锰锌铁氧体复合粉体的掺杂量为 50 mg 和 200 mg 时, 复合材料兼具优秀的电磁干扰屏蔽效能和绿色电磁干扰屏蔽能力, 其 g_s 值, 均大于 1。复合材料对电磁波的主要屏蔽机制可以归纳为传导损耗和介电损耗; 介电损耗又包括 rGO 层和 PA 层之间界面极化和非均相体系导致的偶极子极化。根据 HFSS 仿真结果, 屏蔽层厚度设置为 3 mm, 箱体材料设置为 ZL101、厚度 5 mm, 粘结层厚度设置为 4 mm, 工作尺寸确定为 220 mm×160 mm×160 mm, 门缝开口角度为 0 度, 屏蔽门缝缝隙深度为 10 mm。经过屏蔽性能测试, 发现该设备能够有效地阻断移动信号以及蓝牙的连接, 从而可将其用于高级别保密会议或特种装备信号保护等领域。【结论】本研究采用反复冻融法协同真空冷冻干燥技术制备了聚乙烯醇-海藻酸钠/石墨烯/碳纳米管-锰锌铁氧体凝胶三维骨架, 并以其为自模板覆盖了杜仲胶@环氧树脂体系作为保护层, 发现 PVUR-rGO-100 的配比是制备屏蔽层材料的最优选择。基于 HFSS 电磁场仿真计算和 SolidWorks 三维建模, 开发了一款电磁干扰屏蔽装置。

关键词: 聚合物基复合材料; 电磁干扰屏蔽 (EMI); 杜仲胶 (EUR); 电磁场仿真