

导电炭黑涂覆织物的电磁屏蔽性能研究

顾昊¹,于伟东¹,周胜²

(1. 东华大学,上海 201620;2. 扬州职业大学,江苏 扬州 225009)

摘要:测试了涂覆有不同含量和厚度的导电炭黑涂层的棉织物的导电性和电磁屏蔽效能。综合考虑屏蔽效能和成膜性能,得到了最佳的导电炭黑含量和涂层厚度。通过微波远场散射强度测试,得到导电炭黑涂覆棉织物电磁屏蔽的主要方式。

关键词:导电炭黑;涂层织物;导电性;电磁屏蔽

中图分类号:TS195.5

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2015)01-0013-04

随着科技的进步,电子、电器和通讯设备在人们生活中的地位逐步提高,然而在为人们日常生活提供方便的同时也带来了一些问题。由于这些设备需要借助电磁波来传递信息,其在工作的同时需要发射电磁波来有效地传递能量,电磁波向空中发射或泄露的现象被称为电磁辐射^[1]。当前,电磁波已成为继水、噪声、空气之后的新出现的第四大环境污染^[2],由人类所制造的电子产品、电器和通讯设备会产生电磁辐射,电磁屏蔽材料的研究与开发正逐渐成为人们日益关注的问题^[3]。

本文对棉织物上涂覆以聚氨酯为基体的导电炭黑涂层试样进行导电性和电磁屏蔽性能测试,讨论了导电炭黑在涂层中的含量、涂层的厚度对织物电磁屏蔽性能的影响,同时通过微波远场散射法具体分析了织物的透射和反射场强分布。

1 实验部分

1.1 原料与试剂

水性芳香族聚氨酯 S339A(佛山翁开尔有限公司);导电炭黑,DEG-1BC(无锡恩旗化工科技有限公司);水性附着力促进剂 DN-630(南京道宁化工有限公司);硅烷偶联剂 KH-550(南京道宁化工有限公司)。

1.2 试样制备

将不同质量的导电炭黑粉末溶于一定量的水中,加入硅烷偶联剂 KH-550 和水性附着力促进剂 DN-630,用超声波振荡器超声处理 30 min,使导电炭黑粉末均匀分散于水中,并与助剂充分混合。之后再加入

一定质量的水性聚氨酯,磁力搅拌 30 min。裁剪一块 10 cm×10 cm 的棉织物,将其在 3%浓度的烧碱溶液中煮练 3 h,去除棉织物上的浆料、天然杂质和油剂等。最后用羊毛刷将混合后的涂料均匀涂覆在处理过的棉织物上。微波远场测试采用的棉织物为 100 cm×100 cm,采用额定质量涂料进行涂覆后的试样的厚度为 3 mm,2 层和 3 层涂料涂覆的厚度分别为 5 mm 和 7 mm。

1.3 性能测试

1.3.1 导电性能

采用万用表测试试样的体积电阻,在试样的四角及试样中心进行测量,再将 5 组数据取平均值,最终得到试样的体积电阻。

1.3.2 电磁屏蔽性能扫频测试

采用自建的装置进行测试,测试台示意图如图 1 所示。采取扫频方式,测量范围为 0.05~2.0 GHz,扫描间隔带宽为 0.05 GHz。采用国家电子行业军用标准 SJ 20524—1995 材料屏蔽效能的测量方法^[4]规定的指标进行材料屏蔽效能的计算,计算方法如下:

$$SE = P_1 - P_2 = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1)$$

式中 P_1 表示未在测试台上放置试样时频谱分析仪的读数, P_2 表示测试台上放置试样之后频谱分析仪的读数。

1.3.3 电磁屏蔽性能远场测试

依据国家军用标准 GJB 2038—94《雷达吸波材料反射率测试方法》,采用 102-RAM 反射率弓形方法测试^[6],如图 2 所示。散射强度测试时采用固定频率测试,首先通过远场扫频测试得到一个功率变化较大的频率,在该频率下进行远场散射测试,实验中选择的频率是 2 GHz。测试过程中保持入射天线方向位置不

收稿日期:2014-10-10;修回日期:2014-10-22

基金项目:2012 年度高校科研成果产业化推进项目(JHB2012-70)

作者简介:顾昊(1989-),男,在读硕士研究生,研究方向为多功能纺织面料,E-mail:13166258828@163.com。

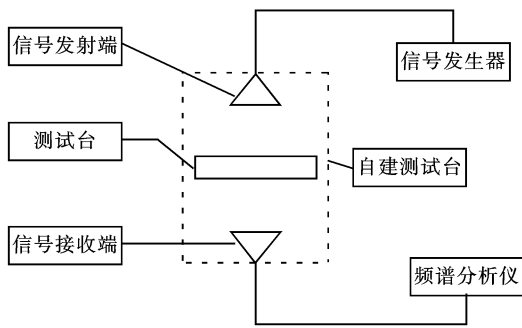


图 1 自建扫频测试台示意图

变,以 30°为步长旋转试样,将旋转时试样法线与入射电磁波的夹角称为 i , i 分别为 0°、30°和 60°时,接收天线在轨道上从发射天线处开始,以 15°为步长围绕圆形轨道一圈,最终回到原点。需要引入 2 个自定义量,分别为:

$$\Gamma(\text{dB}) = Pr - P_0 \quad (2)$$

$$T(\text{dB}) = P_0 - Pr \quad (3)$$

为了方便进行一个圆场散射的表征,引进一个新的量 S :

$$S = \begin{cases} \Gamma & (\text{当接收天线位于反射面时}) \\ T & (\text{当接收天线位于透射面时}) \end{cases} \quad (4)$$

式中 Γ 表示电磁波的反射率, T 表示电磁波的透射率, Pr 表示放置试样时接收天线所接收到的功率, P_0 表示未放置试样时接收天线所接收到的功率, S 表示圆形轨道上某一点的电磁屏蔽性能。

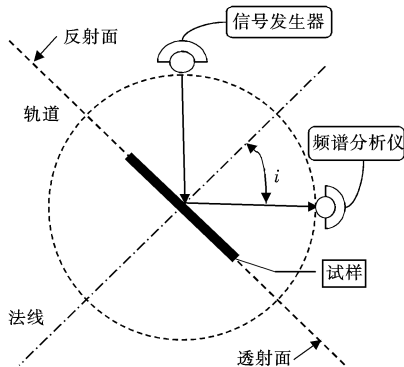
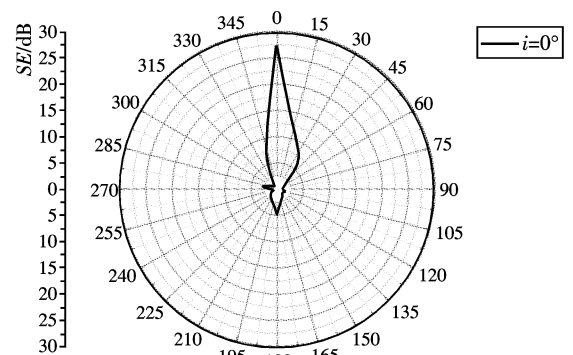


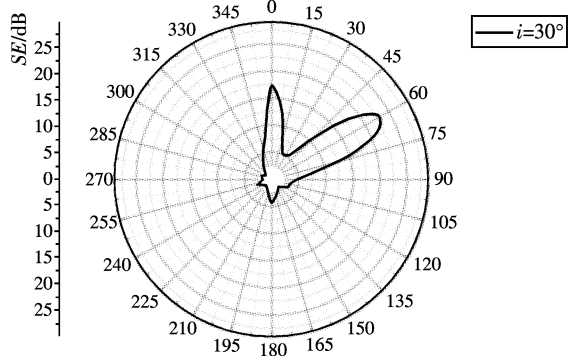
图 2 微波远场散射强度测试

复合材料电磁屏蔽性能的远场散射测试如图 3 所示。

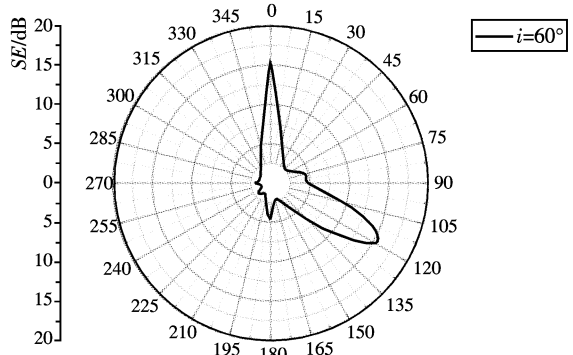
从图 3 中可看出,当试样的法线与电磁波入射方向平行,即电磁波垂直于试样入射时,电磁波会沿着入射方向产生一个反射波;当试样的法线与电磁波入射方向成 30°和 60°夹角时,在反射面上会出现 2 个方



(a) $i=0^\circ$ 时电磁波远场散射强度分布



(b) $i=30^\circ$ 时电磁波远场散射强度分布



(c) $i=60^\circ$ 时电磁波远场散射强度分布

图 3 复合材料电磁屏蔽性能的远场散射测试结果

向的反射波,一个是沿着电磁波入射方向的反射波,另一个则是遵从于镜面反射规则的反射波。而此时在正对电磁波发射方向可测得电磁屏蔽效能可在 5dB 左右,由于远场的工作频率是选择在 2 GHz,与之前的扫频测试结果中的相应频率的电磁屏蔽效能相一致。这是由于导电炭黑涂层具有较好的导电性,而反射波^[9]的产生是由于空间阻抗和屏蔽材料阻抗不匹配所引起的,反射波的强弱与材料的导电性有关。随着试样的旋转,镜面反射波也发生旋转,入射方向的反射波则一直保持方向不变。

2 结果与讨论

2.1 对复合材料导电性的影响

导电炭黑质量含量对复合材料的导电性的影响如图4所示。从图4中可看出,随着导电炭黑含量的增加,复合材料的体积电阻率逐渐减小,当导电炭黑质量含量小于6%时,复合材料的导电性能很弱,几乎可以忽略不计;当导电炭黑质量含量为6%~15%时,复合材料的体积电阻率呈现出较为显著的下降趋势;当导电炭黑的质量含量高于15%时,体积电阻率曲线不再发生明显的变化,这种现象成为渗滤效应,而6%则成为材料的渗滤阈值。产生这一现象的主要原因是导电炭黑作为一种电阻型屏蔽材料,其屏蔽效能和材料的导电率有关。当涂层中导电粒子含量较低时,涂层中的导电炭黑就会被聚氨酯大分子隔离开来,无法形成连续的导电网络,因此导电性能很弱;当涂层中的导电炭黑的质量含量逐渐增加时,导电炭黑粒子所形成的导电网络连续性也逐渐增强,当涂层中的导电炭黑颗粒距离极近甚至发生物理接触时,涂层的导电网络基本成型,材料的导电性也达到最好;当导电炭黑含量继续增加时,此时涂层的导电网络已经基本形成,继续增加导电炭黑质量含量对复合材料的导电性能影响不大。

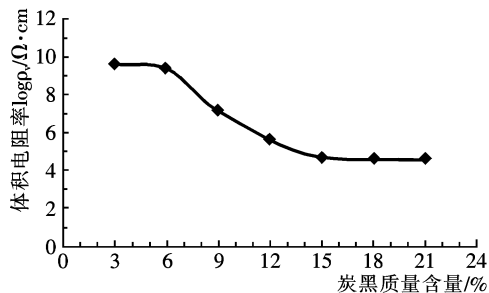
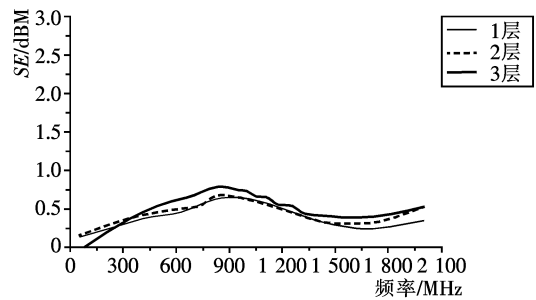


图4 导电炭黑质量含量对材料导电率的影响

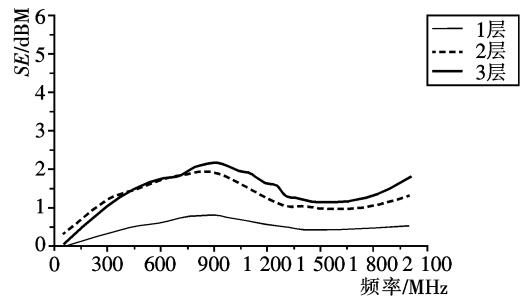
2.2 对复合材料电磁屏蔽性能的影响

由图5可看出,导电炭黑涂层的电磁屏蔽性能随着涂层的厚度的增加而逐渐增大,且随着导电炭黑质量含量的变大,涂层厚度对复合材料的电磁屏蔽性能的影响更大。这是因为当导电炭黑的质量含量增加时,涂层中的导电炭黑更容易形成联通的导电网络,从而使复合材料对电磁波的反射损耗增加,进而提高了复合材料的电磁屏蔽性能^[7]。单层涂层涂覆的棉织物之所以电磁屏蔽性能低,是因为第1层涂层与棉织物直接接触,由于棉织物的纱线间有间隙,涂料会渗入到

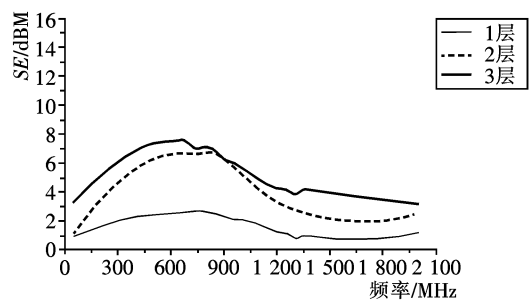
纱线之间,使涂层无法形成导电通路,因此涂层的导电性较低。而当涂层厚度增加为2层时,第2层的涂层能够形成完整的导电通路,复合材料的电磁屏蔽性能增强。当涂层厚度增加到3层时,由于导电炭黑的主要屏蔽效果与导电率有关,涂层厚度的增加并没有提高复合材料的导电性,微小的屏蔽效能的增加是由于电偶极子的吸收损耗所造成的^[8-9]。较厚的涂层中含有更多的导电炭黑颗粒,因此电偶极子的作用也相应增强,但是效果甚微。



(a) 导电炭黑质量含量 5%



(b) 导电炭黑质量含量 10%



(c) 导电炭黑质量含量 15%

图5 涂层厚度对复合材料电磁屏蔽的影响

由图6可看出,在含量为3%~15%时,随着导电炭黑质量含量的增加,复合材料的电磁屏蔽性能逐渐增加;而当导电炭黑的含量增加到18%时,复合材料的导电性能反而呈现出下降的趋势。这是因为当涂层中的导电炭黑含量逐渐增加时,导电炭黑逐渐形成完整的导电网络,导电性增强,复合材料的电磁屏蔽性能也逐渐。如图7所示,当导电炭黑的质量含量超过了临界值以后,涂层基体

无法完全分散导电炭黑,就会发生涂层开裂的现象,涂层中的导电炭黑也会无法均匀分散,从而使涂层的导电性下降,电磁屏蔽性能也发生下降。

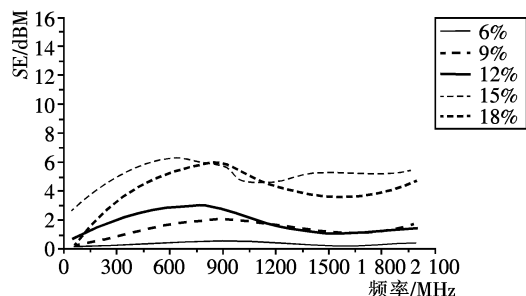
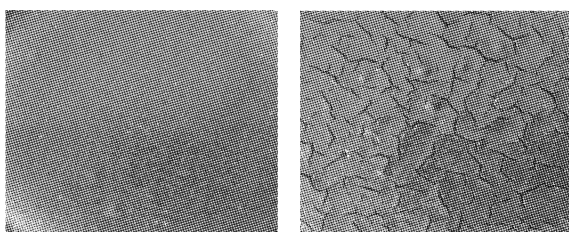


图6 不同质量含量导电炭黑对电磁屏蔽性能的影响



(a)导电炭黑质量含量15% (b)导电炭黑质量含量18%

图7 不同质量含量导电炭黑涂层的成膜性

3 结论

(1)当导电炭黑的质量含量在6%~15%时,随着导电炭黑质量含量的增加,涂覆有导电炭黑涂层的棉织物的导电性能逐渐升高;当导电炭黑的质量含量在15%时,复合材料具有最低的电阻,约为 $4.2 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$,涂覆有导电炭黑涂层的棉织物具有最好的导电性能,且具有最优的电磁屏蔽性能和成膜性能。

(2)在棉织物的表面形成连续的涂层之后,导电炭黑的厚度变化对复合材料的电磁屏蔽性能影响不大。

(3)入射电磁波在涂覆有导电炭黑涂层的棉织物的表面会发生散射,分为三束电磁波,分别为在复合材料表面的镜面反射波,沿入射方向返回的反射波以及透过复合材料的平行于入射波的透射波。

参考文献:

- [1] Y A Kravtsov. Propagation of electromagnetic waves in weakly anisotropic media: theory and applications [J]. Optical Applicata, 2010, 40(4): 975—978.
- [2] F J Shi, Zheng D J. Study on electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric [J]. Wool Textile Journal, 2006, 11(2): 43—44.
- [3] Li Y, Zhang W B. Research on the shielding performance of electromagnetic shielding clothes [J]. Advanced Materials Research, 2011, 150(1): 194—196.
- [4] SJ20524—1995, 材料的屏蔽效能测试方法 [S].
- [5] 汝 强, 胡社军. 电磁屏蔽理论及屏蔽材料的制备 [J]. 包装工程, 2004, 25(5): 21—23.
- [6] GJB2038—94, 雷达吸波材料反射率测试方法 [S].
- [7] 王光华, 董发勤, 贺小春. 氧化铁-石墨/ABS 复合材料制备及电磁屏蔽性能 [J]. 功能材料, 2008, 39(2): 202—204.
- [8] 谢 炜, 程海峰, 楚增勇, 等. 新型吸波碳纤维的研究进展 [J]. 材料导报, 2007, 21(9): 40—43.
- [9] Chu Z, Cheng H F, Zhou Y J, et al. Anisotropic microwave absorbing properties of oriented SiC short fiber sheets [J]. Materials & Design, 2010, 31(6): 3 140—3 145.

Study on the Electronic Shielding Property of Coated Fabric with Conductive Carbon Black

GU Hao¹, YU Wei-dong¹, ZHOU Sheng²

(1. Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The electrical conductivity and electromagnetic shielding of coated cotton fabric by different content and different thickness of conductive carbon black were tested. The optimal contents of conductive carbon black and the best thickness of the coated fabric were obtained based on the electromagnetic shielding effectiveness and film formation. Through the testing results by the far-field microwave method, the main ways of the electromagnetic shielding for coated cotton fabric by conductive carbon black were obtained.

Key words: conductive carbon black; coated fabric; conductivity; electromagnetic shielding

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告