

一种提高有机硅导电橡胶复合材料导电和电磁屏蔽性能的方法

徐 雨,李 颖,徐文娇,殷先德,包建军*

(高分子材料工程国家重点实验室,四川大学高分子研究所,成都 610065)

摘要:描述了一种利用多元复合导电网络提高有机硅橡胶复合材料导电和电磁屏蔽性能的思想。这种含有多元复合导电网络的复合材料是通过将镀银泡沫、导电填料和有机硅橡胶复合在一起而制备的。利用扫描电子显微镜观察了复合材料的微观结构,采用电阻测试仪、矢量网络分析仪、热失重分析仪分别研究了复合材料的导电性、电磁屏蔽性能及热稳定性,并探讨了补强剂 SiO_2 对这些性能的影响。结果表明,2%碳纳米管/导电泡沫/硅橡胶多元复合体系相比于2%碳纳米管/硅橡胶单一复合体系电阻率降低了6个数量级,平均电磁屏蔽效能由12dB提高到52dB,增大了4倍。当导电填料换为炭黑后,2%炭黑/导电泡沫/硅橡胶多元复合体系相比于2%炭黑/硅橡胶单一复合体系电阻率降低了7个数量级,平均电磁屏蔽效能由10dB提高到50dB,增大了5倍。由于多元复合导电网络,材料的导电性能和电磁屏蔽性能大幅度提升。此外,补强剂的加入增大了复合材料的热稳定性,但降低了其导电和电磁屏蔽性能。

关键词:有机硅橡胶;导电性能;电磁屏蔽;导电泡沫

引言

信息时代里琳琅满目的电子设备虽便利了人们的生活,但产生的电磁辐射不仅会干扰设备自身的正常工作,还严重危害人们身体健康^[1]。开发电磁屏蔽材料来减缓其危害已成为材料研究领域内的热点之一。

目前,许多以聚合物为基材的电磁屏蔽材料已被广泛应用,如结构材料^[2~4]、涂料^[5]、泡沫^[6]。而有些场合如减震、密封^[7~9],则要求材料柔软、有弹性。室温硫化型有机硅橡胶(RTV)在加入固化剂后,无需加热即可在室温下固化^[10~11],具有密度低、易加工、耐化学性和耐候性好等特点,适用于制备电磁屏蔽密封圈。早期硅橡胶电磁屏蔽材料主要以添加导电填料来改变导电和电磁屏蔽性能,如碳纳米管^[12]、导电炭黑^[13]、镀银玻璃微球^[14]等,但效果一般。

根据导电通道理论^[13]和大量研究结果^[2~9,12],增加导电填料含量可同时提高导电性能。又根据Schelkunoff电磁屏蔽理论^[15],有

$$SE = R + A + B \quad (1.1)$$

R 为电磁波反射损耗,dB; A 为电磁波吸收损耗,dB; B 为电磁波的多次反射损耗,dB。当 A 大于 10 dB,则多次反射损耗 B 可以忽略不计,则可将式(1.1)简化为

$$SE = R + A = 168 - 10\log(f\mu/\sigma) + 1.31d\sqrt{f\mu\sigma} \quad (1.2)$$

式中 μ 为材料相对磁导率; σ 为相对电导率; f 为电磁波频率; d 为材料厚度。由式(1.2)知导电性提高,电磁屏蔽性能会随之增大。但只靠增加填料含量来改变导电或电磁屏蔽性能无疑会增加材料的成本。为减少导电填料的用量,提高复合材料导电和电磁屏蔽性能,本文以表面镀银的三聚氰胺甲醛泡沫为宏观导电网络,以低含量碳纳米管或导电炭黑为微观导电网络,将两者结合而制备出多元复合导电材料。分别研究了填料含量、多元复合结构、补强剂 SiO_2 对复合材料导电、电磁屏蔽性能的影响。为验证复合

10.14028/j.cnki.1003-3726.2015.03.007

收稿:2014-05-26;修回:2014-09-16;

基金项目:高分子材料科学工程国家重点实验室2014年自主课题;

* 作者简介:包建军,男,副教授,主要从事导电、电磁屏蔽复合材料、环境友好高分子材料加工与改性、超支化聚乙烯醇应用等研究工作,E-mail:jjbao@scu.edu.cn.

体系内部导电网络的存在,文中还利用热失重分析研究了各种复合体系的热稳定性。

1 实验部分

1.1 原料及仪器

经表面活化后的三聚氰胺甲醛泡沫(Basotect W[®], BASF SE);AgNO₃,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;葡萄糖,分析纯,成都市科龙化工试剂厂;107 室温低分子量线性硫化硅橡胶 1#,型号 2000cs,无锡市全立化工有限公司;107 室温低分子量线性硫化硅橡胶 2#,型号 750cs,中蓝晨光化工研究设计院有限公司;固化剂 SF,中蓝晨光化工研究设计院有限公司;工业级多壁碳纳米管(MCNTs),性能见表 1,中国科学院成都有机化学有限公司;导电碳黑(CB),性能见表 2,河南安阳德隆化工有限公司;超细白炭黑,型号 M-5, 800 目,济南齐欢圣化工有限公司。

表 1 多壁碳纳米管的性能
Table 1 Properties of multiwalled carbon nanotubes

性能	直径	长度	纯度	灰分	比表面积	电导率
参数	10~30nm	10~30μm	>90%	<8%	>200m ² /g	>10 ² S/cm

表 2 导电炭黑的性能
Table 2 Properties of carbon black

性能	粒径	比表面积	DBP 吸收值	pH	着色力	黑度
参数	25~35nm	118m ² /g	85cm ³ /100g	4.9	120%	35

1.2 样品制备

导电泡沫采用化学镀银工艺来制备,三聚氰胺甲醛泡沫在进行镀银操作前需要对泡沫进行清洗、活化,具体步骤可参考相关文献^[16]。

首先制备银氨络合溶液。向质量浓度为 15g/L 的 AgNO₃ 溶液中缓慢滴加浓氨水,直至砖红色沉淀刚好消失为止。然后用小烧杯取 50mL 银氨络合溶液,将表面活化后的泡沫放入其中,再向其中快速加入质量浓度为 7.5g/L 的葡萄糖溶液,轻轻摇动、震荡。可以观察到泡沫片表面缓慢变黄,直至变黑。然后将小烧杯置于 40℃ 水浴中保温 40min 左右后取出、干燥,即得表面镀银的导电泡沫。

将型号为 2000cs 和 750cs 的有机硅橡胶按质量比 1:1 混合并搅拌均匀,形成有机硅橡胶生胶料。根据实际需求,可以通过调整两种硅橡胶的质量比来改变生料的粘度。然后将固化剂 SF 加入到上述有机硅橡胶生胶料中,形成硅橡胶预聚物。其中,每 100 份生胶料中添加 5 份固化剂。在可操作范围内,为避免预聚物在未混入导电填料前提前固化,此处固化剂用量是最适宜的。将填料加入上述硅橡胶预聚物中,用杵棒将所得混合物在研钵内研磨约 15min,之后将其倒入盛有导电泡沫的聚四氟乙烯盒子中,然后将盒子转移到真空条件下,等待混合物流进导电泡沫内部,最后将其置于室温固化 24h。

样品名以组分英文名的首字母组合而成,SR、F、CNTs2、CB2 分别代表有机硅橡胶、导电泡沫、2%(wt)碳纳米管、2%(wt)导电炭黑。例如,SR-F-CNTs2 代表有机硅橡胶/导电泡沫/2%(wt)碳纳米管多元复合体系。

1.3 样品的性能及表征

1.3.1 微观结构表征 将所制备的材料浸入液氮中脆断之后,在样品表面喷镀一层金膜。然后置于扫描电子显微镜(SEM, Hitachi Limited S-3400, Japan)下观察微观形貌。

1.3.2 电阻率测试 当材料的电阻大于 10⁸ 时,采用 ZC36 型高电阻计(中国,上海)测试材料的体积电

阻;当材料电阻低于 10^8 时,采用 Keithley 6487 electrometer(中国,北京)两探针测试仪,室温下测试材料的体积电阻,同组的 5 个样品分别取至所制备样品的不同部位。由于材料电阻较大,测试时仪器数值浮动在同一数量级范围内,所测试值仅代表电阻率变化的趋势。最后根据公式(1.3)计算材料的电阻率:

$$\rho = (RS)/L$$

(1.3)

其中 ρ 为体积电阻率, $\Omega\cdot\text{cm}$; R 为材料电阻, Ω ; S 为材料的横截面积, cm^2 ; L 为材料的长度, cm 。

1.3.3 电磁屏蔽测试 根据中华人民共和国电子行业军用标准(SJ20524),采用 Agilent 8720ET 电磁屏蔽测试仪(美国)测试样品的电磁屏蔽性能。试样是直径为 7~10mm 的小圆片,厚度为 2mm,扫描频率范围 0.05~18GHz,输入功率为 0dBm,测试点 201。

1.3.4 热失重分析(TGA) 采用 WRT-2P 型热重分析仪来研究所制备材料在程序升温下的热失重行为,测试温度范围为 0~800℃,升温速度为 20℃/min,氮气气氛流速为 64mL/min。

2 结果与讨论

2.1 微观结构分析

填料在导电复合材料中分散状态对材料的导电性能影响很大。图 1(a)、(b)和图(c)、(d)分别为复合材料 SR-F-CNTs2、SR-F-CB2 在不同分辨率下的断面 SEM 图像。据图 1(a)、(c)分析,硅橡胶基体充分浸入导电泡沫内部,未发现明显气泡孔,泡沫骨架被埋植在硅橡胶基体中,骨架与基体之间无缝隙存在。因此在外力作用下也不会使泡沫骨架表面的金属银发生脱落而影响导电通路的连续性。图 1(b)、(d)说明碳纳米管、导电炭黑在硅橡胶基体中的分散较为均匀,未有明显的团聚。基体中导电填料的随机分散会使其在泡沫骨架与基体两相界面处与骨架上的金属银接触。当复合材料处于变化磁场中时,其内部会形成感应电流,这些电流一部分在导电填料形成的导电通路中传导,另一部分则在泡沫骨架上的金属银层中传导。导电泡沫的宏观导电网络与纳米导电填料形成的微观导电网络相互协同,从而能大大提高复合材料的导电和电磁屏蔽性能。

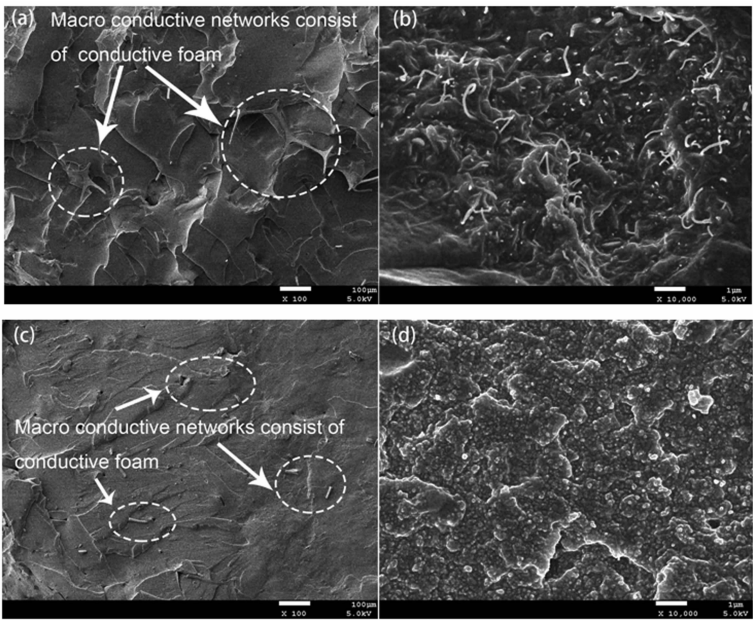


图 1 复合体系在不同分辨率下的截面 SEM 图像
(a)、(b)为 SR-F-CNTs2 体系;(c)、(d)为 SR-F-CB2 体系
Figure 1 SEM section images of each composite system under different resolutions
(a), (b) the SR-F-CNTs2 system; (c), (d) the SR-F-CB2 system

2.2 导电性能及分析

2.2.1 填料种类及填料含量对导电性能的影响 图 2 描述了导电泡沫的电阻率随镀银时间变化的曲线。前 15min 内,反应非常迅速,泡沫的电阻率迅速降低;超过 15min 后,由于泡沫表面的银沉积趋于饱和,电阻率降低至 $0.06\Omega\cdot\text{cm}$ 后不再变化。我们选取镀银反应时间为 45min 的导电泡沫作为后面试验材料。图 3 描述的是导电泡沫的热失重(TGA)曲线。前 100°C 曲线下降,是由泡沫中微量水分的蒸发所引起;温度升高至 400°C 左右时,泡沫开始分解。根据残留百分比,最后计算出导电泡沫银含量为 63.5%(wt)。

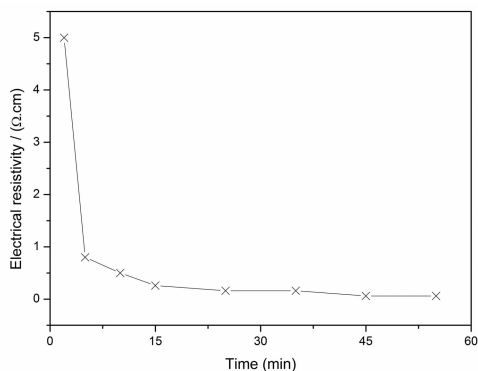


图 2 导电泡沫的电阻率随镀银反应时间变化的曲线

Figure 2 The resistivity of the conductive foam as a function of the electroless silver plating reaction time

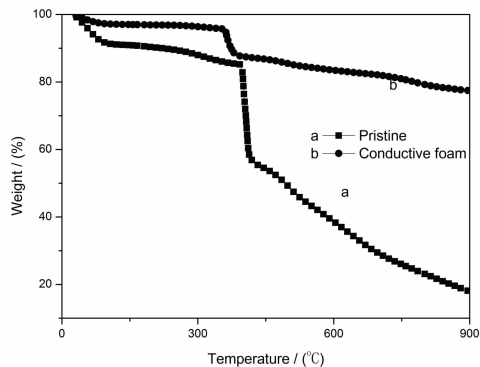


图 3 泡沫热失重曲线

a 为未经任何处理泡沫, b 为镀银 45min 后的导电泡沫

Figure 3 TGA curve of the foam

a, pristine foam; b, conductive foam after 45min electroless silver plating

图 4 是 SR-CB、SR-CNTs、SR-F 这三种单一复合体系的电阻率变化趋势图。由于所制备材料的电阻较大,仪器显示数值频繁波动,因此所绘制的条形图表示的是复合材料电阻率的变化范围,实线部分表示电阻率下限,虚线部分则表示电阻率的上限。由图分析,导电填料和导电泡沫的加入提高了硅橡胶的导电性能,且随填料含量的增大而提高。由于基体中填料含量越高,粘度就越大,对制备多元复合体系不利,故控制填料含量不超过 4%。其中,导电泡沫对硅橡胶导电性能的提高幅度明显要大于 CNTs 和 CB,达到了 $10^7\sim 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ 。而同含量下,SR-CNTs 复合体系的电阻率要略低于 SR-CB 体系,且电阻率波动幅度要明显小于 SR-CB 体系。这与 CNTs 大的长径比和优异的导电性有关。

2.2.2 多元复合体系的导电性能 导电泡沫虽能大幅提高硅橡胶的导电性,但电阻率仍然很大。为进一步提高复合材料导电性,将导电泡沫引入 SR-CB、SR-CNTs 体系,构建了多重复合导电网络。图 5 描述了多元复合体系电阻率变化。图中看出,导电泡沫引入后形成的多元复合体系的电阻率大大降低,SR-CNTs2 的电阻率由 $10^{10}\sim 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 降低至 $10^4\sim 10^5\Omega\cdot\text{cm}$,降幅达 6 个数量级;而 SR-CB2 的电阻率由 $10^{11}\sim 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ 也降低至 $10^4\sim 10^5\Omega\cdot\text{cm}$,降幅达 7 个数量级。根据逾渗理论^[13],导电填料因含量低而无法有效搭接形成的导电通路,导电泡沫的引入后,导电填料除与自身相互搭接外,还可与泡沫上的金属层搭接。当材料处于电场中时,感应电流不仅可以沿着导电填料搭接形成的导电通路及泡沫表面金属层传导,还会沿着金属层与导电填料相互搭接形成的导电通路传导。这样,由导电泡沫构建的宏观导电网络与由纳米导电填料组成的微观导电网络组合构成多元复合导电网络结构,其协同作用使复合材料的导电性能大大提高。

2.2.3 SiO_2 对复合材料导电性能的影响 实际应用时,常在有机硅橡胶中加入补强剂(如气相 SiO_2)以增加其力学性能^[17]。本文中补强剂二氧化硅的添加量为树脂混合物总质量的 2%。图 5 也描述了 SiO_2 分别对单一、多元复合体系电阻率的影响。由图分析, SiO_2 的加入在增加复合材料的力学性能的同时,却不同程度降低了复合材料的导电性能。这说明 SiO_2 粒子有阻碍微观导电通路形成的作用。分散在基

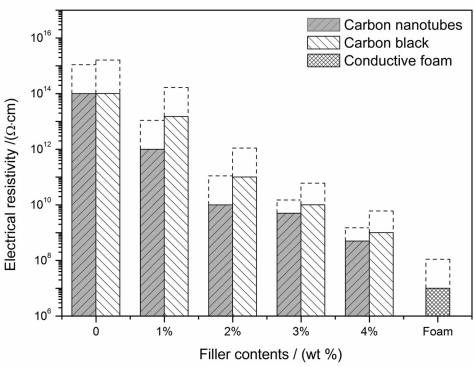


图 4 SR-CB、SR-CNTs、SR-F 这三种单一复合体系的电阻率变化趋势图

Figure 4 Resistivity of single component system SR-CB, SR-CNTs, SR-F

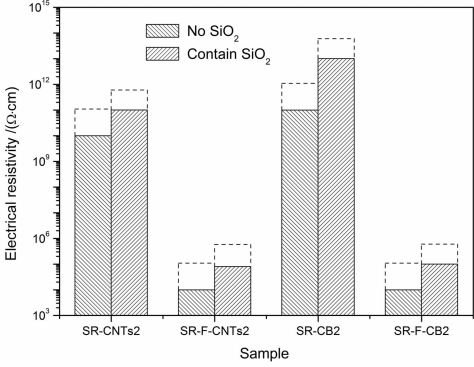


图 5 导电泡沫、SiO₂ 分别对 SR-CNTs2、SR-CB2 体系的电阻率的影响

Figure 5 The effects on the resistivity of system SR-CNTs2, SR-CB2 from conductive foam, SiO₂

体中的 SiO₂ 粒子增大了导电微粒之间的距离,使导电微粒间相互搭接点的数目相对减少,导电网络的完整性逊于未添加 SiO₂ 的样品,从而使导电性下降。对比 CNTs 和 CB 填充的复合体系, SiO₂ 对含 CNTs 体系的影响略小于含 CB 的体系。 SiO₂ 对大长径比的 CNTs 的阻碍作用较弱,粒子间有效搭接点数目变化小;对粒径小的 CB 的阻碍作用较强,粒子间有效搭接点数目相对减少。

2.3 电磁屏蔽性能

2.3.1 单一复合体系的电磁屏蔽性能 图 6 分别描述了单一、多元复合体系的电磁屏蔽效能随频率的变化。据曲线 6a、6b、6c 分析,在 0.05~18GHz 范围内,SR-F 体系电磁屏蔽效能最高达 26dB,平均值为 20dB;SR-CB2 体系电磁屏蔽效能最高值约为 23dB,平均值约为 10dB;SR-CNTs2 体系的电磁屏蔽效能最大值约为 24dB,平均值约为 12dB。在 0.05~10GHz 的较低频段内,SR-CB2 和 SR-CNTs2 体系的电磁屏蔽性能几乎无差别;而在 10~18GHz 的较高频段内,SR-CNTs2 体系要略好于 SR-CB2 体系,这是由于 CNTs 长径比大,SR-CNTs2 体系导电性能较好。比较这三种填料,金属银导电性能要更好,故导电泡沫填充的 SR-F 体系的综合电磁屏蔽性能明显要优于 SR-CB2 和 SR-CNTs2 体系。

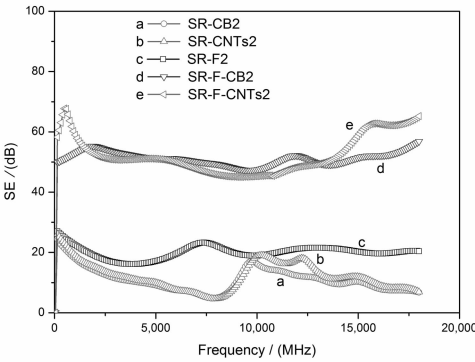


图 6 各种复合体系的电磁屏蔽效能随频率的变化
单一复合体系:a、b、c;多元复合体系:d、e

Figure 6 EMI shielding effectiveness of each composite system varies with frequency
the single component system a, b, c; the multi-component system d, e

2.3.2 多元复合体系的电磁屏蔽性能 据图 6d、6e 分析,在 0.05~18GHz 范围内,SR-F-CB2 体系电磁屏蔽效能值最高约为 55dB,平均值约为 50dB,较 SR-CB2 体系平均值增大了 5 倍;SR-F-CNTs2 体系电

磁屏蔽效能值最高约为 65dB,平均值约为 52dB,较 SR-CNTs2 体系平均值也增大了 4 倍。说明在相同 CNTs 或 CB 添加量下,导电泡沫的引入,多元复合体系的电磁屏蔽性能要远好于单一复合体系,且 CNTs 填充的多元复合体系要比 CB 填充的多元复合体系电磁屏蔽性能更佳。多元复合体系导电性能因多重导电网络协同作用而得到提高,根据前言中公式(1.2)可知,材料导电性能提高,电磁屏蔽性能相应也会增加。

以上结果说明,多元复合体系中导电填料碳纳米管和导电炭黑的用量不仅都不超过 2%,而且与添加单一导电填料的常用有机硅橡胶复合材料相比,导电和电磁屏蔽性能却得到了大幅度提升。该多元复合材料具有填料用量少,制备过程简单,导电和电磁屏蔽性能优异的特点,完全可以满足日常生活中对电磁屏蔽材料的需求,甚至可以应用到军事领域。

2.3.3 SiO₂ 对复合体系的电磁屏蔽性能 图 7 (1)、(2) 分别描述了 SiO₂ 对 CB、CNTs 填充的复合体系的电磁屏蔽性能的影响。据图分析,加入 SiO₂ 后,各复合体系电磁屏蔽效能不同程度上都有所降低。在 0.05~18GHz 范围内,SR-CB2、SR-F-CB2 体系电磁屏蔽效能最大值分别降低至 20dB、44dB,平均值分别降低至 8dB、37dB;SR-CNTs2、SR-F-CNTs2 体系电磁屏蔽效能最大值分别降低至 22dB、63dB,平均值分别降低至 11dB、50dB,这与 SiO₂ 引起复合材料导电性能下降有关。此外, SiO₂ 对 CB 填充的复合体系的影响要明显大于由 CNTs 填充的复合体系,与对导电性的影响一致。这说明大长径比的 CNTs 在尺寸上比导电炭黑有优势。

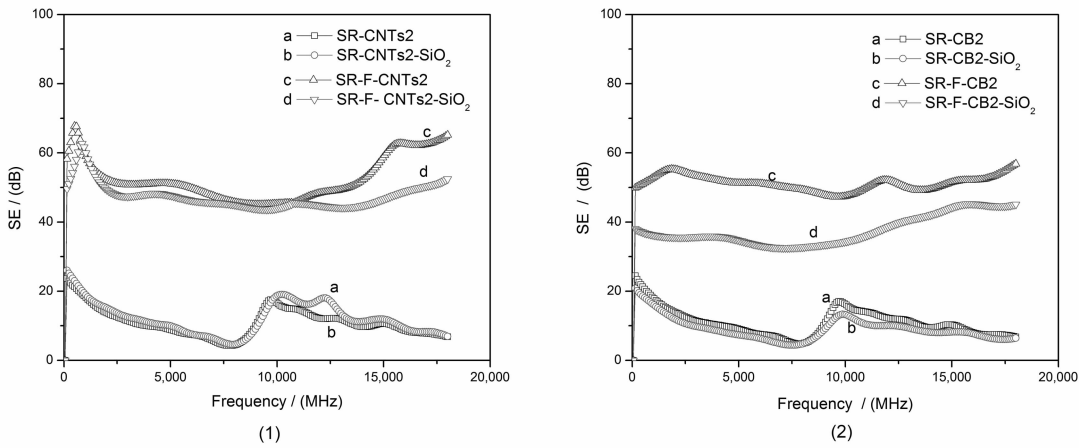


图 7 SiO₂ 分别对不同导电填料填充的复合体系的电磁屏蔽性能的影响
(1)CNTs 填充体系;(2)CB 填充体系

Figure 7 Effect from SiO₂ on the EMI shielding effectiveness of each composite system filled with different fillers
(1) the system filled with CNTs; (2) the system filled with CB

2.4 热失重分析

复合材料内部的多重导电网络除了改变其自身的导电和电磁屏蔽性能外,而且还能改变材料的热稳定性。为进一步验证复合体系中多重导电网络的存在,作者采用 TGA 测试填料对硅橡胶热稳定性的影响,图 8(1)、(2)描述了导电泡沫和 SiO₂ 分别对 2%(wt) CB、2%(wt) CNTs 填充的复合体系的热失重行为影响。

对比图 8(1)a 与 b、图 8(2)a 与 b 可以看出,含量仅 2%(wt) CNTs、2%(wt) CB 对有机硅橡胶的热分解温度分别最大提高了约 100℃、70℃,CNTs 体系的提高幅度要大于 CB 体系,说明大长径比的 CNTs 对有机硅橡胶分子链运动的阻碍作用更大。对比图 8(1)b 与 c、d 与 e 及图 8(2)b 与 c、d 与 e 这四组曲线,发现导电泡沫也能提高复合材料的初始分解温度。这与导电泡沫表面极微量的金属银有关。此外,对比图 8(1)b 与 d、c 与 e 及图 8(2)b 与 d、c 与 e 这四组曲线, SiO₂ 大幅度提高了硅橡胶复合材料的分解

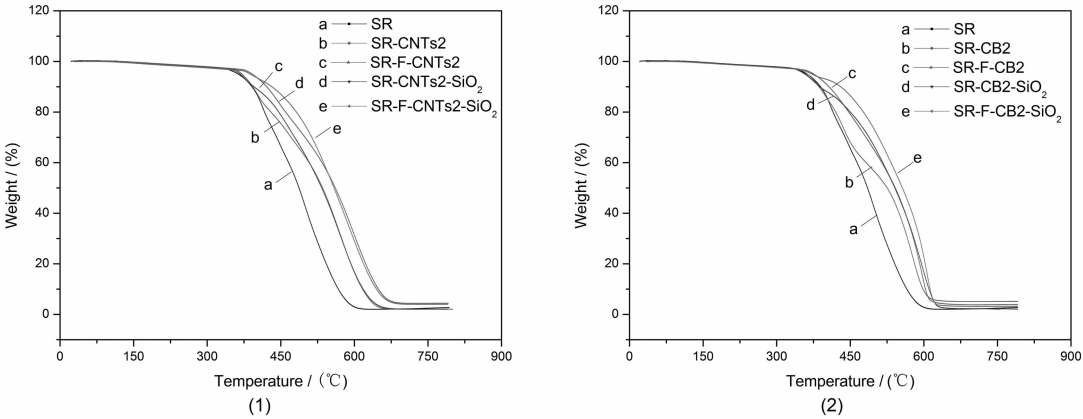


图 8 导电泡沫和 SiO₂ 分别对不同复合体系的热失重行为影响
(1)2%(wt) CNTs 填充体系;(2)2%(wt) CB 填充体系

Figure 8 Effect from the conductive foam and SiO₂ on thermo-gravimetric behavior of different composite system
(1) the system filled with 2%(wt) CNTs; (2) the system filled with 2%(wt) CB

温度。这是由于二氧化硅微粒表面的 Si—OH 与硅橡胶分子主链上的一Si—O—作用形成三维交联结构,硅橡胶分子链的运动受到阻碍。

3 结论

- (1)论文利用多元复合导电网络成功制备出了 SR-F-CB、SR-F-CNTs 电磁屏蔽复合材料,降低了导电填料使用量及复合材料综合成本;
- (2)多重复合导电网络能有效的提高复合材料的导电性能。由于导电泡沫的加入,SR-F-CNTs2 体系相比于 SR-CNTs2 体系,电阻率降低至 $10^4 \sim 10^5$,降幅达 6 个数量级;而 SR-F-CB2 体系相比于 SR-CB2 体系,电阻率也降低至 $10^4 \sim 10^5$,降幅达 7 个数量级;
- (3)多重复合导电网络能有效地提高复合材料的电磁屏蔽性能;在 0.05~18GHz 频率范围内,所制备的 SR-F-CB2 复合材料平均电磁屏蔽效能值为 50dB;SR-F-CNTs2 体系平均电磁屏蔽效能值为 52 dB;
- (4)由于空间阻碍作用,SiO₂ 降低了多元复合材料的导电和电磁屏蔽性能;
- (5)CB、CNTs、导电泡沫、SiO₂ 均能在不同程度上提高了复合材料的热分解温度,同时也证明了复合材料内部多重导电网络的存在。
- (6)多元复合材料具有填料用量少,制备过程简单,导电和电磁屏蔽性能优异的特点。除满足日常生活中对电磁屏蔽材料的需求外,还可以应用到军事领域。

参考文献:

[1] Li Y,Chen C X,Zhang S,Ni Y W,Huang J. Appl Surf Sci,2008,254(18):5766~5771.
[2] Gupta T K,Singh B P,Teotia S,Katyal V,Dhakate S R,Mathur R B. J Polym Res,2013,20(5):169~175.
[3] Huang Y,Li N,Ma Y F,Du F,Li F F,He X B,Lin X,Gao H J,Chen Y S. Carbon,2007,45(8):1614~1621.
[4] Shen J B,Champagne M F,Gendron R,Guo S Y. Eur Polym J,2012,48(5):930~939.
[5] Lee H H,Chou K S,Shih Z W. Int J Adhes Adhes,2005,25(5):437~441.
[6] Yang Y L,Gupta M C,Dudley K L,Lawrence R W. Nano lett,2005,5(11):2131~2134.
[7] 刘玉凤,于名讯,尤丛赋,徐勤涛. 橡胶工业,2013,60(2):119~125.
[8] 姜兴盛. 单组份聚有机硅氧烷弹性密封胶的研制. 黑龙江:黑龙江大学,2004.
[9] 张飞豹,吴小君,郭青林. 有机硅材料,2010,24(6):380~384.
[10] 王春华. 特种橡胶制品,2005,26(1):55~58.

- [11] Hu Y J,Zhang H Y,Cheng X L,Li F L,Chen T L. Appl Surf Sci,2011,257(7):2813~2817.
- [12] Hong J H,Lee J,Hong C K,Shim S E. Curr Appl Phys,2010,10(1):359~363.
- [13] 廖波,王英杰. 功能材料,2014,45(2):40~43.
- [14] Yan H,Mei R G,An Z G,Zhang J J. Compos Sci Technol,2013,79(4):64~69.
- [15] Schelkunoff S A. Bell Syst Tech J,1934,13(4):532~579.
- [16] Yuen C W M,Jiang S X,Kan C W,Ku S K A,Choi P S R,Tang K P M,Cheng S Y. Fiber Polym,2013,14(1):82~88.
- [17] 刘丰,郑秋红,李小红,丁海,张治军. 复合材料学报,2006,23(6):57~63.

A Method for Improving the Conductivity and Electromagnetic Shielding Property of Organic Silicon Rubber Composites

XU Yu, LI Ying, XU Wen-jiao, YIN Xian-de, BAO Jian-jun*

(State Key Laboratory of Polymer Materials Engineering, Polymer Research Institute of Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In this article, an idea of using multiple conductive networks to improve the conductivity and electromagnetic shielding effectiveness (EMI SE) of the organic silicon rubber composite is described. The composite with multiple conductive networks was fabricated by combining electroless silver plating foam and low conductive fillers with the organic silicon rubber. Scan electron microscope is applied to observing the microstructure of the composites. Resistance tester, vector network analyzer, and thermo-gravimetric analyzer are respectively used for the characterization of the conductivity, EMI SE, and thermal stability of the composite. The effect of the fortifier nano SiO₂ on these properties is also discussed. The results show that the resistivity of the multiple composite system 2wt% carbon nanotubes (CNTs)/conductive foam (F)/silicone rubber (SR) decreases 6 orders of magnitude compared to the one-part composite system 2wt% CNTs/SR. The average EMI SE, which has increased from 12dB to 52dB, is 4 times than that of the system 2wt% CNTs/SR. When the filler replaces with carbon black (CB), the resistivity of the multiple composite system 2wt% CB/ F/SR is 7 orders of magnitude lower than that of the one-part composite system 2% CB/SR. The average EMI SE, which has increased from 10dB to 50dB, is 5 times higher than that of the system 2% CB/SR. The conductivity and the EMI SE are significantly enhanced due to the multiple conductive networks. In addition, the thermal stability of each composite system is improved at the presence of the fortifier, but the conductivity and EMI SE has decreased.

Key words: Organic silicon rubber; Conductivity; Electromagnetic shielding; Conductive foam