

# 电磁屏蔽橡胶的研究进展

刘玉凤,于名讯,尤丛赋,徐勤涛,潘士兵,于万增  
(中国兵器工业集团第五三研究所,山东 济南 250031)

**摘要:**介绍电磁屏蔽原理以及电磁屏蔽橡胶的研究进展。电磁屏蔽橡胶不仅具有橡胶的高弹性、柔韧性和密封性,还具有优良的导电性能或导磁性能,其作为电磁屏蔽衬垫已经在电子、军事等行业得到应用。电磁屏蔽橡胶按照填料类型可分为金属填充橡胶、碳填充橡胶、金属/非金属复合物填充橡胶和导电聚合物颗粒填充橡胶四大类,主要通过开炼机混炼、捏合机混合等工艺使导电填料均匀分散在橡胶基体中,然后通过挤出或模压工艺加工成型。电磁屏蔽橡胶的发展方向主要是橡胶用导电填料的复合化、橡胶用导电填料的纳米化,以及通过加工工艺的改善及制品结构的复合化设计提高电磁屏蔽橡胶的综合性能。

**关键词:**电磁屏蔽;橡胶;体积电阻率;加工工艺  
**中图分类号:**TQ336.9      **文献标志码:**B      **文章编号:**1000-890X(2013)02-0119-07

随着信息技术的飞速发展,计算机网络、信息处理设备、电子通信设备等各种电器设备作为信息技术的载体已在各个行业广泛应用,这给人们的生活带来很大便利,但是电子设备产生的电磁污染已成为当今不可忽视的社会公害。电磁干扰极易影响信息系统和灵敏设备的正常工作,电磁泄漏还会威胁到电子信息安全,此外电磁辐射也会危及人类健康。运用电磁屏蔽技术可以有效抑制有害的电磁辐射,减小电磁污染并实现电磁兼容。对电磁辐射进行屏蔽的有效措施之一是在电子器件的机壳接缝及孔隙等易泄漏电磁波的地方用屏蔽导电材料进行封闭。屏蔽导电材料以金属为佳,但其缺点是质量大,价格昂贵,且不易加工成型。随着高分子材料的发展,屏蔽电磁辐射的导电橡胶材料不断得到开发和应用,正逐步取代纯金属屏蔽材料<sup>[1]</sup>。电磁屏蔽橡胶是将导电或导磁性物质添加到绝缘的橡胶基体中,并加入适量偶联剂和硫化剂等,通过混炼、硫化等一系列工艺得到的屏蔽性能良好且具有橡胶柔韧特性的复合材料。

本文主要介绍电磁屏蔽原理以及电磁屏蔽橡胶的研究进展。

**作者简介:**刘玉凤(1988—),女,河南周口人,中国兵器工业集团第五三研究所在读硕士研究生,主要从事电磁屏蔽橡胶的研究。

## 1 电磁屏蔽原理

电磁屏蔽就是以某种材料(导电或导磁材料)制成屏蔽壳体将需要屏蔽的区域封闭起来,形成电磁隔离,其内部的电磁场不能越出这一区域、外来的电磁场不能进入这一区域,或者进出该区域的电磁能量将受到很大衰减。屏蔽有两个目的:限制内部电磁能量泄漏和防止外来的辐射干扰进入<sup>[2]</sup>。电磁屏蔽材料对电磁波的屏蔽主要分为 3 个部分:反射损失、吸收损失和多次反射损失。屏蔽材料的屏蔽性能用屏蔽效能( $E_s$ )评估,计算单位为分贝(dB)。

按照 Schelkunoff 电磁屏蔽理论,电磁波通过屏蔽材料的总屏蔽效果可按式(1)计算<sup>[3]</sup>。

$$E_s=R+M+A \tag{1}$$

- 式中  $R$ ——反射损失,指发生在电磁屏蔽材料与空气交界面上的反射损失,dB;  
 $M$ ——多次反射损失,指电磁波在屏蔽体内传播时多次反射造成的损失,dB;  
 $A$ ——吸收损失,指电磁波在屏蔽体内被屏蔽材料吸收的损失,dB。

当  $A>10$  dB 时, $M$  可忽略不计,故式(1)可简写为

$$E_s=R+A \tag{2}$$

即:  $E_s=168-10\lg(f\mu/\sigma)+1.31t\sqrt{f\mu/\sigma}$       (3)

式中  $\mu$ ——相对磁导率;  
 $\sigma$ ——相对电导率;  
 $f$ ——电磁波频率;  
 $t$ ——屏蔽材料厚度。

由屏蔽效能理论及公式(3)可以得出以下结论:①当干扰电磁波频率较高时,可利用低电阻率金属材料中产生的涡流对外来电场波的抵消作用达到屏蔽的效果;②当干扰电磁波频率较低时,可采用高导磁率材料将磁力线限制在屏蔽体内部,从而防止其扩散到被屏蔽空间;③同一种屏蔽材料对电场波的屏蔽效果越好,对磁场波的屏蔽效果相对越差,即磁场波最难屏蔽,同时屏蔽材料在不同频段特性有所不同,例如铁磁性材料在低频时磁导率高,吸收损耗大,因此一般用于制作低频屏蔽体,高频时铁磁材料的相对磁导率随着频率的升高而下降,屏蔽材料的反射损耗随着频率的升高而增大,因此高频时宜选用良导体为屏蔽体<sup>[4]</sup>。

## 2 电磁屏蔽橡胶的分类

电磁屏蔽橡胶所用基体橡胶通常有天然橡胶(NR)、丁苯橡胶(SBR)、丁腈橡胶(NBR)、三元乙丙橡胶和硅橡胶等。其中硅橡胶主链为—Si—O—、侧基为由有机基团构成的线形半无机高分子聚合物,具有耐热、耐寒和脱模性能好,无生理活性等特点,同时又因不含软化剂、增塑剂或硫化促进剂、防老剂等,不会泄漏起雾造成环境污染,成为电磁屏蔽橡胶基体的最佳选择。将导电填料分散在硅橡胶中制得的导电硅橡胶不仅具有良好的导电、导磁性能和优异的电磁屏蔽性能,还具有良好的气密性、水密性、压力密封性和耐腐蚀性能,且由于其具有稳定的电阻时间特性、可控制的电阻温度系数及较高的温度界限等优点,成为用量最大的导电橡胶。

填料决定电磁屏蔽橡胶的屏蔽效能、物理性能和使用的频率范围。根据填料的类型,电磁屏蔽橡胶可分为4类:金属填充橡胶、碳填充橡胶、金属/非金属复合物填充橡胶和导电聚合物颗粒填充橡胶。

### 2.1 金属填充橡胶

目前用于电磁屏蔽橡胶的金属填料种类主要

有银、铜、铝和镍。银的导电性能最好、抗氧化性能强、电磁屏蔽性能最佳,但是银粒子在橡胶中容易发生迁移,可导致材料电阻升高,屏蔽性能下降。铜导电性能与银相当,价格便宜,但铜易被氧化,性能不稳定。镍导磁性能良好,对低阻抗磁场屏蔽性能较好,但其导电性能较差。

雷海军等<sup>[5]</sup>研究了银粉和镍粉对高导电硅橡胶导电性能的影响。结果表明:在相同条件下,掺入银粉的高导电硅橡胶体积电阻率比掺入镍粉的硅橡胶小2~3个数量级;金属填料的用量越大,高导电硅橡胶的体积电阻率越小,物理性能越差;高导电硅橡胶的电阻率随着金属填料粒径的增大先减小后增大。

单一金属填料因其自身缺陷会影响橡胶电磁屏蔽性能,采用化学镀的方式将一种金属镀到另一种金属表面可以扬长避短。如在铜粉或铝粉表面镀银,既能提高铜粉和铝粉的抗氧化性能,又能改善银粉的易迁移性能;在铜粉表面镀镍,可以提高铜粉对低阻抗磁场的屏蔽性能。

李银华等<sup>[6]</sup>研究了镀银铜粉填充硅橡胶的性能。结果表明:采用乙烯基三叔丁基过氧硅烷(硅烷偶联剂 VTPS)对镀银铜粉进行表面处理可改善胶料的混炼工艺性能,提高硫化胶中镀银铜粉与硅橡胶的结合力,并相应提高硅橡胶的导电稳定性;所得镀银铜粉填充型导电硅橡胶的体积电阻率小于  $0.01 \Omega \cdot \text{m}$ 。

孙建生等<sup>[7-8]</sup>研究了镀银铝粉用量及偶联剂对电磁屏蔽硅橡胶电学和物理性能的影响。结果表明:镀银铝粉用量210份是电磁屏蔽硅橡胶的逾渗阈值;镀银铝粉用量为230份时,电磁屏蔽硅橡胶的体积电阻率为  $6.75 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ,拉伸强度为2.3 MPa,拉断伸长率为571%,邵尔A型硬度为65度;加入硅烷偶联剂 VTPS 的硅橡胶屏蔽效能和耐盐雾性能较好,当硅烷偶联剂 VTPS 用量为3份时,硅橡胶体积电阻率达到  $5.7 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ,在0.03~10 GHz 频率范围内  $E_s$  大于78 dB,在1 GHz 处有最大的  $E_s$ ,为129.4 dB。

耿新玲等<sup>[9]</sup>对镀银镍粉填充硅橡胶的物理性能及导电性能进行了研究。结果表明,当镀银镍粉用量为450份时,硅橡胶的体积电阻率达  $8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ,硫化后硅橡胶的物理性能和导电性

能均较好。

于海蔚等<sup>[10]</sup>研究了镀镍铜粉填充型电磁屏蔽硅橡胶的物理性能、电性能、电磁屏蔽性能及耐电化腐蚀性能。结果表明:在保证物理性能良好的前提下,镀镍铜粉填充型硅橡胶在 0.03~18 GHz 的频率范围内具有良好的电磁屏蔽性能( $E_s$  为 80 dB 以上),并可提供极好的耐电化腐蚀性能,且在高温高湿环境中具有良好的电性能和电磁屏蔽性能稳定性;镀镍铜粉填充型硅橡胶的体积电阻率明显高于镀银铜粉填充型硅橡胶,但其电磁屏蔽性能优于镀银铜粉填充型硅橡胶,说明材料体积电阻率的大小和电磁屏蔽性能的优劣没有直接的相关性。

## 2.2 碳填充橡胶

金属填料导电性能好,但密度太大,难以满足现代电子产品对“轻”的要求,且易于从成型基体中析出。非金属填料与金属填料相比质量小,与橡胶结合力好,还能起到补强橡胶的作用。炭黑是最早被使用的碳系导电填料,具有结构度高、密度小、价格低的优点,且对橡胶具有补强作用,但是炭黑填充导电橡胶的体积电阻率较高,电磁屏蔽性能较差,只能用于对电磁屏蔽要求不高的场合。

焦冬生等<sup>[11]</sup>对乙炔炭黑填充硅橡胶的导电性能进行了研究,发现随着乙炔炭黑用量的增大,试样的体积电阻率呈降低趋势,最小体积电阻率不大于  $4.5 \Omega \cdot \text{cm}$ ;经过热处理后,硅橡胶的导电性能明显改善。

冯猛等<sup>[12]</sup>研究了炭黑填充 SBR 和炭黑填充 SBR/NR 并用体系(并用比为 50/50)的物理性能、导电性能和电磁屏蔽性能。结果表明:炭黑用量相同的条件下,SBR 体系的  $E_s$  小于 SBR/NR 并用体系;炭黑用量为 20 份、电磁波频率为 1.8 GHz 时,SBR 体系最高  $E_s$  为 -19 dB,SBR/NR 并用体系最高  $E_s$  为 -22 dB。

郭巍等<sup>[13]</sup>研究了导电炭黑 T-60、T-80 和乙炔导电炭黑填充 NR 体系的物理性能和导电性能。结果表明:导电炭黑用量为 30~40 份时,体系的体积电阻率出现拐点;导电炭黑在 NR 中形成电子网络后,体系的体积电阻率变化趋于平缓;导电炭黑用量为 50 份时,体系的综合物理性能和

导电性能最好。

石墨是具有共价键和金属键的混合晶体,具有金属光泽和接近金属的电导率,但是石墨结构在胶料混炼过程中会被破坏,从而影响石墨填充橡胶的电磁屏蔽性能。

刘德伟等<sup>[14]</sup>采用熔融插层法制备了膨胀石墨/NBR 纳米复合材料,并对其物理性能和电性能进行研究。结果表明,膨胀石墨用量为 10 份时,纳米复合材料的表面电导率和体积电导率分别为  $1.1 \times 10^{-9}$  和  $1.2 \times 10^{-9} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,是不含膨胀石墨复合材料的 100 倍和 43 倍。

H. Zou 等<sup>[15]</sup>对镀镍石墨填充硅橡胶的形态结构、物理性能和电磁屏蔽性能进行了研究,发现在混炼过程中如果剪切力过大,镀镍石墨会发生聚集,从而影响胶料的物理性能。当镀镍石墨用量为 120 和 140 份时,胶料拉伸伸长率分别为 200% 和 172%, $E_s$  分别为 40 和 60~70 dB。

孙业斌等<sup>[16]</sup>研究了镀镍石墨/甲基乙烯基硅橡胶(MVQ)复合材料的物理性能和导电性能。结果表明:当镀镍石墨用量为 180 份时,复合材料的导电性能和物理性能均较好;随着储存时间和热老化时间的延长,复合材料的体积电阻率均小于  $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ ,导电稳定性良好。

由于碳纤维具有较大的长径比,在橡胶中容易搭接形成导电网络,因此其用量较小时就可以达到逾渗阈值。R. C. Yan 等<sup>[17]</sup>对碳纤维/丁基橡胶(IIR)复合物薄膜的电磁屏蔽性能进行了研究,结果表明,在 0.3~1.5 GHz 电磁波频率范围内,薄膜的  $E_s$  随着频率的增大而增大,达到 -25~-35 dB。Y. J. Hu 等<sup>[18]</sup>制备了碳纤维/硅橡胶复合材料,并探讨碳纤维用量对硅橡胶导电性能和电磁屏蔽性能的影响,发现在 2.6~3.95 GHz 的电磁波频率下,当碳纤维用量为 50 份时,复合材料的  $E_s$  最高达 63 dB。

碳纳米管(CNTs)一被发现就迅速成为研究热点,其不仅具有独特的一维管状纳米结构,同时也是迄今为止发现的唯一同时具备超高力学性能、热性能和电性能的超级材料<sup>[19-22]</sup>。纯单壁碳纳米管(SWNTs)组成的薄膜电导率高达  $6.6 \times 10^5 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ <sup>[23]</sup>。SWNTs 的超大长径比(大于 1 000)对形成三维网络状结构的导电通路极为有

利。由于具有独特的结构和优良的性能,CNTs在抗蠕变、导热和导电橡胶中得到广泛应用。

周湘文等<sup>[24]</sup>采用喷雾干燥法制备了不同配比的CNTs/粉末SBR复合材料,并观察了CNTs在橡胶基体中的分散情况,检测了复合材料的导电性能及介电性能。结果表明:CNTs在橡胶基体中能够充分均匀分散,有利于CNTs改性补强作用的发挥;随着CNTs用量的增大,CNTs/粉末SBR复合材料的电导率逐渐升高,当CNTs用量为60份时,与添加60份炭黑的试样相比,CNTs/粉末SBR复合材料的电导率提高近10个数量级。

Y. Zeng等<sup>[25]</sup>研究了CNTs/硅橡胶复合材料的电阻率随形变的变化趋势,发现当CNTs质量分数为0.04~0.06时,CNTs相互连接形成导电网络,达到逾渗阈值,此时导电网络是松散、不稳定的,复合材料的结构和电阻率很容易随温度和压力等的变化而变化。随着CNTs质量分数的增大,CNTs相互重叠,复合材料的电阻率逐步降低并趋于稳定,如CNTs质量分数为0.06时,在0~125%的形变范围内,复合材料的体积电阻率为 $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{mm}$ ,当质量分数为0.1时,复合材料的体积电阻率稳定在 $1 \times 10^3 \Omega \cdot \text{mm}$ 左右,不随形变的变化而发生改变。

Byung-Mook Cho等<sup>[26]</sup>研究了熔融法制备NBR/多壁碳纳米管(MWCNTs)复合材料时加工工艺参数对复合材料表面电阻率的影响。结果表明:增大搅拌速度和延长搅拌时间,在改善MWCNTs分散性的同时也使得MWCNTs的长度有所减小,两者对复合材料电阻率的影响是对立的,但整体而言复合材料的电阻率增大;搅拌时间为15和30 min、搅拌速度由 $20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 增大到 $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,复合材料的表面电阻率由 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}^{-2}$ 增大到 $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}^{-2}$ 。

M. J. Jiang<sup>[27]</sup>对用化学改性方法提高MWCNTs/MVQ复合材料的电导率进行了研究。结果表明:用 $\gamma$ -氨丙基三乙氧基硅烷(硅烷偶联剂KH550)改性的MWCNTs(m-MWCNTs)比未改性的MWCNTs在MVQ中的分散性好,且m-MWCNTs/MVQ复合材料的电导率有很大提高,分析原因可能是m-MWCNTs与MVQ之间

有强的相互作用;当m-MWCNTs的体积分数为0.03时,m-MWCNTs/MVQ复合材料的电导率达 $1 \times 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

虽然CNTs导电性能优越,但由于其在橡胶中分散不均,且在橡胶加工过程中形貌遭到破坏,影响到了电磁屏蔽橡胶的屏蔽性能,因此作为电磁屏蔽橡胶填料的应用还处于初级阶段。

### 2.3 金属/非金属复合物填充橡胶

以非金属为芯材、采用化学镀等技术在其表面包覆一层或几层化学稳定性和耐腐蚀性好、电导率高的导电物质(如银、镍、铜等)得到的金属/非金属复合物,具有质量小、电导率高、物理性能稳定等特点,以其为填料制备的导电橡胶电磁屏蔽性能好,因此具有很好的应用前景。

邹华等<sup>[28]</sup>研究了镀银玻璃微珠的用量、粒径、表面改性工艺以及导电硅橡胶硫化程度等对镀银玻璃微珠/硅橡胶复合材料导电性能的影响。结果表明:导电粉体形状影响逾渗时的临界体积分数,片状粒子更容易相互搭接形成导电网络,逾渗阈值更小;镀银玻璃微珠的粒径越大,复合材料的导电性能越好;湿法预处理和原位改性-分散工艺制得的复合材料导电性能和导电稳定性优于直接干混工艺复合材料;提高导电硅橡胶硫化程度有利于提高复合材料的导电性能。

彭祖雄等<sup>[29]</sup>分别研究了镀银玻璃微珠、碳纤维和镀银玻璃微珠/碳纤维复合填料填充硅橡胶的电磁屏蔽性能。结果表明:在2.6~3.95 GHz频段内,镀银玻璃微珠用量越大,导电硅橡胶的 $E_s$ 越高,镀银玻璃微珠用量为180份时,试样的 $E_s$ 峰值为-115.2 dB;添加少量碳纤维能够提高镀银玻璃微珠/碳纤维复合填料填充硅橡胶的电磁屏蔽性能,当碳纤维用量增大到20份时,镀银玻璃微珠/碳纤维复合填料填充硅橡胶(镀银玻璃微珠用量为20份)的 $E_s$ 峰值达到-82.0 dB,高于填料用量为150份的单纯镀银玻璃微珠填充硅橡胶的 $E_s$ ,并且能够在提高导电硅橡胶物理性能的同时降低成本。

### 2.4 导电聚合物颗粒填充橡胶

近几年,以导电聚合物颗粒或聚合物包覆非金属复合物为填料制备导电橡胶得到发展,导电聚合物颗粒密度小、柔韧性和与橡胶亲和性好,以

其为填料制备的导电橡胶质量小、加工性能好。

段玉平等<sup>[30]</sup>研究了聚苯胺(PAN)复合材料的导电性能和电磁屏蔽性能,并对在3~1 500 MHz这一低频率范围内掺有氯化氢的PAN填充硅橡胶导电复合材料的电导率和 $E_s$ 进行了重点分析。结果表明:随着掺有氯化氢的PAN用量的增大,复合材料的 $E_s$ 增大,体积电阻率降低;当掺有氯化氢的PAN用量为100份时,复合材料的 $E_s$ 值为16.0~19.3 dB,与未填充橡胶相比体积电阻率降低了12个数量级。

C. D. Narayan等<sup>[31]</sup>在微波波段(200~2 000 MHz)和X光波段(8~12 GHz)频率范围内研究了PAN/乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVA)复合材料的导电性能和电磁屏蔽性能。结果表明:复合材料的 $E_s$ 随着掺有十二苯磺酸的PAN用量的增大而增大;PAN用量较大(质量分数大于0.23)的复合材料可用作电磁屏蔽材料,PAN用量较小的复合材料可用于消除静电荷。

李伟平等<sup>[32]</sup>采用原位溶液聚合法制备出纳米尺寸的盐酸掺杂PAN粒子,研究了以PAN为填料、硅橡胶为基体的复合材料的导电性能及其在3~1 500 MHz低频段下的 $E_s$ 。研究表明:原位溶液聚合方法制备的掺杂态PAN颗粒呈球形,部分结晶,直径约为4.1 nm;掺杂态PAN为介电型材料,介电损耗因子约为0.64~0.53,具有优异的导电性能;当掺杂态PAN用量为50份时,复合材料的电导率达 $1.93 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , $E_s$ 最高达-29.8 dB。

喻冬秀等<sup>[33]</sup>对短碳纤维(SCF)硝酸氧化处理后,采用原位氧化聚合法对其进行PAN包覆改性。结果表明:PAN层包覆完整、致密,PAN与SCF表面之间存在化学键合作用;导电PAN包覆短碳纤维(PASCF)的吸收损耗可达4.654 dB,不导电PAN包覆碳纤维的吸收损耗为1.105 dB;以PASCF为填料制备的涂膜表面电阻率为 $1.02 \Omega \cdot \text{m}^{-2}$ , $E_s$ 约为17 dB。

### 3 电磁屏蔽橡胶的加工工艺

电磁屏蔽橡胶是通过开炼机混炼、捏合机混合等工艺使导电填料均匀分散在橡胶基体中,然后通过挤出、模压等工艺加工成型而制得,其导电

性能和电磁屏蔽性能很大程度上取决于导电填料在橡胶基体中的分散情况和导电结构的形成过程。为保证各组分充分混合,复合体系必须进行混炼,但混炼往往会破坏导电填料的组织结构,从而影响复合材料的导电性能和电磁屏蔽性能,因此选择合适的混炼设备及混炼工艺参数十分关键。

黄军福等<sup>[34]</sup>研究了热处理工艺对FeCuNb-SiB非晶粉体/IIR复合材料电磁屏蔽性能的影响。结果表明:FeCuNbSiB粉体在非晶态时经过 $350^\circ\text{C} \times 1 \text{ h}$ 的退火处理后,复合材料的屏蔽性能达到最佳;粉体经过 $550^\circ\text{C} \times 2 \text{ h}$ 晶化处理后,复合材料的屏蔽性能得到进一步改善,在1 000~6 000 MHz频段内,其 $E_s$ 值比粉体经过 $350^\circ\text{C} \times 1 \text{ h}$ 退火处理后的复合材料高出2~3 dB。

传统的橡胶成型方法有挤出成型和模压成型等。挤出成型时,胶料受力应尽可能小,剪切速率尽可能低,以保持导电结构的完整性;加工温度升高或流体熔体流动速率增大,可降低复合体系的粘度和剪切应力,延长成型时间也有利于保持导电结构的完整性;制备双层管状制品时采用共挤出工艺,由于两层橡胶的收缩率不同,需要对挤出速率进行调整,以获得形貌规整、两层紧密结合的制品。模压成型时,延长硫化时间、进行分段硫化都可提高橡胶的硫化程度,从而有利于提高材料的导电性能。

点胶成型是顺应尺寸微小的电磁密封衬垫需求而出现的一类新型电磁屏蔽橡胶加工方法,其通过计算机操作的数控机床施加气压把流体状态的未硫化导电橡胶从针头点涂于法兰表面的指定位置。点出的胶料不流淌、不变形,接触空气中的湿气,在室温下即可原位成型,固化后与基底形成永久粘结。与传统导电橡胶相比,点胶成型导电橡胶在减少材料消耗、简化生产工艺、降低制造和装配成本、满足苛刻的装配空间限制、提高生产效率和产品的性价比等方面,都体现出其独有的特点和优势<sup>[35]</sup>。

国外对电磁屏蔽橡胶材料的研究和应用均进行了大量工作,形成了系列化的电磁屏蔽橡胶材料,如美国Chomerics公司、加拿大Metex公司研制生产的电磁屏蔽橡胶 $E_s$ 高达50~120 dB,

已在军事领域获得广泛应用。电磁屏蔽橡胶可被加工成各种形状的制品,如橡胶板、异形条等,美国 Rite 公司还开发出了双层电磁屏蔽橡胶,该橡胶在保证良好的屏蔽效能和物理性能的同时,极大地降低了成本。

#### 4 电磁屏蔽橡胶的发展趋势

电磁屏蔽橡胶的发展趋势分为 3 个方面。

(1)橡胶用导电填料的复合化。通过特种工艺赋予填料良好的导电性能和导磁性能,从而使屏蔽橡胶不仅能够反射电磁波,还能吸收电磁波,同时能够有效地避免电磁波的二次干扰。

(2)橡胶用导电填料的纳米化。开发纳米导电填料并研究其在橡胶中的分散及导电机理,以适应精密电子器件小而轻的需求。

(3)通过加工工艺的改善及制品结构的复合化设计提高电磁屏蔽橡胶的综合性能,以实现电磁屏蔽橡胶“薄、轻、宽、强”的发展要求。

#### 5 结语

电磁屏蔽橡胶不仅具有橡胶的高弹性、柔韧性和密封性,还具有优良的导电性能或导磁性能,其作为电磁屏蔽衬垫已经在电子、军事等行业得到应用。随着周围电磁环境的日益恶化,人们对于电磁屏蔽的要求越来越高,开发屏蔽频带宽、屏蔽性能好的电磁屏蔽橡胶将成为今后材料领域一个重要课题。

#### 参考文献:

- [1] 陶兆庆. EMI 和 RFI 屏蔽用导电橡胶材料[J]. 世界橡胶工业, 2002, 29(3): 47-50.
- [2] 陈天立. 电磁屏蔽复合材料的制备及性能研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2009.
- [3] 尹波, 于润泽, 杨鸣波. 电磁屏蔽聚合物材料的研究进展[J]. 中国塑料, 2006, 20(3): 14-18.
- [4] 顾金良, 王松岩, 李安源, 等. 电子设备的屏蔽效能分析及设计方法[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26(4): 76-80.
- [5] 雷海军, 翟广阳, 宫文峰. 导电填料对电磁屏蔽橡胶性能的影响[J]. 特种橡胶制品, 2008, 29(2): 30-33.
- [6] 李银华, 米志安, 刘君, 等. 镀银铜粉填充型导电硅橡胶的研究[J]. 有机硅材料, 2003, 17(3): 10-11.
- [7] 孙建生, 杨丰帆, 徐勤涛, 等. 镀银铝粉填充型电磁屏蔽硅橡

胶的制备与性能[J]. 合成橡胶工业, 2010, 33(1): 33-37.

- [8] 孙建生, 杨丰帆, 徐勤涛, 等. 偶联剂改性镀银铝粉填充型电磁屏蔽硅橡胶的性能研究[J]. 橡胶工业, 2011, 58(8): 479-483.
- [9] 耿新玲, 苏正涛, 钱黄海, 等. 镀银铝粉填充型导电硅橡胶的性能研究[J]. 橡胶工业, 2006, 53(7): 417-419.
- [10] 于海蔚, 仲俞凯. 镀银铜粉填充型电磁屏蔽硅橡胶性能研究[J]. 安全与电磁兼容, 2011(2): 73-75.
- [11] 焦冬生, 任宗文, 刘君, 等. 乙炔炭黑填充导电硅橡胶的研究[J]. 材料工程, 2007(7): 11-13.
- [12] 冯猛, 曾敏, 张敬霖, 等. 炭黑填充丁苯/天然橡胶的电磁屏蔽性能[J]. 安全与电磁兼容, 2010(3): 39-42.
- [13] 郭巍, 吴行, 郑振忠, 等. 导电炭黑/天然橡胶力学和导电性能研究[J]. 绝缘材料, 2011, 44(1): 58-60.
- [14] 刘德伟, 杜续生, 张宏书, 等. 丁腈橡胶/膨胀石墨导电纳米复合材料的制备和性能[J]. 精细化工, 2005, 22(7): 485-488.
- [15] Zou H, Zhang L Q, Tian M, et al. Study on the Structure and Properties of Conductive Silicone Rubber Filled with Nickel-coated Graphite[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 115(5), 2710-2717.
- [16] 孙业斌, 邹华, 王鑫, 等. 镀镍石墨/MVQ 复合材料的导电稳定性研究[J]. 橡胶工业, 2010, 57(10): 590-593.
- [17] Yan R C, Zhu Z H, Song H, et al. Study on Mechanical and Electromagnetic Shielding Properties of Carbon Fibers/Butyl Rubber Composite Films[J]. Advanced Materials Research, 2011, 306-307(8): 848-851.
- [18] Hu Y J, Zhang H Y, Xiao X T, et al. Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Silicone Rubber Filled with Carbon Fiber[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 115(10): 1392-1396.
- [19] Potschke P, Bhattacharyya A R, Janke A. Morphology and Electrical Resistivity of Melt Mixed Blends of Polyethylene and Carbon Nanotube Filled Polycarbonate[J]. Polymer, 2003, 44(26): 8061-8069.
- [20] 张登松, 代凯, 方建慧, 等. 多壁碳纳米管的制备及改性处理[J]. 化学研究, 2004, 15(3): 12-15.
- [21] Tang W, Santare M H, Advani S G. Melt Processing and Mechanical Property Characterization of Multi-walled Carbonnanotube/High Density Polyethylene (MWNT/HDPE) Composite Films[J]. Carbon, 2003, 41(14), 2779-2785.
- [22] 孙国星, 陈光明, 刘正平. 聚苯乙烯/碳纳米管复合材料研究进展[J]. 高分子通报, 2009(2): 12-20.
- [23] Wu Z C, Chen Z H, Du X, et al. Transparent, Conductive Carbon Nanotube Films[J]. Science, 2004, 305 (5688): 1273-1276.
- [24] 周湘文, 朱跃峰, 熊国平, 等. 碳纳米管/丁苯橡胶复合材料的电学性能[J]. 复合材料学报, 2008, 25(5): 51-55.
- [25] Zeng Y, Liu H S, Chen J, et al. Effect of Strain on the Elec-

- trical Resistance of Carbon Nanotube/Silicone Rubber Composites[J]. Journal of Wuhan University of Technology—Mater. Sci. Ed., 2011, 26(5): 812-816.
- [26] Byung-Mook Cho, Gue-Hyun Kim. Effect of the Processing Parameters on the Surface Resistivity of Acrylonitrile-Butadiene Rubber/Multiwalled Carbon Nanotube Nanocomposites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 116(2): 555-561.
- [27] Jiang M J, Dang Z M, Xu H P. Enhanced Electrical Conductivity in Chemically Modified Carbon Nanotube/Methylvinyl Silicone Rubber Nanocomposite[J]. European Polymer Journal, 2007, 43(12): 4924-4930.
- [28] 邹华, 赵素合, 田明, 等. 镀银玻璃微珠/硅橡胶导电复合材料导电性能的影响因素[J]. 橡胶工业, 2009, 56(8): 459-463.
- [29] 彭祖雄, 张海燕, 陈天立, 等. 镀银玻璃微珠/碳纤维填充导电硅橡胶的电磁屏蔽性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(1): 88-91.
- [30] 段玉平, 刘顺华, 管洪涛, 等. 低频聚苯胺/硅橡胶复合材料屏蔽效能的分析[J]. 功能材料与器件学报, 2005, 11(3): 357-361.
- [31] Das N C, Yamazaki S, Hikosaka M, et al. Electrical Conductivity and Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Polyaniline-Ethylene Vinyl Acetate Composites[J]. Polymer International, 2005, 54(2): 256-259.
- [32] 李伟平, 刘顺华, 段玉平, 等. 纳米导电聚苯胺的微观表征及其电磁性能[J]. 材料科学与工程学报, 2007, 25(3): 376-379.
- [33] 喻冬秀, 陈明涛, 皮丕辉, 等. 聚苯胺包覆短碳纤维的制备及电磁性能研究[J]. 高校化学工程学报, 2009, 23(1): 148-153.
- [34] 黄军福, 朱正吼, 袁萍, 等. 热处理对 FeCuNbSiB/丁基橡胶复合材料电磁屏蔽性能的影响[J]. 功能材料, 2010, 41(7): 1244-1246.
- [35] 王文云, 马勉军. 点胶成形导电橡胶在电磁屏蔽技术中的应用[J]. 屏蔽技术与屏蔽材料, 2005(6): 61-63.

收稿日期: 2012-08-09

## 朗盛开展全球溶聚丁苯橡胶市场调研

中图分类号: F276.7; TQ333.1 文献标志码: D

2012 年 12 月 11 日消息, Stratley Portfolio Performance Incorporated 代表朗盛公司对溶聚丁苯橡胶(SSBR)市场进行了广泛的研究, 并得出结论: 轮胎行业认为, 整个欧洲及全球市场都出现了向低滚动阻力轮胎发展的趋势; SSBR 和钕系顺丁橡胶(NdBR)是开发低滚动阻力轮胎的必要材料, 因此轮胎行业正在积极地寻求与专业的合成橡胶生产商携手合作。

专家们曾表示, 如果整个欧洲在 2012 年开始推行轮胎标签法, 那么轮胎行业将发生翻天覆地的变化。朗盛高性能顺丁橡胶业务部负责人葛如柏说: “听上去似乎有些自相矛盾, 但是对于颇具成本和环境意识的消费者, 由传统橡胶制成的廉价轮胎已经变得太过昂贵。”油价上涨是造成此局面的主要原因之一。而投资于由现代合成橡胶制成的低能耗轮胎可以迅速得到回报。长期以来, 汽车制造商也一直对“绿色”的节油轮胎青睐有加, 因为它们可以将汽车产品对燃油的需求降至最低, 促使精明的消费者购买高性能轮胎或绿色轮胎。另一重要因素是其使用寿命长、安全性能更优异。如果制造商采用朗盛生产的特种橡胶, 则可大幅提高安全性能。葛如柏说: “轮胎行业在

几年前就已经步入了新材料时代。”

迄今为止尚未获得定论的是: 消费者对于细节的日益关注将在多大程度上影响对 SSBR 的需求。专家们认为, SSBR 是除 NdBR 之外的另一种对开发经济、安全和耐用的轮胎至关重要的高性能橡胶。现有的橡胶等级是否足以确保轮胎在所有相关性能评估中获得高分? 新兴市场的供应商将如何应对当前局势的变化? 市场营销专家如何看待重要的 SSBR 的供应形势?

如今, 朗盛的 SSBR 市场研究结果为上述疑问提供了答案。该项研究对来自全球 20 多个国家的 70 多位轮胎专家进行了深入的问卷调查, 并对上述专家开展大量的面对面访谈。朗盛聘请的 Stratley 公司的专家对全球 32 家轮胎生产商的观点进行了评估, 这些轮胎生产商的总销售额约达 1 300 亿美元, 约占全球轮胎市场的 84%, 而且这些生产商包括该行业中的前 20 强企业。

研究结果惊人地统一, 体现出该行业的整体趋势: 在所有接受问卷调查的轮胎公司中, 有 85% 认为新的欧盟规定将对公司的日常业务产生巨大影响。其中, 大多数人把这种影响视为机遇而非障碍。对高性能轮胎而言, 很多人明确表示, SSBR 是一种不可或缺的必备材料, 特别是与白炭黑结合使用时。经过细致入微的市场调查, 该