

炭黑填充复合型导电聚合物的压阻特性^{*}

许利 代坤 许向彬 李忠明

(四川大学高分子科学与工程学院,成都 610065)

摘要 总结了炭黑填充复合型导电聚合物的压阻特性与炭黑导电网络、压力和时间等条件的关系,阐述了加工工艺参数、导电填料、基体性质等对导电聚合物压阻特性的影响,并介绍了通过加入 SiO_2 纳米材料或适当交联基体等改善压阻特性重复性和稳定性的方法。

关键词 炭黑 导电聚合物 压阻特性 时间依赖性 稳定性

复合型导电聚合物在应力或应变作用下表现出的压阻特性,反映了材料在受外力作用而发生变形时所伴随的电阻率的变化情况^[1-17]。这种效应取决于工艺参数(加工时间及温度、应力应变大小、加载方式和加载速率)、导电填料(填料种类、形态和体积分数)和基体性质(基体种类及其粘弹性等)等因素^[2,5-6,18-23]。导电聚合物复合材料广泛用于电子控制元件及压敏元件,如摄影机、手表、接触控制开关、应力(压力)传感器、机器人等^[1,3-4,10-11,24-26],也被作为弹性压力和张力传感器来检测危险变形和振动的汽车零件^[2],在航天、汽车、电器、生物医学、机器人、环境监测等领域得到广泛应用^[2,27],因而受到学术界和产业界的关注。

1 逾渗机理

复合型导电聚合物一般通过在聚合物基体中加入各种金属粉末、金属纤维、炭黑(CB)、碳纤维、石墨等,经分散复合、层压复合及表面成膜等工艺制得^[2,28-31]。对于CB填充复合材料,当CB含量较低时,其电阻率接近基体,随着CB填充量的增加,复合材料的导电性能提高,当CB含量达到一定值时,CB粒子在聚合物基体中形成三维连续导电通路,即导电逾渗网络,复合材料的电阻率在极窄的CB含量范围内出现几个数量级的变化,这种现象被称为“渗流转变”,相应的导电粒子体积分数的临界值称为“逾渗阈值”^[5,6,8,21,28,32-34]。在逾渗阈值以下时,随着CB填充量的增大,处于分散状态的CB粒子或CB粒子聚集体的密度逐渐增大,粒子间的平均距离减小,相互接触的几率增高,形成的导电通路逐渐增多;当CB含量达到逾渗阈值附近时,形成连续的“导电网络”,电阻率降低^[34-35];在逾渗阈值以上时,电阻率则主要取决于导电相的结构与堆砌方式^[21]。

Zhou Jiefeng等^[36]对CB填充硫化聚甲基乙烯基硅氧烷(PMVS)的逾渗行为研究发现,CB体积分数为4%~8%时,材料的电阻率的变化幅度达8个数量级,该现象与经典逾渗理论预测并不相符,他们认为该现象符合隧道逾渗模型^[37-40],即非几何接触的粒子之间的隧道效应(出现这种现象的实质是不规则的化学键分布)。但准几何逾渗转变能更好地描述填料含量在逾渗值以上电阻的密集度依赖性。

2 压阻特性与导电网络的关系

复合型导电聚合物中存在着两类网络:一类是由基体分

子以及基体分子和填料粒子之间的相互作用而构成的力学网络;另一类是由基体对相互接触的CB粒子聚集体的机械锁定而形成的相对稳定的电学网络。电学网络的变化决定了电阻对外场的响应,同时也表现为导电填料体积分数及填料粒子堆砌方式的变化,从而导致了逾渗网络的变化^[7,9,41]。

Chen Ling等^[31]认为天然橡胶具有良好的粘弹性,低模量,在低压下表现出相对大的形变,这就意味着用天然橡胶作基体时,内部导电粒子更容易重排和形成新的导电网络。由基体形变引起的导电网络的破坏和重组是产生压阻效应的主要原因^[40,31]。Chen Ling提出如下相对电阻公式:

$$\frac{R}{R_0} = (1 + \Delta/l_0) \exp[A(\Delta/l_0) + B(\Delta/l_0)^2 + C(\Delta/l_0)^3] \quad (1)$$

式中: R_0 ——零载荷下的电阻;

R ——复合材料的总电阻;

l_0 ——试样的初始长度;

Δ ——试样的形变量;

A, B, C ——常数。

当 $A = -572.896$, $B = 3166.828$, $C = -4145.811$ 时,式(1)很好地描述了实验结果。实验证明,在受压时隧道机构学在纳米复合材料载流子的传递中起主要作用,粒子隧道间隙间的应力将会增大,但分布并不均匀,以致局部形变超过线形限制。

K. Maris等^[2]在对作为拉伸和压敏材料的CB填充聚异戊二稀的研究过程中,发现当CB含量在渗流阈值(10%左右)附近时,纳米复合材料表现出最大压阻敏感性。轴向拉伸和压力下电阻的增加被解释为CB导电网络的破坏:纳米结构的CB聚集体与聚合物的超弹性链间的作用力比纳米粒子自身间的作用力强,受力时CB聚集体与聚合物基体间的化学键使CB粒子间的距离随基体的塑性变形而变化,CB导电网络被破坏^[2,31]。Zhang Xiangwu等^[23]提出的总电阻公式为:

$$R = \frac{L}{S} \frac{8\pi\eta s}{3a^2\varphi^2} \exp(-\varphi) \quad (2)$$

* 国家自然科学基金资助项目(50573049)、高校博士点专项基金资助项目(20060610026)

收稿日期:2008-05-18

式中: L ——粒子形成单向导电通路的数量;

S ——导电通路的数量;

h ——普朗克常数;

s ——导电粒子间的最小间距;

a^2 ——有效横截面积;

$\gamma = 4\pi^2 m / h(m$ 为电子质量, 为相邻粒子间的势垒);

e ——电荷。

K. Maris 等^[2]由式(2)推导出:

$$\ln R = \ln R_0 + \ln 1 + \frac{A}{l_0} + A \frac{A}{l_0} + B \frac{A}{l_0} + C \frac{A}{l_0}^3 + D \frac{A}{l_0}^4 \quad (3)$$

式中: A, B, C, D ——常数。

当 $A = 8.206$, $B = -90.979$; $C = 873.911$, $D = -1333.339$, $R_0 = 3.835 \times 10^5 \Omega$ 时, 式(3)与实验相吻合。为使实验数据能更好地与式(3)吻合, 需考虑以下重要条件: 基体具有良好的粘弹性且能高度交联, CB 填料要与高分子链形成强的化学键, CB 含量在渗流阈值附近。

最近有大量的文献报道了关于静压压阻特性的研究, 即将试样置于液体中测试试样在压力作用下的压阻特性。Zhou Jiefeng 等^[36]对 CB 填充硫化 PMVS 混合物在蓖麻油中的静压压阻特性进行了研究。他们指出由于吸附和膨胀的作用, 不同的液体介质对导电聚合物材料的电阻特性有影响, 因此需要选用合适的压力传输介质(该介质不能使基体膨胀, 不可破坏材料与电极的界面)。基于以前的实验研究^[42], 他们选择蓖麻油作为压力传输介质。在实验中他们观察到电阻 R 在加载和卸载的时间间隔之间随时间衰变, 这种衰变随 CB 含量的增加而减弱。在 CB 体积分数为 6.43% 和 8.39% 时, 复合材料相对电阻 (R/R_0) 与时间的曲线可以用式(4)解释。

$$R/R_0 = a + b \exp(-t/\tau_1) + c \exp(-t/\tau_2) \quad (4)$$

式中: a, b, c ——常数;

t ——时间;

τ_1, τ_2 ——平均松弛时间。

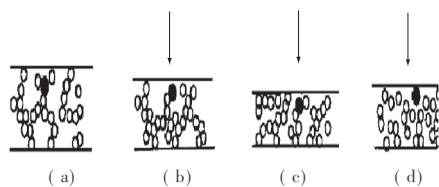
但是此曲线变化幅度比没有应变的内部电阻松弛大得多, 这可以通过逾渗网络的破坏-重组竞争解释。基体的机械回复使在卸载过程中被暂时破坏的 CB 电路容易修复, 导致电阻下降。另一方面在 CB 含量较高的复合材料中存在更多不稳定的电触点, 即瞬时 CB 电路, 因此在 CB 体积分数为 15.49% 的复合材料中观察到了一条更平的基线。

3 压阻特性与压力和时间的关系

3.1 负压力系数和正压力系数效应及其机理

电阻随压力的增大而下降或升高的现象分别称为电阻的“负压力系数(NPCR)”效应和电阻的“正压力系数(PPCR)”效应^[4,7-10,31,41,43]。为了解释 NPCR 和 PPCR 效应的作用机理, 宋义虎等^[1,20]提出复合型导电聚合物单轴压力-电阻特性的唯象模型, 如图 1 所示(箭头代表轴向施力方向, 空心圆圈代表 CB 粒子)。

宋义虎等^[1,20]认为 NPCR 现象是由于单轴压缩过程中,



a——初始导电网络; b——小形变下的轴向导电网络变化;
c——大形变下, 填料滑移, CB 聚集体被破坏;
d——应力回复, 基体产生塑性形变, 导电网络不可回复

图 1 单轴压力-电阻特性的唯象模型

体系横向滑移而使轴向相邻导电粒子互相靠近达到一定距离时, 形成部分附加导电路径, 使其轴向导电网络进一步完善(图 1b); 而 PPCR 现象则是由于 CB 粒子在应力作用下的滑移及渗流网络微结构的变化, 破坏了导电粒子轴向方向的接触点, 损伤了临时导电网络(图 1c、图 1d)。渗流网络在应力作用下的破坏和重组同时存在, 相互竞争, 以致电阻变化可能出现相反趋势并在一定压力下达到最低值, 这是产生压阻效应的主要原因^[1,2,7-10,41,43]。

陈永良等^[10]认为导电网络的破坏和重组即为无限长导电链簇的破坏与形成。若导电链的形成速度小于破坏速度, 导电通路被破坏, 体系电阻增大, 表现为 PPCR 效应; 反之则形成了附加导电通路, 电阻下降, 表现为 NPCR 效应。无限长导电链的形成取决于 CB 粒子的横向取向及轴向聚集, 在特定压缩条件下, 导电链的形成速度与破坏速度接近, 处于暂态平衡, 宏观表现为 NPCR-PPCR 转变。发生 NPCR-PPCR 转变所需临界应力不但取决于填料含量, 还强烈依赖于渗流网络微观结构及受力史。

3.2 压力依赖性

宋义虎等^[7]发现高密度聚乙烯(HDPE)/石墨复合材料的导电性有较显著的压力依赖性, 导电填料含量一定, 在压力较小时, 电阻随压力增大而降低, 而当压力高于某一临界值时, 电阻随压力增大而升高, 呈现出 NPCR 和 PPCR 现象。而此临界压力与导电粒子的含量紧密相关, 在一定粒子含量范围内, 临界压力随填料含量的增大而升高, 而基体形变的性质(高弹形变和塑性形变)不能唯一地决定临界压力的大小。此外, 对于给定填料含量的复合材料, 临界压力与导电网络的结构密切相关。这是由于压缩循环可以改变导电网络结构, 从而影响临界压力^[1]。

Lu Jinrong 等^[4]认为导电通路的形成和破坏这两个对立的因素影响 PPCR 和 NPCR 现象。在低压下, 粒子间隙随应力的增大而减小, 导电通路的形成占主要作用, 因此导致了聚合物电阻的持续下降, 直至最低值(临界压力)。这个临界压力是两个对立因素的转变点, 大于此值时, 导电通路的破坏占主导作用。高压下, 垂直于压力方向的试样形变增大, 粒子重排, 相对取向增大, 聚合物的电阻随压力的增大而增大, 从而达到另一个临界压力。

Wang Luheng 等^[44]在对 CB 填充硅橡胶复合物的压阻特性的定量研究中发现, 随 CB 含量的变化存在一个临界压

力。当外部压力低于临界压力时,压阻特性单调递减;当外部压力高于临界压力时,压阻特性单调递增,并且临界压力随CB与硅橡胶质量比的增加而增加。根据壳层结构理论,此实验现象可理解为外部压力导致有效导电通路的破坏和形成,因此导致复合材料的电阻发生变化。

Zhou Jiefeng 等^[36]认为静压压阻特性的压力依赖性与三维逾渗网络的分形性质有关。在低应变下,大的拉伸率会逐渐破坏基于范德华力的可逆瞬时CB结构。进一步拉伸,由于取向和连续网络的最终破坏导致电阻率先增大后减小。最近有研究利用电导原子力显微镜证实了逾渗网络中分层结构思想^[39]。

K. Arshak 等^[45]在对CB填充聚乙烯醇缩丁醛的压敏特性研究时发现,增大CB的含量会引起复合材料压力敏感性能的下降,这是由于填料的体积含量增加时,CB导电通路增加了。由于生物医用应用的要求,许多压敏材料需要在液体中使用,他们用CB体积分数为5%的复合材料进行了静压压阻特性试验。发现第一次循环后,材料压力敏感性更加相似,这是由于第一次循环时基体的蠕变和由导电通路的破坏的延迟导致灵敏度滞后。

3.3 电阻的可回复性

朱姝^[8-9]等在研究CB填充聚合物的压阻行为时发现,由于体系发生塑性变形,完全卸载后,自然回复过程中,电阻不能回复到其加载前的值,而随时间呈指数形式的变化。在一定的循环时间间隔内,电阻基线发生漂移^[8-10],而其漂移方向与CB含量有关:当CB含量低于逾渗阈值时,基线向高电阻方向漂移;当CB含量高于逾渗阈值时,基线向低电阻方向漂移。

3.4 电阻蠕变和松弛

类似于聚合物材料力学蠕变现象,在恒定外力作用下,复合型导电聚合物的电阻随时间推移而逐渐增大的现象被称为“电阻蠕变”^[7,11,19,21]。电阻蠕变与外力作用下导电粒子排布方式的改变及由于聚合物分子链段运动而产生的导电网络的变化有关,前者是即时性的,而后者有强烈的时间依赖性^[6,19]。

Wang Peng 等^[11]在对CB粒子填充硅橡胶复合体系的电阻时间依赖性的研究中,观察到在电阻蠕变和应变蠕变之间存在一个明显的时间延迟(约2倍关系)。他们把这一现象解释为:应变增加时,CB导电粒子被挤压相互靠近而形成一个连续的导电通路,从而使电阻下降。这种连续导电通路的形成原因不仅与分散在基体中的导电粒子的直接接触有关,还与隧道效应有关。当应变稳定后,导电粒子的运动将会持续一段时间,虽然填料粒子不能直接接触,但是将会达到一个粒子间距阈值,使得复合材料的电阻继续降低。

陈永良等^[10]提出当完全除去应力后,电阻随时间呈非线性逐渐降低,呈现典型的电阻弛豫现象。即完全除去应力后,体系的塑性变形量随时间而逐渐减小;另一方面,随压缩回复循环次数的增大,零应力时的电阻逐渐升高,其增加幅

度随填料含量的增大而逐渐降低。

Zhang Xiangwu 等^[20,23]在对导电材料填充聚合物体系的研究中认为,除压力外,基体中粒子间隙的变化也是时间的作用,这种作用可被理解为聚合物基体的蠕变,因此聚合物的压阻特性随时间而变,并提出了影响电阻特性的因素与相对电阻的公式:

$$\frac{R}{R_0} = \frac{R(t)}{R_0} = \frac{1 - \varepsilon(t)}{1 - \varepsilon_0} \exp\{-\gamma_0[\varepsilon(t) - \varepsilon_0]\} = 1 - \frac{\psi\sigma^n}{1 - \varepsilon_0} \exp - \gamma\psi\sigma D - \frac{\pi}{6} \frac{1}{\theta} \frac{1}{t^n} = f(\sigma, D, \theta, \phi, \psi, n) \quad (5)$$

式中: $\varepsilon(t)$ ——蠕变方程, $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \psi\sigma^\beta t^n = \varepsilon_0 + \psi\sigma^n$, 其中 ψ, β, n 为常数;

ε_0 ——施加应力下的初始应变;

σ ——施加的应力;

D ——填充颗粒的直径;

θ ——填料的体积分数;

ϕ ——势垒高度;

ψ, s_0, n ——蠕变参数。

从式(5)可以看出,在其它参数不变及一定压力下,相对电阻随时间的增加而减小。

王鹏等^[6]在进行CB填充硅橡胶的压阻实验时发现,当CB体积分数在逾渗阈值附近时,复合型导电聚合物材料由高阻向低阻急剧转变,出现明显的NPCR现象,他们认为弹性变形是出现NPCR现象的主要原因,并从D. S. McLachlan等^[46]提出的用于解释颗粒填充型复合材料的导电机理的通用有效介质模型:

$$\frac{(1 - \phi_0)(\sigma_1^{-1} - \sigma_m^{-1})}{\sigma_1^{-1} + [(1 - \phi_0)/\phi]\sigma_m^{-1}} + \frac{\phi_0(\sigma_h^{-1} - \sigma_m^{-1})}{\sigma_h^{-1} + [(1 - \phi_0)/\phi]\sigma_m^{-1}} = 0 \quad (6)$$

式中: ϕ_0 ——导电颗粒在复合材料中的体积分数;

ϕ_c ——临界渗流阈值;

$\sigma_1, \sigma_h, \sigma_m$ ——分别是基体、导电颗粒、复合材料的电导率;

t ——复合材料的渗流系数。

推导出CB填充型导电复合材料的压阻计算模型:

$$R = R_0(1 - \phi_c)^t(1 - \phi_0 e^{\frac{1-\phi_0}{E}} - \phi_c)^{-t} e^{-\frac{1-\phi_0}{E} P} \quad (7)$$

式中: ν ——泊松比;

E ——复合材料的拉伸弹性模量;

P ——压力。

在CB颗粒分布均匀、CB体积分数在逾渗阈值附近和外加压力小于等于2 MPa等3个边界条件下的验证发现,此数学模型与实验结果基本吻合,且压力-电阻变化规律一致^[6]。

4 提高压阻稳定性的方法

压阻的时间依赖性是由基体的蠕变引起的,在恒定压力下,复合材料中导电粒子的间距随基体蠕变而减小,因此,电阻随时间而减小。由于这种时间依赖性影响了电阻特性的

重复性和稳定性,严重妨碍了复合型导电聚合物材料在电阻特性方面的广泛应用,因此迫切希望能找到减弱其时间依赖性的方法^[4,18,20]。

王鹏等^[11,27]通过实验证明添加 SiO₂ 纳米材料能有效地克服电阻蠕变,他们认为在相同压力下, CB 粒子的延迟时间远小于聚合物的延迟时间,虽然增加 CB 粒子的含量将有助于减小硅橡胶/CB 复合体系的延迟时间,但是在某种程度上会减弱复合材料的压阻特性^[11,18,20,27],因此他们通过向橡胶基体中加入 1.0% ~2.0% 的 SiO₂ ($x=1.2 \sim 1.6$) 纳米材料,改善了电阻蠕变,效果良好。

更多的研究表明交联对克服电阻蠕变也有一定效果。朱姝等^[8]发现,增加应力循环次数可使复合型导电聚合物的电阻基线与轴向残余压缩应变趋于稳定,从而提高压阻行为的稳定性^[10]。并通过实验证实了当 CB 体积分数大于逾渗阈值时,适度交联可以减小粒子在压力作用下的滑移并抑制残余压缩应变,从而提高了 HDPE/CB 复合材料压阻特性循环的稳定性。

陈永良等^[43]研究了不同硫化剂过氧化二异丙苯(DCP)的含量对 PMVS/CB 复合材料的压阻特性的影响,他们认为体系的压阻强度随不同硫化剂 DCP 的用量的增大而增大,但压阻稳定性稍有降低。

余钢等^[3]认为聚合物基体交联(包括高温化学交联和低温辐射交联)后形成网络,有效地使 CB 粒子吸附在网络上,阻碍了导电粒子的运动,聚合物分子间的相对滑动和位移也变得困难,从而提高了导电结构的稳定性,是改善回复性差的有效方法。

Zhou Jiefeng 等^[42]在实验过程中将复合物的相对电阻-时间曲线的配合基线去掉后,发现复合物表现出压阻特性良好的可重复性。虽然以前的研究显示通过增加压缩循环次数可以改善基线漂移和压阻特性的重复性,但只要剩余压缩应变存在和复合物的体积弹性模量不高,这种方法就不能最终解决压阻特性的重复性问题。尽管如此,去除基线的影响为橡胶基体的导电电压敏材料的设计和应用提供了一种简单可行的解决办法。

5 结语

复合型导电聚合物在航天、汽车、电器等领域得到广泛应用,其作为柔性挤压应力传感器、触觉敏感复合材料等是最近的一个热门课题^[5],也是导电聚合物复合材料研究的一个新趋势。但由于导电聚合物复合材料受导电填料的体积分数、填料形态分布、基体特性、加工方法、加工工艺参数等诸多因素的影响,再加上导电过程的复杂性及目前研究水平的限制,使得导电聚合物的压阻特性研究停留在经验、半经验阶段^[21],因此目前的研究主要集中于提高电阻特性的重复性和稳定性的方面。

参考文献

[1] 宋义虎,等. 高等学校化学学报,2000,21(3):475-479.
[2] Maris K, et al. Sensors and Actuators A,2004(110):142-149.

[3] 余钢,等. 高分子材料科学与工程,1998,14(2):111-114.
[4] Lu Jinrong, et al. Advanced Functional Materials,2005,15:1358-1363.
[5] 彭定军,等. 塑料工程学报,2006,13(3):92-96.
[6] 王鹏,等. 复合材料学报,2004,21(6):34-38.
[7] 宋义虎,等. 复合材料学报,1999,16(2):46-51.
[8] 朱姝,等. 高分子学报,2006(1):82-86.
[9] 徐文武,等. 高等学校化学学报,2005,26(6):1170-1173.
[10] 陈永良,等. 科学通报,2004,49(21):2167-2172.
[11] Wang Peng, et al. Journal of Materials Science,2004(39):4937-4939.
[12] Blazewicz S, et al. Carbon,1997,35(10/11):1613-1618.
[13] Stampfer C, et al. Physica Statuatus Solidi B,2006,243(13):3537-3541.
[14] 郭卫红,等. 现代功能材料及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002:232-264.
[15] Camoma F, et al. Journal of Applied Physics,1987,61(7):2550-2557.
[16] Hussain M, et al. Composites: Part A,2001,32(4):1689-1696.
[17] Heaney M B. Physica A,1997,241(1):296-300.
[18] Das N C, et al. Carbon,2002(40):807-816.
[19] Job A E, et al. Synthetic Metals,2003,135:99-100.
[20] Zhang Xiangwu, et al. Journal of Polymer Science,2000:2739-2748.
[21] 周剑锋,等. 功能材料,2004,35(3):271-274.
[22] 王彦明,等. 料科学与工程学报,2006,24(1):82-84.
[23] Zhang Xiangwu, et al. Polymer International,2001,50:229-236.
[24] Wang Bo, et al. Journal Physics Chemistry B,2005,109:4887-4892.
[25] Beruto D T, et al. Sensors and Actuators A,2005,117:301-308.
[26] Camillo E C, et al. Journal of Applied Polymer Science,2005,97:1498-1503.
[27] 王鹏,等. 传感技术学报,2004(1):15-18.
[28] 谢长琼,等. 中国塑料,2002,16(7):7-11.
[29] Choi M H, et al. Polymer,2000,41:3243-3252.
[30] Das N C, et al. Journal of Applied Polymer Science,2001,80:1601-1608.
[31] Chen Ling, et al. Advanced Functional Materials,2007,17:898-904.
[32] 周剑锋,等. 高等学校化学学报,2004,25(7):1338-1341.
[33] 杨建高,等. 化工中间体,2006(2):13-17.
[34] 刘杰,等. 橡塑技术与装备,2005,31(8):34-37.
[35] Yi Xiaosu, et al. Journal of Materials Science Letters,1998,17:321-322.
[36] Zhou Jiefeng, et al. Carbon,2008,46:679-691.
[37] Balberg I. Physical Review Letters,1987,59(19):1305-1308.
[38] Rubin Z, et al. Physical Review B,1999,59(19):12196-12199.

- [39] Toker D, et al. Physical Review B, 2003, 68(4) : 1 - 4.
- [40] Balberg I, et al. Int J Modern Physics B, 2004, 18(15) : 2091 - 2 121.
- [41] 宋义虎, 等. 材料研究学报, 2000, 14(2) : 141 - 146.
- [42] Zhou Jiefeng, et al. Journal of Application Polymer Science, 2008, 107(5) : 3 083 - 3 089.
- [43] 陈永良, 等. 高等学校化学学报, 2006, 27(5) : 988 - 990.
- [44] Wang Luheng, et al. Sensors and Actuators A, 2007, 135: 587 - 592.
- [45] Arshak K, et al. Thin Solid Films, 2008, 516: 3 298 - 3 304.
- [46] McLachlan D S, et al. Journal of American Ceramic Society, 1990, 73(8) : 2 187 - 2 203.

PIEZORESISTANCE BEHAVIORS OF THE CARBON FILLED ELECTRICALLY CONDUCTIVE POLYMER COMPOSITES

Xu Li, Dai Kun, Xu Xiangbin, Li Zhongming

(College of Polymer Science and Engineering of Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT The relationship between piezoresistance behaviors the carbon filled electrically conductive and conductive network, pressure and time was summarized. The influencing factors such as the processing method, conductor material and the properties of polymer matrices to piezoresistance behaviors were discussed. Methods for improving the repeatability and stability of piezoresistance behaviors by adding nano-size SiO_2 and proper crossinglinkage of the matrix were introduced.

KEYWORDS carbon, electrically conductive polymer composites, piezoresistance, time dependence, stability

高 效 纳 米 成 核 剂

- 属稀土类纳米材料,能在较高温下诱导高分子结晶,晶核的生成速度快,晶核细小。
- 提高高分子材料的综合性能,使材料的韧性、抗冲击性、拉伸强度、耐高低温性、耐磨性、气密封性等得到较大提高;脱模快,提高加工效率。
- 产品具有用量少、脱模快、效率高、效果好、无毒无味的优点(仅用0.1% ~0.5%),将给用户带来高质量的产品和良好的经济效益。
- 适用于结晶型高分子材料,如 PA6、PET、PBT、PP、PLA、POM 等。

免费样品 欢迎试用

广东惠州瑞尔化学科技有限公司

电话:0752 - 3619845, 13902628056 传真:0752 - 3619845, 2533855 <http://www.rare-chem.com>

鞍 山 君 利 工 程 塑 料 有 限 公 司

鞍山君利工程塑料有限公司是股份制企业,生产以工程塑料为主的改性材料。由教授级高级工程师、中国塑料加工工业协会专家委员会专家赵文聘负责生产技术。可为用户提供增强、增韧、复合、阻燃、环保阻燃、抗静电、耐磨、塑料合金类系列改性工程塑料。公司竭诚为用户“量身订做个性化需求的产品,为客户创造价值”。公司宗旨:信誉第一;质量第一。

欢迎新老客户前来指导、合作!

- 改性品种: PA66、PA6、PP、PE、ABS、AS、HIPS、POM、PC、PC/ABS、PBT、PET、PVC 等系列改性塑料。
- 适用行业: 家电、汽车、机械、铁路、纺织、石油化工、煤矿、农业等。

经 理: 徐长旭 13604228259, xuchangxu315@163.com

总工: 赵文聘 13804910274, zhaowenpin315@163.com

地址: 辽宁省鞍山市千山区旧堡 邮编: 114041

电话: 0412 - 2326259 传真: 0412 - 2326256