

接枝改性环氧树脂/不饱和聚酯互穿聚合物网络的研究

段景宽¹ 倪新梅² 汪根林¹ 江平开¹

(1.上海交通大学化学化工学院,上海 200240; 2.江苏省无锡市惠山区堰桥镇科技办公室,无锡 214174)

摘要 研究了双酚 A 双烯丙基醚(ABE)对脂环族环氧树脂(CER) /三羟甲基丙烷三甲基丙烯酸酯(TMPTMA) 分步互穿聚合物网络(SIPNs) 的改性。利用扫描电子显微镜(SEM) 考察了改性 SIPNs 形成的过程及最终固化物的微观结构,在此基础上研究了 ABE 用量对 CER/TMPTMA SIPNs 固化过程中的凝胶时间、最终固化物的力学性能及介电性能的影响。结果表明, ABE 的加入没有改变 CER/TMPTMA 所形成 SIPNs 的结构,制得的改性 SIPNs 没有出现明显相分离现象。随着 ABE 用量的增加,改性 SIPNs 的冲击性能逐渐提高;当 ABE 用量为 10 份时,改性 SIPNs 的弯曲性能最佳。 ABE 的加入还改善了改性 SIPNs 的介电性能,提高了改性 SIPNs 的电气强度。当 ABE 用量为 20 份时,改性 SIPNs 的电气强度最高。

关键词 环氧树脂 互穿聚合物网络 不饱和聚酯

互穿聚合物网络(IPNs) 是由两种或两种以上的聚合物网络相互穿透或缠结所构成的一类化学共混网络合金体系,其中一种聚合物网络是在另一种聚合物网络直接存在的情况下现场聚合或交联形成的,两种聚合物网络之间为物理贯穿^[1]。IPNs 作为一种新型聚合物共混改性技术,以其独特的化学共混方法和强迫互容、界面互穿、协同作用、加工和功能复合等特点,备受人们的关注。IPNs 技术不仅是制取交联聚合物合金的重要手段,也是由不完全互容聚合物合成分子级完全互容聚合物合金的唯一途径,因此利用 IPNs 技术可以得到崭新的功能聚合物材料。

在前面的研究中,笔者利用脂环族环氧树脂(CER,具体名称为 3,4-环氧基环己烷甲酸-3',4'-环氧基环己烷甲酯) 的阳离子聚合反应和三羟甲基丙烷三甲基丙烯酸酯(TMPTMA) 单体的快速自由基聚合反应制备了一种脂肪族环氧树脂/不饱和聚酯分步互穿聚合物网络(CER/TMPTMA SIPNs),它可以应用于真空压力浸渍工艺的绝缘漆^[2~4]。尽管这种浸渍漆具有优良的加工性能和电性能,基本上能满足大电机主绝缘材料的要求,但是在进一步的研究中发现这种 CER/TMPTMA SIPNs 材料仍然存在着力学性能较低、内应力大等缺点。

为了改进 CER/TMPTMA SIPNs 材料的不足之处,以满足大电机主绝缘材料的使用要求,笔者采用双酚 A 双烯丙基醚(ABE) 对 CER/TMPTMA SIPNs 进行改性。利用扫描电子显微镜(SEM) 考察了改性 SIPNs 形成的过程及最终固化物的微观结构,在此基础上研究了 ABE 用量对 CER/TMPTMA SIPNs

固化过程中的凝胶时间、最终固化物的力学性能及介电性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

CER: UVR6105, DOW 化学有限公司;

甲基六氢邻苯二甲酸酐(MeHHPA): 上海理亿化工有限公司;

乙酐丙酮铈[Nd(III) AcAc]: 沁源天意化学有限公司;

TMPTMA: 南京金陵石化科技公司;

过氧化二异丙苯(DCP): Aldrich 公司;

ABE: 莱州莱玉化工有限公司。

1.2 主要设备、仪器

SEM: JSM 7401F 型,日本 Jeol 公司;

旋转粘度计: ND-79 型,同济大学机电厂;

电子万能试验机: CMT1000 型,珠海新三思公司;

摆锤冲击试验机: RAY-RAN 型,英国 Test Equipment 公司;

阻抗仪: CONCEPT 40 型,德国 Novocontrol 公司;

交流击穿装置: AHDZ-10/100 型号,上海蓝波高压技术与装备有限公司。

1.3 试样制备

表 1 为改性 CER/TMPTMA SIPNs 的配方。按表 1 中的配方,首先将 Nd(III) AcAc 加入到 CER 中在 135℃ 下溶解,冷却到室温后加入固化剂 MeHHPA

混合均匀,再加入溶解有 DCP 的 TMPTMA,最后加入改性剂 ABE,混合均匀真空去泡后浇注到不锈钢模具中,按 135℃/2 h+165℃/8 h 工艺进行固化,开模、裁切得到改性 CER/TMPTMA SIPNs 试样。

表 1 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的配方 份

CER	DCP	TMPTMA	ABE
100	0	20	0
100	0.1	20	10
100	0.2	20	20
100	0.3	20	30
100	0.4	20	40

注: Nd(III) AcAc 用量为 0.5 份, MeHHPA 用量为 95 份。

1.4 性能测试

利用 SEM 观察改性 SIPNs 形成的过程及试样刻蚀断面的微观结构;

利用旋转粘度计测试等温固化下改性 SIPNs 的凝胶时间;

弯曲性能按 GB/T 9341-1988 测试;

冲击性能按 GB/T 1843-1996 测试;

利用阻抗仪在常温下测试固化后的改性 SIPNs 试样的介电性能,频率范围为 $10^{-2} \sim 10^6$ Hz;

利用交流击穿装置测试固化后的改性 SIPNs 试样的交流电气强度,采用逐步升压的方式测试。起始电压为 20 kV,每步升压为 2 kV/min,每步升压保持时间为 1 min,直至试样被击穿^[5]。

2 结果与讨论

2.1 SIPNs 的模型

笔者在 CER/TMPTMA SIPNs 中引入 ABE 单体后,存在着如下的接枝改性 SIPNs 模型:在 TMPTMA 单体自由基聚合反应过程中,引入 ABE 单体。由于 ABE 分子中含有两个不饱和基团,在过氧化物引发剂的作用下,发生自由基聚合,容易参与到 TMPTMA 的自由基交联反应过程中而形成同一交联聚合物网络,使 TMPTMA 交联网络的分子含有醚键“柔性”基团和双酚 A “刚性”基团,有可能使改性的 CER/TMPTMA SIPNs 获得较好的综合性能。ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 网络模型见图 1。

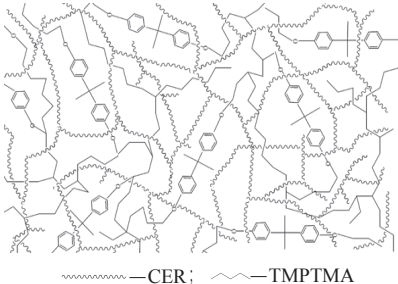
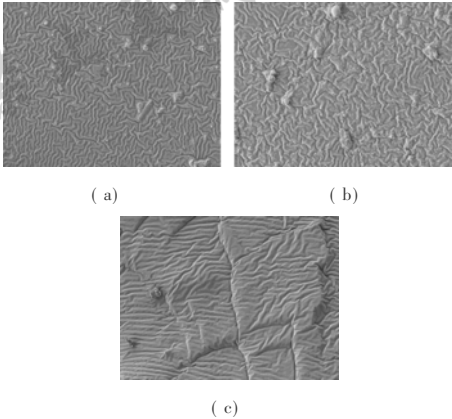


图 1 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的网络模型

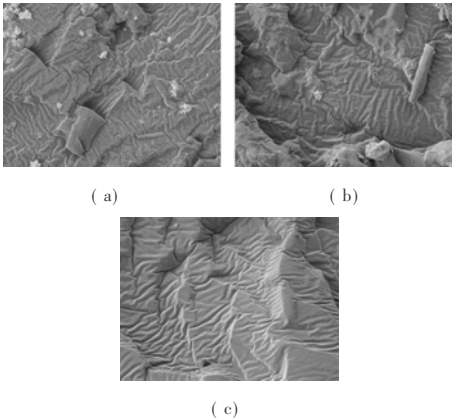
2.2 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 形成过程的表征

尽管在 CER/TMPTMA SIPNs 中引入了 ABE,但是由于 ABE 只参与 TMPTMA 的自由基聚合反应,所以在 CER/TMPTMA SIPNs 形成过程中,还是存在两个独立且有先后顺序反应的交联反应,形成的最终聚合物也属于 SIPNs。因此为了直观地观察 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的形成过程,可以采用刻蚀的方法,即通过控制第二网络的形成时间来证明分步网络的形成。在 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 体系的 160℃等温固化过程中,根据固化时间来控制第二交联反应的进程,当体系有凝胶出现时,及时终止体系的固化反应,然后利用二甲苯对体系进行刻蚀,把没有反应的 CER 单体洗涤掉,再用 SEM 观察改性 SIPNs 体系的微观结构。图 2 和图 3 分别为固化 9 min 和 15 min 时 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 经刻蚀后的 SEM 照片。



ABE 用量:a—20 份;b—30 份;c—40 份

图 2 固化 9 min 时 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 经刻蚀后的 SEM 照片



ABE 用量:a—20 份;b—30 份;c—40 份

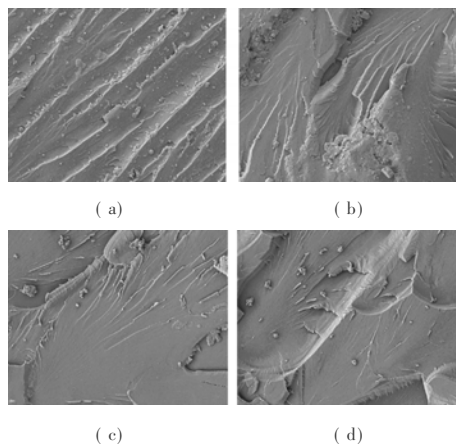
图 3 固化 15 min 时 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 经刻蚀后的 SEM 照片

由于刻蚀后的断面剩余部分是改性 SIPNs 已经发生交联的不溶部分,根据文献[4]研究结果可以知道,改性 SIPNs 中优先反应的是 TMPTMA-ABE 自由基聚合反应,所以图 2 和图 3 中所示的凸起轮廓正是 TMPTMA-ABE 形成的聚合物网络,而凹下的轮廓就是还没有来得及反应而被刻蚀掉的 CER 所形成的聚合物网络。从图 2 可以看出,随 ABE 用量的不同,在相同的固化时间内生成的聚合物网络轮廓尺寸是不相同的。这可能是由于不同用量的 ABE 影响了 TMPTMA-ABE 自由基反应速度所致。随着 ABE 用量增加, TMPTMA-ABE 交联网络轮廓尺寸逐渐增大。从图 3 可以看出,当在 160℃ 下等温固化 15 min 时, ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的网络轮廓比反应 9 min 时的轮廓(见图 2)变得模糊,而且在图 3a 和图 3b 中还出现了 CER 凝胶颗粒。其中,图 3a 中出现 CER 凝胶颗粒的数目最多,而图 3c 中几乎没有。这个现象可以证明 3 点:① ABE 的加入影响了 CER 体系交联网络形成的速度;② 可以确定图 2 和图 3 中所形成的凸起轮廓是 TMPTMA-ABE 形成的交联网络;③ 尽管 ABE 的加入影响了 TMPTMA 交联网络,最终得到的结构还是互穿网络结构。

另外,从图 2 和图 3 也可以看出,在形成 SIPNs 时,第二种聚合物网络实际上是在微观非均相网络的基体中形成的。因此,所谓两种网络的相互贯穿,一般而言并非分子水平上的相互贯穿,而是超分子水平上的相互贯穿,是相区之间的相互贯穿。

2.3 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的微观结构

图 4 所示为不同 ABE 用量下 CER/TMPTMA SIPNs 试样的断面 SEM 照片。



ABE 用量: a—0 份; b—20 份; c—30 份; d—40 份

图 4 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 试样的断面 SEM 照片

从图 4 可以看出,固化的改性 SIPNs 没有出现明显的相分离现象。这是因为笔者所选用的 CER 和 TMPTMA、ABE 相容性很好, TMPTMA 的溶解度参数是 $13.6 (\text{J}/\text{cm}^3)^{1/2}$, CER 的溶解度参数是 $8 \sim 17 (\text{J}/\text{cm}^3)^{1/2}$ 。从形成互穿网络的分子结构上可以看出,在 TMPTMA 固化后的化学成分及含有的基团种类完全和 CER 固化后的结构和成分一致。而 CER 是在 TMPTMA-ABE 网络结构中进行交联的,从而使相分离受到极大地限制。所以尽管两个交联网络形成的顺序有先后,而且在 TMPTMA 分子中引入了 ABE 分子,但是最终形成的 SIPNs 没有出现明显的相分离现象。

2.4 ABE 用量对 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 凝胶时间的影响

不同温度下 ABE 的用量对 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 凝胶时间的影响如图 5 所示(CER/TMPTMA 质量比为 100/20,下同)。从图 5 可以看出,在 160℃ 和 135℃ 等温固化过程中,改性 SIPNs 遵循固化温度越高,体系凝胶时间越短的规律。但是随着 ABE 用量的增加,改性 SIPNs 的凝胶时间逐渐延长。这是因为 ABE 单体和 TMPTMA 单体分子中的反应性基团数目是不一样的,前者的一个分子中只含有两个不饱和双键,而后者一个分子中含有三个不饱和双键。随着 ABE 用量的增加,改性 SIPNs 中不饱和双键的总含量降低,所以在等温固化时,改性 SIPNs 的凝胶时间就逐渐延长。

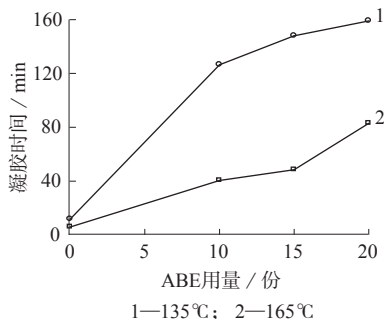


图 5 ABE 用量对 ABE 改性 CER/TMPTMA/ABE SIPNs 凝胶时间的影响

2.5 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的力学性能

图 6 所示为 ABE 用量对 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 冲击强度的影响。从图 6 可以看出,随着 ABE 用量的增加,改性 SIPNs 的冲击强度逐渐提高,当 ABE 用量超过 10 份后,改性 SIPNs 的冲击强度提高明显。这是因为 ABE 分子中含有柔性的链段,在改性 SIPNs 受到外力作用时,这些分子链段可以

通过运动而吸收能量,从而提高了改性 SIPNs 的冲击性能。

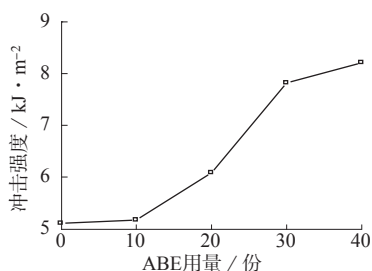


图6 ABE用量对ABE改性CER/TMPTMA SIPNs冲击强度的影响

图7给出了ABE用量对ABE改性CER/TMPTMA SIPNs弯曲性能的影响。从图7可以看出,随着ABE用量的增加,改性SIPNs的弯曲弹性模量和弯曲强度呈先升高后降低的趋势。其中当ABE用量为10份时,改性SIPNs的弯曲弹性模量和弯曲强度达到最大。

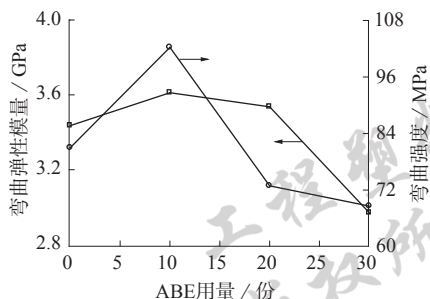


图7 ABE用量对ABE改性CER/TMPTMA SIPNs弯曲性能的影响

2.6 ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的介电性能

(1) 介电常数

图8所示为CER/TMPTMA SIPNs及不同ABE用量下ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的介电常数(ϵ)随温度变化的曲线(频率为60 Hz)。

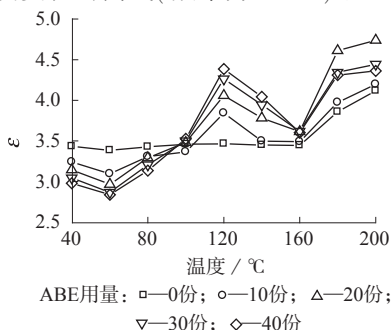


图8 CER/TMPTMA SIPNs及不同ABE用量下改性SIPNs的 ϵ 随温度变化的曲线

从图8可以看出,在较低温度范围内($<100^\circ\text{C}$),ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的 ϵ 明显低于CER/TMPTMA SIPNs,随着ABE用量的增加,改性SIPNs的 ϵ 逐渐降低;在较高的温度范围内

($>100^\circ\text{C}$),ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的 ϵ 则高于CER/TMPTMA SIPNs,随着ABE用量的增加,改性SIPNs的 ϵ 逐渐增大。另外,在 120°C 附近改性SIPNs的 ϵ 出现峰值。这是因为聚合物的 ϵ 与其极化程度有关系^[6]。笔者研究的改性SIPNs是典型的极性聚合物,在外电场作用下,改性SIPNs除了电子极化以外还有偶极子弹性极化和松弛极化,而它们的极化程度又与它们的分子物理状态有关系。改性SIPNs的分子物理状态与外界温度息息相关,所以改性SIPNs的 ϵ 与温度有很大关系。在较低的温度下,分子相互牢固地结合在一起,这时只可能有电子极化和偶极子弹性极化,电子极化和偶极子弹性极化建立和消失的时间很短,所以改性SIPNs的 ϵ 较低。当温度升高时,偶极子分子单体链节转动的可能性逐渐增大,出现偶极子松弛极化。随着温度升高,偶极子高弹态极化逐渐增加, ϵ 随温度上升而上升,在 T_g 附近, ϵ 显著增加。温度进一步提高,由于分子热布朗运动增加,使分子定向困难, ϵ 又开始随温度上升而降低。因此,在ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的 ϵ 温谱曲线上出现了峰值。当温度超过 160°C 时,CER/TMPTMA SIPNs和ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的 ϵ 温谱曲线上又出现了峰值。所以可以肯定,CER/TMPTMA SIPNs的 T_g 在 200°C 左右,而ABE改性CER/TMPTMA SIPNs存在多级玻璃化转变。在ABE改性CER/TMPTMA SIPNs中,由于ABE分子中含有位阻较大的双酚A基团,在较低的温度下,其阻碍了偶极子的弹性极化,所以改性SIPNs的 ϵ 要低于CER/TMPTMA SIPNs。当温度高于改性SIPNs的次级 T_g (约 100°C)时,由于链段“解冻”,其运动越来越容易,尤其是在ABE改性CER/TMPTMA SIPNs体系中含有一O—基团,所以ABE改性CER/TMPTMA SIPNs体系的 ϵ 高于CER/TMPTMA SIPNs。随着ABE用量的增加,ABE改性CER/TMPTMA SIPNs体系的 ϵ 随温度变化提高得更加明显。

(2) 介电损耗

图9所示为CER/TMPTMA SIPNs及不同ABE用量下ABE改性CER/TMPTMA SIPNs介电损耗(用 $\tan \delta$ 表示)随温度变化的曲线(频率为60 Hz)。从图9可以看出,在较低的温度下,ABE改性CER/TMPTMA SIPNs的 $\tan \delta$ 随着温度升高而缓慢增加;当温度升高到一定的程度时, $\tan \delta$ 随着温度升高而迅速增加并达到一个极大值,然后下降;当温度进一

步升高时, $\tan \delta$ 又开始随着温度的升高而增加。在所测量的温度范围内, CER/TMPTMA SIPNs 的 $\tan \delta$ 均低于 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs。

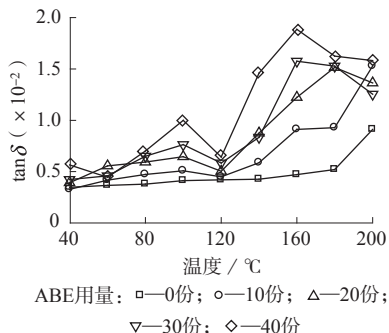


图9 CER/TMPTMA SIPNs 及不同 ABE 用量下改性 SIPNs 的 $\tan \delta$ 随温度变化的曲线

在 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 体系中, 由松弛极化引起的 $\tan \delta$ 在 T_g 附近达到最大值, 所以介电损耗峰出现的温度范围就是改性 SIPNs 发生玻璃化转变的温度范围。当温度远低于 T_g 时, 改性 SIPNs 分子链段运动被“冻结”, 极性基团被紧紧地束缚在分子链上, 因此松弛时间很长, $\tan \delta$ 很小。当温度升高至接近 T_g 时, 分子链段“解冻”, 尤其是一 O—链段运动越来越容易, 松弛时间缩短, $\tan \delta$ 增加。而当温度高于 T_g 时, 改性 SIPNs 分子热布朗运动的无序性增加, 使极性基团沿着电场方向的取向困难, 因而 $\tan \delta$ 反而下降。对于 CER/TMPTMA SIPNs 体系来说, 由于体系分子中不含有“柔性”的分子链段, 所以在较低温度 ($< 180^\circ\text{C}$) 下, 没有出现损耗峰, 而且在测量的温度范围内, 其 $\tan \delta$ 都低于 ABE 改性的 CER/TMPTMA SIPNs。从图 9 还可以看出, 在温度超过 120°C 后, ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的 $\tan \delta$ 迅速增大; 在温度超过 180°C 后, CER/TMPTMA SIPNs 的 $\tan \delta$ 也迅速增大, 其原因是当温度高于 T_g 后, SIPNs 中的电子电导引起的介电损耗占主导地位^[7-8]。

(3) 电气强度

图 10 为不同 ABE 用量下 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的电气强度。从图 10 可以看出, 随着 ABE 用量的增加, 改性 SIPNs 的电气强度呈现先增大后减小的趋势。当 ABE 用量为 20 份时, 改性 SIPNs 的电气强度达到最大。

3 结论

(1) ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 是一种分步互穿聚合物网络结构, 从改性 SIPNs 形成过程中的 SEM 照片可以看出, 改性 SIPNs 形成过程与所给出

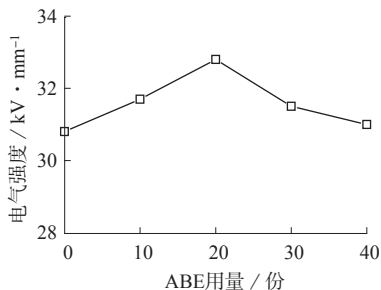


图10 不同 ABE 用量下改性 SIPNs 的电气强度

的理论形成模型非常一致, 第二种聚合物网络实际上是在微观非均相网络的基体中形成的。因此, 所谓两种网络的相互贯穿, 一般而言并非分子水平上的相互贯穿, 而是超分子水平上的相互贯穿, 是相区之间的相互贯穿。

(2) 由于 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 的各成分单体的相容性很好, 而且在固化过程中交联过程先于相分离过程, 所以在最终的 ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 中没有出现明显的相分离现象。

(3) 在 135°C 和 160°C 等温固化过程中, ABE 改性 CER/TMPTMA SIPNs 遵循固化温度越高, 凝胶时间越短的规律。但是随着 ABE 用量的增加, 改性 SIPNs 达到凝胶点的时间逐渐增加。

(4) ABE 的加入改善了 CER/TMPTMA SIPNs 的力学性能, 随着 ABE 用量的增加, 改性 SIPNs 的冲击强度逐渐增加, 而改性 SIPNs 的弯曲性能则在 ABE 的用量为 10 份时最好。

(5) ABE 的加入改善了 CER/TMPTMA SIPNs 的介电性能, 降低了常温下改性 SIPNs 的介电常数, 略微提高了常温下改性 SIPNs 的介电损耗, 提高了改性 SIPNs 的电气强度。在 ABE 用量为 20 份时, 改性 SIPNs 的电气强度最大。

参考文献

- [1] Sperling L H. Interpenetrating polymer networks and related materials[M]. New York: Plenum press, 1981.
- [2] Duan Jingkuan, Kim C, Jiang Pingkai. On-line monitoring of cycloaliphatic epoxy/acrylate interpenetrating polymer networks formation and characterization of their mechanical properties[J]. Journal of polymer research, 2009, 16(1): 45-54.
- [3] Duan Jingkuan, Kim C, Jiang Pingkai. Morphology, thermal and dielectric behaviors of cycloaliphatic epoxy/trimethacrylate IPNs for VPI electrical insulation[J]. J Appl Polym Sci, 2008, 110(5): 3096-3106.
- [4] 段景宽, 刘翔, 江平开. 环氧树脂/不饱和酯互穿网络的制备及表征[C]. 昆明: 2007 年中国工程塑料复合材料技术研讨会, 2007: 55-58.

- [5] Chen Jinquan, Wu Shoutai. Method of estimating the remaining life of the 10 kV XLPE cable operated 10 years[C] //Proceedings of the 6th international conference on properties and applications of dielectric materials. Xi'an: IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society, 2000: 204.
- [6] 陈季丹, 刘子玉. 电介质物理学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [7] Smith J D B, Kauffman R N. Effect of frequency variation on die-

lectric permittivity of an epoxy-anhydride resin system containing various metal acetylacetonate accelerators[J]. IEEE Trans on Electrical Insulation, 1984, 19(1) : 33 - 39.

- [8] Zhu Yutao, Cheng Cheng, Jin Weifang, et al. Relationship between dielectric loss and interphase structure of filled-type polymer composites[C] //Proceedings of international symposium on electrical insulation materials. Tokyo: IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society, 1995.

STUDY ON GRAFTING MODIFIED INTERPENETRATING POLYMER NETWORKS BASED ON EPOXY RESIN/UNSATURATED ESTER RESIN

Duan Jingkuan¹, Ni Xinmei², Wang Genlin¹, Jiang Pingkai¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. Science Office of Yanqiao Town, Huishan District, Wuxi 214174, China)

ABSTRACT The modification of bisphenol A bisallyl ether(ABE) on subsection interpenetrating polymer networks(SIPNs) of cycloaliphatic epoxy resin (CER) /trimethylol - 1, 1, 1 - propane trimethacrylate (TMPTMA) was studied. The formation process and morphology of the modified SIPNs were studied by means of scanning electron microscopy(SEM). Based on this, the effects of dosage of ABE on gel time during curing process, mechanical and dielectric properties of the SIPNs were also investigated. The results showed that ABE didn't change the structure of SIPNs formed by CER/TMPTMA, and the phase separation of the modified SIPNs didn't occur. The impact property of SIPNs was improved with the dosage of ABE increasing. When the dosage of ABE was 10 phr, the bending property of SIPNs was the best. The dielectric property of SIPNs was ameliorated by ABE and the dielectric strength was improved. When the dosage of ABE was 20 phr, the dielectric strength of the SIPNs was the best.

KEYWORDS epoxy resin, interpenetrating polymer networks, unsaturated ester resin

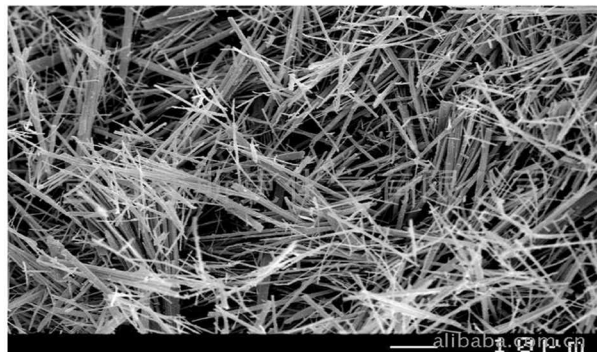


www.wskchem.com

晶须新材料：国际品质、轻质、高强、环保的镁盐晶须（短纤维）

我们提供具有国际品质的聚烯烃类塑料改性填充新材料---碱式硫酸镁晶须。适合PP增强、增刚、稳定尺寸、提高热稳定性。满足汽车专用的仪表板、内饰件等轻质、高强、降低壁厚、光洁美观的需求。满足PP制品形状复杂、尺寸小、壁厚薄需要增强要求。

放大1000倍的电镜照片



典型应用在汽车仪表板上的图片



营口威斯克化学有限公司

电话: 0417-2255013、3803038

联系人: 孙贵楠

地址: 中国营口市六三路韩家学坊

邮编: 115001

传真: 0417-3801048