

• 研究论文 •

## 导电聚苯胺与磁性 $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ 纳米复合物的制备与表征

苏碧桃\* 左显维 胡常林 雷自强

(西北师范大学化学化工学院 省部共建生态环境相关高分子材料教育部重点实验室 甘肃省高分子材料重点实验室  
兰州 730070)

**摘要** 在利用  $\text{HNO}_3$  酸化处理  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  磁性纳米粒子使其表面离子化、分散性得到改善的基础上, 采用原位聚合法制备了具有电磁功能的聚苯胺/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  (PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) 纳米复合物. 借助 TEM, XRD, FT-IR, TG, 四探针电导率仪、VSM(振动样品磁强计)等分析手段研究了复合物的形貌、结构、热稳定性及电磁性能. 结果表明, 处理过的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  磁性纳米粒子可形成分散均匀的 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  以 25 nm 左右的粒子分散于聚苯胺基体中; PANI 与  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  之间存在化学键合作用, 正是这种作用使复合物热稳定性得以提高; 复合物同时具有导电性和磁性能, 且随  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  含量变化而变化.

**关键词** 导电聚苯胺;  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ; 电磁功能的纳米复合物; 原位聚合; 表征

## Synthesis and Characterization of Conducting Polyaniline/Magnetic $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ Nanocomposite

SU, Bi-Tao\* ZUO, Xian-Wei HU, Chang-Lin LEI, Zi-Qiang

(Key Laboratory of Eco-Environment-Related Polymer Materials, Gansu Key Laboratory of Polymer Materials, College of Chemistry and Chemical Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070)

**Abstract** The  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  magnetic nanoparticles were dealt with nitric acid to form an ionization surface and improve the dispersion property of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles greatly, then the polyaniline/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  (PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) electromagnetic nanocomposites were synthesized by an *in-situ* polymerization method. The morphologies, structure, thermal stability, and electro-magnetic property of the PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites were characterized by TEM, XRD, FT-IR, TG, four-probe and VSM techniques. The results indicated that well-dispersed PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites were prepared by the *in-situ* polymerization of monomer An on the surface of treated  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles and the magnetic nanoparticles with diameters of about 25 nm were dispersed in the base of PANI. The thermal stability of the PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites was remarkably improved, due to formation of the bonding interaction between the  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and polyaniline in the composites. And the electro-magnetic properties of the nanocomposites changed with the content of the  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ .

**Keywords** conducting polyaniline;  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ; electromagnetic nanocomposite; *in-situ* polymerization; characterization

近年来, 人们研究发现将导电聚合物与磁性纳米粒子进行复合, 既可实现电、磁性能的复合, 又可通过调

节各组元的组成和结构实现对复合材料电、磁性能的调节, 还可弥补无机纳米磁性材料成型加工困难的缺点,

\* E-mail: subt0608@sina.com, subt0608@nwnu.edu.cn

Received February 18, 2008; revised May 7, 2008; accepted August 5, 2008.

甘肃省自然科学基金(No. 0710RJZA119)资助项目.

是开发同时具有电、磁性能的功能材料的理想选择之一,也是制备电磁屏蔽材料、电磁波吸收剂等功能材料的重要途径<sup>[1]</sup>. 故由聚苯胺、聚吡咯等导电聚合物与 Ni, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、钡铁氧体等磁性纳米粒子复合形成的电磁功能复合材料<sup>[2~5]</sup>相继被报道. 在已成功合成的具有电磁功能的复合材料中,具有良好的磁性能和化学稳定性的钴铁氧体(CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)与导电聚苯胺复合尚未见报道. 本文采用原位聚合法制备了兼具电磁性能的聚苯胺(PANI)/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>的纳米复合物,并借助 TEM, XRD, FT-IR, TG、四探针电导率仪、VSM 等分析手段研究了复合物的形貌、结构、热稳定性及电磁性能. 此外,具有磁性能的无机纳米粒子由于粒径小、表面能大以及静磁作用在溶液中极易聚集,分散性不好,普通机械搅拌对其分散效果不佳,会使由其形成的复合物性能受到影响. 针对这一问题,本文提出一种新的处理 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子的方法,由此制备出了良好分散性的纳米复合物.

## 1 实验部分

### 1.1 试剂及仪器

苯胺(An): 分析纯(减压蒸馏); 硝酸铁[Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O], 硝酸钴[Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O], 柠檬酸(C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>), 过硫酸铵[(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>], 硝酸(HNO<sub>3</sub>), 乙醇(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)均为分析纯; 水为二次蒸馏水.

JEM-100SX 型电子透射显微镜(日本电子公司); D/MAX-3C 型 X 射线衍射仪(日本 Rigaku 公司); FTS3000FX 型的傅立叶变换红外光谱仪(美国 DIGILAB 公司), KBr 压片; PE-PYRIS Diamond TG/DTA 热重分析仪; 四探针电导率仪(广州半导体研究所); VSM -9600 型振动样品磁强计(LDJ Inc, USA).

### 1.2 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物的制备

参照文献[6]的制备方法制出平均粒径为 75 nm 的 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 颗粒,为了除去 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米颗粒表面的杂质并对其表面离子化以提高其分散性及反应活性,对 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米颗粒作了如下的预处理:将 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 在一定浓度的 HNO<sub>3</sub> 溶液中机械搅拌 12 h,然后用磁铁将 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 从体系中磁性分离后,加入到 1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸溶液中超声数小时,得到稳定的悬浊液,待用.

在一定量的 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 稳定悬浊液中加入 1 mL An, 超声分散 30 min, 形成悬浮液 A; 将 2.49 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 溶解在 15 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸溶液中, 形成溶液 B. 用滴液漏斗将 B 缓慢滴加到 A 中, 在机械搅拌下反应 12 h. 反应结束后过滤, 分别用 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸溶液、乙醇和二次水洗涤产物至滤液为无色, 80 °C 真空干燥 24 h, 得

到 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物.

采用类似方法制备了掺杂态 PANI 及一系列不同 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量(10.0%~69.2%)的 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物.

## 2 结果与讨论

### 2.1 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子及 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 复合物的微观形貌

图 1a 和 1b 分别为处理前后 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米粒子的 TEM 照片. 对比可发现: 处理后的 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米颗粒粒径明显减小、粒径分布均匀, 平均粒径在 25 nm 左右, 且其分散性得到显著改善. 出现以上现象主要是由于当用适当浓度的 HNO<sub>3</sub> 溶液酸化处理 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米颗粒时, 其晶体表面会发生部分溶解使其粒径减小; 同时产生的 Co<sup>2+</sup> 和 Fe<sup>3+</sup> 又可以被选择吸附在 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子表面, 形成了阳离子壳, 由于同性电荷间的排斥作用, 有效地防止 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子的团聚, 使其能均匀分散<sup>[7]</sup>.

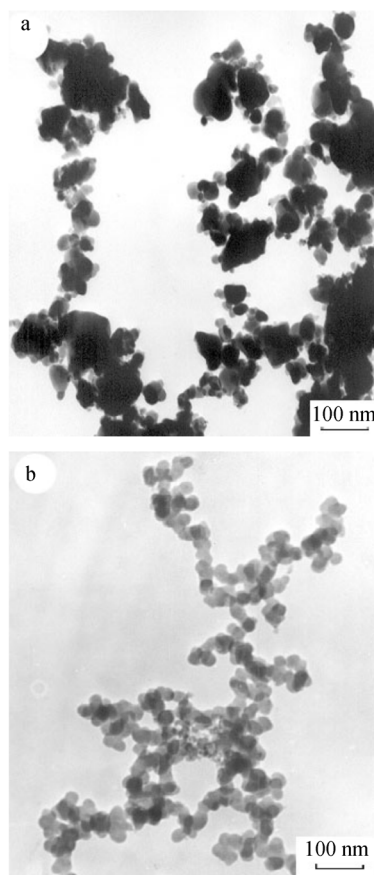


图 1 酸处理前(a)、后(b) CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子的 TEM  
Figure 1 TEM photographs of untreated (a) and treated (b) CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles

图 2a 和 2b 分别为由未经处理和处理过的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  经原位聚合得到的 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物的 TEM 照片. 对比图 1 和 2 对应样品形貌可知, 由前述方法可以制备出 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物; 从图 2b 中没有观察到两相分离现象, 这说明  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  与 PANI 之间应存在着强相互作用(可以由样品的 IR 结果得到证实), 阻止了两相分离. 对比图 2a 和 2b 可发现: 处理过的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米粒子形成的 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  复合物的分散性大为改善, 其形貌也发生了变化, 如有的呈短纤维状, 且能观察到  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米粒子进入短纤维内部的现象. 这种现象的出现是由于酸处理使  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  发生了部分溶解、尺寸减小、表面活化、表面羟基被充分暴露, 从而能够与 PANI 发生强相互作用; 同时吸附在其表面的  $\text{Fe}^{3+}$  也能够氧化单体 An 进行聚合, 相当于  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  粒子表面成为 An 单体聚合的活性点, 这样就出现了  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  完全进入 PANI 短纤维内部的现象.

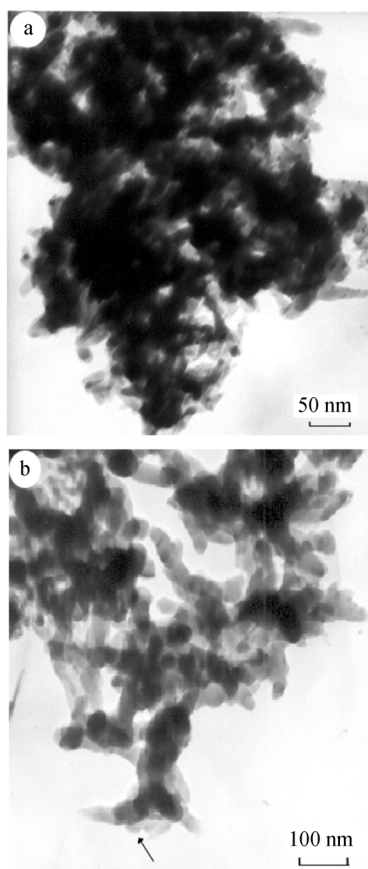


图 2 由未经处理(a)和处理过(b)的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  形成的 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物的 TEM 图

**Figure 2** TEM photographs of PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites (a) The PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites synthesized by untreated  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles; (b) The PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites synthesized by treated  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles

## 2.2 X 射线衍射分析

图 3a 为未处理的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  的 X 射线衍射谱, 其谱线与 JCPDS 卡号为 22-1086 的标准谱图完全吻合, 证明制备出的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  微粒为单一的尖晶石结构.

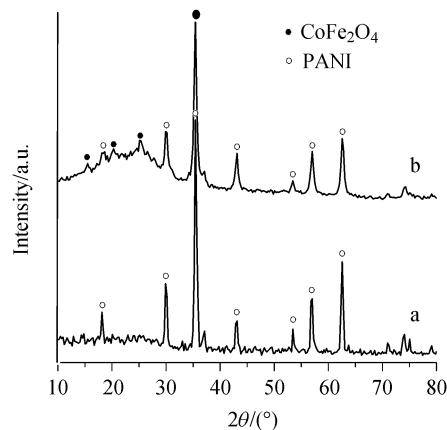


图 3  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  (a)和 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  复合物(b)的 XRD 谱图  
**Figure 3** XRD patterns of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  particles (a) and PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites (b)

图 3b 为由处理过的  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米粒子形成的 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物的 X 射线衍射谱. 从图中可看出, 除在  $2\theta$  为  $18.56^\circ$ ,  $30.04^\circ$ ,  $35.42^\circ$ ,  $37.06^\circ$ ,  $43.08^\circ$ ,  $53.52^\circ$ ,  $57.00^\circ$ ,  $62.58^\circ$  处出现了尖晶石型  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  的特征衍射峰外, 还在  $15.48^\circ$ ,  $20.30^\circ$ ,  $25.10^\circ$  出现了结晶态聚苯胺的衍射峰, 这表明该样品是由 PANI 和  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  组成的. 比较图 3a 和 3b 可以发现, PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物中  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  的所有特征峰明显宽化. 引起衍射峰宽化的因素很多, 如晶粒的大小、晶体结构的完美程度等等, 在此晶粒尺寸的减小是衍射峰宽化的重要因素之一. 根据 Scherrer 公式  $D = k\lambda/\beta\cos\theta$  ( $k$  取 0.89,  $\lambda$  为 0.154 nm), 由  $2\theta = 35.42^\circ$  处的半峰宽可以计算出 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物中  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  粒子的粒径为 23.5 nm, 这与 TEM 结果基本一致.

## 2.3 红外光谱分析

图 4 分别为掺杂态 PANI(a)和  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  含量为 16.8%, 69.2% 的 PANI/ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  纳米复合物(b, c)的 IR 光谱. 在掺杂态 PANI 的 IR 谱中,  $3454\text{ cm}^{-1}$  附近的吸收峰对应于 N—H 伸缩振动,  $1571$  和  $1487\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰分别对应于醌式环及苯环的 C=C 伸缩振动,  $1300\text{ cm}^{-1}$  为 PANI 骨架的 C—N 振动,  $1247\text{ cm}^{-1}$  处出现的吸收峰, 是由 C—N 伸缩振动引起,  $1138\text{ cm}^{-1}$  处出现的宽而强的吸收峰对应于由质子化过程引起的 C—H 面内弯曲振动 ( $\text{N}=\text{Q}=\text{N}$ ,  $\text{N}=\text{N}^+\text{H}-\text{B}$ ,  $\text{B}-\text{N}^+\text{H}-\text{B}$ ),  $812\text{ cm}^{-1}$  对应于 C—H 面外弯曲振动, 这与文献[8]报道的典型掺杂态 PANI 的红外谱一致.

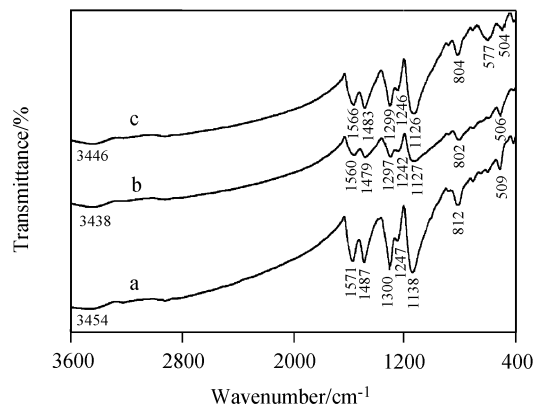


图 4 PANI (a)和 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物(b, c)的 FT-IR 谱  
Figure 4 FT-IR spectra of PANI (a) and PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nano-composite (b: 16.8%, c: 69.2%)

对比 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 复合物和 PANI 的 IR 光谱图发现: PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 的 IR 光谱与 PANI 的相似, 但所有特征吸收峰均发生了不同程度的红移, 这说明 PANI 分子链和 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 之间存在着强的相互作用力<sup>[9,10]</sup>. 因为 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 中的过渡金属离子除了能够与 PANI 分子链上的 N 原子可以形成 M←N σ 配位键外<sup>[8]</sup>, PANI 中空的 π\* 轨道和充满电子的 π 轨道也可以与金属离子的价轨道形成 σ-π 配键. 这两种作用的结果使得聚合物分子链上的电子云密度发生变化, 从而影响了 PANI 分子中原子间的振动频率, 致使复合物中 PANI 特征吸收峰的红移<sup>[11]</sup>. 此外, 还可以从图 4b 和 4c 发现: 在 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量较低或 PANI 含量高时几乎观察不到 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 的吸收峰(如图 4b), 只有当 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 的含量相对较高如 69.2%时, 才会出现 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 的特征吸收峰(图 4c), 这充分证明了 An 在 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 颗粒表面的原位聚合和 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 颗粒是被 PANI 所包覆的.

以上结果充分证明了利用前述的方法可以成功地实现 An 在 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子表面的原位聚合, 得到二者之间以化学键结合的 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物.

## 2.4 热稳定性分析

图 5a 为掺杂态 PANI, (b), (c) 分别为 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量为 26.9%, 39.1% 的 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物的热失重 (TG) 曲线. 从图 5a 可知掺杂态 PANI 失重大致分 3 个阶段: 110 °C 以下失重为吸附水、乙醇、和 HCl 等小分子的脱附过程; 第二阶段 110~270 °C 对应于掺杂态 PANI 中 HCl 的脱掺杂过程; 在 270~590 °C 间的失重对应于聚苯胺分子链的热分解过程. PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物与掺杂态 PANI 有相似的失重过程, 但在第三阶段中, PANI 的完全分解温度随 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量的增加而提高, 如当含量增大到 39.1% 时, 复合物的完全分解温度可高达 769 °C. 这是由于 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 复合物中有机

无机两相分布均匀, 无机 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 粒子与聚合物高分子链互相穿插, 且二者之间还存在强的化学键合作用, 这就使得复合物受热时 PANI 高分子链的热运动受到无机 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 粒子严重的限制, 从而使复合物中的聚合物分解温度升高<sup>[12]</sup>. 该结果与红外光谱的结果一致.

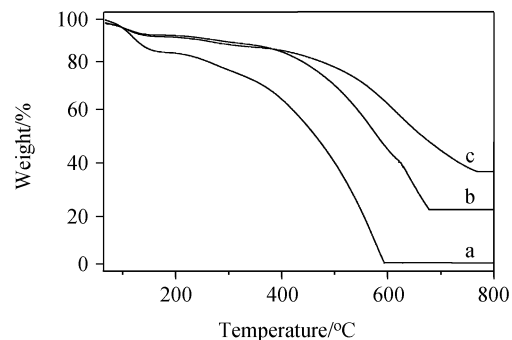


图 5 掺杂态 PANI (a)和 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物(b, c)的热失重(TG)曲线

Figure 5 The TG curves of PANI (a) and PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites (b: 26.9%, c: 39.1%)

此外, 还对 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物的电磁性能进行了研究. 结果表明, 该复合物同时具有电性能和磁性能, 且其电磁性能随着 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量的变化而变化. 在所研究的 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量范围内(10.0%~69.2%), 随 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量的增加, 复合物的导电率(σ)从 3.12 S/cm 下降到 1.42 S/cm, 均低于掺杂态 PANI (3.45 S/cm) 的导电率; 复合物的饱和磁化强度(M<sub>s</sub>)由 10.56 emu/g 增加到 23.44 emu/g, 也均低于纯 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 的饱和磁化强度 (26.78 emu/g); 但复合物的矫顽力则均高于纯 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (96 Oe) 的, 且当 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 的含量在 26.9% 左右时达最高值(131 Oe).

复合物电磁性能的研究结果表明, 采用本文方法制备出的 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物属于电、磁双损型的功能材料. 利用这种复合物可制成电、磁双损型轻质、宽带微波吸收剂, 而且该复合物并不是无机相与有机相的简单加合, 两相间存在较强的化学键, 这种作用使 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米粒子能长期稳定的存在于有机基质中, 其必将在航天、电磁屏蔽和隐身材料等方面有广泛用途.

## 3 结论

在经酸处理 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 得到具有良好分散性纳米粒子基础上, 在溶液中利用 An 在 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米粒子表面原位氧化聚合, 成功制备了兼具电磁性能的 PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物. TEM 的分析表明, CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米磁性粒子以 25 nm 左右的晶粒分散于 PANI 基体中, 复合

物分散较均匀. PANI/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 纳米复合物 IR 光谱结果表明: 在该纳米复合物中 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 与 PANI 间存在化学键合作用, 正是这种作用使复合物热稳定性提高. 复合物同时具有导电性和磁性能, 且随 CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 含量变化而变化.

## References

- 1 Cao, Y.; Tao, C.-Y.; Du, J.; Liu, Z.-H. *Polym. Bull.* **2007**, (1), 28 (in Chinese).  
(曹渊, 陶长元, 杜军, 刘作华, 高分子通报, **2007**, (1), 28.)
- 2 Dong, X.-L.; Zuo, F.; Zhong, W.-B.; Li, Z.-N.; Chen, P. *J. Funct. Mater.* **2005**, 36(10), 1558 (in Chinese).  
(董星龙, 左芳, 钟武波, 李哲男, 陈平, 功能材料, **2005**, 36(10), 1558.)
- 3 Deng, J.-G.; He, C.-L.; Long, X.-P.; Peng, Y.-X.; Li, P.; Chen, X.-Z. *J. Acta Polym. Sinica* **2003**, (3), 393 (in Chinese).  
(邓建国, 贺传兰, 龙新平, 彭宇行, 李蓓, 陈新滋, 高分子学报, **2003**, (3), 393.)
- 4 Yang, Q.-L.; Zhai, J.; Song, Y.-L.; Wan, M.-X.; Jing, L.; Xu, W.-G.; Li, Q.-S. *J. Chem. J. Chin. Univ.* **2003**, 24(12), 2290 (in Chinese).  
(杨青林, 翟锦, 宋延林, 万梅香, 江雷, 徐文国, 李前树, 高等学校化学学报, **2003**, 24(12), 2290.)
- 5 Guo, Y.-P.; Guo, Y.-J.; Lü, J.-Y. *Mater. Sci. Technol.* **2005**, 13(2), 189 (in Chinese).  
(郭亚平, 郭亚军, 吕君英, 材料科学与工艺, **2005**, 13(2), 189.)
- 6 Shi, X.-B.; Li, C.-G.; Wang, D.-X. *Chemistry* **2002**, 65(8), 544 (in Chinese).  
(石晓波, 李春根, 汪德先, 化学通报, **2002**, 65(8), 544.)
- 7 Chen, A.-H.; Wang, H.-Q.; Li, X.-Y. *Synth. Met.* **2004**, 145(2~3), 153.
- 8 Jiang, J.; Li, L.-C.; Xu, F.; Yan, C. *Acta Chim. Sinica* **2007**, 65(1), 53 (in Chinese).  
(蒋静, 李良超, 徐烽, 颜冲, 化学学报, **2007**, 65(1), 53.)
- 9 Sui, X.-M.; Chu, Y.; Xing, S.-X.; Yu, M.; Liu, C.-Z. *Colloids Surf. A* **2004**, 251(1~3), 103.
- 10 Zhang, L.-J.; Wan, M.-X. *J. Phys. Chem. B* **2003**, 107(28), 6748.
- 11 Deng, J.-G.; Ding, X.-B.; Wen, C.-Z.; Peng, Y.-X.; Wang, J.-H.; Long, X.-P.; Li, P.; Albert. S. C. Chan. *Polymer* **2002**, 43(8), 2179.
- 12 Wu, D.-H.; Gao, Z.-W.; Gao, L.-X.; Zhang, C.-Y.; Wang, G.-F. *Acta Chim. Sinica* **2006**, 64(8), 716 (in Chinese).  
(毋登辉, 高子伟, 高玲香, 张彩云, 王高峰, 化学学报, **2006**, 64(8), 716.)

(A0802181 ZHAO, X. J.; LU, Z. S.)