

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.10.005

溶剂热法原位制备抗菌 EP/纳米 TiO₂ 复合材料

吴纯, 闫永思, 王昱程, 戚嵘嵘

(上海交通大学化学化工学院, 上海 200240)

摘要: 为了提升环氧树脂 (EP) 的抗菌性能, 延长其使用寿命, 采用溶剂热法原位制备了含纳米 TiO₂ 的固化剂, 之后加入 EP 固化得到透明的抗菌 EP/纳米 TiO₂ 复合材料。通过 X 射线衍射证实了在 EP 基体中成功地原位生成了纳米 TiO₂ 粒子, 并研究了其原位合成机理。通过扫描电子显微镜和透射电子显微镜观察到纳米 TiO₂ 粒子能在 EP 基体中良好分散。仅含 1.4% TiO₂ 的 EP/纳米 TiO₂ 复合材料对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌率均达到 100%, 是纯 EP 的 2.6 和 2.8 倍; 弯曲强度达 87.25 MPa, 相比纯 EP 的弯曲强度提高了 108%; 纳米 TiO₂ 能有效促进 EP 的固化过程, 而对 EP 的玻璃化转变温度几乎没有影响。

关键词: 环氧树脂; 纳米二氧化钛; 原位制备; 溶剂热法; 抗菌

中图分类号: TQ322.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)10-0024-06

In-situ Solvothermal Synthesis of Antibacterial Epoxy/Nano-TiO₂ Composites

Wu Chun, Yan Yongsu, Wang Yucheng, Qi Rongrong

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai 200240, China)

Abstract : In order to improve the antibacterial properties of epoxy resin (EP) and extend its service life, EP curing agent containing nano-TiO₂ was prepared in situ solvothermal synthesis. Then EP was added for curing, and antibacterial and transparent EP/nano-TiO₂ composite was prepared. X-ray diffraction spectra confirmed that TiO₂ nanoparticles were successfully generated in-situ in EP matrix, and its mechanism was studied. It was observed by scanning electron microscope and transmission electron microscopy that TiO₂ nanoparticles could disperse well in EP matrix. EP/nano-TiO₂ composites containing only 1.4% TiO₂ had an antibacterial rate of 100% on both escherichia coli and staphylococcus aureus, which was 2.6 and 2.8 times higher than those of pure EP. In addition, the bending strength reached 87.25 MPa, which was increased by 108%. Nano-TiO₂ could effectively promote the curing process of EP, with little effect on the glass transition temperature of EP.

Keywords : epoxy resin ; nano titanium dioxide ; in-situ preparation ; solvent thermal method ; antibacterial

环氧树脂 (EP) 是一种具有优异力学性能、介电性能、热稳定性和粘结性能的热固性树脂, 被广泛应用于涂料、胶粘剂、先进复合材料等领域^[1]。但 EP 易受微生物侵害而长菌发霉, 使性能下降并显著降低服役寿命, 因此提高 EP 的抗菌性能很有必要^[2-4]。

无机纳米粒子尺寸小, 表面非配对电子多, 可与 EP 发生物理或化学作用, 提高抗菌性能、力学性能和热稳定性^[5], 常用无机纳米抗菌剂有纳米 Ag, Cu, Cu₂O, ZnO, TiO₂ 等^[6-9]。G. Das 等^[10] 制备了

纳米 Cu 修饰的有机蒙脱土改性 EP 抗菌复合材料, 表现出良好的抗菌抑制区, 但不透明的纳米 Cu 限制了其在浅色制品中的应用。纳米 TiO₂ 粒子是一种白色的半导体材料, 目前其抗菌机制主要有 2 种: (1) 当纳米 TiO₂ 粒子直接与细胞表面接触时能氧化其细胞内的辅酶, 从而影响其代谢, 导致细菌死亡。(2) 光催化产生具有强氧化性的过氧化氢和自由基, 造成了细胞膜的损伤, 进而导致细菌无法存活^[11-12]。

一般来说, 将纳米 TiO₂ 引入 EP 基体形成抗菌复合材料的方法有两种, 一种是直接在 EP 中添加

通讯作者: 戚嵘嵘, 副教授. 主要研究方向为高分子成型加工 E-mail: rrqi@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2019-07-25

引用格式: 吴纯, 闫永思, 王昱程, 等. 溶剂热法原位制备抗菌 EP/纳米 TiO₂ 复合材料[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):24-29.

Wu Chun, Yan Yongsu, Wang Yucheng, et al. In-situ solvothermal synthesis of antibacterial epoxy/nano-TiO₂ composites[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):24-29.

纳米 TiO₂ 粒子,另一种是通过在 EP 制备过程中原位聚合得到 EP/纳米 TiO₂ 粒子。A. M. Kumar 等^[13] 在 EP 中直接加入 CuO-TiO₂ 纳米颗粒,制备了具有良好抗菌性能的复合材料,但是需要的含量过多(20%),易造成团聚现象而导致力学性能下降,且失去了透明性。Zhai Wenzhong 等^[14] 通过乳液聚合直接加入纳米 TiO₂ 制备了一种新型本征型 EP-丙烯酸酯共聚物水性抗菌复合材料,但乳液聚合制备过程复杂,且成本高。由于纳米 TiO₂ 粒子本身超高的比表面积,直接加入 EP 基体中无法均匀分散,易产生团聚,影响其透明性,而原位合成法能够有效地改善纳米 TiO₂ 在 EP 集体中的分散性。

因此,笔者采用溶剂热合成法原位制备 EP/纳米 TiO₂ 来改善 TiO₂ 的分散性。溶剂热合成法与传统的合成路线相比,具有副产品可控、反应条件温和以及制备方法简单等优势^[15]。不同的 pH 会影响生成的 TiO₂ 的纳米形态,在酸性条件下由钛酸正丁酯 [Ti(Obu)₄] 水解一般得到金红石型、锐钛矿型及非晶为主的纳米 TiO₂,而在碱性条件下可能生成板钛矿型、混晶纳米 TiO₂ 及微米尺寸的 TiO₂^[16]。考虑到体系中酸酐类固化剂本身就有酸性,因此不添加其它酸,采用两步法, Ti(Obu)₄ 作为合成 TiO₂ 的前驱体, EP 的酸酐固化剂作为体系的分散介质和 pH 调节剂, KH560 作为硅烷偶联剂,第一步先在反应釜中通过溶剂热法制备了含有纳米 TiO₂ 粒子的固化剂,第二步再加入 EP 进一步固化得到 EP/纳米 TiO₂ 复合材料,并对复合材料的抗菌性能、形貌结构、热性能和力学性能等方面进行了研究。

1 实验部分

1.1 原材料

3,4-环氧环己基甲基-3,4-环氧环己基甲酸酯(201GA):当量 135 Gm/Eq,上海树脂厂有限公司;

环己烷-1,2-二羧酸二缩水甘油酯(201GB):当量 150~175 Gm/Eq,上海树脂厂有限公司;

γ -缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷(KH560):分析纯,上海耀华化工有限公司;

Ti(Obu)₄:分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司;

无水乙醇:分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器及设备

三维高速混合机:ksh-100型,无锡旭科机器人

有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:SFG-02.300型,上海林频仪器股份有限公司;

调制型差示扫描量热(DSC)仪:Q2000型,美国TA公司;

热重(TG)分析仪:TGAQ5000型,美国TA公司;

万能电子拉力机:4465型,美国Instron公司;

X射线衍射(XRD)仪:D/max-2200/PC型,日本理学株式会社;

场发射扫描式电子显微镜(SEM):NOVA Nano SEM NPE218型,美国FEI公司;

透射电子显微镜(TEM):JEM-2100型,日本电子株式会社。

1.3 试样制备

根据表1称取一定量的硅烷偶联剂KH560于100 mL聚四氟乙烯内胆中,向其中添加固化剂201GB,随后加入一定量的Ti(Obu)₄,最后加入2 g无水乙醇。将内胆放入不锈钢反应釜中,密封,120℃反应8 h。反应完毕并完全冷却后得到红棕色澄清溶液,加入适量201GA,于三维高速混合机中混合均匀。将混合物灌入聚四氟乙烯模具中,上下各垫一层铝箔。放入预热好的真空烘箱,70℃排气40 min,按照90℃/40 min,120℃/30 min,150℃/2 h,逐步固化成型。得到样品后,冷却至室温备用。

表1 EP/纳米 TiO₂ 复合材料配方

试样编号	201GA	201GB	KH560	Ti(Obu) ₄	无水乙醇
T0	18	18	0	0	0
T1	18	14.5	1.5	2	2
T5	18	14.5	1.5	10	2

1.4 性能测试与表征

抗菌性能测试:取第四代大肠杆菌和金黄色葡萄球菌菌液的稀释液作为试验用菌液,根据GB/T 21510贴膜法测定,通过菌落计数法计算抗菌率。

$$R = (\beta_0 - \beta_s) / \beta_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中:R——抗菌率;

β_0 ——空白样品的菌落数;

β_s ——实验样品的菌落数。

SEM观察:将不同配方的试样在液氮中冷却后淬断,对断面进行喷金处理后观察拍照。

TEM观察:将反应得到的溶液用丙酮稀释,滴加到盛有水的培养皿中,待形成一片薄薄的油膜后用铜网轻轻捞取一层油膜,热处理后进行测试。

弯曲性能测试:样品尺寸 64 mm × 13 mm × 3 mm,依据 ASTM D 790-2007 进行测试,控制弯曲速度为 2 mm/min。

DSC 测试:取 5~10 mg 的固体样品置于固体坩埚中,在氮气氛围下从 0℃ 上升到 250℃,升温速率为 10℃/min。

TG 测试:取 5~10 mg 的固体样品,在氮气氛围下从 40℃ 升温到 700℃,升温速率为 20℃/min。

2 结果及讨论

2.1 溶剂热法原位合成纳米 TiO₂ 的表征及机理

(1) XRD 分析。

对纯 EP (T0), EP/纳米 TiO₂ 复合材料 (T1, T5) 以及纯 TiO₂ 四种样品的 XRD 图谱进行表征,结果如图 1 所示。可以看出,纯 EP 在 2θ 为 18° 左右产生一个较宽的馒头峰,证明 EP 是无定形态结构。溶剂热法制备的纯 TiO₂ 在 22.5° 和 29.5° 处有两个肩并肩方式排布的宽峰,这是非晶形 TiO₂ 的特征峰。且当加入少量 Ti(OBu)₄ 时, T1 样品在 22.5° 呈现出一个明显的峰,而随着 Ti(OBu)₄ 加入量增多, T5 样品在 29.5° 处的峰更为明显,均证明通过溶剂热法成功地原位制备了 EP/纳米 TiO₂ 复合材料。

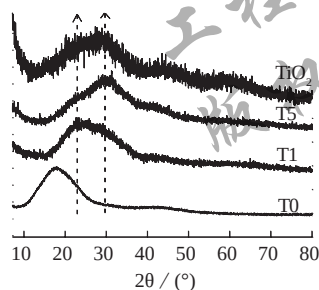


图 1 EP, TiO₂ 及 EP/纳米 TiO₂ 复合材料的 XRD 谱图

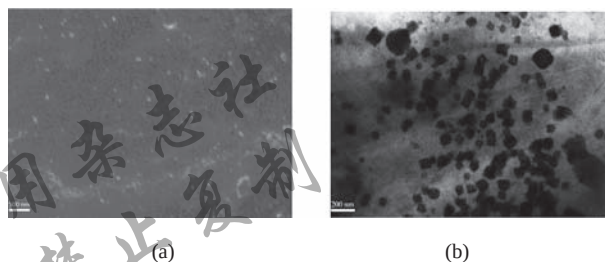
(2) TG 分析。

纯 EP 和复合材料的 TG 测试降解温度及残余率如表 2 所示。复合材料热降解时的残余率与体系中 TiO₂ 的含量是相对应的,即为原位制备得到的 TiO₂ 含量。T1 和 T5 中 TiO₂ 含量为 1.4% 和 5.4%,略高于理论残余率,主要原因是还有一部分未与 EP 反应的硅烷偶联剂的存在。另外,原位聚合得到的含 1.4% TiO₂ 的复合材料与纯 EP 相比起始降解

温度(失重 5% 时的温度)稍有降低,而含有 5.4% TiO₂ 的复合材料起始分解温度明显降低,可能是体系中含有小分子的原因。因此,接下来选用 T1 体系继续研究。

(3) 电镜分析。

在制备 EP/纳米 TiO₂ 复合材料的过程中,保持 TiO₂ 在 EP 基体中纳米分散是关键所在。为了证明溶剂热法原位制备了纳米 TiO₂,对复合材料分别采用 SEM 和 TEM 观察,如图 2 所示。从图 2a 可以看出, TiO₂ 在 EP 基体中均匀分散,没有明显的团聚现象,尺寸在 80 nm 左右,呈现出纳米形态。从图 2b 也可以看到纳米 TiO₂ 以球形和方形为主,分散性良好,与 SEM 结果一致,尺寸在 100 nm 以内。



a—SEM 照片; b—TEM 照片

图 2 EP/TiO₂ 复合材料的电镜照片

Ti(OBu)₄ 在酸性条件下易醇解生成 Ti—OH 基团,在分子量酸酐固化剂阻碍下,生长受限而形成球型的纳米 TiO₂; 方型的结构出现,可能是由于纳米 TiO₂ 与酸酐固化剂发生化学反应相络合,包覆在其表面,进而改变了其原有的球形结构。有一部分 Ti—OH 基团与 201GB 固化剂通过 Ti—O 键相互络合,由于络合物的产生,也导致纳米 TiO₂ 被包覆而呈现非晶的方形结构,这与 XRD 结果相吻合。

另一方面, TiO₂ 能够均匀分散在 EP 基体中的原因,是由于硅烷偶联剂 KH560 的存在。Si—OCH₃ 基团水解生成的 Si—OH 基团与 Ti—OH 基团进行缩合反应形成 Ti—O—Si 键,稳定了原位生成的纳米 TiO₂ 粒子; 且 KH560 的环氧基团与 EP 具有良好的相容性,最终形成了黄色透明的 EP/纳米 TiO₂ 复合材料。

2.2 EP/纳米 TiO₂ 复合材料的性能

(1) 抗菌性能。

为了研究 EP/纳米 TiO₂ 复合材料的抗菌性能,分别采用革兰氏阴性菌大肠杆菌和革兰氏阳性菌金黄色葡萄球菌作为菌群,并以纯 EP 作为空白参照,抗菌结果如图 3 所示。可以看到,纯 EP 呈现

表 2 T0, T1 及 T5 复合材料的 TG 数据

试样编号	失重 5% 时的温度 / °C	失重 50% 时的温度 / °C	实验残余率 / %	理论残余率 / %
T0	348.1	384.8	0.3	0.0
T1	328.5	380.7	1.4	1.2
T5	272.6	364.9	5.4	5.1

出密集的菌落群,抗菌效果不佳,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌率分别是 38.05% 和 36.32%。而原位制备的 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料,无论是对大肠杆菌还是金黄色葡萄球菌,均没有任何菌落出现,此时抗菌率为 100%,分别是纯 EP 的 2.6 和 2.8 倍。且从 TG 结果可以知道,此时纳米 TiO₂ 的含量仅为 1.4%,在低含量时就具有极佳的抗菌效果。

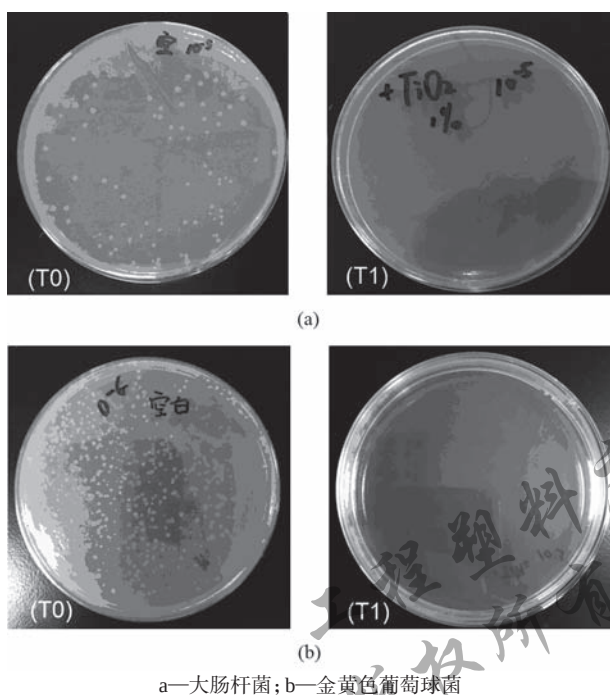
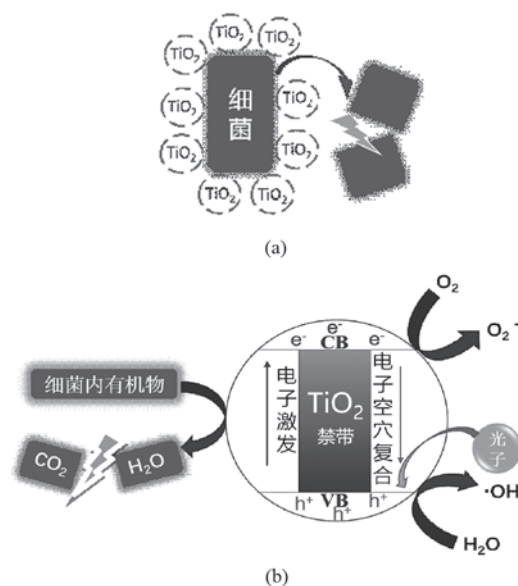


图 3 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料的抗菌效果

图 4 示出 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料的抗菌机制。EP / 纳米 TiO₂ 复合材料良好的抗菌性能,主要是由于溶剂热法原位制备的纳米 TiO₂ 发挥了有效的抗菌效果,而这与纳米 TiO₂ 能在 EP 基体中均匀分散紧密相关,没有团聚现象的出现因而防止了裂纹、气孔的产生,有效阻碍了细菌从缺陷中侵入。目前关于纳米 TiO₂ 的抗菌机制主要分为接触杀菌和光催化杀菌两种。在本研究中,由于原位合成的 TiO₂ 的直径约 80 nm,有可能直接吸附在细菌表面,从而渗透进细胞膜,改变细胞膜的通透性,并氧化细胞内的辅酶 A,阻碍了细菌的生长繁殖而致其死亡。另外, TiO₂ 是一种半导体材料,在大于其禁带宽度 (3.0 ~ 3.2) 的紫外 - 可见光照射催化下, TiO₂ 价带上的电子被激发,产生活性氧和羟基自由基等,极强的氧化性使得细胞膜受损、细胞器泄露,最终导致细菌的解体。在接触杀菌和光催化杀菌两种协同作用下,原位合成仅含 1.4% 的纳米 TiO₂ 聚合得到的复合材料具有优异的抗菌性能。



a—接触杀菌; b—光催化杀菌

图 4 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料的抗菌机制

(2) 热性能。

为了研究溶剂热法原位生成纳米 TiO₂ 对 EP 热性能的影响,通过 DSC 测定了纯 EP 和 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料反应液的固化过程,如图 5 所示。可以看到,纯 EP 的固化温度为 150.3℃,而纳米 TiO₂ 的存在显著加速了 EP 的固化,EP / 纳米 TiO₂ 复合材料的固化温度降低至 130.2℃。究其原因,主要是一些溶剂及小分子的存在,充当了 EP 的增塑剂,因此原位生成的纳米 TiO₂ 有利于 EP 固化性能的提高。另外,由于纳米 TiO₂ 高比表面积和高表面能特性,可以通过范德华力在其周围吸附一部分固化剂中的环氧基团,且自身具有自催化性能,使固化活化能降低,也有利于固化的进行^[17]。

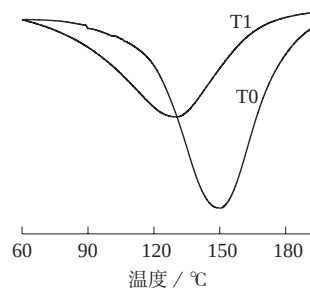


图 5 纯 EP 和 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料反应液的 DSC 曲线

玻璃化转变温度 (T_g) 也是聚合物重要的一个热力学性能指标。通过 DSC 测定了纯 EP 和 EP / 纳米 TiO₂ 复合材料的 T_g ,如图 6 所示。可以看出,纯 EP 的 T_g 为 143.5℃,原位制备的 EP / 纳米 TiO₂

复合材料的 T_g 稍有下降,为 140.1°C 。主要原因可能是纳米 TiO_2 在 EP 基体中起到了增塑剂的作用,造成了复合材料的 T_g 下降,但由于原位合成的纳米 TiO_2 含量少,因此影响不大,EP/纳米 TiO_2 复合材料仍能保持良好的热性能。

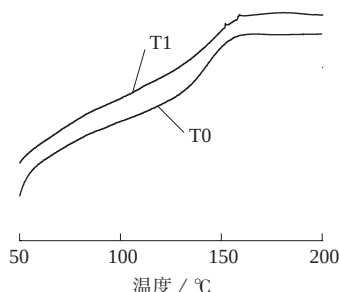


图6 纯EP和EP/纳米 TiO_2 复合材料的DSC曲线

(3) 力学性能。

纯EP和EP/纳米 TiO_2 复合材料的弯曲强度如表3所示。纯EP的弯曲强度较低,为 41.85 MPa 。溶剂热法原位制备的EP/纳米 TiO_2 复合材料的弯曲强度明显提高,相比纯EP提高了108%。主要原因是纳米 TiO_2 本身的强度很高,且溶剂热法制备其分散性能良好,能有效地转移应力,防止银纹、气孔等缺陷的产生,从而使弯曲强度显著提高。

表3 纯EP和EP/纳米 TiO_2 复合材料的弯曲强度 MPa

试样编号	弯曲强度
T0	41.85
T1	87.25

3 结论

(1) 成功采用溶剂热法原位聚合制备了抗菌EP/纳米 TiO_2 复合材料, TiO_2 粒子在EP基体中能均匀分散,粒径约为 80 nm ,且复合材料呈现良好的透明性。

(2) 仅含1.4% TiO_2 的EP/纳米 TiO_2 复合材料具有优异的抗菌性能,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌率均达到100%。

(3) 溶剂热法原位合成的 TiO_2 能有效促进EP的固化过程,而对EP的 T_g 几乎没有影响。

(4) 溶剂热法原位聚合的EP/纳米 TiO_2 复合材料的弯曲强度相比纯EP提高了108%。

参考文献

[1] 黄雷,陈立亚,付继芳,等. 纳米二氧化钛改性环氧树脂的应用研究[J]. 粘接,2015(9):35-38.
Huang Lei, Chen Liya, Fu Jifang, et al. Study on epoxy resin modification with nano- TiO_2 [J]. Adhesion, 2015(9):35-38.

[2] Allahverdia A, Ehsanib E, Janpour H, et al. The effect of nanosilica on mechanical, thermal and morphological properties of epoxy coating[J]. Progress in Organic Coatings, 2012, 75(4):543-548.
[3] Conradi M, Koijian A, Kek-Meri D, et al. Mechanical and anticorrosion properties of nanosilica-filled epoxy-resin composite coatings[J]. Applications of Surface Science, 2014, 292:432-437.
[4] 尹兴,孙诚,付春英,等. 纳米二氧化钛/聚乳酸抗菌薄膜的制备和性能[J]. 包装工程,2017(15):36-40.
Yin Xing, Sun Cheng, Fu chunying, et al. Preparation and properties of nano-titanium dioxide / polylactic acid antibacterial film[J]. Packaging Engineering, 2017(15):36-40.
[5] 郑亚萍,王波. TiO_2 /环氧树脂纳米复合材料的研究[J]. 复合材料学报,2002, 19(4):11-13.
Zheng Yaping, Wang Bo. Study on the properties of TiO_2 / epoxy nanocomposite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2002, 19(4):11-13.
[6] Roy B, Bharali P, Konwar B K, et al. Silver-embedded modified hyperbranched epoxy clay nanocomposites as antibacterial materials[J]. Bioresource Technology, 2013, 127:175-180.
[7] Ashraf M E S, El-Fattah M A, Ahmed M A, et al. Synthesis of cuprous oxide epoxy nanocomposite as an environmentally antimicrobial coating[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 89:190-197.
[8] Ashraf M E S, El-Fattah M A, Ahmed M A. Synthesis of ZnO nanoparticles and studying its influence on the antimicrobial, anticorrosion and mechanical behavior of polyurethane composite for surface coating[J]. Dyes Pigments, 2015, 121:282-289.
[9] Zhai Wenzhong, Wu ZhanMin, Wang Xiaowen et al. Preparation of epoxy-acrylate copolymer@nano- TiO_2 pickering emulsion and its antibacterial activity[J]. Progress in Organic Coatings, 2015, 87:122-128.
[10] Das G, Kalita R D, Gogoi P, et al. Antibacterial activities of copper nanoparticle-decorated organically modified montmorillonite / epoxy nanocomposites[J]. Applied Clay Science, 2014, 90:18-26.
[11] Yadav H M, Kim J S, Pawar S H. Developments in photocatalytic antibacterial activity of nano TiO_2 :A review[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2016, 33(7):1 989-1 998.
[12] 雷绍民,熊毕华,郝骞,等. 纳米 TiO_2 复合抗菌材料抗菌机理与研究进展[J]. 资源环境与工程,2006, 20(4):459-462.
Lei Shaomin, Xiong Bihua, Hao Qian, et al. Antibacterial mechanism and progress in study on nanometer TiO_2 composite antibacterial materials[J]. Resources Environment & Engineering, 2006, 20(4):459-462.
[13] Kumar A M, Khan A, Suleiman R, et al. Bifunctional CuO/TiO_2 nanocomposite as nanofiller for improved corrosion resistance and antibacterial protection[J]. Progress in Organic Coatings, 2018, 114:9-18.
[14] Zhai Wenzhong, Wu Zhanmin, Wang Xiaowen, et al. Preparation

- of epoxy-acrylate copolymer@nano-TiO₂ Pickering emulsion and its antibacterial activity[J]. Progress in Organic Coatings, 2015, 87:122-128.
- [15] 张海英. 溶剂热法原位制备环氧纳米杂化材料及其功能化研究[D]. 上海:上海交通大学, 2011.
- Zhang Haiying. In-situ solvothermal synthesis and characterization of nanocomposites and research of functional properties[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2011.
- [16] 殷婷婷, 王国宏, 韩德艳, 等. 水热法制备纳米二氧化钛的研究进展[J]. 广州化工, 2012, 40(5):10-12, 20.
- Yin Tingting, Wang Guohong, Han Deyan, et al. Research progress in hydrothermal synthesis of nano-titania[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(5):10-12, 20.
- [17] 周红军, 李设桥, 李翠金, 等. 纳米二氧化钛对环氧树脂固化反应的影响[J]. 热固性树脂, 2012(6):11-14.
- Zhou Hongjun, Li Sheqiao, Li Cuijin, et al. Influence of nano-TiO₂ on the curing reaction of epoxy resin[J]. Thermosetting Resin, 2012(6):11-14.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 16 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。