

磁性可见光催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的制备及催化活性

晏 威¹ 王 姣¹ 朱 毅¹ 郭 佳² 杨 骏¹ 张渊明^{*,1}

(¹暨南大学化学系, 广州 510632)

(²暨南大学生态学系, 广州 510632)

摘要: 采用超声法将磁基体 Fe_3O_4 和 BiVO_4 复合, 制备了易于固液分离的磁性可见光催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。采用 X 射线衍射 (XRD)、傅立叶转换红外光谱 (FTIR)、紫外-可见漫反射光谱 (DRS)、透射电子显微镜 (TEM) 和磁学性质测量系统 (MPMS) 对产物进行了表征, 并以亚甲基蓝为目标降解物, 考察了 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的可见光催化活性。当 BiVO_4 与 Fe_3O_4 质量比为 5:1 时, $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的催化活性最高, 反应经过 5 h, 对亚甲基蓝的降解率达到 92.0%, 而单独使用 BiVO_4 为催化剂, 降解率仅为 72.5%。这表明 Fe_3O_4 不仅起到磁基体的作用, 还起到助催化剂的作用。 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 在外加磁场的作用下很容易被分离, 撤消外加磁场后, 通过搅拌又可重新分散。 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 3 次回收后的降解率仍高于 80%。

关键词: $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$; 磁性分离; 超声法; 可见光催化剂

中图分类号: O643.36; O641.81¹; O641.51¹; O641.53²

文献标识码: A

文章编号: 1001-4861(2011)02-0287-06

Preparation and Photocatalytic Properties of Magnetically Separable Visible-Light Photocatalyst $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$

YAN Wei¹ WANG Jiao¹ ZHU Yi¹ GUO Jia² YANG Jun¹ ZHANG Yuan-Ming^{*,1}

(¹Department of Chemistry, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

(²Department of Ecology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: A magnetically separable visible-light photocatalyst $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ was prepared by ultrasonic method. Magnetite Fe_3O_4 permits easy recovery after photocatalytic degradation process by magnetic force. The as-prepared composites were characterized by X-ray diffraction (XRD), UV-Visible diffuse reflectance spectra (DRS), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), transmission electron microscopy (TEM) and magnetic property measurement system (MPMS). The photocatalytic activities were evaluated by degradation of methylene blue (MB) aqueous solution under visible light ($\lambda > 400$ nm). Photocatalyst with $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ mass ratio of 5:1 showed the highest degradation rate up to 92.0% in 5 h, while the degradation rate with BiVO_4 was 72.5%. The results indicate that Fe_3O_4 acts not only as magnetic particles but also as a promoter. The photocatalyst can be easily separated by an external magnetic field and re-dispersed into aqueous solution by stirring after removal of external magnetic field. The photocatalyst can be reused three times without considerable loss of activity and the photocatalyst still has a degradation rate of 80% in 5 h.

Key words: $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$; magnetically separable; ultrasonic method; visible-light photocatalyst

近年来, 半导体光催化技术由于在去除空气中的有毒气体和降解水中有机污染物等方面有非常广

阔的应用前景, 而逐渐引起了广泛的关注^[1]。至今, 已研究过的光催化剂中, TiO_2 因具有优良的光电性

收稿日期: 2010-08-24。收修改稿日期: 2010-09-27。

国家自然科学基金(No.20676050)资助项目。

*通讯联系人。E-mail: tzhangym@jnu.edu.cn, Tel: 020-85225036

能、光催化活性、化学稳定性、无毒且价格低廉等优点,而最为常用^[2-3]。但从实际来看,一个具有实际应用价值的半导体光催化剂不仅应具有化学稳定性、光照稳定性、选择性和高效性,还必须具有较宽的光谱响应和光匹配性能。 TiO_2 的光化学性能虽然较稳定,但其带隙较大(3.2 eV)^[4],只对仅占太阳能 4% 的紫外光有响应,对占太阳能 43% 的可见光没有响应,这就大大限制了 TiO_2 的实际应用。因此,研究窄带隙能对可见光响应的催化剂成为人们关注的焦点^[5]。

目前,开发窄带隙可见光催化剂主要有两种思路。一种是通过掺金属离子或非金属离子对 TiO_2 进行修饰改性,如 Asahi 等^[6]和 Khan 等^[7-8]报道的掺氮 $\text{TiO}_2(\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x)$ 和掺碳 $\text{TiO}_2(\text{TiO}_{2-x}\text{C}_x)$,可以减小带隙宽度,将光响应范围拓展至可见光区。然而,掺杂容易破坏晶体结构,引入大量缺陷和复合中心,并且产生不连续的杂质能级,阻碍光生空穴的迁移,从而导致整体的光催化活性降低^[9-10]。另一种思路是设计新型的未掺杂可见光响应单相半导体光催化剂,如: BiVO_4 、 Bi_2WO_6 和 CaBi_2O_4 等。其中, BiVO_4 是一种稳定的半导体光催化剂,禁带宽度相对较窄,接近太阳光谱中心,在可见光下降解有机污染物的催化活性较高^[11-15],因此,作为一种理想的可见光催化剂而得到广泛研究。

然而, BiVO_4 作为一种多相催化剂,在反应完成后难以从反应体系中分离,易流失且分离成本较高^[16]。为了解决这个问题,研究者们将 BiVO_4 负载在玻璃纤维、硅胶等不同载体上,制备出了很多负载型复合 BiVO_4 光催化剂。虽然负载化解决了回收的难题,但是其光催化效率却明显降低^[17]。如何制备容易回收且具有良好光催化活性的 BiVO_4 可见光催化剂成为了该领域的一个挑战。

受最近一些将 TiO_2 负载在磁性颗粒上的报道的启发^[18-20],我们采用超声法将 Fe_3O_4 与 BiVO_4 复合,制备了 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 复合磁性光催化材料,并以亚甲基蓝为目标降解物,考察了 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的可见光催化活性和重复使用效率。用这种方法制备的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 催化剂既容易回收又保持着高的催化活性:磁性使其能够通过施加外磁场作用来回收催化剂,而不需要进一步的处理;而适量的 Fe_3O_4 不仅可作为复合催化剂的磁基体,而且还可与许多过渡金属氧化物一样,作为电子捕获剂抑制电子空穴对复合,提高光催化活性,起助催化剂的作用;同时,所

采用的超声法能增大颗粒的比表面,有利于提高光催化活性。

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

所有试剂五水硝酸铋($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$),偏钒酸铵(NH_4VO_3),硝酸(HNO_3),氢氧化钠(NaOH),铁粉(Fe),氯化铁(FeCl_3),氨水($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),亚甲基蓝(MB)和无水乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)均为分析纯,且均购于上海国药集团化学试剂有限公司。实验用水为蒸馏水。

样品的物相表征采用 X 射线衍射仪(MSAL-XD2, Cu 靶 $K\alpha$ 辐射, $\lambda=0.15418 \text{ nm}$, 弯晶石墨单色器,射线管电压 36 kV, 电流 20 mA, 扫描范围 $2\theta=10^\circ\sim 80^\circ$, 扫描速率为 $8^\circ \cdot \text{min}^{-1}$, 步宽为 0.02°)测定。样品的形貌和结构通过透射电子显微镜(PHILIPS TECNAI-10, 加速电压 100 kV)来表征。不同样品的红外光谱测定采用傅立叶变换红外光谱仪(NICOLET 6700, 光谱纯 KBr 压片, 扫描范围为 $2000\sim 400 \text{ cm}^{-1}$)。采用紫外-可见漫反射光谱仪(SHIMADZU UV25, 对比基准物为 BaSO_4 , 测量范围 $200\sim 800 \text{ nm}$)测定样品的吸收光谱。BET 比表面积的确 定 采 用 比 表 面 测 定 仪(MICROMETRICS TRISTAR 3000, 低温氮气吸附, 吹扫气体为氦气)。样品的磁性性能通过磁性测量系统(QUANTUM DESIGN XL-7, 超导磁体, 液氮控温, 射频 SQUID)来表征。

1.2 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的制备

1.2.1 磁基体 Fe_3O_4 的制备

将 Fe 粉和 FeCl_3 以质量比为 1:8 的比例溶于蒸馏水中, 在强烈的磁力搅拌下, 将 $1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 缓慢滴加到上述铁溶液中, 水浴温度控制在 80°C , 当 pH 值升高至 6~7 时, 铁盐水解产生大量的 Fe_3O_4 晶体, 继续滴加 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 至 pH 值达到 9~10, 直至铁盐水解趋于完全, 90°C 水浴加热 1 h, 磁力沉降, 蒸馏水洗涤不溶物 4 次, 真空干燥。

1.2.2 BiVO_4 的制备

将 10.0 mmol NH_4VO_3 和 10.0 mmol $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 分别溶于 20.0 mL $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 和 20.0 mL $4.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HNO_3 溶液中, 混合两种溶液后形成橘黄色溶液, 用 $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液调节 pH 值至 4, 磁力搅拌 0.5 h。转移所得的前驱体溶液于 100 mL 的聚四氟乙烯不锈钢高压釜中, 180°C 下加热 2 h, 冷却至室温, 离心分离, 去离子水洗, 无水乙醇洗几次, 得到亮黄色沉淀, 80°C 下干燥 4 h。

所制得的 BiVO₄ 的产率是 96%。

1.2.3 磁性光催化剂 BiVO₄/Fe₃O₄ 的制备

将不同质量比的 BiVO₄ 和 Fe₃O₄ 混合,研磨,分散于含有 10 mL 无水乙醇的 40 mL 去离子水中,室温下搅拌悬浮液 30 min,超声 1 h,离心分离,用去离子水和无水乙醇洗几次,60 °C 下干燥。

1.3 光催化活性的测定

选择亚甲基蓝作为模拟污染物,来测定 BiVO₄/Fe₃O₄ 混合粒子的光催化活性。室温下,往温度控制的玻璃夹层反应器中加入 100 mL 10 mg·L⁻¹ 的亚甲基蓝溶液和 0.1 g 复合光催化剂 BiVO₄/Fe₃O₄,避光、搅拌 30 min,以确保催化剂达到吸附平衡,然后按一定的流速通入空气,磁力搅拌使催化剂悬浮。采用 250 W 反射镉灯为光源,距 15 cm 照射反应体系,使用 400 nm 滤光片滤掉紫外光。每隔一定时间,磁力沉降,取上层清液,在最大吸收波长 664 nm 处测定其吸光度。

在低浓度范围内吸光度 A 与浓度 C 之间有很好的线性关系,且遵循朗伯-比耳定律,以降解率 r 来衡量亚甲基蓝的降解程度:

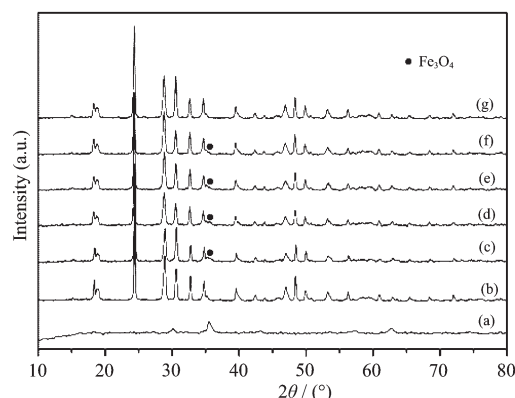
$$r = \frac{C_0 - C}{C_0} = \frac{A_0 - A}{A_0}$$

式中 A_0 、 A 、 C_0 和 C 分别是溶液的初始吸光度、降解后的吸光度、初始浓度和降解后的浓度。

2 结果与讨论

2.1 分析与表征

图 1 是所制样品的 XRD 图。其中,图 1a 是样品 Fe₃O₄ 的 XRD 图,图中的特征峰表明所制备的 Fe₃O₄ 是立方尖晶石相。图 1b 是超声 60 min 后的 BiVO₄ 的 XRD 图,图中显示,BiVO₄ 具有光催化活性较高的单斜白钨矿结构,同时伴有四方锆石相,其特征峰与单斜白钨矿相(PDF No:14-0688) 和四方锆石相



(a) Fe₃O₄; (b) BiVO₄; (c) 1:1; (d) 3:1; (e) 5:1; (f) 7:1; (g) 9:1

图 1 Fe₃O₄、BiVO₄ 和不同质量比的复合光催化剂 BiVO₄/Fe₃O₄ 的 XRD 图

Fig.1 XRD pattens of Fe₃O₄, BiVO₄ and BiVO₄/Fe₃O₄ composite photocatalyst with different mass ratios

(PDF No:14-0133)的特征峰保持一致。图 1c~g 是不同质量比的复合 BiVO₄/Fe₃O₄ 粒子的 XRD 图,BiVO₄ 的晶相同样是单斜白钨矿相与四方锆石相的混合相,说明磁性粒子 Fe₃O₄ 的引入没有影响 BiVO₄ 的晶相,并且 Fe₃O₄ 的衍射峰非常弱,这可能是因为 Fe₃O₄ 的结晶度较差,与 BiVO₄ 复合后被 BiVO₄ 的强峰所掩盖。

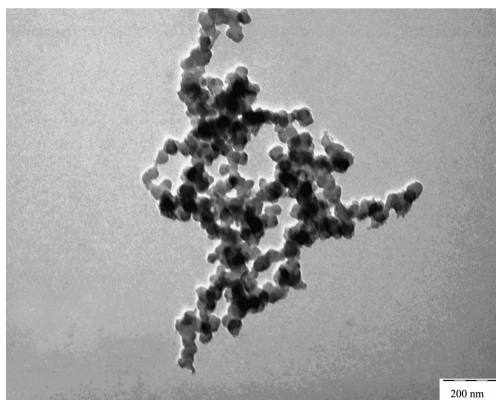
样品的 BET 比表面和孔结构通过低温氮气吸附测定,列于表 1。如表所示,BiVO₄/Fe₃O₄ 系列催化剂的平均孔径大小相近,比表面随着 BiVO₄ 含量的增加而降低,并且都比纯 BiVO₄ 的比表面大。这可能是因为比表面较大的 Fe₃O₄ 磁性粒子的引入和超声的作用^[21-25],使得光催化剂的比表面增加。

复合催化剂的形貌和结构通过 TEM 来表征。图 2 是 BiVO₄/Fe₃O₄ 粒子的 TEM 图。BiVO₄/Fe₃O₄ 粒子的形貌呈类球形,且其平均直径大约是 40~60 nm。Fe₃O₄ 作为一种磁性材料,比非磁性材料的 BiVO₄ 能吸引更多的吸附电子,因此,在复合光催化剂 BiVO₄/Fe₃O₄ 的

表 1 Fe₃O₄、BiVO₄ 和不同质量比的 BiVO₄/Fe₃O₄ 的比表面及孔参数

Table 1 BET surface area and pore parameters of Fe₃O₄, BiVO₄ and BiVO₄/Fe₃O₄ with different mass ratios

Sample	BET Surface Area / (m ² ·g ⁻¹)	Average pore size / nm
Fe ₃ O ₄	58	16.46
BiVO ₄	1	4.60
$m_{\text{BiVO}_4}/m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}=1$	14	13.90
$m_{\text{BiVO}_4}/m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}=3$	13	12.47
$m_{\text{BiVO}_4}/m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}=5$	9	13.20
$m_{\text{BiVO}_4}/m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}=7$	4	11.80
$m_{\text{BiVO}_4}/m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}=9$	2	11.43

图 2 BiVO₄/Fe₃O₄(5:1)复合催化剂的 TEM 图Fig.2 TEM image of BiVO₄/Fe₃O₄(5:1) composite particle

TEM 图中, Fe₃O₄ 是深色的, 而 BiVO₄ 呈亮色^[26]。

Fe₃O₄ 粒子和 BiVO₄/Fe₃O₄ 复合光催化剂的磁性能通过磁性测试系统技术来表征。图 3 是 Fe₃O₄ 粒子和 BiVO₄/Fe₃O₄ 复合催化剂的磁滞回线, 表 2 是矫顽力(H_c)、饱和磁强度(M_s)与剩余磁强度(M_r)等磁性参数的值。与 Fe₃O₄ 粒子相比, BiVO₄/Fe₃O₄ 复合催化剂的饱和磁强度与剩余磁强度降低明显, 主要是因为单位质量的样品中的 Fe₃O₄ 含量减少。磁性样品的 H_c

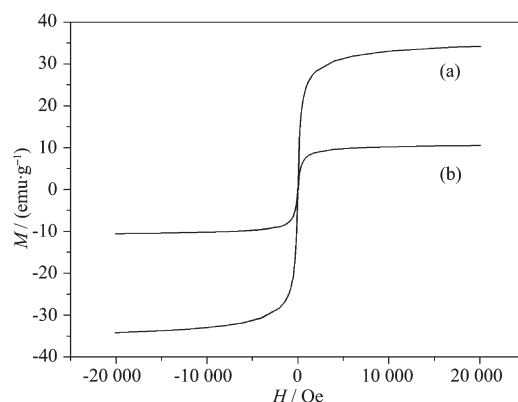
图 3 Fe₃O₄(a)和 BiVO₄/Fe₃O₄(5:1) (b)的磁滞回线

Fig.3 Magnetization versus applied magnetic field for Fe₃O₄(a) and BiVO₄/Fe₃O₄(5:1) (b) composite photocatalyst

值是由磁畴中磁偶极子的强度和数量决定的^[27], 低的 H_c 和 M_r 值表明 BiVO₄/Fe₃O₄ 在室温下表现出超顺磁性, 因此, 它们能够通过外加磁场很容易地从悬浮态体系中分离出来。同时, 低的 H_c 值也表明, 通过外加磁场从反应溶液中分离出来的 BiVO₄/Fe₃O₄ 不易团聚, 易于重新分散在溶液中得以重复使用^[28]。

表 2 Fe₃O₄ 和 BiVO₄/Fe₃O₄(5:1)复合催化剂的磁性参数Table 2 Magnetic properties of Fe₃O₄ and BiVO₄/Fe₃O₄(5:1) composite photocatalyst

Sample	Coercivity H_c / Oe	Remanent magnetization M_r / (emu · g ⁻¹)	Saturation magnetization M_s / (emu · g ⁻¹)
Fe ₃ O ₄	27.38	1.91	34.20
BiVO ₄ /Fe ₃ O ₄	12.66	0.18	10.52

图 4 是 Fe₃O₄、BiVO₄ 和 BiVO₄/Fe₃O₄ 复合催化剂在 400~2 000 cm⁻¹ 波数范围内的红外吸收光谱图。图中, 589 cm⁻¹ 处的吸收峰是 Fe₃O₄ 的特征峰, 761 cm⁻¹ 处的吸收峰是 BiVO₄ 的特征峰, 1 630

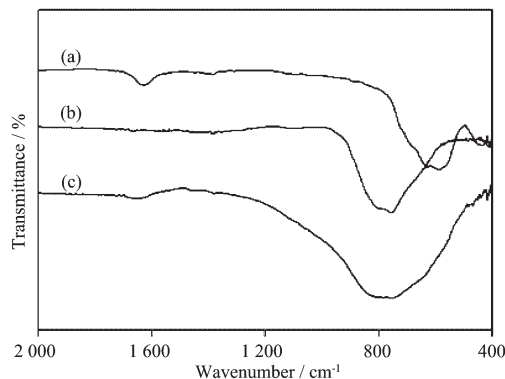
图 4 Fe₃O₄(a)、BiVO₄(b)和 BiVO₄/Fe₃O₄(5:1)(c)的红外谱图

Fig.4 FTIR spectra of Fe₃O₄(a), BiVO₄(b) and BiVO₄/Fe₃O₄(5:1)(c)

cm⁻¹ 处的吸收峰是羟基的弯曲振动特征峰。由图可知, Fe₃O₄ 和 BiVO₄/Fe₃O₄ 的吸收谱图中都存在 -OH 的弯曲振动吸收峰, 且 Fe₃O₄ 的 -OH 吸收峰更强, 而纯 BiVO₄ 无 -OH 的弯曲振动吸收峰。这表明 BiVO₄/Fe₃O₄ 复合催化剂因为 Fe₃O₄ 的引入而具有较高的表面 -OH 密度, 从而有利于光催化活性的提高^[29]。

图 5 是 Fe₃O₄、BiVO₄ 和不同质量比的 BiVO₄/Fe₃O₄ 可见光催化剂的紫外可见漫反射光谱图。如图 5 所示, Fe₃O₄ 在可见光范围有很好的吸收, BiVO₄/Fe₃O₄ 的紫外吸收光谱与 BiVO₄ 相似, 这表明 BiVO₄ 在 BiVO₄/Fe₃O₄ 复合催化剂的半导体光催化作用中起主导作用。图 5 还显示了, 纯 BiVO₄ 在 550~800 nm 的范围内没有吸收, 而 BiVO₄/Fe₃O₄ 在此范围有明显的吸收, 且随着 BiVO₄ 含量的减少吸收范围扩大。这表明, 吸收峰红移是由于在金属离子与 BiVO₄ 的价带和导带之间存在电荷转移跃迁所致^[30]。

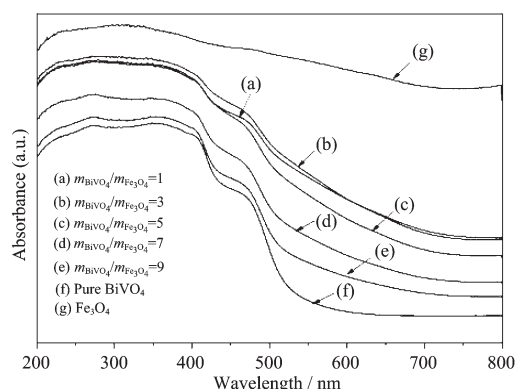
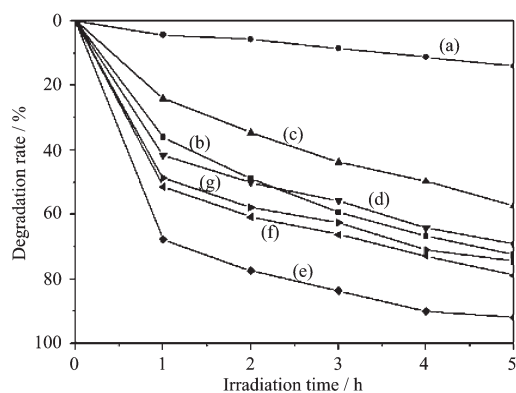


图5 不同样品的紫外可见漫反射光谱图

Fig.5 UV-Vis DRS spectra of different samples

2.2 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 对亚甲基蓝的光催化降解

为了测试 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的光催化性能,在光催化反应器中对亚甲基蓝模拟污染物进行降解试验。图6是 Fe_3O_4 、 BiVO_4 和不同质量比的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 催化剂在可见光下对亚甲基蓝的降解。不加催化剂的空白实验表明亚甲基蓝在光照5 h后,脱色率没有明显变化,这说明亚甲基蓝在可见光照射下几乎不能被光解。只有磁性粒子 Fe_3O_4 存在的条件下,亚甲基蓝几乎不能被降解(曲线 a)。在 BiVO_4 存在下,亚甲基蓝的浓度明显降低,降解率到达 72.5%(曲线 b)。由图可知,质量比为 5:1, 7:1 与 9:1 的复合催化剂的光催化活性均高于纯 BiVO_4 , 并且当 BiVO_4 与 Fe_3O_4 的质量比为 5:1 时,复合催化剂对亚甲基蓝的降解率达到最高的 92.0%(曲线 e)。这表明磁性粒子 Fe_3O_4 起到助催化剂的作用,并且其含量对催化剂活性也

图6 Fe_3O_4 、 BiVO_4 和不同质量比的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 光催化剂对亚甲基蓝的降解Fig.6 Photocatalytic degradation of MB over Fe_3O_4 , BiVO_4 and $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ photocatalyst with different mass ratios

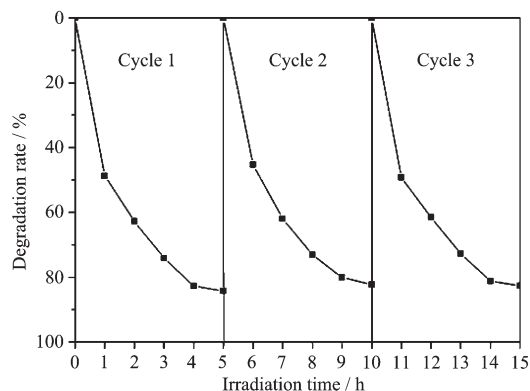
有影响。在 Fe_3O_4 的含量低于最佳量时,具有更低导带的 Fe_3O_4 能吸引光诱导电子,降低电子-空穴复合速率,从而提高光催化活性,而在高于最佳量时, Fe_3O_4 作为电子-空穴复合中心,降低电荷分离的有效性,从而导致光催化活性降低^[31]。

为研究超声的作用,我们测试了质量比为 5:1 的简单混合催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的光催化活性。结果表明,简单混合催化剂对亚甲基蓝的降解率只有 48.2%,远低于 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ (5:1)复合催化剂 92.0%的降解率。原因是超声的独特作用增大了光催化剂的比表面,从而提高了光催化活性^[21-25]。

2.3 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的分离与回收

图7是用外加磁场分离光催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的过程。磁性光催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 悬浮液的浓度是 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,在磁铁的作用下,它几乎可以完全沉积,撤掉磁铁后,它又可以重新分散在溶液中。这表明, $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 非常容易分离回收和重复使用。

图8是循环使用的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 对 MB 的降解。

图7 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ (5:1)的分离效果Fig.7 Separation of $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ (5:1) particles图8 循环使用的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 复合催化剂对亚甲基蓝的降解率Fig.8 Degradation rate of MB with recycled composite catalyst $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$

由图可知,重复使用的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 的光催化活性没有明显变化,连续使用 3 次的降解率仍高于 80%。这表明,通过磁性分离得到的 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 光催化剂不仅稳定性好,而且还可以保持较高的催化活性。

3 结 论

通过超声法制备了一种易于固液分离的磁性可见光催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。这种磁性光催化剂具有很高的光催化活性和较好的重复使用效果。 Fe_3O_4 不仅起到磁基体的作用,还起到助催化剂的作用。光催化剂 $\text{BiVO}_4/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 因具有易回收和高催化活性 2 个特点,在有机污染物光降解中将有应用价值。

参考文献:

- [1] Xu S H, Feng D L, Li D X, et al. *Chin. J. Chem.*, **2008**, **26** (5):842-846
- [2] Xu J J, Ao Y H, Fu D G, et al. *J. Phys. Chem. Solids*, **2008**, **69**(8):1980-1984
- [3] Li G S, Zhang D Q, Yu J C. *Chem. Mater.*, **2008**, **20** (12): 3983-3992
- [4] Ge L. *Mater. Lett.*, **2008**, **62**(6):926-928
- [5] Zhou L, Wang W Z, Liu S W, et al. *J. Mol. Catal. A: Chem.*, **2006**, **252**(1):120-124
- [6] Asahi R, Morikawa T, Ohwaki T, et al. *Science*, **2001**, **293** (5528):269-271
- [7] Sakthivel S, Kisch H. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2003**, **42**(41): 4908-4911
- [8] Khan S, Al-Shahry M, Ingler W B. *Science*, **2002**, **297**(5590): 2243-2245
- [9] Zhang X, Ai Z H, Jia F L, et al. *Mater. Chem. Phys.*, **2007**, **103**(1):162-167
- [10] Kudo A, Nagayoshi H. *Catal. Lett.*, **1998**, **52**(2):109-111
- [11] Sun S M, Wang W Z, Zhou L, et al. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2009**, **48**(4):1735-1739
- [12] Zhang L, Chen D R, Jiao X L. *J. Phys. Chem. B*, **2006**, **110** (6):2668-2673
- [13] Jiang H Q, Endo H, Natori H, et al. *Mater. Res. Bull.*, **2009**, **44**(4):700-706
- [14] Chatchai P, Murakami Y, Kishioka S Y, et al. *Electrochim. Acta*, **2009**, **54**(4):1147-1152
- [15] Ke D D, Peng T Y, Ma L, et al. *Appl. Catal. A: Gen.*, **2008**, **350**(1):111-117
- [16] Beydoun D, Amal R. *J. Phys. Chem. B*, **2000**, **104**(18):4387-4396
- [17] LI Xin-Jun(李新军), LI Fang-Bo(李芳柏), GU Guo-Bang (古国榜), et al. *J. Nonferr. Metal. Soc. (Zhongguo Youse Jinshu Xuebao)*, **2001**, **11**(6):971-976
- [18] Ao Y H, Xu J J, Fu D G, et al. *Nanotechnology*, **2008**, **19**(2): 405-604
- [19] Chung Y S, Park S B, Kang D W. *Mater. Chem. Phys.*, **2004**, **86**(2):375-381
- [20] Chen F, Xie Y D, Zhao J C, et al. *Chemosphere*, **2001**, **44** (5):1159-1168
- [21] Ho W K, Yu J C. *J. Mol. Catal. A-Chem.*, **2006**, **247**(2):268-274
- [22] Pol V G, Motiei M, Gedanken A, et al. *Chem. Mater.*, **2003**, **15**(6):1378-1384
- [23] Pol V G, Reisfeld R, Gedanken A. *Chem. Mater.*, **2002**, **14** (9):3920-3924
- [24] Gedanken A, Tang X H, Wang Y Q. *Chem. Eur. J.*, **2001**, **7** (21):4546-4552
- [25] Zhu J J, Kolytyn Y, Gedanken A. *Chem. Mater.*, **2000**, **12** (1):73-78
- [26] Fu W Y, Yang H B, Li M H, et al. *Mater. Lett.*, **2006**, **60** (23):2723-2727
- [27] Sun X M, Li Y D. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2004**, **43**(6):597-601
- [28] Ao Y H, Xu J J, Fu D G, et al. *Sep. Purif. Technol.*, **2008**, **61**(3):436-441
- [29] Martra G, Coluccia S, Marchese L, et al. *Catal. Today*, **1999**, **53**(4):695-702
- [30] Li F B, Li X Z, Hou M F, et al. *Appl. Catal. A: Gen.*, **2005**, **285**(2):181-189
- [31] CHEN Jin-Yuan(陈金媛), PENG Tu-Zhi(彭图治). *Acta Chim. Sinica(Huaxue Xuebao)*, **2004**, **62**(20):2093-2097