DOI:10.19789/j.1004-9398.2019.06.013

Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合光催化剂的制备及光催化性能研究

王彦卫 朱正如 姜俊超*

(辽宁师范大学城市与环境学院,辽宁 大连 116029)

摘要: 为了验证可见光下 Yb_2O_3/g-C_3N_4 光催化剂分别降解水体中的苯酚和盐酸四环素(TTCH)的光催化效果. 本研究采用热解和超声混合方法制备 Yb_2O_3/g-C_3N_4 光催化剂,并用多种仪器进行性能表征. Yb_2O_3/g-C_3N_4 在可见光下对20 mg/L苯酚和TTCH的降解率分别为80.83%和85.01%; Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合光催化剂的光催化性能明显提高,其降解苯酚的速率是g-C_3N_4 的3.80倍,降解TTCH的速率g-C_3N_4 的6.57倍. 结果表明,Yb_2O_3/g-C_3N_4 具有更加高效的可见光响应能力,且具备更好的光催化性能.

关键词: Yb_2O_3; g-C_3N_4; 光催化; 苯酚; 盐酸四环素

中图分类号: O643.3

0 引 言

光催化技术是一种绿色、高效的新型污染物处理方法,常用于降解水体或空气中的重金属、染料和有机化合物质[1-2]. 光催化技术的关键在于光催化剂的合成和性能,常用光催化剂包括硫化物和金属氧化物等纳米材料. 纳米光催化已经发展成为一门新的水处理技术,可用于污染物的吸附、检验和降解等多个方面[3].

氮化碳(g-C_3N_4)是一种廉价、形貌易调控的新型光催化剂,但其纯品禁带宽度大,对可见光的吸收利用效率低[4],而对g-C_3N_4 的结构和光吸收性能的改性和优化是研究的热点. Fu等[5]设计了热氧化卷曲的g-C_3N_4 纳米管,比普通块状g-C_3N_4 具有更高的光催化活性; Ge等[6]将Ag掺杂进g-C_3N_4 提高其量子效率用以光催化,Ag/g-C_3N_4 在180 min内降解了几乎100%的甲基橙; Xiao等[7]使用石墨烯和氮化碳复合光催化剂能在180 min内降解74.02%的盐酸四环素(TTCH); Xiang等[8]合成的石墨烯/氮化碳复合光催化剂也展示出较强的光催化制氢性能.

复合光催化剂的界面接触降低了光电子空穴对的复合重组效率,是提高光催化活性的有效方法[9-10]. 本课题组曾报道了一系列金属硫铟盐和氮化碳的复合光催化剂(g-C_3N_4/MIn_2S_4, M = Zn、Ni、Co),对苯酚的降解率达到72%[11]. 氧化镱(Yb_2O_3)作为一种耐热性强、稳定性好的半导体材料,被广泛应用于涂料、燃料、陶瓷、能源材料和环境催化等方面[12-14]. 因此,本研究以稳定性高的 Yb_2O_3 与 g-C_3N_4 为原料,利用超声混合法制备 Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合材料,以构造异质结构光催化剂.

1 实验部分

1.1 实验试剂

实验所用试剂均为分析纯,包括: 五水合硝酸镱($YbN_3O_9 \cdot 5H_2O$)购自阿拉丁工业公司,三聚氰胺[$C_3N_3(NH_2)_3$]购自国药集团化学试剂有限公司,无水乙醇(C_2H_5OH)购自天津科密欧化学试剂有限公司. 实验用水均为去离子水; 所有实验均在室温下完成.

1.2 Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合光催化剂制备

纯氧化镱纳米片制备[15]. 称量5.00 g $YbN_3O_9 \cdot 5H_2O$ 置于带盖陶瓷坩埚中,在马弗炉中以720 ℃加热240 min,升温速率为10 ℃/min,自然冷却至室温后,研磨得到白色粉状样品.

热缩聚法制备g-C_3N_4[16]. 称量10.00 g $C_3N_3(NH_2)_3$ 置于带盖陶瓷坩埚中,在马弗炉中550 ℃焙烧240 min,升温速率为5 ℃/min,冷却至室温后,研磨得到淡黄色粉末样品.

收稿日期: 2019-07-01

* 通信作者: jiangjunchao@lnnu.edu.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

超声混合法合成 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合光催化剂. 将 0.10 g 的 $g\text{-}C_3N_4$ 粉末分散在 10 mL 无水乙醇中,超声 10 min,将 0.01 g Yb_2O_3 混合至 $g\text{-}C_3N_4$ 悬浮液,超声分散至液体完全蒸发. 将混合物置于干燥箱中 180 ℃干燥 24 h 后转移至马弗炉中以 320 ℃煅烧 90 min. 得到 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合光催化剂.

1.3 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 性能表征

采用日本岛津公司 XRD-6000 型 X 射线衍射仪进行 X 射线衍射(XRD)测量,配备了 Cu 靶,扫描角度为 10°~80°,扫描速度为 4 °/min. 采用溴化钾压片法在德国 Bruker AXS 公司 TENSOR-27 型红外光谱仪对傅里叶变换红外光谱(FTIR)进行了测量. 使用日本日立公司 SU8010 场发射扫描显微镜(FESEM)对样品形貌进行表征,使用其配置的电镜能谱(EDS)对样品进行成分定量分析. 使用美国 Thermo VG 公司 ESCALAB250 多功能表面分析系统在对 X 射线光电子能谱(XPS)进行了测量,使用单色化的 Al Kα 源,能量 1 486.6 eV,束斑大小为 500 μm. 使用美国 PerkinElmer 公司紫外-可见漫反射光谱(UV-vis DRS)用 Lambda 35 紫外可见分光光度计测量,样品的 E_g 可根据 $\alpha h\nu = (h\nu - E_g)^{1/2}$ 的相关关系进行计算[15],其中 α 为半导体的吸收系数、E_g 是禁带宽度. 光致发光光谱(PL)采用日本 Shimadzu 公司 RF-540 荧光分光光度计测量,激发波长 360 nm,被测样品量约 0.20 g.

1.4 降解性能研究

在可见光下,以 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 降解苯酚和 TTCH. 取 50 mL 浓度为 20 mg/L 的苯酚溶液置于烧杯中,在黑暗环境中,准确称量 0.01 g $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 样品加入苯酚溶液,搅拌形成悬浮液,达到苯酚和催化剂之间的吸附-解吸附平衡[17-18]. 将 500 W 的 CEL-S500 型氙灯(中教金源科技有限公司)垂直置于溶液上方 30 cm 处,每 20 min 取 5 mL 溶液在 TG16-WS 高速离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)中以 8 000 转/min 的速度、离心 4 min,离心力约 9 866 × g. 采用 4-氨基安替比林分光光度法在溶液的最大吸收波长(λ = 510 nm)处测定上清液中苯酚的浓度[19-20],在开始光照后,实验持续进行 180 min;相同步骤下,在最大吸收波长为 356 nm 时,测量溶液中 TTCH 的浓度[21],在开始光照后,实验持续进行 120 min. 以不添加任何催化剂所进行的实验为空白实验,以 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$ 样品在相同条件下进行实验作为对照组.

1.5 稳定性研究

用 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 分别对苯酚和 TTCH 进行循环降解实验,以验证光催化剂的稳定性. 离心收集使用过的光催化剂,用水和乙醇清洗,高温烘干后进行循环实验. 为保证催化剂回收率,只在每次的实验结束时取 5 mL 溶液,以检测污染物浓度.

2 结果与讨论

2.1 XRD 分析

纯 $g\text{-}C_3N_4$ 的主峰位于 27.48°(2θ),对应(002)晶面,归属于芳香烃的层间堆积[16]. 与文献结果一致[22],符合 PDF 标准卡片索引的 JCPDS 87-1526. 2θ 在 20.83°、29.62°、34.34°、36.49°、40.50°、44.20°、49.35°、54.13°、58.62°、60.07°和 61.51°处的衍射峰可归于 Yb_2O_3 的衍射峰,符合 PDF 标准卡片索引 JCPDS 87-2374 的正方相 Yb_2O_3,详细对比如图 1(a)所示. 在 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 中存在氧化镱和氮化碳的峰如图 1(b),表明复合物中的确含有 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$. 并且,Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$ 复合后,衍射峰发生偏移,证明两者并非简单的混合,而是形

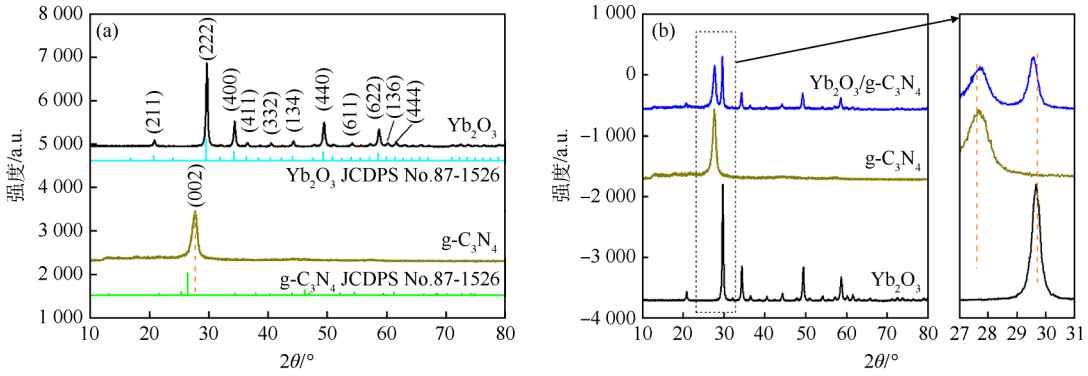


图 1 X 射线衍射(XRD)衍射图谱

(a)样品实际测量与标准谱对比;(b)3 种样品的实测图谱

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成了复合物质[23]. XRD 初步证明了 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合物的形成. 除此之外,图像上并无杂峰,证明 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$ 复合并未改变 $g\text{-}C_3N_4$ 晶体结构,并且制得的样品纯度较高.

2.2　SEM 分析

将 3 种样品分别进行 SEM 表征(图 2),热分解法制的 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$ 都呈纳米片状形貌,在 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合材料的图像上可以观察到 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$,进一步证明了此次研究成功复合了氧化镱和氮化碳,制备出 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合物样品. 经过进一步的 EDS 分析,Yb_2O_3 含量约为 12.07%,与预期结果较一致.

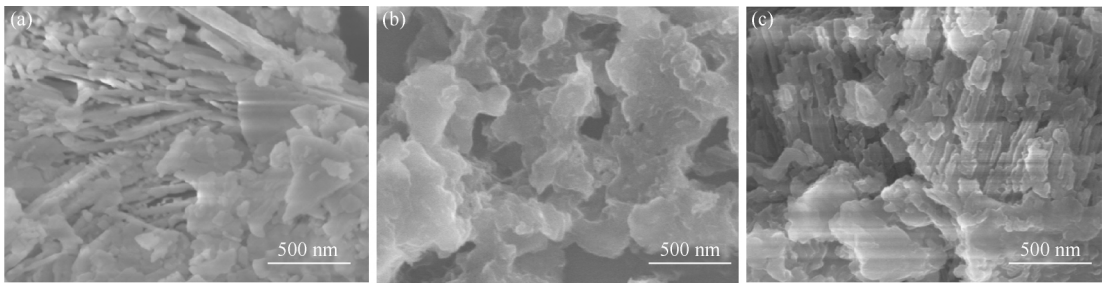


图 2　不同样品的扫描电子显微镜图

(a) Yb_2O_3; (b) $g\text{-}C_3N_4$; (c) $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$

2.3　FTIR 分析

红外光谱分析法可以研究样品微观上的表面变化,根据复合前后的红外图谱,可分析出粒子的表面性质的变化[24]. 样品的 FTIR 光谱如图 3 所示,Yb_2O_3 的 578 cm^{-1} 处峰与 Yb—O 键的振动有关[25-26]. 在 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合光催化剂的 FTIR 图中,811 cm^{-1} 处的峰归属于 3-s-三嗪环; 在 1 240 ~ 1 650 cm^{-1} 处的特征峰可以归因于 CN 杂环的骨架振动[8]. 在 3 071 ~ 3 274 cm^{-1} 处存在弱宽峰,可能属于样品表面的氨基(N—H)和羟基(O—H)官能团[27]. FTIR 和 XRD 分析结合,证明 Yb_2O_3 的掺杂并没有引起化学键断裂,改变 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$ 的结构,说明材料具有一定的稳定性.

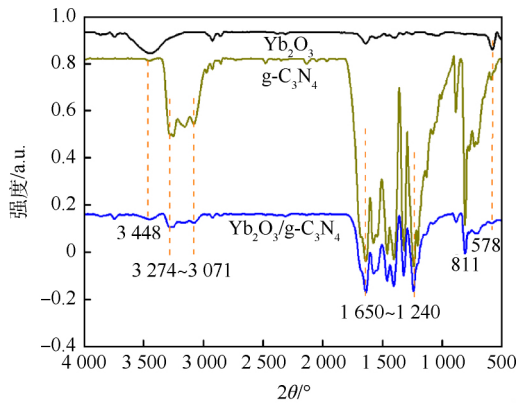


图 3　Yb_2O_3、$g\text{-}C_3N_4$ 和 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合物的傅里叶变换红外光谱图

2.4　XPS 分析

光催化剂 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 的 XPS 谱图如图 4 所示,处理时使用 C1s = 284.60 eV 进行结合能的校正. XPS 的结合能在 288.09、532.25、398.47 和 185.71 eV 处的峰,分别对应 C1s、O1s、N1s 和 Yb4d 的电子轨道,证明含有 C、O、N 和 Yb 等 4 种元素. C1s 轨道高分辨率光谱图显示,位于 284.60 eV 的峰归属于 sp^2 杂化的 C—C 或表面的外来碳,位于 288.09 eV 的高峰可以归属于碳原子与含 C 的芳香环成键(N—C ═N)[28]; O1s 轨道高分辨率谱图拟合了 529.81 和 532.25 eV 2 个峰值,分别对应 Yb—O 和样品表面羟基(O—H)[29]; N1s 轨道高分辨率光谱显示,N1s 的不对称宽峰表明存在可分离的峰,经过高斯曲线拟合,在 398.47 和 399.97 eV 处有 2 个峰被区分出来,分别属于三嗪环(C ═ N—C)和(N—(C_3))中的 sp^2 杂化 N[29-31]. Yb4d 轨道高分辨率谱中,结合能为 185.71 eV 的峰可归为 Yb4d. 通过 XPS 分析,可以进一步确定 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合光催化材料由 Yb_2O_3 和 $g\text{-}C_3N_4$ 复合而成.

2.5　PL 分析

光致发光被广泛应用于研究电子-空穴对复合和转移过程中. 3 种样品的 PL 谱如图 5 所示,复合光催化剂和 $g\text{-}C_3N_4$ 的 PL 发射强度分别约为 6 340 和 4 950 a.u.(458 nm 处),$Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合光催剂的 PL 值较小,这意味着光激电子和空穴的复合速率较低. 研究表明,低的电子空穴复合率有利于光催化活性的提高[32].

2.6　UV-vis 分析

Yb_2O_3、$g\text{-}C_3N_4$ 和 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 的 UV-vis 漫反射光谱(DRS)如图 6(a),Yb_2O_3 的主要吸收范围在

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

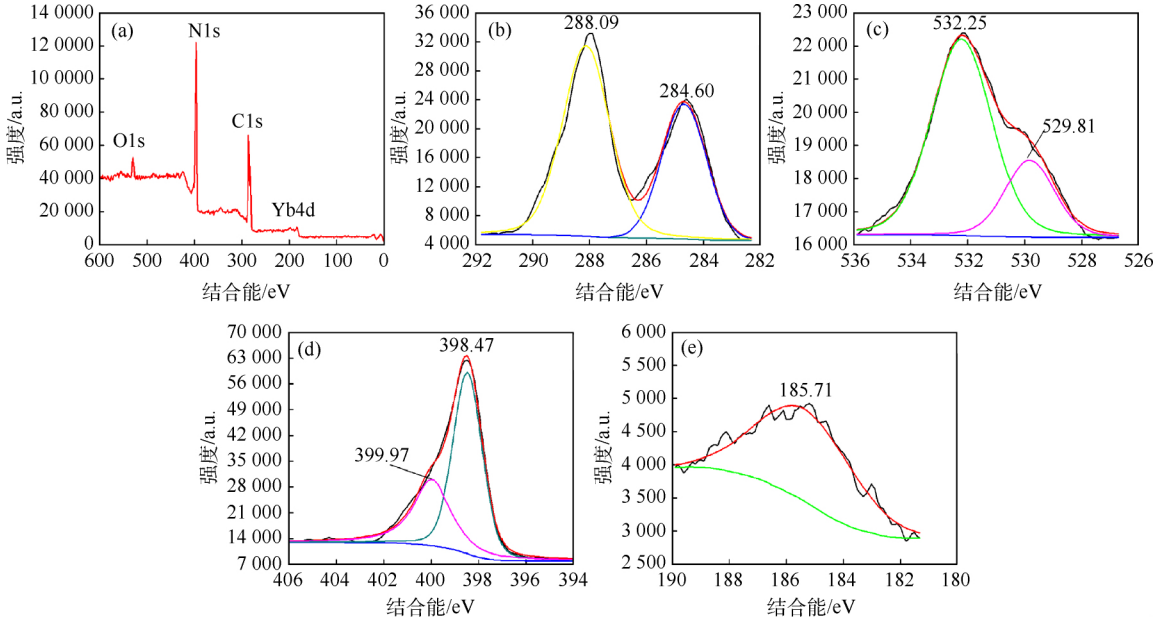


图 4　Yb_2O_3/g-C_3N_4 的 XPS 谱图

(a) 全谱图;(b) C1s 高分辨率谱图;(c) O1s 高分辨率谱图;(d) N1s 高分辨率谱图;(e) Yb4d 高分辨率谱图

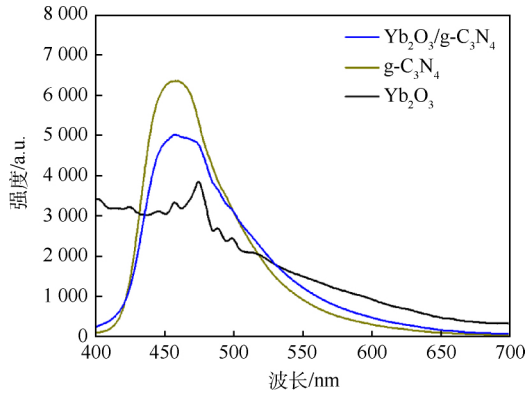


图 5　Yb_2O_3、g-C_3N_4 和 Yb_2O_3/g-C_3N_4 的光致发光图

紫外光区(220 nm),而 Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合物的吸收范围扩大至可见光,吸收边缘在 480 ~ 510 nm 之间. 这种现象与带隙之间活跃的能量转变有关. 将 $(\alpha h\nu)^2$ 与光能($h\nu$)进行曲线拟合[33],如图 6(b)所示. g-C_3N_4 和 Yb_2O_3 的 E_g 分别约为 2.90 和 4.98 eV. Yb_2O_3 和 g-C_3N_4 两者复合能使样品具有更低的光谱吸收带边能量,可见光响应能力增加,这与之前的预测相吻合.

2.7　降解性能分析

可见光条件下,Yb_2O_3、g-C_3N_4 和 Yb_2O_3/g-C_3N_4 对苯酚和 TTCH 的降解效果如图 7 所示,降解率以不同时间点溶液浓度和溶液初始浓度的比(C/C_0)进行计算. 在不使用催化剂时,苯酚的降解率仅为 9.80%. 加入不同催化剂后,Yb_2O_3/g-C_3N_4 催化剂的光催化性能最佳,g-C_3N_4 的催化效果次之,而 Yb_2O_3 在可见光下对苯酚基本没有降解作用. 光照 3 h 后,Yb_2O_3/g-C_3N_4 对苯酚的光催化降解率达到 80.83%. 优于以往报道 g-C_3N_4/TiO_2 材料降解苯酚的效果(3 h,61%)[34]. 为了更直观地表达降解速率,

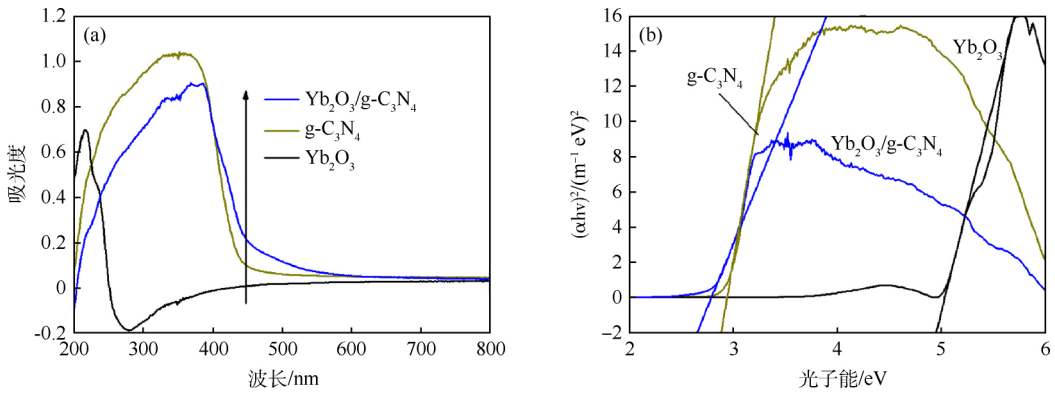


图 6　Yb_2O_3、g-C_3N_4 和 Yb_2O_3/g-C_3N_4 的(a) UV-vis 漫反射光谱图和(b) 禁带宽度图

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本研究采用一阶模型拟合光催化降解数据如图 7(b) 所示,拟合数据显示,光催化效率与反应时间具有较好的线性关系,Yb_2O_3/g-C_3 N 和 g-C_3N_4 的一级动力学反应速率常数(k) 分别为 0. 006 45 和 0. 001 69,拟合系数(R^2) 值分别为 0. 963 4 和0. 938 4. Yb_2O_3/g-C_3N_4 对苯酚的降解速率是 g-C_3N_4 的 3. 80 倍.

TTCH 在自然环境中难以降解,TTCH 在可见光下的自降解率仅为 0. 20%. 加入不同催化剂后,Yb_2O_3/g-C_3N_4 催化剂的光催化性能最佳,g-C_3N_4 和 Yb_2O_3 的催化效果次之. 光照 3 h 后,Yb_2O_3/g-C_3N_4 催化剂能降解 85. 01% 的 TTCH. Yb_2O_3/g-C_3 N 和 g-C_3N_4 降解 TTCH 的 k 值分别为 0. 015 05 和 0. 002 29,R^2 值分别为 0. 926 6 和 0. 987 1. Yb_2O_3/g-C_3N_4 对 TTCH 的降解速率约为 g-C_3N_4 的 6. 57 倍. 与以往研究相比[7],Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合催化剂也展现了较为理想的光催化性能.

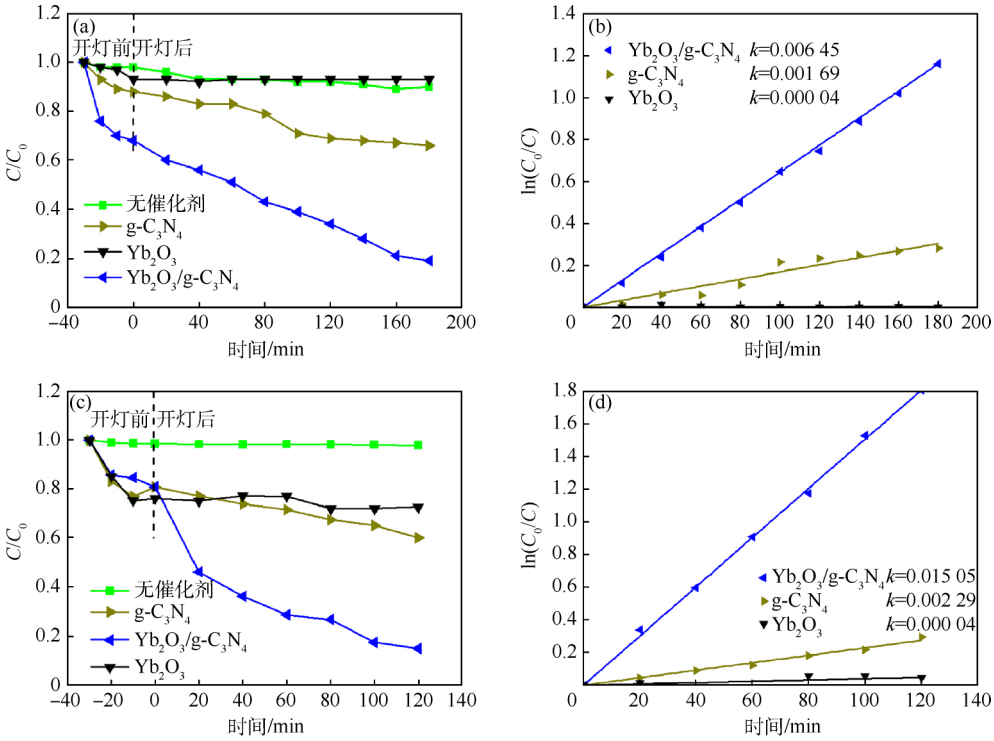


图 7　不同催化剂在可见光下对苯酚的(a) 降解效果图和(b) 一阶动力学曲线图;
不同催化剂在可见光下对盐酸四环素(TTCH) 的(c) 降解效果图和(d) 一阶动力学曲线图

2. 8　降解机理分析

根据绝对电负性理论,计算得出理论导带(CB) 和价带(VB) 电势[8]: g-C_3N_4 和 Yb_2O_3 的导带电势分别是 - 1. 22 和 - 4. 88 eV,g-C_3N_4 和 Yb_2O_3 的价带电势分别是 1. 68 和 0. 64 eV. 结合上述表征,本研究对 Yb_2O_3/g-C_3N_4 复合光催化剂降解污染物的机理做以下解释(图 8) : ①Yb_2O_3 的 VB 中电子(e^-) 在可见光的激发下跃迁至 CB,在 VB 留下大量空穴(h^+) ; ②g-C_3N_4 的 VB 中光激电子也跃迁至 CB,在 VB 留下大量 h^+[9]; ③Yb_2O_3 的 VB 中聚集电子通过两者的界面转移到 g-C_3 N 上; ④超氧自由基(· O_2) 和 CB 处富集的 h^+ 生成过氧化羟基自由基(HO_2 ·) ; ⑤HO_2 · 进一步和 e^- 生成过氧化氢自由基(H_2O_2) ; ⑥H_2O_2 与超氧自由基(· O_2^-) 生成羟基自由基(· OH) ; ⑦ · OH 是氧化降解污染物的主要活性物质[10],极大地提高了对污染物的降解效果.

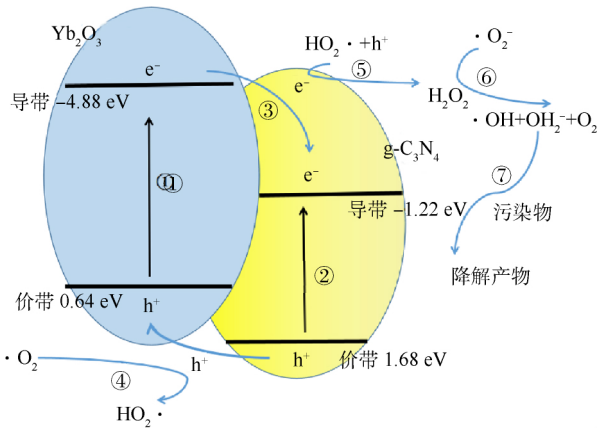


图 8　Yb_2O_3/g-C_3N_4 光催化降解污染物的机理图

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.9 稳定性

$Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 光催化剂分别对苯酚和 TTCH 进行 4 次循环实验. 在 4 次循环实验后,催化剂对 TTCH 的降解率分别是 85.01%、82.95%、79.84% 和 79.59%,对苯酚的降解率分别是 80.83%、80.66%、80.11% 和 80.32%. $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 降解 TTCH 的光催化性能逐渐下降,而降解苯酚的光催化性则较稳定.

3 结 论

本研究采用超声混合法制备 $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 光催化剂. 通过 DRS 和 PL 表征显示,新合成的光催化剂具有更加高效的可见光响应能力. $Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 光催化剂在 3 h 光照下对 20 mg/L 苯酚的降解率为 80.83%,是 $g\text{-}C_3N_4$ 的 3.80 倍; 在 2 h 光照下对 20 mg/L TTCH 的降解率为 85.01%,降解速率约为 $g\text{-}C_3N_4$ 的 6.57 倍. 以往研究表明光催化技术可以将苯酚和 TTCH 等有机污染物分解为无害小分子物质. 经验证,$Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 复合光催化剂具有较为稳定的光催化性能. 综上所述,$Yb_2O_3/g\text{-}C_3N_4$ 光催化剂是一种很有前途的光催化材料,在环境净化和可见光催化方面具有重要的应用价值.

参 考 文 献

[1] 赵凡. 氨基/羧基功能化磁性微球对水溶液中 Cd(Ⅱ)和 Pb(Ⅱ)的去除性能研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2017.

[2] WEI H, MCMASTER W A, TAN J Z Y, et al. Tricomponent brookite/anatase $TiO_2/g\text{-}C_3N_4$ heterojunction in mesoporous hollow microspheres for enhanced visible-light photocatalysis[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2018, 6(16): 7236-7245.

[3] 杨建东. 纳米技术在水处理和废水回收中的应用[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 51-54.

[4] 邓垚成. 基于石墨相氮化碳的高效光催化剂制备及其去除水体污染物的应用和机理研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2018.

[5] FU J W, ZHU B C, JIANG C J, et al. Hierarchical porous O-doped $g\text{-}C_3N_4$ with enhanced photocatalytic CO_2 reduction activity[J]. Small, 2017, 13(15): 1603938.

[6] GE L, HAN C, LIU J, et al. Enhanced visible light photocatalytic activity of novel polymeric $g\text{-}C_3N_4$ loaded with Ag nanoparticles[J]. Applied Catalysis A General, 2011, 409-410: 215-222.

[7] XIAO P, JIANG D, JU L, et al. Construction of $RGO/CdIn_2S_4/g\text{-}C_3N_4$, ternary hybrid with enhanced photocatalytic activity for the degradation of tetracycline hydrochloride[J]. Applied Surface Science, 2018, 433: 388-397.

[8] XIANG Q, YU J, JARONIEC M. Preparation and enhanced visible-light photocatalytic H_2-production activity of graphene/C_3N_4 composites[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2011, 115(15): 7355-7363.

[9] YE L, LIU J, JIANG Z, et al. Facets coupling of $BiOBr\text{-}g\text{-}C_3N_4$ composite photocatalyst for enhanced visible-light-driven photocatalytic activity[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2013, 142: 1-7.

[10] 曲兆娟. 二氧化钛基自清洁薄膜的光催化性能和亲水性研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.

[11] 李伟榕. 福建某造纸厂地下水中有机污染物苯酚的光催化降解研究[D]. 辽宁: 辽宁师范大学, 2018.

[12] YANG J F, DENG Z Y, OHJI T. Fabrication and characterisation of porous silicon nitride ceramics using Yb_2O_3 as sintering additive[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2003, 23(2): 371-378.

[13] MA W, MACK D, MALZBENDER J, et al. Yb_2O_3 and Gd_2O_3 doped strontium zirconate for thermal barrier coatings[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2008, 28(16): 3071-3081.

[14] LIU T, BAI X, MIAO C, et al. Yb_2O_3/Au up-conversion nanocomposites with broad-band excitation for solar cells[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2014, 118(6): 3258-3265.

[15] 王丽华, 伊晓东. 纳米氧化镧的制备及性能研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2012, 28(4): 60-63.

[16] 蔡漪. 石墨相氮化碳基光催化剂的制备及其光降解四环素的应用研究[D]. 陕西: 长安大学, 2017.

[17] 詹孝军. 能级匹配机制在半导体光催化氧化苯酚及其衍生物中的研究[D]. 湖南: 长沙理工大学, 2016.

[18] 李增新, 孟韵, 梁强, 等. 壳聚糖改性沸石吸附废水中的苯酚[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2168-2172.

[19] 蔡裕丰, 吴春妍. 4-氨基安替比林直接光度法测定污水中高浓度挥发酚[J]. 干旱环境监测, 2012, 26(1): 59-61.

[20] 张锋, 赵立芳. 微波-超声波促进固载辣根过氧化物酶降解苯酚特性[J]. 精细化工, 2016, 33(4): 452-460+466.

[21] 张宪, 张坤. PMoA/CS/P25 纳米复合光催化剂的制备及光催化降解盐酸四环素[J]. 应用化工, 2014, 43(5):

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

791 – 794.

[22] JIANG D, LI J, XING C, et al. Two-dimensional $CaIn_2S_4/g-C_3N_4$ heterojunction nanocomposite with enhanced visible-light photocatalytic activities: interfacial engineering and mechanism insight [J]. ACS applied materials & interfaces, 2015, 7(34): 19234 – 19242.

[23] KEJIE Z, YU L I, YUAN X, et al. Synthesis and photocatalytic performance of CdS/CuS core-shell nanocomposites [J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2019, 40(3): 489 – 497.

[24] 刘立华. 二氧化钛的表面改性处理及表征 [J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 49 – 53.

[25] MOHAMED A. Semiconductor nanomaterials for environmental applications [D]. Patras: University of Patras, 2018.

[26] 董相廷, 刘莉, 王进贤, 等. Y_2O_3: Er^{3+} 上转换纳米纤维的制备与性质研究 [J]. 人工晶体学报, 2009, 38(6): 1358 – 1364.

[27] LI Y, ZHOU X, HU X, et al. Formation of surface complex leading to efficient visible photocatalytic activity and improvement of photostabilty of ZnO [J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2009, 113(36): 16188 – 16192.

[28] LIANG Q, LI Z, YU X, et al. Macroscopic 3D porous graphitic carbon nitride monolith for enhanced photocatalytic hydrogen evolution [J]. Advanced Materials, 2015, 27(31): 4634 – 4639.

[29] CAO S W, LIU X F, YUAN Y P, et al. Solar-to-fuels conversion over $In_2O_3/g-C_3N_4$ hybrid photocatalysts [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2014, 147: 940 – 946.

[30] YANG Y, GUO W, GUO Y, et al. Fabrication of Z-scheme plasmonic photocatalyst Ag@ AgBr/$g-C_3N_4$ with enhanced visible-light photocatalytic activity [J]. Journal of hazardous materials, 2014, 271: 150 – 159.

[31] THOMAS A, FISCHER A, GOETTMANN F, et al. Graphitic carbon nitride materials: variation of structure and morphology and their use as metal-free catalysts [J]. Journal of Materials Chemistry, 2008, 18(41): 4893 – 4908.

[32] PENG Y, HAN G, WANG D, et al. Improved H_2, evolution under visible light in heterostructured SiC/CdS photocatalyst: effect of lattice match [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2017, 42(21): 14409 – 14417.

[33] 刘伟, 彭香艺, 莫晓亮, 等. 铜薄膜上喷雾热解法制备 $CuInS_2$ 薄膜 [J]. 真空科学与技术学报, 2015, 35(3): 349 – 353.

[34] 安伟佳, 徐子怡, 邵化旭, 等. $g-C_3N_4/TiO_2$ 复合光催化剂制备及活性研究 [J]. 无机盐工业, 2019, 51(4): 81 – 85.

[35] CHANG X, GONDAL M A, AL-SAADI A A, et al. Photodegradation of rhodamine b over unexcited semiconductor compounds of BiOCl and BiOBr [J]. Journal of Colloid & Interface Science, 2012, 377(1): 291 – 298.

[36] 金海燕. CQDs/$Bi_4O_5Br_2$ 复合物对水中间苯二酚的光催化降解及对肺癌细胞的体外生物学效应研究 [D]. 山西: 太原理工大学, 2018.

[37] 毕耜静, 郭春乾, 康乐, 等. 石墨烯/TiO_2 复合材料的制备及其光催化性能的研究 [J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 30 – 36.

Preparation and Photocatalytic Properties of $Yb_2O_3/g-C_3N_4$ Composite Photocatalysts

WANG Yanwei ZHU Zhengru JIANG Junchao

(College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116029)

Abstract: In order to verify the photocatalytic activities of $Yb_2O_3/g-C_3N_4$ photocatalysts on degradation of phenol and tetracycline hydrochloride (TTCH) in water under visible light. In this study, $Yb_2O_3/g-C_3N_4$ photocatalyst was prepared by pyrolysis and ultrasound method, and its performances were characterized by varieties of instruments. In visible light, the degradation rate of $Yb_2O_3/g-C_3N_4$ for 20 mg/L phenol and TTCH were 80.83% and 85.01% respectively. The photocatalytic performance of $Yb_2O_3/g-C_3N_4$ composite photocatalyst was significantly improved. Compared with $g-C_3N_4$, the degradation rate of photocatalyst was 3.80 times for phenol, and 6.57 times for TTCH reduction. The results showed that $Yb_2O_3/g-C_3N_4$ had more efficient visible light response and it had better photocatalytic performance.

Keywords: Yb_2O_3; $g-C_3N_4$; photocatalysts; phenol; teracycline hydrochloride

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net