

半导体多相光催化氧化技术在环境保护中的应用研究进展

罗菊仙 赵中一

(中国地质大学材料科学与化学工程学院, 武汉 430074)

摘要: 简单介绍了半导体多相光催化氧化的原理及其在降解污染物和环境保护中的应用和一些新型反应装置, 提出了提高光催化剂催化活性的方法, 讨论了影响光催化氧化反应速率的因素和提高光催化氧化反应速率的方法, 同时对光催化氧化技术今后的研究方向和工作重点提出了一些设想。

关键词: 半导体; 光催化剂; 光催化氧化; 表面修饰; 污染物降解。

中图分类号: X13; O65 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)05-0536-06

作者简介: 罗菊仙, 女, 1975年生, 中国地质大学硕士研究生, 主要从事环境化学方面的研究。

在环境污染日益严重的今天, 净化和保护环境已经成了当务之急, 光催化氧化技术作为一种新的环境净化技术越来越为人们所重视。近年来国内外的研究主要集中于废水处理, 日本已有空气净化的研究报道, 而且有产品投放市场。由于半导体光催化氧化的反应体系在光催化下能将吸收的光能转变为化学能, 因而使许多在通常情况下难以实现的反应在比较温和的条件下得以发生并顺利进行; 而且在光催化剂存在的情况下, 利用太阳光和空气可直接把许多有机污染物分解为一些无机小分子物质、 CO_2 和 H_2O , 达到使有害物质分解的目的又不带来二次污染。基于半导体多相光催化氧化法在环境保护方面的突出优点, 人们对它的研究日益深入和广泛, 众多环境化学工作者都致力于提高光催化剂催化效率的研究。目前, 在众多的光催化剂中, TiO_2 以其无毒、价廉、催化活性高、氧化能力强、稳定性好等优点而得以广泛应用。除了研究光催化剂之外, 设计高效能的反应器也成为日益重要的课题。半导体多相光催化氧化技术在废水处理中具有很大的潜力, 已有许多文献报道了对染料、杀虫剂和除草剂、油类、表面活性剂、烃类和多环芳烃、卤代芳香化合物、羧酸、酚类、氰化物等多种重要有机化合物和无机化

合物进行处理, 能有效地进行脱色、降解、去毒, 矿化为无机小分子物质, 从而消除或减轻污染物对环境的影响。

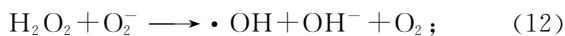
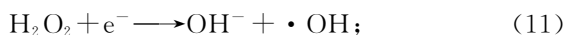
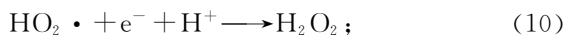
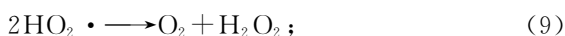
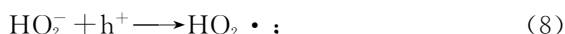
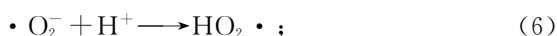
1 光催化氧化的机理

半导体的能带结构通常是由一个充满电子的低能价带 (valent band, VB) 和一个空的高能导带 (conduction band, CB) 构成, 价带和导带之间的区域称为禁带, 区域的大小称为禁带宽度。半导体的禁带宽度一般为 $0.2 \sim 3.0 \text{ eV}$, 是一个不连续区域。半导体的光催化特性就是由它的特殊能带结构所决定的。当用能量等于或大于半导体带隙能的光波辐射半导体光催化剂时, 处于价带上的电子 (e^-) 就会被激发到导带上并在电场作用下迁移到粒子表面, 于是在价带上形成了空穴 (h^+), 从而产生了具有高度活性的空穴/电子对。

高活性的光生空穴具有很强的氧化能力, 可以将吸附在半导体表面的 OH^- 和 H_2O 进行氧化, 生成具有强氧化性的 $\cdot\text{OH}$ 来氧化降解有机污染物。同时, 空穴本身也可夺取吸附在半导体表面的有机物质中的电子, 使原本不吸收光的物质被直接氧化分解。这两种氧化方式可能单独起作用也可能同时起作用, 对于不同的物质两种氧化方式参与作用的

程度有所不同.表面吸附分子氧的存在会影响光催化氧化反应速率和量子产率^[1].向半导体水溶液反应体系内通入氧气可加快有机物的降解速率,因为当溶液中有 O₂ 存在时,光生电子会和 O₂ 作用生成 ·O₂⁻,进而与 H⁺ 作用生成 HO₂·,最终生成 ·OH 来氧化降解有机物^[2].此外,半导体表面产生的高活性电子具有很强的还原能力,电子受体可直接接受光生电子而被还原,故也可用来还原去除环境中的某些特定污染物如 Cu²⁺.

半导体光催化氧化体系在光照有溶氧的条件下可能发生以下过程^[3]..



可见,反应过程中产生多种高反应活性的自由基和反应中间体,如 ·OH, HO₂· 和 e⁻, h⁺ 及 H₂O₂, 发生一系列有意义的氧化还原反应.

2 提高光催化剂催化活性的途径

从理论上来说,只要半导体吸收的光能大于等于其带隙能,就能被激发产生光生电子和光生空穴,该半导体就可以作为光催化剂,但从实际来看,一个具有实际应用价值的半导体光催化剂必须具有化学稳定性、光照稳定性、高效性和选择性以及较宽的光谱响应,同时还要考虑到材料成本和光匹配性能等因素.常见的单一化合物催化剂多为金属氧化物或硫化物,如:TiO₂, ZnO, ZnS, CdS 及 PbS 等,但没有一个能全面满足上述要求.例如 CdS 的禁带宽度较窄,只有 2.5 eV,波长不大于 496 nm 的光波就能激发它,能很好地利用太阳光,但它对光比较敏感,容易发生光腐蚀,极不稳定.而 TiO₂ 的光化学性能虽

然较稳定,但其带隙能较大,有 3.2 eV,要在小于等于 387.5 nm 的紫外光下才能被激发.另外一个影响半导体光催化剂催化效率的重要因素是光生电子和光生空穴的复合.由于电子和空穴极易复合,势必会降低高活性氧化基团的产率,导致催化剂催化能力的下降.因此,必须对催化剂进行改性.一般地,可采用两种方法进行改性,一种是对催化剂进行表面修饰,另一种是把催化剂制成纳米材料.

2.1 催化剂的表面修饰

半导体经过表面修饰能提高其光电化学过程的量子产率,使其光激发响应范围向长波方向移动甚至达到可见光区,为利用太阳能提供了一个有价值的途径.虽然各种催化剂都各有特性,但 TiO₂ 的综合性能最好,应用最普遍,所以在下面的阐述中以 TiO₂ 为例.表面修饰主要有以下 5 种方式:

(1) 贵金属的沉积.贵金属对半导体催化剂的修饰是通过改变电子分布来实现的.在 TiO₂ 表面沉积适量的贵金属后,费米能级的持平使电子从半导体流向贵金属,而空穴留在半导体中,使光生电子和光生空穴得以有效分离,另外还可以降低还原反应的超电压,从而大大提高了催化剂的活性.研究最多的为 Pt 的沉积,应用其他贵金属如 Ag, Ir, Au, Ru, Pd 等共沉积修饰的也有报道,但以 Pt 的修饰效果为最好.

(2) 过渡金属离子的掺杂.表面修饰的过渡金属离子有利于光生电子的捕获,抑制电子与空穴的复合.过渡金属离子的种类和修饰量都要符合特定的要求,否则不但达不到抑制电子与空穴复合的目的,还可能加快其复合速度.现在普遍认为 Fe³⁺ 是有效的掺杂离子.有研究表明,0.1%~0.5% 的 Fe³⁺, Mo⁵⁺, Ru³⁺, Os³⁺, Re⁵⁺, V⁴⁺ 和 Rh³⁺ 的掺杂能促进光催化反应(见文献[1]).此外,最近的研究表明(见文献[1])采用离子注入法对 TiO₂ 进行铬、钒等离子的掺杂,可将激发光的波长范围扩大到可见光区(移至 600 nm 附近).

(3) 半导体的复合.半导体复合是提高光催化效率的有效手段之一.在二元复合半导体中,两种半导体之间的能级差别能使电子和空穴有效分离,例如, TiO₂ 与激发波长较长的 CdS 复合后,当入射光能量只能激发 CdS 使其发生带间跃迁但不足以使 TiO₂ 发生带间跃迁时, CdS 中产生的激发电子能被传输至 TiO₂ 导带,而空穴停留于 CdS 价带,这样,电子—空穴得以有效分离.对于 TiO₂ 来说,由于

表 1 常用半导体禁带宽度能量

Table 1 Forbidden band energy of some semiconductors

半导体	GaAs	CdSe	Fe ₂ O ₃	GaP	CdS	SiC	ZnO	WO ₃	TiO ₂
能级/eV	1.4	1.7	2.2	2.25	2.5	3.0	3.2	3.2	3.2

CdS 的复合,其激发波长延伸到了更大的范围,可达到可见光区.现在所报道的复合体系有 CdS—TiO₂,CdS—ZnO,Cd₃P₂—ZnO,CdS—AgI,AgI—Ag₂S 等,其中 CdS—TiO₂ 体系研究得最普遍和深入.研究表明复合的半导体光催化剂比单一的半导体光催化剂有更高的催化活性.

表 1 是一些常用半导体的禁带宽度能量,可供制备复合型催化剂时参考.

(4)表面光敏化.将光活性化合物化学吸附或物理吸附于光催化剂表面,从而扩大激发波长范围,增加光催化氧化反应的效率,这一过程称为催化剂表面光敏化作用.光敏化是半导体修饰中开展最早的研究领域,通过光敏化可有效地扩展半导体光催化剂在可见光区的光谱响应范围.常用的光敏剂有赤藓红、硫堇、荧光素衍生物等,这些光活性物质在可见光下有较大的激发因子,只要活性物质激发态电势比半导体导带电势更负,就可能将光生电子输送到半导体材料的导带,从而扩大激发波长的范围.

(5)表面螯合及衍生作用.金属硫化物或氧化物半导体表面的部分金属离子被配位或生成衍生物,能明显增加导带表面的电子转移到溶液中的受体的速率,且可使吸收波长红移,在近紫外和可见光区发生响应.有报道说含硫化合物、OH⁻,EDTA 等螯合剂能影响一些半导体的能带位置,使导带移向更负的位置.TiO₂—CoTSP 光催化体系^[4]在可见光区 620 nm 和 680 nm 处有两个最大吸收峰,表明此种修饰方法确实有效.

2.2 TiO₂ 纳米材料的研制

反应体系中催化剂粒径越小,单位体积内的粒子数就越多,体系的比表面积越大,反应物与催化剂接触面积越大,越有利于光催化氧化反应进行,反应速率和效率也越高.当粒子大小与第一激子的德布罗意半径相当,即在 1~10 nm 时,成为量子化粒子,出现表面效应和量子效应,导致明显的禁带变宽,从而使电子/空穴具有更强的氧化—还原电位,催化活性将随尺寸量子化程度的提高而增加.

近年来,人们对超微粒子特别是对纳米 TiO₂ 光催化剂的研究日益增多,余锡宾等^[5]用溶胶—凝

胶(Sol—Gel)法制备了粒径为 10~20 nm 左右的 TiO₂ 纳米粒子,并详细介绍了 TiO₂ 纳米微粒的制备及其催化活性,以及 TiO₂ 纳米微粒尺寸效应与吸收特性的关系.霍爱群等^[6,7]用异丙醇钛酸酯—水—醇体系制备纳米 TiO₂ 膜,降解废水中的阿特拉津,降解率高达 98.3%.同时,其采用 Sol—Gel 法制出无机非整比 TiO_{2-x} 膜,经过可控气氛热处理后,可在膜表面形成较多亚稳相氧化空位(缺陷),为催化表面提供了更多的吸附中心和反应活性位,因而表现出更高的催化反应活性.郝彦忠等^[8]用染料敏化剂对 TiO₂ 纳米晶多孔膜电极进行敏化,用光电化学方法系统地研究了外加电位对光致电荷转移的影响.万海保等^[9]也对 TiO₂ 纳米晶多孔膜的性质与制备及敏化染料的特性作了介绍.平贵臣等^[10]总结了 CdS 半导体纳米微粒的复合与组装,并介绍了其应用方面的情况.

3 光催化氧化装置的类型

3.1 间歇式反应器

间歇式反应器^[3]多为透光效果较好的玻璃或石英管槽,结构比较简单,操作方便,适用于一般的实验室研究和小批量的物料处理.在这种反应器中,光催化剂多以分散状态存在,反应面积较大,但由于有一定的浑浊程度,因而会影响紫外光的照射效果,而且反应结束后催化剂微粒的回收比较麻烦,对产物分离提纯也不方便,用过的光催化剂要经过洗涤过滤干燥后才能重复使用,不适于大批量的物料处理.

3.2 连续式反应器

在连续式反应器中催化剂多以固定相存在,总反应面积有所减小,有些受物质扩散过程影响的反应的反应速率也要比分散相慢一些,但采用这种反应装置无须考虑使分散状催化剂在溶液中均匀分布的问题,且能有效地制止催化剂的流失损耗,还省去了回收催化剂的复杂过程,可进行大规模的处理.现在已开发的装置有污水的处理装置、废气处理装置,又有同时适合于污水和废气的装置,还有净化饮用水的装置.

4 影响光催化氧化反应速率的因素

反应速率也是关系到光催化氧化技术能否投入实际应用的一个重要因素,影响光催化氧化速率的因素主要有以下几个:

(1) 催化剂本身的性能和粒度的影响. 催化剂禁带宽度越窄越容易被激发,催化性能越好. 锐钛型 TiO_2 的催化活性比金红石型高. 半导体的晶体结构、晶格缺陷和晶面对其催化活性都有影响,总的来说,由于金红石型 TiO_2 对 O_2 的吸附能力较差,比表面积较小,因而光生电子和空穴易复合,使其催化活性受到一定影响. 催化剂粒度越小,反应面积越大,反应速率就越大,催化效果也越好.

(2) 反应温度和溶液 pH 值的影响. 由于光催化氧化反应的活化能较低,所以温度的变化对光催化氧化反应影响不是特别大. 由于不同的物质有不同的反应历程,温度对反应速率的影响也没有具体的定论,比如酚^[11]开始的反应速率随温度的升高而略有增加,而三氯甲烷^[11]的反应速率反而随温度的增加而减慢. Bahnemann 等人研究发现(见文献[1]),反应速率与体系 pH 值有一定依数关系,随着体系 pH 值增大反应速率增大,但增加的程度与光强有关,当光强较大时,随着 pH 值增加反应速率略有增大,当光强较小时,反应速率随 pH 值的增大而急剧增加.

(3) 光强和反应物浓度的影响. 有研究表明,在低光强下,速率与光强成线性关系,中等强度的光照下,速率与光强的平方根有线性关系. 反应物浓度的影响与光强的影响相似. 浓度低时,速率与浓度存在正比关系,当反应物浓度增加到一定程度时,随着浓度的增加反应速率有所增大,但不存在正比关系. 浓度到了一定界限以后,将不再影响反应速率^[11].

5 TiO_2 光催化氧化技术在环境保护方面的应用

5.1 在有机污染物废水方面的应用

在生产和应用过程中排放的染料废水、农药废水、表面活性剂废水、卤代物废水、含油废水等,会对环境造成严重污染. 光催化氧化具有强大的氧化能力,能破坏多种有机物. 到目前为止,已有一百多种有机物被详细研究过,有许多研究已取得满意效果.

TiO_2 光激发产生的氧化电位以标准电位计为 3.0 eV,比 Cl_2 (1.36 eV) 和 O_3 (2.07 eV) 高许多,可见,其氧化能力足够破坏大多有机物. 光催化降解有机物的反应历程和中间体非常复杂,因此产物也不同,但一般都会降解为无机小分子,从而消除或减轻了其原有的危害性.

5.2 在无机污染物废水方面的应用

光催化反应能解决汞、铬、铅、铜等金属离子的污染问题. 汞对人体脑神经系统危害极大,铬能引起局部肉瘤,使肺癌发病率升高,铅污染也可能导致呼吸系统癌变^[3]. Hg^{2+} 能被光生电子 e^- 还原 Hg 沉积下来, Pb^{2+} 和 Cr^{6+} 的还原原理也一样. CN^- , SCN^- 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 等的污染也能去除.

5.3 大气的净化

大气中 SO_2 , H_2S , NO_x 等有害气体吸附于催化剂表面能在光作用下相应地转化为 SO_3^{2-} 或 S^{2-} , S 和 H_2 , NO_3^- . 空气中的臭味异味也可氧化清除. 因此,可把催化剂涂于墙壁或建筑物表面,通过太阳光照射分解污染物,从而改善居室或公共场所的空气卫生状况.

表 2 列出了一些光催化氧化技术在废水处理中的应用例子.

6 存在的问题及研究方向

半导体光催化氧化法作为一种新兴的水处理技术,目前还不成熟,仍存在一些问题,归纳起来有如下几点:

(1) 催化剂活性及再生问题. 目前使用的光催化剂效率不是很高,且反复使用时,催化剂的催化活性有所下降,这直接限制了光催化氧化法的实际应用. 因此,提高并维持已知半导体光催化剂活性及研制新型高效催化剂是今后光催化氧化技术研究的一个主要方向.

(2) 研究对象问题. 为使问题简单化,目前光催化氧化法大多用于降解实验模拟的单一有机废水,对取自环境的天然样品的研究极少见到. 而实际要处理的废水往往要复杂得多,故应有意识地逐步调整研究对象,加大废水模拟体系的复杂程度,增加对天然样品的研究,这也是今后要重点研究的方向之一.

(3) 催化剂的载体问题. 光催化剂的固定和再生

表 2 光催化氧化技术在废水处理中的应用例子

Table 2 Some applied examples of photocatalysis oxidation technology to contaminative water bodies

废水类型	处理对象	催化剂及其附载形式
染料废水	甲基蓝, 罗丹明 B, 水杨酸	TiO ₂ 负载于沙子
	甲基橙	TiO ₂ 纳米微晶
	罗丹明-6G	TiO ₂ /SiO ₂
	活性染料水溶液	TiO ₂ , WO ₃
	直接耐酸大红, 酸性红	TiO ₂ 悬浊液
	羟基偶氮苯, 溶剂红	TiO ₂ 悬浊液
	分散深蓝, 分散大红	TiO ₂
	染料中间体 H 酸	TiO ₂ 悬浊液
	酸性蓝, 刚果红, 金黄色酸	TiO ₂ 负载于玻璃纤维
	亚甲基蓝	TiO ₂ 粉末
	中性黑	TiO ₂ 负载于水泥
一品红, 铬蓝 K, 铬黑 T	纳米结构 TiO ₂ 膜	
有机污染物废水	除草剂 atrazine	TiO ₂ , ZnO
	二氯二苯三氯乙烷(DDT)	TiO ₂ , TiO ₂ /Pt 等悬浊液
	三氯苯氧乙酸, 2,4,5-三氯苯酚	TiO ₂ 悬浊液
	敌敌畏(DDVP), 敌百虫(DTTP)	TiO ₂ 悬浊液
	有机磷农药	玻璃纤维负载 TiO ₂
	苯酚	载钛多孔玻璃
	咪蚜胺	TiO ₂ 和 CMC-Na 混合载于玻璃
	邻氯苯酚	TiO ₂ 载于沙子
	苯酚	ZnO 粉末
	表面活性剂	十二烷基苯磺酸钠(阴离子型)
	氯化卞基十二烷基二甲基胺(阳离子型)	TiO ₂ 悬浊液
	壬基聚氧乙烯(非离子型)	TiO ₂ 悬浊液
	乙氧基烷基苯酚	TiO ₂ 悬浊液
含卤代物废水	三氯乙烯	TiO ₂ /SiO ₂
	三氯代苯	TiO ₂ 负载于 Ni ⁻ 聚四氟乙烯
	三氯甲烷, 四氯化碳	TiO ₂ 悬浊液
	4-氯苯酚	TiO ₂ 薄膜电极
	3,3'-二氯联苯, 四氯联苯	TiO ₂ 悬浊液
	氟里昂	金属或金属氧化物掺杂 TiO ₂
	十氟代联苯, 五氟苯酚	TiO ₂ , SiO ₂ , TiO ₂ /Al ₂ O ₃ 等
	氟代烯烃、氟代芳烃	TiO ₂ 悬浊液
油类废水	水面漂浮油类及有机污染物	TiO ₂ 粉末粘附于木屑 纳米 TiO ₂ 偶联于硅铝空心球 空心玻璃球负载 TiO ₂ 薄膜
无机污染物废水	CN ⁻	TiO ₂ 悬浊液
	Au(CN) ₄ ⁻	H ₂ O ₂ /TiO ₂
	I ⁻ , SCN ⁻	TiO ₂ /SnO ₂
	Cr ₂ O ₇ ²⁻	TiO ₂ 悬浊液, ZnO/TiO ₂ 等
	Hg, CH ₃ HgCl	TiO ₂ (以甲醇为空穴捕获剂)

是光催化氧化技术的一个关键。寻找合适的载体和固定化方法, 制备负载型催化剂, 利用载体和催化剂的复合功能, 例如使用具有吸附功能的载体, 将吸附、降解、分离有机地结合起来, 克服悬浮相催化氧化中催化剂易凝聚且难以回收, 活性成分损失大等缺点。

(4) 反应装置与技术组合问题。反应装置是使半导体光催化氧化由理论变为实践的必要手段。目前

用的主要有间歇式反应器和连续式反应器两种。如前所述, 这两种反应器都存在一些弊端, 因此, 设计出高效、多功能、实用的水处理装置, 将有助于解决光催化氧化法的实际应用问题。此外, 尚需解决的问题还有多项单元技术的优化组合, 在加深对光催化氧化技术认识的基础上, 与其他技术的配合, 如与 HPLC, LC, FIA, 电化学、生物技术等的联用, 将会开拓光催化氧化技术更广阔的应用前景。有人制备

了纳米结构 TiO₂ 膜光透电极,研究了光电催化方法对染料的降解效果,发现光电催化比单纯的光催化和光分解效果好得多。

(5)基础理论研究问题.在基础理论研究方面,还要着重探讨固液、固气界面的光催化氧化机理,对催化剂改性的作用机理,光生电子的移动和再结合规律,有机物的结构与反应活性的关系等。

目前对于各类生产和生活废水通常采用生化法和化学方法进行处理,光催化氧化法作为一种新的水处理技术虽然还存在着一些不成熟之处,但由于它的突出优点和巨大潜力,可以预见它有极大的研究价值和广阔的应用前景.一旦这种技术能真正投入实际生产应用,将会对净化保护环境、维持生态平衡、解决能源危机这些问题产生重大的意义。

参考文献:

- [1] 沈伟初,赵文宽,贺飞,等. TiO₂ 光催化反应在废水处理中的应用[J]. 化学进展,1998, 10(4): 350~361.
- [2] 汪军,王毓芳,徐伯兴. 光催化降解有机物的进展[J]. 污染防治技术,1998, 11(3): 157~160.
- [3] 韩兆慧,赵化桥. 半导体多相光催化应用研究进展[J].

化学进展,1999, 11(1): 1~60.

- [4] 岳林海,徐铸德. 半导体的表面修饰与其光电化学应用[J]. 化学通报,1998, (9): 28~31.
- [5] 余锡宾,王桂华,罗衍庆,等. 二氧化钛纳米微粒的制备与光催化活性[J]. 化学研究与应用,2000, 12(1): 14~19.
- [6] 霍爱群,谭欣,丛培君. 纳米 TiO₂ 膜光催化降解水中阿特拉津的研究[J]. 工业水处理,1998, 18(3): 25~29.
- [7] 霍爱群,谭欣,丛培君,等. 纳米 TiO_{2-x} 光催化膜中的缺陷结构与性能关系初探[J]. 化学通报,1998, 61(11): 31~32.
- [8] 郝彦忠,李卫华,何君勇,等. 染料敏化 TiO₂ 纳米晶多孔膜电极的带边移动[J]. 化学通报,1998, 61(7): 34~37.
- [9] 万海保,曹立新,王丽颖,等. 染料敏化的 TiO₂ 纳米晶多孔膜的性质及光电转换[J]. 化学通报,1999, 62(6): 30~34.
- [10] 平贵臣,曹立新,王丽颖,等. CdS 半导体纳米微粒的复合与组装[J]. 化学通报,2000, 63(2): 32~36.
- [11] 时桂杰. 光催化氧化处理水中污染物的研究现状及发展趋向[J]. 环境科学与技术,1998, (3): 1~4.

APPLICATION OF SEMICONDUCTOR HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS OXIDATION TECHNOLOGY TO ENVIRONMENTAL PROTECTION

Luo Juxian Zhao Zhongyi

(Faculty of Material Science and Chemical Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, are introduced the principle of the semiconductor heterogeneous photocatalysis oxidation technology, its application to the degradation of the pollutants and environmental protection, and some new types of reaction instruments. Then the paper suggests the method for the improvement of the photocatalytic activity of the photocatalytic agents. The paper also discusses the factors affecting both the reaction rate of the photocatalysis oxidation, and the increase in the reaction rate. In addition, this paper presents some recommendations on the future research orientation and emphases in the photocatalysis oxidation technology.

Key words: semiconductor; photocatalysis; photocatalysis oxidation; surface modification; pollutant degradation.