

近紫外光-AgCl 体系脱色处理活性艳红 K-2BP 染料废水

孙琪娟

陕西工业职业技术学院, 陕西咸阳 712000

摘要 以近紫外光为光源, AgCl 为催化剂, 考查了染料初始浓度、催化剂用量、pH 值、不同光源等因素对活性艳红 K-2BP 染料废水脱色的影响。结果表明, 当染料初始浓度为 50mg/L, 催化剂浓度为 1000mg/L, pH 值为 4.0 时, 活性艳红 K-2BP 模拟染料废水脱色率达到 72.1%。在该工艺条件下, 用于实际染料废水, 脱色效果也很明显。在此基础上, 建立了活性艳红 K-2BP 降解的动力学方程, 分析了活性艳红 K-2BP 降解机制, 确定了 K-2BP 降解过程中一些被取代的芳香化合物的结构组成以及反应的中间产物和最终产物, 并由此推测出其降解路线。

关键词 染料废水; 光催化氧化法; 脱色; AgCl

中图分类号 X703

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.17.007

Treatment for Decoloring Reactive Brilliant Red K-2BP Dye Wastewater By Near UV-AgCl

SUN Qijuan

Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China

Abstract The dye wastewater has some unique features: high COD_{Cr}, high intensity of color, high salinity, hard to degradation, great changes in water quality and quantity and so on. It becomes oxidation resistant and anti-bio-degradable, which makes it difficult to be treated. The general aim of treatment is to remove COD and to decolor, which is more difficult. Color is the most important indicator to check whether the printing and dyeing wastewater treatment can meet the emission standards. With the traditional method of wastewater treatment to hydrophilic or water-soluble dye wastewater, the decoloring effect is not satisfactory. The biological decoloring is less effective, while the physical and chemical decoloring does cost much. This paper is to find a simple, economical as well as effective way of decoloring printing and dyeing wastewater. Photocatalytic oxidation can be done in an ordinary condition (normal temperature, atmospheric pressure), but with strong oxidizing ability, with a great speed and without secondary pollution. In the water treatment domain, the AOP technology is widely used in environmental protection. Currently TiO₂ is used as the photocatalytic oxidation catalyst, with the ultraviolet ray as the light source, mostly in a man-made form. Its use is limited because of its large energy consumption and poor efficiency in the utilization of solar energy. This study uses the near ultraviolet ray as the light source, AgCl as the catalyst, to reveal the effects of the dye concentration, the amount of catalyst, pH, the different light sources on the decoloring rate of reactive brilliant red K-2BP dye wastewater. The results show that with the dye initial concentration of 50mg/L, the concentration of catalyst 1000mg/L, and pH=4.0, the decoloring rate of the reactive brilliant red K-2BP dye waste water reaches 72.1%. Under the best technological conditions as indicated by the theory, the application of this system to the actual dye waste water may result in more ideal results. On the basis of the discussion of the various factors that influence the decoloring of the reactive brilliant red K-2BP dye wastewater with near ultraviolet ray-AgCl system, a dynamic equation for the degradation of the reactive brilliant red K-2BP is established, to analyze the degradation mechanism, and the structural composition of some replaced aromatic compounds during the K-2BP degradation process, as well as the reaction intermediate products and final products, and thus to trace its degradation routes. AgCl as a catalyst is similar in the catalytic oxidation mechanism to TiO₂, and the sunlight can be used as the light source, not just UV. This not only reduces the energy consumption, but also repeatedly uses AgCl. It opens a new way for the photocatalytic oxidation of degradation wastewater.

Keywords dye wastewater; photocatalytic oxidation; decolorization; AgCl

收稿日期: 2010-10-31; 修回日期: 2011-05-08

作者简介: 孙琪娟, 副教授, 研究方向为染料废水, 电子信箱: sqj68@163.com

0 引言

染料废水中污染物浓度高,可生化性差,难降解。一些物化或生化的方法很难去除其色度,有些除色剂虽能去除色度但会增加化学需氧量。近年来涌现的众多新技术、新工艺中,光催化氧化技术是处理难降解废水的有效方法之一。

TiO₂ 因其价格便宜、稳定性好、可以重复利用等优点成为最常用的光催化剂。但是 TiO₂ 光催化剂仅能利用紫外光,对太阳光的利用效率低,AgCl 是重要的感光材料,近年来,Calzaferri 等^[1-2]发现利用 AgCl 包埋电极,在近紫外光照射下可将水分解为氧气,其机制与 TiO₂ 光催化分解水相似。汤斌等^[3-5]报道以 AgCl 为光催化剂,在近紫外光照射下可分解有机色素,杀灭微生物。AgCl 作为一种新型光催化材料,具有与 TiO₂ 相似的催化氧化机制,不仅可以利用紫外光,而且在近紫外光或太阳光照射下仍表现出良好的光催化降解脱色效果,有着极其广阔的开发空间与应用前景。

1 实验部分

1.1 主要仪器与材料

8543 型紫外-可见分光光度计 (美国 Agilent 公司);PB-10 酸度计 (德国 Sartorius 公司);ZF-7A 紫外灭菌灯 (上海嘉鹏有限公司);6890N GC/MS 仪 (Agilent Technologies);活性艳红 K-2BP (化学纯),AgNO₃ (分析纯),西安富力化学厂;NaCl (分析纯,西安化学试剂厂)。

1.2 实验方法

1.2.1 AgCl 催化剂的制备

取适量 0.4mol/L 的 AgNO₃ 水溶液,加入稍过量的 NaCl 溶液,生成白色絮状 AgCl 沉淀,过滤、洗涤,并经研磨、过筛,盛装于棕色试剂瓶备用。将部分 AgCl 催化剂经紫外光照射 30s,AgCl 迅速变为灰褐色,作为光敏催化剂备用。

1.2.2 活性艳红 K-2BP 的光催化氧化脱色

取适量 50mg/L 的活性艳红 K-2BP 水溶液置于自制长方形浅池容器中,加入一定量的 AgCl 催化剂,在电磁搅拌器的搅拌下用波长为 365nm 的近紫外光照射 (距离液面 10cm),每间隔 20min,取一定体积的反应液离心 3min (4200r/min),然后取上层清液在 K-2BP 最大吸收波长 ($\lambda_{\max}$ =535nm) 处用 1cm 比色皿测其吸光度,以试剂空白为参比。

1.2.3 脱色率计算方法

活性艳红 K-2BP 在低浓度时符合朗伯-比耳定律。由于其浓度与吸光度成正比关系,脱色率计算公式为

$$\text{脱色率} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, A_0 为原液的吸光度, A 为样品的吸光度, C_0 为原液的初始浓度, C 为样品的浓度。

2 结果与讨论

2.1 空白实验

取适量 pH=4.0 的 50mg/L 的活性艳红 K-2BP 模拟染料

废水 3 份,分别用高压汞灯 UV 直接照射 (λ =254nm, E =5.18×10⁴lx)、近紫外光 (λ =365nm, E =4.34×10⁴lx) 照射 100min 和置于黑暗处进行空白实验,结果如图 1 所示。可见 K-2BP 染料废水在无光照时十分稳定,但在紫外光直接照射下可发生一定程度的光解,而以 365nm 的近紫外光照射,K-2BP 染料废水亦无变化。说明在无催化剂存在的条件下,K-2BP 染料废水在波长 365nm 的近紫外光照射下不发生降解。为消除 UV 照射造成的直接光解,在以下实验中除特别说明者外,均采用近紫外光照射,波长为 365nm。

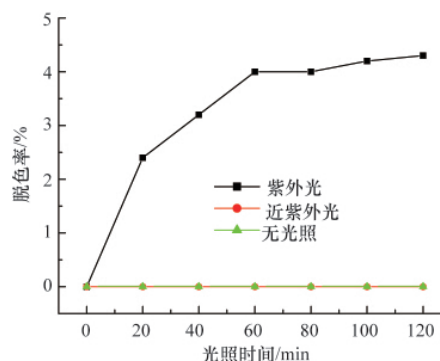


图 1 不同光线照射下 K-2BP 的直接光解

Fig. 1 K-2BP direct photolysis under different light irradiations

2.2 AgCl 对活性艳红 K-2BP 模拟染料废水脱色的影响

取适量 pH=4.0 的 50mg/L 的活性艳红 K-2BP 模拟染料废水 2 份,分别加入 150mg AgCl,并以紫外光和近紫外光照射 100min,同时进行不加任何光照的对比实验。由图 2 可见,在 AgCl 存在下,如不加以光照,K-2BP 染料废水几乎没有任何变化,而在近紫外光照射下,K-2BP 染料废水浓度随光照时间的增加而呈指数性降低。实验证明,仅近紫外光照射或仅加入 AgCl 对模拟染料废水都几乎没有脱色效果,而在 AgCl 存在和近紫外光照射下,K-2BP 模拟染料废水脱色效果显著。说明近紫外光和 AgCl 有协同作用,AgCl 为该系统中的催化剂。

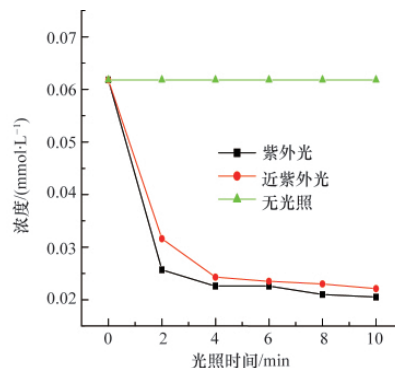


图 2 不同光照条件下 K-2BP 浓度与光照时间关系曲线

Fig. 2 K-2BP concentrations and time curves under different light conditions

建立近紫外光-AgCl 体系动力学方程,以反应物浓度的

对数对光照时间作图(图3),可得一直线。说明在近紫外光-AgCl体系中,活性艳红K-2BP的降解为动力学一级反应,一元线性回归方程为: $\ln(C/C_0)=-0.00728t-0.6153$,相关系数 r 为-0.9715。其中,斜率大小表征反应速率常数, r 表征浓度与时间两个变量共同变化的程度^[7]。

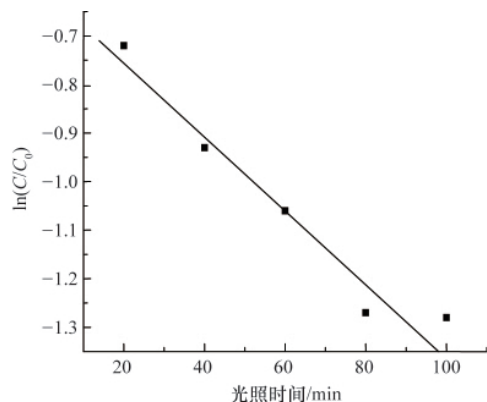


图3 K-2BP 光催化降解动力学曲线

Fig. 3 K-2BP kinetics curve of photocatalytic degradation

2.3 AgCl 的催化性能

2.3.1 光照前后 AgCl 的催化性能

分别以光照前、后的 AgCl 为催化剂,在其他实验条件相同的情况下进行 K-2BP 染料废水的光催化氧化脱色对比实验,结果如图4所示。可见,经光照射后的 AgCl 催化效果优于未经光照的 AgCl 晶体,即光照可以使 AgCl 敏化。

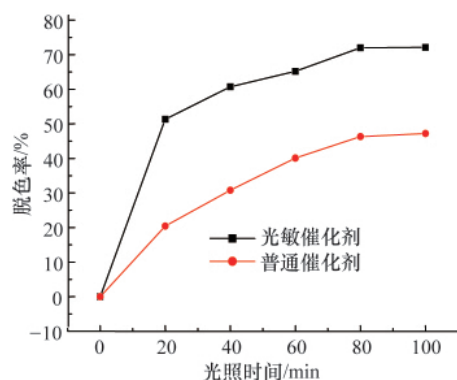


图4 催化剂光敏化对 K-2BP 脱色率的影响

Fig. 4 The effect of photosensitizing catalyst on K-2BP decoloring rate

其原因可能是 AgCl 在光照下产生了少量的银原子簇,降低了其禁带宽度,提高了光利用效率。在 AgCl 中, Ag^+ 的 5s 轨道是空的,能量较高,为空带或导带, Cl^- 的 3p 带的能量比 Ag^+ 的 5s 带低,称为价带,两者之差为禁带宽度。与 AgCl 半导体的带隙位置比较可以发现,银原子簇的空轨道的能量水平线在 AgCl 的导带之下,这种跃迁所需要的能量比 AgCl 价带-导带之间跃迁所需要的能量少,使 AgCl 可以更有效地利用光源,提高了自身的活性(图5)^[4]。

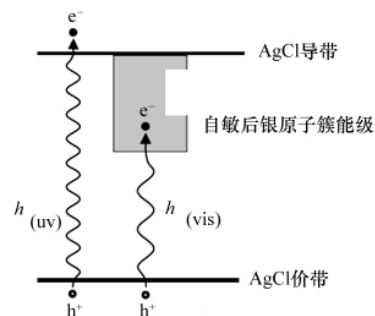


图5 AgCl/Ag 簇带隙位置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of band gap of AgCl/Ag clusters

2.3.2 使用过和新制 AgCl 的催化性能

为了检验 AgCl 催化剂重复使用效果,在催化反应结束后,将 AgCl 过滤分离,充分洗涤后,在其他实验条件相同的情况下重复进行 K-2BP 的光催化氧化脱色实验,结果如图6所示。可以看出,使用过的 AgCl 催化效果与新制备的 AgCl 催化剂几乎完全相同。

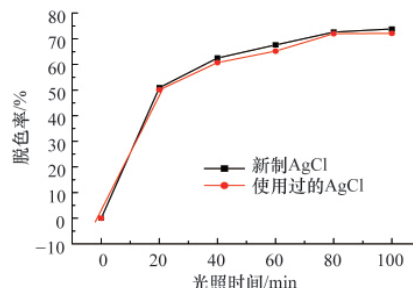


图6 AgCl 重复催化降解 K-2BP 效果图

Fig. 6 Effect chart of AgCl repeatedly used for degrading K-2BP

2.4 催化剂的用量对 K-2BP 染料废水脱色的影响

在其他实验条件相同的情况下,仅改变催化剂的浓度,按前述方法进行实验,结果如图7所示。可以看出,K-2BP 染料废水脱色率开始时,随催化剂用量的增大明显提高,在 1000mg/L 时达最高,之后随催化剂用量的加大,脱色率逐渐降低。这是由于催化剂用量的增加,一方面催化效率提高,另一方面溶液的浊度也随之增加,透光率降低,催化剂接受到

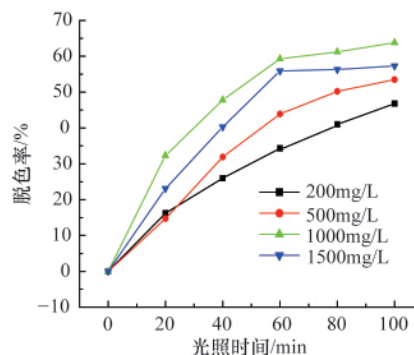


图7 催化剂的用量对 K-2BP 脱色率的影响

Fig. 7 Effect of amount of catalyst on K-2BP decoloring rate

的光能减少。这是两者共同作用的结果。

2.5 K-2BP 染料废水的初始浓度对脱色的影响

在其他实验条件相同的情况下,固定催化剂的用量(1000mg/L),分别加入不同浓度的 K-2BP 染料废水,按前述方法进行实验,结果如图 8 所示。由图可知,随着 K-2BP 染料废水浓度的增大,其脱色率逐渐降低。这是因为染料废水的初始浓度越高,染料本身对光的吸收能力就越强,则被催化剂捕获的光子数就相对减少,光催化反应速率因此下降,脱色率降低。

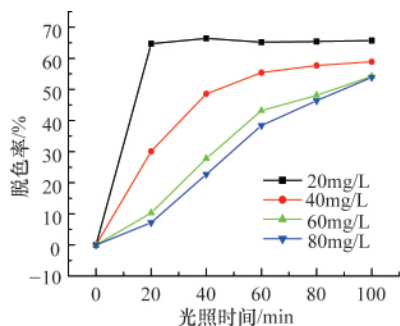


图 8 K-2BP 浓度对脱色率的影响

Fig. 8 Effect of K-2BP concentrations on the decoloring rate

2.6 照射光源对染料废水脱色的影响

在其他实验条件相同的情况下,分别考查近紫外光、太阳光($E=3.65 \times 10^4 \text{lx}$)、室内自然光($E=4.33 \times 10^3 \text{lx}$)以及无光时 K-2BP 染料废水的降解脱色效果,结果如图 9 所示。可见 K-2BP 染料废水在 AgCl 催化剂作用下,以室内自然光照脱色效果非常微弱,无光照时则不降解。而在近紫外光和阳光照射下,可快速降解脱色,且两者差别不大。说明以 AgCl 作为催化剂,可以利用太阳光使 K-2BP 染料废水氧化脱色,而不是只能利用紫外光。这对于降低使用成本有实际的指导意义。

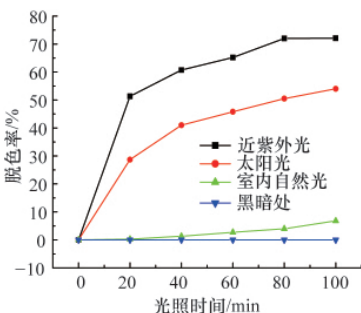


图 9 不同光线对 K-2BP 脱色率的影响

Fig. 9 Effect of the different light on K-2BP decoloring rate

2.7 pH 值对染料废水脱色效果的影响

在其他实验条件相同的情况下,仅改变溶液 pH 值,由图 10 知,pH 值对染料脱色率影响较大。在中等强度的酸性或碱性条件下脱色率较高,强酸性和近中性环境下的脱色率相对较差,强碱性条件下脱色率最差。说明染液脱色不宜在强碱性条件下进行。

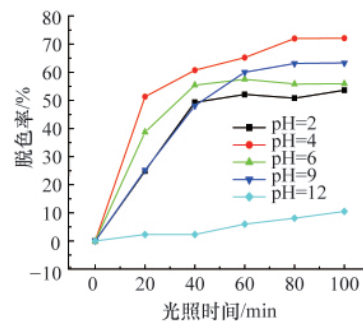


图 10 pH 值对 K-2BP 脱色率的影响

Fig. 10 Effect of pH on K-2BP decoloring rate

2.8 AgCl 与 TiO_2 光催化脱色效果

在其他实验条件相同的情况下,分别以 TiO_2 和 AgCl 为催化剂,如图 11 所示,可以看出 AgCl 在近紫外光照射下可使 K-2BP 染料废水迅速降解脱色,表现出良好的光催化降解脱色效果;而同样条件下 TiO_2 光催化降解效果极不明显。其原因是 TiO_2 仅在 $\lambda=208\text{nm}$ 处对光有较大吸收,禁带宽度较大,如图 12 所示,在光降解反应中只能利用紫外光。而 AgCl 在 $\lambda=237\text{nm}$ 和 $\lambda=320\text{nm}$ 处均有较大吸收,如图 13 所示,其光响

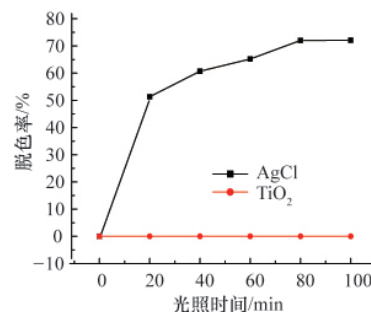


图 11 AgCl 与 TiO_2 对 K-2BP 脱色率的比较

Fig. 11 A comparison of decoloring rate of K-2BP by using AgCl and TiO_2

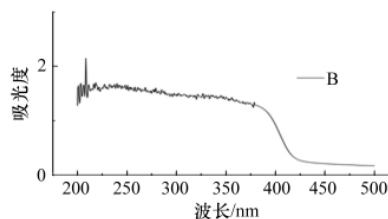


图 12 TiO_2 紫外-可见光谱图

Fig. 12 TiO_2 UV-visible spectrum

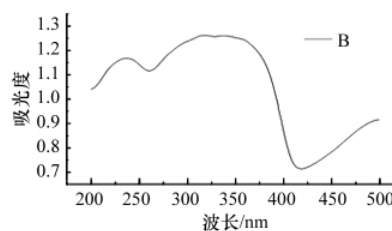


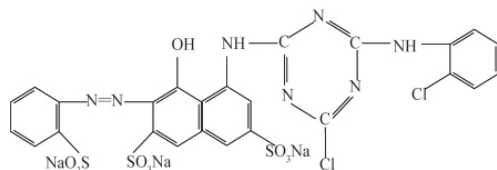
图 13 AgCl 紫外-可见光谱图

Fig. 13 AgCl UV-visible spectrum

应范围较宽,既可利用紫外光,还可利用近紫外光。

2.9 活性艳红 K-2BP 降解机制分析

活性艳红 K-2BP 结构式为



其光催化氧化水样紫外-可见光谱图如 14 所示。在近紫外区有两个特征吸收峰,波长分别为 238、295nm,由于萘环结构的吸收峰较苯环有所红移,这两个特征吸收峰分别对应苯环结构和萘环结构,可见光区出现的特征吸收峰 $\lambda_{\max}=535\text{nm}$ 对应的是偶氮结构。

因偶氮基中的 π 键较易断裂,可见光区的特征吸收峰光解 20min 即显著降低。而染料分子中的苯环和萘环结构较难断开,降解 20min 紫外区的两个特征吸收峰不降反升,说明在近紫外-AgCl 体系的作用下,首先是 K-2BP 染料分子的发色基团 $-\text{N}=\text{N}-$ 发生断键,使染料从有机物大分子降解为含苯环或萘环结构的有机小分子。随着降解时间的延长,萘环进一步开环,萘环的特征吸收峰基本消失,染料废水 COD 降低,同时由于偶氮键被破坏,使该染料废水脱色。但从紫外区 ($\lambda=260\text{nm}$) 仍有较强吸收,说明染料的基本结构被破坏,但染液中仍残留有含苯环结构的产物,说明染料并没有完全矿化,这与光解后染料废水还保留部分 TOC 相一致。

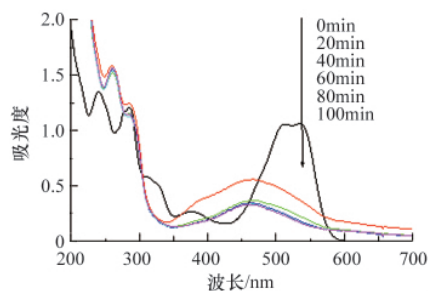


图 14 K-2BP 降解的紫外-可见光谱图

Fig. 14 UV-vis ible spectra of K-2BP degradation

2.10 GC/MS 及离子色谱分析

图 15 为活性艳红 K-2BP 光解后的 GC/MS 图谱,经过对图谱的解析,可得表 1 所示结果。虽然 K-2BP 降解的产物并不完全为 GC/MS 检测到的物质,但表中产物也能基本证明 $-\text{N}=\text{N}-$ 和 $-\text{N}-\text{C}-$ 为断键位置,苯的取代、萘的取代和萘的两次开环的发生及三嗪基被氧化为 2,4-二羟基-6-乙胺基均三嗪。

处理后的水样进行离子色谱检测,结果发现,K-2BP 氧化产物中无 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 。由此可以推测,在发色基团 $-\text{N}=\text{N}-$ 分解过程中产生的氮可能大部分以氮气的形式排出。

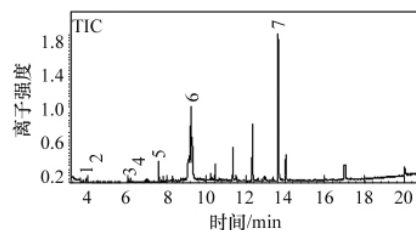


图 15 近紫外光-AgCl 体系处理 K-2BP

模拟染料废水后的总离子流图

Fig. 15 General ion flow after Near UV-AgCl system processes K-2BP to simulate dyestuff waste water

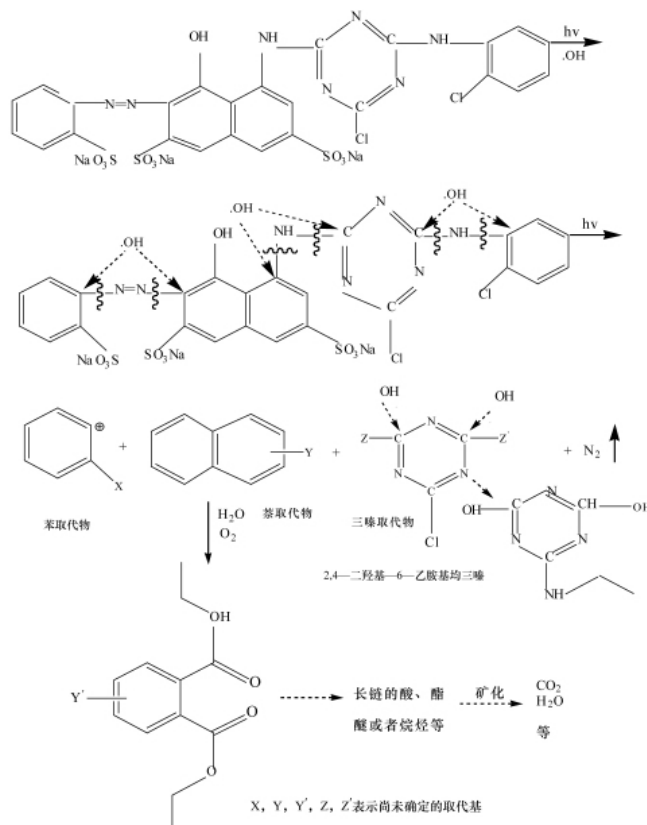
表 1 GC/MS 分析结果

Table 1 Analysis of the results by GC/MS

编号	GC 停留时间 /min	MS 产物	分子量
1	3.534	1,4-二甲苯 (C_8H_{10})	106
2	3.705	苯乙烯 (C_8H_8)	104
3	5.973	3-羟基十二烷基酸 ($\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_3$)	216
4	6.111	2,4-二羟基-6-乙胺基均三嗪 ($\text{C}_3\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_2$)	156
5	7.497	十四烷 ($\text{C}_{14}\text{H}_{30}$)	198
6	9.200	邻苯二甲酸二乙酯 ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$)	222
7	13.552	邻苯二甲酸二丁酯 ($\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$)	278

2.11 活性艳红 K-2BP 降解路径分析

根据上述检测及分析结果,推断出活性艳红 K-2BP 在近紫外光-AgCl 体系中的基本降解路径如下:



2.12 近紫外光-AgCl 体系应用于实际染料废水脱色的对比实验

废水取自某印染厂印花车间的排水, 未经生化处理, 其中染料品种复杂, 以水溶性的活性染料为主。废水呈蓝紫色, 色度为 1024, COD_{Cr} 为 391mg/L, pH=11.23。最大吸收波长为 565nm。在理论得到的最佳工艺条件下, 对实际废水进行脱色实验, 处理水样紫外-可见光谱图如图 16 所示。

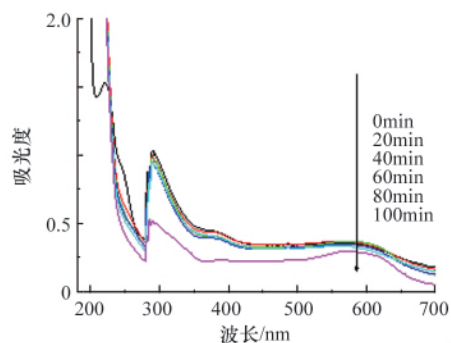


图 16 实际染料废水的紫外-可见光谱图

Fig. 16 UV-vis ible spectra of actual dye wastewater

可以看出, 在近紫外区有两个特征吸收峰, 波长分别为 231、295nm, 分别对应苯环和萘环结构。可见光区特征峰 565nm 对应的是苯环、萘环等组成的活性染料母体即染料的发色体。各特征吸收峰降解过程随光解时间的增加而降低, 100min 萘环吸收峰显著降低, 但可见光区特征吸收峰降低幅度较模拟染料废水小。可能是因实际废水未经生化处理, 废水中含有大量的杂质, 使催化剂的催化活性降低的缘故。

3 结论

用近紫外光-AgCl 体系降解活性艳红 K-2BP 模拟染料废水, 在活性艳红 K-2BP 染料废水的浓度为 50mg/L, [AgCl]=1000mg/L, pH=4.0, t=100min 时, 其脱色率达到 72.1%, 取得较好的脱色效果。在此最佳工艺条件下, 用于复杂的实际染料废水, 虽没有模拟废水效果好, 但脱色效果也很明显, 证明了近紫外光-AgCl 体系能有效地降解染料废水, 是一种非常有应用前途的降解体系。

参考文献 (References)

- [1] Lanz M, Calzaferri G. Photocatalytic oxidation of water to O₂ on AgCl-coated electrodes [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 1997, 109(1): 87-89.
- [2] Lanz M, Schürch D, Calzaferri G. Photocatalytic oxidation of water to O₂ on AgCl-coated electrodes[J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 1999, 120: 105-107.
- [3] 汤斌, 张庆庆. 胶体氯化银的光催化特性研究 [J]. 中国科学技术大学学报, 2002, 32(6): 743-747.
Tang Bin, Zhang Qingqing. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2002, 32(6): 743-747.
- [4] 宋成芳, 张庆庆, 汤斌. AgCl 膜光催化降解色素的研究[J]. 安徽工程科

技学院学报, 2003, 18(1): 23-25.

Song Chengfang, Zhang Qingqing, Tang Bin. *Journal of Anhui University of Technology and Science: Natural Science Edition*, 2003, 18(1): 23-25.

- [5] Li K Z, Hou D S, Li H J, et al. Si-W-Mo coating for SiC coated carbon/carbon composites against oxidation [J]. *Surface & Coatings Technology*, 2007, 4(201): 9598-9602.
- [6] 陶澍. 应用数理统计方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 378.
Tao Shu. *Application of mathematical statistics*[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1994: 378.
- [7] 陈文松, 韦朝海. Fenton 氧化-混凝法处理印染废水的研究[J]. 工业水处理, 2004, 4(24): 39-41.
Chen Wensong, Wei Chaohai. *Industrial Water Treatment*, 2004, 4(24): 39-41.
- [8] 陈艳芳, 唐玉斌. UV/Fe-草酸盐配合物对偶氮染料废水的脱色处理[J]. 净水技术, 2005, 24(3): 21-23.
Chen Yanfang, Tang Yubin. *Water Purification Technology*, 2005, 24(3): 21-23.
- [9] 刘春英, 弓晓峰, 曾珍英. Fenton 试剂在染料废水处理中的应用[J]. 环境保护科学, 2004, 30(2): 9-12.
Liu Chunying, Gong Xiaofeng, Zeng Zhenying. *Environmental Protection Science*, 2004, 30(2): 9-12.
- [10] 张晓敏, 张义平, 汪德耀, 等. 光催化氧化降解活性艳红 X-3B 模拟染料废水试验[J]. 水资源保护, 2006, 22(6): 68-70, 85.
Zhang Xiaomin, Zhang Yiping, Wang Deguan, et al. *Water Resources Protection*, 2006, 22(6): 68-70, 85.
- [11] 程淑玉, 杨智宽. 水溶性染料废水氧化处理的研究[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(S1): 77-78.
Cheng Shuyu, Yang Zhikuan. *Environmental Science & Technology*, 2003, 26(S1): 77-78.
- [12] 夏朝辉, 张慧俐, 张巍松, 等. 紫外光 Fenton 试剂法处理染料废水研究[J]. 河南科学, 2005, 23(2): 302-305
Xia Zhaohui, Zhang Huili, Zhang Weisong, et al. *Henan Science*, 2005, 23(2): 302-305.
- [13] 冯霞, 罗亚田. 光催化与其他技术联用处理废水的研究进展[J]. 辽宁化工, 2005, 34(9): 398-400.
Feng Xia, Luo Yatian. *Liaoning Chemical Industry*, 2005, 34 (9): 398-400.
- [14] 方涛, 罗永松, 李家麟, 等. 光助电催化降解活性艳红 X-3B 的研究[J]. 化学工程师, 2005, 19(8): 4-6.
Fang Tao, Luo Yongsong, Li Jialin, et al. *Chemical Engineer*, 2005, 19 (8): 4-6.
- [15] 崔艳萍, 杨昌柱. 电化学氧化法在难降解有机废水处理中的应用[J]. 工业安全与环保, 2004, 30(6): 12-14.
Cui Yanping, Yang Changzhu. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2004, 30(6): 12-14.

(责任编辑 岳臣)

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件, 以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等, 撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿, 每篇文章约 2000 字, 同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱: kjdbjb@cast.org.cn。