

Ag@AgBr/MgAl-LDH 可控制备及光催化性能研究

马 茜, 孔维佳, 林双龙*, 周二鹏, 齐跃红*

石家庄学院化工学院, 石家庄市绿色装饰板材技术创新中心, 环境催化及清洁技术研究创新中心 河北石家庄

【摘要】本研究探索 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料光催化降解有机污染物的潜力, 采用水热法制备有不同 AgBr 变性的复合材料, 借助 X 射线折射、扫描电镜和紫外-可见漫反射光谱等多种手段研究其结构、形貌与光学性能, 结果显示, 当亚甲基蓝在可见光下 2 小时内降解超 78% 时, 复合材料光催化性能最佳。为了解复合材料光催化分解机理, 开展淬灭实验, 分解过程主要由超氧自由基形成决定, 经 5 次光催化反应, Ag@AgBr/MgAl-LDH 催化剂仍保持高催化效率与稳定性能, 分析研究说明, AgBr 引入有效提高复合材料对可见光反应性, MgAl-LDH 层状结构助于电子分离, 提升光催化降解整体效率。本研究关于 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料在废水处理中的应用, 为可见光条件下有效分解有机污染物提供新视角与支持, 材料制备技术及性能优化的复合催化剂 Ag@AgBr/MgAl-LDH 有望在环境管理与水处理中发挥关键作用。

【关键词】 Ag@AgBr/MgAl-LDH; 光催化; 亚甲基蓝 (MB); 复合材料

【基金项目】 河北省高等学校科学研究项目 (ZC2025049); 2025 年大学生创新创业训练计划项目 (2SCXM0021)

【收稿日期】 2025 年 11 月 2 日

【出刊日期】 2025 年 12 月 30 日

【DOI】 10.12208/j.ncrm.20250001

Controllable preparation and photocatalytic performance study of Ag@AgBr/MgAl-LDH

Qian Ma, Weijia Kong, Shuanglong Lin*, Erpeng Zhou, Yuehong Qi*

School of Chemical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang Green Decorative Board Technology Innovation Center, Environmental Catalysis and Clean Technology Research and Innovation Center, Shijiazhuang, Hebei

【Abstract】 This study explores the photocatalytic degradation potential of Ag@AgBr/MgAl-LDH composite materials for organic pollutants. The hydrothermal method was used to prepare composites with different AgBr transformations, and their structure, morphology, and optical properties were studied using X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and UV-visible diffuse reflectance spectroscopy. The results show that when methyl blue is degraded by over 78% within 2 hours under visible light, the photocatalytic performance of the composite material is optimal. To understand the photocatalytic decomposition mechanism of the composite material, quenching experiments were conducted. The decomposition process is primarily determined by the formation of superoxide radicals. After five photocatalytic reactions, the Ag@AgBr/MgAl-LDH catalyst still maintains high catalytic efficiency and stability. Analysis indicates that the introduction of AgBr effectively enhances the reactivity of the composite material to visible light, while the layered structure of MgAl-LDH aids in electron separation, improving the overall photocatalytic degradation efficiency. This study on the application of Ag@AgBr/MgAl-LDH composite materials in wastewater treatment provides a new perspective and support for the effective degradation of organic pollutants under visible light conditions. The preparation technology and performance optimization of the composite catalyst Ag@AgBr/MgAl-LDH are expected to play a key role in environmental management and water treatment.

【Keywords】 Ag@AgBr/MgAl-LDH; Photocatalysis; Methylene blue (MB); Composite material

*通讯作者: 林双龙, 齐跃红

1 引言

随着全球工业化进程的快速推进, 水体有机污染问题日益严峻, 大量难降解有机污染物的排放不仅破坏水生生态平衡, 更对人类健康构成严重威胁, 因此开发高效、环保的水污染治理技术迫在眉睫。传统废水处理方法(如化学沉淀、吸附、膜分离等)虽能去除部分污染物, 但普遍存在能耗偏高、处理效率有限、易产生二次污染等固有缺陷, 难以满足复杂水体环境的治理需求^[1]。光催化技术凭借其在可见光条件下即可将有机污染物矿化为水、二氧化碳等无害小分子的独特优势, 成为水污染控制领域的研究热点, 而研发具有高可见光响应性和催化活性的光催化材料, 是推动该技术实际应用的核心关键^[2]。

层状镁铝水滑石(MgAl-LDH)因具备高化学稳定性、较大的比表面积及优异的离子交换能力, 在催化、环境治理等领域展现出广阔应用前景^[3]。且LDH层板内、层间、层板与层间存在着静电引力、氢键、共价键等弱结合和强结合作用, 具有一定的热稳定性^[4]。然而, MgAl-LDH禁带宽度较大, 仅能响应紫外光, 且光生电子-空穴对复合率高, 显著限制了其光催化性能的提升。溴化银(AgBr)作为一种典型的窄禁带无机光催化材料, 具有良好的可见光吸收特性, 在光照下可快速激发产生电子-空穴对, 进而产生活性自由基降解有机污染物, 但其自身存在光化学稳定性差、长期光照易发生光腐蚀, 以及光生载流子复合率较高等问题, 制约了其单独使用时的催化效率与使用寿命^[5]。

MgAl-LDH独特的层状结构可提供高效电子传输路径, 促进电子-空穴对分离, 同时增强材料稳定性。; AgBr则凭借低禁带宽度特性扩大可见光吸收范围, 二者形成协同效应, 大幅提升有机污染物降解效率^[6]。Ag@AgBr/MgAl-LDH复合材料的光催化反应机理为: 可见光照射下, AgBr价带电子跃迁至导带形成电子-空穴对, 导带电子与溶液中氧气反应生成超氧自由基, 价带空穴与水分子反应生成羟基自由基, 两种强氧化活性物质可将有机污染物分解为水、二氧化碳等无害小分子^[7]。但是尽管溴化银有较高的光催化活性, 然而对可见光的吸收范围较小, 而Ag的可见光的吸收范围较大, 所以在AgBr中负载银金属形成Ag@AgBr, 可提高AgBr的光吸收范围, 可有效提升对可见光的吸收能力。为协同改善

单一材料的性能缺陷, 构建复合光催化体系成为提升材料光催化性能的有效策略。已有研究证实, 将Ag@AgBr与MgAl-LDH进行复合, 可借助二者的协同作用实现性能优化: MgAl-LDH的层状结构可为光生电子提供高效传输通道, 显著抑制电子-空穴对复合; Ag@AgBr则能拓宽材料的可见光吸收范围, 提升对光能的利用率^[8]。且Ag@AgBr与MgAl-LDH界面间存在化学作用与电子作用双重交互, 其一, MgAl-LDH层板表面存在大量羟基(-OH), 其具有较强的亲水性与配位能力。Ag@AgBr中的Ag⁺可与MgAl-LDH表面的-OH形成配位键, 这种配位作用使Ag@AgBr颗粒紧密锚定于MgAl-LDH层状结构表面, 有效抑制Ag@AgBr的团聚, 同时增强二者界面结合稳定性, 为电子转移提供稳定通道。其二, 二者界面形成II型异质结。根据紫外-可见漫反射光谱计算, MgAl-LDH的导带电位高于Ag@AgBr的导带电位, 而MgAl-LDH的价带电位高于Ag@AgBr的价带电位。光照下, Ag@AgBr价带电子激发至导带后, 因MgAl-LDH导带电位更低, 电子会快速从Ag@AgBr导带转移至MgAl-LDH导带, 同时, MgAl-LDH价带的空穴会转移至Ag@AgBr价带, 实现光生电子-空穴对的空间分离。这种界面电子转移过程依赖于二者间的化学配位作用提供的稳定界面, 而电子转移又进一步巩固了界面结合, 形成“化学锚定-电子转移”的协同界面作用机制, 提升光催化性能。基于此, 本研究聚焦Ag@AgBr/MgAl-LDH复合光催化材料的制备与性能调控, 系统探究其可见光催化降解有机污染物的性能及作用机制, 旨在为开发高效稳定的新型光催化材料提供理论依据与技术支撑。

光催化技术凭借高效、环保、绿色的特性, 在废水处理、空气净化、水分解制氢等领域应用前景广阔^[9]。Ag@AgBr/MgAl-LDH复合材料可在可见光条件下有效降解废水中的有机染料、农药、石油污染物等, 同时可分解空气中的挥发性有机化合物、氮氧化物等有害气体, 在清洁能源生产领域也展现出潜在应用价值。相较于传统处理技术, 该复合材料具有稳定性高、可重复使用等优势, 更适用于实际环境治理场景^[10]。

本研究旨在制备并系统评估Ag@AgBr/MgAl-LDH复合材料的光催化性能, 通过优化制备工艺提升其可见光催化效率, 明确其有机污染物降解潜力。

研究分为三个阶段：第一阶段采用水热法合成不同 AgBr 修饰比例的 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料，借助 X 射线衍射、扫描电子显微镜、紫外-可见光漫反射光谱等技术表征材料的晶体结构、形貌及光学性能，为后续性能评估奠定基础；第二阶段以亚甲基蓝溶液为模拟染料废水，探究 AgBr 修饰比例、反应时间、催化剂用量、污染物浓度等因素对降解效率的影响，通过淬灭实验明确超氧自由基等活性物种的作用机制，为实际水处理提供优化操作参数；第三阶段通过多次循环实验评估复合材料的稳定性与重复使用性能，分析催化活性变化规律及失活原因，为材料的长期应用提供数据支撑。Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料的光催化性能研究可为有机污染物降解与废水处理提供理论支撑，对推动高效环保光催化剂开发及环境治理技术进步具有重要意义。且在创新方面上，前人研究多单独聚焦于 MgAl-LDH 的层状结构改性或 AgBr 的光腐蚀抑制，例如通过原位沉淀法将 AgBr 原位沉淀到富氮氮化碳 (C₃N₅) 表面，制备了 AgBr/C₃N₅ 复合材料^[1]，但较少将二者结合并精准调控界面作用。本文以“窄禁带光响应+层状电子传输”为核心，构建 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料，通过控制 AgBr 修饰比例，同时解决 MgAl-LDH 可见光响应弱、AgBr 光生载流子复合率高的双重缺陷，实现“1+1>2”的催化协同效应，这一材料组合与比例优化策略在现有文献中尚未见报道。并且前人对 Ag 基复合光催化剂的机理研究多停留在“活性物种存在”层面，但未明确异质结界面的电子转移路径与化学作用本质。本文通过淬灭实验首次证实，超氧自由基是降解亚甲基蓝的主导活性物种，且结合 XRD、SEM 及紫外-可见漫反射分析，进一步阐明 Ag@AgBr 与 MgAl-LDH 界面存在“配位键锚定+II 型异质结电子转移”的双重作用机制，填补了该类复合材料界面作用机理的研究空白。随着材料制备工艺的优化与研究的深入，该类复合材料有望在环境保护、清洁能源等领域发挥更关键作用^[12]。

2 样品的制备、表征与性能检测

2.1 催化剂制备

(1) 镁铝水滑石制备：取六水氯化镁 (MgCl₂·6H₂O) 与九水合硝酸铝 (Al(NO₃)₃·9H₂O) 摩尔比为 3 比 1，用称量纸分别称 4.88g MgCl₂·6H₂O、3.00 g Al(NO₃)₃·9H₂O、0.42g 无水碳酸钠 (NaCO₃)、

取 2.56g 氢氧化钠 (NaOH)。将 MgCl₂·6H₂O、Al(NO₃)₃·9H₂O 倒入烧杯中，加入 60ml 去蒸馏水中制备溶液 A；将 NaCO₃、NaOH 一起放入烧杯，向其中加 30ml 蒸馏水搅拌，制备溶液 B；在数显恒温磁力搅拌器上将 B 缓慢加入 A 中得到混合液 C；放入反应釜，将反应釜放至电热鼓风干燥箱 60℃恒温陈化 10 小时；陈化结束后用循环水式真空泵进行抽滤，留下沉淀物并用蒸馏水清洗至 pH 等于 7，取出沉淀物放入电热鼓风干燥箱 100℃干燥 6 小时，烘干完成后研磨，过 80 目筛，装袋。

(2) 溴化银制备：取适量硝酸银 AgNO₃ 置于蒸馏水中使其溶解，之后取溴化钠 NaBr 也溶解于蒸馏水中，紧接着，在避光的环境条件下，把溴化钠溶液缓慢地添加到硝酸银溶液里，同时持续不断地进行搅拌，一直到生成淡黄色沉淀为止，借助离心操作把沉淀和溶液分离开来，再用去离子水多次对其进行洗涤，来去除残留的硝酸钠 NaNO₃。经过洗涤的沉淀在暗室中被放入烘干箱，将烘干箱温度设置为 100℃进行烘干处理，直至样品达到完全干燥的状态，把干燥后的样品取出。

(3) 复合物制备：精确称取 2.0 克研磨至 200 目的 MgAl-LDH 粉末，加入 100 毫升温度为 60℃的二次煮沸去离子水，并在搅拌条件下迅速搅拌 60 分钟。随后，称取适量的硝酸银 AgNO₃，加入到 MgAl-LDH 分散体系中，在暗光条件下，于恒温 60℃下剧烈搅拌 60 分钟。接着，以 Ag: Br=1: 1.2 的摩尔比逐滴加入溴化钠 (NaBr) 溶液，使得溶液中生成 AgBr 纳米颗粒。当滴加完成后，继续搅拌 20 分钟，并在搅拌过程中利用氙灯照射 30 分钟，将部分 Ag⁺还原为 Ag。使用去离子水和无水乙醇对反应液进行离心并清洗 3 至 4 次，将所得固体样品放入烘干箱，在 80℃条件下烘干至完全干燥，收集样品，最终制得 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料。

2.2 催化剂表征

通过对 MgAl-LDH、AgBr 和 Ag@AgBr/MgAl-LDH 进行 XRD 分析，观察样品的组成结构；通过对 MgAl-LDH、AgBr 和 Ag@AgBr/MgAl-LDH 进行 SEM 分析，观察样品的形貌特征；通过对 MgAl-LDH、AgBr 和 Ag@AgBr/MgAl-LDH 进行紫外-可见漫反射分析，确定样品的禁带宽度。

2.3 催化剂性能测试

取 0.10g Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合光催化材料

于 100ml 的 0.01g/L 亚甲基蓝溶液中。经 0.5h 暗反应后, 打开卤钨灯在模拟自然光的条件下 2h 光反应。在此期间, 每 0.5h 取一次样, 经离心后取上层清液。通过设置扫描范围为 400-800nm、扫描速度为 1nm/s, 对不同修饰量下的 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合光催化材料进行光谱扫描, 并根据下列式 (2-1) 计算样品的降解率。计算公式如下:

$$\text{样品降解率} = \frac{C - C_0}{C} \times 100\% \quad (2-1)$$

其中, C_0 为光反应刚开始时的吸光度数据; C 为光反应结束后的吸光度数据。

3 实验结果与讨论

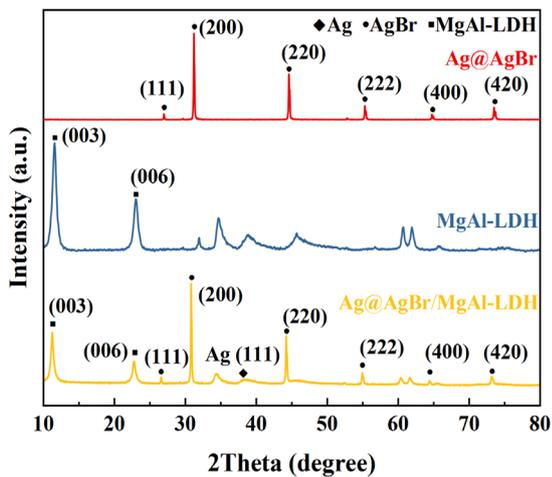
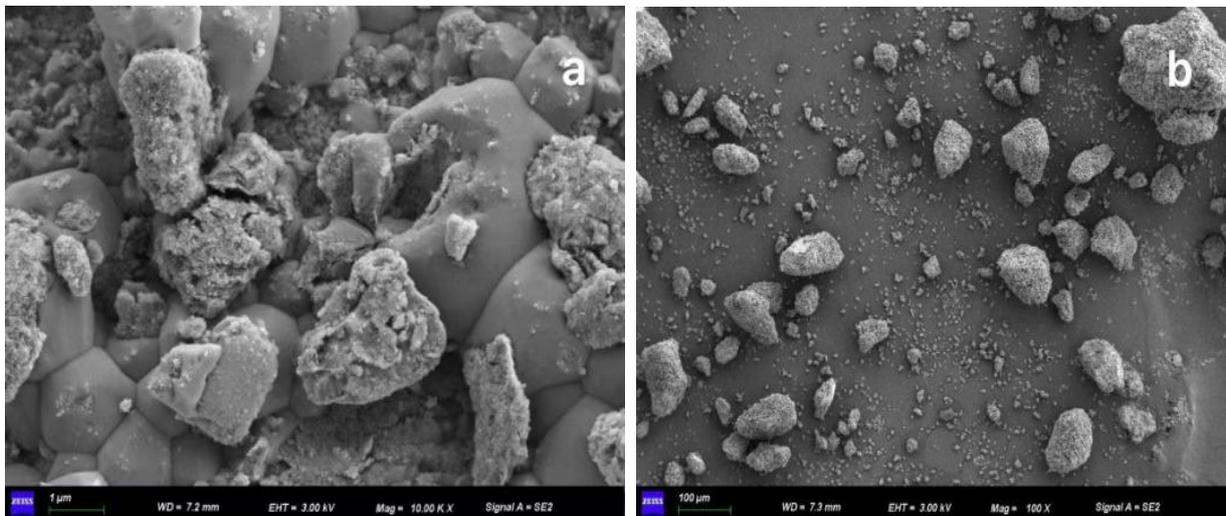


图 1 AgBr、Ag@AgBr/MgAl-LDH 和 MgAl-LDH 的 XRD 图

图 1 展示了 AgBr、MgAl-LDH 以及 Ag@AgBr/MgAl-LDH 三种材料的 XRD 图谱。从图谱中可以看出, 在 2θ 角度为 11.8° 和 23.5° 处,

Ag@AgBr/MgAl-LDH 展现出了与 MgAl-LDH 相同的衍射峰, 分别对应于 (003) 和 (006) 晶面, 这与标准 PDF 卡片 (PDF#89-0460) 中的特征峰高度一致。此外, 在 2θ 角为 33.6° 、 44.5° 、 64.8° 和 73.8° 时, 还出现了与 AgBr 相关的衍射峰, 对应的晶面分别为 (200)、(220)、(400) 和 (420), 这些峰值与标准 AgBr PDF 卡片 (PDF#84-1752) 中的数据相符。AgBr、MgAl-LDH 以及 Ag@AgBr/MgAl-LDH 三种不同的物质对应着三种不同的衍射峰, 其中 Ag@AgBr/MgAl-LDH 的衍射峰中部分峰分别与 AgBr、MgAl-LDH 的衍射峰高度相似。由此可以得出结论, Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料中成功引入了 AgBr, 并且保留了 MgAl-LDH 和 AgBr 各自的晶体结构特征。复合材料的 XRD 图谱中衍射峰形状锐利且清晰, 表明该复合材料的结晶度较高, 且具有良好的结构稳定性。

图 2 展示了 MgAl-LDH、AgBr 以及 Ag@AgBr/MgAl-LDH 的扫描电子显微镜图像。图 (a) 展示了 MgAl-LDH 的表面形貌, 其层状结构特征清晰可见, 片状堆叠呈现规则而平整的形态。图 (b) 展示了 AgBr 的扫描电镜图像, 其中可见大量纳米颗粒的聚集, 颗粒之间呈现不规则团聚的形态。图 (c) 和图 (d) 展示了 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料的电镜图像, 从图中可以看到 AgBr 颗粒均匀地分布在 MgAl-LDH 的层状结构表面, 表明两者结合良好。通过这些观察可以确认, AgBr 已成功负载于 MgAl-LDH 的表面, 并且复合材料在微观层面展现出良好的分散性和结构一致性, 为后续光催化性能的研究提供了必要的微观结构支持。



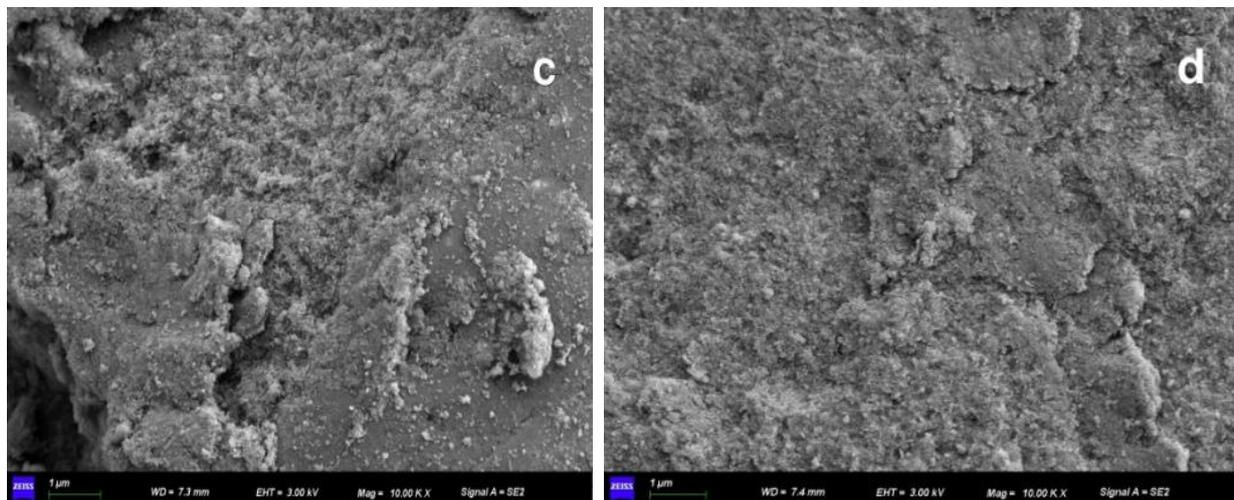


图 2 为样品的电镜扫描图。其中 (a) 为 MgAl-LDH 的电镜扫描图；(b) 为 AgBr 的电镜扫描图；(c)、(d) 为 Ag@AgBr/MgAl-LDH 的电镜扫描图

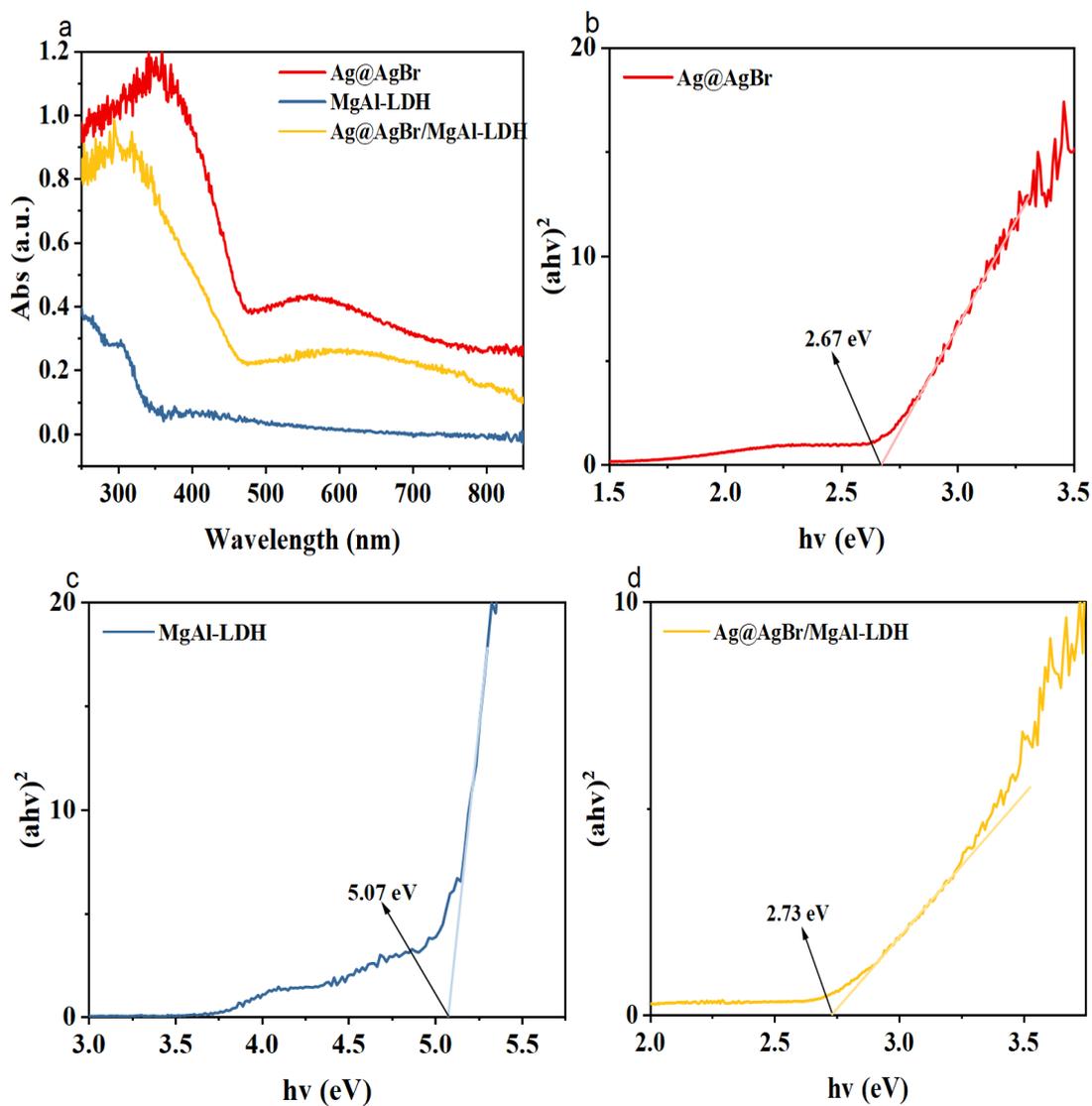


图 3 中图 (a) 三种样品的紫外-可见漫反射图；图 (b) Ag@AgBr 的 UV-vis 图；图 (c) MgAl-LDH 的 UV-vis 图；图 (d) Ag@AgBr/MgAl-LDH 的 UV-vis 图

图 3 展示了 MgAl-LDH、Ag@AgBr/MgAl-LDH 和 Ag@AgBr 的紫外-可见漫反射光谱, 测试波长范围为 200–800 nm。MgAl-LDH 对该范围内光的吸收能力最弱; 而经 Ag@AgBr 修饰后的复合材料 Ag@AgBr/MgAl-LDH 显著提升了对可见光区域的吸收能力, 表明溴化银的引入改善了镁铝水滑石的光响应性能。

Ag@AgBr/MgAl-LDH 中, Ag@AgBr 与 MgAl-LDH 形成异质结结构, 二者导带、价带能级存在差异, 光照下 Ag@AgBr 激发产生的光生电子可快速转移至 MgAl-LDH 的导带, 有效抑制电子-空穴对复合。载流子分离效率的提升减少了光生载流子的非辐射复合损耗, 使得更多光子能量被用于载流子激发, 表现为吸收强度的增强。此外, Ag@AgBr 本身的窄禁带特性使其对可见光的吸收范围宽于 MgAl-LDH, 其引入进一步拓展了复合材料的光响应范围, 导致了吸收强度显著提升。

根据吸收边的外推法, 利用公式 $(\alpha h\nu)^{1/2} = B(h\nu - E_g)$, 大概计算了三者的禁带宽度。结果显示, MgAl-LDH 的带隙为 5.07 eV, Ag@AgBr/MgAl-LDH 为 2.73 eV, Ag@AgBr 为 2.67 eV, 说明其光响应能力有了实质提升。

Ag@AgBr 的引入有效减小了复合物的能带宽度, 提高了其对自然光的吸收能力, 可见光条件下的光催化降解反应提供了良好基础。

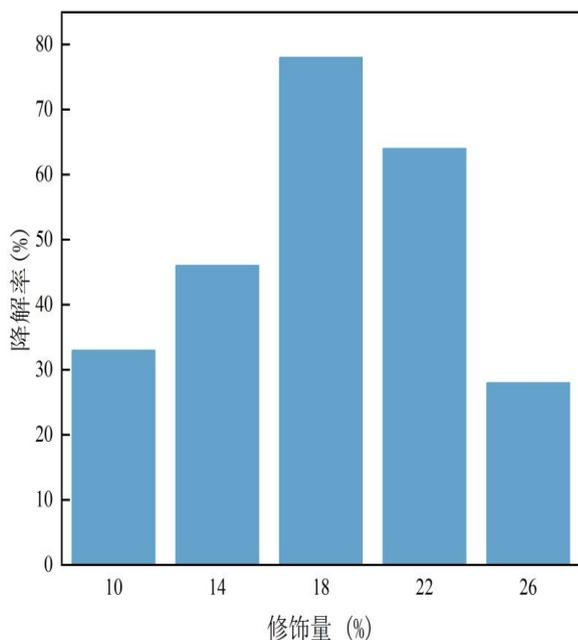


图 4 不同修饰量下复合物 Ag@AgBr/MgAl-LDH 对亚甲基蓝的降解率

图 4 呈现出在不同 AgBr 修饰比例情形下, Ag@AgBr/MgAl-LDH 针对亚甲基蓝溶液的光催化降解效果, 实验过程里, 挑选了 10%、14%、18%、22%、26% 这五种 AgBr 添加量来做对比分析, 随着 AgBr 含量渐渐增加, 复合材料的催化性能呈现出先提高而后减弱的态势。在所有修饰量当中, 当 AgBr 添加量为 18% 时, 降解效率达到最高, 大约为 78%。

随着 AgBr 含量不断增加, 其催化性能起初呈现出提升态势, 之后便开始下降, 当 AgBr 添加量达到 18% 的时候, 降解效率达到了最高水平, 大约为 78%, 这样的变化和复合材料里电子以及空穴的分离与迁移效率有着十分紧密的联系, 在 AgBr 进行适量修饰的情况下, 它可帮助电子和空穴实现有效的分离, 减少电子复合的现象, 以此来提高催化效率。然而随着 AgBr 添加量持续增加, 水滑石表面有可能出现 AgBr 分布不均匀的情况, 造成局部聚集效应, 对电荷的有效转移产生抑制作用, 最终使得催化活性降低。

基于此进行推测可知, AgBr 的负载量对于复合材料的光催化性能会产生一定影响, 在本实验所设定的条件当中, 18% 这一比例乃是最优的修饰比例, 该比例可达成较高的光催化降解效率。

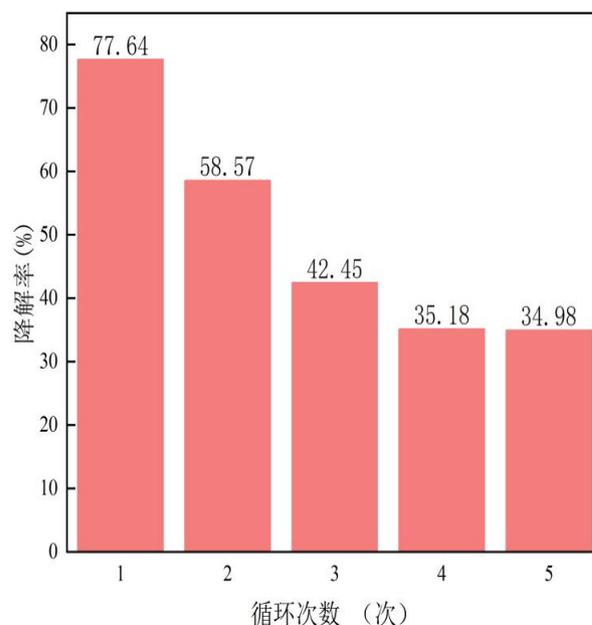


图 5 18%-Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合光催化材料降解 MB 的循环实验

为评估 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料在最佳修饰比例条件下的重复使用性能, 进行了对亚甲基蓝 (MB) 溶液的多轮降解测试, 结果如图 5 所示。

从图中可以看出, 该材料的降解效率随着循环次数的增加出现了明显下降, 尤其在第四轮反应后, 其降解率仅维持在 35%左右, 趋于稳定。这说明该复合材料在连续使用过程中, 光催化活性存在一定程度的衰减。

结合对文献和实验现象的分析, 这种现象的原因可能如下: 一方面, 材料在导致其活性降低的多个反应过程中遭受物理损失或结构损坏, 另一方面, 由于该复合材料本身的宽度, 自然光吸收能力受到限制, 长期使用后的光响应能力降低, 影响其与染料分子的反应效率, 最终导致降解性能的整体降解。

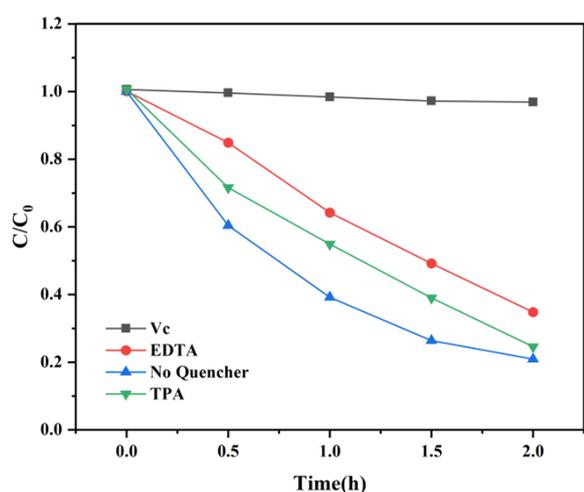


图 6 18%-Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合光催化材料的淬灭实验

为深入剖析在最佳修饰比例情形下, Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料于光催化降解亚甲基蓝进程中所涉及的主要活性物种, 本研究开展了自由基捕获实验, 该实验分别选用异丙醇、抗坏血酸以及乙二胺四乙酸作为捕获剂, 用以捕捉羟基自由基、超氧自由基和空穴, 图 6 呈现出了相关实验的光催化性能测试结果。

从图中可明显观察到, 当在体系里添加 IPA 或者 EDTA-2Na 的时候, 复合材料的光催化活性所产生的变化并不较大, 降解效率几乎没有出现改变, 然而, 当加入 Vc 后, 亚甲基蓝的降解效果有了较为十分突出的减弱, 反应效率也出现了一定程度的下降, 这样的现象充分说明, 超氧自由基在光催化过程当中发挥着主导性的作用, 而·OH 和 h^+ 所产生的影响相对而言较小。借助对这些实验数据展开分析, 明晰了在该复合材料的降解机制里, 活性物种的作用路径以及关键性。

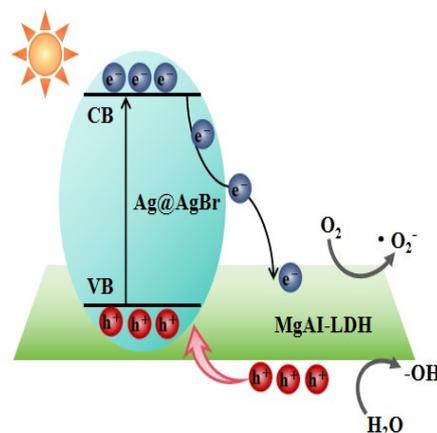


图 7 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合光催化剂在降解 MB 中的电荷转移及实验机理图

本研究借助 Ag@AgBr 和 MgAl-LDH 这两种光催化材料的协同作用, 来提高光催化反应的效率, 溴化银即 AgBr 和镁铝水滑石即 MgAl-LDH 在光照条件下, 分别会产生电子和空穴对, 这些处于激发态的电子和空穴参与到降解反应中, 可有效地分解水中的有机污染物, 像亚甲基蓝即 MB 这种有机染料。Ag@AgBr 作为复合材料的光吸收部分, 在可见光照射时, AgBr 的电子会从价带跃迁到导带, 形成电子-空穴对, MgAl-LDH 在其导带和价带之间同样会生成电子和空穴, 由于 MgAl-LDH 有层状结构的特性, 它可有效地促进电子与空穴的分离以及迁移。此特性使得 MgAl-LDH 与 Ag@AgBr 之间产生了协同效应, 提升了光催化反应的效率, MgAl-LDH 的空穴即 h^+ 与水分子发生反应生成羟基自由基·OH, 而导带中的电子即 e^- 与氧分子反应生成超氧化物阴离子即·O₂⁻, 这两种活性物种在光催化过程中发挥着极为关键的作用, 可有效地破坏亚甲基蓝分子, 实现将其降解为无害的小分子, 比如水和二氧化碳, 达成水质净化的目的。Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料有层状结构, 这种结构提高了该材料对可见光的响应能力, 同时提升了其催化效率, AgBr 吸收可见光后会生成电子-空穴对, MgAl-LDH 凭借自身层状结构, 可有效促使电子和空穴分离, 并且降低电子-空穴复合的速率, 如此一来大幅提高了整个光催化过程的效率。在 Ag@AgBr 区域中, 溴离子起到了关键作用, 它促进了电子的转移, 还为反应提供了必要的电子支持, 提高了反应的稳定性与持续性。

该研究结果显示, Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材

料有较强的光催化降解能力, 在对难降解的有机污染物以及染料进行降解时呈现出优良性能, 借助对可见光的有效运用, Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料可迅速降解亚甲基蓝等有机污染物, 为水处理领域, 针对水体中有机染料污染的处理提供了新的技术途径。而且这种复合材料的稳定性以及可重复使用性使其在实际应用中呈现出广阔前景, 在环境污染治理、废水处理等方面。

4 结论

本研究运用水热法合成了镁铝水滑石也就是 MgAl-LDH, 之后采用溴化银即 AgBr 对其进行表面修饰, 制备出了 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合光催化材料, 借助 X 射线衍射也就是 XRD、扫描电子显微镜也就是 SEM 以及紫外-可见漫反射光谱也就是 UV-Vis, DRS 等表征手段, 对复合材料的晶体结构、形貌以及光学特性展开了系统分析。把亚甲基蓝溶液当作模拟有机污染物, 研究了 Ag@AgBr/MgAl-LDH 复合材料在自然光照射下的光催化降解效果, 实验结果说明, 当 AgBr 的修饰比例达到 18% 的时候, 复合材料呈现出最佳的光催化降解性能, 在 2 小时之内, MB 的降解率达到了 78%, 凭借淬灭实验, 证实了超氧自由基也就是 $\cdot O_2^-$ 在降解过程中发挥了主导作用。另外循环实验显示, 复合材料经过五次使用之后, 依旧可保持较高的光催化降解能力, 结合实验数据和表征结果, 本文剖析了 Ag@AgBr/MgAl-LDH 在自然光照射下降解染料废水的电荷转移过程与反应机制。

为克服 MgAl-LDH 较大禁带宽度带来的限制, 研究人员借助掺杂改性等方法, 提高了它的光催化性能, 随着技术持续优化, MgAl-LDH 有望在材料阻燃、医疗卫生以及记忆材料等多个领域获得广泛应用, 并且凭借其出色的可调性能, 在废水处理等环保领域发挥关键作用, 为全球水资源的高效利用给予有力支撑。

参考文献

[1] 宋小伟. 有机污染物降解方法研究[J]. 山西化工, 2022,

42(03):356-357.

- [2] 韩媛媛. 水滑石类光催化剂的制备及其印染废水处理性能研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2019.
- [3] 毛一铮. 光催化技术在室内空气净化中的研究进展[J]. 山西化工, 2024, 44(03):30-32.
- [4] 张帅. 镁铝水滑石材料吸附去除水中溶解硅的效能与机理研究[D]. 山东师范大学, 2025.
- [5] 张灏昱, 张霞, 彭利满, 等. 复合半导体纳米材料在光催化领域应用的研究进展[J]. 现代化工, 2023, 43(S2):36-41+47.
- [6] 张俊. 新型水滑石催化剂的制备工艺研究[J]. 重庆三峡学院学报, 2009, 25(117):85~88.
- [7] 陈博, 郭俊伟, 肖尧, 等. 水滑石类材料光催化降解有机污染物研究进展[J]. 科技创新与生产力, 2023, 44(08):71-73.
- [8] 孙玉. 低温等离子体处理印染废水的效能及机理研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [9] 赵宁, 廖立兵. 水滑石类化合物及其制备、应用的研究进展[J]. 材料导报, 2011, 5(25):543~548.
- [10] McMahon J M, Schatz G C, Gray S K. Plasmonics in the ultraviolet with the poor metals Al, Ga, In, Sn, Tl, Pb, and Bi[J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2013, 15(15): 5415-5423.
- [11] 朱炳生. AgBr/C3N5 复合材料可见光去除无机废水中氨氮[J]. 日用化学工业(中英文), 2024, 54(12):1473-1480.
- [12] Niu L, Hu Y, Hu H, et al. Kitchen-waste-derived biochar modified nanocomposites with improved photocatalytic performances for degrading organic contaminants[J]. Environmental Research, 2022, 214 : 114068.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS