

Adsorption characteristics of azo dyes in dyeing wastewater by graphene oxide modified magnesium hydroxide

Hui Gao Ning Wang

Heilongjiang Institute of Industry, Jixi, Heilongjiang, 158100, China

Abstract

The study on the adsorption properties of azo dyes in dyeing wastewater using graphene oxide-modified magnesium hydroxide materials demonstrated excellent adsorption performance. This study involved synthesizing graphene oxide-modified magnesium hydroxide and analyzing its surface properties. Adsorption experiments were conducted using different concentrations of azo dyes to evaluate the material's adsorption capacity, adsorption isotherms, and kinetics. The results indicated that graphene oxide-modified magnesium hydroxide has a high adsorption capacity, with the adsorption process conforming to the Langmuir adsorption isotherm. Additionally, the adsorption rate is relatively fast, making it suitable for practical wastewater treatment. This research provides a new type of adsorbent material for wastewater treatment and offers a theoretical basis for the development and application of graphene oxide-magnesium hydroxide composite materials.

Keywords

graphene oxide; magnesium hydroxide; azo dye; adsorption characteristics; wastewater treatment

氧化石墨烯改性氢氧化镁对印染废水中偶氮染料的吸附特性

高慧 汪宁

黑龙江工业学院, 中国 · 黑龙江 鸡西 158100

摘 要

氧化石墨烯改性氢氧化镁材料在印染废水中偶氮染料的吸附特性研究中展现了良好的吸附效果, 本研究根据合成氧化石墨烯改性氢氧化镁并对其表面性质进行分析, 利用不同浓度的偶氮染料进行吸附实验, 考察了该材料的吸附能力、吸附等温线和动力学特性。结果表明氧化石墨烯改性氢氧化镁具有较高的吸附能力, 吸附过程符合Langmuir吸附等温线, 并且吸附速度较快适合于实际废水处理, 该研究为废水处理提供了一种新型的吸附材料, 也为氧化石墨烯与氢氧化镁复合材料的开发应用提供了理论依据。

关键词

氧化石墨烯; 氢氧化镁; 偶氮染料; 吸附特性; 废水处理

1 引言

印染废水中含有大量的有害染料, 特别是偶氮染料, 给水体和环境带来严重污染, 现有的废水处理方法存在处理效率低、成本高等问题, 氧化石墨烯因其优异的吸附性能在水处理领域得到了广泛关注, 而氢氧化镁作为一种低成本且高效的吸附材料, 具有良好的环境友好性, 将氧化石墨烯与氢氧化镁结合能进一步提升其吸附性能, 提供了一种新的废水处理技术。研究氧化石墨烯改性氢氧化镁对印染废水中偶

氮染料的吸附特性, 有助于开发高效、经济的水处理材料促进废水处理技术的进步。

2 氧化石墨烯的制备与特性

氧化石墨烯的制备方法多种多样其中最常用的是 Hummers 法, 该方法利用强氧化剂将石墨的表面氧化为含有羧基、羟基和环氧基等官能团的氧化石墨烯, 这些氧化官能团除了能提高石墨烯的亲水性, 还增强了其与其他物质的相互作用, 氧化石墨烯的表面含有丰富的氧化官能团, 这些官能团能有效吸附水中的有机污染物, 并提供更多的反应位点这使得氧化石墨烯在水处理中的应用得到了广泛关注^[1]。氧化石墨烯的物理性质表现在其大比表面积、优异的导电性和机械强度等方面, 氧化石墨烯的比表面积通常可以达到 1000 m²/g 以上, 这使其在吸附领域具有显著优势。基于此氧化石墨烯的二维结构使其在与其他材料复合时具有较好的界面结合能力, 氧化石墨烯改性后能根据引入不同的功能

【基金项目】依托黑龙江省省属本科高校基本科研业务费项目《石墨烯基纳米复合材料的制备及对印染废水的吸附性能研究》。

【作者简介】高慧(1989-), 女, 满族, 中国河北保定人, 本科, 工程师, 从事地质资源环保研究。

基团进一步优化其吸附性能以及催化性能。改性后的氧化石墨烯通常表现出更强的亲水性和更高的吸附效率，尤其是在吸附水中溶解的有机染料时具有较高的选择性。

3 氢氧化镁的吸附性能

3.1 氢氧化镁的吸附机理

氢氧化镁的表面含有丰富的氢氧根离子，这些氢氧根离子能与水中的染料分子形成离子交换反应实现对染料分子的吸附，氢氧化镁的表面还具有一定的比表面积，这为染料分子提供了更多的吸附位点，由于氢氧化镁在水中具有较好的稳定性和较强的吸附能力，其吸附作用不仅仅局限于离子交换，还包括静电作用以及氢键作用和范德华力等，静电作用在吸附过程中起到了重要的作用，尤其是在吸附带有负电荷的染料时，氢氧化镁表面的正电荷能与染料分子的负电荷产生较强的吸引力，基于此氢氧化镁表面丰富的羟基和氢氧根离子能与染料分子中的官能团发生氢键作用进一步提高其吸附性能^[2]。氢氧化镁的吸附机理还受到其物理形态的影响，氢氧化镁通常以微米或纳米级颗粒存在，较大的比表面积和细小的颗粒尺寸使得其具有更高的吸附活性。纳米氢氧化镁相比于微米级氢氧化镁更容易与水中的溶质发生相互作用，且其更大的表面能量使其在吸附过程中表现出更好的性能。基于此氢氧化镁表面可能存在一些孔隙，这些孔隙为染料分子的进入提供了通道增强了其吸附能力。

3.2 氢氧化镁的吸附特性研究

氢氧化镁的吸附特性与其物理化学性质、吸附环境以及吸附物质的性质密切相关，氢氧化镁在处理印染废水时，能显著降低水中的染料浓度，这一过程中吸附量与溶液的 pH 值、温度、染料浓度以及氢氧化镁的投加量等因素密切相关。氢氧化镁的吸附性能受 pH 值的影响较大，一般而言氢氧化镁在碱性环境中表现出更好的吸附效果。其吸附容量随着 pH 值的升高而增加，主要是在碱性条件下氢氧化镁表面氢氧根离子的浓度增大，增强了与水中有机物的相互作用。酸性或中性条件下氢氧化镁的吸附能力较弱，部分原因是氢氧化镁表面的氢氧根离子在酸性条件下容易被中和降低了其吸附能力^[3]。氢氧化镁的吸附特性还受到温度的影响，在较低温度下氢氧化镁的吸附容量通常较高表明吸附过程是一个放热反应，随着温度的升高氢氧化镁的吸附容量出现下降趋势，这与吸附过程中的物理吸附特性有关。温度升高会使染料分子的动能增大不利于染料分子与氢氧化镁表面结合，降低了吸附效率，染料浓度也是影响氢氧化镁吸附性能的重要因素。低浓度下氢氧化镁的吸附能力随着染料浓度的增大而增加，但当浓度达到一定值后，吸附容量趋于平衡表明吸附已达到饱和状态。基于此氢氧化镁的颗粒大小、表面特性及其与其他材料的复合方式也会对其吸附性能产生影响，纳米级氢氧化镁由于其较大的比表面积和更多的活性位点，通常表现出较高的吸附能力^[4]。

4 氧化石墨烯改性氢氧化镁的吸附特性

4.1 改性材料的吸附实验

为评估氧化石墨烯改性氢氧化镁对印染废水中偶氮染料的吸附性能，开展了多项实验研究，氧化石墨烯改性氢氧化镁的制备首先根据将氧化石墨烯与氢氧化镁粉末混合，在一定的条件下进行复合形成具有良好分散性的复合材料，改性氢氧化镁的表面亲水性显著提高，且氧化石墨烯的引入改善了材料的稳定性和吸附能力，接下来根据一系列吸附实验，研究了改性材料的吸附特性^[5]。吸附实验中使用不同浓度的偶氮染料溶液，分别测试了不同 pH 值、温度、时间和材料投加量对吸附性能的影响，在 pH 值的影响实验中发现改性氢氧化镁在中性至碱性条件下的吸附性能较好，特别是在 pH 7-9 之间表现出最佳的吸附效果，这与氢氧化镁和氧化石墨烯的表面电荷及表面官能团的相互作用密切相关，温度实验结果表明温度升高有助于提升吸附速率，但对吸附容量的影响较小表明该吸附过程主要为物理吸附。

吸附动力学实验进一步显示，改性氢氧化镁的吸附过程符合准二级动力学模型，且在 24 小时内达到吸附平衡，表明吸附过程较为迅速，吸附等温线实验中采用 Langmuir 模型和 Freundlich 模型对数据进行了拟合，Langmuir 模型拟合结果表明，改性氢氧化镁具有较高的最大吸附容量，并且吸附过程为单分子层吸附。Freundlich 模型的拟合表明，改性材料的吸附存在较强的异质性，表明其表面存在多种类型的吸附位点。实验数据进一步证明，氧化石墨烯的引入显著提高了氢氧化镁的吸附性能。改性氢氧化镁材料在相同条件下对偶氮染料的吸附量显著高于未改性的氢氧化镁^[6]。氧化石墨烯的高比表面积和良好的分散性增强了复合材料与染料分子的接触，使得吸附效率得到了显著提升。

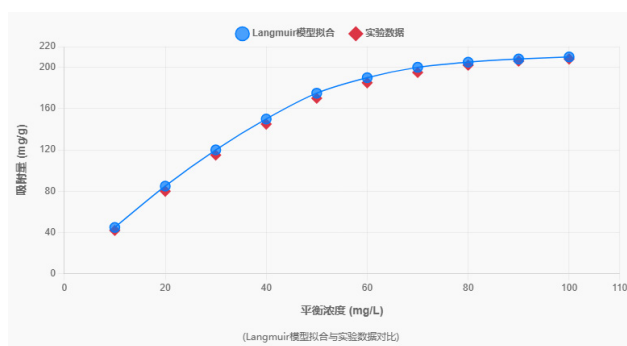


图 1 改性氢氧化镁对偶氮染料的吸附等温线

4.2 吸附等温线与动力学研究

氧化石墨烯改性氢氧化镁的吸附特性进一步根据吸附等温线与动力学模型的拟合来研究，在吸附等温线研究中改性材料对偶氮染料的吸附容量在一定浓度范围内呈现出明显的增加趋势，且随着浓度的提高趋于饱和，利用 Langmuir 和 Freundlich 吸附等温线模型对实验数据进行拟合，结果表明改性氢氧化镁在吸附偶氮染料时符合

Langmuir 模型, 吸附过程主要表现为单分子层吸附。拟合结果进一步确认了氧化石墨烯改性氢氧化镁在吸附过程中具有较高的吸附容量和较强的吸附亲和力。动力学研究进一步分析了吸附速率, 结果显示改性氢氧化镁的吸附过程在短时间内迅速达到吸附平衡, 符合准二级动力学模型表明吸附过程主要是化学吸附^[7]。早期阶段吸附速率较快随着时间的推移, 吸附速率逐渐减慢最终趋于平衡, 吸附过程的快速性与改性氢氧化镁的高比表面积及其表面官能团的多样性密切相关。

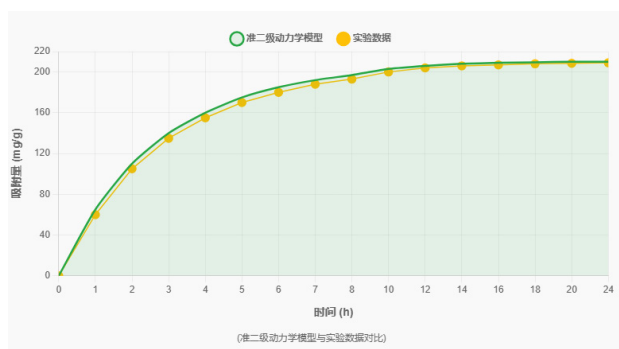


图2 改性氢氧化镁的吸附动力学曲线

4.3 吸附机制分析

氧化石墨烯的引入为氢氧化镁表面提供了更多的吸附位点, 这些位点包括氧化石墨烯表面的氧化官能团以及氢氧化镁表面的氢氧根离子, 染料分子根据静电吸引、离子交换、氢键作用等方式与复合材料表面发生相互作用从而实现吸附, 吸附过程中氧化石墨烯表面的氧化官能团(如羧基、羟基等)与染料分子中的官能团形成氢键作用, 增强了染料分子与材料表面的亲和力, 氢氧化镁的表面氢氧根离子能够与染料分子中的阳离子部分发生离子交换, 进一步增强了吸附能力。基于此氧化石墨烯与氢氧化镁之间的协同效应也显著提高了材料的吸附性能。氧化石墨烯的高比表面积和良好的分散性使得更多的染料分子能够与复合材料接触, 从而提高了吸附效率。氧化石墨烯改性氢氧化镁对偶氮染料的吸附主要受表面功能团、表面电荷和复合材料的微观结构影响, 在中性或弱碱性条件下, 改性材料表现出优异的吸附性能,

随着 pH 值的增加, 氢氧化镁表面氢氧根离子的浓度增大, 进一步增强了其与染料分子之间的相互作用^[8]。吸附等温线的结果表明氧化石墨烯改性氢氧化镁的吸附能力远高于未改性的氢氧化镁, 证明了氧化石墨烯在复合材料中发挥了重要的作用。

5 结论

本研究表明, 氧化石墨烯改性氢氧化镁在吸附印染废水中偶氮染料方面具有显著的性能, 改性材料结合了氧化石墨烯和氢氧化镁的优点, 增强了吸附能力展现出良好的稳定性和高效的去除效果。吸附实验结果表明材料在中性至碱性条件下具有最佳的吸附性能, 且吸附过程符合准二级动力学和 Langmuir 等温线模型。研究结果为氢氧化镁改性材料的实际应用提供了理论支持, 特别是在水处理领域具有广泛的应用前景。未来的研究可进一步探讨改性材料的规模化应用及其在其他有机污染物吸附中的表现。

参考文献

- [1] 刘其名,李敏,郑娅楠,等.氧化石墨烯改性涂层的制备及其对混凝土性能的影响[J].居业,2025(05):163-165.
- [2] 刘强,程鑫,游波.植酸-硅烷改性氧化石墨烯/聚天门冬氨酸酯复合涂层的构筑及其防腐蚀机理[J].腐蚀与防护,2025,46(05):15-23.
- [3] 阮世诚,伍林,刘盈,等.改性氧化石墨烯/聚苯胺复合材料增强水性聚氨酯涂层防腐抗静电性能研究[J/OL].化工新型材料,1-9[2025-06-25].
- [4] 曹伟娜,周玉庆,王毅凡,等.改性氧化石墨烯对GO/PLA复合膜性能的影响[J].塑料,2025,54(02):57-62.
- [5] 廖铖,高江林,胡松涛,等.氧化石墨烯改性高流动水泥基注浆性能及机理研究[J].混凝土,2025(03):186-192.
- [6] 刘琴宝,赵艳,高宏刚,等.氧化石墨烯改性沥青的流变及自愈合性能的影响(英文)[J].材料科学与工程学报,2025,43(01):80-89.
- [7] 赵晓芳.功能化氧化石墨烯改性酚醛树脂复合材料的制备及性能研究[J].塑料科技,2025,53(01):88-90.
- [8] 李双喜,党杰,王子起,等.硅烷偶联剂改性氧化石墨烯/氢氧化镁复合材料在高温高载工况下的摩擦特征[J].化工进展,2024,43(12):6862-6872.