

Analysis on the Biological Adsorption Technology and Treatment Effect of Heavy Metal Pollution in Industrial Wastewater

Pengsheng Du

Sichuan Yunkun Environmental Technology Consulting Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract

The paper conducted an in-depth study on the treatment of heavy metal pollution in industrial wastewater, with a focus on biological adsorption and adsorption technologies for agricultural and forestry waste. Through specific case analysis, the efficiency and feasibility of these two technologies in removing heavy metal ions from wastewater were verified. Among them, biological adsorption technology has shown broad prospects in the treatment of complex industrial wastewater due to its advantages of environmental protection, low cost, and strong selectivity. Agricultural and forestry waste adsorption technology has achieved low-cost and high-efficiency heavy metal wastewater treatment through resource utilization of waste. Moreover, the research results of this paper not only provide new ideas and theoretical basis for heavy metal wastewater treatment, but also contribute to promoting ecological environment protection and sustainable development.

Keywords

heavy metal wastewater; biological adsorption technology; agricultural and forestry waste; adsorbent; governance effectiveness

工业废水中重金属污染的生物吸附技术与治理效果分析

杜鹏生

四川云焜环境技术咨询有限公司, 中国·四川成都 610041

摘要

论文深入研究了工业废水中重金属污染的治理问题,重点探讨了生物吸附与农林废弃物吸附技术,还通过具体案例分析验证了这两种技术在去除废水中重金属离子方面的高效性和可行性。其中,生物吸附技术凭借环保、低成本及强选择性等优势在复杂工业废水处理展现出广阔前景,农林废弃物吸附技术通过资源化利用废弃物实现了低成本、高效益的重金属废水治理,而且论文的研究结果既为重金属废水治理提供了新思路 and 理论依据,也为推动生态环境保护 and 可持续发展做出了贡献。

关键词

重金属废水; 生物吸附技术; 农林废弃物; 吸附剂; 治理效果

1 引言

在如今工业化进程加快的这个背景下,工业废水排放导致的重金属污染问题越来越严重了,对生态环境和人类健康带来了很大威胁。像铅、镉、铬这些重金属,有着难降解、容易累积以及高毒性的特点,它们一旦进到水里,就会顺着食物链逐步放大,最后对生态平衡和生物安全产生影响。寻找高效、经济环境友好的重金属废水治理技术就成为环境保护领域的研究热点。生物吸附技术作为一种新出来的废水处理技术,凭借它原材料来源广、成本低、环境友好还有选择性强等优势,逐渐被国内外学者广泛关注。这个技术是利用生物体或者其衍生物当作吸附剂,通过物理、化学或者生物

过程把废水中的重金属离子吸附并富集起来,这样就能达到净化水质的目的。论文就是要深入探讨工业废水中重金属污染的生物吸附技术,通过分析不同生物吸附剂的特点以及它们在实际应用中的治理效果,给重金属废水的高效处理提供理论依据和技术支持,也为促进生态环境保护 and 可持续发展出一份力。

2 生物吸附技术原理

生物吸附技术是一种创新的废水处理方法,核心是利用生物体或其衍生功能性材料作吸附剂来高效捕获与固定废水中重金属离子,这一技术原理在于生物体表面或内部有多种活性基团如羧基、羟基、氨基、磷酸基等能与重金属离子发生螯合、离子交换、络合、微沉淀等相互作用实现重金属有效去除。其过程通常包括吸附剂选择与预处理、吸附条件优化以及吸附-解吸循环等关键步骤,在吸附剂选择上,

【作者简介】杜鹏生(1988-),男,中国山西长治人,硕士,工程师,从事环境保护与治理研究。

自然界广泛存在的微生物如细菌、真菌、藻类，农业废弃物如稻壳、玉米芯，工业副产物如粉煤灰、赤泥以及经过特定改性的生物材料都有良好重金属吸附潜力，这些吸附剂经物理或化学方法预处理后表面性质改善、吸附能力提升，在吸附过程中吸附剂与废水中重金属离子接触发生一系列复杂化学反应形成稳定化合物或络合物从而将重金属从水相转移至固相，且吸附条件如 pH 值、温度、接触时间、重金属初始浓度、共存离子等都会对吸附效果产生显著影响需通过实验设计优化这些参数实现最佳重金属去除效率。该技术不仅高效、环保，其吸附剂饱和后还可通过适当解吸处理再生利用降低处理成本符合可持续发展理念^[1]。

3 应用实例

3.1 藻类吸附实例

以某电镀厂排放的含镍废水处理为例，研究团队精心筛选出具有丰富官能团的褐藻作吸附剂，在实验时通过调节废水 pH 至最适范围、控制适当温度与搅拌速度来确保吸附过程顺利进行，结果显示在接触时间为 48h 的条件下，褐藻对镍离子的吸附效率达 98%，远超传统化学沉淀法，这高效吸附能力是因褐藻细胞壁上羧基、羟基等活性基团与镍离子强相互作用形成稳定络合物从而实现镍离子有效去除。为验证该技术实际应用潜力，研究团队还做了连续流实验，在模拟工业废水处理系统中用固定床反应器装载褐藻吸附剂并连续通入含镍废水，运行一段时间后系统出水镍离子浓度稳定低于国家标准，且吸附剂再生性能良好，简单处理就能重复使用，大大降低了处理成本，这一实例展示了藻类吸附技术在重金属废水处理中的高效性和经济性，为该技术工业化应用提供了有力支持。藻类吸附如图 1 所示。

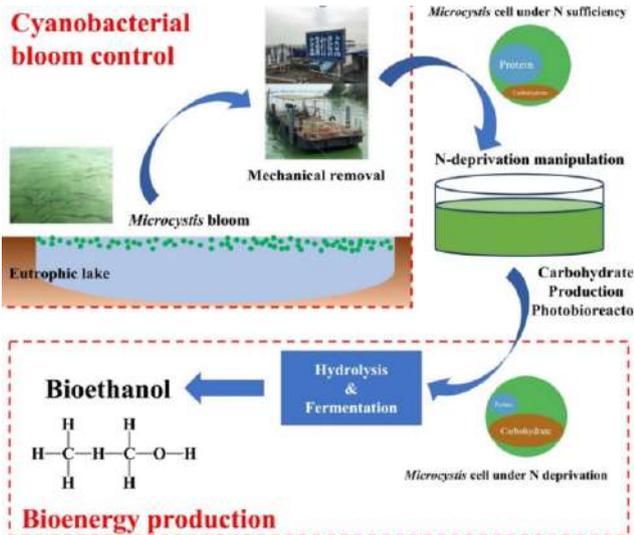


图 1 藻类吸附示例图

3.2 微生物吸附实例

有两个具体案例，一个来自有色金属冶炼厂，另一个来自纺织印染行业，这很好地展示了该技术在实际应用中的

高效性和可行性。首先说某有色金属冶炼厂，它在生产过程中产生的废水富含铜、铅等重金属离子，浓度远超国家排放标准，对周边环境威胁严重，面对这种情况，研究团队引入了有高效重金属吸附能力的芽孢杆菌当吸附剂，经过精心筛选和优化培养，这菌种对废水中铜、铅离子有极强亲和力，尤其在设计的生物吸附系统里，其吸附效率大幅提升。该系统对铜离子去除率稳定在 95% 以上，对铅离子去除效果也很显著，这个案例不但解决了该冶炼厂废水处理难题，还验证了微生物吸附技术处理高浓度、多组分重金属废水的有效性，给类似工业废水治理提供了宝贵经验。纺织废水中常含铬、镉等有害重金属，这些重金属靠传统方法难有效去除，还易在处理时产生二次污染，所以研究人员选了一种能耐受且高效吸附这些重金属的酵母菌，通过固定化技术固定在特定载体上，构建成高效、稳定的生物吸附反应器，在实际应用中，这反应器对纺织废水中铬离子去除效率达 80% 以上，而且经过多次循环使用，其吸附性能也没明显下降，这成果不仅给纺织印染行业提供了可靠的重金属废水治理方案，还进一步拓展了微生物吸附技术的应用范围，展现出它在环保领域的巨大潜力^[2]。微生物吸附如图 2 所示。

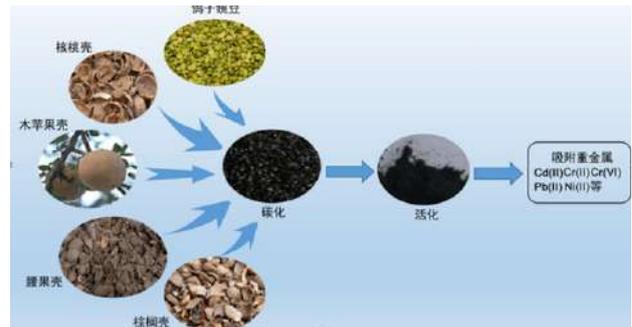


图 2 微生物吸附示例图

3.3 农林废弃物吸附实例

拿稻壳来说，这常见的农业废弃物，经过适当改性后，就显示出了对重金属离子很强的吸附能力；在某电镀厂废水处理项目里，研究人员用化学改性稻壳当吸附剂，通过调整 pH 值和接触时间这些参数，达成了对废水中镍、镉离子的高效去除，改性稻壳对镍离子去除率能达到 90% 以上，对镉离子也表现出不错的吸附效果，这个案例证明了农林废弃物在重金属废水治理里有潜在价值，为实现农业废弃物的资源化利用开辟了新途径。在制糖工业中，甘蔗渣是主要副产物之一，它丰富的纤维素结构和多孔性让它成为理想的吸附材料，某造纸厂废水处理站引入了甘蔗渣基吸附剂，针对废水中含有的铜、锌等重金属离子进行治理，通过优化像温度、搅拌速度之类的吸附条件，这些吸附剂显示出了较高的吸附容量和选择性，实际运行时，该处理系统不但有效降低了废水中重金属离子的浓度，还实现了废弃物的再利用，降低了治理成本，做到了经济效益与环境效益的双赢^[3]。

4 治理效果分析

4.1 评价指标与方法

吸附容量是衡量吸附材料性能的核心指标之一，能直接反映材料对目标污染物的吸附能力，像通过设定一系列不同浓度的污染物溶液，用静态吸附实验来测定吸附平衡时溶液中剩余污染物的浓度，再结合吸附前后的质量差计算出吸附容量，比如在评估活性炭对有机染料的吸附能力时，选取多种常见染料作为目标污染物，分别测定其在不同浓度下的吸附容量就能全面评估活性炭的广谱吸附性能。吸附速率也是一个不可忽视的评价指标，它和处理效率及实际应用中的可行性有关，像动态吸附实验如柱实验能模拟实际流动条件下的吸附过程，通过监测出水水质随时间的变化来计算出吸附速率，比如某污水处理厂采用的新型生物吸附材料，通过构建小型试验装置，模拟实际污水处理流程，对比使用新型生物吸附材料前后的处理效率，发现其不仅显著提高了重金属离子的去除率，还缩短了处理周期并降低了运行成本。

4.2 实验设计与结果

首先选取具有代表性的铜离子作为目标污染物，配置不同初始浓度的铜离子溶液来模拟不同污染程度的废水环境，接着选取改性木屑作为吸附材料，通过预处理提升其表面活性和吸附位点数量，实验采用批量吸附法，在恒温水浴振荡器中控制反应温度和振荡速度以确保吸附过程充分进行，然后通过定时取样分析溶液中剩余铜离子浓度，再结合质量守恒原理计算吸附容量和吸附效率。随着初始铜离子浓度增加，改性木屑的吸附容量相应提高但吸附效率下降，可能是高浓度下吸附位点逐渐饱和和导致的。在初始浓度为100mg/L的铜离子溶液中，改性木屑展现出极高的吸附性能，吸附效率达5%以上且吸附过程在2h内基本达到平衡，表明该材料有快速高效的吸附能力。通过对比实验发现，改性木屑的吸附效果明显优于未改性木屑，进一步验证了化学改性对提升吸附性能的重要作用。

4.3 治理效果对比与分析

在探索高效治理工业废水中的重金属污染时，我们深入对比了植物修复技术和电化学处理技术的实际应用效果，

就拿一家电镀厂排放的含铬废水来说，我们分别实施了这两种治理方案，植物修复技术是选取对铬有强耐受性和积累能力的特定水生植物，靠其根系吸收和转运机制，把废水中的铬离子富集到植物体内来净化水质，而电化学处理技术是利用电解原理，在特定电场作用下，让废水中的重金属离子发生氧化还原反应，形成不溶性的金属沉淀物来实现污染物的去除。经过长时间运行和严格监测，我们发现植物修复技术在处理低浓度、大流量的含铬废水时显示出独特优势，这技术不但成本低廉、操作简便，还能同时美化环境、增加生物多样性，不过其处理效率相对较低，还受季节、气候等自然因素影响较大。相比起来，电化学处理技术虽说设备投资大，但处理效率极高，能在短时间内迅速降低废水中的重金属浓度，且处理效果稳定可靠，特别是在处理高浓度、小流量的废水时表现出色。通过优化电极材料和反应条件，还能进一步提高其处理效率和能源利用效率，这一对比分析不光加深了对不同治理技术特点的理解，也为实际工程中治理方案的选择提供了科学依据^[4]。

5 结语

综上所述，论文深入探讨了工业废水中重金属污染的生物吸附与农林废弃物吸附技术，通过具体案例分析验证了这些技术在治理重金属污染方面的有效性和可行性，其中生物吸附技术因高效、环保而展现出在复杂工业废水处理中的广阔前景，农林废弃物吸附技术通过资源化利用废弃物实现了低成本、高效益的重金属废水治理，未来随着技术不断进步和应用范围扩大，这些技术会在环境保护领域发挥更重要作用，为构建绿色、可持续生态环境贡献力量。

参考文献

- [1] 徐恒,刘颖逸.一种高效重金属生物吸附剂的制备方法及其对水体重金属污染的治理技术:CN201210153505.2[P].CN102658093A[2024-08-14].
- [2] 张建梅,韩志萍,王亚军.重金属废水的生物处理技术[J].环境工程学报,2003,4(4):75-78.
- [3] 曹文庚,王妍妍,张栋,等.工业废水去除重金属技术的研究现状与进展[J].中国地质,2023,50(3):756-776.
- [4] 董磊.浅谈工业废水处置中的废气治理技术[J].清洗世界,2023(12).