

# Research on the Removal and Recovery of Heavy Metal Ions from Wastewater Using Ion Exchange Resin Catalysts

Meili Zhao Weilei Guo Jinchu Mao

Kairui Environmental Protection Technology Co., Ltd., Cangzhou, Hebei, 061000, China

## Abstract

This study aims to use ion exchange resin catalysts to achieve efficient removal and recovery of heavy metal ions in wastewater. Through systematic research on different types of wastewater and heavy metal ions, we designed and optimized ion exchange resin catalysts with high selectivity and adsorption performance. The experimental results indicate that these catalysts exhibit good removal efficiency in wastewater treatment, effectively adsorbing target heavy metal ions and achieving their recovery. Taking into account factors such as the adsorption efficiency, selectivity, environmental friendliness, and process economy of the catalyst, this study provides an important theoretical basis and technical support for the application of ion exchange technology in wastewater treatment and resource recovery.

## Keywords

ion exchange; resin catalyst; wastewater; heavy metal ions; remove

# 利用离子交换树脂催化剂实现废水中重金属离子的去除与回收研究

赵美丽 郭为磊 毛进池

凯瑞环保科技股份有限公司, 中国·河北 沧州 061000

## 摘要

本研究旨在利用离子交换树脂催化剂实现废水中重金属离子的高效去除与回收。通过对不同类型的废水和重金属离子进行系统研究,我们设计并优化了具有高选择性和吸附性能的离子交换树脂催化剂。实验结果表明,这些催化剂在废水处理中表现出良好的去除效率,能够有效吸附目标重金属离子并实现其回收。综合考虑了催化剂的吸附效率、选择性、环保性以及工艺经济性等因素,本研究为离子交换技术在废水治理和资源回收领域的应用提供了重要的理论基础和技术支持。

## 关键词

离子交换; 树脂催化剂; 废水; 重金属离子; 去除

## 1 引言

随着工业化的快速发展,重金属污染问题日益严重,对生态环境和人类健康造成了严重威胁。因此,有效去除和回收废水中的重金属离子成为当前环境保护和可持续发展的关键任务之一。离子交换树脂催化剂作为一种高效、环保的处理技术,在废水中重金属离子的去除与回收方面展现出巨大的潜力和应用前景。

## 2 离子交换树脂催化剂的原理与特性

### 2.1 离子交换树脂的工作原理

离子交换树脂以其高分子骨架上带有的固定电荷功能

【作者简介】赵美丽(1979-),女,中国河北河间人,本科,工程师,从事离子交换树脂相关分析、色谱分析、废水相关分析研究。

团,通过静电作用吸附溶液中的相反电荷离子,实现离子的交换。在水处理过程中,这些树脂能有效地去除水中的重金属离子如铜、铅、汞等,以及某些有害的阴离子。实验数据显示,离子交换树脂对铜离子的去除效率可达90%以上,而对于铅离子也有超过85%的去除率。这种物理化学过程不仅效率高,而且反应速度快,是一种理想的水质净化技术。

### 2.2 离子交换树脂的选择性

离子交换树脂的重要特性是其对不同离子的选择性。这种选择性主要取决于树脂的功能团种类和结构,以及溶液中离子的浓度和电荷。例如,某些树脂对多价金属离子如铬、镍有很高的亲和力,而对单价离子如钠、钾的吸附能力较弱。研究表明,在含有多种金属离子的混合溶液中,树脂能够优先吸附浓度较低但毒性较大的重金属离子,从而实现高效的分离和去除。这种选择性使得离子交换树脂成为非常有用的环保材料,用于处理复杂的工业废水<sup>[1]</sup>。

## 2.3 离子交换树脂的再生与应用

离子交换树脂在使用一段时间后,会因为吸附饱和而失去活性。这时,树脂需要进行再生处理以恢复其交换能力。再生过程通常涉及使用强酸或强碱溶液,将吸附在树脂上的离子替换出来,使树脂重新获得活性。再生后的树脂可以循环使用,有效降低了处理成本。实际应用案例表明,经过5次以上的再生循环,树脂的去除效率仍可保持在80%以上。此外,离子交换树脂的高机械强度和化学稳定性保证了其在恶劣环境下的长期稳定运行,适用于各种规模的水处理系统<sup>[2]</sup>。

## 3 离子交换树脂催化剂在废水中重金属离子去除与回收的应用

### 3.1 重金属离子的去除

重金属污染一直是环境保护和人类健康领域中的严峻问题。重金属如铅、汞、镉和砷等,即便在低浓度下也可能对生态系统和人类健康构成严重威胁。例如,铅中毒会影响儿童大脑发育,导致智力下降;而镉的积累则可能导致肾脏损害。因此,从工业废水中有效去除这些重金属离子是至关重要的。根据世界卫生组织(WHO)的数据显示,工业排放限值标准中对铅离子浓度的限制为0.1mg/L,对镉的限制为0.003mg/L,表明了对重金属离子去除效率的严格要求。

利用离子交换树脂去除废水中的重金属已得到广泛应用。这种方法的核心在于树脂中的固定电荷吸引溶液中的相反电荷离子并进行交换。实验数据表明,特定型号的离子交换树脂能够将初始浓度为10mg/L的铅离子降至低于0.01mg/L,去除率超过99%。同样地,对于镉离子,某些树脂可以实现从1mg/L降至0.001mg/L以下,达到近99%以上的去除效率。这样的性能表现充分证明了离子交换树脂在重金属去除方面的高效性。除了提高去除效率外,离子交换树脂还具有出色的选择性,能针对特定的重金属离子进行定向去除。此点在多组分的工业废水处理中显得尤为重要。通过调整树脂的化学结构和交联度,可以优化其对不同重金属离子的选择性和吸附能力。此外,使用后的树脂经过适当的化学试剂处理,如盐酸或硫酸钠溶液,可以进行再生并重复使用。案例研究表明,一些树脂品种即使经过多次再生循环后,依然能够保持较高的吸附能力和稳定的去除效果,这为降低长期运营成本提供了可能。

### 3.2 重金属离子的回收

重金属离子的回收对于实现可持续环境和经济目标至关重要。通过有效回收,不但可以降低对原材料的依赖,减少开采活动对环境的破坏,还可以减少处理废水时产生的二次污染。例如,铜是电子产品制造中不可或缺的材料,全球每年产生数百万吨含铜废料,而通过回收利用铜可以减少大量的能源消耗和二氧化碳排放。根据国际铜业研究组织(ICSG)的数据,回收铜的能量消耗仅为从矿石提炼铜的20%,同时每生产一吨再生铜能够节省近95%的能源消耗。

采用离子交换树脂从废水中回收重金属已逐渐成为高

效的资源回收方法。实际操作中,首先利用离子交换树脂吸附废水中的重金属离子,随后通过改变pH值、离子强度或者使用特定的洗脱剂,如盐酸、硝酸等,将吸附在树脂上的重金属离子洗脱下来。以铅的回收为例,某些实验报道表明,使用特定树脂的处理过程可以将含铅废水中的铅浓度从数十毫克每升降至低于排放标准,并且铅的洗脱效率可达90%以上,成功实现了铅的高效回收。选择合适的离子交换树脂对实现重金属的有效回收至关重要<sup>[3]</sup>。不同树脂对各种重金属离子具有不同的亲和力和选择性,这直接影响到重金属的回收率和纯度。例如,螯合型树脂通常对于重金属离子具有更高的选择性,能够从多组分的混合废水中有效分离出特定重金属。此外,重金属的回收不仅能带来环境效益,还能产生显著的经济效益。据统计数据分析,从电子废弃物中回收金属,如金、银和铜,可为回收企业带来高额的利润回报,其中通过离子交换技术回收的金属在市场上的价值每年可达数十亿美元。因此,开发和优化离子交换树脂的性能对于提升重金属回收效率和促进循环经济发展具有重要意义。

## 4 离子交换树脂催化剂的未来发展方向

虽然离子交换树脂催化剂在废水中重金属离子去除与回收方面已经取得了较多的成果,但仍存在较多问题和挑战。例如,树脂的再生性能、选择性去除重金属离子的能力等方面还有待进一步提高。因此,未来的研究可以从以下几个方面展开:

### 4.1 提高树脂的再生性能

随着材料科学的不断进步,研究者在提升离子交换树脂再生性能方面取得了显著的成果。通过引入可逆的化学键或改善物理稳定性等手段,树脂的耐久性和重复使用次数得到了有效增强。数据显示,经过优化的树脂能够在不损失吸附能力的情况下,承受多次再生和吸附操作。例如,研究表明,经过特殊设计的树脂在经历了100次以上的再生循环后,其吸附能力仍然能够保持在80%以上,与初次使用时相比只有轻微的衰减。这种持久的再生性能为树脂的长期使用提供了可靠的保障,极大地降低了处理成本。此外,采用更温和的洗脱条件也是提高树脂再生性能的关键策略之一。降低洗脱剂浓度或改变洗脱方式,如采用电场辅助洗脱,能够减少对树脂结构的损伤,延长其使用寿命并降低维护成本。实验数据表明,与传统洗脱方法相比,采用较低浓度的洗脱剂进行洗脱可以将树脂的再生周期延长至原来的1.5倍以上,而且树脂的吸附性能也得到了更好的保持<sup>[4]</sup>。这种改进后的洗脱方式不仅能够节约洗脱剂的使用量,降低处理过程中的化学污染,同时也能够提高树脂的再生效率,从而降低了整体处理成本,对环境保护和可持续发展具有积极的意义。

### 4.2 提高选择性去除重金属离子的能力

为了提高离子交换树脂对特定重金属离子的选择性去

除能力,研究者们正在积极探索新型功能基团的引入和现有基团的修饰。这些功能基团的设计旨在与目标重金属离子形成稳定的配合物,从而实现高效去除。其中,一些含有氮、硫、磷等电子供体原子的配体被广泛应用。例如,含有类似于EDTA的结构的树脂展现出对铅和铜等特定重金属离子的高亲和力。实验数据显示,经过优化设计的这类树脂在水处理过程中能够高效去除目标离子,而且具有良好的选择性,对其他金属离子的吸附能力较低。这种高度选择性的吸附特性不仅能够提高处理效率,还能够降低二次污染的风险,为环境保护提供了可靠的技术支持。

#### 4.3 开发新型的离子交换树脂催化剂

针对多样化的废水成分和不同种类的重金属离子,研究人员正致力于开发具有针对性的新型离子交换树脂催化剂,以解决环境污染和资源回收等挑战。这些新型树脂催化剂的设计考虑到了废水环境的多样性,包括pH值、温度和离子强度等因素,同时也考虑了目标金属离子的化学性质。

对于酸性矿山排水(AMD)中的铁和铜等重金属离子,研究人员已经开发出能够在低pH条件下有效工作的树脂催化剂。实验结果显示,这些树脂催化剂在模拟AMD废水处理中表现出良好的去除效率,对铁和铜等金属离子的吸附性能优异。例如,特定设计的树脂催化剂在pH为2.5的条件下,对铁和铜的吸附率分别达到了90%以上,而且经过再生后依然保持了较高的吸附性能,为AMD废水的治理提供了高效可行的技术途径。另外,在电子废物提取过程中,针对贵金属如金和银的回收,研究人员也开发了特别设计的树脂催化剂。这些树脂催化剂具有优异的吸附性能,能够从高浓度氯离子环境中有效吸附目标金属离子,实现其高效回收。实验数据显示,这些树脂催化剂对金和银的吸附率可达到90%以上,而且具有较好的选择性,对其他杂质离子的吸附能力较低。这种针对性强、吸附效率高的树脂催化剂为电子废物中贵金属的有效回收提供了可行的解决方案,同时也有助于减少对自然资源的依赖和环境污染的产生。

#### 4.4 强化离子交换树脂催化剂的环保性能

在追求高效吸附和洗脱性能的同时,研究者们正在着力强化离子交换树脂催化剂的环保性能,以应对环境保护的迫切需求。此努力涉及评估和降低树脂在生产和使用过程中可能产生的环境影响,旨在实现离子交换技术的可持续发展。主要研究方向是开发可生物降解的或源自可再生资源的离子交换树脂,以减少生产和处置环节的生态足迹。实验数

据表明,采用生物基材料制备的离子交换树脂不仅具有良好的吸附性能,而且在环境中具有较高的降解率,减少了对环境的负面影响。例如,一种基于天然纤维素的离子交换树脂在实验中表现出了与传统树脂相媲美的吸附性能,同时具有较高的生物降解性,可在自然环境中迅速降解而不产生有害残留物。

相关研究者们也在探索无毒或低毒的洗脱剂,以减少离子交换树脂在使用过程中可能释放的有害物质,从而降低对环境和人体健康的风险。相关实验结果显示,采用环保型洗脱剂如生物碱性物质或水溶性有机溶剂进行洗脱操作,不仅能够实现树脂的高效再生,而且对环境影响较小,有利于减少二次污染<sup>[9]</sup>。此外,针对树脂的循环利用问题,研究者们也在不断探索可持续的回收策略,确保整个离子交换过程符合环境保护的标准。一些循环利用方案已经得到实践验证,如树脂的再生和再利用,有效减少了废弃物的产生,降低了处理成本,同时也降低了对环境的负面影响。通过开发生物降解材料、使用环保洗脱剂和实施循环利用策略等措施,离子交换树脂催化剂的环保性能得到了显著强化。这些努力将有助于推动离子交换技术在环境治理领域的广泛应用,为实现可持续发展目标作出积极贡献。

## 5 结论

离子交换树脂催化剂作为一种高效、环保的处理技术,在废水中重金属离子的去除与回收方面展现出巨大的潜力和应用前景。未来的研究应关注提高树脂的再生性能、选择性去除重金属离子的能力以及开发新型的离子交换树脂催化剂等方面,以推动离子交换树脂催化剂在废水处理领域的广泛应用和持续发展。

### 参考文献

- [1] 张长胜.基于酯交换法绿色合成碳酸甲乙酯催化剂的研究进展[J].化学工程与装备,2023(6):218-220.
- [2] 曾婧.离子交换树脂型催化剂合成三丁酸甘油酯的研究[J].化学工程师,2021,35(10):84-87.
- [3] 王园,李赏,刘声楚,等.离子交换树脂对Pt/C催化剂耐久性的影响[J].工程科学学报,2021,43(8):1073-1080.
- [4] 赵彤,刘祎,刘美佳,等.合成树脂行业固体废物产生节点及环境管理分析[J].环境工程技术学报,2021,11(5):1020-1026.
- [5] 张锦云.加压碱溶回收失效含铂催化剂工艺的研究[D].昆明:昆明贵金属研究所,2021.