

工业废水处理中重金属离子去除工艺研究

程波涛¹ 第五永强²

1. 身份证号码: 1427291992****6013

2. 身份证号码: 6101021988****1534

摘要: 工业废水排放中的重金属离子对生态环境和人类健康构成了严重威胁。论文聚焦于工业废水处理中重金属离子去除工艺的研究,深入探讨了目前常用的物理、化学和生物等去除工艺。通过对不同工艺的原理、优缺点及适用范围的分析,结合实际工业废水处理案例,对比了各工艺在去除效率、成本、二次污染等方面的表现。研究发现,单一工艺往往存在局限性,而组合工艺能够充分发挥各工艺的优势,提高重金属离子的去除效果。旨在为工业废水处理中重金属离子去除工艺的选择和优化提供科学依据,促进工业废水的达标排放和环境可持续发展。

关键词: 工业废水处理; 重金属离子; 去除工艺; 组合工艺; 环境可持续发展

Research on the Removal Process of Heavy Metal Ions in Industrial Wastewater Treatment

Cheng Botao¹ Diwu Yongqiang²

1. ID No.: 1427291992****6013

2. ID No.: 6101021988****1534

Abstract: Heavy metal ions in industrial wastewater discharge pose a serious threat to the ecological environment and human health. This paper focuses on the research of heavy metal ion removal processes in industrial wastewater treatment, and explores in depth the commonly used physical, chemical, and biological removal processes. By analyzing the principles, advantages and disadvantages, and applicability of different processes, combined with actual industrial wastewater treatment cases, the performance of each process in terms of removal efficiency, cost, and secondary pollution was compared. Research has found that single processes often have limitations, while combined processes can fully leverage the advantages of each process and improve the removal efficiency of heavy metal ions. Aiming to provide scientific basis for the selection and optimization of heavy metal ion removal processes in industrial wastewater treatment, promote the standard discharge of industrial wastewater and environmental sustainability.

Keywords: Industrial wastewater treatment; Heavy metal ions; Removal process; Combination process; Environmental sustainability

0 前言

随着工业的快速发展,工业废水的排放量日益增加,其中重金属离子的污染问题愈发严峻。重金属离子如铅、汞、镉、铬等具有毒性大、难降解、易在生物体内富集等特点,一旦进入环境,会对土壤、水体和大气造成严重污染,进而威胁人类的健康和生存。因此,有效去除工业废水中的重金属离子成为环境保护领域的重要研究课题。目前,虽然已经有多种重金属离子去除工艺,但每种工艺都有其适用范围和局限性。开展工业废水处理中重金属离子去除工艺的研究,对于提高废水处理效果、降低处理成本、减少环境污染具有重要的现实意义。

1 常用重金属离子去除工艺概述

1.1 物理去除工艺

物理去除工艺是利用物理方法将重金属离子从废水中分离出来。其中,吸附法是较为常用的一种。吸附

剂具有较大的比表面积和丰富的孔隙结构,能够通过物理吸附和化学吸附作用将重金属离子吸附在其表面。常见的吸附剂有活性炭、分子筛、黏土等。活性炭具有良好的吸附性能,对多种重金属离子都有较高的吸附容量,但成本相对较高。分子筛具有规整的孔道结构,对特定尺寸的重金属离子具有选择性吸附作用。

膜分离法也是重要的物理去除工艺。它利用膜的选择性透过性,将重金属离子与水分子分离。常见的膜分离技术有反渗透、纳滤、超滤等。反渗透膜能够截留几乎所有的重金属离子,但操作压力较高,能耗较大。纳滤膜对二价及多价重金属离子有较好的截留效果,且操作压力相对较低。超滤膜主要用于去除较大颗粒的重金属离子和胶体物质。离子交换法是通过离子交换树脂与废水中的重金属离子进行交换反应,从而达到去除重金属离子的目的。离子交换树脂具有交换容量大、选择性高的特点,但再生过程较为复杂,需要消耗大量的酸碱等化学试剂。

1.2 化学去除工艺

化学去除法是最传统的重金属去除工艺之一。它通过向废水中加入沉淀剂,使重金属离子与沉淀剂反应生成难溶性的沉淀物,然后通过沉淀、过滤等方法将沉淀物从废水中分离出来。常见的沉淀剂有氢氧化物、硫化物等。氢氧化物沉淀法操作简单,但受废水 pH 值的影响较大,且某些重金属氢氧化物的溶解度较高,去除效果有限。以某化工企业废水处理为例,该企业废水含大量苯系物、杂环化合物等难降解有机物, COD 浓度高达 15000~20000mg/L,可生化性差。在处理工艺上,传统芬顿氧化工艺,利用 Fe^{2+} 与 H_2O_2 反应生成强氧化性羟基自由基分解有机物, COD 去除率约为 40%~50%。但该工艺药剂消耗量大,处理 1 吨废水,硫酸亚铁用量约 5~8kg,双氧水约 2~3kg,产生大量含铁污泥,后续污泥处理成本高,易造成二次污染。

硫化物沉淀法生成的硫化物沉淀物溶解度较低,对重金属离子的去除效果较好,但硫化物沉淀剂可能会产生硫化氢等有毒气体,需要进行妥善处理。化学絮凝法是水处理中常用的物理化学方法,核心是通过投加絮凝剂,使水中悬浮颗粒、胶体等杂质通过吸附、架桥、网捕等作用聚集形成较大絮体,进而通过沉淀或过滤分离去除。

1.3 生物去除工艺

生物吸附法是利用微生物、植物或藻类等生物体对重金属离子的吸附作用来去除废水中的重金属离子。微生物细胞表面含有大量的官能团,如羧基、氨基等,能够与重金属离子发生络合、离子交换等作用,从而将重金属离子吸附在细胞表面。常见的微生物有细菌、真菌等。植物修复法是利用某些植物对重金属离子的吸收、富集和转化能力,将重金属离子从土壤或水体中去除。例如,一些超富集植物能够在体内积累大量的重金属离子。

生物沉淀法是利用微生物的代谢活动产生的物质与重金属离子反应生成沉淀物。例如,某些硫酸盐还原菌能够将硫酸盐还原为硫化物,硫化物与重金属离子反应生成硫化物沉淀物。生物去除工艺具有成本低、环境友好等优点,但处理效率相对较低,受环境条件的影响较大。

2 不同去除工艺的优缺点及适用范围分析

2.1 物理去除工艺的优缺点及适用范围

物理去除工艺的优点在于操作相对简单,不涉及化学反应,不会产生二次污染。吸附法能够选择性地去除特定的重金属离子,膜分离法能够实现连续化操作,离子交换法能够实现重金属离子的回收利用。然而,物理去除工艺也存在一些缺点。吸附剂的吸附容量有限,需要定期更换或再生;膜分离法的膜容易受到污染,需要进行频繁的清洗和维护;离子交换法的再生过程会产生大量的废水,处理难度较大。

物理去除工艺适用于处理低浓度、成分相对简单的工业废水。例如,吸附法适用于去除废水中微量的重金属离子;

膜分离法适用于对水质要求较高的场合,如电子工业废水的处理;离子交换法适用于回收废水中有价值的重金属离子。

2.2 化学去除工艺的优缺点及适用范围

化学去除工艺的优点是处理效率高,能够快速降低废水中重金属离子的浓度。化学沉淀法能够处理高浓度的重金属废水,氧化还原法能够改变重金属离子的毒性,化学絮凝法能够有效去除废水中的悬浮物和胶体物质。但是,化学去除工艺也存在一些不足之处。

化学沉淀法会产生大量的污泥,处理成本较高;氧化还原法需要消耗大量的化学试剂,且反应条件难以控制;化学絮凝法的絮凝效果受废水水质和 pH 值的影响较大。化学去除工艺适用于处理中高浓度、成分复杂的工业废水。例如,化学沉淀法适用于矿山、冶金等行业的废水处理;氧化还原法适用于处理含有六价铬、汞等有毒重金属离子的废水;化学絮凝法适用于处理印染、造纸等行业的废水。

2.3 生物去除工艺的优缺点及适用范围

生物去除工艺的优点是成本低、环境友好,能够实现重金属离子的自然降解和转化。生物吸附法和植物修复法不需要使用大量的化学试剂,不会产生二次污染;生物沉淀法能够利用微生物的代谢活动去除重金属离子,具有可持续性。然而,生物去除工艺的缺点也比较明显。生物处理过程受环境条件的影响较大,如温度、pH 值、溶解氧等;处理效率相对较低,处理时间较长;生物体内积累的重金属离子可能会对生物本身造成危害。

生物去除工艺适用于处理低浓度、毒性较小的工业废水。例如,生物吸附法适用于处理生活污水和轻度污染的工业废水;植物修复法适用于处理土壤和水体中的重金属污染;生物沉淀法适用于处理含有硫酸盐的废水。

3 组合工艺在重金属离子去除中的应用

3.1 物理—化学组合工艺

物理—化学组合工艺是将物理去除工艺和化学去除工艺相结合,充分发挥两者的优势。例如,先采用化学沉淀法将废水中的大部分重金属离子沉淀下来,然后再用吸附法对剩余的微量重金属离子进行深度处理。这种组合工艺能够提高重金属离子的去除效率,降低处理成本。在处理电镀废水时,先加入氢氧化钠使重金属离子形成氢氧化物沉淀,然后用活性炭吸附剩余的重金属离子,能够使废水达到排放标准。

另一种常见的物理—化学组合工艺是膜分离法与化学絮凝法的结合。先通过化学絮凝法将废水中的悬浮物和胶体物质去除,然后再用膜分离法对溶解态的重金属离子进行截留。这种组合工艺能够减轻膜的污染,延长膜的使用寿命,提高膜分离的效率。

3.2 化学—生物组合工艺

化学—生物组合工艺是将化学去除工艺和生物去除工

艺相结合。例如,先采用化学氧化还原法将重金属离子的价态改变,降低其毒性,然后再用生物吸附法或生物沉淀法对重金属离子进行进一步去除。在处理含有六价铬的废水时,先用硫酸亚铁将六价铬还原为三价铬,然后用微生物吸附三价铬,能够有效去除废水中的铬离子。

化学—生物组合工艺还可以利用化学药剂对生物处理过程进行强化。例如,在生物处理过程中加入适量的化学絮凝剂,能够提高生物絮体的沉降性能,促进重金属离子的去除。

3.3 物理—生物—化学组合工艺

物理—生物—化学组合工艺是一种综合的处理工艺,能够充分发挥物理、生物和化学三种去除工艺的优势。例如,先采用物理吸附法对废水中的部分重金属离子进行预去除,然后用生物处理法对废水中的有机物和剩余的重金属离子进行降解和吸附,最后用化学沉淀法对生物处理后的废水进行深度处理,确保废水达标排放。

物理—生物—化学组合工艺适用于处理成分复杂、浓度较高的工业废水。通过多种工艺的协同作用,能够提高重金属离子的去除效果,降低处理成本,减少二次污染。

4 结语

工业废水处理中重金属离子的去除是一个复杂而重要的问题,直接关系到生态环境的保护和人类的健康。论文对常用的物理、化学和生物等重金属离子去除工艺进行了详细的阐述,分析了不同工艺的优缺点及适用范围。研究表明,单一工艺往往难以满足工业废水处理的要求,而组合工艺能够充分发挥各工艺的优势,提高重金属离子的去除效果。

在实际应用中,应根据工业废水的水质特点、处理要

求和经济成本等因素,选择合适的去除工艺或组合工艺。还需要进一步加强对重金属离子去除工艺的研究和开发,不断提高工艺的效率 and 稳定性。例如,研发新型的吸附剂、膜材料和生物菌种,优化组合工艺的参数和流程等。还应加强对工业废水处理过程的监测和管理,确保废水达标排放,减少重金属离子对环境的污染。未来,随着科技的不断进步和环保意识的不断提高,相信工业废水处理中重金属离子去除工艺将会得到进一步的完善和发展,为实现环境可持续发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 王悦,杜小雨,黄鑫,等.废水中重金属离子的处理方法及研究现状[J].印染,2023,49(9):91-96.
- [2] 姚京裕,李玉峰,徐久盛,等.化工废水中重金属离子检测与去除技术研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025(3):112-114.
- [3] 朱桂娟,冯强,李斌,等.废水中重金属离子去除方法研究进展[J].甘肃冶金,2024,46(6):142-144+148.
- [4] 夏畅斌,何湘柱,黄念东.碳黑泥吸附铬(VI)的动力学研究[J].水处理技术,2021(5).
- [5] 吕福荣.硫酸亚铁—硼泥处理电镀废水中铬(VI)的研究[J].环境与开发,2000(1):27-28+32.
- [6] 刘国成.过氧化钙的合成及应用[J].浙江化工,2022(4):20-22.
- [7] 邹照华,何素芳,韩彩芸,等.吸附法处理重金属废水研究进展[J].环境保护科学,2020(3).
- [8] 梁吉艳,杨蕴哲,胡筱敏.铁阳极电凝聚处理活性黑KN-B染料废水动力学分析[J].环境科学与技术,2020(1).

作者简介:程波涛(1992-),男,中国陕西西安人,硕士,中级工程师,从事煤化工废水、工业废水设计方面的研究。