

工业废水中重金属污染的治理技术研究

宋伟娇

天津津环中新环境评估服务有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i4.3142

[摘要] 做好工业废水中重金属污染的治理可以更好地保护生态环境及周边居民的生命健康。了解工业废水中重金属污染的来源及危害,以及物理技术、化学技术、生物技术等不同技术方法的适用范围和应用原理等,对于提高工业废水重金属污染治理效果是十分必要的。

[关键词] 工业废水; 重金属污染; 治理效果; 落实路径

中图分类号: S141.8 文献标识码: A

Research on the Treatment Technology of Heavy Metal Pollution in Industrial Wastewater

Weijiao Song

Tianjin Jinhuan Zhongxin Environmental Assessment Service Co., Ltd

[Abstract] Effective treatment of heavy metal pollution in industrial wastewater can better protect the ecological environment and the health of surrounding residents. Understanding the sources and hazards of heavy metal pollution in industrial wastewater, as well as the applicable scope and principles of different technical methods such as physical technology, chemical technology, and biotechnology, is essential for improving the effectiveness of heavy metal pollution control in industrial wastewater.

[Key words] industrial wastewater; Heavy metal pollution; Governance effectiveness; Implement the path

随着经济社会的迅速发展、工业产业规模的不断扩张,现阶段工业废水产生量越来越大,尤其是矿产开采、电镀、化工、电子制造等相应行业排放的工业废水中含有大量的重金属,该类废水具有毒性强、难降解、易富集、污染范围广的特性,已经成为了水环境治理的重难点。在这样的背景下了解工业废水中重金属污染的来源、危害并针对性地选择处理方法十分必要。

1 工业废水中重金属污染的来源

工业废水中重金属污染来源复杂,本论文根据行业种类进行来源分析,围绕矿产开采与冶炼、电镀、化工与制药、电子制造与皮革鞣制等行业简要论述。在矿产开采与冶炼行业发展中矿石开采、破碎、选矿、冶炼全过程均可能产生含有重金属元素的废水,尤其是在有色金属冶炼的过程中工业废水重金属浓度相对较高。电镀工艺决定了其生产废水中含有较多的重金属元素,如镀件清洗、镀液过滤、废液排放等环节排放的污水含有铬、镍、铜、锌、银等重金属。化工与制药行业在颜料、农药、橡胶、塑料生产中需要使用重金属盐类作为催化剂、添加剂或原料,因此易会产生剧毒重金属废水。电子制造与皮革鞣制行业因芯片封装、元器件清洗、铬盐鞣制处理产生大量含重金属元素的废水。此外在金属加工、印染、电池制造等行业生产过程中其产生废水中也会含有较多的重金属元素,若处理不当则会带来较大的危害和影响。

2 工业废水中重金属污染的危害

2.1 对人体健康的危害

工业废水中重金属污染会严重危害人体健康。重金属无法通过人体代谢排出,若摄入过多会富集于人体内的肝脏、肾脏和大脑等器官内,达到一定浓度后则会引发各种疾病。例如在食物链作用下工业废水中的汞元素摄入到人体内可能会引发肢体麻木、运动失调、失明等问题。在食物链作用下铬元素会在人体内富集,可能会引发骨痛病和肾衰竭,铅元素在体内积累过多则会影响儿童智力和生长发育,成年人如果饮用水或食物摄入过多的铅元素则易引发生殖系统损伤、贫血、高血压等问题,因此做好工业废水中重金属污染的治理是人类生存繁衍的重要保证。

2.2 破坏水环境平衡

水是重金属元素迁移转化的重要载体,工业重金属废水在地表径流、雨水等多重因素下流入到河流、湖泊和海洋中,破坏生态系统平衡。一方面,重金属元素危害水生生物的生长繁殖,出现大量生物死亡,影响食物链的正常运转。另一方面,重金属在水中可能会吸附悬浮颗粒物,沉降在底泥中,形成二次污染。这些都会破坏水环境平衡甚至导致水体自净能力丧失,水质恶化,不利于社会的可持续发展和生态文明建设^[1]。

2.3 降低土壤环境质量

重金属工业废水不仅会影响水源、水环境,同时对于土壤环境也会带来一定的影响和冲击。若含重金属的工业废水随意排放或应用于农田灌溉,则易渗入土壤中引发土壤重金属污染,破坏土壤的理化结构。随着时间的推移,重金属元素还会在土壤中不断累积,难以降解,出现土壤酸碱度失衡、有机质含量下降、土壤板结、土壤肥力下降等问题。这些问题会影响后续种植活动的正常开展,若受污染土壤用于种植农作物不仅会影响农作物的品质和产量,同时农作物中会含有重金属元素,食物链作用下会危害人体健康。此外,在雨水淋溶下土壤中的重金属可能会影响地下水水质,形成地表水、土壤、地下水的链式污染,进一步扩大污染范围,增加治理难度。

3 探讨工业废水中重金属污染的治理技术

3.1 物理治理技术

3.1.1 吸附法

吸附法是利用吸附剂表面的孔隙结构、官能团与重金属离子之间的物理吸附或化学吸附作用完成重金属离子的吸附,进而净化废水,使其达到工业废水排放标准。吸附法应用的核心在于吸附剂的选择,而就现阶段而言吸附剂主要分为传统吸附剂和新型吸附剂两种类型。传统吸附剂以活性炭、沸石、硅藻土、粉煤灰最具代表性,其中活性炭表面积较大,吸附能力较强,得到了广泛应用,可以去除工业废水中大部分铜、铅、锌等重金属离子。但是活性炭存在再生困难、易饱和等问题,影响吸附效果。新型吸附剂以纳米材料、生物炭、金属有机框架材料和改性吸附剂最具代表性,该类吸附剂可通过改性处理提高吸附容量和选择性达到较好的吸附效果,尤其是在低浓度重金属废水治理中应用该类吸附剂成效更佳,且新型吸附剂可以再生重复使用,能够有效降低工业废水的治理成本^[2]。相较于其他技术方法,吸附法的工艺相对简单,投资相对较少且处理效果能够达到标准要求,可以为低浓度小水量重金属废水治理提供帮助。但是大多数吸附剂都存在饱和问题,需定期进行更换或再生,因此将其应用于高浓度重金属废水处理中所能达成的处理效果较为有限,且部分新型吸附剂设备的成本相对较高,难以实现规模化应用。现阶段工业废水重金属污染治理中吸附法常常作为深度处理工艺与其他技术联合搭配,提高处理效果。

3.1.2 膜分离法

膜分离法是在工业废水处理中引入具备选择性透过功能的膜,利用浓度差或外界压力将废水中的重金属离子分离,常见的膜分离工艺包含超滤、纳滤、反渗透、电渗析等。其中反渗透膜的孔径较小,可以有效去除废水中的有机物、盐分和重金属离子,处理后的水源可直接回用。而纳滤膜更适用于废水中含有中等浓度的二价重金属离子,同时纳滤膜可以在分离的基础之上满足浓缩需求。电渗析可通过离子交换膜的使用,在电场作用影响下选择性透过并分离重金属离子,可以满足高盐度、低浓度重金属废水治理需求。膜分离法的应用优势较为鲜明,其重金属分离率相对较高,结构较为简单,占地空间较小,在废水治理的过程中不需要添加化学药剂,处理后的废水可以资源回收利用,符

合绿色环保的治理需求。但是膜分离法在实际应用过程中膜组件对膜分离的最终效果起到较大影响,而废水中往往含有悬浮物、有机物等污染物,这会大幅降低膜通量,需要定期对膜组件进行清理维护,同时设施设备的购买和运行成本也相对较高。此外,为了保障废水治理效果用膜分离法之前还需进行预处理,因此在含有高浓度悬浮物和油污的重金属废水治理中流程较为复杂。当然,随着技术研究的不断深入,我国对于环境保护给予的关注和重视不断提高,现阶段高强度抗污染的膜材料也在不断发展,膜分离法在工业重金属废水治理中的应用前景较好,其应用范围也在不断扩大^[3]。

3.2 化学治理技术

3.2.1 化学沉淀法

就现阶段而言,在工业废水治理中化学沉淀法是应用最广泛且技术体系较为成熟的一种重金属废水治理技术。该项技术的原理是通过废水中投加氢氧化物、硫化物、碳酸盐、螯合剂等沉淀剂使重金属离子发生沉淀反应,生成难溶于水的氢氧化物、硫化物、碳酸盐沉淀,然后通过固液分离的手段去除污染物。这其中氢氧化物沉淀法是较为常用的技术方法,在工业废水治理中通过调整废水pH值使重金属离子生成氢氧化物沉淀,该方法治理成本较低,操作难度也相对较低,在去除工业废水中铜、锌、镍、铅等重金属离子上可以取得较好的应用效果。硫化物沉淀法生成的重金属硫化物溶解度更低,其沉淀效果更好,多应用于去除工业废水中的汞、镉等剧毒重金属,但是在反应过程中易产生硫化氢有毒气体,因此该技术在应用期间应做好密封防护。螯合沉淀法是在废水中投加重金属螯合剂,与工业废水中的重金属离子发生反应,生成螯合物沉淀,多应用于解决络合态重金属废水治理问题。化学沉淀法的技术优势较为鲜明,该项技术有成熟的工艺体系,可以满足大体量废水治理需求,且废水治理成本较低,适用性较强,能够有效解决大多数重金属废水治理问题。但化学沉淀法也存在着一定的欠缺和不足,即该项技术方法在实践应用的过程中可能会产生大量含有重金属的污泥,需进行无害化处置,否则易产生二次污染。同时化学沉淀法在低浓度重金属废水治理中的应用效果也有待提升,需通过深度处理工艺的配合使用达到预期的治理效果^[4]。

3.2.2 离子交换法

离子交换法是利用离子交换树脂上的可交换离子与重金属离子发生交换反应,将重金属离子吸附于树脂,达到废水净化的目的。离子交换树脂划分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂两种类型,需要根据工业废水中重金属离子的电荷类型对树脂类型进行科学选择。该方法在高纯度、低浓度重金属废水治理中应用可以达到较好的效果,同时离子交换法的应用还可以满足重金属回收利用需求。离子交换法的技术优势较为鲜明,该项技术废水处理效率相对较高,出水水质较为稳定,可以回收贵金属,能够较好地保障废水治理的经济效益和环保效益^[5]。但是离子交换树脂技术在实践应用过程中树脂易受废水中有机物、杂质污染等影响,使最终的废水治理效果受到冲击,需定期再生,

且树脂使用寿命有限, 购买成本较高, 工艺较为复杂, 多应用于成分单一的重金属废水处理中。

3.2.3 氧化还原法

氧化还原法是通过投加氧化剂或还原剂有效改变重金属离子的化合价, 通过离子转换将毒性较高重金属转化为毒性较低或不溶性物质, 以此来去除废水中的重金属元素。就现阶段而言六价铬还原处理是较具代表性的氧化还原法应用场景, 向含有六价铬的废水中投加亚硫酸钠、硫酸亚铁、焦亚硫酸钠等还原剂, 使剧毒六价铬转化为低毒三价铬, 后调整pH值生成氢氧化铬沉淀, 若废水中含有汞元素可采用强氧化剂将有机汞转化为无机汞并沉淀去除。氧化还原法的优势在于工艺较为简单, 反应速度较快, 针对性较强。缺点在于废水治理过程中需要投加的药剂量大, 成本较高, 且只能满足特定重金属废水处理需求, 同时在反应的过程中可能会产生副产物, 需作出进一步处理^[6]。

3.3 生物治理技术

3.3.1 微生物降解法

微生物降解法是借助细菌、真菌、藻类等相应微生物的细胞壁吸附、胞内富集、代谢转换来有效去除废水中的重金属。微生物细胞壁含有羟基、氨基等官能团, 可将重金属固定于细胞表面, 也可通过代谢活动将重金属离子转换为低毒、无毒形态或形成不溶性沉淀物。在工业重金属废水治理中常用的微生物包含枯草芽孢杆菌、酵母菌、蓝藻、硅藻等, 该类微生物来源广泛, 繁殖速度快, 易培养, 在低浓度重金属废水治理中可以达到较好的治理效果。微生物降解法的应用优势在于成本较低且不会产生二次污染问题, 适应性相对较好。缺点则在于微生物对环境温度、pH值、重金属浓度较为敏感, 高浓度重金属可能会导致微生物死亡, 且废水治理周期相对较长, 治理过程受环境因素影响较大。

3.3.2 植物修复法

植物修复法是借助水生植物、湿地植物的根系吸附去除水体中的重金属元素, 并通过植物生长代谢改善水体生态环境。常

用的植物包含芦苇、香蒲、水葫芦、浮萍、蜈蚣草等, 可与人工湿地工艺相结合构建生态处理系统, 在处理工业废水的同时美化生态环境。该种技术方法的成本较低且生态效益较好, 操作难度较低, 能够满足分散、低浓度、大水量重金属废水处理需求, 但植物生长周期较长, 处理速度较为缓慢, 适用于轻度污染废水治理^[7]。

4 结语

工业废水重金属污染现阶段已经成为了影响工业可持续发展及周边居民人身健康的突出问题, 因此必须做好污染治理。实践中, 要根据工业重金属废水的特性, 及物理、化学、生物三类治理技术的各自优势和适用范围针对性地进行技术选择, 有效提高治理技术的应用效果。

[参考文献]

- [1]张修进, 冷斌, 张小凤. 工业园区废水中重金属污染治理技术研究[J]. 石化技术, 2026, 33(02): 375-376.
- [2]马玉芳. 工业废水中重金属污染的危害与治理方法探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2026, 7(01): 8-10.
- [3]成慧灵. 工业废水重金属去除技术与工程应用[J]. 聚酯工业, 2025, 38(06): 127-129.
- [4]张甜, 陈萌萌, 张思晗, 等. 工业废水重金属污染现状及去除技术进展[J]. 河南科技, 2025, 52(10): 92-96.
- [5]王浩安, 满玉凯, 金硕. 水质中重金属元素的高效检测方法与应用研究[J]. 实验室检测, 2025, 3(02): 136-139.
- [6]余程凤, 胡旻, 徐聪. 工业化背景下工业废水中重金属污染的危害与治理研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(09): 24-26.
- [7]杨睿洁. 基因工程菌同步废水重金属去除与金属纳米材料合成[D]. 哈尔滨工业大学, 2023.

作者简介:

宋伟娇(1987--), 女, 汉族, 河北省石家庄晋州市人, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向: 生态环境。