

水处理中重金属离子的去除技术研究

阮露杰¹ 冯冬冬¹ 傅维纬²

1. 温州公用事业发展集团瑞安水务有限公司市区供水分公司 浙江 温州 325200

2. 苍南水务水质检测有限公司 浙江 苍南 325800

摘要: 随着工业化和城市化的加速发展,水体中的重金属污染问题日益严峻。重金属离子如铅、汞、镉、铬等,因其毒性强、难降解、易在生物体内累积等特点,对生态环境和人体健康构成了严重威胁。本文综述了当前水处理中重金属离子去除技术的研究进展,包括化学沉淀法、离子交换法、膜分离法、吸附法以及生物法等主要技术。分析了各技术的原理、优缺点及适用场景,并探讨了新技术的发展趋势。旨在为水处理中重金属离子的高效去除提供理论参考和技术支持,促进环境保护和可持续发展。

关键词: 重金属离子; 水处理技术; 发展趋势

引言

重金属离子是指密度大于 4.5g/cm^3 的金属元素离子,广泛存在于工业废水、生活污水及农业面源污染中。这些废水中的重金属离子如铅、汞、镉、铬等,难以通过自然途径降解,且容易在生物体内累积,对生态系统和人类健康造成长期危害。因此,研究水处理中重金属离子的去除技术具有重要意义。

1 重金属废水的来源及危害

重金属废水,作为一类具有严重环境风险的废水,其来源广泛且复杂。在工业生产领域,电镀、冶炼、化工、制药等行业是重金属废水的主要产生者。电镀过程中,为了增强金属表面的抗腐蚀性和美观性,常使用含有重金属的电镀液,这些电镀液在使用后往往直接或间接排入环境,成为重金属废水的重要来源。冶炼行业,尤其是有色金属冶炼,会产生大量含有重金属的废渣和废水。化工和制药行业在生产过程中,也会使用或产生含有重金属的原料或中间体,这些物质最终也可能以废水的形式排放。除了工业生产,矿冶生产中的采矿、选矿、冶炼等过程也是重金属废水的重要来源。在采矿过程中,矿石中的重金属会随着矿石的破碎和洗选进入废水。选矿过程中,为了提取有价值的金属,常使用含有重金属的化学试剂,这些试剂在使用后也会形成重金属废水。冶炼过程中,金属被提炼出来的同时,也会产生大量含有重金属的废渣和废水^[1]。重金属废水的危害不容小觑。它们中的重金属离子能破坏水生生态系统,影响水生生物的生长和繁殖,甚至导致生物死亡。这些重金属离子还能通过食物链富集,最终进入人体,危害人类健康,导致各种疾病的发生,如神经系统损伤、肾脏疾病等。此外,重金属废水还会污染土壤和地下水,影响

农作物的生长和居民饮用水安全,给人们的生产和生活带来严重威胁。

2 重金属废水处理技术的现状与挑战

当前,重金属废水处理技术主要分为物理法、化学法和生物法三大类。物理法主要包括沉淀法、吸附法、离子交换法和膜分离法等;化学法主要包括氧化还原法、电化学法和化学沉淀法等;生物法主要包括植物修复法、微生物修复法和动物修复法等。然而,由于废水中重金属的种类、浓度和存在形态各异,单一的处理方法往往难以达到理想的处理效果。因此,需要综合运用多种技术手段,同时还需要考虑技术的经济性、环保性以及长期运行的稳定性。

3 水处理中重金属离子的主要去除技术

3.1 化学沉淀法

化学沉淀法是最常用且历史悠久的重金属离子去除技术之一。其基本原理是通过向废水中加入适当的化学试剂,使重金属离子与试剂发生化学反应,生成不溶性的沉淀物,随后通过固液分离技术(如过滤、沉淀等)将沉淀物从水体中去除。化学沉淀法的优点在于操作简单、成本低廉,且适用于处理高浓度的重金属废水。常用的沉淀剂包括石灰(CaO 或 Ca(OH)_2)、氢氧化钠(NaOH)、硫化钠(Na_2S)等。例如,氢氧化物沉淀法广泛应用于去除铜、锌、铅、镉等多种重金属离子,其原理是利用重金属氢氧化物的低溶解度,通过调节废水的pH值,使重金属离子与氢氧根离子结合生成氢氧化物沉淀。硫化物沉淀法则因其生成的金属硫化物溶解度更小,具有残渣量少、易脱水等优点,特别适用于处理含汞、铅、镉等重金属的废水。然而,化学沉淀法也存在一些局限性。首先,需要精确控制pH值和试剂量,以

确保沉淀反应的完全进行,并避免过量试剂带来的二次污染。其次,沉淀过程中可能产生有毒有害的副产物,需要妥善处理。此外,对于某些难以沉淀的重金属离子(如砷),化学沉淀法的去除效果有限。

3.2 离子交换法

离子交换法是一种利用离子交换树脂与废水中的重金属离子进行交换反应,从而将重金属离子从水体中去除的技术。离子交换树脂是一种具有特殊功能基团的高分子化合物,能够选择性地吸附并交换水中的离子。离子交换法的优点在于去除效率高、可重复使用、对低浓度重金属废水处理效果好,并且能够实现重金属离子的回收。根据不同的重金属离子种类和电荷性质,可选择阳离子交换树脂或阴离子交换树脂。阳离子交换树脂主要用于去除带正电荷的重金属离子(如铜、锌、铅等),而阴离子交换树脂则适用于去除带负电荷的重金属离子(如铬酸根、砷酸根等)。然而,离子交换法也存在一些缺点。首先,离子交换树脂的成本较高,且在使用过程中会逐渐失效,需要定期再生或更换^[2]。其次,离子交换过程对水质要求较高,废水中的悬浮物、有机物等杂质可能干扰离子交换反应,降低去除效率。此外,对于某些具有强络合能力的重金属离子(如汞、镉等),离子交换法的去除效果可能受到限制。

3.3 膜分离法

膜分离法是一种基于物理分离原理的处理方法,广泛应用于重金属废水的深度处理。其主要形式包括反渗透(RO)、超滤(UF)、纳滤(NF)以及电渗析(ED)等。膜分离法的优点在于高效的去除率、能够实现重金属废水的深度净化、对水质适应性强等。反渗透膜具有极小的孔径,能够截留几乎所有的溶质分子和离子,包括重金属离子,因此常用于处理高盐度或含有难降解有机物的重金属废水。超滤和纳滤则适用于去除较大分子的有机物和胶体物质,同时保留部分无机盐和小分子物质,可用于重金属废水的预处理或后处理。电渗析则是利用半透膜的选择透过性和电场作用,使离子在膜两侧发生迁移,从而实现重金属离子的去除和回收。然而,膜分离法也存在一些局限性。首先,设备成本和能耗较高,且膜的使用寿命有限,需要定期更换。其次,膜容易发生污染或堵塞,影响分离效率和运行稳定性。因此,在实际应用中,常需对废水进行预处理以去除悬浮物、有机物等杂质,保护膜不受污染。此外,对于某些具有特殊性质的重金属离子(如具有强氧化性或还原性的离子),膜分离法的适用性可能受到限制。

3.4 吸附法

吸附法是一种利用吸附剂对水中重金属离子的吸附作用,将重金属离子从水体中去除的技术。吸附剂是一种具有多孔结构或特殊功能基团的物质,能够选择性地吸附并固定水中的重金属离子。吸附法的优点在于操作简单、效率高、选择性高、对低浓度重金属废水处理效果好等。常用的吸附剂包括活性炭、沸石、膨润土、树脂及生物材料等。活性炭因其巨大的比表面积和丰富的孔隙结构,对重金属离子具有很强的吸附能力,广泛应用于水处理领域。沸石和膨润土则因其天然的孔隙结构和离子交换能力,对某些重金属离子具有特定的吸附选择性。树脂吸附剂则因其可再生性和重复使用性,在重金属废水处理中展现出广阔的应用前景。生物材料如菌藻、植物纤维等也因其环保、可再生等特点,在重金属离子吸附领域受到越来越多的关注^[3]。近年来,纳米材料因其比表面积大、吸附能力强、反应活性高等特点,在重金属离子吸附领域展现出巨大的应用潜力。例如,纳米氧化铁、纳米二氧化钛等纳米材料对重金属离子具有很强的吸附和还原能力,能够实现重金属离子的高效去除和回收。然而,吸附法也存在一些缺点。首先,吸附剂的吸附容量有限,需要定期更换或再生。其次,吸附过程中可能受到水质条件(如pH值、温度、离子强度等)的影响,降低吸附效率。此外,对于某些具有特殊性质的重金属离子(如具有强络合能力或易形成沉淀的离子),吸附法的去除效果可能受到限制。

3.5 生物法

生物法是一种利用微生物、植物等生物体对水中重金属离子的吸附、沉淀、转化等作用,实现重金属离子去除的技术。生物法具有环境友好、成本低、可持续等优点,逐渐成为重金属废水处理领域的研究热点。微生物修复法是生物法的一种重要形式,其基本原理是通过调控环境条件(如温度、pH值、溶解氧等),培养适宜的微生物菌群,利用微生物的代谢活动(如吸附、还原、沉淀等)将重金属离子从水体中去除。例如,某些硫杆菌能够将有毒的重金属离子(如汞、镉等)还原为不溶性的硫化物沉淀,从而实现重金属离子的去除。此外,一些微生物还能够通过生物吸附作用将重金属离子吸附在细胞表面或细胞内,达到去除的目的。植物修复法则是利用植物对水中重金属离子的吸收、积累和转化作用,将重金属离子从水体中去除。植物修复法具有操作简便、成本低廉、环境友好等优点,特别适用于处理低浓度或大面积的重金属污染水体。例如,某些水生植物(如水葫芦、水芹菜等)对重金属离子具有很强的吸收能力,能够将水中的重金属离子吸收并富集在植物体

内,随后通过收割植物体将重金属离子从水体中去除^[4]。然而,生物法也存在一些局限性。首先,生物法的操作较为复杂,需要精确的条件控制(如温度、光照、营养供给等),以确保微生物或植物的正常生长和代谢活动。其次,生物法的处理效率可能受到水质条件(如pH值、溶解氧、有机物含量等)的影响,降低去除效果。此外,对于某些具有强毒性或难降解的重金属离子(如砷、铅等),生物法的去除效果可能有限。

4 新技术与未来发展趋势

随着科技的飞速进步,重金属废水处理技术领域正经历着前所未有的变革。一系列新技术如雨后春笋般涌现,为重金属废水的高效、环保处理提供了全新思路。

纳米技术作为其中的佼佼者,凭借其独特的性质在重金属废水处理中展现出巨大潜力。纳米材料具有极大的比表面积和优异的吸附能力,这使得它们能够成为高性能的吸附剂,有效捕捉并固定水中的重金属离子。同时,纳米材料还可以作为催化剂,加速重金属离子的化学反应,提高其去除效率。未来,随着纳米材料制备技术的不断成熟和成本的降低,其在重金属废水处理中的应用前景将更加广阔。

光催化技术则是另一种备受瞩目的新技术。它利用太阳能等可再生能源作为动力,通过光催化剂的作用,将水中的重金属离子转化为无害或低毒的物质。这种技术不仅节能环保,而且处理效率高,尤其适合处理含有难降解有机物的重金属废水^[5]。随着光催化剂性能的不断提升和光催化反应器的优化设计,光催化技术在重金属废水处理领域的应用将更加广泛。

生物技术作为一种环境友好的处理方法,也在重金属废水处理中发挥着重要作用。通过基因工程等手段,科学家们可以培育出具有更高重金属耐受性和去除能力的微生物,用于处理含有高浓度重金属的废水。此外,植物修复技术作为一种生物技术的分支,也因其成本低廉、操作简便等优点而受到广泛关注。

除了单一技术的不断创新外,结合多种处理方法的综合技术也成为未来发展的重要趋势。通过将化学沉淀、离子交换、膜分离、吸附以及生物技术等多种方法有机结合,可以充分发挥各自的优势,达到最佳的废水处理效果。这种综合技术不仅提高了处理效率,还降低了处理成本,为重金属废水处理提供了更加全面、高效的解决方案。

结语

水处理中重金属离子的去除技术多种多样,每种技术都有其独特的优势和局限性。在实际应用中,需要根据废水的具体情况选择合适的处理技术或综合多种技术手段进行处理。同时,随着科技的不断发展,我们应持续关注新技术的研究和应用,以期找到更高效、更环保的重金属废水处理方法。此外,加强废水处理技术的研发和推广,提高公众的环保意识,也是解决重金属废水污染问题的重要途径。未来,随着环保法规的日益严格和公众环保意识的不断提高,重金属废水处理问题将受到更多的关注。我们期待有更多的研究者加入到这个领域中来,共同推动重金属废水处理技术的发展和革新。同时,我们也期待有更多的创新技术和方法被应用到实践中去,为保护我们的环境和健康做出更大的贡献。

参考文献

- [1]瞿章黎,刘屹伦,方佳乐,等.含重金属离子废水处理方法研究[J].云南化工,2024,51(12):10-15.
- [2]朱桂娟,冯强,李璇,等.废水中重金属离子去除方法研究进展[J].甘肃冶金,2024,46(06):142-144+148.
- [3]惠兆松.电厂化学废水处理中重金属离子的去除技术研究[J].纯碱工业,2024,(04):26-29.
- [4]庄园,孔德超,薛楠.工业废水中重金属离子的处理方法探析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(05):24-26.
- [5]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(09):91-96.