

污水厂污泥中有害物质的降解与转化技术研究

赵明

曙光采油厂污水处理大队

【摘要】 污水处理厂的污泥中富含有害物质，如重金属、有机污染物和病原微生物，直接排放或不当处理将对环境和人类健康构成严重威胁。本研究旨在探讨污水厂污泥中有害物质的降解与转化技术，重点分析物理、化学和生物方法的应用及其相结合的复合处理技术。通过对不同处理技术的比较与实验研究，评估其对有害物质去除的效果和经济性。研究表明，生物法和复合降解技术在减少有害物质、提高资源化利用方面具有显著优势。结论指出，复合处理技术能够协同提高处理效果，未来应进一步优化现有技术并推进其应用，以实现污泥处理的无害化和资源化目标。

【关键词】 污水处理厂；污泥；有害物质；降解与转化技术；复合降解技术

Research on the degradation and transformation technology of harmful substances in the sludge of sewage treatment plant

Zhao Ming

Sewage treatment brigade of Shuguang oil production Plant

【Abstract】 The sludge of the sewage treatment plant is rich in harmful substances, such as heavy metals, organic pollutants and pathogenic microorganisms, and the direct discharge or improper treatment will pose a serious threat to the environment and human health. The purpose of this study is to explore the degradation and transformation technology of harmful substances in sewage sludge, focusing on the application of physical, chemical and biological methods and their combined composite treatment techniques. Through the comparison and experimental study of different treatment techniques, the effect and economy of the removal of harmful substances are evaluated. The results show that biological method and composite degradation technology have significant advantages in reducing harmful substances and improving resource utilization. The conclusion points out that the composite treatment technology can improve the treatment effect together, and the existing technology should be further optimized and promote its application in the future to achieve the goal of harmless and resource recovery of sludge treatment.

【Key words】 sewage treatment plant; sludge; harmful substances; degradation and transformation technology; composite degradation technology

引言

随着城市化进程的加速和工业活动的增多，污水处理厂的数量和规模不断扩大。污水处理过程中产生的大量污泥，富含有机物和营养元素，具有一定的资源化利用价值^[1]。然而，污泥中也含有重金属、病原微生物、难降解有机物等多种有害物质，若不进行有效处理，直接排放或简单堆放将对环境和人类健康造成严重威胁。因此，研究污水厂污泥中有害物质的降解与转化技术，具有重要的现实意义。

1 污水厂污泥中有害物质的概述

污水厂污泥中的有害物质不仅种类繁多，而且其对环境和人类健康的潜在威胁也不容忽视。这些有害物质的存在使得污泥的处理过程变得复杂，并在资源化利用的过程中带来

许多技术难题^[2]。具体而言，污泥中的有害物质主要包括以下几类：

(1) 重金属：如铅、汞、镉、铬等，具有生物累积性和毒性，难以被微生物降解。

(2) 持久性有机污染物 (POPs)：如多氯联苯 (PCBs)、二恶英等，稳定性高，降解难度大。

(3) 病原微生物：包括细菌、病毒、寄生虫等，可能引发疾病传播。

(4) 有机污染物：如多环芳烃 (PAHs)、石油烃类等，对环境和生物具有毒害作用。

这些有害物质的存在，使得污泥的处理和资源化利用面临巨大挑战。

2 物理和化学法降解与转化技术

物理和化学方法在污泥处理过程中,尤其是在去除或稳定有害物质方面,与传统的生物法相比,这些方法通常能够更快速、更高效地处理污泥中的有害成分,尤其是重金属、有机污染物及病原微生物,因此值得我们进一步深入研究。

2.1 热处理技术

热处理技术是污泥处理中的一种常见手段,通过高温焚烧、热解等工艺,能够有效破坏污泥中的有机污染物,尤其是持久性有机污染物(POPs),并能彻底杀灭病原微生物。高温焚烧不仅能够显著减少污泥的体积,还能通过高温裂解反应将有害物质转化为无害气体,从而减少对环境的污染^[3]。然而,热处理技术在实际应用中也面临一些挑战。首先,焚烧过程中高温对能源的需求较高,导致能耗显著,这在经济性和可持续性方面造成一定的压力。其次,焚烧或热解过程中可能生成二次污染物,如二恶英等,这些二恶英类化合物因其极高的毒性和生物积累性,可能对环境 and 公共健康构成威胁。因此,在实施热处理时,必须严格控制操作温度和工艺参数,以减少二次污染的生成并确保环境安全。

2.2 化学氧化法

化学氧化法利用强氧化剂如臭氧、Fenton试剂等对污泥中的有机污染物进行氧化分解。该方法的优势在于其反应速度快、效率高,能够在短时间内显著降解污泥中的有害有机物,尤其是难以降解的有机污染物。然而,尽管化学氧化法具有较为显著的处理效果,其高昂的试剂成本却是实施这一技术的一大制约因素,特别是在大规模污泥处理过程中,试剂的持续投入可能导致成本上升。此外,化学氧化法的另一个挑战在于其副产物的生成。反应过程中可能产生一些有毒有害的副产物,如氯化物和过氧化物等,这些副产物的控制和去除成为化学氧化法应用中的关键问题。为确保处理效果,必须精确控制反应条件,避免副产物的积累,同时优化氧化剂的使用,以提高整体处理的经济性和可持续性。

2.3 固定化/稳定化

固定化与稳定化技术主要是通过添加水泥、石灰等固化剂,将污泥中的重金属离子或有毒物质转化为不溶性或难以迁移的固体形式,从而降低这些有害物质在环境中的生物可利用性和迁移性。通过形成稳定的晶格结构,这些重金属和有毒物质被“困锁”在固体中,减少了其对水体、土壤以及生物链的影响。该方法的优势在于操作简单、成本较低,且可以有效地减少有害物质对环境的潜在威胁。然而,固定化与稳定化技术的一个不足之处是其可能导致污泥体积的增加,这不仅影响后续的处理效率,也可能增加处置成本。尽管该方法适用于处理含有重金属的污泥,但对于去除有机污染物的效果较为有限,因此常常与其他处理技术结合使用,以达到更全面的污泥处理效果。

2.4 超临界水氧化

超临界水氧化技术利用超临界水的特殊物理化学性质,

在高温高压的条件下,将污泥中的有机污染物彻底氧化分解。超临界水作为一种溶剂,具有非常强的溶解力,可以有效地溶解有机物,从而促进氧化反应的进行。该技术具有非常高的处理效率,能够快速、彻底地降解难以处理的有机污染物,尤其适用于污泥中存在的高浓度有机污染物。尽管超临界水氧化技术展现出巨大的应用潜力,但其高要求的设备条件和较高的投资及运行成本使得该技术在实际应用中受到了制约。设备必须能够承受高温高压环境,这对材料和设计提出了严格要求。此外,超临界水氧化过程中的能源消耗较大,限制了其在大规模污泥处理中的普及。因此,如何降低设备投资和运行成本、提高能效,成为推动超临界水氧化技术广泛应用的关键因素。

3 生物法降解与转化技术

生物法通过微生物的代谢活动实现污泥中有害物质的降解与转化,具有环保、经济、低能耗等显著优势,已成为污泥处理的重要技术之一。

3.1 好氧堆肥

好氧堆肥是一种常见的污泥资源化利用方法,它通过提供充足的氧气环境,使得微生物在有氧条件下分解污泥中的有机物,转化为腐殖质。该过程不仅能够显著降低污泥的有机物含量,还能减少病原微生物和有机污染物的浓度,使污泥变得更加稳定,进而提高其环境友好性^[4]。此外,堆肥产物由于其良好的土壤改良特性,可以作为有机肥料,促进农业生产。然而,尽管好氧堆肥技术在有机物降解方面表现出色,但其对重金属等无机污染物的去除效果较为有限,这使得其在处理含有大量重金属污染的污泥时,面临着一定的技术瓶颈。因此,在实施好氧堆肥时,往往需要结合其他技术进行辅助,以提高对无机污染物的去除效果。

3.2 厌氧消化

厌氧消化是另一种常用的生物法污泥处理技术,主要通过厌氧微生物的代谢作用,将污泥中的有机物转化为甲烷和二氧化碳,既实现了有机污染物的降解,也有效回收了能源。厌氧消化的优势在于其处理过程中不仅能够显著减少污泥的体积,还能减少有机污染物的含量,进而降低处理后的污泥处置成本。此外,厌氧消化能在高温、低氧条件下进行,适应性较强,能够处理较为复杂的污泥成分。然而,厌氧消化对某些难降解有机物和重金属的去除效果较为有限。对于含有大量难降解有机物(如某些药品残留物)的污泥,厌氧消化的处理效果较差,因此在实际应用中往往需要与其他处理技术结合,确保所有有害物质得到有效降解。

3.3 生物吸附和生物累积

生物吸附和生物累积技术利用特定微生物或生物材料,如真菌、藻类等,通过其细胞表面吸附或富集污泥中的有害

物质,尤其是重金属和有机污染物。这种方法的优点在于其具有高度的选择性,可以针对特定的污染物进行富集处理,且操作简单、成本较低^[5]。生物吸附的原理主要基于微生物细胞壁与污染物之间的相互作用,能够将污染物从环境中有效去除。尽管该方法在去除重金属和有机污染物方面表现出较强的吸附能力,但其存在处理周期较长的缺点。此外,生物吸附后富集有害物质需要进行后续处理,以防止污染物的再次释放。因此,在实际应用中,常常结合其他技术手段来提高生物吸附和生物累积的效率和安全性。

3.4 生物强化

生物强化技术通过引入高效的降解菌种或基因工程菌,增强污泥中有害物质的生物降解能力。这一技术的核心在于利用改良或特定菌种的强大降解能力,快速分解污泥中的有害有机物。生物强化能够显著提高处理效率,尤其是在处理一些常规微生物难以降解的污染物时,表现出更高的处理能力。比如,某些基因工程菌种能够耐受高浓度有机物或重金属,通过基因修饰使其降解能力得到增强,从而提高污泥处理的整体效果。然而,生物强化技术也面临着一些挑战,首先是引入的菌种可能对环境适应性较差,且在长期运行中可能出现衰退;其次,菌种的安全性问题也是不可忽视的,特别是基因工程菌的使用可能带来潜在的环境风险。因此,在应用生物强化技术时,必须全面评估菌种的环境适应性和安全性,以确保技术的可持续性和环保性。

4 复合降解与转化技术

复合降解与转化技术结合了物理、化学与生物方法的优势,可以解决单一物理、化学或生物方法无法有效处理复杂污泥中的多种污染物的难题,具有重要的协同优化价值。

4.1 物理化学-生物联合处理

物理化学-生物联合处理技术是一种将物理化学方法与生物处理相结合的处理模式,通常通过物理或化学方法降低污泥中有害物质的浓度或改变其形态,再进行生物处理。这一策略能够有效利用物理化学方法的高效性和生物法的可

持续性,以提升整体处理效果。例如,采用高级氧化技术降解难降解有机物,然后再进行厌氧消化处理,不仅能够提高有机物的降解率,还能减少厌氧消化中有机物浓度过高可能带来的抑制效应。通过这种联用技术,可以实现更高效、更彻底的污泥处理,为污泥的资源化利用提供更有力的技术支持。

4.2 生物-化学强化

生物-化学强化技术通过在生物处理过程中添加一些助剂,如表面活性剂、螯合剂等,以提高污泥中有害物质的生物可利用性,从而增强微生物的降解能力。例如,添加螯合剂能够促进污泥中重金属的溶解,增强微生物对重金属的吸附和降解能力。通过这种方式,可以显著提高生物降解的效率,尤其是在处理含有高浓度有毒有害物质的污泥时,表现出更好的效果。然而,生物-化学强化技术也需要关注助剂的添加量和效果,过量使用化学助剂可能带来二次污染,因此必须进行严格的控制和优化。

4.3 多级处理系统

多级处理系统是一种综合性的污泥处理方法,通过依次采用不同的处理技术,实现对污泥中各类有害物质的协同去除。在这一过程中,各种处理技术根据其特点互为补充,共同发挥作用。例如,首先通过厌氧消化处理有机污染物,接着进行好氧堆肥进一步降解剩余有机物,最终结合植物修复技术去除残留的重金属。通过这种多阶段的联合处理,可以有效提高污泥中有害物质的去除效率,尤其是在处理复杂或污染严重的污泥时,能够获得更好的综合处理效果。

结语

污水厂污泥中有害物质的降解与转化是实现污泥无害化和资源化利用的关键。物理、化学和生物方法各有优势和局限性,复合技术的发展为污泥处理提供了新的思路和途径。未来,应加强对高效、经济、环境友好的处理技术的研究与应用,推动污泥处理技术的创新与进步,为生态环境保护和可持续发展作出积极贡献。

参考文献

- [1]郝晓地, 邸文馨, 朱洋墨, 吴远远. 污水处理厂 PFAS 来源、迁移转化与去除方法[J]. 环境科学学报, 2023, 43 (10): 1-14.
- [2]陈森, 王新皓, 徐翊宸, 黄柳青, 王雯冉, 张浴瞳, 谷成, 俞学如, 陈张浩. 市政污水处理系统中不同工艺段多氟/全氟烷基化合物 (PFASs) 的赋存、转化和去除[J]. 环境化学, 2023, 42 (07): 2228-2241.
- [3]郑兴灿, 张昱, 贾伟伟, 马春萌, 尚巍, 刘静. 城镇污水微量新污染物赋存特征与全过程控制技术[J]. 给水排水, 2022, 58 (06): 26-34.
- [4]梅晓洁, 唐建国, 张悦. 城镇污水处理厂污泥稳定化处理产物转化机理及可利用价值揭示[J]. 给水排水, 2018, 54 (11): 11-19.
- [5]张翔宇, 李茹莹, 季民. 污水生物处理中抗生素的去除机制及影响因素[J]. 环境科学, 2018, 39 (11): 5276-5288.