

城市生活垃圾渗滤液处理技术研究进展

张丹, 邓熠, 吴勇, 吴菊珍, 邱诚

成都工业学院, 材料与环境工程学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年3月15日; 录用日期: 2024年4月15日; 发布日期: 2024年4月25日

摘要

随着我国工业化和城市化的不断推进, 对城市生活垃圾的处理需求日益庞大。垃圾渗滤液处理技术是其中的一种新技术, 旨在提高垃圾处理质量, 改善生活环境。中国虽然在垃圾渗滤液处理技术方面取得了一定成就, 但仍难以针对性解决; 而国外垃圾渗滤液处理技术起步要早, 且随着时间的累积, 已有多种工艺技术。本文介绍了国内外垃圾渗滤液处理方法的研究现状, 并对其在环保方面的发展进行了展望。通过综述其技术原理、应用现状及未来发展趋势, 本文为城市生活垃圾渗滤液处理技术的创新与发展提供了参考。

关键词

生活垃圾, 渗滤液, 研究进展

Research Progress on Treatment Technology of Urban Domestic Garbage Leachate

Dan Zhang, Yi Deng, Yong Wu, Juzhen Wu, Cheng Qiu

School of Materials and Environmental Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

Received: Mar. 15th, 2024; accepted: Apr. 15th, 2024; published: Apr. 25th, 2024

Abstract

With the continuous advancement of industrialization and urbanization in China, the demand for the treatment of municipal solid waste is increasing. Landfill leachate treatment technology is one of the new technologies aimed at improving the quality of waste disposal and improving the living environment. Although China has made some achievements in landfill leachate treatment tech-

nology, it is still difficult to solve the problem. However, foreign landfill leachate treatment technology started early, and with the accumulation of time, there are a variety of process technologies. This article summarizes the research progress of landfill leachate technology and explores its application prospects in the field of environmental protection. By summarizing its technical principles, current applications and future development trends, this article provides a reference for the innovation and development of urban domestic waste leachate treatment technology.

Keywords

Household Waste, Leachate, Research Progress

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会工业化、人口增长和城市化进程的加快,产生了大量的生活垃圾,这些垃圾如得不到及时、有效的处置,将严重地扰乱和影响人民的生产、生活和社会发展。针对垃圾处理的方式多种多样,其中较为常见的是填埋式处理法[1],但是该方法会产生大量的渗滤液,渗滤液处理不当可能会导致周边环境出现二次污染[2],因此,对垃圾渗滤液的处理过程进行研究与分析十分必要。近年来,垃圾渗滤液处理技术在环境保护的应用中取得了一些重要的研究进展[3]。比如,利用土壤过滤,吸附,沉降等方法,将渗滤液中的悬浮物及其它相关组分去除。这些研究成果为垃圾渗滤液处理的环保领域提供了新的思路和方法,为实现垃圾渗滤液技术成熟发展提供了有力支持。然而,尽管垃圾渗滤液处理工艺在环保领域中展现出了巨大的潜力,但仍然存在一些挑战需要克服,其中包括工艺投入成本、环境影响等。

2. 垃圾渗滤液处理技术

2.1. 物理化学处理技术

本工艺采用物理化学相结合的方法对垃圾渗滤液进行治理。主要是利用生活垃圾自身的物理、化学特性对渗滤液进行处理。在采用物化处理工艺完成后,再采用生物工艺进行下一步处理。物理化学处理技术的优势是方便快捷,材料简单易得,它也是当前应用频率比较高的一项技术[4]。然而,需要指出的是,该技术在使用时,一定要对环境进行严格地监控,因为这种技术一旦使用不当,不但不能起到很好的作用,而且一些化学物质还会对环境造成二次污染。

比如,沈耀良等对杭州天子岭垃圾填埋场进行了 PAC 混凝处理,得到了一系列的效果。COD 去除率由 18.4%上升至 37.3% [5]。

2.2. 生物处理技术

本项目针对城市生活垃圾填埋场中的渗滤液,以减少其对环境的污染为目标,提出了一种新的、可持续发展的新工艺。其比较常用的方法主要有三种,分别为厌氧、好氧、兼性厌氧[6]。其中,厌氧工艺主要用于处理污水中 COD 含量较高的垃圾焚烧厂、食品加工厂等,对 COD 有较高的处理能力。而好氧工艺在处理氨氮等元素时效果比较理想,比较适用于氨氮浓度较高的污水厂。然而,大多数垃圾渗滤液的 COD 和氨氮含量都很高,所以在对渗滤液进行处理的时候,不能仅仅采用厌氧或好氧工艺,而应该将

这两种工艺有机地组合起来,才能使有关过程的效能最大化,真正实现渗滤液中有害物质的治理。总之,生物法对垃圾渗滤液的处理具有明显的优越性,对有机及含氮污染物能够高效脱除。

例如,广州的大田山垃圾填埋场曾采用 SBR 法处理垃圾渗滤液,结果表明,该法对渗滤液的 COD 去除率可高达 90%以上[7]。

由于《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB16889-2008)的提高,经过二级生化处理之后的出水仍含有难以生物降解的大分子腐殖酸、小分子的水溶性腐殖质[8],目前,污水中 COD 含量仍然在 500~1000 mg/L 以上,仅靠二级生物法已经不能满足 GB16889-2008 标准,还需对污水进行物化深度处理。目前,国内 4 种具有代表性的垃圾渗滤液处理技术已经初具模型。

4 种典型工艺路线优缺点对比分析见表 1。

Table 1. Typical process route of landfill leachate biological treatment

表 1. 垃圾渗滤液生物处理典型工艺路线

工艺路线类型	优点	缺点	应用案例
UASB + 外置 MBR + NF/RO 工艺路线组合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高效率、低成本脱氮 2. 膜分离过程改善系统污泥浓度,减少了占用空间 3. 出水水质稳定,可靠性高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 与其他生化工艺比较,MBR 工艺是一种新型的、高效的工艺但是能耗较高 2. 采用外置式超滤、纳滤膜和反渗透膜系统时,能源消耗较大,需定期更换膜组件 3. 该体系产量为 15%~25%,需另外处理 	如广州兴丰垃圾填埋场渗滤液处理项目 [9]、长沙市固体废弃物处理场渗滤液处理项目 [10]
AT-BC 生化转盘 + 曝气装置 + 芬顿氧化 + 生物滤池工艺路线组合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在缺氧条件下操作,降低能源消耗 2. 利用生物膜进行同步硝化反硝化,对碳源的需求量小,耐冲击性能好的处理过程 3. 采用高级氧化技术,能更彻底地解决环境问题,而且不会生成浓溶液 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需添加营养液 2. 要求将芬顿氧化反应条件适应于水质的改变: pH、双氧水与 Fe^{2+} 摩尔比、Fe^{2+} 浓度等 3. 需添加化学药品,生成更多的化学物 4. 占地面积较大 	如杭州天子岭垃圾填埋场渗滤液处理项目
氨吹脱 + A/O/O 生化池 + 内置式 MBR + NF 工艺路线组合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 采用氨吹脱的方式去除氨氮,减少对高浓度氨氮对生化的影响 2. 内置 MBR 工艺,能耗相对较低 3. 出水水质稳定、可靠性高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需酸碱调节,氨吹费较高 2. 氨吸收品的出口问题有待解决 3. 该体系浓缩液产量为 15%,需另行处理 	深圳下坪垃圾填埋场渗滤液处理厂
二级 DTRO/STRO 流程组合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 无需生化工艺,设备占地少 2. 系统易于启动 3. 出水水质优质可靠 4. 适合于可生化性差的老龄填埋场 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 系统投资和运营成本较高 2. 此系统有 25%的浓缩物,需额外处理 3. 膜通量的易衰变 	沈阳大辛垃圾填埋场(200 t/d)、沈阳老虎冲垃圾填埋场(200 t/d)

2.3. 土地处理技术

土地处理法是一种污染控制技术,该技术起源于 20 世纪 70 年代。它是指通过微生物在自然界中的代谢过程,使其变成对人体无害或毒性较低的物质。由于土壤中存在大量的微生物,在其代谢作用下,可将其溶解性有机质转化为可溶性有机质,并在此基础上进行有效的降解处理。当前,回灌和人工湿地已被广泛使用于土壤处理工艺中。土地处理法旨在解决废水处理难题,降低污染物对环境的危害。土地

处置法从提出至今,已在国内被广泛运用与发展。从最初的单一好氧生物处理工艺,发展到如今的厌氧生物处理、生物膜法、人工湿地等。此外,为了提高处理效果,土地处理法还与其他处理方法如物理、化学方法等相结合,形成集成技术。随着科研技术的不断进步,土地处理法在处理水质、降低污染物排放、保护生态环境等方面发挥着越来越重要的作用。

例如,宁夏永宁县采用潜流人工湿地 + 表面流人工湿地技术处理永宁县第二污水处理厂的尾水,经过人工湿地深度处理后,人工湿地出水水质达到地表水Ⅳ类标准排放,对于永二干沟环境综合整治、生态环境保护 and 流域社会经济可持续发展,具有切实的必要性和重要的战略意义[11]。

2.4. 不同处理技术对比

表 2 总结了不同处理技术的优缺点,分析了各自的适用场景。

Table 2. Comparison of different treatment technologies

表 2. 不同处理技术对比

	优点	缺点	适用场景
物理化学处理技术	方便快捷,处理材料简单易得。	容易对环境产生二次污染	可生化性较好的渗滤液
生物处理技术	可靠性、简单性、高成本效益和使用范围广	很难达到排放标准,不稳定	适用于去除含高浓度有机物的渗滤液
土地处理技术	可有效地提高垃圾的含水量,有利于微生物的再一次消化利用,对去除有机物和氨氮有重大作用	容易导致土壤或者地下水受污染	适用于天然垃圾场

由表 2 可知,各种处理技术都有适用条件及优缺点。

物化技术仅仅是对渗滤液中的污染物进行了简单的分离,并未最终使之降解去除,容易产生二次污染;

可生化性较好的渗滤液适宜采用生物处理技术进行降解,比如早期的垃圾渗滤液,其 BOD5/COD 比值相对较高,而现在大多数渗滤液的 BOD5/COD 比值较低,可生化性随之降低,可生化性能较差,如果直接采用生物处理技术,难以达到排放标准;

土地处理法土壤处理技术是利用土壤的过滤,吸附,沉降等过程来除去渗滤液中的悬浮物及其它相关组分。虽然能有效去除有机物,但是很容易造成土壤甚至是地下水污染。

3. 渗滤液处理技术发展趋势

目前,我国垃圾分类措施不完善,导致垃圾渗滤液的成分复杂多变[12];除此之外垃圾渗滤液处理发展起步较晚,导致如今卫生填埋发展相比国外要迟缓[13]。我国渗滤液由于高 COD、高总氮及含有毒有害物质浓度高等原因,技术一直处于探索阶段,主要突出难题包括出水不达标,可生化性较差,工艺老旧,运行费用高等问题。

渗滤液处理技术发展方向有:

生物强化技术的发展。以短程硝化 - 反硝化、厌氧氨氧化等为代表性模型。与传统硝化反硝化工艺相比,短程硝化反硝化工艺和厌氧氨氧化工艺可分别节约 25%和 58%的氧及 40%和 100%的碳源[14]。对生物技术进行组合,如通过上流厌氧污泥床(UASB)降解渗滤液中的有机物含量,随后使用了膜生物反应器(MBR),并将系统的出水通过短程脱氮工艺(SHARON)和厌氧氨氧化(Anammox)工艺脱氮。在该过程中,COD 和 TKN 的去除效率超过 90% [15]。当生化需氧量浓度大于 8000 mg/L 时,两种工艺均可使生化需

氧量下降到 50 mg/L 以下。即使, 尽管渗滤液中的铵态氮含量不高, 最高时仅有 42.35 mg/L, 但通过 SHARON 和 Anammox 工艺连续操作成功去除了氮。

物理化学方法的发展。主要包括针对于复杂多变的渗滤液的适应性与高效性, 其次是降低化学方法的成本, 并且提高渗滤液可生化性。技术手段主要集中于高级氧化法, 如电催化氧化法、臭氧氧化法和芬顿氧化法等[16]。Niveditha 等[17]针对于四氧化三铁与飞灰异相系统的研究。研究结果已然表明, 进行优化的处理效果更佳, 并且 COD 平均去除率高达 84.7%, TOC 平均去除率高达 68%。

1) 新的工艺流程可减少生产成本, 并增强了系统的工作稳定性。这是渗滤液处理工艺的一个核心难点, 近十年已经取得较好的进展。在我国, 处理渗滤液的费用很高, 综合成本一般不低于 40 元/t, 平均处理渗滤液的直接成本费用为 20~25 元/t [18], 对能源消耗更少、运行成本更低的渗滤液处理技术开发应成为重要研究方向。

2) 对膜分离工艺进行改造与革新。不完全依赖膜, 合理发挥膜在整个渗滤液处理工艺中的作用。创新探索膜分离技术与生物化学工艺技术的融合。

4. 结语

我国是一个人口密集、高速发展的国家, 而垃圾渗滤液的处理工艺在生态、社会环境中起到至关重要的作用, 本文综述了垃圾渗滤液技术在社会生活与环境保护领域中的研究进展。通过对相关文献的梳理和分析, 我们发现近十年来渗滤液技术取得了显著的进展, 并展现出巨大的潜力。生物法以其耐冲击性能好、能量消耗小、操作简单、易于操作而成为渗滤液处理的基本单元; 但通常生物处理技术的出水并不能满足排放标准, 所以通常采用物理化学技术作为后续处理单元。然而传统的生物法曝气过程要消耗大量能源, 而且还有可能要投加碳源, 显著增加处理成本。因此, 针对目前城市生活垃圾渗滤液处理中存在的相关问题, 对其处理效果、最佳运行条件及作用机制等问题还需进一步研究, 将生化技术和新的过程技术有机地结合起来, 通过对垃圾渗滤液中有有机污染物的最优处理方法的优选, 改善垃圾渗滤液处理工艺的效能。因此未来的研究应该致力于解决这些问题, 并深入探究垃圾渗滤液处理技术在环境保护领域的应用机制和解释性, 以推动环境科学的发展和人们美好生活的实现。

参考文献

- [1] 张彦龙, 韩业钜. 垃圾填埋场渗滤液特性及处理技术[J]. 广东化工, 2023, 50(21): 121-122+95.
- [2] 余端民, 王兴, 黄忠勇. 生活垃圾渗滤液与酒类废水协同处理研究[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(9): 104-106.
- [3] 王向. 垃圾渗滤液处理技术研究进展探究[J]. 山西化工, 2022, 42(4): 161-162+166.
- [4] 汪广丰. 生活垃圾渗滤液处理的工艺评价与发展方向[J]. 城乡建设, 2014(12): 76-77.
- [5] Neczaj, E., Kacprzak, M., Lach, J. and Okoniewska, E. (2007) Effect of Sonication on Combined Treatment of Landfill Leachate and Domestic Sewage in SBR Reactor. *Desalination*, **24**, 227-233. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.02.033>
- [6] 吴广凤. 垃圾渗滤液处理技术研究进展[J]. 广东化工, 2016, 43(2): 92-93.
- [7] 张源野. 垃圾渗滤液处理技术研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2014, 32(11): 29-37.
- [8] 欧阳衡. 城市垃圾填埋场渗滤液处理工艺试验研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2005.
- [9] 高新, 蔡斌, 周俊, 等. 水质均衡-外置式 MBR-NF/RO 工艺在长沙市垃圾渗滤液处理工程中的应用[J]. 给水排水, 2017, 53(10): 58-61.
- [10] 梁欢. 广州兴丰垃圾填埋场渗滤液调节池湿法加盖工程质量管理研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [11] 董清芝. 垃圾渗滤液处理工艺研究[J]. 河南科技, 2022, 41(12): 105-109. <https://doi.org/10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2022.12.022>

-
- [12] 张懿. 城市垃圾填埋场渗滤液的处理技术综述[J]. 重庆环境科学, 2000(5): 63-65+78.
- [13] 郑晓坚. 高效人工湿地技术在污水厂尾水处理中的应用[J]. 价值工程, 2023, 42(36): 151-153.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-4311.2023.36.049>
- [14] 袁维芳, 王浩, 汤克敏, 等. 垃圾渗滤液处理技术及工程化发展方向[J]. 环境保护科学, 2020, 46(1): 76-83.
- [15] Akgul, D., Aktan, C.K., Yapsakli, K. and Mertoglu, B. (2013) Treatment of Landfill Leachate Using UASB-MBR-SHARON-Anammox Configuration. *Biodegradation*, **24**, 399-412. <https://doi.org/10.1007/s10532-012-9597-y>
- [16] 陈雷, 贺磊, 吴立群, 等. 垃圾渗滤液的处理现状及发展方向[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 295-298.
- [17] Niveditha, S.V. and Gandhimathi, R. (2020) Flyash Augmented Fe₃O₄ as a Heterogeneous Catalyst for Degradation of Stabilized Landfill Leachate in Fenton Process. *Chemosphere*, **242**, Article No. 125189.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125189>
- [18] 丁曙东, 钟宇, 苗鑫. 垃圾渗滤液处理方法与工艺研究[J]. 广东化工, 2023, 50(14): 148-150+160.