

工业固废填埋场渗滤液污染特征及处理技术研究

朱斌

昆山市亚盛环保回收利用有限公司, 中国·江苏 昆山 215300

摘要: 在工业固体废物填埋处置过程中, 渗滤液持续析出是造成场区周边土壤、地下水及地表水体污染的核心诱因。该类废水组分复杂、水质动态波动明显、毒害性强, 是固废处置领域治理难度极大的废水类型。结合工业固废填埋场实际运行工况, 本文对比不同工艺的适用条件、技术优势与存在缺陷, 针对目前渗滤液治理过程中的技术瓶颈提出可行的优化路径。研究成果可为工业固废填埋场渗滤液高效治理、低成本稳定运行提供可靠的理论支撑与工程参考, 助力工业固废无害化处置与区域生态环境保护协同发展。

关键词: 工业固废; 填埋场; 渗滤液; 污染特征; 处理技术

Research on the Pollution Characteristics and Treatment Technologies of Leachate from Industrial Solid Waste Landfills

Zhu Bin

Kunshan Yasheng Environmental Protection Recycling and Utilization Co., Ltd, China Jiangsu Kunshan 215300

Abstract: During the landfill disposal of industrial solid waste, continuous leachate generation serves as the primary cause of pollution in surrounding soil, groundwater, and surface water bodies. This wastewater exhibits complex composition, significant dynamic fluctuations in quality, and high toxicity, representing one of the most challenging types of wastewater to treat in solid waste management. Based on actual operational conditions of industrial solid waste landfills, this paper compares the applicable conditions, technical advantages, and limitations of various treatment processes, proposing feasible optimization strategies to address current technological bottlenecks in leachate remediation. The research findings provide reliable theoretical support and practical engineering references for efficient and cost-effective leachate treatment in industrial landfills, facilitating the coordinated advancement of harmless solid waste disposal and regional ecological conservation.

Keywords: Industrial solid waste; Landfill; Leachate; Pollution characteristics; Treatment technologies

0 引言

随着工业固废填埋处置规模化推进, 渗滤液污染治理已然成为生态环保领域的重点攻坚内容。从国内填埋场整体运行情况来看, 现阶段渗滤液处置体系仍存在诸多不完善之处。多数中小型填埋场渗滤液收集导排设施建设滞后, 渗漏和外溢风险长期存在; 现有处理工艺通用性较强, 难以匹配不同来源渗滤液的差异化水质特点; 长期运维成本居高不下, 中小环保企业运维压力较大; 深度处理工艺普及度不足, 污染物去除不彻底, 出水达标稳定性较差^[1]。本文围绕工业固废填埋场渗滤液污染特征及各类处理技术展开系统分析, 为同类工程工艺选型及运维优化提供参考依据。

1 工业固废填埋场渗滤液污染特征分析

1.1 污染物种类繁多, 含多种毒害性组分

工业固废来源覆盖冶金、化工、建材、矿山、医药等多个工业门类, 不同行业固废理化性质差异显著, 使得填

埋场渗滤液污染物组成极为复杂, 主要可分为四大类。一是有机污染物, 既包含碳水化合物、蛋白质、脂肪等易生物降解物质, 也涵盖多环芳烃、卤代烃、酚类、硝基化合物等难降解有机组分。其中难降解有机物毒性高、自然降解周期长、环境滞留性强, 是渗滤液治理的主要难点。二是重金属污染物, 铅、镉、铬、汞、锌、铜等重金属主要源自冶金、化工及矿山废渣, 该类物质具备生物累积性与高毒性, 无法被微生物分解, 可在土壤和水体中长期富集, 持续危害生态系统与人体健康。三是无机污染物, 以氮、磷、硫、氯等无机元素为主, 其中氨氮污染问题最为突出, 主要由固废内部含氮有机物分解产生, 过量氨氮进入水体易引发富营养化问题, 破坏水生生态结构。

1.2 污染物浓度偏高, 超标倍数突出

相较于常规生活垃圾填埋渗滤液, 工业固废渗滤液各类污染指标浓度整体显著更高, 有机物、重金属、氨氮等核心指标普遍远超国家排放标准, 超标幅度可达数倍至数

十倍, 极端工况下超标更为严重, 大幅提升了废水治理难度。重金属超标问题同样严峻, 铅、镉、铬等重金属指标普遍超标 10~50 倍, 危险固废填埋区域重金属超标倍数最高可突破 100 倍。

1.3 水体毒性较强, 生态与健康危害显著

工业固废渗滤液富集大量重金属离子、难降解有机物、氰化物、酚类等有毒有害物质, 该类组分具备明显的毒性、致癌性与致畸性, 一旦发生渗漏扩散, 将对区域生态环境和人体健康造成不可逆损伤。在生态影响方面, 渗滤液渗入土壤后, 会引发土壤重金属累积与有机物复合污染, 破坏土壤结构、降低土壤肥力, 抑制植被与农作物生长, 严重时可能造成植被大面积死亡。若渗滤液渗入地下水或汇入地表水体, 会直接污染饮用水源, 诱发水体富营养化, 造成水生生物死亡、藻类爆发, 彻底破坏水生态平衡。国内某工业固废填埋场曾因防渗体系破损, 出现大面积渗滤液渗漏问题, 导致场区周边地下水重金属严重超标, 铅、镉、铬等指标远超饮用水标准, 周边耕地土壤污染严重, 农作物无法正常种植, 造成了严重的生态破坏与经济损失^[2]。

2 工业固废填埋场渗滤液主流处理技术

2.1 物理化学处理技术

物理化学处理技术是工业固废渗滤液预处理及深度净化的关键技术手段, 依托物理分离与化学反应机制, 有效去除水体中的悬浮物、重金属离子、难降解有机物等污染物。该类技术受水质、水量波动影响较小, 反应速度快、工况适应性强, 尤其适合处理可生化性差、毒性高的工业渗滤液。目前工程应用较为成熟的工艺包括混凝沉淀、吸附净化、高级氧化、化学沉淀等, 既可单独用于预处理环节, 也可与其他工艺组合开展深度处理, 是复杂工业渗滤液治理体系的基础工艺。

2.2 生物处理技术

生物处理技术依托功能微生物的代谢作用, 将渗滤液中的可生物降解有机物分解为二氧化碳和水等无害物质, 同时实现氨氮、总氮等污染指标的有效去除。该工艺运行成本低廉、无二次污染、绿色环保, 适配可生化性较好的工业固废渗滤液治理场景。现阶段工程常用生物处理工艺包含厌氧处理、好氧处理及厌氧-好氧联合处理三类, 通过合理工艺组合, 可适配不同有机污染负荷的渗滤液水体, 是规模化渗滤液治理的经济型主流工艺。

2.3 膜分离处理技术

膜分离技术利用功能膜的选择性筛分与渗透性能, 实

现水体与污染物的精准分离, 进而达到渗滤液净化效果, 具备处理效果稳定、出水水质优良、占地面积小等优势, 广泛应用于渗滤液末端深度处理, 可保障出水稳定达标排放或资源化回用。当前工程常用膜处理工艺包括超滤、纳滤、反渗透, 其中反渗透技术工程应用最为广泛。整体来看, 膜分离技术出水稳定性好、净化效率高、无衍生污染物, 但技术短板同样突出, 设备投资与日常运维成本较高; 膜组件易受胶体、重金属、悬浮物附着污染, 需定期清洗与更换, 增加了运维工作量与经济成本。同时, 膜处理过程会产生高浓度浓水, 该类废水污染物富集度高、处理难度大, 处置不当极易引发二次污染。

2.4 组合处理技术

工业固废渗滤液组分复杂、污染负荷波动大、水质稳定性差, 单一处理工艺难以同时兼顾治理效果、运行稳定性与经济成本, 无法满足现行高标准环保排放要求。在此背景下, 多工艺组合处理模式已成为行业主流发展趋势。组合工艺通过整合物化处理、生物处理、膜分离处理等技术的优势, 弥补单一工艺的技术短板, 构建“预处理-主处理-深度处理”一体化治理体系, 在保障污染物高效去除的同时优化运维成本, 适配各类复杂水质工况, 确保出水长期稳定达标^[3]。

3 现有处理技术的应用短板与优化策略

3.1 现存应用短板

经过多年技术迭代与工程实践, 国内工业固废渗滤液治理体系已逐步完善, 各类单一工艺与组合工艺得到广泛应用, 但结合行业运行现状与现场实操情况, 当前治理模式仍存在多处亟待解决的问题。

第一, 工艺适配性不足。不同行业固废产生的渗滤液水质差异显著, 但多数填埋场沿用统一化、标准化治理工艺, 未结合场区固废类型与水质特征开展定制化设计。部分可生化性良好的渗滤液盲目采用高成本膜处理工艺, 造成资源浪费; 而可生化性极差的高污染渗滤液仍采用常规生物处理工艺, 污染物去除效果不佳, 存在运行效率低、成本高、出水不达标等问题。

第二, 运维成本居高不下。渗滤液完整治理流程涵盖药剂投加、设备耗电、设备维保、污泥处置等多个环节, 整体能耗与物料消耗较大。其中高级氧化、膜分离等深度处理工艺单位运维成本可达 80 元/m³ 以上, 危险固废填埋场治理成本甚至突破 100 元/m³。长期高额运维费用给中小型环保企业带来较大经营压力, 导致部分填埋场处理设备闲置、系统非正常停运, 治理工作无法常态化开展。

第三,副产物处置难度大,二次污染风险较高。物化处理与生物处理工序会产生大量污泥,其中化学沉淀工艺产生的含重金属污泥毒性较强,现阶段多数企业采用直接填埋方式处置,易引发土壤和地下水二次污染。同时,膜分离产生的高浓度浓水污染物富集严重,部分填埋场采用场内回灌模式,造成填埋区污染物持续累积,进一步增大后续渗滤液治理压力,形成治理恶性循环。

第四,膜污染与设备老化问题突出。膜分离系统运行期间,水体中的悬浮物、胶体、重金属离子易附着于膜表面,造成膜孔堵塞、膜组件污染,直接引发膜通量衰减、处理效率下降。为保障系统稳定运行,需定期开展物理与化学清洗,且膜组件常规使用寿命仅 3~5 年,需持续更换,进一步增加设备运维与采购成本,提升现场操作难度。

3.2 针对性优化策略

针对上述行业现存问题,结合渗滤液治理技术发展趋势,从工艺适配、成本管控、副产物处置、设备运维四个维度提出优化方案,旨在提升渗滤液治理体系的针对性、经济性与稳定性,推动行业绿色规范化发展。

首先,定制化优化工艺方案,提升工况适配能力。根据填埋场固废类型与实时水质参数差异化匹配治理工艺,摒弃一刀切的标准化治理模式。针对 $BOD/COD > 0.3$ 、可生化性良好的渗滤液,优先采用厌氧-好氧联合生物工艺,依托低成本生物代谢实现污染物降解,控制运维成本;针对 $0.1 < BOD/COD \leq 0.3$ 的中等可生化性渗滤液,采用“物化预处理+生物主处理+末端深度净化”组合工艺,逐级去除复杂污染物,保障治理效果;针对 $BOD/COD \leq 0.1$ 、可生化性极差的高毒性渗滤液,选用“物化强化处理+膜深度处理”组合工艺,彻底降解难污染组分,保障出水达标。同时建立常态化水质监测机制,根据水质、水量动态变化调整工艺参数,提升系统自适应能力。

其次,研发新型低成本技术与药剂,降低运维消耗。加大新型高效、低成本治理材料与技术的研发落地力度,开发高性能非均相芬顿催化剂、改性低成本吸附剂、耐高毒高效微生物菌剂等材料,有效降低药剂消耗与系统能耗。优化药剂投加模式,配套智能化投加控制系统,根据实时水质数据动态调节药剂用量,杜绝物料浪费。同时推广国产抗污染膜材料替代进口产品,降低设备采购与更换成本,通过材料升级延长膜组件服役年限。

再次,完善副产物处置体系,杜绝二次污染。对不同

类型污泥实施分类处置与资源化利用,含重金属毒害污泥采用固化稳定化处理后进行安全填埋,或回收提取重金属资源,实现固废资源化;生物处理产生的有机污泥通过厌氧消化产沼气实现能源回收,消化残渣经无害化处理后可用于堆肥。针对膜处理浓水,采用蒸发结晶、高级氧化等深度工艺处理,回收水体盐分与有效组分,实现浓水减量化、资源化与零排放,彻底解决浓水二次污染问题。

最后,优化膜污染防控机制,延长设备使用寿命。强化膜系统前置预处理效果,最大限度去除悬浮物、胶体等易致堵污染物,从源头降低膜污染概率。建立标准化膜组件清洗制度,定期开展物理冲刷与化学清洗,及时清除膜面附着污染物,恢复膜通量。精准调控系统运行压力、水温、流速等参数,减少污染物附着堆积。同时推广高抗污染新型膜材料,从材质层面提升膜组件抗污染、抗老化性能,延长设备运行周期。

4 结语

工业固废填埋场渗滤液属于高浓度、高毒性、组分复杂的难降解废水,具备污染物种类多、超标幅度大、水质波动频繁、可生化性差异显著等特点,未经有效处置极易破坏区域土壤与水体生态,威胁居民身体健康。目前国内渗滤液主流治理工艺包含物化处理、生物处理、膜分离处理及多工艺组合处理四大类,各类工艺均有对应的适用场景与技术优势:物化工艺适配范围广,可高效去除重金属与难降解有机物,多用于预处理与深度净化;生物工艺绿色经济,适合处理可生化性较好的渗滤液,运维成本低且无二次污染;膜分离工艺净化精度高、出水稳定,是末端达标治理的核心技术;多工艺组合模式可整合各类技术优势,弥补单一工艺短板,适配各类复杂水质工况,是现阶段工业固废渗滤液治理的主流发展方向与最优技术方案。

参考文献:

- [1] 王磊,李娜,张军.工业固废填埋场渗滤液污染特征及处理技术研究[J].环境工程,2022,40(5):112-118.
- [2] 刘建国,陈敏.固体废物填埋场渗滤液水质特征与处理技术进展[J].环境科学与技术,2021,44(8):230-238.
- [3] 赵阳,吴浩.工业固废渗滤液污染物组成及无害化处理技术综述[J].工业安全与环保,2023,49(2):89-94.

作者简介:朱斌(1989.05-),男,汉族,江苏昆山,助理工程师,大学本科,研究方向:固体废弃物处置利用。