

垃圾填埋场渗滤液处理工艺比较研究

胡娇珠

(湖南北控威保特环境科技股份有限公司, 湖南 长沙 410205)

【摘要】近年来, 环境污染引起的社会问题日渐频发, 国家对此也采取了多种有力措施大力推进环境污染的防治工作, 从“水十条”“土十条”“大气十条”到构建常态化环保督查问责机制等一系列政策措施, 可见中央层面对环保问题的重视程度可谓重中之重。本文聚焦于垃圾填埋场渗滤液的处理技术, 通过对物理法、化学法和生物法等主要处理技术的综合比较, 揭示各技术的优势、局限以及应用场景, 为渗滤液的有效处理提供理论基础。

【关键词】垃圾渗滤液; 工艺处理; 技术对比

引言: 垃圾渗滤液的处理一直是一个世界性的环保难题, 过去由于政策执行、监管力度不够严格, 垃圾处理厂超标排放, 甚至偷排、漏排等现象也频频出现, 随着当前严格的环保督查制度的建立, 采取哪些措施、如何打破当前渗滤液处理不达标的困局成为各个地方政府不得不直面的难题。

一、垃圾填埋场渗滤液概述

(一) 渗滤液处理现状

现有的垃圾填埋场的处理技术主要分为两大类,

(1) 对新建垃圾填埋场的渗滤液, 由于此时化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)浓度都很高, 可生物降解性能好, 一般采用生物工艺, 具体方法有厌氧生物法、好氧生物法、硝化-反硝化生物法等。

(2) 对旧垃圾填埋场的渗滤液, 由于BOD/COD比值很低(小于0.1), 一般采用物理化学方法, 具体方法有混凝沉淀、吹脱中和、离子交换、吸附、催化氧化、蒸发、湿式氧化、反渗透等。由于垃圾填埋场渗滤液的水质随时间发生很大变化, 加上还含有高浓度氨氮(NH₃-N)、盐份和其它有毒有害物质, 会抑制生物活性, 同时重金属离子也超标, 使得渗滤液的治理达标一直为难题。目前, 所有主要污染物指标(COD、NH₃-N、重金属等)都严重超标。国外能达标处理并具有实用性和先进性的处理工艺为以反渗透为最终处理设备的生物-物化处理工艺。在生物处理中, 主要采用活性污泥法、上流厌氧污泥床、活性污泥-反硝化硝化工艺。

(二) 影响渗滤液性质的主要因素

1. 垃圾组成与老化程度

影响渗滤液性质的主要因素为不同种类的垃圾, 其在分解过程中所产生的渗滤液成分差异显著。例如, 有机垃圾分解产生的渗滤液富含有机物、营养物质, 而工业废物则含有更多的重金属和有毒化学物质。

而其老化程度是指, 在填埋时间的增加下, 新鲜垃圾与老化垃圾产生的渗滤液在化学组成上存在差异, 其中有机物的生化需氧量(BOD)降低, 而化学需氧量(COD)和无机盐的浓度相对稳定或增加。

2. 填埋技术与管理

首先, 不同的填埋技术会直接影响到渗滤液的质量和量, 一般所采取的填埋技术包括卫生填埋、控制填埋和简易填埋。其次, 垃圾覆盖层的厚度、密度以及垃圾场的排水系统均会影响到渗滤液性质(生产量、质量)。

3. 气候条件

首先, 雨水位段渗滤液生成的主要外部水源, 降水量的多少直接影响渗滤液产量、稀释程度。其次, 在高温天气下, 可加速垃圾的生物降解过程, 从而影响渗滤液中有机物浓度、种类。

二、渗滤液处理工艺分析与比较

(一) 物理处理工艺

渗滤液物理处理工艺, 主要是以物理的方式去除水中悬浮物质、部分溶解物, 所使用的方法包括筛分、沉淀和浮选, 具体为:

1. 筛分

筛分是利用筛网分离渗滤液中的固体悬浮物、较大颗粒物的简单物理过程。实现筛分包括合理选择筛分设备, 此设备由多层不同孔径的筛网组成, 孔径从上至下逐渐减小, 以适应不同大小颗粒的分离需求。而筛网的孔径范围也需考虑在内, 其一般从几毫米

(mm)到几十微米(μm),根据渗滤液中悬浮物的大小和处理要求来选取。通过筛分可达到去除渗滤液中的大颗粒物,如塑料碎片、纸张残余等,从而防止此物质堵塞后续处理设备。但需注意的是,筛分为预处理阶段,需与其他技术配合使用。

2. 沉淀

在物理处理工艺中,沉淀技术主要基于重力作用完成对渗滤液中悬浮固体颗粒的分离,此过程渗滤液被静置,使得固体颗粒因其密度高于水而逐渐沉降至容器底部。该技术的设计参数为:

长度一般在10到100米(m),宽度在5到20米(m),而深度则在3到5米(m)之间。设计上,沉淀池具有一个或多个入口和出口,以确保渗滤液能均匀流过并有足够的时间进行沉降^[1]。

沉淀停留时间参数,决定的是颗粒物沉降时间,在此过程中可设置在2到6小时之间,但具体时间取决于渗滤液特性以及去除物的实际情况,在一些情况下为增强沉淀效果,也会加入絮凝剂,以此达到加速沉降速度^[2]。在分析对比中得出,该技术对于溶解在水中的有机物和细小颗粒,沉淀法的去除效率有限,需与其他技术进行配合使用^[3]。

3. 浮选

浮选主要应用于渗滤液中悬浮物质及轻于水的物质的去除,如油脂、轻质塑料颗粒及某些类型的重金属此技术的原理为,向渗滤液中注入空气或其他气体,生成大量微小气泡。在生成气泡后,可基于气泡浮力,使颗粒物质的整体密度小于水,以此将颗粒带至水面形成可去除的泡沫层。该技术,与筛分和沉淀相比,浮选技术在去除轻质悬浮物和油脂方面更为有效,在物理法处理中,该技术可有效去除较大的固体颗粒。但需注意的是,浮选过程中渗滤液的停留时间需保持在30分钟到2小时,以确保充分的浮选效果^[4]。

(二) 化学法

1. 化学沉淀

化学沉淀是指,向渗滤液中添加特定的化学试

剂,此试剂与化学沉淀的沉淀物。此过程主要用于去除渗滤液中的重金属离子、某些无机离子,如磷酸盐、硫酸盐等。

常见的化学试剂包括硫酸铝、氯化铁、石灰乳($\text{Ca}(\text{OH})_2$)等。例如,石灰乳被广泛用于调节pH值并去除重金属、磷酸盐。其反应条件为pH值,其是影响化学沉淀效果的关键因素。例如,重金属沉淀在pH值调整到8-10之间时最为有效;石灰乳添加量一般需根据水质条件和所需去除的污染物浓度进行调节,大概在几百mg/L到几g/L的范围。

化学沉淀与物理沉淀均可展示出自身独特优势,但其局限性问题也较为突出,物理沉淀依赖的是重力,但其对重金属去除效率较低,而化学则是加入反应试剂,可高效去除重金属等污染物,但其成本较高,所投入的资源较多,对此需结合垃圾填埋场实际情况合理选择不同的沉淀技术。

2. 氧化还原

在化学处理中,氧化还原主要是通过化学反应改变污染物化学状态的处理方法,其广泛应用于渗滤液中,可降解难以降解的无机物、重金属离子等,且该技术利用氧化剂或还原剂直接与污染物反应,使其被氧化为更稳定、无害或易于去除的形态,或者被还原为低毒性或低活性的形态。常用氧化剂为臭氧(O_3)、过氧化氢(H_2O_2)、氯和次氯酸盐(Cl_2/ClO^-)、高锰酸钾(KMnO_4)等。

该技术的操作成本、反应副产物的处理与安全性问题为技术使用的挑战,也属于重要考虑因素,对此建议将该技术与物理法进行结合使用,以此达到渗滤液处理的最佳效果。

3. 中和反应

中和反应在渗滤液中主要用于调节pH值,使酸性或碱性的渗滤液达到中性状态,从而减少对环境、后续处理的影响,且需明确的是因渗滤液中所含有的有机酸、无机酸较多,对此中和反应成为渗滤液处理较为必要,该技术采用石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、纳灰(NaOH)或者碳酸钠(Na_2CO_3)等碱性物质作为中和

表 1: 物理法技术的比较

技术	应用场景	关键参数	去除效能
筛分	大颗粒悬浮物	筛网孔径: 几毫米至几十微米	高效去除大颗粒物,对细小悬浮物和溶解物效果有限
沉淀	悬浮固体颗粒	池尺寸: 长10—100m, 宽5—20m, 深3—5m; 停留时间: 2—6小时	有效去除中等大小悬浮物,对细小颗粒和溶解物效果有限
浮选	轻质悬浮物、油脂	停留时间: 30分钟至2小时	适用于轻质悬浮物和油脂,对重金属和溶解性有机物去除较低

剂，通过精确控制投加量，将渗滤液的 pH 值调整至接近中性（pH 7）。此外，还可利用硫酸（H₂SO₄）、盐酸（HCl）等碱性渗滤液进行中和，以此将 pH 值调降至中性范围。

中和反应处理方法可为后续处理创设有利条件，且可间接促进某些污染物的去除效果，与其他化学技术与物理法进行比较得出，该方法处理过程较为简单，且可达到保护水体生态安全的效果。

表 2：化学法（包括化学沉淀、氧化还原、中和反应）与物理法（筛分、沉淀、浮选）的关键比较点

化学法	物理法
通过化学反应改变污染物的化学状态	依靠物理过程（如重力、筛选）去除污染物
可高效去除溶解性污染物，如重金属、某些无机离子及难降解有机物	操作简便，成本较低，适用于去除大颗粒悬浮物
适合去除溶解性及难处理污染物，尤其在调整 pH、去除重金属方面有显著效果	主要用于初步处理，去除大颗粒物质和悬浮固体
成本较高，需要精确控制化学剂量，可能产生二次污染	对溶解性污染物和微小悬浮物的去除效率较低

（三）生物处理法

1. 厌氧消化

生物处理法利用微生物将渗滤液中所包含的有机污染物，并将其转化为无害或稳定的形成方式，在无氧条件下厌氧消化通过微生物的代谢活动将有机物分解为甲烷（CH₄）、二氧化碳（CO₂）和水等产品的过程。此方法特别适用于处理高浓度有机废水、渗滤液^[5]。

2. 好氧处理

在生物处理方法中，好氧处理是利用微生物将渗滤液中的有机物质氧化分解成二氧化碳和水的过程。此方法更适合用于低至中浓度的处理。

其中常见的设施为活性污泥系统、旋转生物接触器（RBC）、生物滤池和序批式反应器（SBR）。活性污泥系统的设计基于污水流量、有机负荷和污水成分，且好氧处理的关键操作条件包括温度、pH 值和溶解氧（DO）水平。理想的温度范围一般在 20℃ 到 30℃ 之间，pH 值维持在 6.5 到 8.5 最为适宜，而溶解氧浓度需保持在 2 毫克每升（mg/L）以上，以保证微生物的高效代谢。尽管好氧处理有众多优点，但其运行成本相对较高，主要是由于曝气过程中能耗产生较大。

表 3：下表总结了生物处理法（以厌氧消化和好氧处理为例）、化学法（以化学沉淀、氧化还原、中和反应为例）与物理法（以筛分、沉淀、浮选为例）在渗滤液处理中的关键差异

生物处理法	化学法	物理法
利用微生物代谢转化有机物为无害物质	通过化学反应去除或转化污染物	利用物理过程分离污染物
有机污染物，部分无机物和营养盐	重金属、溶解性无机物、pH 调节	悬浮固体、大颗粒物质
高（对有机物）	中到高（依据污染物类型）	低到中（依据颗粒大小）
温度：20-60° C，pH:6-8	pH: 根据反应调整，需添加化学剂	不受温度、pH 影响
中到高（需能量供曝气或保温）	高（化学试剂成本）	低（主要为物理设备成本）
污泥（可作肥料或能源回收）	可能有二次污染物	有限或无
厌氧消化罐处理量：1000-5000 m³/d，好氧系统设计流量：500-5000m³/d	化学沉淀反应器容量：100-1000 m³/d，氧化剂投加量：100-500 mg/L	筛网孔径：0.5-10mm，沉淀池大小：10x5x3m

结束语：综上所述，面对日益严重的环境污染问题和严格的环保督查制度，垃圾填埋场不得不直面各种环保难。在当前严格的环保形势下，垃圾填埋场需保障所采取的渗滤液处理技术可达到高效、环保的效果，如上提出了物理、化学、生物处理办法，并结合表格对比为企业提供有效参考。

参考文献：

[1] 张腾，蒋灶，杨政鑫，等.ZnxCd1?xS 光催化降解垃圾渗滤液及其产氢性能研究[J].燃料化学学报，2022，50（10）:1299-1306.

[2] 熊英，向斯，程凯.N.europaea/Nc.mobilis 谱系在垃圾渗滤液处理中的脱氮贡献[J].中国环境科学，2021，41（6）:2602-2609.

[3] 武奇，范建伟.Fe3O4-RGO 纳米复合催化剂类芬顿处理垃圾渗滤液[J].环境工程，2022，40（5）:25-30.

[4] 陈俊任，张立斌，刘晴晴，等.垃圾渗滤液培养微藻研究进展：向碳中和迈进[J].工业水处理，2022，42（11）:32-39.

[5] 姚军强，刘媛，郑晓宇，等.浸没式厌氧膜生物反应器处理垃圾渗滤液的连续运行性能[J].环境工程，2022，40（12）:121-127.