

垃圾渗滤液处理工艺的研究分析

邹威

深圳市深水水务咨询有限公司

摘要：随着社会经济的发展、城镇化建设的推进，我国每年所产生垃圾总量不断增加，垃圾渗滤液随之增多。作为成分复杂、含有大量氨氮和有机物的物质，垃圾渗滤液给环境造成的影响有目共睹，要想避免渗滤液污染环境，关键是要采取恰当的工艺对渗滤液加以处理。文章便围绕处理渗滤液的工艺展开了讨论，详细介绍了生化处理、物化处理、氧化处理等常见工艺的原理和使用方法，以供参考。

关键词：垃圾渗透液；生化处理；处理工艺

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.119

引言：多级生化处理工艺在垃圾渗滤液处理中通过预处理、生化处理、深度处理和后处理环节，可以有效去除渗滤液中的污染物，实现废水的净化、稳定和无害化。该工艺虽然具有高效率、低能耗等优势，但在实际应用中仍存在一些限制因素，如对水质变化的敏感性、操作条件的严格性。未来研究应进一步优化工艺流程和技术参数，提高处理效果和资源化利用率，以实现废水等资源的二次利用。

一、预处理

垃圾渗滤液是一种会对环境和人类健康造成严重威胁的废水，结合垃圾渗滤液的实际情况，科学应用处理技术，降低垃圾渗滤液的污染性，成为保障水资源安全，提升垃圾处理工作系统性、全面性的重要工作。预处理的目的是去除渗滤液中的悬浮物、大颗粒物、重金属等有害物质，同时调节渗滤液的水质和水量，使其满足后续生化处理的要求。考虑到垃圾渗滤液量会受到当地气象条件、污水渗透情况等因素的影响，因此，在正式开展垃圾渗滤液多级生化处理工作前，工作人员需要结合当地的降雨量、污水蒸发量等因素，确定不同季节渗滤液的产量，然后以渗滤液产量为基础建设合适大小的渗滤液调节池，从而达到合理分配水量、调节渗滤液的水质，降低后续渗滤液净化处理工作难度的目的。需要注意的是，在建设垃圾渗滤液调节池时，首先，工作人员需要保证渗滤液调节池的容量足够大，避免渗滤液因降雨而出现污水外溢的问题。其次，考虑到当前垃圾渗滤液中含有大量的微生物，因此在将渗滤液导入到调节池后，调节池本身可以逐步形成一个较大的天然反应池，这在一定程度上可以减少渗滤液中有机污染物的含量，一般情况下，调节池的容积大小与有机污染物的去除率之间存在着正比例关系。最后，在确定渗滤液调节池容量时，工作人员应结合当前渗滤液总量结算结果以及未来渗滤液总量，实现调节池容量的有效管控，在避免调节池容量大量闲置的基础上，控制调节池建设工作的成本。

表1 填埋年限不同的垃圾渗滤液的水质参数

水质参数	老龄渗滤液	中期渗滤液	初期渗滤液
pH值	> 7.5	6.5-7.5	< 6.5
COD	< 4000mg/L	4000-10000mg/L	> 10000mg/L
BOD/COD	< 0.1	0.1-0.3	> 0.3
氨氮	1000-3000mg/L	500-3000mg/L	200-2000mg/L
填埋年限	> 10年	5-10年	< 5年
有机成分	黄腐酸/腐殖酸	黄腐酸/腐殖酸/挥发性脂肪酸	挥发性脂肪酸
重金属含量	低	低	中低
生物降解能力	低	中	高

二、生化处理

该工艺是将垃圾渗滤液经过预处理后，利用生化反应进行处理，这种生化处理工艺在应用时与氧化沟的好氧悬浮生长活性污泥生物处理工艺有着一定的相似度。两者的差别在于生化处理工艺在于，用氧化钴处理污水时，污水会在水平回路中循环流动，而深度处理反应池中的污水则是绕着水平分流隔板的竖向回路循环流动。为保证生化处理工作能够顺利开展，工作人员需要布置专门的生化反应池，在低负荷条件下，生化反应池开展垃圾渗滤液处理工作时，可以用曝气转碟为曝气装置。通过控制污水以0.3—0.5m/s的速度通过曝气装置的方式，利用微生物的新陈代谢作用，将有机物转化为简单的无机物。同时为了提高微生物的新陈代谢效率，加速有机污染物的转化效率，可以在生化处理池底部安装气泡扩散器，并通过调节扩散器供氧量的方式，为微生物提供足量氧气，提高氧气的利用率^[1]。该工艺的优点是处理效果好，能够有效地去除垃圾渗滤液中的有机物和氨氮等污染物，但存在处理时间长、占地面积大等缺点。

三、物化处理

(一) 物理法

目前，垃圾渗滤液的物理处理法主要包括混絮凝法和吸附法，二者的对比见表2：

其中，混絮凝既可以用于生物预处理和反渗透预处理，还可以用来去除不满足生物降解条件的有机物。相较于无机絮凝剂，生物絮凝剂去除腐殖酸的效果更为突出，一般情况下，20mg/L的生物絮凝剂，便能够去除85%以上的腐殖酸。当然，该技术同样存在不足，即：产生污泥量基本恒定，溶液铁含量、铝含量明显增加。研究絮凝剂不难看出，改性微砂以及普通微砂均具有沉降混絮凝所形成颗粒、污泥的作用，理想状态下，改性

表 2 垃圾渗滤液物理处理法的对比

名称	方法	原理	特征	不足
混絮凝	生物混凝剂 有机混凝剂 无机混凝剂	充分利用混凝剂吸附架桥、电性中和作用，凝聚水中分散微粒，进而去除凝聚所形成聚集体	在处理老龄垃圾渗滤液、稳定垃圾渗滤液方面有突出表现，可以有效去除有毒物质、重金属离子以及大分子有机物	①仅依托絮凝无法保证经过处理的垃圾渗滤液达到排放标准，通常需要搭配其他方法使用； ②去除氨氮的效果不理想，去除过程中会产生较多污泥
吸附法	芦苇 活性炭 水稻秸秆 改性膨润土	利用固体多孔物质吸附并去除渗滤液所含物质	能够通过吸附的方式控制垃圾渗滤液氨氮、COD 含量	相关操作通常需要在实验室内完成，无法直接用于实际工程

微砂只需1min便能够沉降颗粒、污泥，普通微砂则需要20min方可得到与改性微砂沉降1min相同的效果，色度去除率在96.4%左右，COD去除率在52.6%左右，SS去除率则在97.1%左右。

活性炭吸附的对象多为生物处理后的渗滤液，保证渗滤液色度、COD浓度以及不满足生物降解条件的有机物的浓度降至较低水平。利用颗粒活性炭黄磷化工所产生渗滤液进行吸附能够发现，颗粒活性炭吸附有机物的效果通常不会被渗滤液酸碱度影响，通常等待45min左右，便能够达到相对平衡的状态，实测吸附量在5.8mg/g左右。

(二) 化学法

化学沉淀主要用于渗滤液的预处理，确保渗滤液所含NH₄⁺被有效去除。研究证实，该技术在处理氨氮废水方面有突出表现，在N与P的摩尔比是1.34、Mf与N的摩尔比是1.41、pH值是10、预设搅拌时间是30min的条件下，可去除71%左右的氨氮，同时保证渗滤液PO₄³⁻-P浓度无限接近零。实际应用该技术时，应注意以下几点：首先，调节池中，可以加入碱性物质，如石灰或氢氧化钠，调节渗滤液的酸碱度，为后续的处理提供便利。其次，沉淀池中，可以添加絮凝剂等化学物质，使渗滤液中的悬浮物和颗粒物聚集沉降，形成污泥。最后，通过实地检测能够了解到垃圾渗滤液调节池内，不同深度的水水质存在着较大的区别，因此，为保证后续深度处理工作的可靠性，在开展渗滤水处理工作前，工作人员需确定取水的具体深度。随后，利用浮箱，将取水头恒定漂浮于固定深度的渗滤液当中，再利用取水泵抽取足量的渗滤液，确保后续多级生化处理工作能够满负荷运转。沉淀池中分离出来的清水经过进一步的处理后，可以进入后续生化处理阶段。需要注意的是，操作过程中，还要对沉淀池中产生的污泥进行妥善的处理和处置，避免对环境 and 人类健康造成影响^[2]。

四、氧化处理

(一) 催化臭氧氧化

催化臭氧氧化强调以催化剂的吸附和催化作用、臭氧的氧化性为依托，对渗滤液所含有有机物加以处理。相较于常规的臭氧氧化，催化臭氧氧化对pH值的要求相对宽松，即使pH值偏低，仍然可以将臭氧快速分解为·OH，使得COD、TOC去除率达到理想水平，与此同

时，渗滤液所具有可生化性也会得到保证。将Mn²⁺和Cu²⁺作为催化剂，对渗滤液所含腐殖质加以处理，处理结果表明，该技术在去除COD、TOC方面有突出表现，但色度、UV₂₅₄的变化并不明显。由此可见，该技术的优点是能够快速去除有机物，不足在于较易出现金属离子流失的问题，金属离子流失不仅会使处理成本有所增加，还会增加水质被二次污染的可能性。

现阶段，该技术已得到广泛应用，具体的处理步骤如下：将渗滤液经过初步的固液分离，去除悬浮固体和可沉淀物，减少处理过程中的催化剂浪费和堵塞问题——把预处理后的渗滤液与臭氧混合并加入催化剂，催化剂通常采用金属氧化物，旨在促进臭氧分解和生成高度活性的氧自由基——催化臭氧通过氧化作用，将有机物质降解为H₂O和CO₂，臭氧通过与有机物接触，发生自由基反应，破坏有机物的化学键，从而使其降解成无害的物质——经过催化臭氧氧化反应所得到降解产物仍然可能存在残留物和有机物，可以通过生物处理、吸附、活性炭过滤等方法去除，确保处理水质达到要求的排放标准。需要注意的是，应用该技术处理渗滤液时，一方面要充分考虑催化剂的选择和用量、臭氧的浓度和反应时间等因素，以达到最佳的处理效果，另一方面要注意安全操作，合理防护催化剂和臭氧的泄漏、合理控制反应温度，此外，还要对处理过程中产生的废气和废水加以处理，以免造成二次污染。

(二) 臭氧氧化

臭氧具有极强的氧化能力，可以把降解难度较大的物质快速转化成分解难度小的物质，例如，把长链腐殖酸快速转化成短链有机酸。此外，臭氧还可以对渗滤液进行脱色，原因是垃圾渗滤液所含显色有机物的发色基团多为乙烯基等键能偏弱的基团，·OH、臭氧均能够快速破坏上述基团。实验结果表明，按照的8.3mg/L·min投加臭氧，经过2h的氧化后，可去除约55%的COD，通常经过4h的氧化处理，便能够使渗滤液达到排放标准。当然，该技术也存在较为明显的不足，例如，反应速度较慢、臭氧利用率不理想等，鉴于此，在实际工作中，有关人员往往会将臭氧氧化、催化臭氧氧化搭配使用。

实际操作流程如下：(1)将渗滤液送入臭氧处理系统之前，视情况进行固液分离、调整pH值、去除悬浮物和可沉淀物等预处理，减少固体和杂质对臭氧处理效

果的干扰。(2)使用臭氧发生器产生臭氧气体,保证臭氧即时生成,并以适当浓度供给到垃圾渗滤液中,以实现有效的氧化反应。(3)通过喷淋设备或气体分散系统将臭氧气体均匀喷入渗滤液中,使产生的臭氧气体与垃圾渗滤液充分接触。(4)臭氧气体通过与有机污染物接触,发生活性氧自由基反应,将有机污染物氧化降解为无害物质。(5)经过臭氧氧化反应后,可能会产生副产物或残余物质。可以通过沉淀、过滤、生物降解等后处理方法,对相关物质画圈处理,以确保达到排放标准。考虑到具体的臭氧氧化设计会受到垃圾渗滤液成分、水质特性和处理要求等因素的影响,因此,在具体工艺实施前,要进行工艺设计和实验验证,确保处理效果和安全性。

(三) Fenton

该技术的原理是将 Fe^{2+} 作为催化剂,把渗滤液所含 H_2O_2 快速分解为 $\cdot\text{OH}$ 。研究人员曾利用活性白土、Fenton对垃圾渗滤液进行处理,先将适量的 NaHSO_4 和 Fe^{2+} 加入到垃圾渗滤液中,由于Fenton对于pH值敏感,因此,需要调整垃圾渗滤液的初始pH值,一般来说,将pH值调整到2-4之间会获得较为理想的氧化效果^[3]。再将渗滤液与Fenton试剂充分混合,在反应过程中,Fenton试剂中的过硫酸氢钠会与氢氧化物铁反应生成高活性的 $\cdot\text{OH}$,该自由基能够与有机污染物发生氧化反应。这里要明确一点,即:Fenton法对反应时间、试剂的用量、pH值和温度等因素有着较高的敏感性,因此,需要进行参数优化和实验验证。实验结果表明,在pH值为4.5、按照20mmpl/L投加 Fe^{2+} 、260mmpl/L投加 H_2O_2 的条件下,经过50min的反应后,渗滤液TOC整体降解率可以达到64.3%左右。

五、膜处理

近几年,具有操作简单、易于装配、出水稳定和占地面积小等优点的膜处理工艺开始被频繁用于垃圾渗滤液的处理,不同膜处理工艺适用于不同的场景,应有所了解。

(一) 微滤

微滤可以截留长度0.1-1.0 μm 的颗粒,无机盐、大分子有机物能够顺利通过微滤膜,大尺度胶体、悬浮物和部分病毒细菌则会被拦截在微滤膜的一侧。实验结果表明,利用该技术处理发电厂焚烧垃圾所产生渗滤液,可将渗滤液COD浓度从原始的40000mg/L左右降到2000mg/L左右,COD去除率平均为96%,SS去除率则能够达到97.5%。

(二) 超滤

超滤可以截留0.01-0.1 μm 的颗粒,其截留、消除颗粒和大分子的效果,通常与膜所使用的材料密切相关。新形势下,集成了好氧生物工艺、超滤和微滤的膜生化反应器,逐渐引起越来越多人的重视,有关人员利用膜法、生物法对垃圾渗滤液进行处理后发现,该技术既能够有效去除渗滤液所含氨氮和COD,又可以深度处理盐分、有机物,除极特殊情况外,经过处理的渗滤液均能够达到行业出水标准。

(三) 纳滤

纳滤能够有效截留0.001-0.01 μm 的纳米级物质,可通过对二价离子、有机物等物质含量加以控制,保证经过处理的垃圾渗滤液能够满足水质目标。将上文提到的超滤与纳滤相结合,可使处理效果得到更进一步的提升,其中,COD的去除率能够达到99.3%,TN的去除率能够达到99.0%,TP的去除率能够达到92.3%, $\text{HN}_3\text{-N}$ 的去除率则高达99.9%。

(四) 反渗透

反渗透可以截留长度在0.0001-0.001 μm 之间的微米级物质,虽然实验和实际应用效果均表明,反渗透在处理垃圾渗滤液方面具有较超滤、纳滤更为突出的表现,COD去除率在98.9%左右,脱盐率在95.5%左右, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率在96.0%左右,但由于该技术问世的时间较短,因此,目前尚有未解决的问题存在,具体包括:一是反渗透需要对膜做化学清洁或是预处理,极易使膜的寿命缩短,进而导致生产效率降低。二是反渗透所得到浓缩液的盐度较高,将其回流会受高盐度影响而出现渗透压不平衡的情况,增加生物系统崩溃的概率,而将其直接排放到外界,则会使环境受到严重污染。三是反渗透系统需要在极高工作压力的驱使下才能够稳定运行,其所消耗的电能明显多于其他技术。未来需加大对该技术的研究力度,使其价值得到最大化实现。

结束语

垃圾渗滤液含有有机物、重金属、氨氮等污染物,处理不当可能对环境和公共健康造成威胁,化学中和、沉淀、过滤等常规处理工艺,存在效率低、投资大、产生二次污染等问题,逐渐被边缘化,未来应从经济合理性、工艺节能和水质排放标准出发,对处理环节加以控制,保证处理工艺科学且严谨。一方面,随着工艺的升级,对既有技术进行提质增效势在必行,考虑到垃圾渗滤液受场龄、地域和季节影响,在水量、水质方面存在较大差异,因此,应进一步研究预处理工艺,使预处理工艺更加多样化,以满足处理垃圾渗滤液的需要。另一方面,应对包括高级氧化在内的非膜法全量处理工艺引起重视,这是因为此类工艺既能够有效解决浓缩液这一问题,还能够使痕量有机物被彻底去除,使得未知风险物、痕量高危给人体健康和生态环境带来的影响被降至最低。

参考文献

- [1]李道文,杨宇航,丁鑫末.一体式膜生物反应器深度处理垃圾渗滤液的适用性研究[J].化学与生物工程,2023,40(10):39-44.
- [2]董建新,孙根行,王先宝,等.厌氧序批式反应器处理垃圾渗滤液及产甲烷特性研究[J].水处理技术,2023,49(10):131-136.
- [3]于玉彬,宋灿辉,王旭平.生活垃圾填埋场封场渗滤液处理技术探讨[J].现代化工,2023,43(S1):105-107.