

人工湿地系统在垃圾渗滤液处理中的应用

石 岩, 万新南

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 人工湿地是一种很有前途的废水处理方法, 具有对污染物的去除能力强、基建和运行费用低、维护管理方便、耐冲击负荷能力强等优点。对人工湿地系统在垃圾渗滤液处理中的表现进行了分析, 结果表明, 其对有机物、氮磷和金属元素均具有较高的去除率, 利用人工湿地处理垃圾渗滤液的方法具有广阔的应用前景。

关键词: 人工湿地; 垃圾渗滤液; 污水处理

中图分类号: X 205; X 703

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0138-03

Application of Constructed Wetland to Landfill Leachate Treatment

SHI Yan, WAN Xin-nan

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Constructed wetland system is a promising wastewater treatment technology with the advantages of strong clearing ability, relatively low cost, simple operation and good resistance to shock loading. The performance of constructed wetland in leachate treatment is analyzed. The results show that it has strong ability to remove organic matter, nitrogen, phosphorus and metal element, and the application of constructed wetland to landfill leachate treatment has a bright future.

Key words: constructed wetland; landfill leachate; wastewater treatment

垃圾渗滤液的处理问题一直是城市垃圾填埋场设计、运行和管理中非常棘手的问题。目前国内外已经研究出的处理技术主要有: 好氧处理、厌氧处理、厌氧——好氧处理、生物膜反应器处理、活性炭或其他介质吸附处理、人工湿地处理、渗滤液回灌处理、膜过滤处理等。其中人工湿地系统处理垃圾渗滤液具有处理效果好、氮磷去除能力强、建设和运行成本低、设备简单、易于维护等优点, 引起了许多国家的关注。我国对人工湿地的研究起步较晚, 1990 年才在深圳建成第一座人工湿地系统——白泥坑人工湿地, 用于处理 7 000 人的乡镇小区综合污水^[1]。应用人工湿地系统处理垃圾渗滤液的报道在国内尚不多见。

1 人工湿地处理垃圾渗滤液的优势

人工湿地系统是指在人工模拟天然湿地的条件下, 利用基质、水生(湿生)植物和微生物的相互关联, 以及物理、化学和生物的重协同作用来净化污水的生态系统。按照污水在湿地床中的流动方式不同可分为 3 种: 地表流湿地、潜流湿地和垂直流湿地。人工湿地处理渗滤液有其独特的优势, 主要表现在以下几个方面:

1.1 对渗滤液的变化性适应能力强

垃圾渗滤液的水质复杂, 污染物种类繁多, BOD₅ 和 COD 的浓度以及氨氮的含量都很高。不仅如此, 渗滤液的组成成分和流量每天还都在变化, 这种变化受填埋年限、区域气候条件和填埋垃圾性质(包括填埋深度和可渗透性)的影响。通过调整传统处理设施的运行条件来适应渗滤液这些变化的方法经证明价格是非常昂贵的, 而且随着垃圾填埋年限的增长, 渗滤液的产生量将越来越少, 这种方法就显得更加不经济。相比之下, 由于人工湿地对渗滤液水质水量变化的适应能力强, 且运行和维护成本低, 就非常适合处理这种特殊类型的废水。

1.2 对“老化”渗滤液处理效果好

填埋场随着填埋时间的增长, 渗滤液的可生化性降低, 在填埋后期, 当可生化性降为 BOD₅/COD 值小于 0.1 时的渗滤液俗称为“老化”渗滤液^[2]。对于这种“老化”渗滤液, 采用好氧、厌氧等生物处理方法已基本无效, 必须采用以物化为主的深度处理技术进行处理, 诸如臭氧氧化技术、膜技术等。但深度处理技术投资和运行费用都很高, 处理产生量很少的“老化”渗滤液是很不经济的。人工湿地在处理可生化性

差的渗滤液方面具有很好的效果, Tjasa Bulc 等人^[3]在亚德里亚海滨建造了一座中试湿地系统, 从 1992~ 1996 年对进出水水质连续监测的结果显示: COD、BOD₅ 和 NH₃- N 的平均去除率分别为 68% , 46% 和 81%。

1.3 处理费用低

人工湿地处理系统的土建施工简单且耗能低, 该系统去掉了机械处理中二次沉淀池, 用植物输氧替代曝气机, 因而耗能低、投资省^[4]。据国外统计, 一般湿地系统的投资和运行费仅为传统二级污水处理厂的 1/10~ 1/2。

1.4 具有生态效益和经济效益

人工湿地是一个综合生态系统, 它能在净化污水的同时促进湿地中水生植物的生长, 增加绿化面积, 还能大量野生动物提供栖息地。通过生态美学设计, 可将它建设成一个草木常青、鸟语花香、鱼鸭畅游的自然美感的园林^[4], 具有很好的生态效益。在湿地上种植经济作物, 在配套的水体中喂养水生动物, 应用湿地生物资源饲养家禽、家畜等方式均可产生一定的经济效益^[5]。

2 人工湿地处理垃圾渗滤液的效能分析

垃圾渗滤液的特点是有机物浓度高、氨氮和金属含量高, 微生物营养元素比例失调等。因此, 处理垃圾渗滤液的关键就在于去除其中的有机物、氨氮和金属元素。

2.1 对有机物的去除

人工湿地的显著特点之一就是有机污染物有较强的降解能力。渗滤液中所含的不溶性有机物可通过沉淀过滤作用被湿地截留下来供微生物利用; 可溶性有机物通过植物根系生物膜的吸附、吸收及生物降解过程被分解去除。

Tjasa Bulc 等人^[3]的试验结果表明, 在试验室规模的湿地床串连系统处理渗滤液过程中, COD 的最高去除率能达到 94% , BOD₅ 最高达 61%。BOD₅ 的去除率不是很高, 这可能是由于渗滤液中的有毒物质抑制了降解过程的进行。国内采用不同基质模拟人工湿地处理渗滤液的试验结果显示^[6], 就 COD 而言, 处理效果最好的是以煤渣为基质的湿地, 在 HRT= 5 h 时, 去除率是 73.37%。

2.2 对 N、P 的去除

氮的去除机理主要包括微生物的硝化反硝化作用、湿地植物的吸收和氮的挥发。影响脱氮效率的主要因素有: 系统中 NO₃-N 和有机碳的量以及温度、pH 值、微生物附着的表面积、溶解氧浓度等环境因素^[7]。其中有机碳的量常成为主要限制因素, 可添加适量甲醇、醋酸钠或处理过的污水来提高有机碳的量^[8], 进而提高脱氮率。人工湿地的脱氮能力很强, 有资料表明^[3]可达 95%。

磷的去除是过磷菌的过量摄磷作用、微生物的同化作用、植物的吸收和基质的物理化学作用的结果。无机磷是植物生长过程中所必需的营养元素, 垃圾渗滤液中无机磷的浓

度很低, 通常很快被湿地中的微生物和植物吸收。如果渗滤液中含磷量过低, 会限制微生物和植物的生长, 降低去除效率。籍国东^[9]等在研究中发现当废水中总 P 的浓度较低时, 人工湿地不但不会去除废水中的 P, 还会使出水 P 的浓度增加, 所增加的 P 主要来自湿地介质的释放。在植物生长旺盛的春季, 可以投加一些磷来获得较大的生物量^[3]。除此之外, 也可选择除磷效果好的基质和水生植物来提高去除效率。杨敦^[10]等通过试验证明, 砾石床系统对磷有较好的净化效果, 菖蒲作为湿地植物, 对磷也具有较强的吸收能力。

2.3 对金属元素的去除

金属元素在湿地中的去除机理有化学沉淀、吸附、络合、过滤、物理沉积、植物吸收和微生物吸附作用。Tjasa Bulc 等^[3]通过对亚德里亚海滨 Dragonja 地区某垃圾填埋场渗滤液中金属元素的测试发现, 所含 Fe 的浓度是最高的, 其他金属的浓度可忽略, 进水中 Fe 的最高浓度为 14 mg/L, 经湿地处理后出水浓度为 0.1 mg/L, 平均去除率为 80%。

3 人工湿地最明显的生物特征—湿地植物

人工湿地与其它处理系统最大的区别就是栽种了水生(湿生)植物, 植物—基质—微生物构成了湿地独特的生态系统。植物在污水净化过程主要起以下两方面的作用:

(1) 泌氧作用。湿地植物将光合作用产生的氧气通过输送组织释放到湿地环境中, 在植物根部周围形成好氧环境, 促使好氧细菌大量繁殖, 分解污水中有机物的同时消耗了大量的溶解氧, 又依次出现了缺氧和厌氧的小环境, 兼氧和厌氧细菌得以大量繁殖, 这样就有利于硝化反硝化作用的同时进行磷的积累。不同水生植物的根系泌氧能力是不同的, 表 2 所示的是不同床体对 COD 的降解效率比较, 从中我们可看出, 栽种植物的湿地床 COD 的去除效率要高于空白床, 芦苇床的去除效率要高于茭草床, 这说明植物在湿地中的泌氧作用是明显的, 也证明了芦苇的泌氧能力要强于茭草。

表 2^[11] 床体 COD 降解效率比较

床体	进水/(mg · L ⁻¹)	出水/(mg · L ⁻¹)	去除率/%
空白床	132	35	73
芦苇床	154	15	90
茭草床	156	30	81

(2) 过滤和吸收作用。湿地植物发达的根系与基质相互交错成网络系统, 使进入湿地中的废水流速减慢, 有利于悬浮颗粒的沉降及吸附水中重金属的去除^[12]。植物本身还能直接吸收无机氮磷、重金属及一些有毒有害物质, 但只占湿地中污染物去除的一小部分。

在选择湿地植物时, 应挑选一些适宜在本地生长, 抗污能力强, 去除污染物效果好并有一定经济价值的水生(湿生)植物。也可考虑栽种几种不同的水生植物来提高床体的去除效率。床体前段以好氧为主, 可栽种根系泌氧能力强的植物,

如芦苇, 氮磷的降解主要发生在床体后段, 因而后段可栽种氮磷吸收能力强的植物, 如茭草。

4 提高处理效率的几种途径

采用人工湿地系统处理垃圾渗滤液技术在我国尚处于起步阶段, 没有成熟的设计和运行参数可供参考, 还需要不断地摸索和探讨。要使人造湿地系统获得较高的处理效率并且长期稳定地运行, 我们应注意以下几个问题:

(1) 在构建人工湿地前, 要对所处理渗滤液的水质水量及其变化情况作详细的分析, 并进行小试和中试, 最后确定湿地系统的设计参数, 使其能够达到处理要求。对污染物浓度较高的渗滤液, 先经预处理设施处理后再进入湿地系统可显著提高处理效率。另外, 还可选择一些处理能力强的基质和水生植物来提高去除效率。

(2) 要控制废水中重金属等有毒物质的浓度, 使其不超过系统所能承受的最大浓度。研究表明^[13], 随着处理过程的进行, 重金属等有毒污染物将在床体内不断积累, 当基质容纳的重金属离子达到饱和后, 新增的重金属离子将以有效态形式作用于湿地微生物群落, 严重抑制反硝化等微生物代谢过程, 降低氮磷的去除效率。具体方法可以采用出水回流的方式。

(3) 由于湿地的“黑箱效应”, 目前我们对污水进入湿地后的流动过程缺乏了解, 成为提高湿地处理效率的“瓶颈”。

参考文献

- [1] 吴晓磊 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学, 1994, 16(3): 83- 86
- [2] 孟了, 熊向隼, 马箭 我国垃圾渗滤液处理现状及存在问题[J]. 给水排水, 2003, 9(10): 26- 29
- [3] T jasa Bulc, Danijel V rhovsek, V lasta Kukanja The use of constructed wetland for landfill leachate treatment[J]. W at Sci Tech, 1997, 35(5): 301- 306
- [4] 顾传辉 人工湿地处理系统概述[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学版), 2001, 22(2): 34- 40
- [5] 程树培 应用人工湿地生态系统处理中小城市排放废水[J]. 城市环境与城市生态, 1989, 2(1): 35- 37
- [6] 林学瑞 垃圾填埋场植被恢复和渗滤液的人工湿地处理[D]. 广州: 中山大学, 2002
- [7] D D Kozub, S K L iehr A ssessing denitrification rate lim iting factors in a constructed wetland receiving landfill leachate[J]. W at Sci Tech, 1999, 40(3): 75- 82
- [8] Staubitz, W W, Surface, J M, Steenhuis, T S, et al Pontential use of constructed wetlands to treat landfill leachate[A]. D A Hammer(ed). In: Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial, and agriculture[M]. Chelsea: LEW IS Publishers, 1989 735- 742
- [9] 籍国东, 孙铁衍, 李顺 人工湿地及其在工业废水处理中的应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 224- 228
- [10] 杨敦, 徐丽花, 等 潜流式人工湿地在暴雨径流污染控制中应用[J]. 农业环境保护, 2002, 21(4): 334- 336
- [11] 段志勇, 刘超翔, 等 复合植物床式人工湿地研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(8): 4- 7
- [12] 阳承胜, 蓝崇钰, 等 宽叶香蒲人工湿地对铅/锌矿废水净化效能的研究[J]. 深圳大学学报(理工版), 2000, 17(2): 51- 57
- [13] 黄正, Bavor J. Cd²⁺, Cu²⁺ 和 Zn²⁺ 对人工湿地反硝化作用的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(4): 110- 112
- [14] T M æhm. Treatment of landfill leachate in on- site lagoons and constructed wetlands[J]. W at Sci Tech, 1995, 32(3): 129- 135

应加强这方面的研究, 不但可以减小湿地的占地面积, 还可使净化效果得到进一步提高。

(4) 可将人工湿地与传统处理设施结合起来提高处理效率。国外有将氧化塘与人工湿地结合来处理渗滤液的例子^[14], 其主要流程如下图所示:



渗滤液经厌氧塘和好氧塘预处理后, 可去除大部分有机物(60% ~ 95%), 有效地降低了进入湿地系统的污染物负荷。再经湿地系统处理后最终出水中 COD 和 BOD₅ 的去除率可达 88% 和 91%, 脱氮率为 83%, 脱磷率为 88%, 铁的去除率为 88%, 取得了较好的处理效果。

5 前景展望

人工湿地具有独特的植物—基质—微生物系统, 融合了自然净化和生物膜法的特点, 具有处理效果好、耐冲击负荷能力强、基建和运行费用低、维护简单等诸多优点, 非常适合在发展中国家推广。随着对其水力学特点、如何增加单位面积上污染物的负荷能力、配套的前处理方法、基质和水生植物选择等各方面的进一步研究, 将使其性能更加稳定, 处理效率更高。设想如果能在封场后的填埋场上方建立人工湿地系统, 不仅降低了湿地的基建费用, 而且省去了封场时的绿地修复, 还有可能促进填埋垃圾的降解, 今后可以做一些这方面的研究, 为人工湿地的应用开辟一条新的途径。