

基于人工湿地对废水处理效果及影响因素的分析

姚瀚申

江苏省环境工程技术有限公司，江苏南京

摘要：人工湿地近年来已经逐渐成为一种重要的污水处理工艺，在工程上得到了越来越广泛的应用，常用于河道水质净化，污水处理厂尾水深度处理等各种领域。人工湿地系统通过湿地植被、基质和微生物的协调组合起到净化作用，根据进出水布水方式的不同分为：潜流湿地、表流湿地及复合型湿地等。人工湿地对污染物的去除效果受水力负荷，温度，基质材料，植物等多种因素的影响，但目前对于人工湿地的净化原理仍处于“黑箱”状态，因此本文通过对不同类型人工湿地的实验数据及运行效果进行分析总结，明确人工湿地对污染物的去除效果及影响因素，为后续进行人工湿地的设计提供理论指导。

关键词：人工湿地；影响因素；去除效果；处置分析

Analysis of the Effect and Influencing Factors of Constructed Wetland on Wastewater Treatment

Yao Han Shen

Jiangsu Environmental Engineering Technology Co., Ltd, NanJing, Jiangsu

Abstract: In recent years, constructed wetland has gradually become an important sewage treatment process, which has been more and more widely used in engineering, and is often used in various fields such as river water purification and advanced treatment of tailwater in sewage treatment plants. The constructed wetland system plays a purification role through the coordinated combination of wetland vegetation, substrate and microorganisms, and is divided into undercurrent wetland, surface flow wetland and composite wetland according to the different ways of water distribution in and outlet. Therefore, this paper analyzes and summarizes the experimental data and operation effects of different types of constructed wetlands, clarifies the removal effect and influencing factors of constructed wetlands, and provides theoretical guidance for the subsequent design of constructed wetlands.

Keywords: Constructed Wetland; Influencing Factors; Removal Effect; Disposal Analysis

1 引言

人工湿地在常规的污水处理中的价值和意义已被社会所认可，在污水处理，生态修复中扮演者重要的角色，人工湿地不仅对于水质的净化和水源的涵养和补充起到了十分重要的作用，还具有较高的生态效益和景观价值，在工程上采用合理的植物配置和湿地构型，能够提升整个区域的景观效益，因此对于人工湿地的研究具有十分重要的意义。

2 人工湿地在工程领域运用的意义及目的

随着人工湿地在工程上的广泛运用，发现对于人工湿地相较于其他处理工艺，其水力负荷相对较低，去除效果也相对有限，采用单一的，传统的人工湿地难以达到较好的去除效果，因此目前的工程上都采用复合式的人工湿地，将多种类型的湿地进行串联运行，同时在进水污染物浓度较高，土地面积有限的情况下使用一些新型的材料作为湿地的

基质或增设单独的物理、化学处理单元，能够提高人工湿地的净化效果和适用范围[1]。

但另一方面，目前工程上对于人工湿地的设计，缺乏相关的理论指导和指南依据。对于湿地的水质净化方面仍然处于“黑箱”状态，在湿地的设计阶段常依照经验值进行设计。没有确切的用于设计的数据范围。以山东省发布的地方标准《人工湿地水质净化工程技术指南》(DB37/T)为例。该标准中对于人工湿地的水力负荷，停留时间等参数的设置区间十分大，该标准中说明表面流人工湿地水力停留时间为4~20d，表面水力负荷宜为 $0.01\sim 0.1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， COD_{cr} 污染负荷宜为 $0.2\sim 5\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 污染负荷宜为 $0.02\sim 0.8\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ；潜流人工湿地停留时间宜为1~4d，表面水力负荷宜为 $0.2\sim 1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， COD_{cr} 污染负荷宜为 $0.5\sim 1\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 污染负荷宜为 $0.1\sim 3\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。通过计算可知，利用数值两端所计算的湿地差异十分明显，在工程设计上很难有效的确定适合的水力负荷等参数。

因此对于人工湿地系统的研究十分重要，目前，国内外很多团队和学者，进行了类似的研究工作，通过小型的装置模拟人工湿地的运行状态，进一步明确各类型湿地的功能和主要作用，研究湿地的功能与基质成分，植物种类，水力负荷，停留时间等各项参数的关系，并对这些数据进行分析或通过数值模型进行模拟。这些研究的成果对于日后的工程设计和研究提供了理论基础和数值依据，对于人工湿地的应用具有重要的意义。

3 三级绿狐尾藻表面流人工湿地对养殖废水处理效应分析

表面流人工湿地同样是一种常用的人工湿地，对于水中的污染物同样具有较好的去除效果，同时表面流人工湿地最大特点是能够形成连续水面，因此还具有很强的景观价值，同时不易堵塞，运行维护相较于潜流湿地相比更加方便。但表面流人工湿地的水力负荷更低，去除污染物能力有限，因此在应用时更需要进行优化和创新。姚燃等就通过实验研究种植了绿狐尾藻的表面流人工湿地对于污染物的去除效果，明确表面流人工湿地的处理效果等情况。

3.1 内容及结果

实验所在地位于长沙，属于亚热带气候，年平

均气温为 17.5°C ，实验装置为三级小型的表面表面流人工湿地一次串联组成，每级湿地尺寸为 $5\text{m}\times 2\text{m}\times 0.2\text{m}$ ，设置了三个重复装置互为对照，以保证实验结构的准确性。湿地内种植绿狐尾藻，这种植物是一种根茎发达，生物量大的植物，具有很强的耐氮性和吸收能力，理论上能够明显增加人工湿地的去除效果。实验采用间歇进水的方式，每天进水180L，设置各级的停留时间为11d，总停留时间为33d，实验进水为一大型养猪场的沼气池排水，进水水质为： COD ： $1104\pm 431\text{mg/L}$ ，氨氮： $344\pm 139\text{mg/L}$ ， TN ： $474\pm 156\text{mg/L}$ ， TP ： $52\pm 21\text{mg/L}$ ，定期收割湿地去除水面以上的绿狐尾藻，每年各单元收割生物量为130~328kg。运行一年，每个两周进行一次采样。

通过实验和数据分析可以得到以下结果[2]：

(1) 经人工湿地处理后，污水的出水水质有着明显降低，经三级人工湿地处理后， COD ，氨氮， TN ， TP 的平均出水浓度为 188mg/L ， 45mg/L ， 86mg/L ， 14mg/L ，去除率分别为52.2%~92.5%，58.2%~99.7%，70.3%~95.5%，37.9%~99.5%。

(2) 人工湿地运行稳定运行一年，根据一年采集的数据发现，对氨氮的去除效果在7~9月十分稳定，在99%以上，在1~4月去除率呈现下降的趋势， TN 的去除趋势与氨氮一致。 TP 的去除效果同样也在7~9月有着最好的去除效果，在10月有所下降，直至3月恢复； COD 的去除效果班花相对稳定。

(3) 作者将人工湿地的污染物去除效率与水体温度， D_0 ， PH 和 Eh (氧化还原电位)建立了Pearson相关方程，系数越大，说明该因素是对应污染物最大的影响因素。根据数据可知温度是 TN 和 COD 去除的最大的影响因素，而 TP 去除关联性最大的是氧化还原电位。

3.2 人工湿地对养殖废水处理效应结论分析

(1) 通过实验数据可以直观的知道，表面流人工湿地对于污染物也有着较好的去除效果，不需填充基质材料，运行管理较为简单，也不会产生堵塞的问题，但其处理效果相对有限，在该实验中采用了污染物去除能力较强的植物和总停留时间33d的情况下，才得以获得较好的污染物去除效果，因此在应用表面流人工湿地时要采取对应的强化措施；

(2) 通过对于实验数据进行分析，并建立

PEason 相关性方程可以了解到温度和 Eh（氧化还原电位）对于表面流人工湿地的污染物去除效果有着很大的影响，尤其是在温度方面，在春、夏季温度较高，植物生长较好的情况下，其运行效果最好，而秋、冬季节，去除效果会受到较大的影响，因此对于表面流人工湿地的应该采取对应的保护措施，以保证其稳定的运行效果[3]。

4. 不同水力负荷下复合垂直—水平流人工湿地的污染处理效果分析

根据相关文献的研究说明了垂直潜流人工湿地和水平流人工湿地都具有良好的去除效果，同时肖宇芳和林皓等人的研究也说明垂直流潜流湿地和水平流潜流湿地在去除污染物方面各有优势之处，因此在实际应用中将二者进行结合是一种有效的应用方式，因此张国珍等对于复合式的潜流湿地的研究对于复合潜流湿地的应用具有重要意义。

4.1 内容及结果

实验装置位于兰州市，实验从 6 月运行至 9 月，期间室外温度为 15°C~28°C。实验装置由三部分组成，依次为垂直流（下行流），垂直流（上行流）和水平流潜流湿地的运行。其中下行流和上行流搭建为一体结构，再与水平流（HF）进行串联，复合垂直流（IVCW）整体尺寸为：0.9m×0.4m×0.85m，其中下行流装置尺寸：0.45m×0.4m×0.85m，其余部分为上行流。湿地基质填料为粒径：2~5mm，5~10mm，10~20mm 的废砖块，按照粒径大小，依次铺设，下行流基质厚度 0.7m，上行流厚度 0.65m。水平潜流装置尺寸为 0.85m×0.4m×0.6m。种植香蒲和芦苇，种植密度 60 株/m²，进水通过顶部布水管进水。

该实验进水为 ABR 反应器处理后的农村生活污水，农村生活污水为实验室人工模拟生成，经 ABR 反应器处理后出水水质为：COD：34.62~91.81mg/L，氨氮：11.2~36.07mg/L，TN：62.12~134.98mg/L，TP：1.99~7.95mg/L，设置水力负荷为 0.15，0.25，0.35，0.45m³/(m²·d)。对复合垂直—水平潜流湿地进行模拟实验，确定其去除效果。

通过实验及数据分析得到以下结果[4]：

(1) 在对应的水力负荷下人工湿地对 COD 总的去除率分别为：61.27%，48.14%，56.51%，42.28%。其中 IVCW 的去除率分别为：46.61%，27.08%，47.3%，33.95%；HF 的去除率分别为：24.77%，

27.58%，17.08%，12.35%。说明复合垂直流—水平流湿地对于 COD 有着较好的去除效果，同时 COD 的去除率与水力负荷影响不大，也侧面说明了最佳的水力负荷大于 0.45m³/m²·d。

(2) 在对应的水力负荷下人工湿地对氨氮总的去除率分别为：77.34%，97.6%，95.56%，89.76%，其中 IVCW 的去除率分别为：67.49%，96.16%，93.19%，86.42%；HF 的去除率分别为：31.25%，32.82%，23.08%，22.95%。说明复合垂直流—水平流湿地对于氨氮也有着很好的去除效果，同时该实验结果相较于其他实验有着更好的结果，其原因可能由于去除氨氮是好氧过程，而上部布水管跌水的方式具有很好的充氧作用。

(3) 在对应的水力负荷下人工湿地对 TN 总的去除率分别为：69.11%，60.31%，45.3%，40.74%，其中 IVCW 的去除率分别为：55.09%，38.84%，31.23%，25.66%；HF 的去除率分别为：32.04%，40.33%，20.39%，20.53%。复合垂直流—水平流湿地对于 TN 具有一定的去除效果，但效果不够理想，出水浓度仍然较高，并且水力负荷对 TN 的去除影响很大。

(4) 在对应的水力负荷下人工湿地对 TP 总的去除率分别为：88.81%，82.4%，86.1%，74.79%，其中 IVCW 的去除率分别为：77.4%，74.64%，72.66%，65.08%；HF 的去除率分别为：46.05%，37.22%，47.46%，27.51%。复合垂直流—水平流湿地对于 TP 也有着较好的去除效果，且水力负荷对去除效果的影响较小，说明该系统还未到最大的水力负荷，同时废砖块具有较大比表面积，对 TP 具有较好的吸附效果。

4.2 复合垂直—水平流人工湿地的污染处理结论探讨

(1) 通过实验说明复合垂直—水平流人工湿地对于污染物的去除有着很好的去除效果，同时相较于单独的垂直潜流湿地和水平潜流湿地有着更好的去除效果和更大的水力负荷，证明了将垂直潜流湿地和人工潜流湿地进行结合有着更好的应用效果；

(2) 实验中的垂直潜流湿地是下行流和上行流复合的湿地，与 3.1 中的单一方向的人工湿地，有着更好的去除效果，其原因是：由于上、下流的结构，使得污水在其中往复运动，提高了与填料的接触和复氧能力。

5. 总结

(1) 根据列举的论文可以清楚的了解到不论哪种类型的人工湿地对于污染物的去除都有着较好的去除效果, 几种湿地的去除效果各有不同, 潜流湿地的适宜水力负荷大于表面流人工湿地, 但是其容易出现堵塞问题。因此在运行后期, 会出现去除效果降低的情况[5]。对于潜流湿地, 水流方向的不同对于污染物质的去除效果也不同, 在同样的水力负荷下垂直潜流湿地对于 COD、BOD₅、氨氮、TP 的去除效果比较好, 而水平潜流湿地对 TN 的去除效果比较好, 因此为了适应不同的情况, 工程上通常采用组合式的湿地进行使用;

(2) 人工湿地去除污染物的效果与水力负荷, 温度, 基质材料, 植物等因素密切相关, 水力负荷越高, 湿地的去除效果会下降; 基质材料的比表面积越大, 对于污染物的吸附能力越强, 去除效果越好; 在夏季温度适宜的情况, 湿地的去除效果明显好于冬季; 选用根系发达, 吸附能力强的水生植物也能够有效提高去除效果。因此在人工湿地的工程应用中, 针对不同的进水浓度, 不同的用地面积, 不同地区, 应综合考虑多方面的因素进行设计和使用, 特别是在寒冷地区, 冬季时对湿地采取保温措施, 对于湿地的正常运行有着重要意义;

(3) 人工湿地通常被用于城镇污水处理厂后, 用于处理污水厂的尾水, 在进水浓度相对较低的情况下, 有些时候的出水会大于进水浓度, 其原因是由于湿地内部的植物根际分泌的有机质和残枝的腐烂导致的, 但各项指标进本都能满足III、IV类水的标准, 因此在评价湿地运行效果时, 在进水较低

时不能只以去除率进行评价, 更应该通过出水浓度和总的污染物去除量进行评价;

(4) 目前我国人工湿地在工程应用上存在一些问题, 由于土地面积有限, 一般情况下湿地的面积相对较小, 因此目前对于湿地的基质进行了较多研究, 根据相关文献结果表明将一些比表面积大的物质(如活性炭等)加入基质材料中, 能够有效的提高湿地去除污染物的能力, 对于湿地材料的研究与应用对于湿地的建设也具有重要意义;

(5) 通过上述文献可以清楚的知道人工湿地的运行与多种因素有关, 对于解白人工湿地的“黑箱”模型, 需要更多模拟软件的介入, 通过模拟软件与模拟实验的共同参与, 能够更好的了解湿地的运行原理。

参考文献

- [1] 邵丹丹,冷俊龙.人工湿地技术在污水处理与水环境保护中运用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(10):4.
- [2] 谢陈,李希,何兴兵,等.水芹-绿狐尾藻人工湿地对养殖废水的处理效果[J].植物资源与环境学报, 2024, 33(1):26-34.
- [3] 杨帆.人工湿地在污水厂尾水处理方面的应用分析[J].节能与环保, 2020(5):2.
- [4] 郑淑君,王铁运,王妍,等.不同污染负荷下垂直流人工湿地对农村灰水的净化效果及其影响分析[J].环境工程, 2023, 41(S01):27-32.
- [5] 赵亚芳,白华清,孙政.人工湿地在污水处理中的应用案例及常见问题探讨[J].净水技术, 2022(005):041.

Copyright © 2023 by author(s) and Global Science Publishing 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