

多级生态处理工艺 在尾水深度处理工程中的应用

范敬兰¹, 牛乙宝², 丁维程³, 吴鹏莉¹

(1. 徐州市河湖管理中心, 江苏 徐州 221018; 2. 徐州经济技术开发区农业农村水务局, 江苏 徐州 221000;
3. 江苏天安永润环境科技有限公司, 江苏 徐州 221000)

摘要:采用多级生态处理工艺深度处理城镇生活污水厂尾水, 研究多级生态处理工艺深度处理尾水效果和原理以及构筑物设计参数。实践结果表明: 运用多级生态处理工艺深度处理城镇生活污水厂尾水, 污水厂尾水排放标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002) 一级 A 标准时, 多级生态处理工艺出水质量浓度稳定优于《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) IV 类水标准, 且多级生态处理工艺运行管理费用几乎为零, 兼具良好的环境效益和社会效益。

关键词:尾水; 污水处理厂; 深度处理; 生态处理工艺; 受纳水体

中图分类号: U451

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2022)12-0049-0004

Application of multi-step ecological treatment process in tailwater advanced treatment project

FAN Jinglan¹, NIU Yibao², DING Weicheng³, WU Pengli¹

(1. Management Center of Rivers and Lakes of Xuzhou City, Xuzhou 221018, China;

2. Agriculture Rural Water Bureau of Xuzhou Economic and Technological Development Zone, Xuzhou 221000, China; 3. Jiangsu Tian'an Yongrun Environmental Technology Co., Ltd., Xuzhou 221000, China)

Abstract: An effluent from a municipal wastewater treatment plant was treated advanced by using a multi-step ecological treatment process, the treatment efficiencies, mechanism and devise parameters of a multi-step ecological treatment process was developed. The practice results indicated that: when using the multi-step ecological treatment process to treat advanced the tailwater of urban domestic sewage plant, and the discharge standard of the tailwater of sewage plant is the class I (A) of "urban sewage treatment plant pollutant discharge standard" (GB18918—2002), the quality concentration of the effluent of multi-step ecological treatment process is better than the IV class of "surface water environmental quality standard" (GB3838—2002). The management cost of the multi-step ecological treatment process was nearly zero, the social benefit and environmental benefit were obvious.

Key words: tailwater; wastewater treatment plant; advanced treatment; ecological treatment process; received waterbody

城镇生活污水未达标排放或未经处理随意排放是导致农村水生态环境持续下降的主要诱因之一^[1-2]。近年来, 城镇生活污水有效收集和处理以及

环保立法在一定程度上保护了农村水生态环境质量^[3]。但是城镇污水处理厂常用工艺是 A/O 工艺、A²/O 工艺和 MBR 工艺等, 其排放标准为《城镇污水

收稿日期: 2022-08-23

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020045)

作者简介: 范敬兰(1965—), 男, 高级工程师, 本科, 研究方向为水生态、水环境治理。E-mail: 284275579@qq.com

处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 标准,由于管理水平偏低和技术力量缺乏,城镇污水处理厂监督管理和运行管理仍然存在较多问题,城镇污水处理厂尾水超标问题较为普遍^[4]。

随着水环境质量要求越来越高,很多地区污水处理厂尾水必须达到《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)准Ⅳ类水体标准方可排入受纳水体,给城镇污水处理厂的运行管理带来了更大压力。传统的 A/O 工艺、A²/O 工艺和 MBR 工艺出水一般情况下不可能达到(GB3838—2002)准Ⅳ类水体标准。为此,很多城镇通过在污水处理厂内增加深度处理设备以达到(GB3838—2002)准Ⅳ类水体标准要求,满足排入受纳水体的要求。目前最常见的深度处理方法是 MBR 工艺,MBR 工艺存在系统复杂、能耗高、管理复杂、持久稳定性差等缺点,给城镇污水处理厂的运行管理带来了更大的问题和难度^[5-9]。

基于城镇污水处理厂管理水平较低、水质波动较大、资金实力偏弱等问题,寻求净化效率高、管理简单、运行费用低的技术显得尤为重要。近些年来,生态工程技术在尾水深度处理中得到广泛尝试,取得了良好的效果,积累了一定的经验。污水处理厂传统工艺与生态工程技术相互协调和优势互补,对降低能耗、改善水质、简化管理具有显著优势。本研究以徐州市某镇污水处理厂提标改造为背景,污水处理厂尾水再进入多级生态处理单元,

研究多级生态处理组合工艺对污染物去除效果和去除特性,旨在为城镇污水处理厂提标改造和尾水深度处理提供参考。

1 项目简介

1.1 项目背景

徐州市某镇污水处理厂包括 2 套污水处理系统,其中一套为膜法 A/O 工艺,处理规模为 800 t/d;另一套为 MBR 工艺,处理规模为 1 000 t/d;总处理规模为 1 800 t/d,执行标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级 A 标准,服务人口 7 000 人。但是城镇污水处理厂出水必须达到《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)准Ⅳ类水体标准方可排入受纳水体。为此,该污水处理厂尾水深度处理主体工艺主要包括一体化 MBR 技术、臭氧高级氧化技术、反硝化脱氮滤池技术和生态工程技术等,从地形地貌、运行管理、气候条件等角度考虑,确定采取多级生态工程处理工艺作为其污水处理厂尾水深度处理方法。2022 年 1 月开始动工、2022 年 2 月通水运行,取得了良好效果。

1.2 城镇污水处理厂处理流程

城镇污水处理厂进水在调节池内进行预沉淀和调节水质水量后,分别被提升泵泵入膜法 A/O 池和一体化 MBR 池内进行处理,2 套污水处理系统最后形成的尾水汇入多级生态处理工艺配水池。城镇污水处理厂各构筑物参数,见表 1。

表 1 城镇污水处理厂各构筑物参数

	处理单元	设计参数/m	停留时间/h	微生物形态	$\rho(\text{MLSS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
膜法 A/O 工艺	缺氧池	12.2×8.2×4	12.02	悬浮+附着	4 213
	好氧池	5.5×8.2×4	5.42	悬浮+附着	3 261
	混凝沉淀池	4.6×8.2×4	4.53	悬浮+附着	
MBR 工艺	厌氧池	3.2×5.5×3	1.27	悬浮	10 964
	缺氧池	3.2×5.5×3	1.27	悬浮	8 692
	好氧池	6.7×5.5×3	2.66	悬浮	7 896

进入膜法 A/O 系统内的污水在重力流作用下依次通过缺氧池、好氧池和混凝沉淀池、清水池、计量槽等后汇入配水池,缺氧池和好氧池内补充 30%左右的多孔悬浮球填料(内置聚氨酯棉),强化污水处理系统的处理能力;进入 MBR 系统内的污水依次通过厌氧池、缺氧池和好氧池,最后在抽吸泵作用下也汇入配水池。该配水池内尾水通过重力自流方

式依次通过多级生态处理工艺的 4 级氧化塘和 1 级潜流湿地进行深度处理,尾水经过深度处理后排入受纳水体;多级生态处理工艺流程图如图 1 所示。

1.3 城镇污水处理厂原水水质

城镇污水处理厂原水水质随季节、气温、降水量和周边环境等情况变化而变化,以 2021 年 11 月至 2022 年 7 月为例,COD 为 45.6~221.3 mg/L,NH₃-N

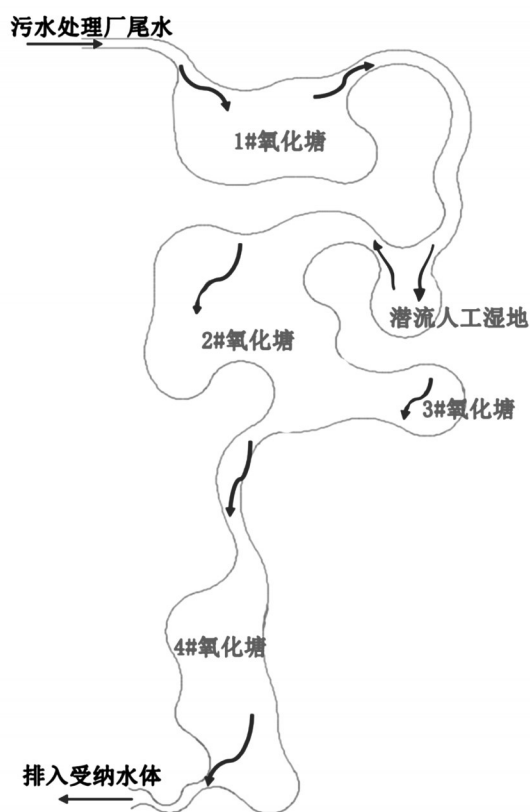


图1 多级生态处理工艺流程

为6.51~35.6 mg/L, TN为9.64~54.3 mg/L, TP为0.91~6.54 mg/L。

1.4 水质分析方法

膜法A/O系统和一体化MBR系统进出水水质以在线检测仪(江苏海德)显示的数据为准;多级生态处理工艺出水以手工检测为准,手工检测方法采用国标法。

2 主要构筑物

多级生态处理工艺面积约为5 111.9 m²,包括4级氧化塘(占地面积3 150 m²)和1级潜流人工湿地(占地面积250 m²)以及沟渠面积1 711.9 m²,推流式流态设计,其工艺流程是1#氧化塘-潜流人工湿地-2#氧化塘-3#氧化塘-4#氧化塘。岸坡以1:3的缓坡入水,构建复式生态护坡,由岸边至池底依次为陆生草本、亲水植物、挺水植物和沉水植物。

2.1 1#氧化塘

1#氧化塘最大水深为2.8 m,坡度为13%,库容为5 500 m³,水力停留时间为73.3 h,是一座兼性氧化塘。表层是好氧状态,底层是兼性或厌氧状态,其周边种植有挺水植物菖蒲,利用菖蒲同化吸收、菖蒲根圈微生物等作用净化污染物,同时1#氧化

塘具有一定的沉淀和调节水质水量的作用。另外,为了提高其生物量,强化1#氧化塘的净化效果,采取了以下2个措施:(1)1#氧化塘池边坡浅岸种植有大量的沉水植物苦草,形成沉水植物群落(俗称水底森林),利用苦草茎叶表面微生物群落氧化作用、苦草拦截吸附作用,实现污染物的去除;(2)增设立体浮岛生物净化单元+人工水草,填充率约40%,水域覆盖面积为400 m²,强化污染物的去除与转化。

相比后续生态处理单元,1#氧化塘水体氮磷含量偏高,从2022年5月份开始,在1#氧化塘表面滋生了大量的浮萍,浮床生长过程中消耗了氮磷和有机物,并通过持续打捞的方式将污染物带出系统。

2.2 潜流人工湿地

潜流人工湿地占地面积250 m²,水力停留时间为6.67 h,该潜流人工湿地是尾水深度处理的主要单元。潜流人工湿地基质为体积比为1:1的轻质混凝土、火山岩,靶向除磷、除氨氮效果好。

轻质混凝土比表面积大,材料易得,加气轻质混凝土由水泥、石膏、矿渣粉按一定比例混合搅拌发泡成型,由钙质和粉煤灰质的加气混凝土制备,当量粒径为5 cm的饱满颗粒,颗粒表观密度为0.5~0.8 kg/dm³,置入水中浸润饱和吸水后,密度与水接近,具有较大比表面积和吸附功能,除磷效果尤为显著。

火山岩填料是有密集气孔的玻璃质熔岩,气孔体积占岩石体积的50%以上,因孔隙多、质量轻、能浮于水面,加上配重以后,悬浮于水体,形成自悬浮、自疏通的人工湿地,表面粗糙且微孔分布,特别适合于微生物在其表面生长和繁殖,形成生物膜且化学稳定性好。火山岩比表面积5~20 m²/g,孔隙率60%,尺寸为Φ20~50 mm。

人工湿地内种植有黄菖蒲,种植间距为20 cm,利用多孔性基质和植物根系交织生长,形成一种净化能力很强的生态滤池结构和系统。而且潜流人工湿地具有良好的过滤效果,将1#氧化塘流入的浮萍和悬浮物进行彻底拦截和吸附,为后续生态处理单元提供良好的条件。

2.3 3级串联好氧型氧化塘

3级串联氧化塘(2#氧化塘、3#氧化塘和4#氧化塘)总面积为2 150 m²,其水深为0.8~1.0 m,其有效停留时间为25.8 h,属于好氧型氧化塘,其水面面积分别为900 m²、230 m²和1 020 m²。在滞水区增设生态软围隔导流,软围隔导流约550 m,强化推流流场和

传质效果,提高了水体的净化效果,3级串联氧化塘采用弧线形设计。好氧型氧化塘周围种植有大量的菖蒲,提高污染物的净化能力。

2.4 多孔介质滤床

多级生态净化单元末端增设多孔介质滤床,火山岩生物填料床位于轻质混凝土净水填料之后,置放于多孔混凝土滤坝之间,填充厚度为0.7 m。接触时间为20 min,面积为42 m²。以多孔性火山岩为过

滤基质,火山岩具有优良的过滤作用和吸附作用,拦截前端多级生态净化单元内的植物秸秆、颗粒物和污染物,保障出水水质达标。

3 运行效果和成本分析

2022年3-7月数据分析发现,多级生态处理工艺对城镇污水处理厂具有良好效果,进出水数据见表2所示。

表2 多级生态处理工艺对城镇污水处理厂尾水处理效果

月份	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		
	进水	尾水	湿地出水	进水	尾水	湿地出水	进水	尾水	湿地出水	进水	尾水	湿地出水
3月	156.2	28.2	22.64	13.50	0.26	0.21	27.8	6.25	5.23	2.31	0.55	0.27
4月	182.4	22.3	16.52	18.90	0.32	0.12	32.6	9.64	6.25	3.09	0.42	0.27
5月	175.6	16.5	9.64	12.50	0.12	0.09	22.4	10.20	7.98	2.09	0.32	0.12
6月	126.4	15.9	10.21	14.10	0.09	0.21	19.3	8.64	8.02	2.06	0.16	0.09
7月	94.5	14.5	8.64	7.64	0.13	0.07	16.2	7.65	6.13	1.96	0.15	0.14

4 结 论

多级生态处理工艺是由兼性氧化塘-潜流人工湿地-多级好氧型氧化塘-生态滤坝,结合了不同类型的生态净化单元,达到了良好的协同净化效果,保证了出水水质的稳定性和可靠性。多级生态处理工艺运行管理费用几乎为零,利用自然生态系统深度净化,实践过程中发现,多级生态处理工艺为人们生产生活提供了良好的休闲地,改变了区域微生态系统,形成生态效益和经济效益的有效结合。

参考文献:

- [1] 申云凤. 乡村振兴视野下农村环境污染防治的管理与控制方法研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(7): 29-34.
- [2] 南喜梅, 张飞云. 基于农户视角的临洮县农村环境污染状况调查[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(10): 2107-2110.

- [3] 刘学杰. 农村环境污染防治法律规制研究[J]. 农业经济, 2021(11): 37-39.
- [4] 马鹏超, 朱玉春. 设立村级河长提升农村水环境治理绩效了吗?——基于倾向得分匹配(PSM)的反事实估计[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2022, 22(1): 149-159.
- [5] 沙桐. UST-ABR与MBR组合工艺处理农村生活污水的试验研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2020.
- [6] 熊卿. MBR工艺处理城镇污水工艺研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [7] 郭敏晓. A2/O与MBR工艺在处理城市综合污水上的比较[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
- [8] 张金良, 樊新颖, 蔡明, 等. 我国城镇生活污水源分离技术实施途径探究[J]. 水资源保护, 2022, 38(5): 1-7.
- [9] 李一平, 郑可, 周玉璇, 等. 南方城市污水处理系统效能评估与提质增效策略制定[J]. 水资源保护, 2022, 38(3): 50-57.