

氧化塘组合人工湿地提高污水厂出水水质

杨素霞¹ 姜久宁² 杨寓筠³ 张立勇⁴

(1. 保定市生态环境局涿州市分局, 保定 072750; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038;
3. 保定市河北寰球工程有限公司, 保定 072754; 4. 河北农业大学, 保定 071000)

[摘要] 以提升出水水质为目标,采用氧化塘和表面流人工湿地处理污水处理厂的出水并回补于河道。在工程建设初期,先采用生态修复材料对氧化塘和湿地的底层土壤进行原位修复。通过在氧化塘中设置生态基、太阳能曝气装置,采用硅藻土和火山岩作为湿地填料,在湿地中种植多种水生植物等措施,污水厂出水稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准,既保障河道的水质又提升景观效果。

[关键词] 人工湿地; 氧化塘; 河道治理; 污水处理; 生态基; 太阳能曝气机; 原位修复

[中图分类号] X522 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2022)04-0075-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.04.016

0 前言

随着水污染防治的不断深入,水环境治理已经从主要干流扩大到中小河流^[1]。近年来,人工湿地作为一种生态型污水治理技术得到了快速的发展和广泛的应用^[2]。与传统的污水处理工艺相比,人工湿地具有建设费用低、处理效果好、操作简便、景观效果好的特点。填料和植物是人工湿地的主要组成部分,二者通过与湿地中的微生物发生一系列的物理、化学、生物的作用实现对水中污染物的去除^[3-4]。氧化塘是一种依靠自身生物净化污水的技术,主要通过自身所含微生物的活动分解水中的有机质,去除效果较好^[5]。本文采用氧化塘耦合人工湿地的方式对实际河道进行治理,取得了良好效果,对氧化塘和人工湿地的推广及河道治理有一定的借鉴价值。

1 工程概况和工艺选择

污水处理厂出水为某河道的主要补水水源,排

放标准为《城镇污水厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,为响应国家《水污染防治行动计划》(简称《水十条》)的要求,需保证河道水质稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准,特在污水厂排污口处构建功能性湿地以提升水质,恢复河道生态及环境功能。

本工程的设计进、出水水质指标见表 1。

表 1 进、出水水质指标

项目	pH	COD/ mg·L ⁻¹	氨氮/ mg·L ⁻¹	总氮/ mg·L ⁻¹	总磷/ mg·L ⁻¹
进水	6~9	50	5	15	0.5
出水	6~9	40	2	2	0.4

本工程主要以污水处理厂出水水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准为目标,同时具备一定的景观效果。由于进水水质较高,所以选用施工简便、投资较少的“氧化塘+表面流人工湿地”工艺。

人工湿地技术是通过模拟自然湿地的结构和功能,选择一定的地形,根据需要人为设计和建造的湿地^[1]。氧化塘设置的目的在于利用底泥修复后所具有的多孔结构及其内部附着的土著微生物消除污水厂出水的生物毒性。氧化塘深度为 4 m,设置两套由药包、生态基和太阳能曝气机组成的污水处理装置对污水进行处理。生态基的布置遵循由下至上附着厌氧菌、兼氧菌及好氧菌的规律,在其表面及附近形成丰富的生物群落,配合塘底出水、表面流出进表流湿地,完成对污水厂出水中有机物和营养物的高效逐级降解,以及大幅减少活性污泥量。氧化塘

[收稿日期] 2022-01-21

[基金项目] 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目(QA201714)

[作者简介] 杨素霞(1984—),女,河北石家庄人,硕士,高级工程师,主要研究方向为环保工程。

[引用格式] 杨素霞,姜久宁,杨寓筠,等.氧化塘组合人工湿地提高污水厂出水水质[J].有色冶金节能,2022,38(4):75-78.

中的太阳能曝气机所产生的分子级别的纳米氧具有大气泡没有的物理及化学特性,比表面积大,水中停滞时间长,其表面所带的电荷可以吸附水中的有机物,使其更好地被膜表面的微生物吸收利用,而且水中纳米氧气液界面消失时,其化学能的变化会产生大量的羟基自由基,降解水中难以生物氧化分解的污染物,如苯酚等。

2 工程设计

2.1 工艺流程及主要设计参数

首先采用生态修复材料对氧化塘、湿地的土壤进行原位修复。污水处理厂排出的污水经 DN80 波纹管进入氧化塘,氧化塘中线水深 2 m,污水流入量为 8 000 m³/d,水力停留时间为 27 h。经氧化塘处理的污水由明渠进入表面流湿地中,表面流湿地有效水深为 0.5 m,流入水量为 8 000 m³/d,水力停留时间为 6.4 h,湿地中种植多种水生植物。污水由湿地排出后回补于河道。

2.2 平面布置

氧化塘和湿地的形状根据原有河道进行设计,在满足设计要求的条件下最大限度地保留河道原貌。本工程的平面布置如图 1 所示,其中氧化塘的周长为 360 m,面积 4 500 m²,湿地周长 320 m,面积 4 290 m²,共需挖明渠两道,宽度为 3 m,共计 290 m。氧化塘明渠深度为 4 m,边坡坡度为 1:0.75,湿地明渠深度为 3 m,边坡坡度为 1:0.5。

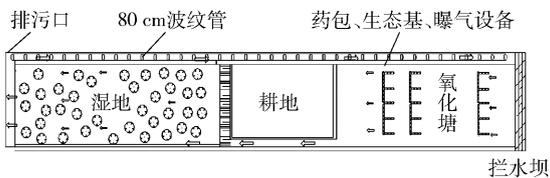


图 1 平面布置图

2.3 底泥改良

对施工地点的土壤进行原位修复,主要是在土壤中加入一种生态修复材料。该生态修复材料是一种高效物化凝聚剂,由矿物质组成,主要化学元素为钙、铝、钠等,利用多成分、多介质、多结构、多机能的超细粉末技术制成,无二次污染,可去除底泥中的重金属、氮、磷、有机物等,同时改变底泥的性质,消除底泥板结问题,增加底泥的透水性与透气性。改良后的土壤可作为微生物的基床,长期有效去除水体中的有毒有害物质,恢复水体生物的多样性与自净功能。药剂翻拌后晾晒时间为 20 ~ 30 d,其中氧化

塘和湿地的底泥改良采用机械翻拌,渠道的底泥改良采用人工翻拌。

2.4 氧化塘设备及材料布置

在氧化塘中安装自由体生态基 3 192 m³。自由体生态基是新一代环保型生物活性填料,具有挂膜快、生物膜发育良好、生物群落丰富的特点,可构成细菌、藻类、原生动物、后生动物等长食物链,水中的有机物和营养物等通过与生物膜中多条食物链的接触,发生迁移和转化,降解为 CO₂、H₂O、NH₃-N、NO_x-N、PO₄⁻ 等产物,这些产物又通过硝化、反硝化、同化等过程最终除去,从而达到高的净化效率。在氧化塘中安装了两台功率为 2.2 kW 的纳米氧曝气机,通过气体纳米化技术,将气泡的体积控制在分子级别。

2.5 人工湿地基质选择

基质是人工湿地中的植物和微生物生存的基础。基质在人工湿地中可以起到为植物根系生长提供介质、为微生物生长提供载体、过滤和吸附水中污染物质的作用。研究发现,人工湿地使用混合基质对污染物的去除效果优于单一基质^[6]。尹楚等^[7]研究了多种人工湿地基质在除磷、除氮方面的净化效果,并对其应用前景进行了展望。本工程选用硅藻土生态修复材料和火山岩作为湿地基质,共使用了硅藻土 60 t,火山岩 90 t。

2.6 人工湿地植物选择

植物是人工湿地的重要组成部分,不仅可以吸收水中的营养物质和其他元素用于自身的生长发育,还会吸附和富集一些重金属和有机物。此外,植物还为水生动物和微生物提供栖息地和食物,维持河道的生物多样性。陈满军等^[8]开展湿地植物再力花的含汞营养液水培试验,考察了再力花的汞富集效能,并对种植再力花的人工湿地进行除汞试验,分析其除汞效果。结果显示,种植适宜数量的再力花后,人工湿地对汞的去除率达到 80% 以上。

湿地中的植物还具有输氧作用,空气中的氧转运到植物根部后扩散到水中,由于植物根部土壤混合了底泥改良的生态修复材料,可加快土著微生物的激活及繁殖,而土壤上方的填料具有多且密的吸附孔,使植物生长的表面流湿地依次出现好氧区、兼性厌氧区、厌氧区,为硝化和反硝化作用及生物除磷提供了反应条件。

本工程选择了适合当地气候的水生植物,包括再力花、千屈菜、香蒲、菖蒲、芦苇、黄花鸢尾、金

鱼藻等,共种植 28 000 株,并根据植物群落特征按一定比例在空间尺度内合理布局,发挥各种植物的优点,提高湿地的净化能力,完善湿地的景观效果。

3 运行效果

本项目在原河道中建设功能性湿地面积 9 800 m²,工艺采用“氧化塘 + 表面流人工湿地”净水技术,其中氧化塘约 4 500 m²,表流湿地约 4 290 m²。项目于 2019 年 7 月 5 日开工,于 2019 年 8 月 19 日开始试运行,试运行期间对该工程出水水质进行监测。监测结果表明其水质稳定达到了设计指标,污水处理厂的出水水质明显提升,对河道水质起到了保护作用。

3.1 COD 去除效果

本项目中 COD 的去除途径主要有:1)湿地植物生长过程中的同化吸收作用;2)水体中、植物根系间、基质中微生物的降解作用和自身生长发育的吸收作用;3)氧化塘和表流湿地的底部和四周使用的底泥修复材料的螯合及有机物降解作用。

本项目中进、出水 COD 浓度变化和 COD 的去除率如图 2 所示。由图 2 可知,进水中 COD 浓度变化幅度较大,但出水 COD 平均浓度为 20 mg/L,最高为 24 mg/L,最低为 17 mg/L,达标率为 100%。

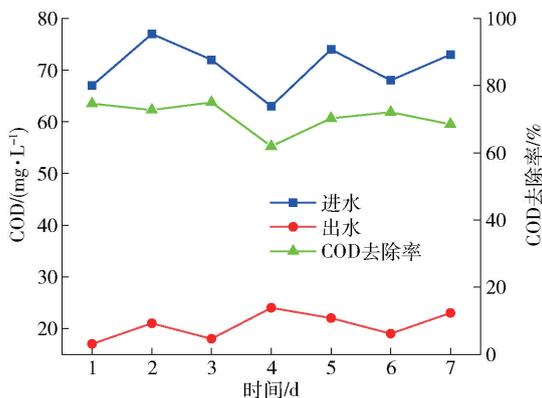


图2 项目进水、出水 COD 浓度和 COD 去除率变化

3.2 总氮的去除效果

污水中的氮元素主要分为无机氮和有机氮,本项目对氮的去除途径主要有:1)水体中、植物根系间、基质中的微生物通过硝化和反硝化作用除氮,这也是本项目中最主要除氮途径。在好氧条件下,硝化细菌将氨氮转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的反应为硝化反应;在缺氧条件下,反硝化细菌将硝酸盐中的氮还原为氮气的反应为反硝化反应;2)植物生长过程对氮的吸收;3)氨态氮的挥发;4)湿地基质的

吸附作用。

本项目中进出水 TN 浓度变化和 TN 的去除率如图 3 所示。由图 3 可知,本项目进水 TN 浓度比较平稳,出水 TN 浓度维持在 1.5 mg/L 左右,TN 去除率在 88% 以上,说明本项目对氮的去除效果较好。

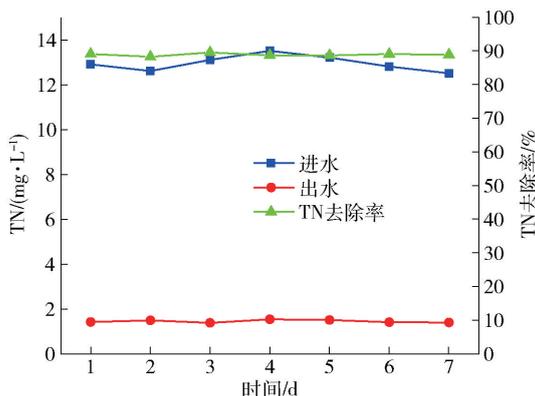


图3 项目进水、出水 TN 浓度和 TN 去除率变化

3.3 总磷的去除效果

水体中的磷主要以无机磷的形式存在,本项目对磷的去除途径主要有:1)水体中、植物根系间、基质中的聚磷菌在好氧条件下的超量摄磷作用;2)湿地基质对磷的吸附作用;3)植物生长过程对磷的吸收作用。

本项目中进、出水 TP 浓度及去除率变化如图 4 所示。由图 4 可知,本项目进出水中 TP 的波动较大,但均低于设计标准。

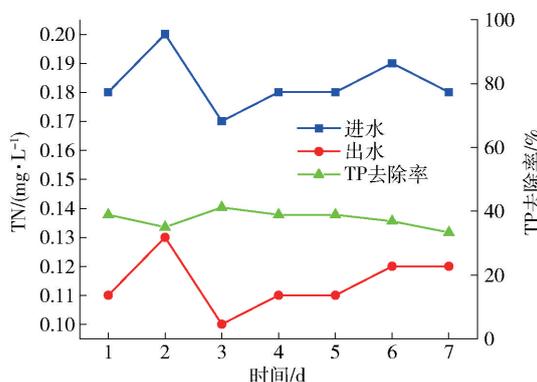


图4 项目进水、出水 TP 和 TP 去除率变化

4 维护管理

为了使项目具有长久的污水治理效果,需要专业的单位和人员进行维护,并且定期监测出水水质,根据水质状况进行相关调整^[9]。

1)水位的控制。根据暴雨、干旱、结冰期等极

端状况,当出现进水端壅水、出水端淹没和河道断流等状况时,要及时调整水位。

2)护坡的维护。要经常检查护坡,如果水面以下的护坡出现渗水现象,要及时修复,定期清理护坡表面的杂草,防止其与湿地中的植物形成竞争关系。

3)湿地植物的管理。沉水植物生长速度较快,在生长季节应及时收割、打捞和清理。挺水植物生长速度相对较慢,在生长季节要注意进行适当的修剪和除草,对于长势较弱的区域进行适当的施肥^[10];在秋冬季节要对挺水植物枯萎的枝叶进行修剪,避免出现枝叶枯萎腐烂污染物重新排到水体中的情况。需要注意的是,一些恶性水生植物可能会与湿地植物形成竞争关系,影响湿地植物的生长,因此要及时控制恶性水生植物蔓延。

5 结束语

在河道综合治理过程中采用氧化塘加人工湿地的方式处理污水处理厂的出水,并回补于河道,能够将出水水质稳定地从《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准提升到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准。此方法对提升河流水质和景观效果具有积极作用,可为其他污水处理厂提标建设或河道治理提供借鉴。

[参考文献]

[1] 陈满军,方燕,戢茜,等.再力花强化人工湿地除汞效能

的试验研究[J].环境生态学,2021,3(8):59-65.

- [2] 姚东,冯雪丽,张保君,等.龙河人工湿地在北方冬季低温条件下的运行效率[J].环境工程,2022,40(1):148-154.
- [3] 尹楚杰,吕源财,潘文斌.人工湿地填料在废水中脱氮除磷的应用研究进展[J].现代化工,2021,41(7):68-71.
- [4] 李明泽,崔康平,郭志,等.组合生物技术对黑臭河道治理的中试研究[J].水处理技术,2021,47(6):122-125.
- [5] 黎振兴,马腾,韩佳伟,等.严家湖1号氧化塘底泥中氮的形态、分布及影响因素分析[J].环境污染与防治,2021,43(2):188-194.
- [6] 徐天勇.砾间接触氧化+河道人工湿地工艺在中小河流域治理中的应用[J].安徽农业科学,2020,48(15):75-77.
- [7] 高祯,宋嘉美,潘彩萍.人工湿地在深圳坪山河综合整治工程中的应用[J].中国给水排水,2020,36(2):65-68.
- [8] 郝明旭,霍莉莉,吴珊珊.人工湿地植物水体净化效能研究进展[J].环境工程,2017,35(8):5-10,24.
- [9] 李丽,王全金,胡常福,等.潜流与复合垂直流人工湿地处理村镇生活污水试验[J].工业水处理,2014,34(1):33-36.
- [10] 刘佳,王泽民,李亚峰,等.潜流人工湿地系统对污染物的去除与转化机理[J].环境保护科学,2005(1):53-54,57.

Oxidation Pond Combined with Constructed Wetland to Improve Effluent Quality of Sewage Treatment Plant

YANG Su-xia, JIANG Jiu-ning, YANG Yu-yun, ZHANG Li-yong

Abstract: To improve the product water quality, oxidation ponds and surface flow constructed wetlands are used to treat the effluent from sewage treatment plants and replenish the river. At the initial stage of project construction, ecological restoration materials were used to repair the bottom soil of oxidation ponds and wetlands in situ. By setting up ecological base and solar aeration devices in the oxidation pond, using diatomite and volcanic rock as wetland fillers, and planting a variety of aquatic plants in the wetland, the effluent of the project can stably meet the class V standard of the *Environmental Quality Standard of Surface Water* (GB 3838—2002), which not only ensures the water quality of the river, but also beautifies the landscape.

Key words: constructed wetland; oxidation pond; river regulation; sewage treatment; ecological base; solar aerator; in situ repair