

表面流人工湿地建设及湿地中水补给方案探讨

董大坤¹, 徐霖¹, 刘德东²

(1. 莱西市水利局, 山东 莱西 266600; 2. 山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014)

【摘要】 建设多级人工湿地净化污水处理厂中水, 补给天然湿地, 对减少河道污染负荷, 改善沿河生态环境, 提升天然湿地生态系统功能和稳定性有重要意义。莱西市姜山人工湿地采用“三级表面流湿地+生态浮岛区+生态缓冲区”的多级综合净化处理模式, 对增强中水处理效果, 改善湿地生态、景观、休闲、游憩环境有重要作用, 工程的实施将有效发挥经济、生态、社会综合效益, 给其他区域中水处理循环利用提供借鉴。

【关键词】 人工湿地; 中水回用; 生态补水; 湿地保护

【中图分类号】 X52

【文献标志码】 A

【文章编号】 1009-6159(2025)-08-0018-03

Discussion on the Construction of Surface Flow Constructed Wetland and the Reclaimed Water Recharge Scheme for Wetland

DONG Dakun¹, XU Lin¹, LIU Dedong²

(1. Water Resources Bureau of Laixi City, Laixi, Shandong 266600, China;

2. Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: The construction of multi-stage constructed wetlands to purify reclaimed water from sewage treatment plants and recharge natural wetlands is of great significance for reducing river pollution load, improving the ecological environment along the river, and enhancing the function and stability of natural wetland ecosystems. The Jiangshan Constructed Wetland in Laixi City adopts a multi-stage comprehensive purification treatment mode of "three-stage surface flow wetland + ecological floating island area + ecological buffer zone", which plays an important role in enhancing the reclaimed water treatment effect and improving the wetland's ecological, landscape, leisure and recreational environment. The implementation of the project will effectively exert comprehensive economic, ecological and social benefits, and provide experience for the recycling of reclaimed water treatment in other regions.

Key words: Constructed wetland; Reclaimed water reuse; Ecological water replenishment; Wetland protection

姜山湿地位于青岛莱西市南部平原洼地, 总面积约 13.33 km², 常水面面积约为 3.3 km², 原为堤湾滞洪区, 是青岛市最大的沼泽湿地, 也是胶东半岛最大的内陆湿地, 生态地位重要, 生态资源丰富。该湿地共有 440 余种动物在此繁衍生息, 其中有白天鹅、灰鹤、白鹭等 20 多种国家一级、二级保护动物。姜山湿地在净化水质、涵养水源、蓄洪防旱、维持区域生态平衡、保持生物多样性等方面发挥着重要作用。

因湿地位于我国北方季风气候区, 年际年内径流分布不均, 全年径流的 70% 集中在汛期, 冬春易旱。另外, 因经济社会发展, 上游水资源开发

强度加大, 湿地干旱缺水情况时有发生, 尤其春季, 降水径流少, 又是农业用水的高峰期, 灌溉用水量, 加剧了湿地的干旱情况。湿地水位降低, 面积减少, 造成湿地生态功能退化, 影响湿地生物链的稳定性, 导致区域生物多样性降低, 湿地生态平衡受到影响。

1 人工湿地建设方案

莱西市污水处理厂位于莱西市城区西南约 1 km 处, 一期工程建成于 1998 年, 二期工程建成

收稿日期: 2025-03-11

作者简介: 董大坤(1968—), 男, 正高级工程师

于2000年,处理规模为4万 m^3/d ;三期(I)和三期(II)工程分别于2005年和2007年完成建设,处理规模为4万 m^3/d ;2015年实施了三期扩建工程,处理规模2万 m^3/d ;四期工程设计处理规模2万 m^3/d ,已于2022年12月建成,并投入运行。至此莱西市污水处理厂总处理规模达到12万 m^3/d ,设计出水主要指标达到一级A标准。目前,莱西市污水处理厂出水经辇止头干渠、三分干渠排放到嵯阳河,最终经南岩水库、莱阳五龙河、丁字湾入黄海。当前,污水处理厂中水基本未得到有效利用。

莱西污水处理厂主要处理城区及周边镇街生活污水和工业废水,其中生活和工业污水比例约为65:35。污水处理厂出水虽达到出水水质标准,但中水中的氮磷有引起湿地富营养化风险。此外,中水中部分残存的细菌、病毒等进入水环境后可导致鱼类及其他生物死亡,并对人类健康产生影响。为此,中水在进入湿地前,宜经人工湿地进一步净化,深度处理后作为湿地补水水源。根据莱西市污水处理厂出水水质、水量,并结合现场情况,确定中水回用湿地工程的总体方案为“多级表面流人工湿地+生态浮岛+生态缓冲区”建设模式。

1.1 多级表面流人工湿地的构建

对人工湿地构造段河道进行适当的环保疏浚及河底微地形改造,减少河道淤泥内源污染物释放,为水生植物的种植和生长提供条件。为保证对污染物的去除率,湿地设计成三级表面流人工湿地。一级湿地分3个单元,密植芦苇、菖蒲和千屈菜等湿地植物,种植密度为9~25株/ m^2 。中水在湿地内流动过程中,通过耐水植物、微生物和土壤的联合作用,达到消减有机污染物、总氮等的目标。二级湿地分2个单元,混合种植香蒲、水葱、茭白、莲、菱和睡莲等水生植物,增强湿地系统的生物多样性,提高湿地系统的稳定运行能力,同时具有一定的景观功能。三级湿地设置扎根沉水植物苦草和BDF型沉水仿生载体,增强湿地容积,增加系统滞留时间,提高湿地承载负荷,滤去悬浮物大颗粒,增加水中氧气量,为细菌、真菌和水生生物的生长提供适宜的环境,同时又不会对河流自然形态造成干扰。

三级湿地连接处设置2座毛石砌体跌水充

氧堰,堰高2.0 m,宽0.7 m,截留调蓄中水,使河道形成一定水面,增加中水停留时间,提高污染物生物降解效果;同时,形成跌水瀑布,增加水体溶解氧量,强化生物反应过程,提高水体自净能力。

1.2 生态浮岛

为最大限度提升中水水质,充分利用现有河道,在第二段第三级湿地中以及之后建设人工生态浮岛,利用植物根系在水中吸收、吸附富营养盐物质,通过微生物对富营养盐物质进行降解等,去除水体中的总氮、总磷等,达到水质净化、营造景观效果的目的。综合考虑植物间的“协同作用”,浮岛植物选择混合种植,以增强浮岛的净化能力。例如,美人蕉、灯心草、菖蒲的根系长度不一,可吸收不同水层的氮和磷。光合作用吸收的氧气通过根系到达不同水层,促进好氧微生物生长。结合该项目现场情况,选择的浮岛类型为水质净化型,以长方形平面形状为主,在河道两边及中间构建总宽为8 m的浮岛。浮床材料选择高密度聚乙烯材料(HDPE),选取人工湿地常用的砾石和陶粒作为浮床基质,美人蕉、菖蒲等植物混合种植。

1.3 生态缓冲区

为进一步提高进入湿地水质的安全性和稳定性,进入姜山湿地前,改建河道流路,开挖长约1.4 km、宽3 m的引水渠道,其中设置芦苇、蒲苇等禾本科植物,对来水进行进一步处理后,将来水引入大片缓冲区,经处理后进入姜山湿地核心区。缓冲区面积大约2.37 km^2 ,地面高程35.5~38.5 m,现状以大小岛链和蜿蜒水道(人工开挖填筑)构成,其中水面面积约1.10 km^2 ,占该区域总面积46.41%。结合现状地形,按照水深的不同,配置不同类型的植物,保护堤岸的同时,阻滞地表径流中的污染物,截留泥沙、吸收滞留营养物质,增加湿地生物多样性和野生动物栖息地,完善生态系统。

缓冲区临水区域适当补植中山杉等乔木,其具有抗风性强,生长速度快和病虫害少的优点。浅水区选择浮水植物与挺水植物结合配置。挺水植物高大挺拔,花色多彩艳丽,观赏效果好,如荷花、香根鸢尾、花叶美人蕉等;浮水植物花朵美艳,植株飘逸如睡莲、萍蓬草、野菱、浮萍等,覆盖度控制在40%。深水区选择漂浮、浮水植物,给微

生物群落提供附着空间和氧气,具备净化和改善水质功能,如黑藻、金鱼藻、苦草、荇菜等,覆盖度控制在 50%~70%。

莱西市姜山湿地中水回用工程概算总投资为 2 596 万元,其中多级湿地建设费用为 1 721.05 万元、生态浮岛建设费用 264.00 万元、生态缓冲区建设(包括水渠开挖工程)费用 283.20 万元。

2 效益分析

2.1 经济效益

直接经济效益主要包括补给生态需水改善湿地生态环境所节省的水资源费以及湿地内动植物产品带来的生产价值。经过一定处理的城市中水作为洁净水资源的替代物,用于姜山湿地生态补水,能减少洁净水源的消耗。根据计算,姜山湿地生态补水量年需 1 825 万 m^3 ,根据 2021—2022 年青岛市水价收费标准,一年可节省水资源费 6 752.5 万元。水产品生产价值方面,按照姜山湿地年亩产鱼 300 kg 估算,湿地年水产品的生产总产量为 1 350 t,按淡水产品年平均价格,湿地水产品年年生产价值约 1 890 万元。植物资源价值方面,以芦苇的价值来核算,根据青岛市海洋与渔业局统计资料,芦苇年产量以 30 t/hm² 计算,姜山湿地年芦苇产量为 1.50 万 t,年资源价值约 720.00 万元。合计年总经济效益约 9 362.5 万元。另外,通过项目的实施,对其进行生态保护性开发,建设姜山国家湿地公园,可助力打造莱西旅游新名片,争取成为全国知名生态旅游目的地。中水回用姜山湿地将有助于打通莱西市绿水青山转化为金山银山的通道,加快生态优势转化为经济优势,是莱西市深入践行“两山”理念、打造“双山”基地的创新实践。

2.2 生态环境效益

中水补给姜山湿地在减少中水外排水量,减轻下游污染负荷,改善下游区域生态环境的同时,给姜山湿地补充生态环境需水量,改善姜山湿地的生态环境质量,营造良好生境,提升生态系统多样性、稳定性、持续性。另外,姜山湿地通过水体的蒸发不断与大气之间进行热量的交换,为区域冬暖夏凉的气候调节起到至关重要的作

用。且中水回用于姜山湿地,有利于在减排和增汇两个方面实现碳中和,对打造姜山湿地为碳中和湿地公园具有深远的意义。

2.3 社会效益

用莱西污水厂中水对姜山湿地进行生态补水,能够改善莱西市姜山镇的环境质量,使姜山湿地成为莱西市生态文明建设的名片,打造良好的人居环境,提升城市整体形象。为周边居民提供休闲、健身的游憩空间,提高居民的生活品质,满足人民群众对日益增长的美好生活的需要。同时,通过本项目的建设可为我国缺水地区中水回用湿地的建设提供思路与经验,引导全社会节约集约、循环高效利用水资源,促进经济社会绿色低碳高质量发展。

3 结语

莱西市姜山湿地因降水径流不足,面临缺水退化局面。在湿地进水河渠因地制宜建设多级人工湿地,净化污水处理厂中水,给姜山湿地提供生态补水,是加强中水利用、促进湿地保护、修复的重要举措。姜山湿地进水人工湿地采用三级“表面流湿地+生态浮岛区+生态缓冲区”的多级模式,工程的建设将为建设人工湿地净化水质,补充河湖生态环境用水提供可参考的思路方法和工程技术经验,具有明显的经济、社会以及生态综合效益。工程实施后,建议加强水质、水量、动植物种类、生长状态等生态环境要素的科研监测,为湿地保护和有效管理提供更加全面的科学依据。

参考文献

- [1] 周文敏,肖华,喻曼,等.人工湿地技术在农村生活污水处理中的研究进展[C].第四届全国农业环境科学学术研讨会论文集,2011:4.
- [2] 黄健,杜少文.人工湿地技术及其在我国北方地区的研究进展[J].中国海洋大学学报(自然科学),2010,40(11):79-84.
- [3] 万玉文,郭长强,菲智,等.多级串联表面流人工湿地净化生活污水效果[J].农业工程学报,2016,32(3):220-227.
- [4] 钟成华,李杰,邓春光.人工湿地废水处理中氮、磷去除机理研究[J].重庆建筑大学学报,2008(4):141-146.
- [5] 郑姝卉,李振,白娟.浅析我国人工湿地污水处理技术[J].山东水利,2009(9):41-42,49.

(责任编辑 崔春梅)