

伍姓湖人工湿地水质状况监测评价

王坡

运城市生态环境综合监测中心

DOI:10.32629/eep.v9i6.3251

[摘要] 伍姓湖是山西省最大的内陆淡水湖,是涑水河入黄前重要的生态屏障。针对其长期受上游尾水影响、水质劣于V类、富营养化严重的状况,本文创建起包含进水、处理、出水、受纳全流程的监测网络,综合采用单因子评价、综合污染指数和综合营养状态指数法,对入湖口多级人工湿地进行效能评价。经过一级表流、二级表流和垂直潜流系统共同净化,入湖口出水水质由劣V类稳定提高到IV类,核心区达到III类标准,湖体综合营养状态指数明显下降,富营养化由中度向轻度转变。该工程采用一级表流、二级表流和垂直潜流多级组合工艺流程,其监测评价体系可以给类似河湖生态修复提供科学范式。

[关键词] 伍姓湖; 人工湿地; 水质监测; 富营养化评价; 水环境管理

中图分类号: S342.2 文献标识码: A

Monitoring and Evaluation of Water Quality in the Wuxing Lake Artificial Wetland

Po Wang

Yuncheng Ecological Environment Comprehensive Monitoring Center

[Abstract] Wuxing Lake is the largest inland freshwater lake in Shanxi Province and an important ecological barrier before the Wushui River flows into the Yellow River. In response to the long-term impact of upstream tailwater, water quality inferior to Class V, and severe eutrophication, this article creates a monitoring network that includes the entire process of inflow, treatment, outflow, and reception. The single factor evaluation, comprehensive pollution index, and comprehensive nutritional status index methods are comprehensively used to evaluate the efficiency of multi-level artificial wetlands at the entrance of the lake. After the joint purification of primary surface flow, secondary surface flow, and vertical subsurface flow system, the effluent quality at the inlet of the lake has steadily improved from Class V to Class IV, and the core area has reached the Class III standard. The comprehensive nutritional status index of the lake has significantly decreased, and eutrophication has shifted from moderate to mild. The project adopts a multi-stage combination process of primary surface flow, secondary surface flow, and vertical subsurface flow, and its monitoring and evaluation system can provide a scientific paradigm for ecological restoration of rivers and lakes.

[Key words] Wu surname lake; Artificial wetland; Water quality monitoring; Eutrophication evaluation; Water environment management

建在入湖河口的人工湿地具有水质净化、水量调节和生境保持的作用,是削减尾水和面源污染、保证受纳水体的重要生态屏障。伍姓湖是山西省最大的天然内陆淡水湖,位于黄河中游东岸,是涑水河汇入黄河前的最后一个调蓄点,水质的好坏直接影响到张留庄国控断面达标和黄河流域生态安全。由于历史围垦、养殖和上游高浓度尾水的长期输入,湖泊曾经出现过劣V类水质,富营养化问题十分严重。虽然永济市已经实施了入湖口多级人工湿地工程,但是没有系统的效能评价数据支持。因此,本文根据一年内逐月的监测数据来建立覆盖进水、处理、出水、受纳全过程的监测体系,对湿地净化机理和湖体富营养化演变规

律进行综合分析,为“一泓清水入黄河”工程效果提供量化的数据支撑,也为类似的湿地绩效管理提供科学的范式。

1 研究区域与监测背景

1.1 伍姓湖流域概况

伍姓湖在山西省运城市永济市境内,因舜帝后裔虞、姚、陈、胡、田五姓聚居湖畔而得名,水面总面积约40.29平方公里,是山西省最大的天然内陆淡水湖。湖区位于黄河中游东岸的涑水河下游,是涑水河来水的汇入地,也是张留庄国控断面的汇入地,对区域水量调蓄、湿地生境维护和入黄水质改善起着重要作用。涑水河是黄河的一级支流,沿途接纳上游城镇生活污水处理厂

排出的尾水和工业园区、沿岸居民的生产生活排水,污染负荷比较集中。受历史围垦、养殖、外源污染三重叠加的影响,伍姓湖湿地范围一度缩小,水体自净能力降低,水质一度恶化到劣V类,氮磷营养盐积累严重,富营养化特征明显,给入黄水质和流域生态系统良性循环带来压力。掌握该水体及其入湖来水水质状况是进行生态修复效果评价的前提。

1.2 入湖口人工湿地工程概况

为了系统改善入湖来水水质,永济市以退养、截污、清淤、扩绿、活水为治理思路,先后开展了伍姓湖入湖口人工湿地一期、二期工程以及岸坡和湿地生态修复等项目。入湖口水生态治理人工湿地二期核心处理区位于伍姓湖以东、涑水河以东的环湖滩地,设计处理规模为3万立方米/日,主要处理涑水河携带的上游污水处理厂尾水和沿途排水。工程采用一级表流湿地、二级表流湿地、垂直潜流湿地、自然生态湿地修复的多级组合工艺,用芦苇、香蒲、黄菖蒲等耐污挺水植物形成植物滤床,依靠植物根系吸收、基质吸附、微生物降解的协同作用,逐级削减化学需氧量、氨氮、总磷等污染物。来水经过多单元表流和潜流湿地的处理之后,地表水水质由劣V类提高到IV类,核心处理区出水主要指标可以达到《地表水环境质量标准》III类,净化后的出水回补湖体并改善湖区水环境,整套工艺流程充分体现了多级组合湿地在入湖河口水质净化中的技术优势。

2 监测点位与方案设计

2.1 监测网络布设与采样策略

监测断面的布置必须坚持代表性、连续性和可比性的原则,按照《地表水环境监测技术规范》的要求进行点位的选择,对人工湿地的进水、处理、出水和受纳等各个环节的水文过程进行全方位的监测。具体到涑水河进入湿地的咽喉位置设置来水断面,以此量度污染负荷的输入基线;在一级表流、二级表流和垂直潜流各个功能单元的衔接处布设过程断面,准确描绘污染物沿程削减规律;在湿地总出水口即入湖口设置出水断面,客观评价整个净化效果;在湖体设置湖心和代表性湖区点位,用入湖前对照断面来辨析湿地回补对受纳水体的影响。采样时各个断面都在水面下0.5米处取表层水样,对水深较大的地方还要考虑垂向分层采样,保证获得的样品可以真实反映断面水质时空变化的特点,为沿程净化效果解析提供连续可比的数据基础。

2.2 样品分析流程与质控体系

监测指标的选取要与《地表水环境质量标准》的基本项目相衔接,还要根据湿地净化机理来增加一些重要的监测因子。常规指标有水温、pH、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、氟化物、石油类等;对湖体富营养化评价,专项补充叶绿素a和透明度两项主要参数。采样频次采用逐月例行监测的方式,主要在丰水期、平水期和枯水期进行,可以捕捉到水质年内动态变化,遇到污染负荷波动剧烈的时候,会对进出水断面进行加密采样。样品采集、保存、运输严格按照水质采样技术指导等相关规范执行,水温、pH等易变指

标现场测定,其余指标冷藏避光带回实验室分析。实验室全部使用国家标准方法进行检测,全过程实行空白试验、平行样测定和加标回收等质量控制措施,保证监测数据的准确性、有效性。

3 水质评价方法

3.1 单因子标准指数评价

断面水质类别判定用单因子评价法,严格以《地表水环境质量标准》III类水质为湿地出水和湖体考核基准。该方法按照“木桶效应”,以评价时段内参评指标中水质类别最差的一项来确定最终级别,该项就是定类指标;低于检出限的项目按二分之一检出限值参与计算。用计算标准指数($P_i=C_i/S_i$)来量化单项污染程度,如果 $P_i>1$,则判定超标,溶解氧和pH由于有上下限的要求,采用相应的分段公式来计算。为了确定考核阈值,关键指标III类限值的确定如下所示:溶解氧不小于5mg/L、高锰酸盐指数不大于6mg/L、化学需氧量不大于20mg/L、五日生化需氧量不大于4mg/L、氨氮不大于1.0mg/L、湖库型总磷不大于0.05mg/L、总氮不大于1.0mg/L。该法操作简单直观,可以很快锁定制约水质达标的主要污染物。

3.2 综合污染指数评价

为了体现断面整体污染程度及沿程变化,选取化学需氧量、氨氮、总磷、总氮等主要污染因子,采用均值型综合污染指数进行评价。该指数用各个参评指标的标准指数之和除以参评指标数来表示水体综合污染程度,综合污染指数越大,说明综合污染越严重。与单因子法相比,综合污染指数可以将多个污染因子的贡献合并成一个数值,减弱个别指标的极端影响,更适合在同一时段内不同断面之间、同一断面不同时段之间进行横向和纵向比较。利用进水、过程、出水断面污染指数的变化趋势来评价各个湿地单元对于污染物的削减量,并且可以直接体现多级湿地组合工艺协同净化的效果。

3.3 综合营养状态指数评价

根据伍姓湖富营养化评价,本研究使用综合营养状态指数法(TLI)。评价选用叶绿素a、总磷、总氮、透明度和高锰酸盐指数这五个参数,以叶绿素a为基准,用叶绿素a与其各项指标的相关系数平方来确定归一化权重。各分项指数是实测值用一定的对数公式换算得到的,叶绿素a单位为mg/m³,其余指标单位为mg/L,透明度为m。最终TLI(Σ)就是各个分项指数与权重相乘再求和得到的总和,其取值范围是0到100。根据分级标准分为五级,小于30为贫营养,30~50为中营养,50~60为轻度富营养,60~70为中度富营养,大于70为重度富营养。该方法很好地把藻类生物量和驱动因子结合起来,准确地测定了湿地回补之后水质的变化趋势。

4 水质监测结果与净化效果分析

4.1 污染物沿程削减特征与季节性差异

从监测数据可知,涑水河来水的污染因子主要是化学需氧量、氨氮、总磷、总氮,单因子评价定类指标主要为氨氮、总磷,综合水质长期劣于V类。经过多级湿地处理之后,污染物沿程递减的趋势比较明显,一级表流湿地依靠植物滤床的物理拦截和

吸收,较好地去除掉了悬浮物以及部分有机污染物,二级表流和垂直潜流单元依靠基质吸附和微生物代谢,在好氧条件下加强了氨氮硝化反应,持续削减了化学需氧量和总磷。到入湖口出水断面水质已经提高到Ⅳ类,核心处理区主要指标可以达到Ⅲ类标准。值得注意的是,净化效能存在明显的季节性变化,夏季高温有利于植物的生长和微生物的活动,去除效率大大提高;冬季低温使植物枯萎、代谢减慢,氨氮和有机物去除率下降,总氮由于反硝化过程缺少碳源而被抑制。

4.2 富营养化改善效应与净化机理剖析

根据综合营养状态指数评价结果可知,湿地运行使湖体富营养化明显减少。治理之前由于外源输入和水体流动性差,湖区属于中度富营养状态,藻类繁殖风险大。随着湿地系统对于氮磷负荷的不断拦截,入湖营养盐通量明显下降,湖体透明度提高,综合营养状态指数逐渐下降,由中度富营养向轻度富营养甚至中营养转变。机理分析可知,表流湿地主要是依靠沉淀、植物吸收和复氧作用来去除悬浮物和易降解有机物,垂直潜流湿地依靠填料渗滤加强硝化和降解的过程,植物根系、基质和微生物的共同作用是净化的核心。但是水温、水力负荷和停留时间仍然是主要的限制因素,低温会抑制硝化和反硝化菌的活性,短流会降低处理效果。总体上,该湿地系统采用一级表流、二级表流和垂直潜流组合工艺流程实现了水质净化,但是总氮的去除仍是今后优化的重点。

5 存在问题与对策建议

5.1 监测与运行中的主要问题

监测与评价结果反映出当前水质保障仍面临若干制约。涑水河来水水质受上游尾水排放和沿岸面源影响波动大,进水污染负荷的瞬时冲击会超过湿地设计处理能力,影响出水稳定性。低温季节净化效能较低,植物处于休眠期、微生物活动减弱,氨氮、有机物去除率降低。脱氮是系统的主要缺陷,潜流湿地中供反硝化利用的有机碳源缺乏,造成总氮不能进一步降低,成为出水达标和湖体营养状况改善的主要制约因素。长期运行时,潜流单元由于悬浮物、生物膜的堆积而造成局部堵塞、短流,减少有效的处理容积。就监测能力而言,断面布设及采样频率对于污染负荷突变以及净化过程的细致表现还存在欠缺之处,自动在线监测覆盖面较小,不能迅速察觉水质出现异常波动并加以响应。

5.2 水质管理与持续提升对策

针对以上问题要从源头控制、湿地优化、强化脱氮、监测预警和流域协同等各方面共同推进。污染输入端要推进上游城

镇污水处理厂提标改造、工业园区排水监管,加强沿岸农业面源和生活污水截污治理,从源头上减少进入湿地的污染负荷。湿地运行端应根据水温、水质变化调节水位、水力负荷、停留时间,实行植物分区轮作、定期收割,防止营养盐随植物残体回溶,及时清淤、反冲。为了解决脱氮瓶颈问题,可以增加外加碳源、设置专门的反硝化功能单元或者改变表流和潜流的组合方式来提高总氮去除能力。在监测预警端应该改善断面布置和采样频率,推进自动在线监测同手工监测相结合,创建起包含进水、过程和出水的水质预警体系,加快对冲击负荷和异常波动的应对速度。这些建设同“一泓清水入黄河”的长效机制相接洽,有利于不断巩固和加强伍姓湖的水环境品质。

6 结束语

系统监测结果表明,伍姓湖入湖口人工湿地采用一级表流、二级表流和垂直潜流三级组合工艺,对涑水河来水中的化学需氧量、氨氮、总磷等污染物进行了逐级削减,使入湖来水水质由劣Ⅴ类提高到Ⅳ类,在核心处理区出水主要指标达到Ⅲ类,湖体富营养化程度也得到改善,该多级组合工艺流程为平原型入湖河口湿地水质净化提供了可行范本。由于受来水负荷波动、低温运行以及脱氮能力不足等各方面的影响,水质保障还存在着提高的空间,需要依靠持续的监测工作,从源头上削减污染源、改进运行方式、加强流域间的合作来巩固净化的效果。本文监测点位设计、指标体系、评价方法可以为平原型入湖河口人工湿地水质监管和效果评价提供借鉴。

[参考文献]

- [1]武金翠,李梦南,雷羚洁,等.江苏苏州太湖三山岛国家湿地公园水质监测与分析[J].现代农业科技,2024,(19):99-103.
- [2]舒婷.湖南省东风湖健康状况分析及应对措施[J].湖南水利水电,2024,(3):58-61.
- [3]李紫薇.南四湖入湖河流人工湿地综合评价研究:以小魏河人工湿地为例[D].济南大学,2022.
- [4]刘雷,袁秀泽,李元鹏,等.人工湿地运行状态综合评估研究[J].安徽农业科学,2019,47(5):92-95.
- [5]陈泓霖,邱国良.关于城市内湖水质监测与评价——以衡阳市雁栖湖为例[J].环境与可持续发展,2017,42(2):46-47.

作者简介:

王坡(1981—),男,汉族,河北保定市徐水区人,大专,助理工程师,研究方向:环境工程。