

巴中市东溪沟人工湿地规划设计

张亚平¹ 蒋艳玲¹ 要 晔²

1. 北京自由创林景观规划设计有限公司, 北京 100020

2. 北京联港市政园林绿化有限公司, 北京 100020

[摘要]人工湿地通过对污水处理厂尾水的二次生态处理,可以有效改善水质,降低污染物负荷,通过中水回补生态基流可以有效改善城市内部河道生态水量。综合考虑工程建设成本及生态处理能力,巴中市东溪沟人工湿地采用水平潜流湿地,仅需5.45ha的人工湿地,按照水质净化技术要求采用污染物削减负荷(NA)。

[关键词]巴中市东溪沟;人工湿地;生态补水

DOI: 10.33142/ucp.v2i2.16252

中图分类号: TU986.2

文献标识码: A

Planning and Design of Dongxigou Artificial Wetland in Bazhong City

ZHANG Yaping¹, JIANG Yanling¹, YAO Ye²

1. Beijing Ziyou Chuanglin Landscape Planning and Design Co., Ltd., Beijing, 100020, China

2. Beijing Liangang Municipal Landscape and Greening Co., Ltd., Beijing, 100020, China

Abstract: Artificial wetlands can effectively improve water quality and reduce pollutant load through secondary ecological treatment of wastewater from sewage treatment plants. By using reclaimed water to replenish ecological base flow, the ecological water volume of urban rivers can be effectively improved. Taking into account the construction cost and ecological treatment capacity, the Dongxigou artificial wetland in Bazhong City adopts a horizontal subsurface flow wetland, which only requires 5.45 ha of artificial wetland. According to the requirements of water purification technology, pollutant reduction load (NA) is adopted.

Keywords: Dongxigou, Bazhong City; artificial wetland; ecological water replenishment

1 研究背景

巴中经济开发区定位为“川东北现代产业集聚区”,随着电子信息、生物医药等产业入驻,现状污水厂处理能力已接近饱和,且尾水排放标准(一级A)难以满足巴河支流水环境容量要求。巴中经济开发区作为工业新城,需吸引高质量企业入驻。污水处理厂的建成将显著改善园区环境质量,降低企业因环保不达标导致的运营风险。

巴中市通过污水资源化项目,可提升园区绿色形象,吸引新能源、高端制造等环境友好型产业。2023年巴河下游断面监测数据显示,枯水期TP浓度达0.35mg/L(超IV类水标准限值0.3mg/L),亟需通过尾水深度净化降低入河污染负荷。巴中市已被列为国家生态文明建设示范区,但其地处秦巴生物多样性生态功能区,环境敏感度高。污水处理厂通过“流离球生化法”等先进工艺去除污染物,可减少流域内鱼类、水生植物的生态破坏,同时通过中水回用补充生态基流,助力区域生态修复。

2 建设目标

2.1 提高污水资源化利用率

将兴文污水处理厂尾水(一级A)预处理后,通过潜流湿地净化,使主要指标达到地表水III类标准,并对经开区西片区的河流进行生态补水,推进经开区污水资源化利用率,使兴文污水处理厂的污水得到100%的资源化利用。

2.2 生态修复目标

补充东溪沟、西溪沟生态用水,修复河道生态系统,提升河道风貌,通过尾水净化和湿地生态系统的构建,有效削减尾水中化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)等污染物的排放量,改善区域水环境质量,保护和修复水生态系统,提升水体的生态功能和景观价值。

2.3 综合功能目标

提升城市生活品质,实现生态经济效益最大化。并且项目的建设和运营将带动相关产业的发展,如湿地植物种植、生态旅游等,为当地创造就业机会,增加经济收入。同时,良好的生态环境也将吸引更多的投资和人才,促进区域经济的协调发展。

3 生态经济效益

3.1 污水资源化利用

本项目将对兴文污水处理厂尾水进行二次处理,在兴文污水处理厂满负荷运行的情况下,日处理量为1.99万m³/d,平常情况与污水处理厂尾水出水量持平,极大地提高了巴中经开区污水资源化利用率。项目的实施将利用兴文污水处理厂经过二次处理的尾水对整个经开区西片区河道进行生态补水,推动了巴中经开区污水资源化利用,对于未来巴中经开区申请国家级经济开发区奠定基础。

3.2 尾水水质提升

项目实施后,兴文污水处理厂尾水经预处理和潜流湿

地净化，主要指标达到地表水Ⅲ类标准。满负荷运行时，每年可削减总氮 2904.3g，石油类 32.81g，有效改善区域水环境质量，降低污染负荷，减少对河道生态系统的破坏。预处理采用硫自养反硝化滤池工艺，去除污水中有机和无机污染物，将一级 A 尾水提升至地表 IV 类。潜流湿地进一步净化污水，利用填料、植物和微生物的协同作用，对碳、氮、磷等污染物有效去除，确保出水达标。

3.3 河道生态修复

项目包括东溪沟、西溪沟、古毛河补充生态用水，恢复河道生态流量，改善河道水动力条件，提高水体自净能力。在湿地和河道周边进行植被恢复，种植本土水生和陆生植物，构建完整的生态系统，为生物提供栖息地，促进生物多样性恢复。通过生态修复，增强河道生态系统的稳定性和抗干扰能力，提升区域生态服务功能。

景观设计遵循确保净化效率、提升绿化覆盖率、丰富竖向空间变化、增加园路变化、利用花卉造景等策略。打造平行台地式湿地布局，搭配多种植物，形成适宜的湿地美景；建设湿地相关保护设施，为市民提供休闲观赏空间，并且保护湿地生态，提升城市景观品质，实现生态与景观的有机融合。通过湿地净化尾水，可削减大量污染物，每年可削减总氮 2904.3g，石油类 32.81g，改善区域水环境质量，恢复河道生态系统，保护生物多样性，提升区域生态服务功能。与原规划相比，本项目总投资减少，且通过建设人工湿地，可带动周边土地增值，促进旅游业和相关产业发展，创造更多经济价值。同时，提高再生水利用率，节约水资源，降低城市供水成本，带来经济效益。

4 人工湿地类型比选及建设方案

4.1 人工湿地类型比选

按照工程设计和水体流态的差异，人工湿地污水处理系统分为表面流人工湿地、水平潜流湿地和垂直流人工湿地三种主要类型，水平潜流湿地和垂直潜流人工湿地可统称为潜流人工湿地。

在巴中经济开发区污水资源化利用项目中，人工湿地类型的比选是确保技术适用性与工程效益的关键环节，比选内容需围绕处理目标与水质特性适配性、技术类型与适用场景、环境与地理气候条件适配性等方面进行比较。详细对比内容见下表。

由表可知，潜流湿地具有负荷高、处理效果好、占地面积较小等特点，适用于污水处理厂尾水提标、村镇污水处理等项目，处理污染物浓度较高的水。

考虑到本项目湿地进水水质中主要需要去除的指标为 TN，而 TN 的去除通常涉及硝化和反硝化过程，水平潜流湿地与其他湿地相比，在 TN 的去除上更具有经济性与合理性，同时相对垂直潜流湿地在后期运营过程中不容易堵塞，故本项目的建设适合采用水平潜流湿地。

表 1 人工湿地类型对比表

参数	表面流人工湿地	水平潜流湿地	上行垂直流人工湿地	下行垂直流人工湿地
水流方式	表面漫流	水平潜流	上行垂直流	下行垂直流
负荷	较低	高	高	高
占地面积	大	一般	较小	较小
构造管理	简单	一般	复杂	复杂
工程建设费用	低较	高	高	高
季节气候影响	大	一般	一般	一般
卫生状况	差	好	一般	一般
景观效果	好	好	较好	较好
有机物去除能力	一般	强	强	强
硝化能力	较强	较强	一般	强
反硝化能力	弱	强	较强	一般
除磷能力	弱	较强	较强	较强

4.2 水平潜流湿地的面积计算

水平潜流湿地虽然结构相对简单，但依然包含步水区、处理区和收水区，其中处理区的结构自上而下其次是地表覆盖层、基质填料层和防渗结构层。水平潜流湿地的面积设计应考虑最大污染负荷和水力负荷，可按 BOD5 表面负荷、水力负荷，应取设计计算结果中的最大值，并校核水力停留时间是否满足设计要求。

本项目水平潜流湿地的面积计算主要参考《人工湿地水质净化技术指南》2021 年版，以下简称《指南》。根据《指南》的气候分区，巴中属于Ⅲ区（夏热冬冷地区）。本项目湿地面积的计算以《指南》中Ⅲ区的参数（人工湿地主要设计参数）为基础，根据项目的实际情况参考以往案例做了适当调整，计算公式如下：

采用污染物削减负荷（NA）计算湿地面积：

$$A=1.99 \text{ 万 m}^3 \cdot (5-1) / NA$$

当 NA=1.2 时，为 1.99*4/1.2=6.33ha；

当 NA=6 时，为 1.99*4/6=1.33ha；

注：本项目主要是削减 TN，染物削减负荷为 TN 的值。

采用表面水力负荷（q）计算人工湿地面积：

$$A=1.99 \text{ 万 m}^3 / q$$

当 q=0.3 时，为 1.99/0.3=6.3；

当 q=1 时，为 1.99/1=1.99；

综合以上污染物削减负荷（NA）与表面水力负荷的计算结果，根据现场用地的实际情况，本项目人工湿地的取值为 5.45ha。

c) 校核水力停留时间：

$$T=5.45 \cdot 1.6 \cdot 0.5 / 1.99, T=2.19 \text{ 天}$$

本项目的水力停留时间取 2.19 天。

4.3 水平潜流湿地床体

水平潜流湿地床体结构，从下至上依次为床体围护结

构、水体防渗结构、处理基质层、湿地植物覆盖层。当污水进入湿地床体, 污染物被吸附、过滤、分解而达到水质净化的作用, 是湿地系统的核心部分。本项目的围护结构为钢筋混凝土结构。(如图 1)

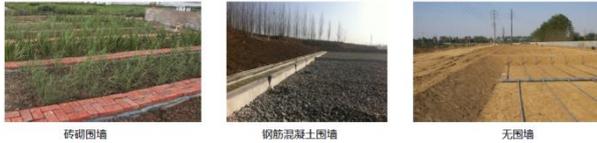


图 1 潜流湿地围墙

根据本项目的实际情况, 水平潜流湿地填料, 主要用于除总氮, 填料的选择对总氮去除很关键, 因为总氮的去除涉及硝化和反硝化过程, 需要不同的环境条件。总氮包括氨氮、硝酸盐氮等, 去除需要硝化(好氧)和反硝化(厌氧)过程。因此填料需要支持这两类微生物的生长。填料需要分层设计, 上层好氧, 下层厌氧。常见的填料有砾石、沸石、石灰石、陶粒等。沸石对氨氮吸附效果好, 石灰石调节 pH, 促进微生物活动, 陶粒多孔适合生物膜生长。上层使用较大粒径的填料, 增加孔隙率, 保证氧气渗透, 促进硝化; 下层用较小粒径或富含有机碳的填料, 创造厌氧环境, 促进反硝化。同时, 考虑水力停留时间和防止堵塞的问题。

本项目水平潜流湿地填料分为三层, 顶层 0.4m 用沸石和粗砾石混合, 中层 0.6m 用石灰石和陶粒, 底层 0.6m 用硫磺改性陶粒或添加缓释碳源的填料。这样分层可以促进不同阶段的脱氮过程。需要确保各层的粒径比例合适, 保证水流顺畅和微生物附着。各层填料起到的核心功能介绍如下:

沸石+砾石复合层: 粗砾石保障高孔隙率 (>35%), 防止堵塞; 沸石选择性吸附 NH_4^+ , 为后续硝化提供基质。

石灰石缓冲层: 中和硝化过程产生的酸性环境 (pH6.5~7.5), 陶粒多孔结构富集硝化菌(如亚硝化单胞菌)。

硫磺-铁碳强化层: 硫磺作为电子供体驱动自养反硝化(Thiobacillus 菌), 铁碳填料通过微电解产生 H_2 和 Fe^{2+} , 同步去除 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 。

4.4 人工湿地种植设计方案

人工湿地地表覆盖层通常为湿地植物, 不仅具备抗污能力而且能够吸收去除主要的水中污染物, 同时兼具良好的景观观赏效果。本次项目筛选出以下植物种类, 详细内容见下表:

表 2 人工湿地植物种类与种植密度

序号	湿地类型	名称	试种密度	备注
1	潜流湿地	香蒲	9 株/ m^2	地下茎, 分株
2		芦苇	9 株/ m^2	保留 30cm 以上地下茎, 分株
3		菖蒲	16 株/ m^2	

5 人工湿地运营管理

5.1 设施系统化维护

水力系统管理, 每季度清理湿地填料层淤积物, 采用

高压水枪结合人工清掏方式, 确保潜流区水力停留时间稳定在 8~12 小时, 防止断流或堵塞现象。每月检查进出口格栅、流量控制阀门及水泵运行状态, 对磨损部件进行预防性更换, 确保设备综合完好率 $\geq 95\%$ 。

植物群落优化, 按季节轮换补植芦苇、香蒲等耐污型本地水生植物, 控制植被覆盖率 $\geq 85\%$, 退化区域(如根系腐烂、病虫害区域)需在 15 日内完成修复。每年春季开展植物收割, 生物量处置优先用于堆肥或生物质能源转化, 禁止露天焚烧。

5.2 水质与生态协同监测

水质动态管控, 实施在线监测与人工采样结合模式, 每日通过传感器监测 pH 值、溶解氧等基础指标; 每月按《地表水环境质量标准》(GB3838) 要求检测 COD、氨氮、总磷等污染指标, 数据实时上传至巴中市生态环境局监管平台。设置 3 处水质应急采样点, 应对突发污染事件时 1 小时内完成污染物溯源。

生物多样性提升, 每半年联合科研机构开展底栖动物(如摇蚊幼虫、水丝蚓)丰度调查, 评估湿地底泥生态活性; 同步记录鸟类(如白鹭、池鹭)栖息动态, 建立物种名录数据库。在湿地边缘区增设人工鱼巢, 促进鱼类繁殖, 形成“植物-微生物-动物”三级净化链。

5.3 安全与应急体系构建

物理防护升级, 沿湿地边界设置 1.2m 高防护围栏及红外线监控设备, 重点区域(如深水区、设备间)加装声光报警装置, 降低人员落水风险。雨季前完成排洪沟渠清淤, 确保 20 年一遇暴雨工况下水位涨幅 $\leq 0.5\text{m}$ 。

污染防控机制, 每季度检测周边 500m 范围内地下水氨氮浓度, 发现异常时启动土壤淋洗修复预案, 防止污染物扩散至下游居民区。

5.4 精细化运营

(1) 全周期成本控制策略

推行“以湿养湿”模式: 开发湿地科普研学路线; 引入光伏发电设备为监测系统供电, 降低电力成本 30% 以上。优先采购本地苗圃培育的水生植物, 降低运输损耗率, 单株成本可节约 15%~20%。

(2) 政策合规性衔接

运营方案需同步满足《巴中市湿地保护修复制度实施方案》(2018 年) 中“湿地占补平衡”要求, 以及《美丽巴中建设规划(2024—2035 年)》关于“生态产品价值实现”的指标。每年度向市生态环境局提交《湿地生态服务功能评估报告》, 重点说明碳汇增量、水源涵养效益等数据。

(3) 多场景应急预案

极端天气应对, 暴雨红色预警期间, 启动“三班倒”巡查机制, 配置移动式抽水泵(单台排水量 $\geq 100\text{m}^3/\text{h}$) 应对内涝; 干旱早期采用再生水补给, 维持湿地最低生态水位 0.6m。

突发污染处置, 建立“30 分钟响应圈”: 储备活性炭

吸附剂 10 吨、生态浮岛模块 50 组，污染事件发生后 30 分钟内完成初级拦截，48 小时内恢复水质基准值。

(4) 公众参与长效机制

每季度举办“湿地开放日”，设置 VR 生态体验、水质检测互动等环节，提升居民保护意识；联合中小学校开发《湿地生态实践课程》，年参与人数目标 ≥ 5000 人次。推行“社区监督员”制度：招募周边居民参与垃圾清理、违规排污举报，对有效线索给予环保积分奖励（可兑换湿地周边农产品）。

5 结语

巴中市东溪沟人工湿地符合国家环保政策和巴中市城市发展规划，对于解决经开区污水资源化利用问题、改善水环境质量、提升城市生活品质具有重要意义。本次规

划设计工艺占地面积小，水中的有机及无机污染物均有针对性去除，技术成熟稳定，其出水主要指标（COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 等）可稳定在地表水Ⅲ类水质，能够实现预期的水质净化目标。

[参考文献]

- [1] 孙祥. 复合人工湿地处理城市污水处理厂尾水研究[J]. 供水技术, 2025, 19(2): 1-5.
- [2] 林萍, 李胜华, 郭星星, 等. 人工湿地在低污染水治理中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53(3): 121-123.
- [3] 魏建信. 人工湿地处理设施改造浅析[J]. 福建建设科技, 2025(1): 103-105.

作者简介：张亚平，北京自由创林景观规划设计有限公司首席设计师。