

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.06.038

河道旁路处理技术应用探索与工程实践

吉 驰^{1,2}

[1.上海市市政工程设计科学研究所有限公司,上海市 200092;2.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:河道旁路处理技术在我国水环境治理中的应用日益广泛,选择合适的河道旁路处理工艺是首要步骤,直接影响污染物去除、占地面积、工程造价、运维费用、生态景观等。现总结主要河道旁路处理技术,进行比较和分析,并结合华东地区某水系旁路人工湿地处理工程实践,总结和分析旁路人工湿地工艺设计特点、运行效果及优势等,总结相关工程设计经验,以期为相关工程实施提供参考。

关键词:河道;旁路处理技术;人工湿地;工程实践

中图分类号: U416.1+6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0140-04

0 引言

2015年国务院印发《水污染防治行动计划》^[1],至此我国水环境治理迎来爆发式发展,一大批水环境治理项目迅速落地。目前河道治理技术措施主要有外源污染控制、内源污染控制、活水循环、生物-生态修复等^[2],而部分河道在治理过程中由于生态基流量不足、污水处理厂尾水集中排放等原因,影响河道断面水质稳定达标。

为保证河道断面水质稳定达标,项目实施过程中通常采用各种处理系统。根据处理系统与河道的空间关系,可分为河道原位修复技术和河道旁路处理技术。旁路处理技术作为一种新型的河道水处理技术,初始主要广泛应用于河道水的短期应急处理,以物理化学法为主。近年来,随着污染水体性质的复杂化和水质考核标准的提高,更多基于旁路净化工艺的技术手段应用于实践,并取得了不错的治理效果。

目前河道旁路处理技术繁多,针对不同的水质和处理要求开发了不同的处理工艺技术,作为治理城市河道的切实可行的工程技术手段,值得深入研究探索。现就主要河道旁路处理技术进行论述和比较、分析工程案例运行效果,并以工程实践为例,对河道旁流处理技术的应用、优势、效果进行简要分析,总结相关经验以期为相关工程实施提供参考。

1 河道旁路处理技术进展

目前河道旁路处理技术繁多,根据其处理反应方式的不同,主要分为物理法、化学法和生物法,物理法和化学法多用于简单的应急处理。生物-生态法是目前最常用的旁路处理技术,主要有生物接触氧化法、生物滤池、人工湿地等。

1.1 以物理法和化学法为基础的河道旁路处理技术

河道旁路处理技术中常用的物理方法主要有沉淀法、过滤法、气浮法、磁分离法等。单一利用物理法旁路处理河道水有很多局限性,很难达到城市水环境质量要求。为此,大多结合化学或生物法对河道进行净化处理。应用于河道旁路处理中的化学法主要有混凝法、化学沉淀法、电解法等,具有快速高效的特点。常用的以物理法和化学法为基础的河道旁路处理技术的去除对象、优缺点如表1所列。

以物理法和化学法为基础的河道旁路处理技术在河道水质提升方面有着不少应用。陈飞华^[3]等人在闸北区徐家宅河生态治理中采用“气浮-生化-过滤”工艺循环净化、深度净化水质,可去除水体95%的藻类和90%的固体悬浮物。杨蓉^[4]等人采用混凝沉淀+微曝气滤池净化河道水体,对TP、NH₃-N、COD具有稳定的净化效果,出水达到地表水V类标准。袁文璟^[5]等人采用混凝沉淀/超滤工艺改善苏州河道水的感官品质,对地表水中腐殖酸类物质具有良好的去除效果,对浊度、色度的去除率分别为94.16%~96.25%、89.69%~93.86%。吕森^[6]等采用磁介体强化混凝处理黑臭河道水、高浊河道水和低温低浊河道水三种典型劣V类实际河道水,其出水指标中除氮元素

收稿日期: 2023-03-07

作者简介: 吉驰(1990—),男,硕士,工程师,从事市政给排水、水环境治理、海绵城市的研究和设计工作。

表1 常用的以物理法和化学法为基础的河道旁路处理技术比较表

分类	名称	去除对象	优点	缺点
物理类	沉淀法	SS	传统的固液分离法	—
	过滤法	SS	传统的固液分离法	—
	气浮法	SS、营养物及藻类	固液分离效果好	需投加药剂,有能耗
	磁分离法	SS、有机物、营养物及藻类	处理效率高、占地面积小、施工周期短、运维简单	出水可生化性差、某些水质指标(如氨氮、总氮、溶解性有机物等)去除能力有限
化学类	混凝沉淀法	胶体及絮凝物	出水水质好、运行稳定、经济实用、操作简便	本身会导致絮凝物的形成
	化学沉淀法	溶解物	添加药剂即可,工艺简单	药剂残留存在二次污染
	电解法	预处理,氧化还原降解有机物	提高污水可生化性	药剂残留会对水体造成二次污染

水平外均可满足《地表水环境质量》标准中Ⅳ类水质要求。

以物理法和化学法为基础的河道旁路处理技术大多具有简单高效的特点,但一般建设费用较高,部分工艺管理运行复杂,添加药剂的工艺有对水体二次污染的风险,而且单纯采用物理化学的方法处理难以达到水体相关水环境质量标准要求。因而在物理化学法处理后通常采用生物方法进行深度处理。

1.2 以生物-生态法为基础的河道旁路处理技术

以生物-生态法为基础的河道旁路处理技术主要有生物接触氧化法、塘系统、生物滤池、土地渗滤、人工湿地等。常用的以生物-生态法为基础的河道旁路处理技术去除对象、优缺点如表2所列。

表2 常用的以生物-生态法为基础的河道旁路处理技术比较表

名称	去除对象	优点	缺点
生物接触氧化法	SS、有机物及营养物	高效节能、占地面积小、抗冲击负荷、运维简单	流程较为复杂、布水、曝气不易均匀,易出现死区、需定期反洗,产水率低
生态塘	有机物	结构简单、基建及运行费用低、效果可靠	占地面积大、存在短流现象、氮磷去除效果不稳定
生物滤池	SS、有机物、营养物及藻类	处理效果好、耐冲击负荷、不产生二次污染	能耗较大、需定期清理维护
土地渗滤	有机物、营养物	系统投资低、运行能耗低、管理简便	受渗透系数、地下水位、季节温度影响,受用地限制
人工湿地	有机物、营养物及藻类	缓冲容量大、处理效果好、工艺简单、投资省、运行费用低	受用地条件限制、受季节温度影响

大多以生物-生态法为基础的河道旁路处理技术由于具有建设费用较低、运行维护简单、绿色生态等优点,近年来在河道旁路处理中广泛应用。张友德^[7]等采用生物接触氧化工艺对合肥某河道进行水质提升,实践证明可有效去除氨氮,并且有启动快、

成本低、净化效果好、出水稳定等优点。肖伟^[8]等采用磁加载—碳纤维载体渠—增强型生态塘组合工艺净化提升河道水质,出水达到地表Ⅳ类水标准。朱擎^[9]等人以受污染的城市河道新运粮河为对象,研究微曝气生物滤池—多级土壤渗滤系统处理效果,工艺工程对TN的去除效果明显,去除率达到87.56%,对TP和有机物也具有一定的去除能力,去除率分别达到了57.69%和35.99%

近年来,人工湿地技术以其工艺简单、净化效果好、抗冲击负荷能力强、投资运行费用低、型式多样性等优势越来越多地被应用到河道水质提升中。笔者以某工程实践为例,对以人工湿地为基础的河道旁流处理技术的应用、优势、效果进行分析与整理,总结相关工程设计经验,以期为相关工程实施提供参考。

2 某水系旁路人工湿地案例实践

2.1 工程概况

华东地区某水系2016年进行黑臭水体整治,采用“重点污染源拦截清除——水动力提升与异位净化——河流生态系统修复”的总体思路,采用外源控制、内源治理、生态补水、水生态构建、滨水景观建设等整治技术,水体消除黑臭,项目成为黑臭水体整治示范项目,但水质尚未稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅴ类标准。

根据上位相关政策文件要求,水系末端排涝泵站前池水质不低于地表水Ⅴ类水质标准。基于上位政策文件要求,2019年当地政府开展该水系水环境综合整治工程。此案例湿地是该水系水环境综合整治工程的重要子项,紧邻水系末端排涝泵站前池。

2.2 功能定位与设计目标

此案例湿地区域生态环境良好,有水质目标考

核要求,因此此案例湿地的功能定位是以水体巩固提升为主,兼具环境景观提升、生态恢复作用。

此案例湿地所在的河道来水主要包括污水处理厂尾水和天然径流。污水处理厂尾水水质优于一级A排放标准,其中 $COD_{Cr}=30\text{ mg/L}$ 、 $BOD_5=10\text{ mg/L}$ 、 $SS=10\text{ mg/L}$ 、 $TN=10\text{ mg/L}$ 、 $NH_3-N=2\text{ mg/L}$ 、 $TP=0.4\text{ mg/L}$,因此,此案例湿地设计进水水质按污水处理厂尾水水质设计,出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)V类标准,具体如表3所列。

表3 案例水系旁路人工湿地设计进、出水水质一览表 单位:mg/L

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	30	10	10	10	2	0.4
出水	≤40	≤10	—	—	≤2	≤0.4

2.3 总体设计

2.3.1 工艺流程

考虑此案例人工湿地功能定位以水体巩固提升为主,兼具环境景观提升、生态恢复,因此核心净化单元选择水平潜流人工湿地以保证水体巩固提升效果,同时辅以表面流人工湿地和生态涵养湖形成组合处理工艺,具体如图1所示。设计时,考虑利用部分河道提升泵井的出水作为旋转水景涡轮发电设施的进水,设施发电作为景观廊架及园区照明使用;同时,旋转水景景观廊架设置太阳能板,产生的电能作为景观廊架及园区照明辅助能源。

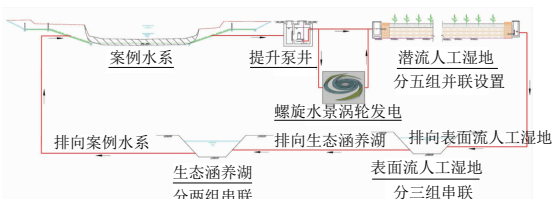


图1 案例湿地工艺流程

2.3.2 平面布置

旁路人工湿地案例建设于现状水系旁现状带状绿地,绿地宽度约20 m,长度约280 m,整体坡向河道。在平面布置中,结合区域场地条件,为减少开挖土方量,降低工程造价,采用五组潜流人工湿地单元并联运行,后端三组表面流人工湿地单元串联,表面流人工湿地出水进入生态涵养湖涵养恢复生态功能后排入案例水系。根据平面布置,利用现状带状绿地空地建设提升泵站、螺旋水景及景观廊架、互动水景等设施,将区域打造成为河道带状景观湿地公园(见图2)。

2.3.3 处理单元设计说明

2.3.3.1 提升泵井

最大设计流量为 $1\ 200\text{ m}^3/\text{d}$,提升泵井尺寸为

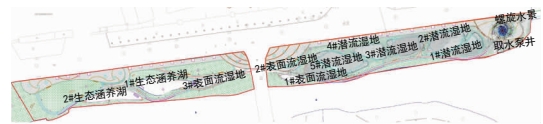


图2 案例湿地总平面布置图

$6.5\text{ m} \times 4.0\text{ m} \times 4.9\text{ m}$,有效水深1.3 m,选用潜污泵2台,单台水泵 $Q=25\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=12.5\text{ m}$ 、 $N=2.2\text{ kW}$ 。

2.3.3.2 潜流人工湿地

潜流人工湿地分五组单元并联运行,总面积 848 m^2 ,设计负荷 $1.42\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。每个人工湿地单元采用穿孔花墙布水,沿填料层竖向均匀布水,设计坡度为1%,出水区放置粒径为 $40\sim 80\text{ mm}$ 的卵石和砾石,长度为0.5 m,深度为0.5 m,宽度同湿地床宽。

图3为潜流人工湿地断面示意图。

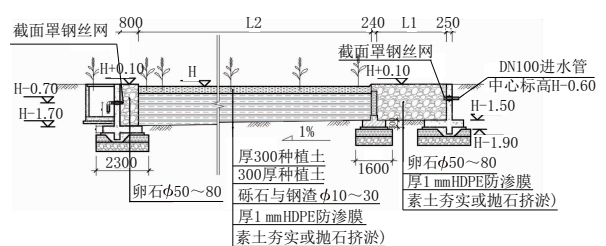


图3 潜流人工湿地断面示意图

在垂直高度上分为覆盖层、填料层和防渗层。覆盖层设计厚度为30 cm,选用优质土壤作为覆盖层,有利于作物的生长。填料层主要用于河水净化处理,设计厚度为70 cm,覆盖层与填料层间设置透水土工布,选用砾石作为主要填料,粒径为 $10\sim 30\text{ mm}$,填充中为增强处理效果,掺和钢渣作为强化介质,砾石与钢渣体积比按9:1设计。防渗层的作用是保证人工湿地床体运行水位,防渗层采用聚乙烯膜,膜厚度采用1 mm。

2.3.3.3 表面流人工湿地

表面流人工湿地分两组单元串联运行,总面积 185 m^2 ,平均水深0.5 m,承接潜流湿地出水,通过水生植物的根、茎表面,进一步降解污染物。

2.3.4 竖向设计

竖向设计充分利用提升泵站压力,案例旁路人工湿地的河水来水通过提升泵井及压力管道进入潜流人工湿地后不再设置提升泵站。在考虑周边环境高程协调的基础上尽量采用较高水位,然后经表面流人工湿地和生态涵养湖自流回到河道。河道进水经一次提升后可实现自流出水,便于运行维护。

进入潜流湿地的进水压力管道标高控制在6.50 m,潜流人工湿地水头损失按0.2 m考虑,出水管标高控制在6.30 m。三组表面流人工湿地及生态涵养湖总

水头损失按 0.6 m, 出水管标高控制在 5.7 m 以下。

2.4 运行效果

案例人工湿地旁路人工湿地自 2021 年 7 月投入运行以来, 出水水质稳定, 处理效果良好, 近期运行数据表明各项指标基本可达到地表 V 类水标准。工程总投资约 276 万元, 单位水量投资为 2 300 元/m³, 运行成本约 0.14 元 /m³。

在巩固提升案例水系水质的同时, 原状河道旁现状带状绿地打造成为河道公园, 提升环境景观, 实景如图 4、图 5 所示。



图 4 案例人工湿地实景鸟瞰图



图 5 案例人工湿地实景

3 讨论与建议

(1) 河道水质提升中的旁路处理工艺应结合周边环境、场地空间、运行效果、建设投资、运维费用及难易程度、生态景观效应等因素选择。

(2) 河道旁路人工湿地在设计中前期建议由景观专业牵头进行初步总平设计, 统筹考虑景观、科普、休闲、生态等功能, 工艺专业根据相关处理建筑设计调整平面, 以保证建成后的河道旁路人工湿地具有综合功能。

(3) 水位、水量和水质是河道旁路人工湿地设计中的核心要点。水位主要涉及河道水位和湿地内部水位, 设计前应获取河道水文资料, 明确河道常水位、枯水位和洪水位, 进而确定河道旁路人工湿地平面控制标高、进出水方式和内部处理单元控制水位。

水量和水质决定湿地工艺选择和面积, 进而影响场地要求和平面布置。

(4) 旁路人工湿地工艺作为城市水环境巩固提升的重要组成部分, 不可取代源头排水单元雨污分流、排水管网整治等基础性工作, 考虑生态敏感性和运维难易程度, 在河道水质目标允许的情况下, 旁路人工湿地宜主要采用表面流人工湿地、生态涵养湖等处理工艺。

4 结语

本文梳理不同类型的河道旁路处理技术, 比较不同工艺优缺点, 分析工艺运行效果, 大多以生物-生态法为基础的河道旁路处理技术由于具有建设费用较低、运行维护简单、绿色生态等优点, 在河道旁路处理中广泛应用。

结合某水系旁路人工湿地工程, 分析旁路人工湿地工艺的实践情况。结果表明: 旁路人工湿地工艺经济实用, 具有良好的水体巩固提升效果; 同时可提升河道岸带景观, 具有较好的经济环境效益, 适合在城市水环境巩固提升中推广借鉴。

参考文献:

- [1] 国务院. 国务院关于印发水污染防治行动计划的通知: 国发〔2015〕17号 [A/OL]. (2015-04-02).
- [2] 住房城乡建设部, 环境保护部. 城市黑臭水体整治工作指南 [EB/OL]. (2015-09-11).
- [3] 陈飞华, 陈云兰. 城市化地区河道生态治理探索与实践——以闸北区徐家宅河生态治理为例[J]. 城市道桥与防洪, 2015(7): 162-164.
- [4] 杨蓉, 胡细全, 黄纤. 混凝沉淀+微曝气滤池净化河道水体工艺研究[J]. 水处理技术, 2021(5): 94-97.
- [5] 袁文璟, 王朝勇, 刘洁, 等. 混凝沉淀/超滤工艺改善苏州河道水的感官品质[J]. 中国给水排水, 2019(12): 78-84.
- [6] 吕森. 磁介质强化混凝处理城市河道水的试验研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2016.
- [7] 张友德, 戴曹培, 张宁, 等. 生物接触氧化工艺实际应用效果分析——以合肥某河道水质提升项目为例 [J]. 环境保护与循环经济, 2022(5): 43-46.
- [8] 肖伟, 罗海兰, 吕本儒, 等. 磁加载—碳纤维载体渠—增强型生态塘组合工艺在河道水质提升工程中的应用 [J]. 水电能源科学, 2019(11): 61-65.
- [9] 朱擎, 杨飞飞, 吴浩恩, 等. 微曝气生物滤池—多级土壤渗滤系统强化脱氮处理新运粮河水[J]. 环境工程学报, 2015(7): 3497-3502.