

石子河人工湿地水质净化工程设计

贺婷婷

(重庆水利电力职业技术学院 建筑工程系, 重庆 402160)

摘要: 详细介绍了石子河人工湿地水质净化工程的设计内容。工程采用生物浮床+生态滞留塘+翻板闸+表流人工湿地工艺对石子河及浊漳河南源的水质进行净化。在工程处理规模为 $19.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 河水原水 COD、BOD₅、氨氮、TN、TP 浓度分别为 47、26、3.78、6.54、0.22 mg/L 时, 相应的出水指标浓度分别为 18、4、0.62、1.29、0.04 mg/L, 去除率分别为 61.7%、84.6%、83.6%、80.3%、81.8%, 出水各项指标远小于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类标准要求。该项目单位处理总成本为 0.043 元/ m^3 , 单位处理经营成本为 0.011 元/ m^3 。

关键词: 表流人工湿地; IV 类标准; 单位处理总成本; 单位处理经营成本

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0050-04

Design of Constructed Wetland Project for Water Purification in Shizihe Area

HE Ting-ting

(Architecture Engineering Department, Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Chongqing 402160, China)

Abstract: The design of constructed wetland in Shizihe area was introduced in detail. The combination process of biological floating bed, ecological detention pond, flap gate and surface flow constructed wetland was used for water purification in areas of Shizihe and the south source of Zhuozhang River. When the treatment capacity was $19.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, the concentrations of COD, BOD₅, ammonia nitrogen, TN and TP in original river water were 47 mg/L, 26 mg/L, 3.78 mg/L, 6.54 mg/L, 0.22 mg/L, respectively, and the corresponding effluent concentrations were 18 mg/L, 4 mg/L, 0.62 mg/L, 1.29 mg/L and 0.04 mg/L. So the relevant removal rates were 61.7%, 84.6%, 83.6%, 80.3% and 81.8%. The effluent indexes were far less than those of the class IV standard of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The treatment total cost of this project was 0.043 yuan/ m^3 , and the operating cost was 0.011 yuan/ m^3 .

Key words: surface flow constructed wetland; the class IV standard; treatment total cost; operating cost

1 项目概况

石子河是浊漳河南源的一级支流,河道自东向西从长治市主城区北部穿过,再过紫坊、邱村、蒋村之后向北流至北寨村西汇入浊漳河南源,最终汇入

漳泽水库,河流总长为 49 km,流域面积为 385.33 km^2 。近年来石子河、浊漳河南源入库水质污染十分严重,为改善漳泽水库周边天然湿地的生态环境,减轻水体污染物对浊漳河南源流域及漳泽水库的威

胁,同时根据库区上游有利的自然生态条件,长治市有关部门决定在石子河河道及长治湿地内建设人工湿地净化工程,实现对上游来水的净化。该工程对于削减浊漳河南源流域排污总量、保护漳泽水库环境以及改善长治市的人居环境具有重要的意义和作用^[1]。

本工程建设内容包括建设翻板闸一座,生态滞留塘种植水生植物 7.2 hm²,石子河上游建造生物浮床 3 750 m²,输水箱涵 1 500 m,表流人工湿地 150 hm²,湿地设计处理规模为 20 × 10⁴ m³/d。建设工程位于长治国家城市湿地公园内,湿地工程范围内土地均属于河滩地,占地共计约 158 hm²,其中表流人工湿地位于长治天然湿地区域及漳泽水库湖滩地,翻板闸位于石子河河道,在 208 国道南部 50 m 处,生态滞留塘及生物浮床位于石子河上游河段,输水箱涵位于石子河河道及浊漳河南源河道西侧的河滩地,总平面布置见图 1。

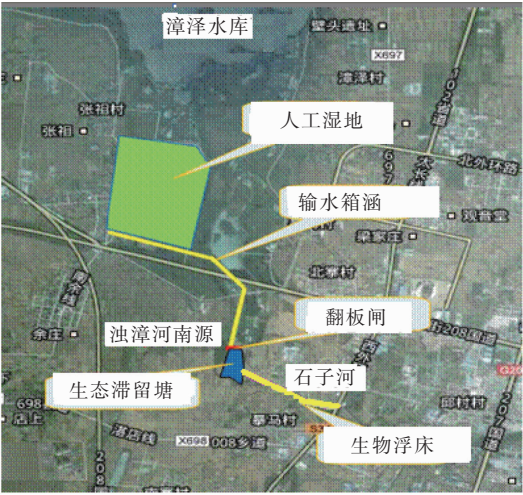


图 1 工程地理位置

Fig. 1 Geographical location of the project

2 工程设计

2.1 处理规模及进、出水水质

本工程接纳处理的污水主要来自上游工矿企业污水处理设施及长治市(主城区)污水处理厂达到处理标准的外排水,沿线居民的零星生活污水及石子河河流径流量。根据 2014 年石子河湛上站流量统计数据,工程建设区域的石子河日平均流量为 97 496 m³,长治市主城区污水处理改扩建工程运行后新增日处理污水量为 1.0 × 10⁴ m³。综合考虑流域内排放量的增加和配套处理回用设施的逐步完

善,并结合枯水期及丰水期流量变化、河道自身净化能力以及可利用的河滩地面积等因素进行分析,最终确定工程处理规模为 20 × 10⁴ m³/d。

本项目人工湿地进水水质参考长治市环保局提供的 2010 年—2014 年石子河浊漳南源监测断面水质监测数据及《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)要求设计进水水质,同时根据《山西省地表水域水环境管理区域方案(2013.5)》,漳泽水库水环境质量执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准。具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	氨氮	TN	TP
进水	50	30	4.0	7.0	0.3
出水(地表水Ⅳ类标准)	30	6	1.5	1.5	0.1

2.2 工艺选择及工艺流程

目前我国人工湿地净化生物技术主要包括人工湿地、生物曝气塘、生物过滤技术、滞留塘、厌氧塘、生物浮床等^[2]。生物浮床不仅可以保证河水预处理效果,而且具有与周边环境天然隔离的作用。根据工程的地形地貌及湿地工程水力特征,需要建设拦水设施——翻板闸对污染河水进行截蓄,通过翻板闸可在河道上游形成天然的生态滞留塘,实现河水水质的初步调节和净化。本工程的核心生态处理工艺选用人工湿地,考虑到本工程污水治理量较大,若采用潜流人工湿地,投资费用会很高;另外浊漳河南源水质污染物浓度不高且稳定在一定水平,比较适合采用表面流人工湿地处理,因此项目采用表流人工湿地技术作为核心处理段,它具有管理简单、填料不易堵塞的特点。

结合工艺选择分析,本工程最终设计方案为生物浮床 + 生态滞留塘 + 翻板闸 + 表流人工湿地工艺。具体工艺流程见图 2。

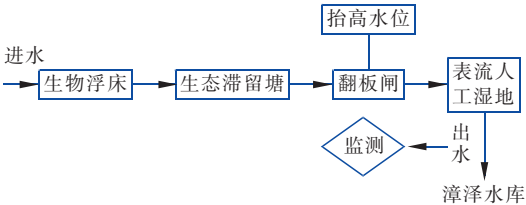


图 2 湿地工艺流程

Fig. 2 Wetland process flow

在石子河上游河段靠近蒋村一侧的主河道建设一排生物浮床,浮床植物可吸收水中大量的污染物,并通过收割植物将所吸收的部分水体污染物从水中分离。河水经过翻板闸截水,在石子河和上游河滩地存储一定体积的河水从而形成滞留塘,通过滞留塘的净化作用去除水体中大部分SS以及少部分有机污染物、氨氮和磷,经生态滞留塘预处理的河水水质基本接近地表水环境质量的V类水质标准。经生态滞留塘及生物浮床预处理的河水,沿输水箱涵自流进入人工湿地,污水在人工湿地阶段完成主要的净化过程,净化后的水质达到地表水Ⅳ类水质标准后排入漳泽水库。

2.3 主体工程设计参数

2.3.1 生物浮床

在主河道一侧布置一排生物浮床,带宽为3 m,长为1 250 m,面积约3 750 m²。生物浮床主要由浮体、固定套环、种植穴、植物、弹性填料及围网等组成,单个浮床尺寸为3 m×4 m。浮体采用竹篙、模块及泡沫板,用不锈钢固定套环将浮岛固定到河底。用海绵包裹植物根茎固定到种植穴内,要求植物直立。弹性填料长为1 000 m,顶部固定在浮体上,下部绑缚石头类配重保证填料下垂,填料间距为250 mm,围网孔径为10~30 cm。

2.3.2 生态滞留塘

设计流量为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,停留时间为1 d,水力负荷为278 cm/d,有效水深为0.3~3.0 m,占地面积约7.2 hm²,河道比降维持在1/1 900~1/900之间,水面宽约90~480 m,主河槽宽约35~85 m。翻板闸抬升水位后,在河道内水深为0.3~1.5 m的较浅区分片种植凤眼莲和睡莲等水生植物,在水深为1.5~3.0 m的深水区域种植当地生长能力较强的金鱼藻、黑藻、苦草以及配置人工水草,在不同区域分类种植,通过多种植物的净化作用,河水水质得到一定程度的改善。

2.3.3 翻板闸

翻板闸宽度为80 m,高为6 m,设置8扇闸门,每扇门板配两个液压杆及一个支撑杆,全开时泄洪断面尺寸为10 m×8 m×6 m。翻板闸工程结构主要由三部分组成:①上下游连接段。主要包括上下游暗墙、上下游连接段护砌、上游防渗铺盖、下游消力池、海漫等。这部分的作用是将上游水流平稳而均匀地引入并通过翻板闸,并保证水流过水坝不产

生淘刷。②翻板闸段。即坝体、启闭设施、底板和边墩。③启闭管理设施。包括液压启闭系统坝体进出油管路、液压泵以及管理与控制房。

2.3.4 输水箱涵

输水箱涵主要包括出水闸、输水箱涵、穿河倒虹吸等,输水箱涵总长约1 500 m。在翻板闸上游挡墙设置出水闸1座,浅孔式,后接输水箱涵。输水箱涵先以倒虹吸管的型式穿越河底,然后沿浊漳河左岸外侧向北穿过迎宾大道,再转往向西,以输水明渠的方式沿湿地边缘进水。输水箱涵的尺寸为2.0 m×2.0 m。水闸门主要用于控制输水箱涵的水位、流量及检修,闸高为2.0 m,闸宽为2.2 m,数量2座。输水箱涵及倒虹吸管均为钢筋混凝土结构,闸门为钢闸门。

2.3.5 表流人工湿地

根据长治湿地具有大面积的天然湿地、可利用区域广的特点,对区域内的地形进行微调、整形,补种芦苇、香蒲等水生植物。设计表流人工湿地的停留时间为2.25 d,有效水深为0.3~1.0 m,水力负荷为13 cm/d,总占地为150 hm²,表流湿地的水力坡度<0.5%。为保证合理布水,工程利用现存堤坝将湿地分为两个大区,并联运行,每个大区有8个分区,分区长宽比控制在5:1~3:1。大区分四级湿地进行强化处理,各级湿地采用卵石坝进行串联。其中,一级、二级湿地为强化处理单元,污染物在此区得到深度净化;三级湿地为混合调节单元,湿地底部高低不平,高程差维持在±0.6 m,三级湿地内有接近40%的开放水面,植物种类多样,景观层次效果比较理想,且本单元复氧能力较强;四级湿地为深度处理单元,通过对三级湿地出水继续深度净化,实现达标排放。

通过在工程区域外设置湿地围堰,可保证本湿地系统的处理效果。利用东侧及北侧道路原有护坡设置湿地工程的外围围堰,围堰采用坝式结构,围堰顶宽为2.8 m,高为1.6 m,边坡系数为1:3.5,围堰总长度约为5 600 m。通过采用浆砌石隔墙实现各湿地的分区,隔墙高为1.2 m,宽为50 cm,总长度约3 200 m。

本项目人工湿地填料由表层土壤、中层砾石层和下层豆石层组成。优先选用了当地钙含量为2.8~3.0 kg/100 kg的混合土作为表层土壤,厚度为160~260 mm。采用粒径为0.6~7 mm的砾石作为

中层砾石层,砾石层铺设厚度为0.5~0.8 m。在进水配水区和出水集水区设置豆石层,豆石层粒径为50~90 mm。考虑到表层土壤在运行后会有下沉现象,本工程在施工时填料表层标高高出设计值15%。

本项目在人工湿地不同区域种植了挺水植物、

浮叶植物和沉水植物。挺水植物主要有芦苇、香蒲、水葱和茭白;浮叶植物主要有野菱、睡莲、凤眼莲;沉水植物主要有黑藻、金鱼藻、苦草。所采用的植物均由当地及周边提供,不存在新物种。

植物种植面积约10 hm²,植物配置参数如表2所示。

表2 人工湿地植物配置参数

Tab.2 Plant configuration parameters of artificial wetland

区 域	选用物种	植物种类	种植范围	种植密度或覆盖度	种植方式
岸边挺水带	挺水植物	芦苇、香蒲、水葱和茭白	1.2 m 水深内	20~30 株/m ²	移植
中部浮叶和沉水带	浮叶植物	野菱、睡莲、凤眼莲	1.4 m 水深内	盖度50%~55%	移植
	沉水植物	黑藻、金鱼藻、苦草	1.4 m 水深内	盖度65%~75%	移植、菹草撒冬芽

3 运行效果分析

该项目于2015年1月开工建设,在2016年9月竣工并开始运营。自运行至今,整个湿地系统所接纳的石子河水量、水质基本保持稳定,没有异常工况发生。工程处理河流的平均水量为 19.8×10^4 m³/d,出水水质比较稳定,2016年10月—2017年10月水质数据见表3。可见,出水各项指标远小于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准要求。

表3 工程各单元处理效果

Tab.3 Treatment effect of each unit

项 目	COD	BOD ₅	氨氮	TN	TP
生物					
进水/(mg·L ⁻¹)	47	26	3.78	6.54	0.22
出水/(mg·L ⁻¹)	39	22	2.89	5.08	0.18
生态滞留塘出水/(mg·L ⁻¹)	32	18	2.04	3.36	0.15
表面流湿地出水/(mg·L ⁻¹)	18	4	0.62	1.29	0.04
总去除率/%	61.7	84.6	83.6	80.3	81.8

4 经济效益分析

本工程总投资为6 318.379万元,全部为环保型投资。项目年均总成本为315.92万元,经营成本为79万元,单位处理总成本为0.043元/m³,单位处理经营成本为0.011元/m³。本项目实施后,湿地芦苇年产值为161万元/a,每年盈利为82万元。

5 结语

工程实施后漳泽水库入库水质得到全面改善,对降低石子河流域水体污染,促进长治地区地表水特别是漳泽水库以及地下水水质好转有重要作用,可为中国典型北方湖泊、河流湿地修复提供可靠的实践经验。

参考文献:

- [1] 满丽. 洙水河滩人工湿地水质净化工程设计[J]. 中国给水排水,2017,33(14):66-69.
Man Li. Design of constructed wetland for water purification in Zhushui River benchland[J]. China Water & Wastewater,2017,33(14):66-69(in Chinese).
- [2] 熊家晴,杜晨,郑于聪,等. 污染河水人工湿地生态净化工程设计[J]. 中国给水排水,2014,30(24):89-92.
Xiong Jiaqing, Du Chen, Zheng Yucong, et al. Design of constructed wetland system for ecological purification of polluted river water quality[J]. China Water & Wastewater,2014,30(24):89-92(in Chinese).



作者简介:贺婷婷(1983—),女,重庆人,本科,讲师,重庆水利电力职业技术学院建筑设备工程技术专业负责人,研究方向为给水排水、海绵城市、给水消防设计等。

E-mail:2405615027@qq.com

收稿日期:2017-12-21