

稳定塘及人工湿地污水处理技术应用分析

——以倒水河流域水污染防治专项项目为例

张飞 赵奎

长沙有色冶金设计研究院有限公司

摘要：本文以倒水河流域水污染防治专项项目为例，介绍了稳定塘和人工湿地组合系统处理城镇污水处理厂尾水的工艺方案，分析了该方案的实际运行效果。将城镇污水处理厂尾水引入曝气稳定塘、人工填料稳定塘和表流人工湿地组成的组合系统进行生态深度处理。运行结果表明，该系统对氨氮和总磷的去除率分别达到80.7%、91.4%，表流人工湿地为鸟类提供了适宜的栖息环境，且具有良好的景观效果。

关键词：稳定塘；人工湿地；组合填料；运行效果
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.16.111

一、前言

倒水河为红安县境内主要河流，由北向南贯穿红安县城。根据常年监测显示，上游入境断面水质常年保持在II类，而下游出境断面水质随季节波动较大，COD、氨氮、总磷有不同程度超标现象。为减小倒水河红安段的水污染负荷，改善水环境质量，红安县政府在2018年组织编制了《倒水河流域（红安段）水污染防治总体方案》，明确先行实施倒水河流域水污染防治专项项目。该项目主要任务是在红安县城镇污水处理厂附近建设人工湿地为主的生态处理系统，对污水厂的尾水进行深度处理后排放，达到削减污染物，改善河流水质的目的。

红安县城镇污水处理厂设计规模为6万m³/d，采用CASS工艺，于2009年开工建设，2010年投入运行，污水厂尾水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级B标准，尾水排放去向为倒水河。

倒水河流域水污染防治专项项目位于污水厂总排口附近的滩地上，工程占地面积约9万m²，于2019年12月1日开工，2020年9月25日竣工。

二、总体方案设计

（一）处理对象及设计水量

因红安县部分老城区仍采用雨污合流制，污水厂的处理能力有限，导致截污干管在进入污水厂之前设有溢流口，多余的污水只能通过溢流口排放，该溢流口与污水厂总排口相距70m。本项目处理对象为溢流口的污水及污水处理厂的尾水。

项目设计处理水量70000 m³/d，其中污水处理厂尾水60000 m³/d，溢流口污水量10000 m³/d。

（二）设计进、出水水质

根据对溢流口的监测结果和红安县城镇污水处理厂的在线监测数据，采用完全混合模式计算并确定本工程进水水质。根据工艺设计的污染负荷，计算污染物去除量，进而预测排放浓度。设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质（单位：mg/L，pH无量纲）

项目	pH	SS	BOD ₅	COD _{cr}	NH ₃ -N	TP	TN
进水浓度	6-9	11.6	14.3	34.4	5.7	0.9	6.8
出水浓度	6-9	/	8.8	19.0	4.3	0.8	5.1

另外，根据初步设计文件，预计每年可削减的污染物数量如下表所示：

表2 设计文件中预测的污染物削减量（单位：t/a）

项目	BOD ₅	COD _{cr}	NH ₃ -N	TN	TP
削减量	100	280	26	31.2	1.5

（三）工艺方案选择

根据《实施方案》，结合项目实际情况，采用工艺方案如下：

污水处理厂总排口与其旁边溢流口的污水混合后依次进入生态沟渠、曝气稳定塘、组合填料稳定塘、表流人工湿地，污水经净化后排入河流。工艺流程如图1所示。

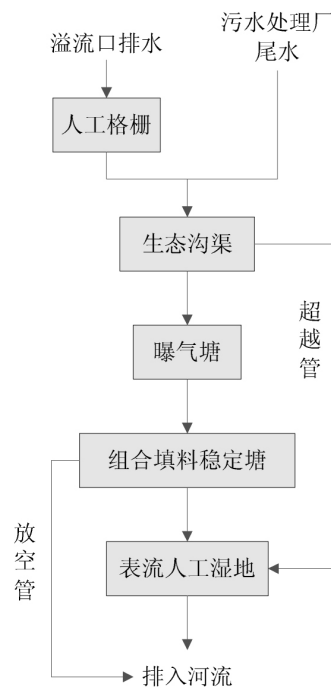


图1 工艺流程图

三、工艺设计

（一）生态沟渠

（1）设计生态沟渠宽10m，深1.5m，其中有效水深0.9m，沟底铺设0.3m厚种植土，沟渠总长度856m。

水力停留时间：4h
 COD表面负荷：3g/(m²·d)
 BOD₅表面负荷：1g/(m²·d)

(2) 在2号排口(溢流口)进入生态沟渠前设置一道中格栅，栅槽宽3.6m，栅条间隙25mm，安装倾角45°。采用人工清渣。

(3) 生态沟渠配置两种沉水植物——狐尾藻和黑藻。

(4) 因项目位于渗透性较好的砂石地层，生态沟渠底部采用1.0mm厚HDPE膜防渗。

(二) 曝气塘

曝气塘是经过人工强化的稳定塘。本工程采用太阳能曝气机进行曝气，使塘内部分固体物质处于悬浮状态，另一部分固体物质沉积在塘底，进行厌氧分解反应。该曝气塘属于部分混合兼性曝气塘。

(1) 曝气塘主要设计参数

设计污水流量：70000m³/d
 塘表面积：10000m²
 塘深：2.3m，有效水深1.5m，超高0.5m
 水力停留时间：5.1h
 水力负荷：7m³/(m²·d)
 BOD₅表面负荷：7g/(m²·d)

(2) 太阳能曝气机主要参数

曝气机数量：10台
 电机功率：1000W
 增氧能力：0.92~1.25 kgO₂/h
 循环风量Q：960~1260 m³/h
 固定方式：沉石牵拉/打桩牵拉/岸边牵拉

(3) 曝气塘防渗

曝气塘底部采用1.0mm厚HDPE膜防渗。

(三) 组合填料稳定塘

该组合填料稳定塘属于兼性塘。兼性塘存在不同的区域，上层阳光能够投射到的区域藻类得以繁殖，溶解氧含量充足，好氧细菌活跃，为好氧层。在塘的底部，由沉淀的污泥和衰死的藻类和菌类形成了污泥层，由于缺氧而进行由厌氧微生物起主导作用的厌氧发酵，为厌氧层。中部则为好氧区和厌氧区中间的过渡区，大量兼性菌存在其中，随着环境条件的变化以不同的方式对有机物进行分解反应。

该稳定塘内采取加设生物膜载体填料强化措施。生物挂膜组合填料是在软性填料和半软性填料的基础上发展而成的，它是由纤维束和中心绳所组成，它具有散热性能高，阻力小，布水、布气性能好，易长膜，又有切割气泡作用，用于污废水处理工程，是一种生物接触氧化法处理废水的生物载体。

(1) 组合填料稳定塘设计参数

塘表面积：20000m²
 塘深：2.4m，其中有效水深1.5m，超高0.6m
 水力停留时间：10.5h
 水力负荷：3.5 m³/(m²·d)
 BOD₅容积负荷：10g/(m³·d)
 氨氮表面负荷：3g/(m²·d)

(2) 组合填料设计参数

单元直径：φ150mm，间距：100mm

比表面积：310m²/m
 填料深度：1.5m
 单位体积填料长度(折算为单根)：25m/m³
 安装填料总体积：8550m³

(3) 组合填料稳定塘防渗

稳定塘底部采用1.0mm厚HDPE膜防渗。

(四) 表流人工湿地

人工湿地是模拟天然湿地系统结构和功能而建造的一种工艺，由围护结构、人工介质、水生植物等部分构成。本项目采用表流人工湿地，水在人工湿地介质层表面流动，依靠表层介质、植物根茎的拦截及其上的生物膜降解作用，使水得到净化。

(1) 人工湿地工艺参数

设计污水流量：70000m³/d，
 湿地面积：总面积40000m²，1号、2号和3号湿地串联，各湿地面积分别为12000 m²、13000 m²和15000m²
 湿地深：1.3m，其中水层深度0.4m，超高0.3m
 水力停留时间：5.5h
 水力负荷：1.75m³/(m²·d)
 COD表面负荷：7 g/(m²·d)
 BOD₅表面负荷：3g/(m²·d)
 TN表面负荷：1.2g/(m²·d)
 氨氮表面负荷：1g/(m²·d)
 总磷表面负荷：0.15g/(m²·d)

(2) 植物选配

参考湖北省某湿地的植物配置情况，在三块湿地中种植香蒲、再力花和芦苇，其种植密度为10丛/m²，2株芽/丛。

(3) 人工湿地基质

结合选配植物的生长特征，表流湿地底部基质层厚度为60cm，上层30cm厚石英砂，下层为30cm种植土。优先选择当地表层种植土，以松软土质为佳(黏土~壤土)。

(五) 其他构筑物及设施

(1) 排水明渠

根据红安城市规划，将有一座市政桥梁从本工程占地范围上方经过，经请示规划部门，设计让出80m宽的空地供桥梁施工。在该退让范围内，采用明渠连通构筑物之间的水流。明渠净宽1.5m、深1.2m。

(2) 配(集)水堰

为保证配水、集水的均匀性，各池体进、出水口采用出水堰方式。项目所有出水堰采用矩形堰。

(3) 阀门

共设置4个阀门，阀门井尺寸参考《给水排水标准图集 室外给水排水管道工程及附属设施(二)》中的检查井设计。闸门规格均为1.2 m×1.2m。

四、总图设计

(一) 总平面布置

本工程建设于红安县城镇污水处理厂旁的滩地上。设计充分利用场地环境有利条件，按构筑物使用功能和流程要求，并考虑防洪、施工和管理维护等因素，合理安排工程平面布置。

工程紧靠河流北岸现有亲水平台，污水自生态沟渠

东头进入，自流至生态沟渠西头，再自西向东依次进入曝气稳定塘、组合填料稳定塘和1号、2号、3号表流人工湿地。各水处理构筑物之间的隔墙（堤坝）兼做内部道路，内部道路宽度为1.2m~1.5m。

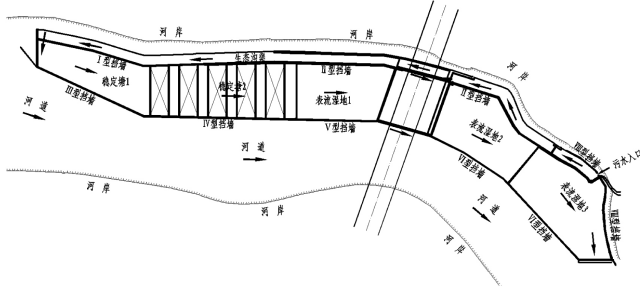


图2 工程总平面图

(二) 高程设计

现有场地地形起伏不大，地面标高35.9~41.8m，西高东低。根据工艺要求的高差、自然地形、洪水位、现有构筑物标高等因素综合确定构筑物标高。进水水位标高控制为39.6m，出水水位标高控制为37.4m。当倒水河处于常水位时，处理后的污水自流排入倒水。

五、结构设计

生态沟渠、稳定塘、表流湿地、河道之间采用M15浆砌石挡墙分隔。各挡墙均经过抗倾覆和抗滑稳定计算、应力计算。挡墙主要参数选取：

- 浆砌石容重：22kN/m³
- 水容重：10kN/m³
- 岸坡土容重：20kN/m³
- 挡墙素混凝土垫层与河床的摩擦系数：0.3
- 地基承载力：150Kpa

六、运行效果分析

2020年10月20日，委托监测单位对该项目进行了验收监测。监测结果见表3。根据监测结果可知：

(1) 从进出水水质来看，监测期间受溢流口水质波动影响，本工程进水口除pH外，各污染物浓度均高于设计进水浓度，但末端人工湿地出口水质好于设计出水水质，说明人工湿地对各污染物具有一定的去除效果，净化效果达到设计预期。

(2) 从总体去除效率来看，本工程对各污染物的去除效率普遍较高，特别是对氨氮、总磷的去除效率分别达到了80.7%、91.4%。

(3) 从单个水处理构筑物的处理效果来看，人工填料稳定塘对COD和BOD去除效果不理想，而且污染物浓度不降反升的现象明显。其他构筑物的出水水质较其进水水质在一个相对稳定范围内，且总体呈下降趋势。

(4) 人工湿地建成后，植物生长旺盛，吸引了成群的鸟类前来栖息，也为市民呈现了良好的景观效果。

(5) 受溢流口水质波动影响，系统进水浓度偏高。通过理论计算，监测期间污染物削减量远大于设计文件中的削减量。

表3 项目验收监测结果（单位：mg/L，pH无量纲）

监测项目	进水口	生态沟渠出口	曝气稳定塘出口	人工填料稳定塘出口	人工湿地1出口	人工湿地2出口	人工湿地3出口	设计出水水质	总去除率%	削减量t/a
pH	8.03	7.64	7.74	7.68	7.5	7.54	7.65	6-9	/	/
SS	22.1	11	13	12	12	11	7	/	68.3	275
COD _{cr}	80.5	91	38	100	32	43	18	19	77.6	1138
BOD ₅	24.5	32.7	9.9	35.7	7.4	10.3	6.2	8.8	74.6	332
氨氮	9.03	2.68	3.71	2.11	1.93	1.43	1.74	4.3	80.7	132
总氮	16.6	7.58	8.33	7.63	7.5	6.95	4.9	5.1	70.5	213
总磷	1.13	0.141	0.118	0.079	0.082	0.071	0.097	0.8	91.4	18.7

七、几点思考

通过实际运行效果来看，本工程还存在一些不足，在以后的设计、运行管理工作中还需注意优化和改进。

(1) 溢流口水质、水量波动较大，有时会造成超负荷运行，严重影响稳定塘和人工湿地运行效果，甚至造成植物死亡、水质恶化。应慎重将雨污合流等排污口纳入人工湿地处理范围，污水处理厂出水水质相对要稳定的多。另外，人工湿地系统前端应根据需要设置沉淀池等预处理设施。

(2) 本工程人工填料稳定塘对COD和BOD去除效果不理想，主要原因一方面可能是受外界环境较大波动影响，人工填料的挂膜效果较差。另一方面是该稳定塘部分区域流动性较差，前端大量污染物进入后长期滞留，造成水体缺氧腐臭。

(3) 管理部门应配备人员进行必要的维护管理，包括植物收割，淤泥、垃圾和栅渣的清理等。人工湿地

冬天的处理效率会下降。

(4) 在河滩上建设人工湿地，需要重点考虑的问题是洪水对工程的淹没、冲刷和淤积影响。工程设计阶段要以洪水影响评价报告的结论以及水利部门的批复为重要依据，在满足防洪要求的情况下，应尽可能地抬高工程设计标高，降低受洪水影响的概率。

八、结语

上述项目自2020年运行至今，各处理单元运行正常，通过理论计算，项目的实施效果达到了预期。

参考文献

- [1]HJ 2005-2010, 人工湿地污水处理工程技术规范[S].
- [2]CJJ/T 54-93, 污水稳定塘设计规范[S].
- 作者简介：张飞（1983-），男，汉族，甘肃庆阳人，硕士，高级工程师，主要从事环境工程设计与咨询工作。