

泾川县污水厂尾水人工湿地处理工程设计

刘步云 刘颖

中国市政工程西南设计研究总院有限公司

摘要：采用垂直潜流人工湿+表面流人工湿地组合工艺处理污水厂尾水，出水水质达到地表IV类水标准。通过分析出水水质的达标要求，论证了适用于本项目的处理工艺，并介绍了项目的工艺选取、工程设计和湿地保温。

关键词：水质；垂直潜流人工湿地；表面流人工湿地

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.20.172

一、项目背景

近年来，随着社会经济的快速发展，泾河流域水资源的开发强度逐年增加，自然生态和水环境开始呈现出恶化趋势，水污染防治工作刻不容缓。泾川县污水厂尾水最终排入泾河，尽管泾川县污水处理厂的建设和运行部分削减了进入泾河的污染负荷，但是处理后的出水仍然会对泾河的水质有一定的影响。本项目泾川县污水厂尾水人工湿地建设于泾河北岸，人工湿地的建设是为贯彻水污染防治工作方案中泾河流域污染源治理的重要措施之一。

二、项目概况

泾川县污水处理厂位于泾河南岸，于2012年10月建成，采用CASS工艺，处理规模1万m³/d。目前正在进行提标改造施工，提标改造完成后处理规模达1.2万m³/d，出水水质达到一级A。本着保护水环境的目的，根据相关成熟经验^[1]，在泾河的北岸修建垂直流潜湿地+表面流湿地处理污水厂尾水，出水水质达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV类标准。

人工湿地处理水量为1.2万m³/d，总占地面积约67.5亩。在泾河南岸建设虹吸进水井，河底敷设两道虹吸管将污水厂尾水输送至泾河北岸湿地内。尾水通过垂直潜流湿地、表面流人工湿地处理达标后排入泾河。湿地污水进出口处设置有两处水质监测点，监测湿地进出水的水质情况。

三、项目的重点难点

（一）氮磷去除负荷要求高

本项目的进水为泾川县污水处理厂的尾水，污水出水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准。经过湿地处理后出水COD、NH₃-N、TP达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的IV类标准。

表1 污染物去除率

项目	COD	SS	NH ₃ -N	TP
进水水质 (mg/l)	≤50	≤10	≤5	≤0.5
出水水质 (mg/l)	30	--	1.5	0.3
本项目要求去除率	40%	--	70%	40%
规范规定最高去除率	--	--	50%	60%

根据《污水自然处理工程技术规程》（CJJ/T54-2017）规范的规定，垂直潜流人工湿地对NH₃-N和TP的去除是本项目的重点和难点。

（二）湿地的保温

平凉市泾川县，地处西北，多年平均气温10.5℃，冬季最低气温可达-15.8℃，在低温条件下，植物大部分枯萎，低温抑制填料中微生物的活性，配水管道冻裂这些因素导致处理效果不佳。对整个湿地的保温是保证处理效果的重中之重。

四、湿地工艺的选择

（一）人工湿地处理工艺介绍

人工湿地主要利用其中的植物、填料、微生物，并通过物理、化学及生物的相互作用实现对污水中有机物、氮、磷等的去除^[2-3]。人工湿地系统分为表面流人工湿地和潜流湿地。潜流湿地分为水平潜流和垂直潜流^[3]。

（1）表面流人工湿地

污水从系统表面流过，氧通过水面扩散补给。通过植物根茎的拦截作用以及根茎上附着的生物膜的降解作用来净化污水。

（2）水平潜流湿地

污水从填料一侧推流流向另一侧，利用填料表面和植物根茎上面的微生物膜以及填料的物理截留作用处理污水。

（3）垂直潜流湿地

在整个湿地表面设置配水系统，污水从表面纵向流

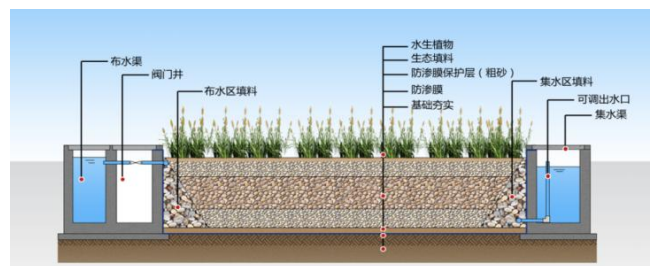


图1 水平潜流人工湿地结构图

向填料床底部，也是利用填料表面和植物根茎上面的附着微生物膜以及填料的物理截留作用处理污水。

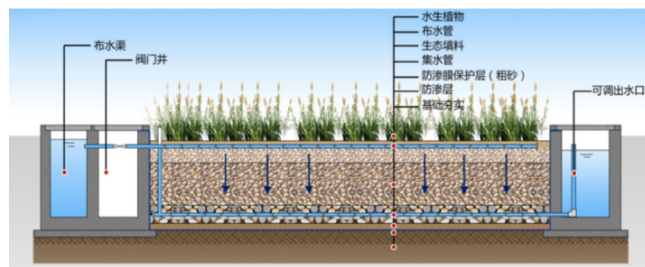


图2 垂直潜流人工湿地结构图

(二) 工艺比选

本项目的污水厂尾水水量、水质存在不稳定性，需要对氮、磷处理效果比较好的工艺，潜流湿地比较适用于污水处理厂尾水提标改造项目，但是本项目的资金比较紧张，表流湿地的工程费用较潜流湿地低，本着既能达到处理效果，节约造价的目的，本次设计推荐采用潜流湿地和表面流湿地的组合工艺。

对于采用垂直潜流湿地或是水平潜流湿地，本工程从处理负荷、占地面积、填料体积、材料费用、土方量及工程造价等方面综合对比了垂直潜流湿地和水平潜流湿地的优缺点。垂直潜流人工湿地处理负荷高，占地面积小，比较适应于本工程，最终确定处理工艺为垂直潜流人工湿地+表面流人工湿地组合工艺。

(三) 湿地填料选择

普通基质填料作为深度处理工艺对氨氮的去除率

最大为50%，TP最大为60%，比较难以满足本项目的去除率要求。根据《污水自然处理工程技术规程CJJ/T54-2017》第5.4.6条文解释和《人工湿地污水处理工程技术规范》（HJ 2005-2010）第6.4.5.3条规定出水中对氮、磷浓度有较高要求时，提倡使用功能性基质，提高氮、磷处理效率。

为达到本工程出水标准，本次设计部分填料采用脱氮除磷能力较强的功能性填料，若后续运行需要，可投加石灰乳进行化学除磷，进一步提高氮、磷处理效率。

四、工程设计

(一) 工艺流程

污水处理厂尾水通过虹吸管将尾水输送至泾河北岸的人工湿地入口，污水自西向东流过垂直流人工湿地和表面流人工湿地，经过处理后排入泾河。

(二) 工程主体设计

1. 跨河输水管线

泾河河底敷设2根虹吸输水管道，设计管径为DN600mm，长度为336m。起点接泾河南岸的虹吸进水井，通过闸门切换两条输水管，终点接入垂直流人工湿地进水主渠。

2. 垂直潜流人工湿地

(1) 垂直流人工湿地的有效面积为20180.09m²，共分为14个处理单元，单元格尺寸为61.7m×25m，单元格面积平均为1542.5m²，部分受地形限制单元格尺寸采用不规则形状。

表2 表面流人工湿地与潜流人工湿地比较

工艺	表面流湿地	潜流湿地
结构	简单	复杂
处理负荷	低	高
除磷硝化	低	高
造价	低	高
占地	大	小
施工	难度低	施工复杂
运营	简单	复杂

适应范围 河滩湿地、湖滨带湿地等用地不受限制地区 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

表3 水平潜流人工湿地与垂直潜流人工湿地比较

工艺	水平潜流湿地		垂直潜流湿地	
处理负荷	NH ₃ -N [g/m ² .d] 1.5~3.0	TP [g/m ² .d] 0.15~0.3	NH ₃ -N [g/m ² .d] 2.0~3.5	TP [g/m ² .d] 0.20~0.35
占地面积	3.8万m ²		1.9万m ²	
土方量	填方量为34200m ³ ，挖方量为29071 m ³		填方量为20769m ³ ，挖方量为14034 m ³	
植物面积	3.8万m ²		1.9万m ²	
填料	4.94万m ³		2.66万m ³	
工程造价	3751.84万元		2907.83万元	
运营费用	40.16万元/年		43.04万元/年	

(2) 填料高度为1.4m, 填料层由五部分组成: 第一层为10cm厚粗砂层, 粒径为0.1-2mm; 第二层为30cm厚的碎石层, 粒径为5-15mm; 第三层为50cm厚的脱氮除磷专性填料, 粒径为2~30mm, 每平米填料混合2.5kg 生物酶填料, 铺设完毕后投放固体硝化菌50g/m², 投放固体反硝化菌100g/m²; 第四层为10cm厚的生物陶粒层, 粒径为10~30mm; 第五层为40cm厚的碎石层, 粒径为10~30mm。整个湿地填料层的空隙率宜控制在35%-40%。

(3) 水力负荷0.6m³/(m²·d), 水力停留时间为1d。

(4) 垂直湿地进水主渠尺寸为B×H=1.0×1.0m, 进水支渠尺寸为B×H=0.8×1.0m; 出水支渠B×H=1.0×1.7m。出水干管尺寸为DN450mm, 分别布置在垂直流湿地外壁的南北两侧。

(5) 配水主管管径为Φ110mm, 配水支管管径为Φ50mm, 配水支管穿孔管孔径为15mm, 穿孔间距为300mm; 集水主管管径为Φ160mm, 集水支管管径为Φ75mm, 集水支管穿孔管孔径为20mm, 穿孔间距为300mm, 且所有集水支管均向集水主管方向设置坡度, 坡度为0.005。配水支管与集水支管布置间距为1m, 配水、集水支管长度为6m。

(6) 在出水支渠中设置集水坑, 收集每个出水支渠中的放空排水, 放空干管敷设于湿地南北两侧, 管径为DN250mm, 放空主管设计坡度为0.003。

(7) 垂直流湿地采用土工膜法+三合土进行防渗处理, 土工膜规格为800g 复合土工膜(两布一膜, 膜重>350g), 三合土厚度350mm。

(8) 湿地进水主管上设置1处流量计井。在表面流人工湿地出水口设置1座巴氏计量槽对出水流量进行检测。在垂直流湿地进水主渠起端设置1处水质监测仪, 在表面流湿地出水渠处设置1处水质监测仪。

3. 表面流人工湿地

(1) 表面流人工湿地的有效面积为14706.22m², 共分为3个处理单元。

(2) 水深0.5-1.0m, 超高为0.5m。

(3) 水力负荷0.81m³/(m²·d), 水力停留时间0.61d。

(4) 填料为10cm种植土, 20cm河沙。

(5) 表面流湿地采用B×H=0.7×1.7m 的混凝土盖板渠出水, 最后排入泾河。

(6) 表面流湿地采用土工膜法+三合土进行防渗处理, 土工膜规格为800g 复合土工膜(两布一膜, 膜重>350g), 三合土厚度300mm。

4. 植物选择

湿地宜选用耐污能力强、根系发达、去污效果好、具有抗冻及抗病虫害能力、有一定经济价值、容易管理的本土植物^[4]。根据平凉境内的地域特征, 本次选取芦苇、香蒲、水葱、千屈菜等作为垂直流人工湿地种植植物, 种植密度为10株/m²。表面流湿地选用水葱、香蒲、浮萍、狐尾藻作为种植植物。

5. 湿地管理与服务系统

(1) 本次设计湿地内部检修道路全长934.69m, 路面宽度为4米, 两侧土路肩宽0.5米; 右侧道路设置0.8m宽的绿化带。

(2) 在人工湿地主入口处修建停车场1处, 为九孔植草砖铺装生态型停车场, 共16个停车位。

(3) 本次设计湿地管理用房总建筑面积约为154m², 层高3米, 为单层。砖混结构建筑。

6. 人工湿地保温

对人工湿地保温是保证出水效果的重要措施, 可采用如下方法对湿地进行保温: ①日最低温度低于0℃时, 提高湿地运行水位至最高, 冰面稳定后降低湿地运行水位, 保证湿地液面在冰冻层以下10cm运行。②收割枯萎的湿地植物或者草帘覆盖上在冰面上, 对湿地进行保温。③在进水渠、出水渠盖板上也覆盖植物保温。④远期在湿地上修建塑料大棚, 对整个湿地进行保温, 本项目后续将继续申请国家环保资金, 建设塑料大棚对整个湿地进行保温。

同时, 每日着重巡视湿地进、出水口, 保证湿地进、出水流畅, 以免结冰影响湿地进、出水。定期检查保养湿地管道、水渠和阀门等设施, 避免因结冰而堵塞、冻胀, 及时清除进、出水口的浮冰。

五、结语

1、本项目对氮、磷去除率的要求比较高, 需要选用脱氮除磷功能性填料, 保证出水水质, 后续根据运行情况需求可以投加石灰乳进行化学除磷。

2、冬季气温较低时, 植物枯萎, 微生物活性降低, 冬季处理效果减弱。本着经济合理的原则可通过覆盖植物草席、提高运行水位形成冰盖保温或者覆盖大棚等方式进行保温, 保证出水水质。

参考文献

[1] 蒋岚岚, 刘晋, 吴伟等. 城北污水处理厂尾水人工湿地处理示范工程设计[J]. 中国给水排水, 2009, 25(10): 26-29.

[2] 刘慎坦, 王国芳, 谢祥峰等. 不同基质对人工湿地脱氮效果和硝化及反硝化细菌分布的影响[J]. 东南大学学报, 2011, 41(2): 400-405.