

水平潜流人工湿地系统工程设计与应用

——以江西省乐平市众埠镇上流源自然村为例

管升明¹, 邓海龙², 刘方平², 靳伟荣²

(1. 江西省赣抚平原水利工程管理局, 江西 南昌 330096; 2. 江西省灌溉试验中心站, 江西 南昌 330201)

摘要:本文针对江西省乐平市众埠镇上流源自然村自然特征、排污特点和治理现状,通过采用水平潜流人工湿地对其生活污水进行处理,提出了工程设计总体思路,以及工程结构各组成部分实际应用的具体方法,并分析了工程投资成本及建后运行效果,为我省低山丘陵区农村水环境治理提供可参照的模式。

关键词:农村生活污水;水平潜流人工湿地;工程设计;应用

中图分类号:X52 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2017)03-0193-05

1 项目区概况

江西省乐平市众埠镇上流源自然村有村民86户,347人,村里常住人口约200人;村庄三面环山,一面环水,村民房屋均依山而建,其村出口与镇级松(柏)共(树)公路贯通,村内有穿村入户环村道两条,长约500 m。村内主要污水有生活用水排水、畜禽散养地表径流排水等,其排水特点表现为污水量小、水质波动较大;人口居住集中,生活方式较为有规律。村内现有雨水与污水收集管网不健全,一些雨水及部分生活污水甚至无管道收集、无规律排放。为构筑“生态治理、生态修复、生态保护”三道防线,建设生态清洁新农村,通过对上流源自然村排水进行收集,采用水平潜流人工湿地进行污水处理,从而达到水清、景美之效果。

2 工程设计总体思路

农村污水先经过主排水沟和支排水沟将生活污水集中到预处理中的污水收集池中,再通过多功能调节池调节水量,均衡水质。村内污水主要包括生活污水和地面径流产生的污水(包括降雨、地面污染造成的),先通过明渠汇集,再通过格栅去除污水中大的漂浮物、悬浮

物,然后自流进入多功能调节池进行预处理,以对水量水质的波动进行一定的调节,同时去除污水中一定量的悬浮物。污水经调节池沉淀后自由流入水平潜流人工湿地进行处理,通过过滤、吸附、沉淀、微生物同化分解和植物吸收等途径作用,对已处理水作进一步的深度处理,从而有效去除污水中的悬浮物、有机物、氮、磷等(见图1)。



图1 工程设计总体布置图

3 工程设计与应用

3.1 格栅井设计

格栅井底板采用厚度为0.20 m的C20防渗砼,边墙采用厚度为0.24 m的砖砌结构,砌体表面采用2 cm的水泥砂浆抹面^[1],以起到防渗效果;格栅井占地面积1.54 m²,设计尺寸为1.00 m×1.00 m×1.40 m。设置一道人工简易格栅(可用简单自制铁丝网或木条编制网代替)。格栅间隙10 mm;宽度0.70 m;长度1.00 m;安装角度45°。

收稿日期:2017-01-17

作者简介:管升明(1963-),男,大学本科,工程师。

格栅槽由主排水沟代替,主排水沟设计宽度 0.70 m,深度 0.70 m,格栅后引水沟底面下降 0.10 m,补偿过栅水头损失。

3.2 预处理系统设计

预处理系统主要由污水收集池和多功能调节池组成。

3.2.1 污水收集池结构参数设计

按照《人工湿地污水处理技术规范》(DGTJ08-2100-2012)^[2]中预处理设施的设计规定,居民生活用水量参考取值选取达到经济条件较好,室内卫生设施较齐全的标准,即居民生活用水量为 60~120 升/人·日^[3]。

通过对上流源自然村村民用水及排水进行调查测定分析,农民用水量平均约为 90 升/人·日,排水系数大约为 0.8~0.9,即农村生活排水量达到为 72~81 升/人·日。本项目取最大值 81 升/人·日进行设计,则污水流量为 $Q = 81 \text{ 升/人} \cdot \text{日} \times 200 \text{ 人} = 16\,200 \text{ 升/日} = 16.20 \text{ m}^3/\text{d} = 0.675 \text{ m}^3/\text{h}$

污水在收集池中的停留时间应根据污水量确定,宜采用 4~8 h^[4],本项目设计取 6 h。调节池主要在待处理的污水量、水质变化大时,起到调节水量,均衡水质的作用,停留时间宜设置为 4~12 h,本项目取 8 h。

收集池结构参数设计:

设计流量: $Q = 0.675 \text{ m}^3/\text{h}$;

停留时间: $T = 6 \text{ h}$;

收集池的容积: $W = Q \times T = 0.675 \times 6 = 4.05 \text{ m}^3$;

集水井有效水深 h 取 0.80 m,水面超高取 0.40 m (安全超高范围 0.30 m~0.50 m,本设计取值 0.40 m),水面面积 $A = W/h = 4.05/0.80 = 5.02 \text{ m}^2$,故横截面采用 $L \times B = 2.00 \text{ m} \times 2.50 \text{ m} = 5.00 \text{ m}^2$,集水井的尺寸为 $L \times B \times H = 2.00 \text{ m} \times 2.50 \text{ m} \times 1.20 \text{ m} = 6.00 \text{ m}^3$ 。

3.2.2 多功能调节池结构参数设计

设计流量: $Q = 0.675 \text{ m}^3/\text{h}$;

停留时间: $T = 8 \text{ h}$;

调节池的容积: $W = Q \times T = 0.675 \times 8 = 5.40 \text{ m}^3$;

多功能调节池有效水深 h 取 0.80 m,水面超高取 0.40 m,则水面面积 $A = W/h = 5.40/0.80 = 6.75 \text{ m}^2$;多功能调节池中间设有一道隔墙,厚度为 0.12 m。

因此,项目区调节池采用横截面 $L \times B = 4.00 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} = 10.00 \text{ m}^2$;调节池的尺寸采用 $L \times B \times H = 4.00 \text{ m} \times 2.50 \text{ m} \times 1.20 \text{ m} = 12.00 \text{ m}^3$ 。当停留时间为 12 h 时,污水总量为 8.04 m^3 ,本结构设计亦能满足调节水量,均衡水质的作用。

故预处理系统设计总占地面积为 15 m^2 ,其中,污

水收集池结构设计尺寸为 $2.50 \text{ m} \times 2.00 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}$,多功能调节池结构设计尺寸为 $2.50 \text{ m} \times 4.00 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}$ 。

预处理系统结构工程底板采用厚度为 0.20 m 的 C20 钢筋砼,边墙采用厚度为 0.24 m 的砖砌结构,砌体表面采用 2 cm 的水泥砂浆抹面,以起到防渗的效果。

3.3 水平潜流人工湿地设计

人工湿地设计包括三方面内容,分别为工程参数、湿地结构和湿地植物。

3.3.1 主要工程参数

(1) 水平潜流人工湿地面积 A_s

人工湿地面积计算采用以下计算公式:

$$A_s = (Q \times (\ln C_o - \ln C_e)) / (K_t \times d \times n) \quad (1)$$

式中, A_s 为湿地面积(m^2); Q 为流量(m^3/d),流量为 $16.20 \text{ m}^3/\text{d}$; C_o 为进水 BOD_5 (mg/l),按照农村居民生活污水水质参考取值一般范围, BOD_5 在 150~250 mg/l 之间,本项目取中间值 200 mg/l 进行设计,满足水平潜流人工湿地设计参数的要求。 C_e 为出水 BOD_5 (mg/l),按照人工湿地设计出水一类 A 标准, BOD_5 取 10 mg/l ; K_t 为与温度相关的速率常数, $K_t = 1.014 \times (1.06)^{(T-20)}$, T 为温度, (湿地系统控制的目标温度设定为 25 (由于测试时间为凌晨,故将该温度假定为 25,在该模型取为 25), 计算 $K_t = 1.357$; d 为介质床的深度,一般为 60~200 cm 不等,大都取 100~150 cm,本项目取 100 cm; n 为介质的孔隙度,一般从 35%~40% 不等,本项目取 35%^[5]。

通过上式计算,得出水平潜流人工湿地的面积为 90.49 m^2 。本设计人工湿地面积取 100 m^2 。

(2) 系统深度 D

为了在最小单位面积湿地内达到最好的效果,水力停留时间一定的条件下,湿地系统应设计适宜的深度。但为了保证湿地中 DO 浓度及植物根系, Kim Eastlick 推荐潜流湿地水深以 30~90 cm 为宜^[7]。美国水污染控制委员会(WPCF)要求,表流湿地宜控制水深在 50 cm 以内。一般挺水植物区域水深 60 cm,沉水植物区域水深 120 cm 左右。

综合考虑项目区排污总量及湿地系统面积,本设计潜流湿地 D 取 1.00 m。

(3) 水力停留时间 T

$$V = A_s \times D = 100 \times 1.0 = 100 \text{ m}^3$$

$$T = V \times \theta / Q = 100 \times 0.3 / 16.20 = 1.852 \text{ d} = 44.4 \text{ h}$$

式中, θ 为孔隙率(填料安装后湿地孔隙率不宜低于 0.3,本设计取值 0.3); V 为湿地系统的容积。

(4)水力负荷 HLR

$HLR = Q/A_s = 16.20/100 = 0.0162 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} = 1.62 \text{ cm/d}$,接近 2 cm/d,符合水平潜流湿地设计要求。

(5)水力坡度 i

实践中,水平潜流人工湿地水力坡度采用 0.5% ~ 1%。关键是,水力坡度这一设计参数需根据填料性质及湿地尺寸加以校正,例如以砾石为填料的湿地床一般要取 2%。

本设计以砾石为填料,故坡度取 2%。

(6)处理单元的长宽比

由于整个湿地系统是按照整体计算面积,无法用 BOD 的初始浓度和出水浓度单独进行计算,潜流湿地床长度过长,易造成湿地床中的死区,且使水位难以调节,不利于植物的栽培, $L:B$ 一般控制在 3 ~ 1 之间,取 $L=3B$,因此 $B=6.00 \text{ m}$;则 $L=18.00 \text{ m}$,合计湿地面积为 108.00 m^2 ,满足人工湿地设计面积的要求。

(7)水力管道半径 R

由公式 $V=Q/T=\pi R^2 \times S$,可推求水力管道的直径 $D=0.02 \text{ m}$ 。本项目设计采用 D32 的 PVC 管。

3.3.2 湿地结构设计

(1)进出水系统的布置

湿地床的进水系统应保证配水的均匀性,一般采用多孔管和三角堰等配水装置。预处理构筑物出口(即人工湿地进水口)应比人工湿地排水口高出 0.50 m。湿地的出水系统一般根据对床中水位的要求调节,出水区的末端砾石填料层的底部设置穿孔集水管,并设置旋转弯头和控制阀门以调节床内的水位。

(2)填料的使用

潜流湿地床由三层组成,即表层陶粒、中层砾石、下层碎石,钙含量在 2 ~ 2.5 kg/100kg 为好;土层铺设粒径 2 ~ 6 mm 的陶粒,厚度 0.25 m,中间层铺设粒径 5 ~

8 mm 的砾石,厚度 0.45 m,下层铺设粒径 8 ~ 16 mm 的碎石,厚度 0.30 m,总厚度 1.00 m。填料注意级配,以免阻碍水体流动。上面铺设进水管,管道上开有小孔,配水孔斜向下 45°交错布设,呈“梅花形”布置,孔口直径为 5 mm。在湿地底部铺设集水管,集水孔呈斜向下 45°交错布置,孔口直径为 10 mm。

(3)潜流式湿地床的水位控制

当接纳最大设计流量时,进水端不能出现雍水现象;当接纳最小流量时,出水端不能出现填料床面的淹没现象;有利于植物生长,床中水面浸没植物根系的深度应尽可能均匀。

为防止集水管堵塞,在集水管前放置的填料不宜采用易碎材料,可选用大块卵石放置在集水管周围。此外,在集水管上应开大小均匀的孔,以利于出水。水位调节装置可以使用链子锚挂的弹性软管或者可上下移动的出水管。出水管的管径应避免过小,以防止堵塞。本方案中出水管管径为 110 mm 的 PVC 管。

(4)底板采用厚度为 0.20 m 的 C20 钢筋砼,边墙采用厚度为 0.24 m 的砖砌结构,砌体表面采用 2 cm 的水泥砂浆抹面,以起到防渗的效果。

3.3.3 植被选择

项目采用水平潜流人工湿地系统,种植植被以挺水植物为主。通过现场考察,项目区内有一定量的芦苇,能够就地取材,节省投资,并且能够保持项目区内原有的生态平衡^[7]。

综合考虑植物的原生环境需求、养分需求和适应力,保证人工湿地同时满足污水净化功能要求和生态景观的美学要求,项目区选取湿地植被分别为芦苇、菖蒲、水葱、纸莎草。芦苇属于宿根越冬株型挺水性植物,菖蒲属于根茎越冬株型挺水性植物,水葱、纸莎草属于全株越冬株型挺水性植物,均适应于潜流湿地。

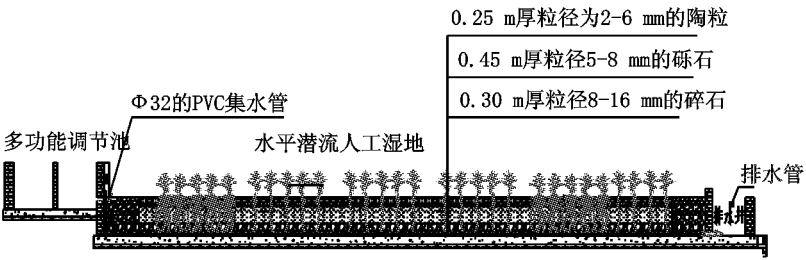


图 2 潜流式湿地进出水管布置

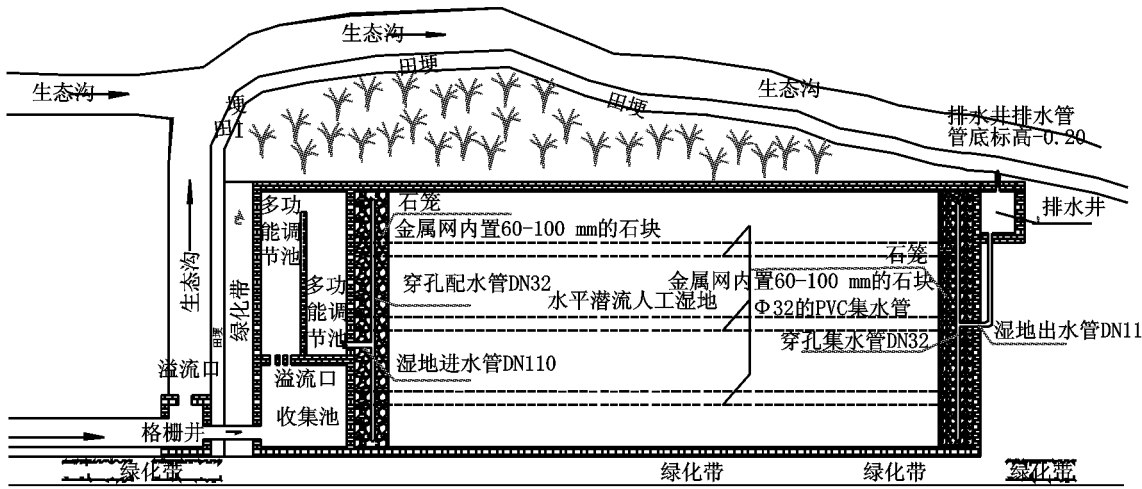


图3 潜流式湿地整体结构布置

4 工程投资

根据《江西省农村水利工程定额》(赣水建管字[2011]234号)、《江西省建筑工程消耗量定额及统一基价表》(2008)、《江西省市政工程消耗量定额及统一基价表》(2008)等标准,对项目进行工程投资测算,项目区生活污水处理工程共计需15.40万元,其中格栅井0.11万元,预处理池1.04万元,水平潜流人工湿地13.07万元(包括土建工程2.96万元、生物填料6.30万元、植物种植0.81万元和湿地系统管道3.00万元),以及附属设施1.18万元。具体投资费用见表1。

表1 工程投资概算

编号	工程项目或费用名称	合价/元	编号	工程项目或费用名称	合价/元
1	格栅井	1 149.94	(3)	植物种植	8 100.00
2	收集池+多功能调节池	10 354.78	(4)	湿地系统管道	30 000.00
3	水平潜流人工湿地	130 714.62	(4)	附属设施	11 800.00
(1)	土建工程	29 614.62	(1)	标志牌	1 000.00
(2)	生物填料	63 000.00	(2)	人工湿地护栏	10 800.00
合计		154 019.34			

5 工程综合减污效果

工程建成运行稳定后,对进出人工湿地水进行取样分析,检测其对农村污水的减污效果。测定分析结果见表2。

表2 人工湿地减污效果分析

测点	测试指标				
	COD _{Cr} /(mg/l)	pH	TN /(mg/l)	TP /(mg/l)	NH ₄ ⁺ -N /(mg/l)
进水	173	5.21	16.60	2.90	9.60
出水	35	6.45	4.90	0.50	1.30
去除率/%	79.77		70.48	82.76	86.46

从表2可知,进入人工湿地水质总体为地表水环境质量标准劣V类,经人工湿地处理后,其排水总体达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准。其中各指标中,COD_{Cr}去除率达79.77%,TN去除率达70.48%,TP去除率达82.76%,NH₄⁺-N去除率达86.46%;去除效果总体良好。

6 总体效益分析

通过农村水环境整治工程的实施,大大提高了上流源自然村农业基础设施水平,对改善水生态,美化村庄,改善居住环境起到了重要作用。其次,湿地工程运行后,虽然见不到有形的产品,但它却产生了巨大的社会财富,保障了农村居民饮水安全,提高了农副产品质量,减少了疾病发生,提高了人民健康水平,使生态环境步入良性循环轨道。同时,项目的实施将为我省低山丘陵区农村水环境治理提供参照模式。

参考文献:

[1] 《砌体结构设计规范》GB 500032001.
[2] 人工湿地污水处理技术导则[M]. 北京:中国建设工业出版社,2009.

- [3] 《人工湿地污水处理工程技术规范》HJ2005-2010.
- [4] 冀海寿. 人工湿地在农村生活污水中的设计应用[J]. 科技向导, 2012, (05): 239~279.
- [5] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 51~598.
- [6] Kenneth R. Foster, Karen McDonald, Kim Eastlick Development and Application of Critical, Target and Monitoring Loads for the Management of Acid Deposition in Alberta, Canada, [J]. Water, Air and Soil Pollution: Focus, 2001, Vol. 1(1).
- [7] 姚枝良, 闻岳, 李剑波, 等. 人工湿地处理系统的运行管理与维护[J]. 四川环境, 2006, 25(5): 41~44.

编辑: 张绍付

Engineering design and application on the system of horizontal subsurface flow constructed wetlands

——A case study of natural village in Zhongpu Town, Leping City, Jiangxi Province

GUAN Shengming¹, DENG Hailong², LIU Fangping², JIN Weirong²

(1. Jiangxi Provincial Ganfu Plain Hydraulic Engineering Administration, Nanchang 330096, China;

2. Jiangxi Provincial Irrigation Experimental Central Station, Nanchang 330201, China)

Abstract: In view of the natural characteristics, the sewage characteristics and the management status of the Shangliuyuan village in the town of Leping city, Jiangxi province, this paper uses the horizontal subsurface flow constructed wetland to deal with the rural sewage, puts forward the general idea of the engineering design and the practical application of the engineering structure, besides, the paper analyzes the cost of the project and the operation effect after the construction of the project, which provides a reference model for the rural water environment management in the hilly areas of our province.

Key words: Rural sewage; Horizontal subsurface flow constructed wetlands; Engineering design; Application

翻译: 郭庆冰

江西省水利发展“十三五”规划正式印发

2017年1月6日,经江西省政府同意,江西省发展改革委、省水利厅联合印发了《江西省水利发展“十三五”规划》。规划明确了“十三五”期间我省水利发展的发展目标、主要任务和投资规模等,是指导我省“十三五”期间水利改革发展的重要依据。

发展目标:到2020年,治水管水理念根本转变,通过加快建设、强化管理、深化改革,从根本上扭转水利建设明显滞后的局面,基本建成与经济社会发展要求相适应的防洪安全体系、供水安全体系、水生态安全体系、水利科学发展保障体系“三安全一保障”水利保障体系,为全面建成小康社会目标提供更加坚实的支撑和保障。

主要任务:“十三五”期间我省水利改革发展的主要任务包括推进“三安全一保障”(防洪安全、供水安全、水生态安全、保障能力建设)四大工程,夯实水利发展基础;强化“六大管理”(水资源红线管理、河湖管理、水利建设管理、水利工程管理、社会节水管理、应急监测管理),提升水利建设与管理效力;健全“五大改革”(水权制度、推进河长制工作、深化水利工程管理体制改革、创新水利投融资机制、推进水利科技创新),激发水利建设与市场活力;加强水利法制建设,依法治水管水等。

投资规模:规划共提出“十三五”水利项目104项,其中:列入国务院172项节水供水重大水利工程的项目13项;172以外的项目91项。匡算总投资为1449亿元。其中,防洪安全工程20项,投资589亿元,占40.7%;供水安全工程31项,投资415亿元,占28.6%;水生态安全工程22项,投资330亿元,占22.8%;保障能力项目31项,投资115亿元,占7.9%。

(江西省水利厅规划计划处 刘望)