

人工湿地污水处理方式在农村污水处理工程中的应用

吴 炜

(广州市水务规划勘测设计研究院, 广东 广州 510640)

摘要: 针对农村污水的水污染特点, 因地制宜地采用人工湿地处理农村污水, 通过在实际工程中的应用, 发现人工湿地处理方式在广东农村污水处理中易于推广、见效快, 且环境和社会效益显著。

关键词: 农村水污染; 人工湿地; 实际应用

中图分类号: X703 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0112(2010)11-0041-05

近年来, 农村环境问题得到了较多关注, 因为农村地区的生活污染是面源污染的主要因素之一, 村镇污水随意排放, 造成严重的环境危机。目前, 我国农村人口数达 7 亿多, 每天产生污水千万吨, 而根据国家环保部的统计数据, 我国农村有 3 亿多人喝不上安全的饮用水, 其中超过 60% 是由于非自然因素导致的饮用水水质不达标, 96% 的农村没有完善的污水收集和处理系统, 污水排放直接就地势排入周边水体, 造成河流、湖泊等水环境污染, 是农村重大的安全隐患。因此, 重视与加强农村的水污染治理工作, 防止对周边环境造成污染, 提高居民的人居环境是新农村建设的一项重要任务。

1 农村水污染的特点

由于农村的特殊性, 一般没有固定的污水排放口, 排放比较分散, 农村生活污水构成包括洗涤、洗浴和厨房用废水及人、畜粪、尿和家禽养殖废水等。相对城镇生活污水, 农村生活污水具有分散、污染物成分简单、易处理、水量变化大等特点, 污染物主要以有机污染物为主。

2 农村水处理方法的选择综述

农村污水处理技术以经济、适用和简便为原则, 必须根据村镇的特点, 采用投资少、运行费用低、除污效率高、管理简便、容易维护、具有良好的抗冲击能力的处理工艺或技术。根据美国 EPA 的小区分散处理指南, 工艺的选择应考虑以下方面:

1) 技术描述, 包括功能和运行方法, 讨论去除率和改进形式;

2) 应用情况, 应用范围, 包括流量范围以及与其他因素的兼容性;

3) 技术参数, 包括去除率、污泥产量、能耗、运行技术要求、是否有臭味;

4) 设计标准, 标准负荷范围、占地面积以及运行情况;

5) 建设造价, 考虑最明显的开支以及预处理和运输费;

6) 运行管理, 系统的复杂程度和对运行管理的要求, 设备的可靠性;

7) 监测分析, 取样的频率和分析的准确性, 反应器整体的运行控制;

8) 残留物质, 残留物的性质和产量、污泥处理方法。

现有使用于污水分散处理的主要技术分类见表 1。

表 1 污水分散处理技术的分类

初级处理 工艺	主体处理工艺			
	人工系统		自然系统	
	传统工艺	新工艺	水体系统	土壤系统
分离式 系统	化粪池	活性污泥法	膜-生物 反应器 (MBR)	人工湿地
	Imhoff 池	氧化沟		稳定塘
	初沉池	SBR 反应器		慢速沙滤
		生物膜法		地面漫流
	曝气生物 滤池			
一体化 系统	净化槽			
	沼气净化池			

基于自然系统的人工湿地工艺处理污水, 相对于其

收稿日期: 2010-09-19; 修回日期: 2010-10-13

作者简介: 吴炜(1980-), 女, 本科, 工程师, 从事给排水工程设计工作。

他处理技术,具有投资少、效率高、维护简单等优点,对于污染物浓度较低的农村生活污水,是一种较好的处理技术。

3 人工湿地技术概述

人工湿地通过物理、化学及生化反应三重协同作用净化污水,去除的物质包括污染有机物、营养盐 N、P 等。不同类型人工湿地对特征污染物的去除效果不同,具有各自的优缺点。

表面流湿地(free water surface, FWS)是废水在填料表面漫流,与自然湿地最为接近。但自由表面流人工湿地是人工设计、监督管理的湿地系统,去污效果优于自然人工湿地系统。池深为 0.6~1.5m,这种类型的人工湿地具有投资少、操作简单、运行费用低等优点,但占地面积较大,水力负荷率较小,去污能力有限。自由表面流人工湿地中氧的来源主要靠水体表面扩散、植物根系的传输和植物的光合作用,但传输能力十分有限,这种类型的湿地系统的运行受气候影响较大,夏季滋生蚊蝇的现象,冬季北方表面会结冰,还会有臭味,而且不能充分利用填料及丰富的植物根系。绝大部分有机物的去除是由长在植物水下茎、杆上的生物膜来完成的。

植栽滤床型(vegetated submerged bed, VSB, 旧称潜流 subsurface flow, SSF)。池深为 0.6~1.0m、底部坡度为 0.5%~1%。包括:

水平潜流人工湿地,因污水从一端水平流过填料床而得名,它由一个或多个填料床组成,床体填充基质,床底设有防渗层,防止污染地下水,与自由表面流人工湿地相比,水平潜流人工湿地水力负荷大、污染负荷大,对 BOD、COD、SS、重金属等污染指标的去除效果好,且很少有恶臭和滋生蚊蝇现象。目前,水平潜流人工湿地已被美国、日本、澳大利亚、德国、瑞典、英国、荷兰和挪威等国家广泛使用。这种类型人工湿地的缺点是控制相对复杂,脱 P、除 N 的效果不如垂直流人工湿地(见图 1)。垂直流人工湿地,污水从湿地表面纵向流向填料床的底部,床体处于不饱和状态,氧通过大气扩散和植物传输进入人工湿地系统,垂直流人工湿地的硝化能力高于水平潜流湿地,可用于处理氨氮含量较高的污水,其缺点是对有机物的去除能力不如水平潜流人工湿地系统,落干/淹水时间较长,控制相对复杂,夏季有滋生蚊蝇的现象。

1) 基质净化机理

目前应用较为广泛的人工湿地主要以沙粒、沙土、土壤、石块为基质,这些基质一方面为微生物提供了稳定的生长表面,同时也为水生植物提供了载体和营养物

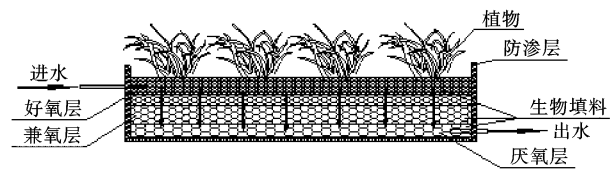


图1 垂直流人工湿地剖面示意

质。人工湿地对有机污染物质净化主要是通过基质过滤作用和微生物分解作用,即使在污水滞留时间较短的情况下,人工湿地对有机污染物质也有较好的过滤作用。在有植被情况下,植物根系微生物能促进有机污染物质分解,提高湿地对 COD 的降解能力;没有植被的人工湿地,对污水中 COD 的去除主要通过砂子基质的过滤作用。当水体流经人工湿地时,基质通过一些物理和化学的途径,如吸收、吸附、过滤、离子交换、络合反应等,来净化除去水体中的 N、P 等营养物质。

2) 水生植物净化机理

水生植物作为人工湿地的重要组成部分,在对有机物污染的土壤和水体的修复过程中有以下优势:①通过光合作用为净化作用提供能量来源;②具有可观赏性,能改善景观生态环境;③可以收割回收资源;④可作为介质所受污染程度的指示物;⑤能固定土壤中的水分,并限制污染区面积,防止污染物的进一步扩散;⑥水生植物庞大的根系为细菌提供了多样的生境,根区的细菌群落可降解多种污染物质;⑦输送氧气到根区,有利于微生物的好氧呼吸。水生植物在人工湿地污水净化中起着十分重要的作用,一方面水生植物自身能吸收一部分营养物质,同时它的根区为微生物的生长和代谢提供了必要的场所和好氧、厌氧条件。此外,根区附近的微生物通过代谢,消耗了水体中的 DO,使之呈现厌氧状态,而厌氧状态有利于反硝化过程,从而能最大限度地除去污水中的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。水生植物对污染物的净化效果与根系的组成、长势和生长深度等密切相关,具有不同水生植物的人工湿地系统的废水净化效果存在显著差异,因此选择合适的水生植物对于污水的净化处理至关重要。

3) 微生物净化机理

自然界中碳、氮、磷等元素的循环离不开微生物的活动。人工湿地处理污水时,有机物的降解和氮、磷等的转化主要是通过植物根区中微生物的代谢活动来完成。水生植物通过通气组织的运输,将氧气输送到根区,从而在根系表面及附近区域形成了好氧状态,污水中大部分有机物在这一区域被好氧微生物降解转化为二氧化碳和水,有机氮化物等则被这一区域的硝化细菌

所硝化;离根系表面较远的区域氧气浓度降低,属于兼性区,反硝化细菌使氮素物质以氮气的形式释放到大气中,并将部分有机物降解;而在根区的还原状态区域,在厌氧菌的作用下,有机物质被分解为二氧化碳和甲烷。可见,人工湿地中同时存在氧化区、兼性区、还原区,不同区域微生物的共同作用将有机物和氮、磷等物质高效去除。由此可见,人工湿地中微生物的代谢活动是水体中有机物降解的主要机制。

人工湿地中的微生物种类是极其丰富的,其群落结构与代谢活性也因环境的不同而不同,微生物种类和数量与水体净化效果之间也存在一定关系。水体中 BOD 和 COD 的去除率均同微生物数量具有明显的正相关性;水体中的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率与根区的硝化细菌和反硝化细菌数量显著相关;而磷元素的去除率则与根际中磷细菌数量呈正相关。

4 人工湿地在农村污水收集处理中的实际应用

4.1 增城某村人工湿地

4.1.1 项目概况

本工程主要对增城市某村的生活污水进行处理。由于当地生活污水中 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 等污染物含量都明显超标,如果不进行有效的处理而直接排放到农田及河涌,将会给本工程周边生态环境带来一系列危害,并影响周边环境的观感。

4.1.2 排水现状

许多新建房屋和旧房卫生设施的改造中,虽然建有储粪池,但粪便基本经储粪池收集后用作农田施肥,没有排放设施,造成蚊蝇滋生,污水四溢,臭气逸散,导致周边环境恶化。

一直以来,由于农村建设的随意性,排水系统的建设缺少科学、合理的规划,一到晴天气味难闻,严重污染了生活环境。

目前排水系统基本上是合流制排水,一般采用明沟排水,村中居住地或鱼塘分散分布,污水就近排入鱼塘中,造成了水塘的富营养化严重,水塘水质受到影响。

4.1.3 水量水质

根据村委会提供资料,村内常驻人口为 300 人,流动人口为 0,总人口为 300 人。村民用水为山泉自来水,村里共有 45 户人,每户每月用水量为 13m^3 。全村每月用水量为 585m^3 。排水量以用水量的 80% 计算,得出每日污水量为 15.6m^3 。这个用水量相当于人均用水 $52\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$,标准相对较低。考虑以后随着生活水平的提高,村民用水量会相应增加,用水量参考《指引》,取 $90\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$,排水量以用水量的 80% 计算,某村的

实际统计污水排放量为 $90 \times 0.8 \times 300\text{L} = 21.6\text{m}^3/\text{d} = 0.9\text{m}^3/\text{h}$ 。

设计进水水质:

COD_{Cr}	200mg/L
BOD_5	150mg/L
SS	250mg/L
TP	5mg/L

设计出水达到《农田灌溉水质标准》(GB5084-92)中的蔬菜类标准:

COD_{Cr}	$\leq 100\text{mg}/\text{L}$
BOD_5	$\leq 40\text{mg}/\text{L}$
SS	$\leq 60\text{mg}/\text{L}$
TP	$\leq 10\text{mg}/\text{L}$
粪大肠菌群数	$\leq 10\ 000$ 个/L

4.1.4 处理工艺原理

生活污水经收集后,先进入升流式厌氧池,升流式厌氧池分为两格同时进水,污水从池底部进入并上流经过植物后从池上部流出,该池可去除污水中大部分悬浮物 and 一部分有机物,当池底的底泥累积到一定程度时,污水可只进其中一格,同时清理另一格的底泥,等完全清理干净后再同时进水。污水经过升流式厌氧池后,进入潜流水平流植物碎石床,最后进入潜流垂直流植物砂滤池。植物碎石床和植物砂滤池是以平流潜流为主,并结合垂直流的 WJS 人工湿地,该工艺的示范工程于 2003 年经国家环保总局进行鉴定,成果达国际领先水平,并获得 2004~2005 年度总局科技进步奖,在北京、云南、四川、广东、河南、安徽等地广泛推广应用。该工艺对各污染物的去除效果: COD_{Cr} 为 60%, BOD_5 为 75%,SS 为 95%,TP 为 75%。

4.1.5 工艺流程

生活污水→升流式厌氧池→潜流水平流植物碎石床→潜流垂直流植物砂滤池→出水。

4.1.6 主要生产性构筑物

主要为:厌氧池、植物碎石床、植物砂滤池。

4.1.7 占地面积

共约 132m^2

4.1.8 植物品种

本工程均选用耐污性强、净化效果好的植物,升流式厌氧池种大漂,植物碎石床种汪式风车草、芦苇、花叶芦荻和风车草,砂滤池种花叶芦荻。具体根据当地对所种植物的可利用情况选定。

4.1.9 工程总投资

总共为 22.98 万元,其中工程费用为 16.68 万元。

4.1.10 运行成本分析

为了保证工程将来的正常运行,应对处理系统进行适当的管理,但是由于该系统管理简单,维护方便,故整个工程劳动定员为1人,由村内人员培训合格后兼管湿地。

本工程产生的费用:

管理费:污水处理系统设备管理员1人(工人),管理费300元/月,则 $300 \times 12 = 3\ 600$ 元/a。

本工程总运行费用:3 600元/a,年处理水量为 $7\ 665\text{m}^3$,折合处理成本为 0.46 元/ m^3 。

4.2 番禺某村人工湿地

4.2.1 项目概况

本工程主要对番禺区某村的生活污水进行处理。该村面积为 168hm^2 ,人口约1 750人,主要以农业种植和养鱼为主,村民居住多沿河涌分散分布。

4.2.2 排水现状

该村排水基本就近排入河涌或者鱼塘中,目前排水系统基本上是合流制排水,主要采用明沟排放的形式,排放的生活污水包括居民生活过程中厕所排放的污水,以及洗浴、洗衣服和厨房污水等,未经处理就直接排放或者仅仅通过化粪池的初级处理就直接排放,造成了水塘的富营养化严重,河涌和水塘水质受到影响。

目前村内许多新建房屋和旧房的卫生设施改造中,虽然建设有储粪池,但却没有排放设施,排放比较分散,村内尚无完整的排水系统,污水随意排放,雨水沿地势就近流入河涌、鱼塘,造成蚊蝇滋生,污水四溢,臭气逸散,导致周边环境恶化。一直以来,由于农村建设的随意性,排水系统的建设缺少科学、合理的规划,一到晴天气味难闻,严重污染了生活环境。

目前村内主要工业为村东部的饲料厂与电子厂,厂内产生的工业废水有处理措施,排放可以达到标准。本次污水收集工程仅收集工厂内流动人口产生的生活污水。工厂边上还有几间餐饮店,店里污水没有处理就就近排入河涌。

4.2.3 水量水质

据村委会提供资料,村内常住人口为1 500人,流动人口为250人,总人口为1 750人,村内统计村民实际生活用水为 $9\ 860\text{m}^3$ /月,工厂用水为 $11\ 400\text{m}^3$ /月,工厂用水包括餐饮店、电子厂与饲料厂的生产用水及工人的生活污水。本工程只考虑收集村民生活污水、工厂生活污水及餐饮店污水。水量计算如下:工厂每天生活用水为 $0.12 \times 250 = 30\text{m}^3$;餐饮店每天用水量按每位顾客每次用水50L、每天使用10h、每天接待顾客280人考

虑,计算得出 $0.05 \times 280 \times 10 = 141\text{m}^3$,每天总的用水量 $329 + 30 + 140 = 499\text{m}^3$ 。总用水量按每天 500m^3 计算,排水量以用水量的80%计算,该村的实际统计每天污水排放量为 $500 \times 0.8 = 400\text{m}^3/\text{d} = 16.67\text{m}^3/\text{h}$ 。

综上所述:本项目的污水排放量以 $400\text{m}^3/\text{d}$ 计算。

设计进水水质:

$\text{COD}_{\text{cr}} \leq 240\text{mg/L}$

$\text{BOD}_5 \leq 200\text{mg/L}$

$\text{SS} \leq 150\text{mg/L}$

$\text{NH}_3 - \text{N} \leq 20\text{mg/L}$

$\text{TP} \leq 3.0\text{mg/L}$

设计出水水质执行GB18918-2002一级B标准,

主要污染物排放指标为:

$\text{COD}_{\text{cr}} \leq 60\text{mg/L}$

$\text{BOD}_5 \leq 20\text{mg/L}$

$\text{SS} \leq 20\text{mg/L}$

$\text{NH}_3 - \text{N} \leq 8\text{mg/L}$

$\text{TP} \leq 1\text{mg/L}$

粪大肠菌群数 $\leq 10^4$ 个/L

4.2.4 工艺流程

污水先经过格栅处理,取出树枝、塑料等较大的杂质;格栅池出水通过泵井提升流入厌氧水解池,将大分子有机化合物转化为小分子有机物,可提高污水的可生化性,出水再自流进入垂直流人工湿地,利用植物的吸收、微生物的降解、填料过滤吸附等作用去除污水中的污染物,湿地出水就近排入附近鱼塘或者河涌中。

污水处理工艺流程见图2所示。

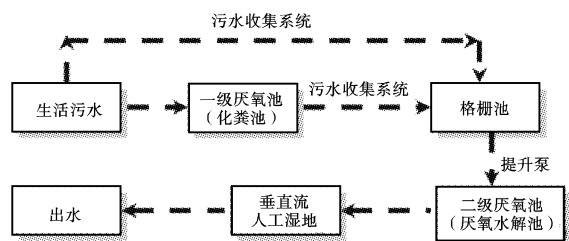


图2 工艺流程示意

4.2.5 生产性构筑物

1) 格栅井

采用地下式钢筋混凝土结构,总占地面积为 4m^2 ,设计尺寸为 $1.6\text{m} \times 2.5\text{m} \times 4.5\text{m}$;设置2道格栅,第1道为 10mm 粗格栅,第2道为 5mm 细格栅,人工定期清渣。

2) 提升泵池

总占地面积为 12.5m^2 ,设计尺寸为 $4.5\text{m} \times 3.0\text{m} \times$

4.5m;内设50WQ20-10-1.5潜水污水泵2台,1备1用。

3) 厌氧水解池

采用钢筋混凝土结构,占地面积为 35m^2 ,设计尺寸为 $5\text{m} \times 7\text{m} \times 2.5\text{m}$ 。

4) 人工湿地

湿地系统占地面积为 $1\,500\text{m}^2$,设计尺寸为 $30\text{m} \times 50\text{m} \times 1.0\text{m}$,具体可根据地形布置。

$$q = Q/S = 400/1\,500 = 0.27\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

式中 q 为污水负荷; Q 为设计日处理污水量; S 为湿地系统占地面积。

4.2.6 湿地的填料和植物

填料采用细黄砂、煤渣和粗砾石,厚度分别为 0.3m 、 0.4m 、 0.6m ,注意粒径级配,以免阻碍水体流动。上面铺设进水管,管道上开有小孔,以便均匀布水,同时覆粘土 0.15m ,种植植物。在湿地底部 -1.0m 处铺设出水口,停留时间为 24h 。

植物种植:花叶芦荻、美人蕉、风车草、富贵竹、再力花、香根草、芦苇等以及提供鱼类食用的青草及管理食用的蔬菜,以当地能生长植物为主,选用植物能适应

当地气候,既达到净化污水的目的,又产生美化环境的效果。

4.2.7 植物品种

本工程均选用耐污性强、净化效果好的植物,升流式厌氧池种大漂,植物碎石床种汪式风车草、芦苇、花叶芦荻和风车草,砂滤池种花叶芦荻。具体根据当地对所种植物的可利用情况选定。

4.2.8 工程总投资

总共为 218 万元;其中工程费用为 185.4 万元。单位运行成本为 0.11 元/ m^3 。

5 结语

农村污水处理工程建设目的是使经济发展、社会进步和生态环境良好三者之间良性互动,从而实现经济、环境和社会效益同步提高,从源头保障下游生产生活的用水安全。

根据实际工程的应用,人工湿地体现出见效快、投资少、易管理等特点,根据广东的气候条件,湿地植物受季节变化影响小,在广东省农村推广人工湿地的污水处理工艺非常必要。

(本文责任编辑 马克俊)