

农村生活污水治理设计及分析

赵永志 高 严 何文丽 赵 金 赵 东 王彦芳 杨 恒 左子贤

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘 要] 目前我国农村地区生活污水处理率仍处在相当低的水平,影响农村全面发展和生态文明建设。本文结合河北省某地区的农村生活污水治理项目,对工程的方案设计和工艺选择进行了探讨,指出农村生活污水治理应该在保证技术可行性和经济合理性的基础上,因地制宜进行分策治理,保证出水水质达标排放;并简要分析总结了当前农村生活污水治理存在的普遍性问题,包括缺乏污水处理设施、污水系统收集困难、水质水量波动较大等。

[关键词] 农村生活污水; 水体污染; 污染治理; 工程设计; 分策治理; 问题分析

[中图分类号] X799.3

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2022)05-0086-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.05.018

0 前言

随着经济的高速发展,农村生活水平普遍提高,农村生活用水量剧增,污水排放量也呈现逐年增加趋势。由于现阶段农村地区污水处理设施尚不完善,大量生活污水未经妥善处理便直接排放。长此以往周边水体富营养化,产生水体黑臭的问题^[1-2],进而可能导致灌溉水源短缺^[3]。因此农村生活污水处理是建设新农村过程中一个亟待解决的问题^[4]。

本文结合农村生活污水处理工程实例,在针对项目设计处理方案的基础上,对农村生活污水处理中存在的普遍性问题进行了总结和分析。

1 项目简介

1.1 区域概况

本文的工程案例位于河北省某地区,区域内共有三条河流水渠,其中一条位于东北侧,其余两条位于西南侧。本次工程收纳和处理的生活污水来自不同村庄,各个村庄总面积共计约 2.46 km²,居住村民 3 000 余户,常住人口约 10 000 人。

所有村庄均采用集中供水方式,大部分住户使用水冲式厕所,因此生活污水产生量相对较大。项

目所覆盖的村庄位置相对分散,其中最北部的村庄人口较少,同时距离其他村庄最近直线距离约 2.5 km。各村庄的相对位置分布如图 1 所示。

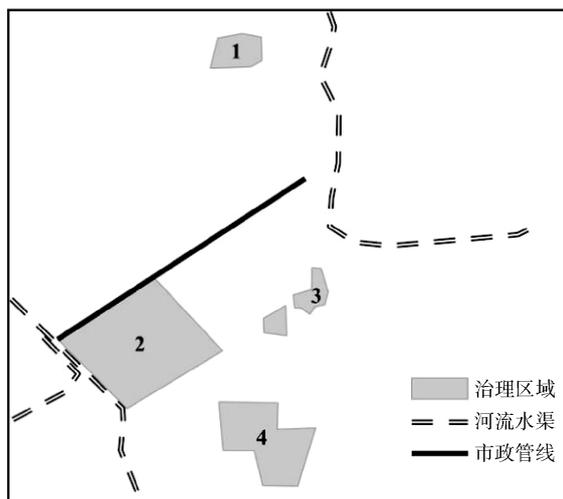


图 1 村庄位置分布示意图

1.2 排污特点

经过调研分析,项目涉及村庄的生活污水主要排污去向为入河入渠或者排入临近的坑塘洼地,少部分住户则采取院内泼洒的方式自行消纳。

污水排放方式大致可分为分散排污和自建管网集中排污。分散排污指生活污水不经收集,村民以户为单位自行排放。通常情况下,分散排污口仅对应一户或几户居民的生活污水。自建管网集中排污指村民自发修建管网,收集村内局部区域产生的生活污水。由于缺乏污水处理设施,自建管网收集的污水均未经处理直接排入附近河流水渠或者坑塘。

[收稿日期] 2022-06-20

[作者简介] 赵永志(1980—),男,内蒙赤峰人,硕士,高级工程师,主要研究方向为污水处理理论与技术。

[引用格式] 赵永志,高严,何文丽,等.农村生活污水治理设计及分析[J].有色冶金节能,2022,38(5):86-90.

2 污水处理设计原则

2.1 现状分析

村内道路布局较为凌乱,且各处宽窄不一,使得管道敷设难度增加。虽然村内存在部分自建管网,但是均采用雨污合流的形式,且设计并不严谨,缺乏合理性,导致该工程使用现有管道的可能性较小。村庄内部的房屋排布并不紧密,排污口分布散乱无序。

各个村庄并不是紧密相邻,彼此存在一定的间隔,因此所有村庄的污水集中处理会增加管网建设成本。同时各个村庄情况存在差异,因此需要针对每个村庄的具体情况确定各区治理方案。

2.2 分策治理

农村地区不同于城镇地区,存在管网基础薄弱、房屋道路布局缺乏严谨性、整体排污量偏低、污水处理厂站址困难等问题。因此需要考虑不同区域的具体情况,在保证技术可行性和经济合理性的基础上,采取针对性的分策治理方案方能实现农村生活污水的有效治理。

2.2.1 系统治理

对于以分散排污方式为主的村庄,由于排污口分布散乱无规律,且严重缺乏管网基础,宜采用系统治理的策略,即在村内新建排污管网收集生活污水,然后污水进入处理设施,经处理达标后排放。

2.2.2 末端治理

对于现有排污管网情况相对较好、能够满足排污需求的村庄,视情况采取末端治理策略,即为避免全面新建管网造成浪费,在改造和完善现有管网的基础上,尽可能利用现有的集中排污口进行污水收集,然后污水进入处理设施,经处理达标后排放。

2.2.3 纳管入厂

对于距离市政污水处理管网较近、具备接入市政管网条件的村庄,主要采取完善排污管道使生活污水进入当地污水厂处理的策略,不再新建处理设施。

2.2.4 集中分散有机结合

对于村内大部分房屋聚集于一片区域,但是偶有个别住户的房屋离主体村落较远的情况,采取集中和分散处理措施相结合的策略,即对主体村落住户排放的污水采用集中处理的方式,提高处理效率;对于单个住户排放的污水采用分散式处理设施,避免新建管网成本过高。

3 工程设计

3.1 出水水质要求

根据要求,出水水质必须达到河北省《农村生活污水排放标准》(DB 13/2171—2015)中一级A标准的要求,同时满足农林灌溉标准和城市杂用水水质标准,可用于农林灌溉系统或满足其他回用要求(如冲厕、道路清扫、消防、绿化及建筑施工杂用水)。

3.2 工艺技术

按照处理原理不同,农村生活污水处理技术主要包括物化处理技术、生物处理技术和生态处理技术。

物化处理技术包括沉淀、吸附、过滤、高级氧化等,一般用于前端预处理,以保证后续主体处理单元的效率,或者用于后端深化处理,以提高出水水质。物化处理的主要特点是快速高效,可控性更强。

生物处理技术包括生物转盘法(RBC)、生物接触氧化法(BCO)、A₂O、氧化塘、膜生物反应器(MBR)、移动床生物膜反应器(MBBR)等多种技术形式,是净化污水的主要功能单元。生物处理的核心是通过组合不同微生物代谢过程(包括厌氧、缺氧和好氧)实现污染物去除的目的。

生态处理技术包括人工湿地、氧化塘、人工土地快速渗滤系统、生态滤池等,一般也作为净化污水的主体单元。生态处理技术与生物处理技术的相似之处在于两者都主要依靠动植物或者微生物完成污染物的去除,不同之处在于生态处理技术更注重以自然环境中的要素为基础进行优化设计使其满足污水处理需求。通常生态处理技术投资运行成本和运维技术难度较低,而生物处理技术往往处理效率更强。

3.3 工艺技术选择依据

在农村生活污水处理的实际工程中,常常根据各项技术的优缺点将其组合形成不同的工艺,以期实现更高的处理效能。本工程在工艺技术的选择方面综合考虑以下因素:1)首先应选择成熟度高、运行效果稳定可靠的工艺技术以应对水质水量的波动,保证出水水质达标。2)农村运维人力稀缺,因此尽量选择运维简单便捷的工艺技术。3)因地制宜,根据具体村庄排污特征和场地条件选择能够保障出水水质的处理工艺。4)一体化处理设备尽量选择可移动式,以配合农村发展建设实现处理设备重复利用。

3.4 工程方案

3.4.1 区域1方案

区域1位于最北部,距离其他村庄较远,在本工

程中属于独体村,且并不具备将生活污水输送至市政管网的条件。同时该区域排污管网基础薄弱,少量的自建管道不能满足排污需求,因此采用系统治理的策略,通过新建排污管网收集生活污水并输送至污水处理设施。

根据现场调研,该区域东北角有大面积的洼地坑塘。考虑场地条件和建设运行成本,决定因地制宜对洼地坑塘进行改造,修建具备生活污水处理功能的人工湿地。

人工湿地是一种生物生态组合技术,根据地形地质条件模拟天然湿地的结构与功能,人工湿地可满足污水处理的要求。它对水中污染物的去除过程包括生物降解、化学作用及物理作用等,各种过程相互作用有助于提高有机质、氮磷等污染物的去除效果^[5]。人工湿地相对于其他处理技术具有处理效果好和运行成本低廉的优点,但是对于场地要求相对较高,对季节变化较为敏感^[6-8]。

人工湿地主要分为潜流湿地和表面流湿地两大类。相对而言,前者的处理效果更为稳定可靠^[7],且对季节变化的适应性更强,因此本工程采用潜流湿地工艺,具体工艺流程如图2所示。

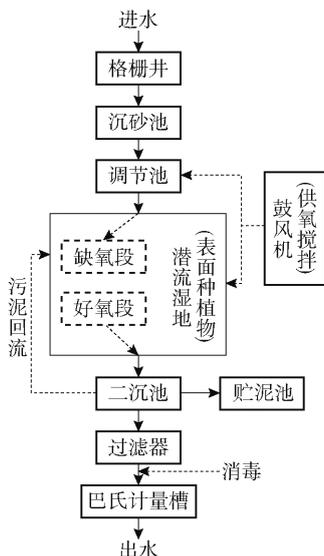


图2 人工湿地工艺流程示意图

生活污水经过格栅后在沉砂池沉淀泥沙,进入调节池调节水量和水质,然后进入湿地去除污染物,最后经过二次沉淀、过滤消毒达标排放。

人工湿地地面部分覆盖植被,一方面能够吸收水中的氮磷等污染物供自身生长,同时为微生物的生存代谢提供栖息场所,微生物可以实现污染物的降解吸收。湿地内部依次分设缺氧区域和好氧区

域,并设置回流。通过完整的循环去除污染物,并保证湿地系统内的微生物丰度,确保生化反应效率。

由于河北地处北方,冬季寒冷,因此本工程采取一系列措施保障湿地冬季正常运行,包括:1)选择耐寒植物山杉和冰竹等作为湿地主要植被。所选的植物在冬季不宜落叶,既能避免落叶影响水质,又能够在冬季保持湿地较高的处理性能。2)缺氧段和好氧段覆土0.8 m,深度超过当地冻土深度,避免冬季气温过低导致微生物代谢活性下降,影响湿地处理效率。3)风机充氧过程向系统内带入热量,有助于维持系统内部的温度。

区域1 现有常住人口近700人,预计排污量约为65 m³/d,据此设计处理规模70 m³/d的人工湿地。

3.4.2 区域2 方案

区域2 紧邻市政管线(图1),经调研确认市政污水处理厂的处理容量能够接纳和处理该区域产生的生活污水,同时该区域的管网基础良好,因此采用末端治理策略,在现有排污管道的基础上进行改造建设,并将其与市政管线连通,最终生活污水输送至城区的市政污水处理厂处理。

3.4.3 区域3、4 方案

区域3 和区域4 距离市政管线较远,不具备污水送入市政污水处理厂的条件。同时,这两个区域均缺乏良好的管网基础,因此采用系统治理策略,通过新建排污管网和处理设施完成对生活污水的处理。同时由于区域3 和区域4 均不具备建设人工湿地的场地条件,因而采用一体化处理站的方案。

常见工艺各方面性能对比见表1。经过系列工艺对比后,本工程采用“A/O + BCO”一体化处理站。

A/O + BCO 工艺在传统A/O法的基础上耦合生物接触氧化法,兼具活性污泥法和生物滤池的优点,其主要特征是在生物池内添加填料作为载体,形成生物膜。BCO从工艺形式上分为直流式和分流式,前者曝气充氧在同一单元完成,后者则分开进行。

表1 一体化处理站工艺对比

工艺	A/O + BCO	MBR + 超滤	RBC + 过滤	A ³ /O + MBBR
出水	一级 A	一级 A	一级 A	一级 A
能耗	低	高	一般	低
占地	小	大	大	小
运维	简单	复杂	复杂	简单

BCO技术的核心是填料载体,目前常见的填料包括陶粒、聚氨酯、天然矿石、聚乙烯等,也可以采用多种不同材料制备的混合填料^[9-14]。填料的性质

决定了该工艺功能主体——生物膜的效能。生物膜由厌氧菌、兼性菌、好氧菌复合微生物形成的生物群落组成,具有强化有机质降解和脱氮除磷的优势。多种生物群落共存也能够更好地应对农村生活污水水质、水量波动较大的特性,从污水到生物膜内部能够形成氧气浓度梯度和污染物浓度梯度。随着氧气浓度从生物膜表面向内部逐步降低,微生物群落依次由好氧菌群向缺氧菌群和厌氧菌群演变,各类菌群相互协调但又行使不同的功能。污染物(例如有机质)在生物膜处被降解,污水中的污染物浓度大于生物膜表面,促使发生污染物由水中向生物膜传递的传质过程,进而使污水逐步得到净化^[15]。

本工程所采用的一体化处理站具体工艺流程如图3所示。

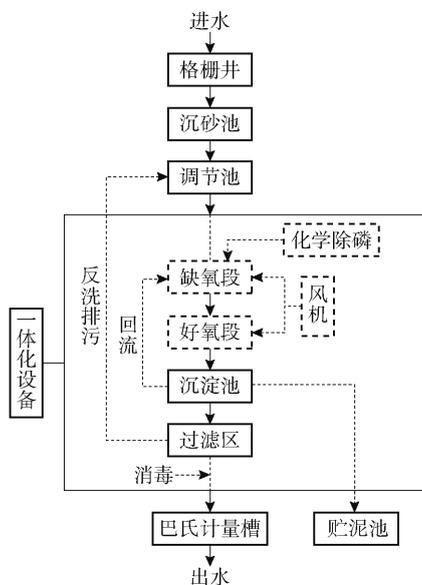


图3 A/O + BCO 工艺流程示意图

如图3所示,生活污水经过格栅、调节池预处理去除大颗粒污染物和悬浮物后,依次进入缺氧区和好氧区去除有机物和脱氮除磷,最后经过二次沉淀、过滤消毒深度处理,确保出水水质达标后排放。为强化除磷效果,在缺氧池辅以化学除磷,保证出水中磷含量稳定达标。

区域3存在若干住户距离村庄主体较远,为避免建设成本过高,使用小型分散式污水处理设备对以上住户产生的生活污水进行处理。分散式污水处理设备主体工艺采用两级A/O进行污水净化。

区域3常住人口约650人,预计排污量为60~65 m³/d,据此新建处理规模70 m³/d的一体化污水处理站一座;区域4常住人口约2600人,预计排污

量为240 m³/d,据此新建处理规模250 m³/d的一体化污水处理站一座。

4 农村生活污水处理存在的问题

在各项政策的支持推进下,农村生活污水的处理已经取得了进展,但是目前仍然存在一些问题^[16-20],简要总结如下:

1)处理体系基础薄弱。排污管网和污水处理设施较为缺乏。大部分农村地区并没有排污管网体系,即使存在部分自建管道,但是大多存在设计不合理,且末端缺乏处理设施的问题。

2)污水系统收集困难。随着人口增长和经济发展,一部分村庄规模扩大,但是住房和道路的建设缺乏整体布局,难以合理设计排污管网,污水收集难度增加,同时处理设施选址困难。

3)水质水量波动性强。农村人口流动性较强,经济条件良好的农村吸引外来人口,经济条件欠佳的区域则存在人口流出;同时随着季节变化,人们用水习惯和用水量有所调整。以上两种情况均会导致农村生活污水水量水质出现较大波动,增加了处理工艺的设计难度和处理设施的运维难度。

4)整体水量偏小,处理成本高。近年农村地区生活污水量呈现增加趋势,但是整体排污量依然偏小,增加了单位体积污水的处理成本。

5)污水来源复杂。伴随着农村的发展,乡镇企业出现并崛起。乡镇企业的发展一方面带动了当地农村地区的经济发展,一方面也出现部分污水治理不及时、不理想的问题,存在工业污水与生活污水合并排放的现象;除此之外,养殖废水等各种废水混合排放,也增加了生活污水的处理难度。

6)环保意识薄弱。部分基层群众和乡镇企业缺乏环保意识,没有充分认识污水对生态环境产生的危害性。

5 结论及建议

1)农村地区具有不同于城镇地区的显著特点,因此在农村生活污水治理中应避免盲目依赖城市地区的治理经验,需要根据农村地区的具体情况因地制宜,兼顾处理效果和经济成本进行分策治理。

2)农村生活污水治理工艺和设备的选择需要在保证出水水质达标的基础上,同时注重建设成本、运维难度、场地条件等;排污管网的设计需要综合考虑现有管网条件、房屋道路布局等,合理规划排水分

区,在保证污水收集率的基础上避免成本浪费。

3) 针对农村生活污水的治理,在方案设计和 技术选择上,应充分考虑当地发展规划,提出结合农村 地区近远期发展的解决途径。

[参考文献]

- [1] 邓利华,陈钊. 农村河流污染情况与污水治理方法研究 综述[J]. 中国资源综合利用, 2017, 35(4):16-18.
- [2] HUSSAIN S, AZIZ H A, ISA M H, et al. Orthophos- phate removal from domestic wastewater using limestone and granular activated carbon[J]. Desalination, 2011, 271(1-3):265-272.
- [3] 陈子爱,贺莉,潘科. 农村生活污水处理现状与分析 [J]. 中国沼气, 2015, 33(6):68-71.
- [4] 王俊能,赵学涛,蔡楠,等. 我国农村生活污水污染排 放及环境治理效率[J]. 环境科学研究, 2020, 33 (12):2665-2674.
- [5] ZHANG, JIAN, HU, et al. A review on the sustainabili- ty of constructed wetlands for wastewater treatment: De- sign and operation[J]. Bioresource Technology Biomass Bioenergy Biowastes Conversion Technologies Biotransfor- mations Production Technologies, 2015
- [6] 袁华斌. 污水灌溉与人工湿地处理技术——评《污水 资源化与污水灌溉技术研究》[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(1):149-150.
- [7] 肖海文,刘馨瞳,翟俊,等. 人工湿地类型的选择及案 例分析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(22):11-17.
- [8] 尹炜,李培军,尹澄清,等. 潜流人工湿地的局限性与 运行问题[J]. 中国给水排水, 2004, 20(11):36-38.
- [9] 田双超. 生物接触氧化——吸附组合工艺对农村生活污

水中磷的去除研究[D]. 吉林:东北电力大学, 2021.

- [10] 端艳,陆少鸣,江荻. 悬浮陶粒曝气生物滤池在城镇 污水处理中的挂膜启动[J]. 水处理技术, 2018, 44 (2):88-92.
- [11] 李思敏,左富民,吴坤茹. 石英砂-海绵填料 CANON 反应器的快速启动研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(3):100-104.
- [12] 梁止水,张倩,韦静,等. 玄武岩纤维填料生物接触 氧化法提升食品废水处理的效果评价:以日本 Miz- kan Holdings 美浓加茂工厂为例[J]. 环境工程, 2019, 37(9):8-12,158.
- [13] 戚永洁,吴智仁,许小红,等. 不同填料生物接触氧化 法处理印染废水[J]. 印染, 2016, 42(8):16-19.
- [14] 付昆明,张杰,曹相生,等. 改性聚乙烯填料 CANON 反应器的启动与运行[J]. 化工学报, 2014, 65 (11):4406-4412.
- [15] 吴为中,王占生. 不同生物接触氧化法的净化效果 及其生物膜特性的比较[J]. 环境科学学报, 2000 (S1):44-50.
- [16] 李鹏峰,孙永利,隋克俭,等. 我国农村污水处理现 状问题分析及治理模式探讨[J]. 给水排水, 2021, 57(12):65-71.
- [17] 刘天舒. 农村污水处理项目绩效评价案例研究[D]. 北方工业大学, 2021.
- [18] 王朝华. 对北京农村污染问题的治理对策分析[J]. 北方经济, 2017(6):9-12.
- [19] 刘文捷. 外来人口所致农村生活污水问题分析及对 策研究[D]. 上海:复旦大学, 2014.
- [20] 王荣宏. 关于农村水污染问题的分析及建议[J]. 资 源节约与环保, 2013(8):115-116.

Design and Analysis of Rural Domestic Sewage Treatment

ZHAO Yong-zhi, GAO Yan, HE Wen-li, ZHAO Jin, ZHAO Dong,

WANG Yan-fang, YANG Heng, ZUO Zi-xian

Abstract: At present, the domestic sewage treatment rate in rural areas is still at a quite low level, which affects the rural comprehensive development and ecological civilization construction. This paper discussed the engineering design and process selection of a rural domestic sewage treatment project in Hebei Province. It is pointed out that the rural sewage treatment should be treated by different strategies according to local conditions on the basis of ensuring the technical feasibility and economic rationality, to ensure that the effluent quality meets the discharge standard. It also briefly analyzed and summarized the common problems existing in the current rural domestic sewage treatment, including the lack of sewage treatment facilities, the collecting difficulty of sewage system, and the large fluctuation of water quality and quantity.

Key words: rural domestic sewage; water pollution; pollution treatment; engineering design; treat by different strategies; problem analysis