

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqfh.240312

西南地区农村污水处理

岳崇峰¹, 李桂姣², 许江城¹

(1. 中国电建成都勘测设计研究院, 四川 成都 611130; 2. 中国市政工程西北设计研究院有限公司成都分公司, 四川 成都 611117)

摘要: 提高农村污水收集率和处理率是美丽乡村建设的重要内容。现状农村污水站设计及运维存在很多不足之处, 普遍存在污水站设计规模偏大、运行不足、闲置突出等问题。以西南地区某县 107 座农村污水处理站为调查研究对象, 针对现状污水站的运维数据调研, 提出微型、小型、大型污水处理站分别采用循环氧气污水处理工艺、SCAS(改良 SBR)、改良 AAO 工艺, 通过运行效果分析探索适用于西南地区农村生活污水处理工艺以及长效管理机制。

关键词: 乡村振兴; 农村污水; 长效机制; 改良 AAO

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0184-05

Rural Sewage Treatment in Southwest China

YUE Chongfeng¹, LI Guijiao², XU Jiangcheng¹

(1. Chengdu Survey, Design and Research Institute of Power China Construction, Chengdu 611130, China; 2. Chengdu Branch, Northwest Design and Research Institute of China Municipal Engineering Co., Ltd., Chengdu 611117, China)

Abstract: Improving the collection and treatment rates of rural sewage is an important content of building a beautiful countryside. There are many shortcomings in the design, operation and maintenance of rural sewage stations, which are large design scale, insufficient operation, and prominent idleness of the sewage stations. Taking 107 rural sewage treatment stations in a county in the southwest region as the research objects, aiming at the operation and maintenance data of the present sewage stations, it is proposed that the circulating oxygen sewage treatment process, SCAS (modified SBR) and improved AAO process are used for the micro, small and large sewage treatment stations respectively. Through the analysis of operational effects, the treatment process and long-term management mechanism of rural domestic sewage suitable for the southwest China are explored.

Keywords: rural revitalization; rural sewage; long-term mechanism; modified AAO

0 引言

2024 年中央一号文《中共中央国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见》, 提出要因地制宜推进生活污水处理和农村改厕, 完善农民参与和长效管护机制。近五年来国务院先后通过《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》发布提出长江经济带城市实现生活污水集中处理能力全覆盖, 《农村人居环境整治三年行动方案》、《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025)》提出提升农村污水收集率以及处理率。农村污水处理工作在乡村振兴中占据着十分重要的地位。

A 县城地处四川盆地西部边缘, 全境具有明显的山地地形。全县幅员面积 583 km², 辖 8 镇 4 乡; 农村聚集点主要分布在最高点位于基地北侧浅丘 607 m, 最低点位于蒲江河冲击平坝 458 m 的中间地区, 年平均降雨量 1 196.8 mm。

近十年, A 县大力推进农村污水建设, 基本实现 20 户以上聚集点污水处理站全覆盖。但建设运营过程中也暴露了农村污水处理站农村生活污水具有单个水量小、总量多、运维费成本高、水质水量日变化及季节性存在时空变化大等缺点^[1]。农村污水处理工艺复杂性、建设过程的困难度和运营维护持续性等都比城市污水处理要困难的多^[2]。

通过研究 A 县农村污水处理现状和不足, 解决现状 A 县农污处理面临的困难, 推动农村污水的治理、探寻农污治理的长效机制, 对 A 县美丽乡村建设具有重要意义。

收稿日期: 2023-04-18

作者简介: 岳崇峰(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水环境治理研究设计、管廊管线设计工作。

1 A县农村生活污水处理现状

1.1 污水水量与水质

通过调研A县在运行的农村污水处理站,发现设计规模普遍偏大、污水厂闲置或者低位运行问题突出。污水处理设施规模,宜按平均日计算,不需增加变化系数,同时适当放大调节池容积,即保证进水高峰和低谷工况下处理设施稳定运行。

同时,排水管网实行严格的雨、污分流。根据近几年几十座农村污水处理站的监测进水水质见表1。

表1 农村污水站进水水质 单位:mg/L

| 项目 | 数值 |
|--------------------|---------|
| COD _{cr} | 100~350 |
| BOD ₅ | 60~180 |
| SS | 60~200 |
| NH ₃ -N | 25~40 |
| TN | 40~65 |
| TP | 1.0~6.5 |

1.2 农村污水特性

农村污水具有以下特点:(1)污水总量大、分散,个体污水量小。水量时变化系数大,早中晚水量高峰明显,其余时间段水量很少。体现在污水管道上污水管非高峰期断流、淤堵严重^[3];(2)水质方面,调查发现农村生活污水主要以餐饮洗涤废水和厕所污水及其他养殖废水等为主,营养元素(N、P)含量高,不同季节、不同区域生活习惯差异较大^[4];(3)形式上粗放型排放占地较大;分散排放收集困难,就近排放聚集区周边低洼堰塘、河流造成污染^[5];(4)污水整体处理率不高,污水后期维护运维难度大。存在“重建设、轻管理”现象^[6]。

1.3 污水处理模式

1.3.1 处理工艺概况

A县污水处理主要形式有纳管处理,就近排入城镇污水管统一处理;集中处理,位置偏远且超过20户的聚集区采用集中收集,建设农村污水处理站模式;分散控制,对于位置偏远人口聚居分散(小于20户)、地形复杂,以控制污染,就近资源化回用为主;现状107个农村聚集点A县107农村聚集点污水处理现状统计见图1、表2。

处理设备以一体化装置为主,具体见图2。

1.3.2 处理站存在的问题

(1)处理工艺较多,运营维护管理难度大。农村污水处理工艺有A₂O、AO+MBR、AO-滤池、AO+湿地、

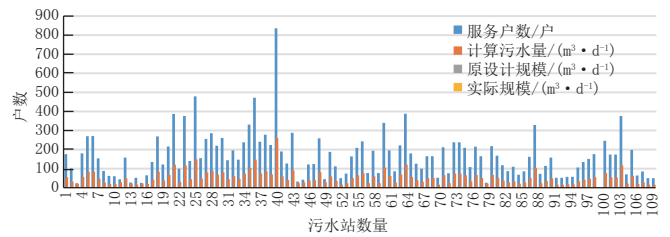


图1 污水站处理规模

表2 107个农村聚集点污水处理站工艺情况表

| 序号 | 工艺 | 数量 |
|----|----------------------|----|
| 1 | A ₂ O工艺 | 9 |
| 2 | A ₂ O+MBR | 3 |
| 3 | AO | 9 |
| 4 | AO+MBR | 31 |
| 5 | AO-滤池(砂) | 24 |
| 6 | AO+湿地 | 3 |
| 7 | AO+沉淀 | 4 |
| 8 | AO+高负荷渗透 | 2 |
| 9 | 好氧+沉淀+湿地 | 1 |
| 10 | 一级强化+人工快渗 | 1 |
| 11 | 一体化+CW | 2 |
| 12 | 散排 | 8 |
| 13 | 排入乡镇污水厂 | 9 |



(a)



(b)

图2 现状污水处理站示意图

人工湿地、一级强化+人工快渗、AO+高负荷渗透等。

(2)出水达标困难,部分一体化设备出水总氮、氨氮不达标。前期一体化设备池容较小,缺氧区HRT<2h、好氧区HRT<4h,不能满足硝化反硝化的停留时间要求。

(3)设备老化、锈蚀严重,甚至停止工作、MBR膜工艺的后期维护困难,膜布堵塞严重导致处理水质

达不到要求;其中2014年前实施一体化设备占比42%。

(4)实际进水量和设计进水量相差大,数据表明基本有15%污水站无污水接入,65%的污水站进水仅占设计规模的50%、10%污水处理站进水量达到设计60%、仅10%的污水处理站达到70%的设计水量;城市化进程、人口老龄化造成农村人口流失,导致村内常住人口偏少,污水站设计规模往往以年鉴统计户籍人口为底数,许多建成的农村污水处理站进水量远低于设计规模,处于闲置或低效率运行。

(5)管理维护人才欠缺,污水站运维困难;由于污水处理站分散,污水处理是技术性较强,造成污水处理专业性人才缺失严重;运维工人基本为当地居民缺乏系统的污水厂运维知识,没有系统培训学习污水处理的专业知识、欠缺设备操作运维技能,仅能保证设备的日常简单操作,无法承担污水站的系统运行维护;专业的欠缺导致污水处理出水不稳定、设备停机检修频繁。如其中MBR经常堵塞、MBBR膜流失、AAO生化池溶解氧DO不满足进水水质变化、丝状菌过量生长及污泥膨胀问题、部分人工湿地因未能按期维护,存在植物长势不佳甚至大面积枯萎失去处理能力;

(6)处理成本高,污水站运维缺乏长效机制。农村污水处理成本在3~5元/(m³·d),农村生活污水治理工作资金来源主要是县级、乡镇财政,缺乏本地社会组织、机构参与,造成污水站运维费用经常欠缺、设备维护困难^[3]。

2 西南地区A县的地形特征及污水处理情况

2.1 典型设计案例分析

针对西南地区A县107个农村聚集点污水处理站提出五种整治方案:

(1)合并整合现状污水站,对于距离较近的聚集点,集中处理优于分散处理。本次有36座污水站合并为16座;(2)迁址新建。距离居民点较近的污水站,迁改至安全距离外新建(8座);(3)原址重建。37座污水站出水水质不达标且难以整改的污水站采用原址重建;(4)简单改造,16座出水满足要求的做简单维护改造;(5)新建污水处理站。10个散排聚集区增设污水处理站。

本次需整改后的污水站供80座,具体规模见表3。

表3 本工程污水站点规模统计

| 序号 | 处理规模/(m ³ ·d ⁻¹) | 个数/座 |
|----|---|------|
| 1 | 10 | 3 |
| 2 | 15 | 1 |
| 3 | 19 | 11 |
| 4 | 20 | 3 |
| 5 | 30 | 4 |
| 6 | 50 | 14 |
| 7 | 75 | 1 |
| 8 | 100 | 25 |
| 9 | 150 | 8 |
| 10 | 180 | 1 |
| 11 | 200 | 2 |
| 12 | 250 | 4 |
| 13 | 400 | 3 |
| 合计 | | 80 |

2.2 排放标准及进出水水质确定

排放标准按照《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB51/2626—2019)一级标准执行,其中污水量小于20 m³/d的按照三级标准执行;进水指标结合《西南地区农村生活污水处理技术指南》以及A县农村污水处理站的水质监测资料,在调节池调节瞬时进水高浓度的情况下确定。

2.3 污水处理方案

本项目以3 km为界限、距离市政管线3 km范围内考虑纳管,3 km以外聚集区污水考虑集中处理。针对不同水量的污水站给出了3种处理工艺;本次整改按照每户3.5人计算、平均日用水定额85 L/人·d、污水收集率90%、地下水入渗按20%考虑,本次农村污水站处理规模和数量见图3。

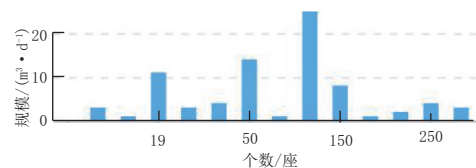


图3 污水处理站规模一览表

本次农村污水处理站和污水管网采用Public-Private Partnership(PPP公共私营合作制)模式,建设公司负责建设和运维本次80座污水处理站及排水管网。污水站采用远程运维+线下维护为主,基本在每个乡镇污水处理站作为乡村污水站的运维中心。

(1)小规模污水站(15、19 m³/d)设计

工艺为格栅—调节池—循环氧气污水处理工艺(一体化设备)—达标排放。循环氧气污水处理工艺主要通过一台潜污泵,实现富氧循环排水多项功能,好氧缺氧交替运行实现AO功能,海绵填料附着生长

生物膜,好氧区异养菌降解COD,好氧区硝化细菌去除氨氮,缺氧区反硝化菌完成硝氮到氮气,聚磷菌完成部分除磷功能通过罐体驯化新型硝化微生物。

利用水泵控制上下水位的调节,实现富氧循环排水,好氧缺氧交替运行,微生物得到充分生长,微生物附着海绵填料上形成完整的生态链,通过吸收污水中的营养物质,加速生长代谢,从而去除水中污染物。

A县农污进出水水质及去除率见表4。处理工艺见图4。

表4 A县农污进出水水质及去除率表 单位:mg/L

| 指标 | COD | BOD | NH ₃ -N | TN | TP | SS |
|---------|-----|-----|--------------------|----|-----|-----|
| 进水水质 | 350 | 180 | 40 | 65 | 4.5 | 200 |
| 出水水质(1) | 60 | 20 | 8 | 20 | 1.5 | 20 |
| 去除率/% | 80 | 87 | 77 | 56 | 70 | 90 |
| 出水水质(2) | 100 | 40 | 25 | — | 4 | 40 |
| 去除率/% | 67 | 73 | 29 | — | 20 | 80 |

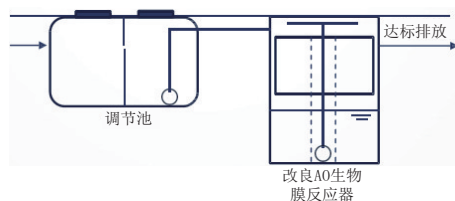


图4 处理工艺示意图

格栅调节池:设计总变化系数2.7,调节池后变化系数早季1.2,雨季1.5,格栅均采用3mm人工格栅、调蓄池容积10m³尺寸3.6m×3.0m×4~5m,潜污泵1用1备 $Q=1.25\text{ m}^3/\text{h}$, $H=6\text{ m}$, $N=1.1\text{ kW}$;循环氧气污水处理工艺(一体化设备),预制混凝土,2.1m×3.5m×3.5m, $Q=15/19\text{ m}^3/\text{d}$, $N=1.1\text{ W}$ 。该工艺污泥产率低、电耗低(总功率2.2kW)、占地少污水站总占地45~60m²、采用30m²太阳能板和居民用电一主一备形式、运行维护方便。

(2) 中型规模污水站(50、100m³/d)方案

工艺采用格栅调节池-SCAS(改良SBR)池-出水达标排放。SCAS(Self-compensating Cyclic Activated Sludge)工艺,作为一种序批式活性污泥法的改良工艺,采用了污泥“自循环”的方式,耦合缺氧段,实现了高效的脱氮功能;使用非常规设计的自补偿出水方式取消了常用的滗水器,日常设备维护量减少,消除故障风险,保证处理系统的运行稳定。相对传统序批式活性物污泥法,优化处理工序,延长生物停留时间,提高了污染物的去除率,确保污水站出水水质达标。当进水水质、水量变化较大时,为确保出水达标,可通过多组反应池并联轮流运行,此时多组反应

池实现流态上推流。

格栅调节池:设计规模:设计规模:50、100m³/d(2座一体化设备并联)总变化系数2.7,调节池后变化系数早季1.2,雨季1.5、格栅间隙3mm、调节池HRT11.6h尺寸3.8m×3.0m×4~5m、潜水泵1用1备 $Q=3.2\text{ m}^3/\text{h}$, $H=6\text{ m}$, $N=1.1\text{ kW}$;SCAS(改良SBR)一体化装置停留时间:12.7h;单池参数如下:每日周期数:8次;每个周期时长:3h,进(出)水:30min(可调)、反应85min(可调)、沉淀48min(可调)、闲置17min(可调)、污泥浓度:MLSS=3600mg/L、污泥负荷0.1~0.18kgBOD/kgMLSS*d、DO:2mg/l;斜管沉淀池、表面负荷:2.5m³/m²·h、清水区(含在一体化设备中)、停留时间:2h、有效容积:4.7m³。

采用60m²太阳能板和居民用电一主一备形式。

(3) 大型规模污水站(150~300m³/d)方案

工艺流程如下:

污水→调节/格栅→改良A²/O生化池→混凝沉淀→紫外线消毒→达标排放

污水设计水量150~400m³/d,总变化系数2.7,调节池后变化系数早季1.2,雨季1.5;

格栅采用旋转格栅渠宽1.0m、栅隙3mm、尺寸3.8m×3.0m×4~5m;调节池尺寸9000mm×6000mm×H~13m×6m×H(4~6m)、HRT9~12h不等,潜污泵1用1备 $Q=9.4\text{ m}^3/\text{h}~25\text{ m}^3/\text{h}$, $H=6\text{ m}$, $N=1.1\text{ kW}/2.2\text{ kW}$ 、潜水搅拌机1台 $N=0.37\text{ kW}$;一体化设备A²/O生化池采用两种模块Φ3.0m×4.5m、Φ3.5m×4.5m两种模块组合、碳钢防腐、配套设备间及沉淀池;生化池参数:硝化液回流(%)100~300、污泥回流比(%)50~100、BOD污泥负荷0.15kg/(kg·d)、气水比6:1、设计泥龄15d;电源采用100m²太阳能板+10kV电源主电源、柴油发电机备用形式。

2.4 污水站外污水管网方

由于农村污水管网管理水平相对城镇较差,易淤堵。据调查,DN300管道较DN200管道的清掏次数可大幅下降。同时,考虑农村污水的水量小,管径也不宜取值过大,根据《镇(乡)排水工程技术规程》(CJJ124—2008),及以往设计经验和用户反馈,本工程重力流污水管道管径统一取DN300,均为非计算管道。雨水管道管径为DN400。

本次项目中各乡镇聚居点分散较广,各聚集点已经在建设农户住宅同时敷设管道,但是大多为合流制管道,或者建设年代久远,没有维护、清掏,故本工程统一考虑将合流制管道改为污水管,新建雨水

系统,保证从源头将雨污水完全分开,排水统一采用分散式收集处理的模式进行收集处理。

3 运行效果分析

该批次污水处理站建成投产1年来出水基本满足出水标准:

(1)处理规模100 m³/d及以内的污水站加装太阳能板^[7],污水处理站与太阳能结合有助于碳中合、减少碳排放。太阳能板可以供污水站常规运行所需要的电量,如泵站提升、生化池的曝气、推流搅拌等;

(2)改良SBR、AAO工艺运维稳定可靠,对COD、NH₃-N、TP的去除率均稳定在80%以上,出水达标无虞;

(3)中心乡镇设置集中监控平台,基本可实现远程监管操作、无人值守运行;实现水质实时在线、超标预警,提高了污水站处理效率、降低成本并提高了污水站的可靠性和安全性;

(4)标准化处理工艺实施,方便污水站落地和提高污水的收集率。该模式充分利用西南丘陵地形地貌的条件,提高污水收集率,解决农村的污水处理问题。建议在西南地区农村生活污水处理中推广应用。

4 结 语

(1)污水治理、规划设计先行

美丽乡村、乡村振兴背景下,提高农村污水收集率、合理敷设污水处理站对改善农村生态面貌具有重要意义。规划统筹、顶层设计是保障农村污水治理的关键。A县以县域为单位统一规划设计。前期通过专业人员的调研摸排,厘清现状乡村污水存在的问题和差距。在制定规划方案时,组织政府、企业、村民共同参与制定,征求村民、企业和其他主体的意见。充分发挥设计的桥梁作用系统科学的确定排水体制、管网布局、污水站的位置。合理的解决污水管网的漏接混接、错接和漏损问题,提高污水管网收集率。

(2)试点治理,逐步推进

通过示范点带动整个县域的污水治理模式。循环氧气污水处理工艺、改良SCAS工艺、改良AAO工艺等治理技术,运行成本低、管理维护方便可在其他地区推广应用。

(3)积极探索长效运行机制

农村生活污水治理是一项长期工程,需要有完善的运行监管机制。

A县80座污水处理站主要通以网络在线管理为主,线下管理为辅。共设1名站长2名技术管理人员、维护人员5名,以乡镇污水站为据点向村镇污水站辐射管理的模式,大大降低了运维成本。现状污水处理成本在3~4元/m³,相较以前降低25%左右。

尝试多种付费机制。现状污水站运维主要是政府补贴。多渠道筹集社会资本和村民合理收费。可以吸收环保基金捐助、村镇企业收益反哺污水处理站运维。加强宣传提高村民的思想意识。农民是最直接的受益者,理应承担部分污水站运维费用。100 m³污水站可以覆盖1200人左右的村庄,村民承担1/3的运维费用约0.1元/人·d,具备长期推广的条件。

污水站结合分布式光伏,可减少运维电费,助理碳减和碳中和。

参考文献:

- [1] 柴喜林.乡村振兴战略下农村生活污水治理模式优选之思考[J].中国环境管理,2019,11(1):106-110.
- [2] 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.
- [3] 江成,饶红敏,熊继海,等.鄱阳湖流域农村生活污水治理现状及技术模式[J].环境工程,2018,36(10):9-12.
- [4] 郭伟杰,贡丹丹,何起利,等.生物接触氧化-潜流型人工湿地组合工艺处理农村生活污水的应用案例研究[J].水处理技术,2024,50(3):138-141,147.
- [5] 胡思雨,李松,宋广清,等.晋城市农村黑臭水体成因及污染因子相关性研究[J].给水排水,2024,60(2):57-64.
- [6] 邱勇军,张玉峰,杨永前,等.移动式一体化生活污水处理设备的应用进展[J].净水技术,2023,42(11):27-36,66.
- [7] 江成,饶红敏,熊继海,等.鄱阳湖流域农村生活污水治理现状及技术模式[J].环境工程,2018(10):9-12.