

农村生活污水处理工艺设计及运行效果探讨

丁铎

杭州萧山环境发展有限公司, 浙江杭州, 311200;

摘要: 农村生活污水处理是我国新时代美丽乡村建设的核心环节, 同时也是实现乡村振兴的先决条件。与自然污水不同, 生活污水受人为干预的影响, 内部含有较多的自然漂浮物与生活有机物, 随意排放不仅容易对农村环境造成剧烈影响, 还会导致河流、水库等取水水体出现营养化问题, 还会浪费掉部分可重复循环利用的水资源, 对生态系统与水循环系统产生严重影响。基于此, 文章将对某农村生活污水处理工艺设计进行分析, 探寻其中符合农村生态环境与污水处理需求处理工艺设计方法, 并阐述其最终的运行效果, 探寻独属于乡村运营体系的污水处理模式。

关键词: 农村生活污水; 处理工艺设计; 运行效果

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.033

引言

现阶段农村生活污水处理工艺有 A/O、AAO、改良 AAO 以及生物膜等多种污水处理方法, 但是通过研究发现智能模块化污水处理系统+人工生物湿地的组合, 是处理工艺挑选过程中最近需求最低且最适合农村生态环境的污水处理模式。同时, 该模式在 COD、氨氮、总氮等化学物质去除方面具有远超其他方法的应用效果, 平均去除率能达到 76.1%以上。文章将从此处切入, 挖掘农村生活污水处理工艺设计, 保证生物水能经过污

水处理系统化的处理后, 达到我国家政策指导的一级排放标准, 为后续农村生活污水工程建设提供思考方向。

1 农村生活污水处理工艺设计

1.1 进水水质把控

某农村污水站对当地居民实际用水的水质报告进行的多层级的数据分析, 并结合《农村生活污水治理技术指引》的政策指导, 在正式进行污水处理设备工艺设计之前, 对污水处理设施的进水水质进行了严格把控(见表1)。

表 1 某农村进水水质数据 (单位: mg/L)

类别	CODGR	BOD5	SS	NH3+-N	TN	TP	pH
进水水质	≦280	≦150	≦200	≦30	≦35	≦4	6—9

1.2 出水水质把控

在明确的进水水质数据把控下, 该农村的污水处理站, 在经过内部处理后出水水质的质量把控标准, 也严格遵循了生活污水处理后排放的一级标准, 同时污水处

理站还根据国家统一的《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) 相关规定需求, 对出水水质进行了更加缜密的数据把关, 以 12℃ 为中线分别进行了两种不同水温的数据控制标准, 并以此为基础对后续一系列的工艺流程设计进行了完善优化(见表2)。

表 2 某农村出水水质数据 (单位: mg/L)

类别	CODGR	BOD5	SS	NH3+-N	TN	TP	pH
出水水质	≦40	≦10	≦10	≦2.0(3.0)	≦10(12)	≦0.3	6—9

ps: 表中括号外的水位高于 12℃, 括号内的水温低于或等于 12℃

1.3 工艺具体流程

农村生活污水的高效处理, 应从工艺设计角度出发, 结合不同地区的污水处理标准与国家处理后出水水质参数要求, 做好各个工艺环节的设计规划, 实现农村生活污水处理措施的现代化, 由传统治理理念逐步走向

“建设成本小、运行效益高、维护难度低”的良性发展道路^[1]。上文提到的某农村污水站就在污水处理工艺方面进行了以现代科技为核心的优化治理措施, 首先结合传统多种 AO 污水处理工艺, 将活性污泥法、生物膜法与可选膜处理法等适用于农村污水处理场景的生物接触氧化工艺进行体系建设, 并在传统 AAO 的工艺基础

上，根据当地实际用水需求添置好缺氧段、接触氧化工艺两种新时代污水处理技术，进一步发挥了污水站对污水处理的脱氮效果。

其次，为了保证SS以及其他污染物的处理过程稳定达标，该污水站还在设计阶段预留出了足够深度的污水净化段，并在其中引入了工艺模块化、多模式运行、气动循环释气回流等特殊处理工艺，进一步提高了污水处理设备的抗冲击性与污水综合处理效率^[2]。该工艺技术相比于市区内常用的AAO、MBR、氧化塘、人工湿地等需要大量资金投入与场地规划的污水处理设备，具有更强的实用性，能够在农村、中小型规模的污水处理站中完全发挥自身应用优势，进一步保证农村生活污水处理效率（详情见表3）。

最后，在该污水站进行污水处理工程的过程中，还经过巧妙的工艺流程梳理，将原有“厌氧—缺氧—好氧，同步脱氮除磷”的污水处理模式，转变为了“格栅物理拦截+调节沉淀水内杂质+自动化污水脱氮/除磷系统+

生物降解技术+水体消毒处理+出水取样井”的递进式工艺流程：在农村居民将生活污水排入污水管道的后，污水将会跟随管道路径逐步流向污水站的机械格栅池，通过物理拦截的方法清理污水中较大的颗粒性杂物以及生活常见的漂浮垃圾（该阶段能够去除约30%—40%的BOD与50%—60%的SS）；在经过格栅池的物理干预后，污水站会将污水引入调节池内，通过水质混合、水量调节的方式对生活污水进行细致处理；经过上述环节后，水体将会自动流入智能模块化污水处理设备中，依托生物降解技术对污水内部污染物进行二次处理（BOD的去除率提升至85%—95%）；最终处理好的水会流入生态湿地，在深度处理的作用下更加高效地去除水中所蕴含的氮磷，并通过紫外线消毒设备的专业处理后，进入出水取样井进行水质检测，在检测完毕后排放到指定的排水河渠。此外在这一顶层框架的指引下，污水站也对污泥进行了对应的处理流程设计，具体内容见图1。

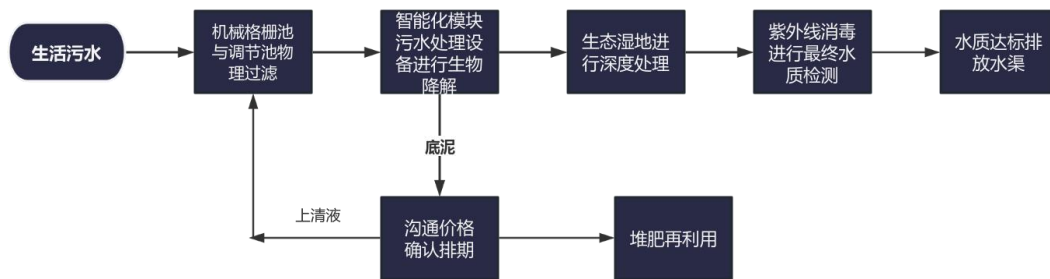


图1 某乡村污泥处理工艺流程

表3 各污水处理工艺核心性能

处理工艺	运行原理	积极作用	负面因素
多层次AO组合技术+生物降解处理技术	依托多工艺串联+生物降解的方式完成污水处理	1.能够抵抗一定程度的冲击，出水量稳定 2.污泥不会在处理过程中产生膨胀，后期运营维修较为简单，适用性强 3.能够去除水体60%—80%的含氮量	1.极度依赖化学辅助进行脱磷作业 2.周期性完成填料维护工作
AAO污水处理系统	前后厌氧池—前后缺氧池—前后好氧池的组合运行	1.能够实现脱氮、除磷两个步骤的同步进行 2.具备优秀的低温抗性	1.需要专业人员控制复杂的污水回流比 2.成本与能源消耗较大
MBR工艺	膜生物反应（活性污泥+膜分离）	1.出水水质完美符合用水标准 2.建设应用性强，不会产生大量污泥	1.膜生物组件需要定期更换，运维成本高 2.所需能源要求较高，变相提升了设备运行成本
氧化塘工艺	自然降解+菌体共生技术	1.较高的运维性价比 2.能够有效利用自然资源	1.建设面积需求较大 2.容易在自然曝氧与藻菌繁殖的过程中产生较大的异味，且在雨季容易造成污水溢流
人工湿地	引入植物、微生物等外在要素，利用生物处理方法，直接去除水中污染物，提高水源质量	1.对生态环境较为友好，整体工艺运营成本较低 2.无机化或人工化的动力需求	1.抗低温能力弱，在冬季污水处理效率呈断崖式下跌趋势 2.脱氮能力弱，需要额外对水资源进行脱氮处理

1.4 机械内部参数设计

1.4.1 针对机械格栅与调节池的参数调控

机械格栅池的主要目的在于，利用物理干预的方法，阻隔进水时生活污水中个体较大的明显杂质，如落叶、石块、纸巾、生活垃圾等漂浮物，实现对污水处理的预处理，为后续深度处理提供便利，是整体污水处理设备的第一道工序。在工艺参数调控方面，该污水站巧用水流力学工艺涉及了回转式的机械格栅，实现了格栅系统的自动运行，同时将进水渠道的宽度严格控制在了0.5m以内，且过滤间隙采用了常态化的10mm工艺，最大程度上实现对污水大型杂质的过滤去除。此外，污水站为了进一步提高污水处理效率，在格栅渠的建设在了污水调节池内部，并通过科学的数据分析与理想状态下污水杂质沉积的理论要素进行思考，将停滞沉淀时间设计为11.2h，实现杂质过滤与水质调节的同步进行，同时结合进水管深度将有效水深严格控制在2m，且整体调节池平面尺寸的3m×4m，在保证污水处理效率的前提下尽可能地降低调节池开挖支护难度，降低污水处理的运维成本^[3]。

1.4.2 针对智能模块化污水处理设备的参数调整

分区与主要参数调整：智能模块化污水处理设备是整体污水处理流程的重要环节，针对该设备的模块分区也应根据当地实际生活污水使用情况，搭建好对应的厌氧区、一级（二级）缺氧区、一级（二级）好氧区等多个污水处理模块；同时按照城镇污水处理标准的政策指导，在内部嵌入集沉淀、清水、消毒于一身的多元化集成工序，利用可人工干预的污水处理方式，对生活污水

进行消杀处理，最后将水质达标的水源排进附近居民取水地^[4]。

该污水处理工艺旨在原有的AAO基础上融入五段处理法，并根据生活污水一级（物理处理）、二级（生物处理）、三级（深度处理）与厌氧—缺氧—好氧的污水处理模式，预留深度处理区段，实现对氮磷的同步处理，进而实现对处理后污水的高效脱氮，充分降低SS等有害物质含量，过滤出更高品质的居民用水

此外，针对智能集成化污水处理设备中厌氧、缺氧、好氧污水处理区块的设计，可根据成本与应用需求，安装辫式的工艺填料，利用活性污泥法与生物膜法相结合的方法，全面发挥二者在污水处理方面的优势，依托生物技术高效完成对生活污水的脱氮处理。具体设计思路如下：第一，设备会在指令的指引下，根据AI的统筹指令，回流处理一级好氧池内的混合液体，并将硝化液与缺氧池中的水体进行充分融合，实现水体脱氮的同时，稀释有毒物质，为后续生物降解技术的使用提供高效途径；第二，在完成上述回流作业后，混合水体会在污水处理设备的智能化干预下，流入二级缺氧池，通过缺氧环境激发污水中的微生物化学反应特性，将水中的硝酸盐与亚硝酸盐在缺氧环境下还原为氮气，并让其在水流流动的过程中逐步挥发，降低污水的总含氮量；第三，经过二级缺氧池的氮气还原之后，污水将在智能模块的操作下水体进入二级好氧池，在生物处理的作用下进一步消除污水中的有害污染物，高效去除COD、氨氮、总氮、总磷等污染物，充分发挥微生物的降解作用，实现对出水水质的绝对把控。（具体工艺参数设计与污水设备参数调整参考表4、表5）

表4 智能模块化污水处理设备工艺参数

规模 (t/d)	设备尺寸	生化停留时间 (h)	总停留时间 (h)	有效容积 (m ³)	有效容积与设计水量占比	填料填充率	气水比
50	7×2.4×2.8(m)	14	18	37.5	74.94%	100%	14:1

表5 智能模块化污水处理设备设计参数

区域	厌氧区		前置缺氧区		前置好氧区		后置缺氧区		后置好氧区		土办沉淀区停留时间 (h)
	停留时间 (h)	有效容积 (m ³)	停留时间 (h)	有效容积 (m ³)	停留时间 (h)	有效容积 (m ³)	停留时间 (h)	有效容积 (m ³)	停留时间 (h)	有效容积 (m ³)	
50t/d	2.0	5.4	2.0	4.0	6.5	4.0	1.2	12.0	2.3	2.0	1.5

1.4.3 人工生态湿地的参数调整

生态湿地旨在利用生物处理的方式，发挥物理、化学、生物三方技术的协同作用，对污水进行净化处理的一种特殊技术手段^[5]。在某农村的污水处理工程当中，污水站采用了垂直潜流生态湿地的建设方法，结合当地

地理特性，将湿地长宽比例严格控制在3:1的黄金比例以下，且挖掘了0.4—1.6m的储水深坑，同时在工艺筛选方面，采用了覆盖、填料、排水三个层级的污水处理设计，依托协同治理手段实现对污水TN、TP有害化学元素的降低工作。此外，在植物应用方面，污水站还根

据不同的季节参数对种植植物进行了对应的维护策略,并通过对湿地建成以来几个月进出水质量的动态监控发现,在经过生态湿地的过滤后,水中TN、TP的去除率达到了相处的26.1%与38.3%,进一步提高了后续污水处理效益。

1.5 智慧化运维系统应用

智慧化运维是保证农村生活污水处理工艺优化升级的重要工具。大多数农村污水处理站具有站点分散、彼此距离远、交通情况差等特性,难以支持常规污水站运维工作的开展与落实。鉴于此,在对污水处理系统的运维管理过程中,可采取智慧化、数字化运维的方式,将KINGSCADA系统平台引入工作过程,利用该技术对各个污水处理站的实时数据进行采集,并通过中断控制系统进行统一调度。同时,KINGSCADA系统平台还会根据工程实际使用需求搭建专项的统筹数据库,并建立起专门服务于运营商的网络专线与串口协议,连接各污水站中的PLC设备,实现各个泵房的数字化通讯,搭建人工+数字技术的动态巡检体系,实现对污水处理过程的动态追踪以及设备工艺技术的透明化学习,完美解决传统运维工作弊端,降低污水站运维成本,提高维护管理水平。

2 农村生活污水处理运行效果

通过对某农村生活污水处理工艺设计与常规运行管理项目的运营过程分析可以发现,在该工程中,污水处理站处于24小时的全天运行状态,电费按照当地标准为0.68元/度,智慧化运维系统与智慧模块化污水处理设备在实际应用过程中的系统维护费用为45万元,污水处理费用经过计算合计最终为2.75元/吨,具体运行成本见表6。同时,该设备还能够在处理污水的同时,加强对生活污水处理后,残留污泥资源的二次利用,促进本地经济效益循环的同时,依托污泥资源调节当地生态环境,提高农村居民用水安全度,全面降低水质带来的潜藏风险,提高农村生活幸福指数。

表6 某乡村污水站运行能耗表(附带运营成本)

序号	指标	价格(元)	占水价比例(%)
1	管理费	0.07	2.55

2	药剂材料费	0.09	3.27
3	污泥处理费	0.03	1.09
4	电费	0.32	11.64
5	运维费用	0.23	8.36
6	人员发工资	0.29	10.55
7	财务费	0.01	0.36
8	利税	0.79	28.73
9	折旧摊销	0.92	33.45
10	单方水价	2.75	

3 结语

综上所述,能够应用于农村、乡镇的生活污水处理措施,大多为预处理与一体化的污水处理设备,依托智慧模块化污水处理模块,实现对生活污水的自动化处理,确保最终排水渠的水质达到居民用水A级标准。为了降低污水处理设备的建设困难以及后期高额的运维成本,地方可根据实际情况采用上述工艺设计,最大程度上降低建设期间污水站的工艺技术难度与经济需求,借助智慧化的操作系统,实现对农村生活污水处理技术设备设施的动态监测,同时借助农村自然场景较多的地区特性,灵活使用生物处理方法代替化学处理工艺,实现对污水的高效处理。

参考文献

- [1] 黄志超,韩银传,郭栋,等.农村生活污水处理工艺设计及运行效果探讨[J].城镇供水,2025,(05):71-76.
- [2] 王妙,张文磊,张华俊.某农村生活污水处理工程设计及运行效果研究[J].再生资源与循环经济,2024,17(05):32-35.
- [3] 吴瑜红,尤鑫,李卿,等.长江流域建制镇污水收集处理现状调研及对策分析[M].化学工业出版社:202309:181.
- [4] 李洁,安霖钰.蚯蚓生态滤池工艺处理农村生活污水的设计与运行试验[J].环保科技,2023,29(03):18-22.
- [5] 刘积容.用于处理农村生活污水的A30(MBBR)工艺设计及运行效果[J].当代化工研究,2022,(23):87-89.