

吴 昊, 杨 非, 王海芹, 等. 太湖流域 4 种农村生活污水处理工艺运行效果比较[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 309–313.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.073

太湖流域 4 种农村生活污水处理工艺运行效果比较

吴 昊¹, 杨 非², 王海芹¹, 王建清³, 徐 茂¹, 张亚平²

(1. 江苏省互联网农业发展中心, 江苏南京 210036; 2. 东南大学能源与环境学院, 江苏南京 210096;
3. 江苏省常州市武进区农业局生态科, 江苏常州 213159)

摘要:通过对太湖流域农村生活污水处理技术的调查研究, 选取 4 种典型处理技术(A/O 工艺、户用净化槽工艺、厌氧产沼气-缺氧反硝化脱氮-跌水充氧接触氧化法-人工湿地技术、微动力高效复合渗滤床+氮磷消化湿地处理技术)为研究对象进行分析比较。结果表明, 厌氧产沼气-缺氧反硝化脱氮-跌水充氧接触氧化法-人工湿地技术, 虽然初期建设成本略高, 但处理效果稳定, 化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)及氨态氮含量的去除率均达到 80% 以上, 是一种很好的农村生活污水处理工艺。

关键词:农村生活污水; 处理工艺; 运行效果; 太湖流域

中图分类号: X703.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)13-0309-05

太湖流域地处长江三角洲南部, 是我国区域经济最为发达的地区之一, 面积 3.69 万 km², 行政区划分属江苏、浙江、上海和安徽三省一市, 其中江苏省占 53%。随着城镇化进程的加快及农民收入水平的提高, 农村生活污水(厨房污水、生活洗涤与沐浴污水、厕所污水等)产生量大大增加^[1]。李新艳等的调查发现, 在太湖流域丘陵区农村污水直排比例高达 38%~47%, 且化粪池的污染物去除效率有限^[2]。根据《太湖流域“十二五”科技需求与目标任务的建议》(太湖流域实施方案编制组)中对太湖流域典型污染源的调查显示, 农村生活污水的化学需氧量(COD)、氨态氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)贡献率分别占流域总量的 21%、25%、18%、19%^[3-4]。因此, 提高农村生活污水处理设施建设覆盖率、保障太湖流域水环境质量具有十分重要的意义。

农村生活污水治理引起了社会的普遍关注, 江苏省自 2008 年起陆续开展农村环境连片整治行动、美丽宜居乡村建设以及“两减六治三提升”专项行动等, 农村生活污水治理情况得到了一定的改善^[5]。但在笔者调研过程中发现, 部分农村生活污水处理设施由于工艺选择随意, 未能因地制宜, 后期管理不到位等原因, 其运行效果未达到设计要求, 处理后的生活污水达不到一级 B 的要求, 甚至荒废, 影响居民的正常生活^[6]。本研究针对太湖流域农村生活污水处理设施存在较大差异的特点, 在实地调研的基础上, 选取 4 种运用较为广泛的处理工艺(A/O 工艺、户用净化槽技术、厌氧产沼气-缺氧反硝化脱氮-跌水充氧接触氧化法-人工湿地技术、微动力

高效复合渗滤床+氮磷消化湿地处理技术)^[7]作为研究对象, 进行为期半年的稳定运行跟踪监测, 比较研究 4 种农村生活污水处理工艺对污染物的去除效果, 综合考虑各工艺的运行效果、投资费用以及日常管理与维护等方面, 旨在为农村生活污水处理工艺的选择及优化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 调查与采样方法

从 2015 年 2 月至 2016 年 6 月, 笔者所在课题组陆续走访了江苏省内太湖流域的代表性区域, 包括无锡(宜兴市、江阴市、锡山区、惠山区、滨湖区)、苏州(昆山市、常熟市、太仓市、张家港市、吴中区、吴江区、相城区、高新区)、常州(武进区、金坛市、溧阳市)、镇江(丹徒区、丹阳市、句容市)、南京(江宁区、高淳区、溧水区)等地。通过管理部门访谈、资料收集以及现场实地调研等方式, 对江苏省太湖流域农村生活污水的处理情况有了充分的了解。调查结果显示, 截至 2016 年 6 月, 江苏省太湖流域地区共建成农村生活污水处理设施近 6 000 套, 涉及的工艺多达 100 余种, 应用占比超过 1% 的有 20 种, 其中选择 4 种实际运用比较广泛的处理工艺进行取样分析。

本研究于 2016 年 7—11 月期间对运用 4 种处理工艺的农村生活污水处理设施的进出水水质跟踪监测, 为避免地表径流影响, 取样期间避开中雨及以上降雨期。取样过程中进出水处于不断流动的动态过程中, 样品混合后用 1 L 的白色塑料封口瓶密封保存, 12 h 内进行检测分析。样品每月取样 1 次。

1.2 工艺流程

(1) A/O 工艺, 即生活污水-AO 预处理+人工生态绿地(图 1), 特点是建设与治理同步, 处理效果好, 运行维护简单, 生态绿地采用专门的防堵技术, 生态效益显著。

(2) 户用净化槽工艺, 工艺流程主要是污水进入净化槽后, 由沉淀分离槽进行预处理, 去除比重较大的颗粒及悬浮物, 提高污水的可生化性, 预过滤槽内装有填料, 在填料上的

收稿日期: 2018-03-27

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号: 2012ZX07101-005); 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(15)1004]。

作者简介: 吴 昊(1978—), 男, 江苏盐城人, 硕士, 高级农艺师, 从事农业面源污染治理与生态环境保护工作。E-mail: njwh2001@163.com。

通信作者: 张亚平, 博士, 副教授, 从事环境科学相关研究。E-mail: amflora@seu.edu.cn。

表 1 调查工艺及地点

处理工艺	设施地点
A/O 工艺(地埋式 A/O 法处理设备 + 人工湿地)	溧阳市南渡镇芮家村
户用净化槽技术	常熟市虞山镇风枪泾村
厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化法 - 人工湿地技术	宜兴市周铁镇沙塘港村
微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地处理技术	宜兴市官林镇凌霞村

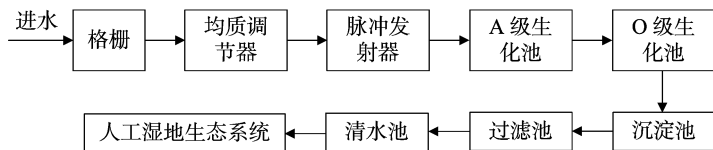


图 1 A/O 工艺流程

厌氧生物膜的作用下去除可溶性有机物,曝气槽是集曝气、高滤速、截留悬浮物和定期反冲洗为一体的装置,沉淀槽溢水堰设置了消毒装置,对出水进行消毒处理(图 2)。

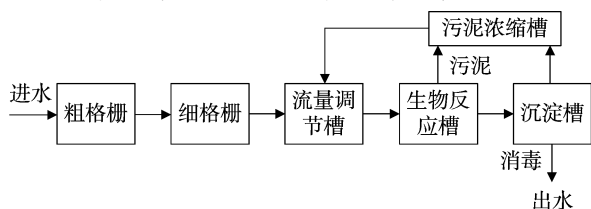


图 2 户用净化槽工艺流程

(3)厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化 - 人工湿地工艺是让污水首先进入厌氧池,进行厌氧发酵,以降低后续接触氧化反应的有机负荷,同时进行硝化液回流脱氮处理,经过厌氧处理的污水经泵提升进入接触氧化池,接触氧化池共分 5 格,充分利用污水提升后的部分水头,采用跌水充氧技术提供好氧反应的需氧量,以降低运行成本,实现低能耗污水处理。在接触氧化池内,对有机污染物进行好氧降解和充分硝化,接触氧化池出水部分回流到前端厌氧池进行脱氮,部分进入后续潜流式人工湿地或生态净化塘,进一步去除氮磷等营养物质(图 3)。

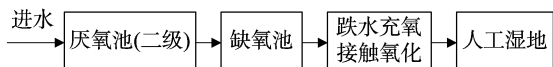


图 3 厌氧产沼气-缺氧反硝化脱臭-跌水充氧接触氧化-人工湿地工艺流程

(4)微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地处理工艺则主要利用渗滤床和氮磷消化池的混合作用,进一步提高处理效果,且无二次污染,不排放污泥。系统设置于地下,且可人为调节温度,不受气候条件影响(图 4)。不需要专用土地(地表可规划为绿地、旱地、停车场或运动场地)。

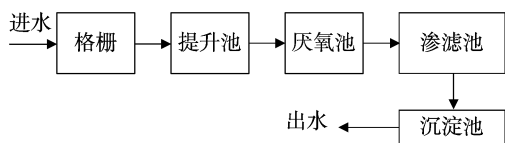


图 4 微动力高效复合渗滤床+氮磷消化湿地处理工艺流程

1.3 水质指标及测定方法

水质监测指标为 COD、TN、TP、氨态氮含量。COD 采用重铬酸盐法(GB/T 11914—1989《水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法》);TN 含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光

光度法(HJ 636—2012《水质 总氮的测定》);TP 含量采用钼酸铵分光光度法测定 GB/T 11893—1989《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》);氨态氮采用纳氏试剂分光光度法测定(HJ 535—2009《水质 氨氮的测定》)。

2 结果与分析

2.1 4 种处理工艺对各污染物的去除效果比较分析

2.1.1 A/O 工艺对各污染物的去除效果比较分析 A/O 工艺出水水质基本满足 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。如图 5 所示,COD 进水浓度过低,在 8 月仅为 7.1 mg/L,可能是由于监测时间恰逢多雨季节,雨污未分流导致;在 9 月之后,COD 进水浓度达到正常^[8],工艺对其去除率有了明显的提高,说明设施在正常运行后对 COD 的去除能达到较好的水平。设施对 TN 和氨态氮的去除有明显的波动,最高可到 90%,最低仅为 18%,这个与 A/O 工艺中的厌氧段和好氧段是否正常运行有很大的关系。TP 在 8 月达到了 92.05% 的去除率,与夏季人工湿地植物茂盛生长相关,植物对氮磷的需求较大,同时湿地系统的微生物群落活动最为活跃。

2.1.2 户用净化槽工艺对各污染物的去除效果比较分析

户用净化槽工艺出水水质基本满足 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 标准。如图 6 所示,户用净化槽技术进出水水质基本正常,COD、氮处理效果较好,比较稳定;对 COD 的去除率为 40%~80%,对 TN 的去除率为 40%~70%,对氨态氮的去除率为 20%~60%。该方法虽然有一定的去磷效果,但去除率不高,最高去除率仅为 35%,且随着使用时间的延长,须要及时更换填料,否则会影响处理效果。

2.1.3 厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化 - 人工湿地工艺对各污染物的去除效果比较分析 厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化 - 人工湿地工艺的出水水质基本满足 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 标准。如图 7 所示,其进水水质正常,出水水质 COD 达到一级 B 标准,8 月各项指标去除率很高,其原因是夏季气温高,跌水充氧接触氧化段挂膜丰富,对有机污染物去除效果好;人工湿地植物茂盛生长相关,植物对氮磷的需求较大,同时湿地系统的微生物群落活动最为活跃,对氮磷去除贡献很大。水质处理效果很好,比较稳定,4 项指标最高去除率均达到 80% 以上。

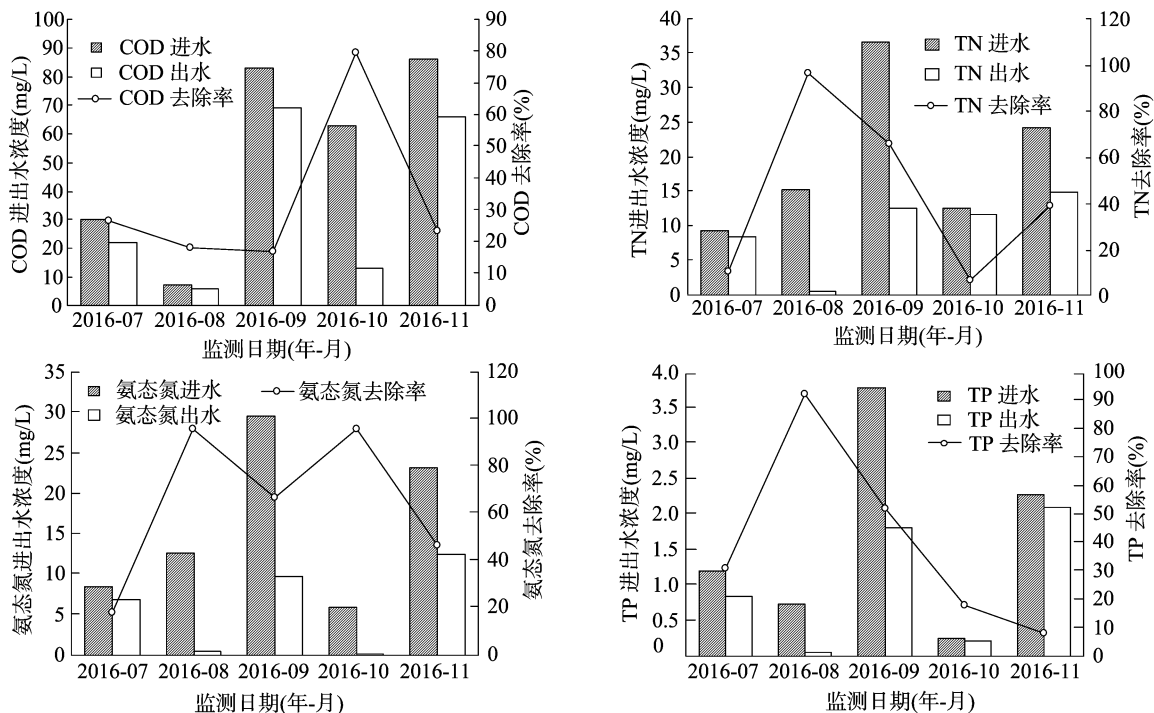


图5 A/O工艺对 COD、TN、氨态氮、TP 的去除效果

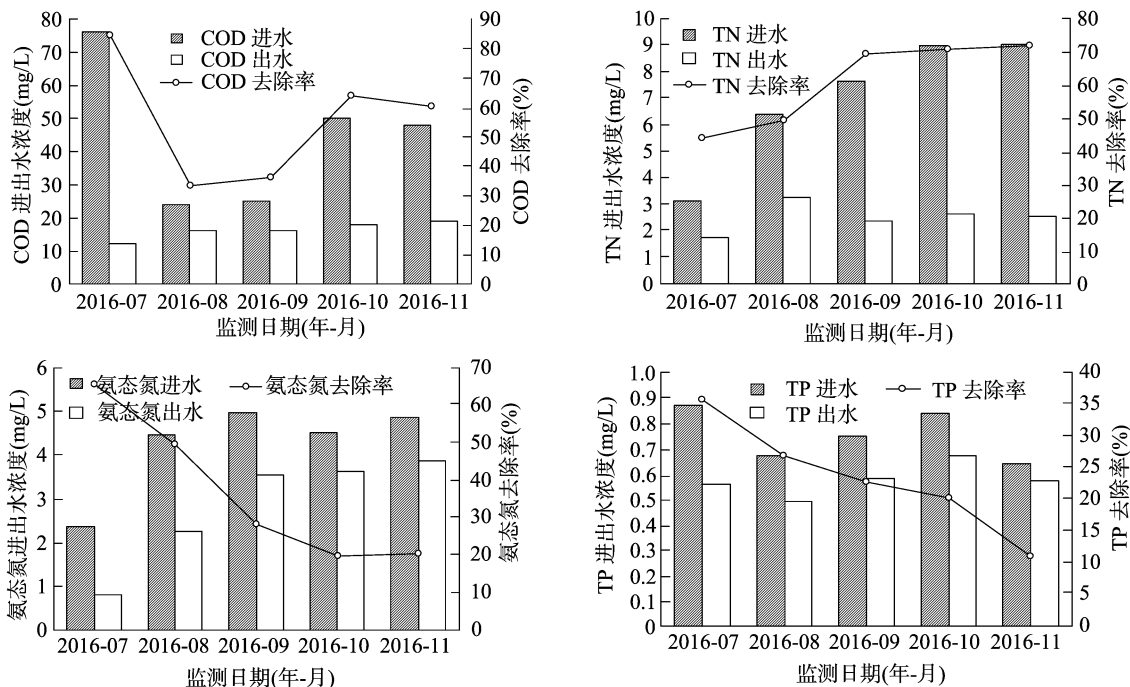


图6 户用净化槽工艺对 COD、TN、氨态氮、TP 的去除效果

2.1.4 微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地处理工艺对各污染物的去除效果比较分析 微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地处理技术的出水水质基本满足 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 标准。如图 8 所示,7、8 月各污染物进水浓度较低,工艺仍能对其有较好的处理效果,其中 COD 去除率达 38.64%。在 10 月,该工艺对 TN、氨态氮、TP 的去除率达到最高。在 11 月,该工艺对 TN 的去除效果很差,可能与气温低导致湿地植物生长缓慢,甚至

死亡有关。

2.2 4 种处理工艺建设运行比较分析

如表 2 所示,4 种农村生活污水处理工艺的操作管理都比较简单,只须定期清理、检修即可。其中,户用净化槽工艺的建设成本最高,达到其他 3 种工艺建设成本的 4 倍不止。厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱氮 - 跌水充氧接触氧化法 - 人工湿地技术的建设成本次之,1 t 水投资达 6 000 元左右,远高于 A/O 工艺和微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地处理技

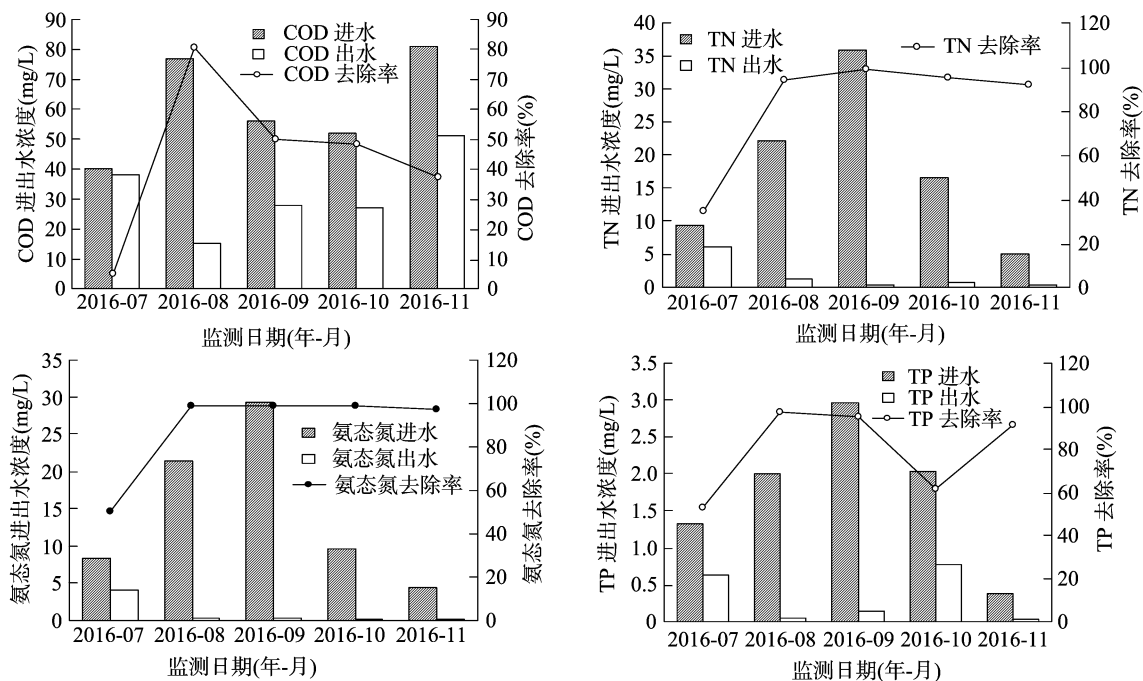


图7 厌氧产沼气-缺氧反硝化脱氮-跌水充氧接触氧化-人工湿地工艺对 COD、TN、氨态氮、TP 的去除效果

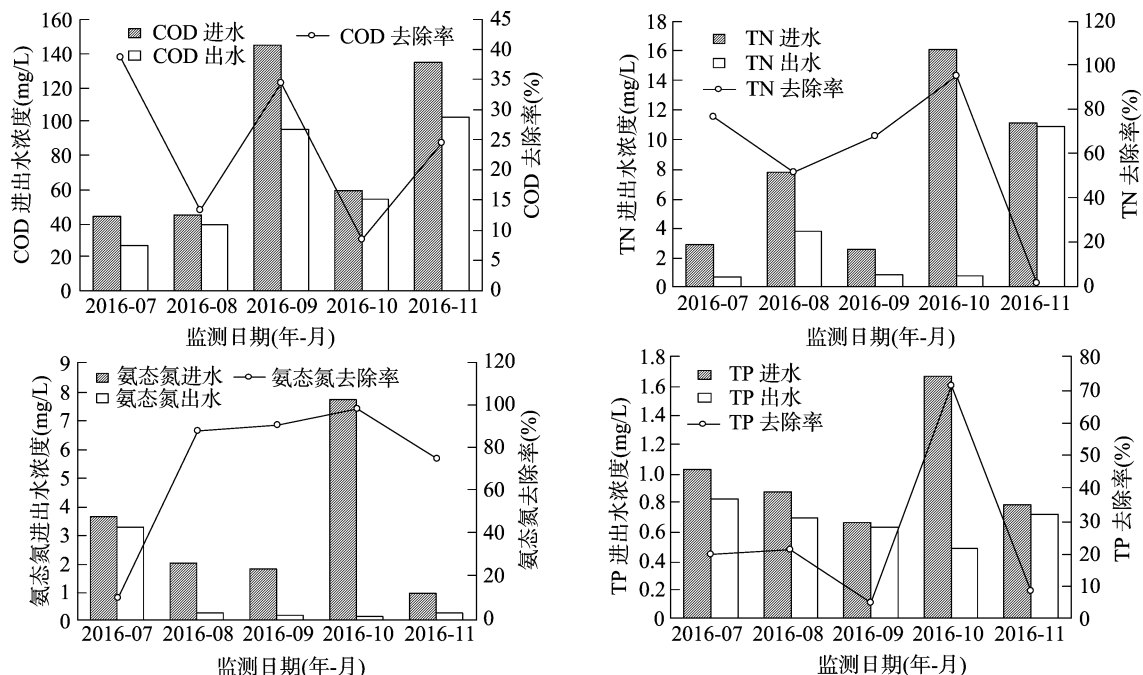


图8 微动力高效复合渗滤床+氮磷消化湿地处理工艺对 COD、TN、氨态氮、TP 的去除效果

术。A/O 工艺建设成本较低,但运行费用较高,1 t 水费用远高于其他 3 种水处理技术。

3 讨论

3.1 4 种处理工艺运行效果比较分析

A/O 工艺的监测时间属于多雨季节,COD 进水含量过低,总磷含量变化太大,水处理效果极不稳定,这对 A/O 工艺在实际应用中具有借鉴作用,在夏季必须做好工艺的运行维护。户用净化槽技术将处理工艺集成到小型净化槽中,无需

配套另外设备即可达到排放标准,操作简便、维护简单,但建设成本较高,去磷效果较差。厌氧产沼气-缺氧反硝化脱氮-跌水充氧接触氧化法-人工湿地技术处理效果持续、稳定,是一种很好的农村生活污水处理工艺,但建设成本偏高。微动力高效复合渗滤床+氮磷消化湿地处理技术脱氮效果很好,处理率 60% 以上,但 COD、TP 进水含量因为受季节影响较大,去除效果不太稳定。

外界气温是影响农村生活污水处理工艺污染物去除率的关键因素之一,气温对工艺的各组成部分(微生物、人工湿地

表 2 四种典型农村生活污水处理工艺基本参数比较

工艺名称	投资估算	操作管理	处理效果稳定性
A/O 工艺(地理式 A/O 法处理设备 + 人工湿地)	建设成本 3 500 ~ 4 500 元/t, 运行费用 2.17 元/t	简单, 只须负责湿地植物的生长	极不稳定
户用净化槽工艺	建设成本 23 000 元/t, 运行费用 0.6 元/t	须定期清理污泥、更换消毒剂和风机用隔膜套件	较稳定
厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化 - 人工湿地	建设成本 6 000 元/t, 运行费用 0.516 元/t	较简单, 负责湿地的植被、定期清砂及形成的生物膜	较稳定
微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地	建设投资较小, 运行费用很低	无复杂设备, 系统维护简单, 只须负责湿地植物的生长	较不稳定

植物等)具有很大的影响作用。4 种工艺在低温期的 COD、TN、TP 去除率均要低于高温期,但影响程度不一致,其中厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化 - 人工湿地工艺受外界气温影响最大,A/O 工艺相对较小。从 4 种工艺的建设安装分析,A/O 工艺、户用净化槽工艺和微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地工艺的厌氧和好氧系统部分一般埋在地下,利用地热受外界温度影响相对较小,冬季低温条件下受外界温度影响相对较大,从而导致生物膜的微生物转化作用得到限制。除户用净化槽工艺之外的其他 3 种工艺均设有 人工湿地处理单元,夏季湿地植物与微生物生长迅速,对氮磷的去除作用极大,但到了冬季植物和微生物基本不发挥作用。在实际应用中,必须十分清楚地考虑温度的影响^[9]。

3.2 4 种处理工艺建设与维护比较分析

A/O 工艺运行费用较大,达 2.17 元/t;户用净化槽工艺建设成本大,适合分散型农村生活污水处理;厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化 - 人工湿地工艺,设施较多,但运行成本低,效果稳定。微动力高效复合渗滤床 + 氮磷消化湿地工艺基建投资低,无需专门的人员维护,且运营费用极低。

农村生活污水的治理对区域污染防治所起的作用是非常巨大的^[10-11],有效改善附近地表水的水质,大大减少了疫病暴发或流行病的潜在危险,有效改善了农村的人居环境和农村生态环境,缩小了城乡差距,促进了区域经济发展,促使社会效益、环境效益和经济效益进一步协调。

4 结论

经调研,江苏省太湖流域农村生活污水处理技术种类多达几百个,即使按照工艺原理分类也多达数十种,很多地方更是因为工艺选择和设计没有因地制宜,给后期的统一维护带来较大的技术难度,更甚者只建设不运行。太湖流域农村生活污水日变化系数大,在早、中、晚各有 1 个高峰时段,但夜间排水量小,甚至出现断流现象^[12],同时,作为旅游业发达地区,江苏省太湖流域农村生活污水新增来源(农家乐污水),油脂含量多,水质、水量波动大,尤其在节假日或冬季,污染物浓度明显较高,这对农村生活污水处理技术选择和管理要求

较高。因此,农村生活污水治理应在设计之初就根据当地的基本特征,因地、因时、因人制宜,选用不同的处理技术以适应当地条件和满足农民需求,以保证其长期有效稳定的运行。

厌氧产沼气 - 缺氧反硝化脱臭 - 跌水充氧接触氧化法 - 人工湿地技术,虽然初期建设成本略高,但处理效果稳定,COD、TN、TP 及氨态氮的去除率均达到 80% 以上,是一种很好的农村生活污水处理工艺。

参考文献:

- [1] 张曼雪,邓玉,倪福全. 农村生活污水处理技术研究进展[J]. 水处理技术,2017(6):5-10.
- [2] 李新艳,李恒鹏,杨桂山,等. 江浙沪地区农村生活污水污染调查[J]. 生态与农村环境学报,2016,32(6):923-932.
- [3] 太湖流域水环境综合治理总体方案(2013 年修编)[Z]. 2013.
- [4] 江苏省太湖流域水环境综合治理实施方案(2013 年修编)[Z]. 2013.
- [5] 张悦,段华平,孙爱伶,等. 江苏省农村生活污水处理技术模式及其氮磷处理效果研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):172-178.
- [6] 龙珍,张亚平,管永祥,等. 江苏省太湖流域农村生活污水处理设施建设情况剖析[J]. 安徽农业科学,2015,43(11):220-224.
- [7] 龙珍,韦斯,张亚平,等. 江苏省太湖流域农村生活污水处理现状及对策研究[J]. 环境科学与管理,2016,41(10):17-20,82.
- [8] 周晓莉,俞锋,朱光灿,等. 江苏农村生活污水处理设施进水水质调查分析[J]. 环境工程学报,2017(3):1445-1449.
- [9] 周金波,包薇红,罗艳,等. 宁波地区 4 种典型农村生活污水处理工艺污染物去除率比较分析[J]. 农业资源与环境学报,2017,34(5):492-498.
- [10] 杜欢,刘春敬,宋漫利,等. 河北省清水河流域农村生活污水产污特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):255-259.
- [11] 李小宇,钟艳霞,贺婧,等. 宁夏典型农村生活污水处理系统污水微生物数量和污染物特征[J]. 江苏农业科学,2017,45(2):248-253.
- [12] 杨晓英,袁晋,姚明星,等. 中国农村生活污水处理现状与发展对策——以苏南农村为例[J]. 复旦学报(自然科学版),2016,55(2):183-188.