



文章栏目：工程创新与行业动态

DOI 10.12030/j.cjee.202012075 中图分类号 X703 文献标识码 A

尤立, 刘平, 胡春明. 改良型 UCT 工艺在农村生活污水中的应用[J]. 环境工程学报, 2022, 16(2): 651-658. [YOU Li, LIU Ping, HU Chunming. Application of modified UCT process in decentralized rural sewage treatment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(2): 651-658.]

改良型 UCT 工艺在农村生活污水处理中的应用

尤立, 刘平, 胡春明[✉]

中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

摘要 我国农村生活污水处理设施的进水 COD 往往低于设计水质, 因而脱氮除磷过程中碳源不足, 同时进水中 TN、TP 波动较大, 导致现有工艺难以稳定实现脱氮除磷。针对这一问题, 构建了基于改良型 UCT 工艺的一体化农村生活污水处理系统, 并应用在江苏省常州市某村落。该处理系统可使污泥脱氮与混合液脱氮实现分离, 在保证脱氮效率的同时, 进一步减少硝酸盐进入厌氧区, 以保证稳定的脱氮除磷效果。该系统已稳定运行超过 2 年, 对 COD、NH₃-N、TN、TP 等指标的平均去除率分别为 87.8%、94.5%、72.9% 和 83.9%, 出水水质满足江苏省《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB32/T 3462-2018) 中一级 A 标准。本案例可为我国农村生活污水处理的技术选择和运行提供参考。

关键词 农村生活污水; 碳源; 脱氮除磷; 改良型 UCT 工艺; 一体化处理系统

实施农村环境治理, 着力改善水环境, 是国务院《农村人居环境整治三年行动方案》的具体要求^[1]。其中, 农村生活污水的有效处理和长效管理是改善农村人居环境的重要环节。由于我国不同地区地理位置、气候及社会经济发展水平存在较大差异, 因此, 农村生活污水处理技术很难统一^[2]。现有的处理工艺大部分来源于城镇污水处理领域^[3-4]。其中, 进水的碳氮比 (C/N) 是影响我国农村生活污水处理工艺效能的重要因素^[5]。由于雨污合流的稀释作用、化粪池的不合理设置、管网施工不规范导致灌溉用水混入等^[6]原因, 农村生活污水中有机物浓度普遍较低^[7], 使得这类污水在处理过程中生物脱氮除磷难度增大。

UCT (University of Cape town, 南非开普敦大学提出的一种脱氮除磷工艺) 工艺是类似 A²/O 工艺的一种新型脱氮除磷工艺。与 A²/O 工艺相比, UCT 工艺将污泥先回流至缺氧池, 再将缺氧池部分混合液回流至厌氧池, 从而减少回流污泥中硝酸盐对厌氧释磷的影响^[8-10]。该工艺能有效降低污水的 COD、SS 等指标, 并解决同步脱氮除磷过程中聚磷菌和硝化菌在污泥龄上存在的矛盾问题^[9]。

江苏省太湖地区位于长江三角洲的核心区, 是我国人口最稠密和经济发展最具活力的地区之一。该区域城镇化水平较高, 水冲厕所普遍, 农村生活污水排放量大, 但大多数村庄分散, 污水处理设施的整体利用率和处理效率并不高^[11]。其原因是设施巡检难度较大, 运维成本较高。2013—2017 年, 环太湖地区 68 个自然村的分散型生活污水处理设施现状调查结果表明^[12], 现有处理设施出水的 COD、NH₃-N、TN、TP 达标率分别为 90.5%、84.2%、72.5%、68.2%, 脱氮除磷效果有待提高。该地区中, 江苏省农村生活污水中碳氮比 (C/N) 的年均值为 3.9, 远低于浙江省的年均

收稿日期: 2020-12-15; 录用日期: 2021-01-29

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2019YFD1100105)

第一作者: 尤立 (1989—), 男, 工程师, liyoun@rcees.ac.cn; 通信作者: 胡春明 (1982—), 男, 高级工程师, cmhu@rcees.ac.cn

值(6.10),说明对其进行生物脱氮的难度较大^[13]。近年来,太湖流域水体一直存在富营养化问题,而农村生活污水的排放为其重要因素^[14]。因此,亟需研发适应进水水质特点且具有稳定脱氮除磷效果的农村生活污水处理工艺,来解决类似环境容量小、人口基数大、水质污染严重地区的污水处理问题。

本课题组设计并构建了基于改良型UCT工艺的一体化农村生活污水处理系统,并在江苏省常州市钟楼区邹区镇进行应用推广。本文梳理了该系统的工艺改进思路、工程设计方案、运行效果及经济性分析,以为农村生活污水处理工程的实施提供参考。

1 案例背景

1.1 案例所在区域水环境现状

邹区镇位于常州市钟楼区西部,地处长江三角洲太湖平原中心,紧邻京杭大运河。全镇总面积66.18 km²,辖17个行政村,4个社区居委会,常住人口约5.6×10⁴人。全镇河流水系较多,分布较为均匀,几乎各自然村均有河浜相通。境内主要河流有扁担河、卜泰河、鹤溪河、礼河、岳津河等。近年来,当地经济发展迅速,形成了灯具生产、物流贸易、建材批发等一系列国内特色产业,人口密度亦不断增大。然而,当地农村地区污水处理、垃圾处理等基础设施建设相对滞后,大量废水直接排入河湖道,水生态和水环境状况急剧恶化。根据2017年邹区镇103个断面水质监测结果,水质为优良的断面仅占4.9%,而劣V类占54.4%。在29条河流中,有19条不能满足功能区水质要求,超标率为65.5%。其中,16条河流达到重度污染级别,污染以有机污染为主,主要污染物为耗氧有机物(以COD计)、NH₃-N及磷等^[15]。

2017年,江苏省提出《“两减六治三提升”专项行动方案》。该方案提出要在2020年实现农村生活污水处理设施覆盖率90%以上,设施正常运行率80%以上。邹区镇人口密度高、环境负荷大、土地资源紧缺,且位于太湖流域,环境敏感性高。调研发现,近年来该地区已建设的农村生活污水治理设施,由于运维难度大,外加碳源和药剂频繁,大部分设施尚未实现稳定运行。

1.2 原有生活污水处理设施的运行状况

自2012年起,邹区镇分3年建设了基于A²O工艺的农村生活污水处理设施,共计28套,主要分布于邹区镇戴庄村、安基村和新屋村等5个行政村,处理规模为20~192 m³·d⁻¹。以戴庄村五段头192 m³·d⁻¹生活污水处理设施为例,其进出水水质情况(2016年5月—2017年4月)如表1所示。当地农村生活污水进水水质指标波动较大,尤以COD和NH₃-N明显,分别为57.8~243 mg·L⁻¹和16.8~89.4 mg·L⁻¹。同时,进水耗氧有机物浓度较低,造成污水处理系统脱氮除磷的难度增加。而对于出水水质,对照《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB32/T 3462-2018)中一级A标准^[16],NH₃-N和TP与标准值的差距较大,需作为技术改造时的重点考虑指标。原有处理设施对污染物的平均去除率为:耗氧有机物(以COD计)64.4%、氮(以NH₃-N计)27.4%、磷(以TP计)48.4%、SS 52.9%。设备整体污染去除效率较低,部分月份氮磷去除率甚至为负值。

表1 2016年5月—2017年4月戴庄村五段头生活污水处理设施进出水水质指标

| 取样月份 | 进水 | | | | 出水 | | | |
|---------|------|--------------------|------|----|------|--------------------|------|----|
| | COD | NH ₃ -N | TP | SS | COD | NH ₃ -N | TP | SS |
| 2016-05 | 78.4 | 16.8 | 1.05 | 55 | 52 | 12.3 | 0.87 | 36 |
| 2016-06 | 194 | 51.3 | 6.12 | 89 | 27.2 | 23.8 | 2.58 | 12 |
| 2016-07 | 126 | 32.5 | 4.62 | 40 | 25.6 | 20 | 2.74 | 11 |
| 2016-08 | 126 | 32.5 | 4.62 | 40 | 25.6 | 20 | 2.74 | 11 |
| 2016-09 | 80.5 | 23.6 | 3.61 | 43 | 22.3 | 26.4 | 1.45 | 32 |
| 2016-10 | 73.5 | 43.6 | 12.7 | 60 | 17.7 | 13.8 | 2.27 | 19 |
| 2016-11 | 57.8 | 23.6 | 7.08 | 48 | 19.7 | 21.3 | 3.53 | 30 |
| 2016-12 | 69.3 | 35.7 | 6.18 | 63 | 20.2 | 20.5 | 4.36 | 31 |
| 2017-01 | 77.8 | 23.1 | 6.09 | 60 | 26.9 | 24.1 | 1.59 | 22 |
| 2017-02 | 168 | 67.9 | 14.3 | 79 | 64.7 | 68.2 | 8.86 | 32 |
| 2017-03 | 76.3 | 26.1 | 6.23 | 61 | 59.9 | 31.7 | 4.59 | 35 |
| 2017-04 | 142 | 17 | 2.66 | 38 | 116 | 8.76 | 1.65 | 40 |

1.3 原有生活污水处理工艺存在的问题

1) 脱氮除磷能力较差。邹区镇原有一体化设施采用 A²O 工艺。根据现状进水情况, TN、TP 波动较大, 且其质量浓度与城镇生活污水相比较高, 而耗氧有机物质量浓度偏低, 碳源含量较低。前端厌氧区聚磷菌吸收进水中易降解发酵产物以完成其细胞内的聚羟基烷酸的合成, 使得后续缺氧区缺乏足够优质碳源, 从而抑制了系统的反硝化潜力, 降低了系统的脱氮效率。反之, 当反硝化不彻底而残余硝酸盐随污泥回流进入厌氧区时, 反硝化菌将优先利用环境中的有机物进行反硝化脱氮, 从而会干扰厌氧释磷的正常进行, 最终影响系统对磷的高效去除^[17]。因此, 当生物脱氮和生物除磷同时发生在 A²O 工艺中时, 很难同时取得较好的效果。

2) 运维难度较大。原有 A²O 工艺需通过投加除磷药剂、外加碳源来保证系统的稳定运行。然而, 邹区镇农村污水处理设施分布较为分散, 运维成本较高, 加上政府监管的缺失, 实际过程中基本未投加过除磷药剂; 另外, 受专业水平限制, 运维人员并未按需求进行碳源的精准补加, 常常过量补加碳源, 这导致生化池内污泥快速增殖, 剩余污泥量加大, 从而进一步增加了运行成本。

2 改良型 UCT 工艺的设计及应用

2.1 工艺流程设计思路

1) 解决脱氮除磷效果差的问题。UCT 工艺是在 A²O 工艺的基础上, 将污泥回流入缺氧池而不是厌氧池, 同时增加缺氧池到厌氧池的混合液回流, 回流污泥和混合液中的硝态氮至缺氧池中进行反硝化, 从而可减少硝酸盐对厌氧释磷的影响, 以期实现较好的生物脱氮除磷效果, 流程如图 1(a) 所示。另外, 由缺氧池回流到厌氧池中的回流液硝态氮浓度降低, 也削弱了聚磷菌对厌氧释磷的影响, 从而解决脱氮和除磷不能同时取得较好效果的问题^[18-20]。针对邹区镇生活污水有机物浓度较低的问题, 在 UCT 缺氧段前增加了预缺氧段, 用于回流沉淀池的污泥, 并在缺氧池设置回流好氧池混合液的装置, 即改良型 UCT 工艺 (流程如图 1(b) 所示)。这种方式使得污泥脱氮和混合液脱氮完全分开, 可保证低 C/N 下的脱氮效率, 从而进一步减少硝酸盐进入厌氧区的可能性, 还可解决同步脱氮除磷过程中聚磷菌和硝化菌在污泥龄上的矛盾, 最终实现良好的氮磷去除效果。

2) 降低运维成本。改良型 UCT 工艺可发挥聚磷菌生物除磷作用, 实现低 C/N 下系统的稳定运行, 碳源投加量低于同类工艺, 因此可降低了运维成本。脱氮除磷效果的增强, 使得混凝剂和助凝剂的使用减少, 加药频次降低还可很大程度地减少运维工作量, 从而降低运维成本与难度, 对于改进农村生活污水处理设施的长效运维管理作用明显。

2.2 工艺设计内容

1) 构筑物设计参数。厌氧池: 停留时间 1.5 h, 控制 ORP、硝酸盐指标及碳源的供应以保持厌氧环境。缺氧池: 停留时间 4.2 h, 反硝化负荷 0.47, 控制 ORP 以及碳源供应。好氧池: 停留时间 8.2 h。

2) 运行参数。污泥质量浓度 4 000 mg·L⁻¹, 外回流比 100%, 内回流比 300%, 污泥负荷 (每日单位质量 MLSS 可承受的以 COD 计耗氧有机污染物的质量) 0.48 kg·(kg·d)⁻¹, 污泥龄 17 d, 曝气量 8.5 m³·min⁻¹, 气水体积比为 8:1。

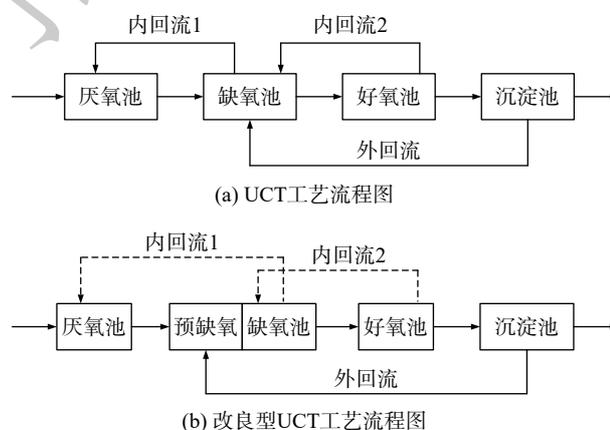


图 1 UCT 工艺及本案例的改良 UCT 工艺流程对比
Fig. 1 Comparison of UCT and modified UCT

3) 处理规模及设计水质。该系统总处理规模为 $270 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 可服务人口 1 996 人, 具体规模如表 2 所示。设计进水水质基于现状监测数据, 按较不利的情景来考虑。设计出水水质执行《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB32/T 3462-2018) 一级 A 标准。出水就近排入附近自然水体, 用于河塘生态补水。一体化污水处理设施设计进出水水质如表 3 所示。

2.3 工程建设情况

2018 年, 在邹区镇毛家村、野田村等 4 个行政村中的 14 个自然村投建了 9 套改良型 UCT 工艺一体化污水处理设施, 总处理规模

为 $270 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 可服务人口 1 996 人, 具体规模如表 3 所示。每套设施的服务范围按行政村河流、居住密集度和施工难度等因素进行划分。考虑到后期运维的成本和便利性, 按照“分散处理, 组团集中”的原则进行了布点。如于家村中 3 个自然村的分布较为分散, 采用集中处理施工难度较大, 故在每个自然村分别建设了 3 套处理设施, 处理规模分别为 15、20 和 $10 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$; 而桥东村的 3 个自然村居住密集度较大, 故合建 1 套 $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的处理设施。污水处理设施中的设备埋在地下, 地上部分为电控系统 (如图 2 所示)。

表 2 设备设计进、出水水质

Table 2 Design parameters of the influent and effluent of project

| 水质指标 | 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | | 去除率/% |
|------|--|--------|-------|
| | 进水 | 出水 | |
| COD | 250 | 50 | 80.0 |
| 总氮 | 60 | 20 | 66.6 |
| 氨氮 | 40 | 5 (8*) | 87.5 |
| SS | 100 | 10 | 90.0 |
| 总磷 | 6 | 1 | 83.3 |

注: 括号外数值为水温 $> 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标, 括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标。

表 3 分散式污水处理设施规模

Table 3 Scale of the decentralized rural sewage treatment

| 行政村 | 自然村 | 受益户数 | 受益人口 | 日用水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) | 日排水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) | 处理规模/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) |
|-----|-----|------|------|---|---|---|
| 杏塘村 | 毛家村 | 26 | 83 | 9.13 | 7.30 | 10 |
| 杏塘村 | 野田村 | 39 | 111 | 12.21 | 9.77 | 15 |
| 杏塘村 | 大翁 | 29 | 70 | 7.7 | 6.16 | 30 |
| 杏塘村 | 小翁 | 37 | 114 | 12.54 | 10.03 | 30* |
| 卜弋村 | 圣东村 | 31 | 79 | 8.69 | 6.95 | 20 |
| 卜弋村 | 圣西村 | 40 | 97 | 10.67 | 8.54 | 20* |
| 卜弋村 | 庙东村 | 40 | 126 | 13.86 | 11.09 | 30 |
| 卜弋村 | 庙西村 | 33 | 80 | 8.8 | 7.04 | 30* |
| 于家村 | 后湾村 | 48 | 127 | 13.97 | 11.18 | 15 |
| 于家村 | 塘下村 | 60 | 164 | 18.04 | 14.43 | 20 |
| 于家村 | 后邵头 | 27 | 82 | 9.02 | 7.22 | 10 |
| 桥东村 | 后店 | 118 | 308 | 33.88 | 27.1 | 100 |
| 桥东村 | 后巷 | 70 | 206 | 22.66 | 18.13 | 100* |
| 桥东村 | 梅村 | 123 | 349 | 38.39 | 30.71 | 100* |

注: *号表示与其他自然村合建共用一套污水处理设施。

3 污水处理设施运行效果

3.1 整体运行情况

改良型 UCT 工艺一体化污水处理工程于 2018 年 8 月进场施工, 2018 年 12 月完工进入调试阶

段。经过 5 个月的调试运营期, 建设单位于 2019 年 5 月委托第三方监测机构对 9 套一体化污水处理设施的出水水质进行了验收监测, 结果如表 4 所示。新建的 9 套污水处理系统各项出水指标均能满足江苏省《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB32/T 3462-2018) 中一级 A 标准。



图 2 改良型 UCT 工艺一体化污水处理设施现场

Fig. 2 The modified UCT process integrated sewage treatment facility photographed on-site

表 4 一体化污水处理系统验收监测结果

Table 4 Monitoring results of integrated sewage treatment system

| 行政村 | 处理规模/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) | COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 总氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 氨氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | SS/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 总磷/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) |
|-----|---|---|--|--|--|--|
| 杏塘村 | 10 | 27.3 | 15.8 | 1.4 | <5 | 0.73 |
| 杏塘村 | 15 | 31.2 | 14.1 | 1.1 | <5 | 0.69 |
| 杏塘村 | 30 | 28.7 | 14.1 | 1.7 | 5 | 0.58 |
| 卜弋村 | 20 | 29.5 | 15.2 | 4.0 | 5 | 0.71 |
| 卜弋村 | 30 | 33.5 | 16.4 | 3.5 | <5 | 0.74 |
| 于家村 | 15 | 32.3 | 15.6 | 1.9 | <5 | 0.69 |
| 于家村 | 20 | 20.9 | 17.2 | 1.9 | <5 | 0.77 |
| 于家村 | 10 | 27.6 | 16.5 | 2.3 | 5 | 0.85 |
| 桥东村 | 100 | 22.5 | 12.8 | 0.9 | <5 | 0.58 |

注: 括号外数值为水温 $> 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标, 括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标。

3.2 各类污染物的去除效果

1) 以 COD 计的耗氧有机物的去除效果。如图 3 所示, 桥东村进水 COD 保持在 $95 \sim 240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 波动较大, 进水平均 COD 为 $153.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 低于设计水质。运行初期的第 1~15 天, 系统尚未完全稳定, 微生物还未培养成熟, 在污泥浓度较低的情况下, 出水平均 COD 为 $39.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。随着系统的逐步稳定, 自第 30 天起, 系统出水 COD 稳定在 $15 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 出水平均 COD 为 $19.23 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 可达到《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB32/T 3462-2018) 一级 A 标准要求。系统稳定后, 以 COD 计的耗氧有机物的平均去除率可达到 87.8%。同时, 由于改良型 UCT 工艺采用了多段回流, 在系统进水 COD 波动较大时, 仍可保持较高的抗冲击负荷。在稳定运行工况下, 通过对好氧区微生物

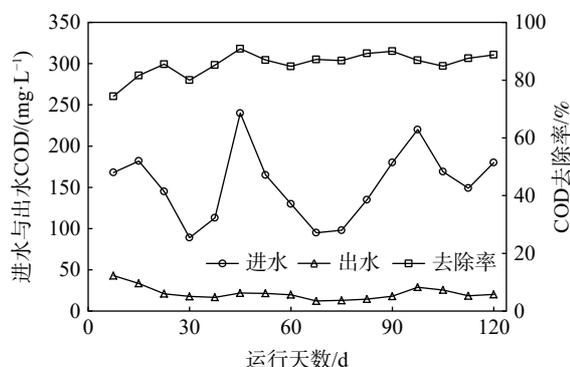


图 3 桥东村一体化污水处理系统 COD 去除效果

Fig. 3 COD removal of the integrated equipment in Qiaodong village

的观察可发现,有大量轮虫出现,可见出水水质良好。

2) $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果。图4为桥东村一体化污水处理系统的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果。系统启动初期,好氧区硝化菌浓度较低,硝化作用不明显,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 较高。随着污泥培养过程的进行,系统逐渐稳定,出水 $[\text{NH}_3\text{-N}]$ 保持在 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下,平均去除率为 92.4%,满足设计要求,较原有 A^2O 工艺设备的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率明显提高。对于改良型 UCT 工艺,系统中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效率受好氧区 DO 的影响较大。较高的 DO 可提高系统硝化效果,但 DO 过高时,会造成运行成本的增加,且易产生污泥膨胀现象,导致出水悬浮物浓度升高。系统运行的第 30~60 天,DO 可维持在 $1.02\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出水平均 $[\text{NH}_3\text{-N}]$ 为 $3.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。第 60~90 天,DO 提高至 $2.15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出水 $[\text{NH}_3\text{-N}]$ 下降为 $1.69\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。第 90 天起,为平衡运行成本,并减少硝化液回流对除磷效果的影响,将系统 DO 控制在 $1.6\sim 1.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,此时 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效率基本保持不变。

3) 以 TN 计污染物的去除效果。农村生活污水中,以 TN 计污染物的去除效果与系统中进水 C/N,回流比以及好氧区 DO 等均有密切关系。如图5所示,系统中进水 TN 波动较大,为 $29.2\sim 104.9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,且进水 C/N 偏低,碳源严重不足。在系统运行初期(第 0~30 天),未投加碳源,出水平均 TN 为 $24.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,污染物去除率仅为 45.1%,脱氮效果一般。系统运行 30 d 后开始投加少量碳源,C/N 维持在 3.5:1。第 30~60 天,以 TN 计污染物的去除率提高了 15.7%,说明有机物对系统脱氮效率有较大影响。系统运行第 60~90 天,C/N 调整为 4.5:1,出水平均 TN 为 $15.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出水水质稳定达标。第 90 天后,系统 C/N 维持在 3.5:1,通过调节回流比和好氧区 DO,出水平均 TN 为 $14.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。上述结果表明,改良 UCT 工艺具有较好的脱氮效果,而碳源投加量低于现有同类工艺,从而也降低了系统的运行成本。

4) 以 TP 计污染物的去除效果。当地农村生活污水的 C/N 和 C/P 普遍偏低,系统中存在固有反硝化细菌与聚磷菌对碳源的竞争,且聚磷菌摄取易降解有机物的能力不如反硝化细菌,从而导致聚磷菌体内贮存的聚羟基烷酸含量不足,出水 TP 偏高^[21]。系统脱磷效果如图6所示。系统运行初期的 0~30 d,未进行化学除磷,设备进水平均 TP 为 $3.89\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,设备出水平均 TP 为 $1.78\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,污染物的平均去

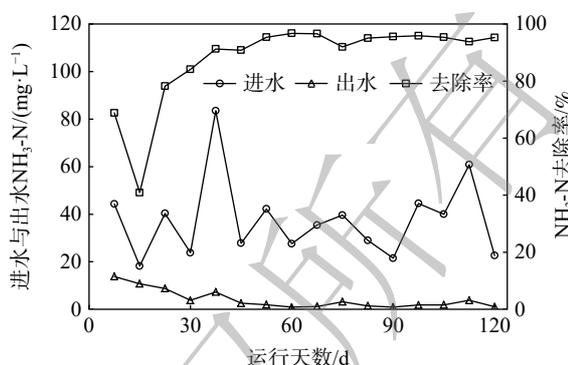


图4 桥东村一体化污水处理系统 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果
Fig. 4 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal of the integrated equipment in Qiaodong village

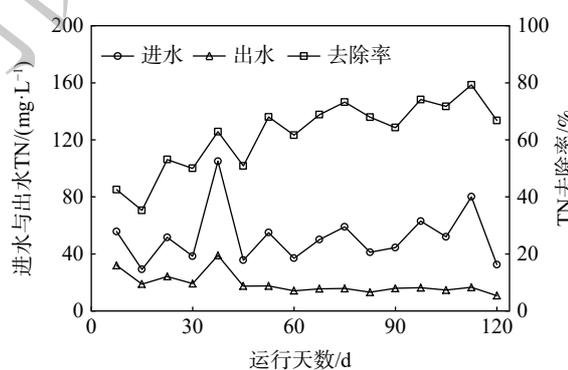


图5 桥东村一体化污水处理系统 TN 去除效果
Fig. 5 TN removal of the integrated equipment in Qiaodong village

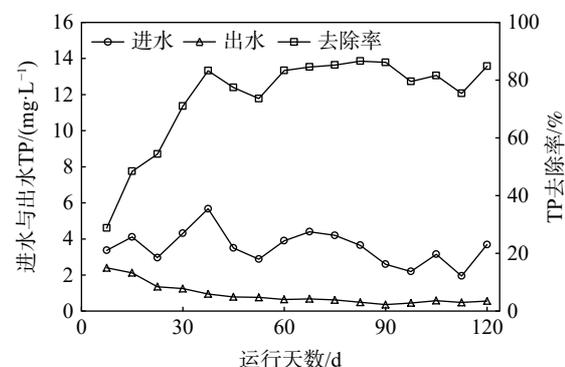


图6 桥东村一体化污水处理系统 TP 去除效果
Fig. 6 TP removal of the integrated equipment in Qiaodong village

除率为 50.65%。随着系统逐渐稳定, 在第 30~60 天, 由于工艺的回流设计, 硝酸盐进入厌氧区的量减少, 使得硝化菌比聚磷菌优先利用环境中的有机物, 从而干扰厌氧释磷的正常进行, 依靠聚磷菌的生物除磷作用, 以 TP 计污染物的去除率提高至 74.2%, 但出水仍不能达标。在第 60~90 天, 设备开启同步化学除磷, 每天投加铝盐除磷药剂及助凝剂 1.5 kg, 以 TP 计污染物的去除率提高到 83.8%。在 90 d 之后, 铝盐除磷药剂日投加量增至 2 kg, 出水平均 TP 为 $0.53 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 已满足相关标准和设计要求。此时, 继续增加铝盐除磷药剂投加量, 除磷效果基本保持不变。因此, 系统铝盐除磷药剂及助凝剂日投加量控制在 1.5~2 kg。上述结果表明, 改良 UCT 工艺强化了厌氧缺氧的交替环境, 为反硝化噬磷菌的生长提供了有利的条件, 保证了系统对氮磷相关指标能达标。

3.3 经济性分析

该项目总投资为 828.5 万元。其中, 工程建设费 729.3 万元, 其他相关费用 66.1 万元, 预备费 33.1 万元。新建一体化污水处理设施吨水建设费用约为 4 650 元(不含土建施工费用), 与原有 A^2O 工艺(约 $4\,200 \text{ 元}\cdot\text{m}^{-3}$)相差不大。但在系统运行费用方面, 改良型 UCT 工艺系统吨水运行费用为 0.79 元, 较原有 A^2O 工艺($0.9\sim 1.2 \text{ 元}\cdot\text{m}^{-3}$)降低了 15%^[21]。这主要是由于本系统稳定运行所需 DO 质量浓度低于原工艺, 故曝气风机能耗降低, 单位水量平均耗电量降为 $0.313 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$; 同时, 本工艺系统尽可能地发挥了生物除磷作用, 减少了混凝剂和助凝剂的投加量, 进而降低了本工艺系统的运行成本。

4 结语

本案例将改良型 UCT 工艺应用于江苏省常州市钟楼区邹区镇的农村生活污水处理系统中, 已建成的 9 套污水处理设施出水水质均满足《村庄生活污水治理水污染物排放标准》(DB32/T 3462-2018)一级 A 标准。自 2019 年 6 月完成调试并投入运行以来, 已稳定运行超过 2 年, 运行效果好。本系统用到的改良 UCT 工艺通过改变污泥回流方式, 使污泥脱氮和混合液脱氮分离, 从而保证了系统的脱氮效率, 同时也减少了硝酸盐对厌氧释磷的影响, 实现了低 C/N 进水条件下良好的氮磷去除效果, 可为我国农村生活污水处理的技术选择提供参考。

参 考 文 献

- [1] 于法稳, 郝信波. 农村人居环境整治的研究现状及展望[J]. 生态经济, 2019, 35(10): 166-170.
- [2] 顾霖, 吴德礼, 樊金红. 农村生活污染综合治理模式与技术路线探讨[J]. 环境工程, 2016, 34(10): 113-117.
- [3] 齐嵘, 周文理, 郭雪松, 等. 我国农村分散型污水处理设施与设备性能评估体系的建立[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2310-2317.
- [4] 李发站, 朱帅. 我国农村生活污水治理发展现状和技术分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2020, 41(3): 74-77.
- [5] 王波, 刘春梅, 赵雪莲, 等. 我国村镇生活污水处理技术发展方向展望[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2318-2325.
- [6] 郝晓地. 可持续污水-废物处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [7] 付昆明, 杨宗明, 刘凡奇, 等. 碳源种类对农村污水反硝化过程脱氮效果的影响[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2331-2338.
- [8] 何国钢, 肖国仕. UCT工艺在工业园区污水处理厂的应用[J]. 中国给水排水, 2012, 28(24): 45-48.
- [9] 王斯坦, 刘星, 刘志斌. UCT工艺脱氮除磷效果[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2009, 28(S2): 140-142.
- [10] 冯云刚, 刘新安, 高荣宁, 等. UCT工艺在西安鱼化污水处理厂的设计应用与调试[J]. 中国给水排水, 2019, 35(24): 66-69.
- [11] 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, 11(3): 1445-1449.
- [12] 李新艳, 李恒鹏, 杨桂山, 等. 江苏太湖地区农村生活用水量空间差异及污水去向[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(2): 158-165.
- [13] 张亚平, 王海芹, 印杰, 等. 太湖流域农村生活污水处理技术模式调查和分析——以江苏省为例[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(5): 483-491.
- [14] 阮晓卿, 蒋岚岚, 陈豪, 等. 江苏不同地区典型农村生活污水处理适用技术[J]. 中国给水排水, 2012, 28(18): 44-47.
- [15] 石崇, 杨鑫, 邓文英. 邹区镇水环境质量现状及排放特征研究[J]. 中国

- 资源综合利用, 2018, 36(5): 132-135.
- [16] 江苏省环境保护厅, 江苏省住房和城乡建设厅. 村庄生活污水治理水污染物排放标准: DB32/T 3462—2018[S]. 中国标准出版社, 2018.
- [17] 张园, 罗固源, 许晓毅, 等. UCT工艺进水COD浓度与C/N对除磷效果的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(8): 1846-1850.
- [18] 韩琪, 曾环木, 唐志雄, 等. UCT脱氮除磷工艺在广东地区的应用[J]. 广东化工, 2015, 42(12): 42-43.
- [19] 乔宏儒, 孙力平, 吴振华, 等. 倒置A²O工艺和UCT工艺脱氮除磷效能比较[J]. 水处理技术, 2015, 41(12): 118-121.
- [20] 李桂荣, 王立军, 杜春山, 等. UCT工艺处理低C/N值城市污水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(9): 101-104.
- [21] 王田天, 周伟, 刘兴, 等. 改良AAO一体化设备处理农村生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(7): 75-79.
- [22] 迟娟, 姜勇, 袁训珂, 等. 福创溪-大排沟黑臭水体一河一策治理工程[J]. 环境工程学报, 2019, 13(2): 496-504.
- (责任编辑: 靳炜)

Application of modified UCT process in decentralized rural sewage treatment

YOU Li, LIU Ping, HU Chunming*

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental, Beijing 100085, China

Abstract The COD concentration of most domestic rural sewage is lower than that of the design influent, leading to insufficient carbon source in the removal of nitrogen and phosphorus. Besides, the TN and TP concentration of the influent sewage fluctuate greatly, which makes it difficult for existing technologies to achieve stable removal effect of phosphorus and nitrogen. Based on the modified UCT process, an integrated rural sewage treatment system was developed and applied in Changzhou City, Jiangsu Province. The system can completely separate the denitrification of the sludge and that of the mixture, ensuring the efficiency of denitrification and further reducing the amount of nitrate entering the anaerobic zone. The system has been operated stably for over two years. The average removal efficiencies of COD, NH₃-N, TN and TP were 87.8%, 94.5%, 72.9% and 83.9%, respectively, and the effluent met with the Class I-A standard according to the Discharge standard of water pollutants for rural domestic sewage treatment (DB32/T 3462—2018). The case study can provide a reference for technology selection and operation of rural decentralized sewage treatment.

Keywords rural sewage; carbon source; nitrogen and phosphorus removal; modified UCT process; integrated sewage treatment system