

厌氧-接触氧化-砂滤组合工艺处理洱海流域 农村生活污水的试验研究

吕兴菊, 孟 良

(中国大理洱海湖泊研究中心, 云南 大理 671000)

摘要: 采用厌氧-接触氧化-砂滤组合工艺处理小水量的农村户型生活污水, 厌氧工序作为预处理, 通过水解酸化作用提高污水的生化性, 进入好氧接触氧化工序去除有机物及氮, 并按除磷脱氮要求设置回流、排泥装置, 后端设置砂滤组合, 通过过滤、吸附及生化作用, 进一步去除磷等污染物. 试验结果表明, 该工艺对 COD 去除率达到 80.00%, TP 去除率达到 40.39%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率达到 53.12%.

关键词: 农村生活污水; 厌氧; 接触氧化; 砂滤

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)04-0093-05

Anaerobic-Contact Oxidation-Sand Filtration Deal洱海 Lake Basin of Countryside Household Sewage Study

LV Xing-ju MENG Liang

(Erhai Lake Research Center of China Dali Yunnan 671000 China)

Abstract A combined process of anaerobic, contact oxidation and sand filtration is employed in small amount of water treatment of countryside household sewage. A anaerobic process is taken as a pretreatment to increase the biodegradability of the sewage through hydrolysis acidification. The aerobic contact oxidation process is then used to remove organic matter and nitrogen, with reflux and mud removal equipments to meet the requirements of phosphorus and nitrogen removal. Finally, sand filter is set to remove the pollutants through filtration, adsorption and biochemical effects. It is shown through the results that the COD removal rate is 80.00%, TP removal efficiency 40.39%, and $\text{NH}_3\text{-N}$ removal rate 53.12%.

Key words rural domestic sewage; anaerobic; contact oxidation; sand filtration

0 引言

随着人民生活水平的不断提高和城市化发展趋势日益增强, 洱海流域农村和城镇的生活污水已经成为洱海污染的一个重要源头. 通过对洱海流域农村污水状况的调查, 尤其农村自来水化的逐渐形成, 一些村庄和农户普及楼房、太阳能洗浴、抽水马桶、厨房革命等城市化设施, 使得家庭用水量大大增加, 导致生活污水的排放对环境的危害越来越大, 尤其是加剧了对洱海的污染, 因此, 研究推广农村分散型污水处理技术是保护洱海的一项重要举措. 针对农村生活污水具有排水量少, 所含有机物浓度偏高, 日变化系数大, 间歇排放等特点, 结合农村分布分散的特征造成排放点分散, 污水收集管网难以配套的实际情况, 采用户型污水处理系统处理农户生活污水就有很大优势. 单纯厌氧无动力处理生活污水对 $\text{NH}_3\text{-N}$, PO_4^{3-} 很差,

收稿日期: 2010-04-16 基金项目: 该文为“2009年大理州环保局户型污水创新研究项目”阶段性研究成果.

作者简介: 吕兴菊 (1970.4-), 女, 环评师. 主要研究方向: 水污染控制技术、湖泊水环境保护.

E-mail: kjhd@sina.com

对有机物的处理效果也不佳,很多地区已暂停推广使用^[1]。而在厌氧作为预处理加好氧处理则可大大提高对有机物的去除率,其中接触氧化工艺的微生物浓度高,具有丰富的生物相,并且其填料上的微生物受环境影响小,工艺运行稳定,尤其适合小水量处理,在我国已被广泛应用^[2],据中国农村生活污水分散式处理工艺技术应用调查表明,接触氧化工艺占 23%^[4]。而针对小水量、间歇排放的农村户型污水,采用厌氧-接触氧化-砂滤组合工艺处理的研究运用不多,因此,笔者单位自去年下半年研发设计该工艺装置,并选择有代表性的生活污水进行试验运行,旨在探索洱海流域农村户型污水处理新的模式,构建洱海流域生活污水处理的完整系统。

1 材料与方 法

1.1 试验废水的选取

试验废水选取大理山水环保科技有限公司驻地的厕所粪便冲洗水和洗浴废水混合液。大理山水环保科技有限公司在公司驻地工作的职工 12 人,长白班,常住职工 5 人,现有水冲式厕所 1 间,洗浴室 1 间。

1.2 设计水质及水量

经实测,污水量 0.5~0.7 m³/d 以常规生活污水水质作为试验设计指标,即进水水质 COD ≤ 400 mg/L, BOD₅ ≤ 200 mg/L, TN ≤ 35 mg/L, TP ≤ 4 mg/L, SS ≤ 200 mg/L, pH: 6~9

1.3 污水处理工艺流程

1.3.1 工艺流程

自行设计的试验装置如图 1 所示。主要运用流体力学、反应动力学及生物滤床、吸附等原理,由调节罐、2 级厌氧槽、一个好氧生物膜滤床和沉淀砂滤罐组成。采用自流进出水。由于污水特点为间歇进水、水质水量不均衡,因此设置调节罐调节水量、均衡水质。2 级厌氧预处理提高水解酸化反应速度,对好氧微生物不能降解的一些有机物进行降解或部分降解,将复杂的大分子转化为结构简单的小分子,提高污水的生化性,有效降解有机物、磷;同时污水与好氧回流硝化液混合发生反硝化反应,硝酸盐氮被还原成 N₂,溢出水体,此阶段厌氧菌释放磷。之后采用高效曝气接触氧化工序,对可生化降解物质彻底矿化,通过硝化反硝化过程提高脱氮效率,进一步削减磷,SS 后端采用砂滤生物净化组合,通过过滤吸附及生化作用,进一步去除 SS 有机物、总氮、总磷等。

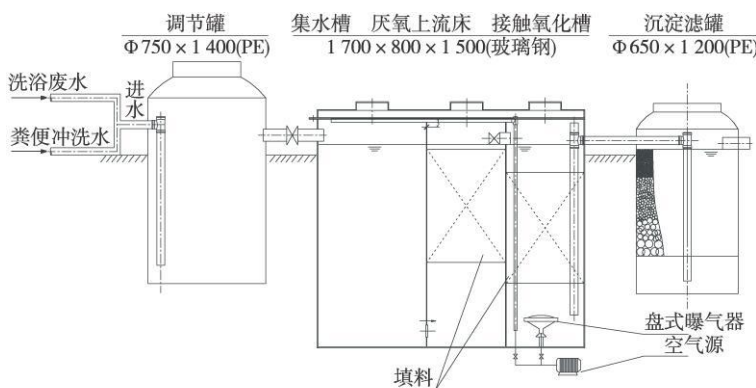


图1 “高效厌氧反应池+生物接触氧化”组合工艺试验装置
Fig.1 Integrated process test equipment of high-rate anaerobic reaction tank plus biological contact oxidation

1.3.2 工艺单元设计说明

- 1) 调节罐。有效容积 0.5 m³,水力停留时间 20 h,规格 φ750×1100 mm。壳体材质为 PE
- 2) 2 级厌氧槽。1 级为下降流,2 级为上升流,1 级空气搅拌实现全混流,2 级装有组合填料,厌氧槽与接触氧化槽之间进水管设有阀门。厌氧槽有效容积 1.2 m³ (1200×780×1300 mm),其中 1 级 0.7 m³,2 级 0.5 m³。装置材质为玻璃钢。
- 3) 接触氧化槽。该槽设有组合填料,组合填料为醛化维尼纶,底部设有 φ200 mm 盘式微孔曝气器,设计为淹没式;动力源采用 5W~8W 的 JNLA I 交直流两用可调曝气泵(1 台用于好氧曝气、1 台用于一级厌氧槽搅拌及硝化液回流用气),过滤出水管及硝化回流装置。有效容积 0.45 m³ (450 mm×780 mm×1280 mm),设计停留时间 21 h,气水比 20:1。装置材质为玻璃钢。

4) 沉淀砂滤罐. 接触氧化槽出水经过滤罐进入罐下部进一步沉淀, 罐体 $\phi 650 \times 800 \text{mm}$, 罐内装有不同粒度的石灰石、火山石、钢渣、硅藻精土、活性炭等填料, 逆水流方向反粒径分层装填. 壳体材质为 PE.

1.4 调试及运行方式

物接触氧化池挂膜, 在挂膜之前, 先对污水中的 N、P 含量进行分析, 按 $\text{BOD}_5:\text{N}:\text{P}=100:5:$ 的比例核算 N、P 含量是否满足微生物生长的需要. 若不满足, 应在污水中添加氮肥或磷酸盐调节 N、P 后进行挂膜操作, 这样可加快挂膜^[5].

第 1 次挂膜: 在正常进水的情况下, 投入脱水污泥, 按 $3\ 000 \text{mg/L}$ 投放, 历经数日, 挂膜效果不明显, 好氧段溶解氧低, 约 0.5mg/L . 分析原因属进水水质水量都不均衡, 而小水量系统对水质、水力负荷变化敏感, 耐冲击力差, 系统还需改进, 因此分别在调节池出口、好氧工序前加装阀门控制进水量, 加装过滤网隔渣.

第 2 次挂膜: 注满污水, 接种污泥来自大理市污水处理厂的活性污泥, 闷曝 24 h 后逐日增加进水量, 约 5 天后正常进水, 数天后观察到组合填料表面上出现一层灰褐色的半透明生物膜, 之后, 膜的厚度由薄变厚, 颜色为黄褐色, 出水渐清, COD_{cr} 约 100mg/L , 曝气池 DO 值稳定在 2mg/L 左右, 此时挂膜完成, 进入稳定运行, 挂膜时间约 10 天.

1.5 主要水质指标测定

COD_{cr} 采用微波消解法测定, 微波炉 + 消解罐, 华南环科所; DO: 雷磁 GPB-607 便携式溶解氧仪, 上海精密科学仪器有限公司; BOD_5 : CY-II 差压式直读 BOD 测定装置, 广东省医疗器械厂. 各种化学药品均采用专业厂家生产的分析纯以上的试剂.

2 结 果

2.1 试运行期间主要水质指标 COD_{cr} 和 DO 的变化

装置于 2009 年 9 月 19 日投入运行, 试运行期间跟踪监测装置的进水和出水 COD_{cr} 浓度变化、接触氧化槽 DO 变化, COD_{cr} 及 DO 浓度监测值见表 1, DO 浓度值与 COD_{cr} 去除率关系见图 2

表 1 COD_{cr} 及 DO 监测结果统计表

Tab. 1 Table of COD_{cr} and DO monitoring results

| 日期 | DO 浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | COD_{cr} | | | 日期 | DO 浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | COD_{cr} | | |
|------------|---|--|--|------------|------------|---|--|--|------------|
| | | 进口浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 出口浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 去除效率 /% | | | 进口浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 出口浓度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 去除效率 /% |
| 2009-9-19 | 0.4 | 310 | 238 | 23.23 | 2009-11-03 | 2.2 | 410 | 105 | 74.39 |
| 2009-9-20 | 0.5 | 380 | 241 | 36.58 | 2009-11-13 | 2.3 | 482 | 110 | 77.18 |
| 2009-9-24 | 0.5 | 397 | 256 | 35.52 | 2009-11-19 | 2.2 | 486 | 86 | 82.30 |
| 2009-9-27 | 0.9 | 402 | 238 | 40.80 | 2009-11-27 | 2.5 | 646 | 142 | 78.02 |
| 2009-10-10 | 2.3 | 425 | 117 | 72.47 | 2009-12-04 | 2.6 | 502 | 105 | 79.08 |
| 2009-10-12 | 2.5 | 413 | 110 | 73.37 | 2009-12-11 | 2.8 | 477 | 94 | 80.29 |
| 2009-10-15 | 3.2 | 409 | 74 | 81.91 | 2009-12-18 | 2.6 | 580 | 131 | 77.41 |
| 2009-10-19 | 2.1 | 266 | 74 | 72.18 | 2009-12-25 | 2.7 | 499 | 97 | 80.56 |
| 2009-10-21 | 3.0 | 469 | 102 | 78.25 | 2010-1-08 | 3.0 | 472 | 85 | 81.99 |
| 2009-10-28 | 2.1 | 472 | 144 | 69.49 | 2010-1-14 | 2.8 | 450 | 81 | 82.00 |

根据表 1 的数据, 用不同的模型拟合 DO 与 COD_{cr} 去除率之间的曲线关系, 数据拟合采用 Microsoft Excel 2003 版软件.

多项式关系: $y = -6.8797x^2 + 43.614x + 11.907$ $R^2 = 0.9661$

对数关系: $y = 27.684 \ln(x) + 51.775$ $R^2 = 0.9614$

乘幂关系: $y = 46.926x^{0.5415} \quad R^2 = 0.9497$

线性关系: $y = 20.095x + 25.936 \quad R^2 = 0.9077$

结果表明,多项式关系能够最好地拟合 DO 与 COD 去除率之间的曲线关系图 2 DO 大于 1.8 时, COD 去除率稳定在 70% 以上,其表明在 DO 满足的情况下,有机物的降解效率明显提高。

2.2 稳定运行期间对氮、磷及有机物的去除效果

监测期间参数: 污水量 $0.65 \text{ m}^3/\text{d}$ 水温 $11.7 \sim 14^\circ\text{C}$, 厌氧处理单元 DO $0.2 \sim 0.4 \text{ mg/L}$, 好氧处理单元(曝气池) DO $2.0 \sim 2.8 \text{ mg/L}$

经过 5 个月的运行,由大理市环境监测站对各个处理单元进行监测,连续取样 2 天,每 2 h 取样 1 次,各水质指标平均值如表 2

根据表 2 计算得出各处理单元对污染物的去除效率,见表 3

2.3 经济指标分析

该项目处理水量 $0.5 \sim 0.7 \text{ m}^3$, 满足 1 户 5 ~ 6 人生活污水处理要求,总投资约 3 000 元/套,即建设成本约为 $5\,100 \sim 6\,000 \text{ 元}/\text{m}^3$ (未计管网)。经监测计算,运行能耗为 $0.34 \sim 0.48 \text{ kW h}/(\text{m}^3 \cdot \text{天})$, 电费为 $0.17 \sim 0.24 \text{ 元}/(\text{m}^3 \cdot \text{天})$ 。

3 讨论

1) 该组合工艺处理户型生活污水,试验效果优于无动力纯厌氧污水处理系统。

从表 4 可知,其去除效果明显优于洱海流域示范推广的庭院式无动力纯厌氧工艺系统。半年来,该系统运行正常,处理效果稳定,试制成功。

2) 对氮、磷去除的分析

碳源的数量是影响生物除磷脱氮的一个重要因素,一般情况下,水质满足 $\text{BOD}_5:\text{N}:\text{P} = 100:5:1$ 要求时其对氮、磷去除效果好。根据监测结果分析,试验用厕所粪便水的 $\text{NH}_3 - \text{N}$, TP 高于常规生活污水,而从 COD_{Cr} 推算出 BOD_5 偏低,说明污水中有机物、氮、磷不平衡,导致系统对 $\text{NH}_3 - \text{N}$, TP 去除效果受制约。若处理标准的生活污水, $\text{NH}_3 - \text{N}$, TP 去除率会更高。

表 4 本试验装置与洱海流域纯厌氧的户型污水处理系统去除效果比较表

Tab. 4 Comparison of test system and the Erhai Lake Basin pure anaerobic wastewater treatment system

| 类型 | 砖混式 / 砂滤组合 | 玻璃钢普尔顿式 / 砂滤组合 | 玻璃钢马来西亚式 | 本试验装置 |
|-----|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 去除率 | $\text{COD}_{\text{Cr}}: 23.93$ | $\text{COD}_{\text{Cr}}: 31.78$ | $\text{COD}_{\text{Cr}}: 13.68$ | $\text{COD}_{\text{Cr}}: 80.00$ |
| % | TN: 0.70 | TN: 0.00 | TN: 3.20 | $\text{NH}_3 - \text{N}: 53.12$ |
| | TP: 32.84 | TP: 43.87 | TP: 3.80 | TP: 40.39 |

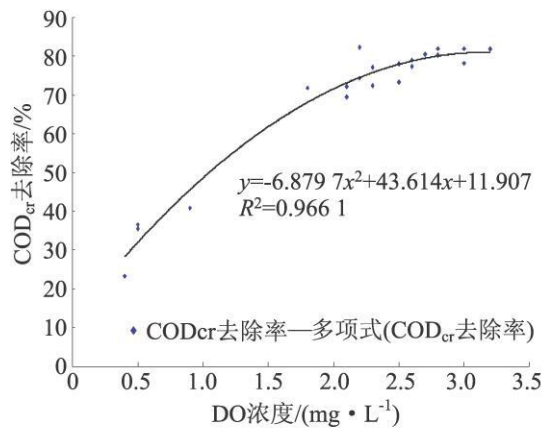


图 2 DO 值与 COD 去除率关系图
Fig.2 DO value and the COD removal rate diagram

表 2 水质监测结果表

Tab. 2 Water quality monitoring results table

| 项目 | 污染物浓度平均值 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | | | |
|--------------------------|---|--------|--------|---------|
| | 进水 | 厌氧池出口 | 曝气池出口 | 沉淀砂滤池出口 |
| COD_{Cr} | 363.60 | 145.44 | 105.04 | 72.72 |
| TP | 14.36 | 11.36 | 9.89 | 8.56 |
| $\text{NH}_3 - \text{N}$ | 104.6 | 82.55 | 58.13 | 49.04 |

表 3 污染物去除率统计表

Tab. 3 Pollutant removal rate

| 项目 | 进口至各处理单元对污染物的去除率 % | | |
|--------------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | 进口 - 厌氧池出口 | 进口 - 好氧池出口 (曝气池) | 进口 - 沉淀砂滤池出口 (排水) |
| COD_{Cr} | 60.00 | 71.11 | 80.00 |
| TP | 20.89 | 31.13 | 40.39 |
| $\text{NH}_3 - \text{N}$ | 21.08 | 44.43 | 53.12 |

3) 接触氧化工序容积极高, 有利于降低池容, 减少占地面积。

布气采用在填料下直接布气, 生物膜受上升气流的冲击、搅动, 加速脱落、更新, 使其经常保持较高的活性; 此外, 生物膜上大量生长的丝状菌能够充分发挥氧化分解有机物的能力, 这使得其容积极高较其它工艺高。

4) 试验装置存在的问题及改进措施。接触氧化槽为长方形平底, 存在曝气不均匀现象, 也不利于积泥, 回流效率低; 厌氧系统敞开, 厌氧效果不理想。改进措施: 曝气池底改为锥形底利于积泥; 厌氧系统封闭; 寻求效率更高更好的曝气头。以上措施完成后, 预期对有机物、氮、磷的去除率可进一步提高。

5) 针对目前我国大多数农村经济落后, 环保意识不强, 污水处理工程无论大小, 基本是政府投资建设, 但运行费用不落实, 运行难, 谁污染谁付费治理机制未建立, 在过渡阶段, 对于洱海流域宜采取运行费用以政府补助为主, 农户出资部分的方式推广使用该微动力污水处理装置。

4 结 论

1) 采用厌氧/接触氧化/砂滤组合工艺处理小水量的农村户型生活污水, 系统运行稳定, 对 COD 去除率达到 80.00%, TP 去除率达到 40.39%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率达到 53.12%, 可有效削减水污染负荷。

2) 该污水处理装置微动力曝气, 产泥量少, 管理简单, 电费 0.17~0.24 元/($\text{m}^3 \cdot \text{天}$), 投资及运行费用在同类设施中属于较低, 尤其适用于地处饮用水水源地保护区、重点流域等环境敏感区域的分散居住的农村生活污水治理, 在改进措施实施后可在洱海流域推广使用。

参考文献:

- [1] 刘大银, 毕亚凡, 孙公圣, 等. 地理式无动力生活污水处理装置典型抽检与分析 [J]. 环境保护, 2002, 10(4): 45-47
- [2] 徐亚同, 史家梁, 张明. 污染控制微生物工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001
- [3] 田建开, 张文俊. 二段生物接触氧化法处理城市污水 [J]. 中国给水排水, 2003, 11(4): 64-65
- [4] 蒋克彬, 彭松, 张小海, 等. 农村生活污水分散式处理技术及应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009
- [5] 王琳, 王宝贞. 分散式处理技术与回用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 192-193
- [6] 洪臣, 杨向平, 涂兆林. 城市污水处理厂运行控制与维护 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 104-106
- [7] 于尔捷, 张杰. 给水排水工程快速设计手册 2: 排水工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996