

好氧/缺氧循环 SBR 工艺处理屠宰废水的脱氮研究

王智峰¹, 高 湘¹, 董宏宇², 甄卓文²

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西西安 710055;

2. 新绿环保实业发展总公司, 广东江门 529100)

[摘要] 采用好氧/缺氧循环 SBR 工艺对屠宰加工废水进行处理, 通过增加循环次数、调整运行工况实现了废水氨氮指标的稳定达标排放, 为进一步提高传统 SBR 处理工艺的脱氮效率提供了一种有效方法。在进水平均氨氮为 109 mg/L 时, 最终出水氨氮低于 10 mg/L, 平均去除率为 97%, COD 平均去除率为 90%, 均达到广东省《水污染排放限值》(DB 44/26—2001) 第二时间段一级标准。

[关键词] 屠宰加工废水; SBR 工艺; 好氧/缺氧循环; 脱氮

[中图分类号] X703.1 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2015)03-0082-05

Study on the removal of nitrogen from slaughter wastewater by circulating aerobic/anoxic circulation SBR treatment process

Wang Zhifeng¹, Gao Xiang¹, Dong Hongyu², Zhen Zhuowen²

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xinlv Environmental Industrial Development Corporation, Jiangmen 529100, China)

Abstract: The circulating aerobic/anoxic circulating SBR process has been used for treating slaughter-process wastewater. By increasing the cycle index and adjusting the operation conditions, the indexes of ammonia nitrogen of the wastewater can reach the discharge standard stably. The process provides a kind of effective method for further improvement of nitrogen removing efficiency of traditional SBR process. The results show that when the average of influent ammonia nitrogen is 109 mg/L, the final effluent ammonia nitrogen content is below 10 mg/L, the average removing rate of ammonia nitrogen is 97% and average COD removing rate is 90%. All of them can reach the second period level of the first class discharge standard of the Water Pollution Discharge Limits of Guangdong Province (DB 44/26—2001).

Key words: slaughterprocess wastewater; SBR process; circulating aerobic/anoxic circulation; nitrogen removal

随着人们生活水平的不断提高, 屠宰行业得到迅速发展, 产生的废水排放量也越来越大, 成为有机污染尤其是氮污染的最大工业污染源之一^[1]。屠宰加工废水中含有大量血污、油脂质、内脏杂物、未消化的食料、粪便等污染物, 其有机物浓度高, 成分复杂, 污染物中所含有的蛋白质、尿素、尿酸、脂肪和碳水化合物会通过厌氧、好氧微生物的氨化作用进一步转化为高浓度的氨氮, 高浓度的屠宰加工废水经传统 SBR 工艺处理后氨氮指标往往难以达到排放标准。经分析认为, 关键在于没有根据实际水质对 SBR 处理工艺采取切实可行的调控措施^[2]。

传统的 SBR 工艺分为进水、曝气、沉淀、排水和闲置等五个阶段, 其中曝气阶段通常采用连续曝

气的方式。笔者从调整曝气方式着手, 通过采用曝气(好氧)/搅拌(缺氧)循环交替的间断曝气方式, 探讨对有机物、氨氮和 TN 的去除效果的影响。通过分析有机物、氨氮和 TN 等污染指标逐时降解特性和 pH 变化^[3], 确定了好氧/缺氧循环 SBR 工艺运行模式和控制参数, 最终获得了一种进一步提高传统 SBR 工艺脱氮率的方法, 以期在传统 SBR 工艺改造和好氧/缺氧循环 SBR 工艺的工程应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验采用的 SBR 反应器内径为 200 mm、高度 500 mm, 有效容积为 10 L。试验过程中充水比为

50%。反应器的气源为 ACO 电磁式空气压缩机,采用空气流量计控制曝气量和 DO 浓度。好氧时采用砂芯曝气头曝气充氧,缺氧时进行机械搅拌。反应器按照进水、好氧/缺氧、沉淀和排水方式运行。利用可编程时间控制器控制好氧和缺氧循环,还可根据需要设定各段的运行时刻。利用在线 pH 仪监测反应过程 pH 变化,利用便携式 DO 仪定时测定 DO。试验过程均在室温下进行。SBR 装置见图 1。

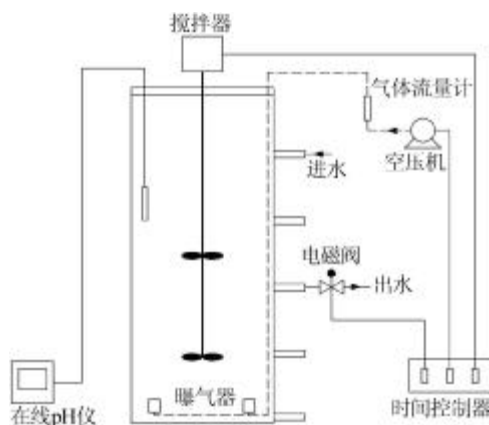


图 1 SBR 试验装置

1.2 废水来源

试验用水取自江门市某肉类联合加工厂污水处理站经厌氧处理后出水。试验进水 COD 为 327~766 mg/L, 氨氮为 61~130 mg/L, pH 为 6.5~7.5, 碱度(以 CaCO_3 计)为 590~680 mg/L。

1.3 污泥驯化和试验方案

接种污泥取自该肉联厂污水站活性污泥沉淀池,取回后将污泥加入 SBR 反应器中进行培养驯化约 2 周后,按照好氧/缺氧单循环 SBR 模式运行,运行条件为 HRT=13 h,其中好氧曝气 10 h、缺氧搅拌 2 h、沉淀排水 1 h,DO 维持在 3~4 mg/L。经过半个月的培养、驯化,出水 COD 和氨氮无降低趋势,出水各项指标维持稳定,至此可认为污泥驯化结束,开始投入试验。此时污泥沉降比为 25%~35%,MLSS 为 4~5 g/L。

在好氧/缺氧单循环 SBR 模式下运行一定周期之后,连续对其中多个周期进行逐时采样,分析污染物逐时变化情况。在获得可靠数据后,将 SBR 运行模式调整为好氧/缺氧多循环模式,根据 COD、氨氮和 pH 等参数逐时变化曲线确定循环次数及好氧段和缺氧段历时,最后在确定好氧/缺氧阶段历时、循环次数等参数的基础上运行多个周期以验证该工艺

的可靠性。

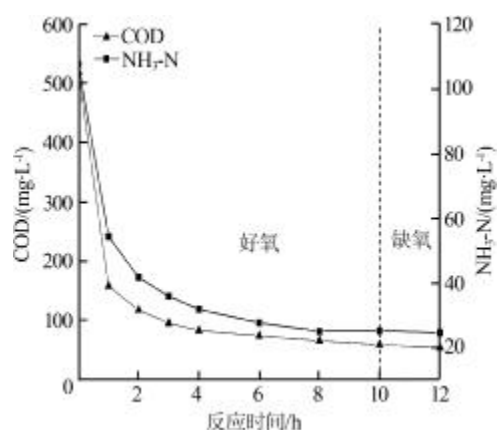
1.4 检测分析项目

pH: KOMMA200 在线 pH 仪;溶解氧: 雷磁便携式溶解氧测定仪;SV: 量筒法;MLSS: 滤纸重量法;水温: 水银温度计。COD、氨氮、TN、TKN、 NO_3^- -N 等采用国家标准测定方法测定^[4]。

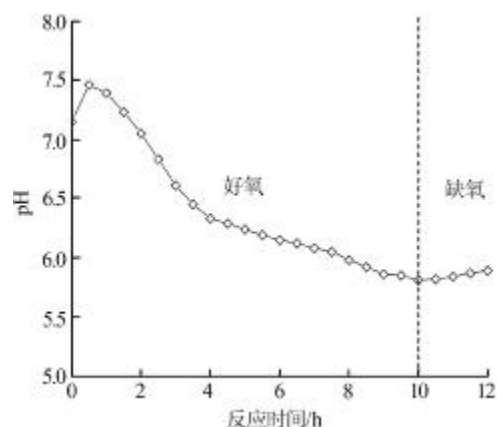
2 结果与讨论

2.1 好氧/缺氧单循环 SBR 工艺试验结果分析

好氧/缺氧单循环 SBR 工艺处理屠宰加工废水过程中,根据逐时采样数据绘制一个反应周期内 COD 和氨氮的逐时去除曲线,见图 2。试验进水 COD、氨氮和 TN 平均质量浓度分别为 519、107、142 mg/L,反应初始 MLSS 为 4 300 mg/L,水温 24~26 °C,进水碱度 645 mg/L。



(a) COD、氨氮浓度的变化



(b) pH 的变化

图 2 单循环 SBR 工艺运行方式下的试验结果

如图 2(a) 所示,在混合稀释、吸附和氧化降解等作用下^[5],COD 和氨氮浓度在进水后迅速下降,反应时间 2 h 时,COD 和氨氮分别降至 118、42 mg/L,之后随着时间延长,COD 和氨氮降解速率趋于平

缓。将好氧硝化时间划分三个时段进行讨论,即 0~4 h、4~8 h、8~10 h。结合图 2(b)分析,在开始曝气的 0~4 h 内,硝化反应快速进行,氨氮浓度降低较快,pH 则先上升到一定值后才开始下降,这是因为开始曝气 0.5 h 内微生物代谢所产生的 CO_2 被吹脱,同时废水中的有机酸也得到去除^[2],导致 pH 在初始阶段上升至 7.46。曝气 2 h 以内,由于碱度充足,pH 只因硝化反应消耗碱度、产生 H^+ 而缓慢下降。随着碱度的消耗,硝化反应促使 pH 下降加快;曝气 4 h 时,系统中的碱度已低于 100 mg/L,所以在曝气 4~8 h 期间,碱度不足导致硝化反应进行缓慢,氨氮和 pH 下降速率逐渐放缓;曝气 8~10 h 期间,氨氮几乎维持在 25 mg/L,高于排放标准值(≤ 10 mg/L)。此时系统中 pH 低于 6,碱度低于 50 mg/L,硝化反应无法继续进行。试验中 COD 在反应 8 h 后即达到排放标准,所以可将硝化时间缩短为 8 h。在后续进行的 2 h 缺氧反硝化过程中,由于曝气后的混合液中有有机物已基本被降解,反硝化反应所需碳源不足而受到抑制,pH 也只是略有回升,最终出水 TN 为 56 mg/L,去除率较低。

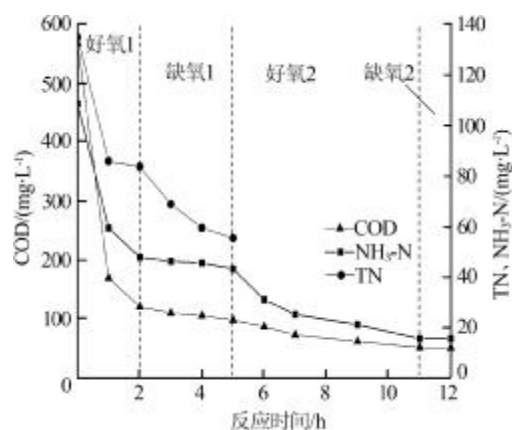
按照理论计算,硝化过程中每氧化 1 mg/L 的氨氮为硝态氮需消耗 7.07 mg/L 的碱度^[6]。对照试验废水水质,可以计算出进水氨氮完全被氧化所需碱度的理论值为 760 mg/L,而进水实际碱度只有 645 mg/L,不能满足硝化过程对碱度的需求。

可见,在原水氨氮浓度较高、碱度相对不足的情况下,想要通过好氧/缺氧单循环 SBR 工艺后实现氨氮达标排放存在困难。考虑到可以利用硝化和反硝化反应本身特性来平衡碱度需求,对 SBR 工艺提出交替硝化反硝化运行的改进方式,即循环好氧/缺氧 SBR 工艺^[7-8]。

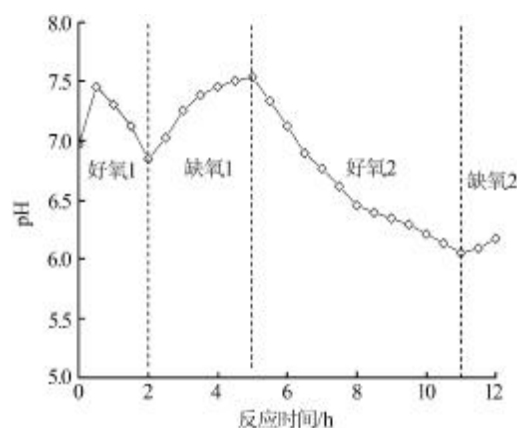
2.2 好氧/缺氧双循环 SBR 工艺试验结果分析

为了实现好氧硝化和缺氧反硝化之间碱度的平衡,首次硝化反应以 pH 下降 0.4~0.5 来控制好氧时间,每次缺氧反硝化都根据 pH 曲线上拐点的出现控制缺氧时间^[9]。从好氧/缺氧单循环 SBR 工艺试验检测结果可以看出,在经历最初连续 2 h 曝气后,pH 降低幅度恰好符合这一范围,并且此时反应器内剩余有机物含量较高,反硝化反应所需碳源较充足,因此确定首段好氧时间为 2 h。为确保后续反硝化反应进行彻底和最终有机物被高效去除,初步确定后续缺氧 1 和好氧 2 阶段时间分别为 3、6 h。SBR 工艺经调整后的运行模式和工况为:好氧曝气

2 h+缺氧 3 h+好氧 6 h+缺氧 1 h+沉淀排水 1 h,即好氧/缺氧双循环 SBR 工艺。在系统运行稳定后,对 1 个周期进行逐时采样,绘制出 COD、氮含量和 pH 逐时变化曲线,见图 3。为了解反硝化过程中 TN 的去除情况,定时检测了反硝化过程中 TN 含量。试验进水 COD 为 566 mg/L,氨氮质量浓度为 108 mg/L,pH=6.96。



(a) COD、氨氮和 TN 的变化



(b) pH 的变化

图 3 好氧/缺氧双循环 SBR 工艺的试验结果

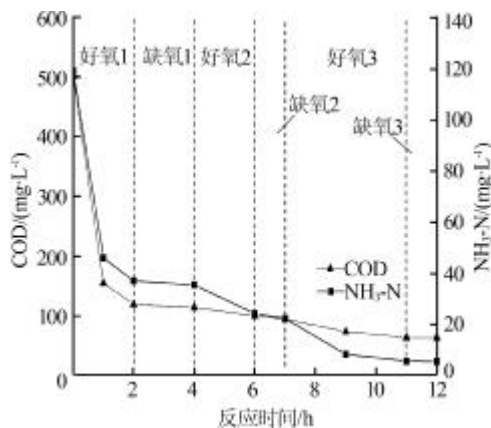
从图3(a)可以看出,与单循环 SBR 工艺相比,好氧/缺氧双循环 SBR 工艺的出水水质有了明显提高,氨氮去除率达到 86%,较前者提高 12%,这主要是由于缺氧 1 阶段产生的碱度恰好被后续好氧 2 阶段所利用,弥补了原水碱度不足的弊端。如图 3(b)所示,pH 在反应初期同样先上升后下降,好氧 1 阶段结束时 pH 的降低幅度为 0.61,略大于 0.4~0.5。进入缺氧 1 阶段后,随着反硝化反应的进行,pH 开始出现回升并在反应 4 h 时趋于稳定,同时 TN 的下降速率也出现放缓,这表明反应 4 h 时反硝化反应已基本停止,因此可以将缺氧 1 阶段时间减少为 2 h。

由于反应器内碱度得到补充、pH 升高,反应条件再次利于硝化反应的进行,所以氨氮浓度在好氧 2 阶段初始迅速降低,但随着碱度被消耗,氨氮降低速率很快下降。经过后续反应,最终出水氨氮质量浓度为 15.4 mg/L,仍不能达到排放标准的要求。究其原因为好氧 1 阶段历时较短,当其结束时反应器内的硝态氮质量浓度为 19 mg/L(TN 与 TKN 之差值),可供后续缺氧 1 阶段反硝化反应的基质含量有限,产生的碱度还不能促进全部氨氮去除。但从单循环 SBR 工艺试验结果(图 2)可知,增加好氧 1 阶段曝气时间后,剩余有机物含量又会过低,影响反硝化反应的效果。系统内碳源、碱度的平衡被破坏,更加不利于提高脱氮效率。

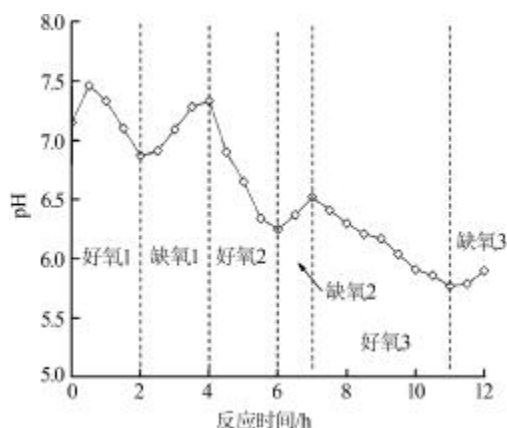
综合上述分析,好氧/缺氧双循环 SBR 对氨氮的去除效果较单循环 SBR 工艺有了明显提高,但处理后的出水氨氮指标仍不能满足现行排放标准。为实现脱氮过程中碳源和碱度的平衡、进一步提高脱氮效率,决定在缺氧 1 阶段之后再增加一次好氧/缺氧过程,即好氧/缺氧三循环 SBR 工艺。

2.3 好氧/缺氧三循环 SBR 工艺试验结果分析

参考好氧/缺氧循环 SBR 工艺的控制策略,如果好氧/缺氧循环次数超过 2 次,则中间每次硝化的 pH 下降幅度可选择为 0.8~1.0^[9]。好氧/缺氧双循环 SBR 工艺试验中好氧 2 阶段开始 2 h 内的 pH 降低幅度(1.08)恰好接近此区间,所以初步确定增加的好氧阶段时间为 2 h。好氧/缺氧三循环 SBR 工艺的运行条件为:好氧曝气 2 h+缺氧搅拌 2 h+好氧 2 h+缺氧 1 h+好氧 4 h+缺氧 1 h+沉淀排水 1 h,其余条件保持不变。经过约 1 周运行后出水效果稳定,同样绘制一个周期内 COD、氨氮和 pH 的逐时变化曲线,见图 4。试验进水 COD 为 501 mg/L,氨氮质量浓度为 119 mg/L, pH=7.15。



(a) COD、氨氮浓度的变化



(b) pH 的变化

图 4 好氧/缺氧三循环 SBR 工艺的试验结果

由图 4(a)可以看出,经过好氧/缺氧三循环 SBR 工艺处理后出水氨氮质量浓度为 5 mg/L,氨氮去除率达到 96%,低于排放标准值。缺氧 1 和缺氧 2 阶段的反硝化反应在碳源充足的环境下产生了大量碱度,促进后续好氧 2 和好氧 3 阶段的硝化过程中氨氮下降速率加快,由图 4(b)可知相应 pH 也出现 2 次回升,均促进硝化反应的进行^[10],进而使得氨氮被高效去除。在总缺氧时间不变的情况下,三循环 SBR 对 TN 去除率达到 76%,与双循环 SBR 工艺相比, TN 去除率提高近 15%。

2.4 好氧/缺氧三循环 SBR 工艺稳定运行的处理效果

为验证好氧/缺氧三循环 SBR 工艺的处理效果,进行了稳定运行试验,运行模式和工况与 2.3 节完全相同。试验在进水 COD 332~671 mg/L,氨氮 99~122 mg/L(平均 109 mg/L)条件下,连续稳定运行 3 周,处理效果良好并且稳定,氨氮平均去除率达 97%, COD 平均去除率为 90%,出水完全达到广东省《水污染排放限值》(DB 44/26—2001)第二时间段一级标准。连续运行结果见图 5。

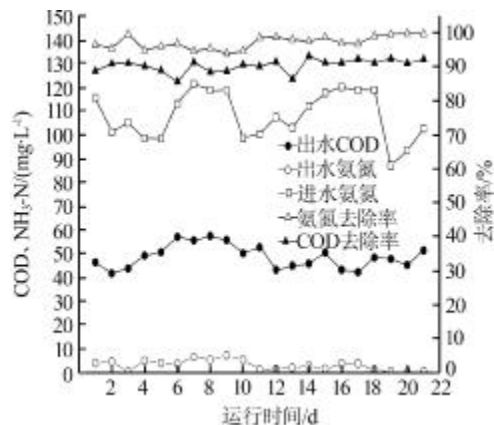


图 5 好氧/缺氧三循环 SBR 工艺的处理结果

3 结论

采用传统 SBR 工艺处理屠宰加工废水,由于不能实现系统内碳源、碱度的平衡,处理后出水氨氮指标往往不能满足排放标准的要求。通过采用好氧/缺氧三循环 SBR 工艺,可以实现 SBR 系统内碳源和碱度的自身平衡,提高生物脱氮效率,实现氨氮指标达标排放。

试验采用好氧/缺氧三循环 SBR 工艺处理屠宰加工废水,最终 COD 平均去除率为 90%,出水氨氮低于 10 mg/L,平均去除率为 97%,均达到广东省《水污染排放限值》(DB 44/26—2001)第二时间段一级标准。

当原水氨氮或有机氮含量较高时,通过增加 SBR 工艺好氧/缺氧循环次数,可以进一步提高脱氮率。由于仅需对 SBR 工艺过程的好氧(曝气)/缺氧(搅拌)循环进行时序控制,无需增加过多的控制设备,因此本方法对 SBR 工艺改造有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 付永胜,朱杰. SBR 工艺处理肉类加工废水脱氮最佳运行条件的选择[J]. 水处理技术,2005,31(12):67-71.

- [2] 付永胜. 屠宰加工废水生物脱氮工艺过程及动力学研究[D]. 成都:西南交通大学,2005.
- [3] Gao Jingfeng, Peng Yong zhen, Wang Shuying. Use of pH as fuzzy control parameter for nitrification in SBR process[J]. Appl. Environ. Biol., 2003, 9(5):549-553.
- [4] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:221-279.
- [5] 韩春威. 水解酸化—好氧工艺处理屠宰废水的试验[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [6] 唐受印,戴友芝. 水处理工程师手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005:519.
- [7] Hao O J, Huang J. Alternating aerobic-anoxic process for nitrogen removal: process evaluation [J]. Water Environment Research, 1996, 38(1):83-93.
- [8] 曾薇,彭永臻,王淑莹. SBR 工艺交替硝化反硝化运行方式的可行性研究[J]. 环境科学学报,2004,24(4):576-580.
- [9] 曾薇,彭永臻,王淑莹. 好氧/缺氧循环 SBR 工艺的脱氮研究[J]. 中国给水排水,2006,22(17):34-37.
- [10] 陈旭良,郑平,金仁村,等. pH 和碱度对生物硝化影响的探讨[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2005,31(6):755-759.

[作者简介] 王智峰(1990—),硕士。电话:15929923776, E-mail: wzf265@163.com。

[收稿日期] 2015-01-10(修改稿)

·简讯·

三部委印发《污水处理费征收使用管理办法》严禁违规减免污水处理费

财政部、国家发展改革委、住房和城乡建设部近日联合印发《污水处理费征收使用管理办法》(以下简称《办法》),自 2015 年 3 月 1 日起施行。

根据《办法》,向城镇排水与污水处理设施排放污水、废水的单位和个人,应当缴纳污水处理费。向城镇排水与污水处理设施排放污水、废水并已缴纳污水处理费的,不再缴纳排污费。向城镇排水与污水处理设施排放的污水超过国家或者地方规定排放标准的,依法进行处罚。

《办法》明确,严禁对企业违规减免或者缓征污水处理费。已经出台污水处理费减免或者缓征政策的,应当予以废止。

城镇排水与污水处理服务单位应当定期公布污水处理量、主要污染物削减量、污水处理设施出水水质状况等信息。

县级以上地方财政部门对城镇排水与污水处理服务费支出(包括污水处理费安排的支出和财政补贴资金)实行预决算管理。城镇排水主管部门应当根据城镇排水与污水处理服务费支出预算执行情况编制年度决算,经同级财政部门审核后,纳入同级财政决算。

《办法》明确,单位和个人违反《办法》规定,有下列情形之一的,依照国家有关规定追究法律责任;擅自减免污水处理费或者改变污水处理费征收范围、对象和标准的;隐瞒、坐支应当上缴的污水处理费的;滞留、截留、挪用应当上缴的污水处理费的;不按照规定的预算级次、预算科目将污水处理费缴入国库的;违反规定扩大污水处理费开支范围、提高开支标准的;其他违反国家财政收入管理规定的行为。

(王月卿供稿)

提倡绿色生活,实施清洁生产