

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.05.013

# 分散式生活污水处理设备在苏南某农村应用研究

李媛<sup>1,2</sup>, 陈英<sup>1</sup>, 黄洁琼<sup>1</sup>, 孙捷<sup>3</sup>, 程素斌<sup>2</sup>

(1. 苏州农业职业技术学院 环境工程学院, 江苏 苏州 215008; 2. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 3. 苏州首创嘉净环保科技有限公司, 江苏 苏州 215126)

**摘要:** 在苏南某村镇选取4台分散式一体化生活污水处理设备,考察化粪池的有无对出水水质的影响,并采用三维荧光光谱分析仪对污染物的去除机理进行剖析。结果表明,化粪池是生活污水处理必不可少的一环,其水解酸化作用可以加速污染物的去除,从而充分发挥一体化设备各功能段作用,保证出水水质达标。溶解性有机物的去除在有化粪池站区主要在化粪池完成,而在无化粪池站区主要在好氧池完成。由于无化粪池站区功能段缺失,需采用混凝沉淀再处理。三维荧光光谱所表征的特殊污染物质变化与COD变化呈正相关关系,可用来定性衡量污染物的去除效果。

**关键词:** 分散式; 一体化生活污水处理设备; 化粪池; 三维荧光光谱

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)05-0088-06

## Application of Decentralized Domestic Sewage Treatment Equipment in a Village in Southern Jiangsu Province

LI Yuan<sup>1,2</sup>, CHEN Ying<sup>1</sup>, HUANG Jie-qiong<sup>1</sup>, SUN Jie<sup>3</sup>, CHENG Su-bin<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Engineering, Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture, Suzhou 215008, China; 2. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Suzhou Capital Greinworth Environmental Protection Technology Co. Ltd., Suzhou 215126, China)

**Abstract:** In a village in southern Jiangsu Province, four decentralized integrated domestic sewage treatment equipments were selected to investigate whether the presence of septic tank had an impact on the effluent quality, and the mechanism of pollutant removal was analyzed by three-dimensional fluorescence spectrum. Septic tank was an essential part of domestic sewage treatment. Its hydrolysis and acidification accelerated the removal of pollutants to fully utilize the function of each unit of the integrated equipment, and ensured that the effluent quality met the discharge standards. The dissolved organic matter was mainly removed in the septic tank when there was a septic tank station, and the removal was mainly accomplished in the aerobic tank without septic tank station. Due to the lack of functional section in the area without septic tank station, coagulation and precipitation should be adopted for re-treatment. The changes of special pollutants characterized by three-dimensional fluorescence spectrum were positively correlated with the changes of COD, which could be used to qualitatively evaluate the pollutants removal performance.

**Key words:** decentralized treatment; integrated domestic sewage treatment equipment; septic tank; three-dimensional fluorescence spectrum

近年来,随着经济的发展,村镇地区生活污水的排放量越来越大,但相应的污水处理设施建设却进

度缓慢。据推算,农村每年产生的生活污水总量约  $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,并呈不断增加的趋势,造成了村镇地区河流湖泊和地下水的严重污染,水体富营养化等问题也越来越严重<sup>[1]</sup>。因此,亟需采用适当的污水处理设施对其进行处理。

与城市污水相比,村镇生活污水具有面广分散、水量相对较小、水质水量日变化及季节性差异较大等特点<sup>[2]</sup>。我国地域辽阔、村庄分散,污水难以集中处理再利用,需要采用分散式与集中式污水处理系统相结合的方法,且以分散式为主。而净化槽等一体化污水处理装置投资少、见效快,可以实现污水的就地处理和达标排放,将其在排水管网不能覆盖的地区推广使用,可以减少地表水的污染负荷<sup>[2]</sup>。因此,笔者引进了日本净化槽技术处理生活污水,通过对苏南某地区分散式生活污水处理设备进行效能评估,优化设备升级改造,在此基础上探讨了化粪池的有无对出水水质的影响,并采用三维荧光光谱技术解析污染物的去除机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 分散式生活污水处理设备

本研究所跟踪的设备处理能力为  $1 \text{ m}^3/\text{d}$ 。壳体材质为双环戊二烯(DCPD),采用一体成型工艺制成。分散式生活污水处理设备的工艺流程见图1。

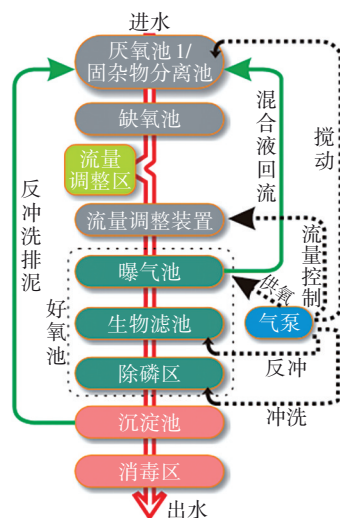


图1 分散式生活污水处理设备流程

Fig.1 Flow diagram of decentralized domestic sewage treatment equipment

设备包括厌氧区、缺氧区、曝气池、生物滤池和沉淀池五大主功能区,除磷区和消毒区为选配。其中,缺氧区内部为鲍尔环填料;好氧区投加直径为

10 mm的PE填料;生物滤池采用聚氨酯填料。供气均由一台40 L/min的气泵实现,设备内部过水采用自流及气提泵提升实现。

### 1.2 检测方法

常规水质指标COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TN、TP、pH、DO均采用国标方法检测;三维荧光光谱采用荧光光谱分析仪测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 改造内容

本研究选用4台分散式生活污水处理设备进行跟踪。由于项目前期未考虑设置化粪池,在水质跟踪过程中发现,该区域的水质达标率较低,因此选取2个站区加装  $0.66 \text{ m}^3$  化粪池,考察化粪池的有无对出水水质的影响。其中唐家浜B和唐家浜C为有化粪池站区;彭巷P和彭巷Q为无化粪池站区。

4台设备的主要改造内容均为:①提高系统供气量,由40 L/min增加至80 L/min;②缺氧区增加供气管路,形成兼氧状态,保证COD去除,从而在好氧区完成氨氮转化;③由于前期未加化粪池导致粪渣、杂物等进入设备,长期运行后造成缺氧区、过滤区填料堵塞,因此将这两部分填料掏出,重新加入PE填料或陶粒;④投加优势菌种,提高培菌效率;⑤在沉淀区后端放置过滤棉以阻隔SS,定期清洗。

### 2.2 COD去除效果

图2为各站区的COD去除效果。可知,唐家浜B和唐家浜C的进水水质波动较大,改造前这两个站区的COD去除率约60%,改造后COD均得到明显去除,两者的COD平均去除率分别为89.20%和71.35%。另外,需要注意的是,唐家浜C的曝气装置多次出现堵塞,导致该站区的COD去除率较低,修整后出水水质即可快速恢复。由此可见,设备内部微生物菌群较为多样且适应能力强。彭巷P和彭巷Q为无化粪池站区,与唐家浜站区相比,改造后这两个站区的COD去除率较低,并且稳定性差。在最近两次取样中发现彭巷P设备内部水呈蓝色,分析认为是用户使用洁厕灵引起的。洁厕灵的主要成分为盐酸,还含有微量表面活性剂、香精、缓蚀剂、助剂等,能有效消除卫生间臭味并清洁空气,对细菌繁殖体、芽孢、病毒、结核杆菌和真菌均有良好的杀灭作用。因此,彭巷P设备内部分微生物可能受洁厕灵的影响难以发挥作用。

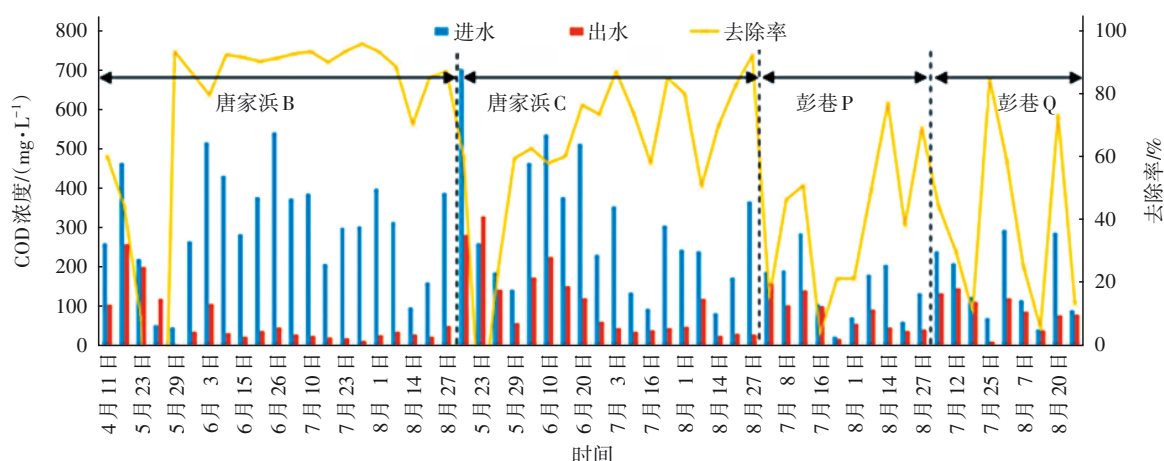


图2 各站区COD去除效果

Fig.2 COD removal effect of each station

### 2.3 氨氮去除效果

图3为各站区的氨氮去除效果。可知,改造后唐家浜B的氨氮平均去除率为82.48%。该站区进水氨氮均在40 mg/L以上,当进水氨氮浓度高达

143.6 mg/L时,去除率仍可达77.97%。改造后由于唐家浜C的曝气装置经常出现问题,设备内硝化能力不足,虽然从唐家浜B接种了污泥,但设备储泥能力较差,导致氨氮平均去除率仅为57.32%。

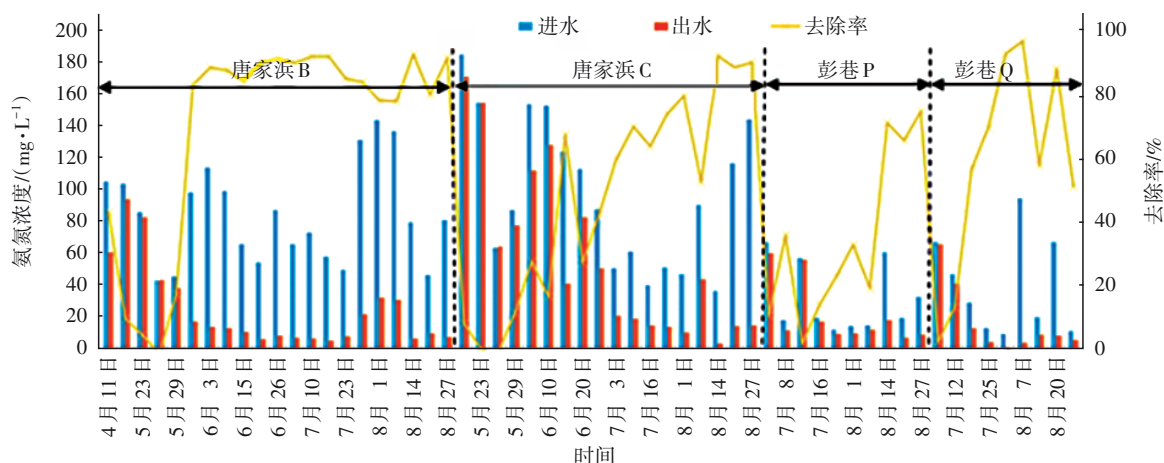


图3 各站区氨氮去除效果

Fig.3 Ammonia nitrogen removal effect of each station

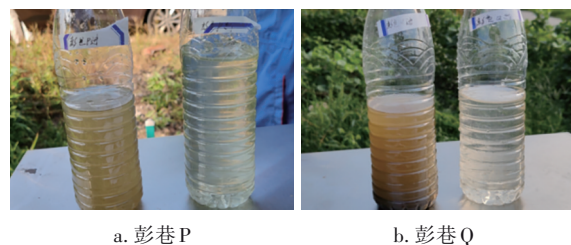
彭巷两个站区将缺氧区改为兼氧区,提高了设备内溶解氧浓度,氨氮去除率均有所上升。从进水浓度来看,彭巷P进水浓度略低,当进水氨氮浓度为14.02~60.13 mg/L时,氨氮平均去除率为52.45%;彭巷Q在进水氨氮浓度为8.65~94.45 mg/L时,氨氮平均去除率为77.12%。这也表明由于进水存在洁厕灵,导致彭巷P的硝化菌难以富集发挥作用。

值得注意的是,尽管系统设置了总氮处理区,但由于村镇生活污水进水水质波动较大,因此在实际运行中总氮去除效能较低(约30%)。

### 2.4 改造后出水感官情况

由图2和图3可知,有化粪池站区出水COD更

低,而无化粪池站区的氨氮去除率较改造前明显提高。同时,从出水感官情况来看(见图4),改造调试后站区的出水感官情况已明显提升,出水较亮但呈微黄色。因此,对水质进行了进一步分析。



a. 彭巷P

b. 彭巷Q

图4 进出水取样照片

Fig.4 Influent and effluent sampling photos



## 2.5 水质验证实验

### 2.5.1 混凝实验

对比有无化粪池站区的出水水质数据,发现无化粪池站区的水质较难提高,尤其是 COD 去除率较低,并且出水呈微黄色,分析这是由一些易溶于水但难降解的物质引起的。选取彭巷 Q 站区 9 月 5 日的水样进行混凝实验(见图 5)。

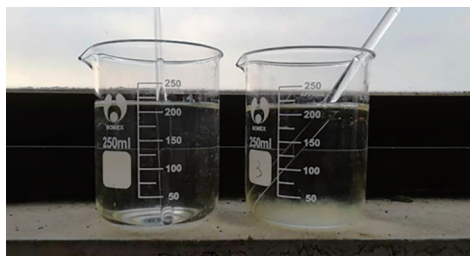


图 5 混凝实验

Fig.5 Flocculation test

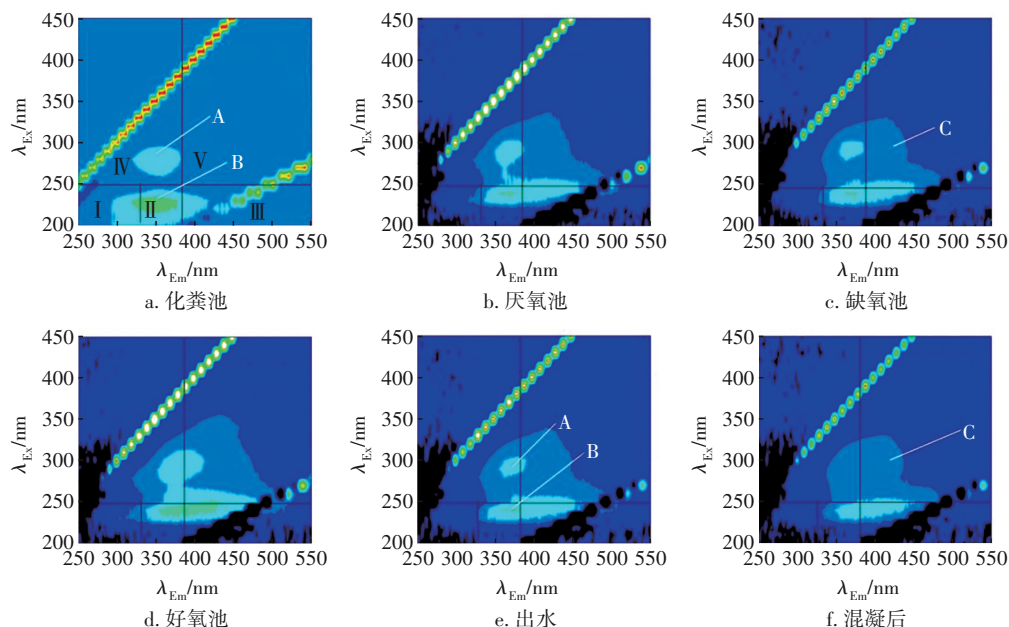


图 6 唐家浜 B 站区各隔室水样的三维荧光光谱

Fig.6 Three-dimensional fluorescence spectra of water samples in each compartment of Tangjiabang B

将这几个区域水样的荧光强度变化与 COD 变化进行对比,发现二者呈正相关关系(见表 1)。可知, A 和 B 的降解很明显,通过化粪池的水解酸化作用,去除率分别达到 87.6% 和 78.5%,此时 COD 的去除率为 75.7%;而 C 的去除率较低,仅为 43.6%,这也说明了化粪池的主要功能为去除蛋白类物质及溶解性有机污染物。付昆明等<sup>[5]</sup>的研究同样证实了化粪池的重要性,他们认为化粪池的不合理设置较大程度地影响了污水厂(站)的进水有机物浓度,

结果表明未混凝前 COD 浓度为 105.3 mg/L,混凝后 COD 浓度为 30.1 mg/L,去除率高达 71.4%。这表明出水色度与某些难降解物质有关,因此采用三维荧光光谱对各隔室水样中的代表性污染物质进行分析,旨在分析化粪池和混凝工艺对污染物的去除机理。

### 2.5.2 三维荧光光谱分析

选取唐家浜 B 和彭巷 Q 站区,对各隔室水样进行三维荧光光谱分析,图 6 为唐家浜 B 站区水样的三维荧光光谱。可知,经过化粪池处理后,站区隔室水样中的芳香蛋白酪氨酸类物质(I 区域)得到大幅降解。分别选取 A、B、C 三个荧光强度变化较明显的位置进行分析,所代表的物质分别为溶解性微生物代谢产物、芳香蛋白酪氨酸类物质及腐殖酸类物质<sup>[3-4]</sup>。

主要是因为化粪池可以去除粪尿混合物中接近 20% 的 BOD<sub>5</sub>。

图 7 为彭巷 Q 站区水样的三维荧光光谱。可知,芳香蛋白酪氨酸类物质(I 区域)在经过厌氧、缺氧区后得到大幅降解,表明蛋白类物质需要较长的水解酸化时间,进一步证实了化粪池的重要性。分别选取 A、B、C 三个荧光强度变化较明显的位置进行分析,所代表的物质分别为芳香蛋白酪氨酸类物质、溶解性微生物代谢产物及富里酸类物质。

表1 唐家浜B站区水样的三维荧光强度与COD浓度变化

Tab.1 Change of three-dimensional fluorescence intensity and COD concentration of water samples in Tangjiabang B

项 目	荧光强度						百分比/%					
	化粪池	厌氧池	缺氧池	好氧池	出水	混凝后	化粪池	厌氧池	缺氧池	好氧池	出水	混凝后
A	3 966.0	493.0	532.5	385.1	377.0	335.2	100	12.4	13.4	9.7	9.5	8.5
B	2 019.0	434.0	390.9	331.4	386.5	336.4	100	21.5	19.4	16.4	19.1	16.7
C	1 101.0	620.5	619.8	514.5	620.0	536.6	100	56.4	56.3	46.7	56.3	48.7

注： COD在化粪池、厌氧池、缺氧池、好氧池、出水和混凝后的浓度分别为234.80、57.17、39.13、37.62、36.12和36.12 mg/L；以化粪池为基准,出水中COD百分比分别为100%、24.3%、16.7%、16.0%、15.4%和15.4%。

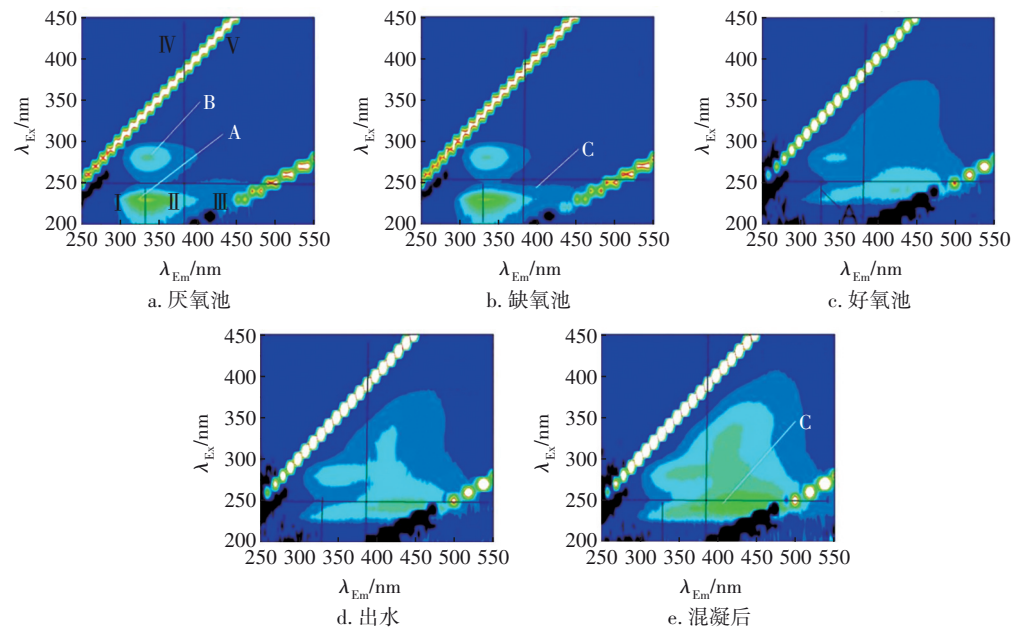


图7 彭巷Q站区各隔室水样的三维荧光光谱

Fig.7 Three-dimensional fluorescence spectra of water samples in each compartment of Pengxiang Q

表2为彭巷Q站区水样的三维荧光强度与COD浓度变化。可知,该站区厌氧池与缺氧池的COD去除率不高,仅为17.3%;而经过好氧池后,COD去除率达到71.7%,此时A和B的去除率(以厌氧池为基准)分别为88.2%和73.6%。这表明三维荧光光谱表征的特征性物质的降解与COD的去除呈正相关关系,也说明了好氧条件有利于去除蛋白类物质及溶解性污染物。

表2 彭巷Q站区水样的三维荧光强度与COD浓度变化

Tab.2 Change of three-dimensional fluorescence intensity and COD concentration of water samples in Pengxiang Q

项 目	荧光强度					百分比/%				
	厌氧池	缺氧池	好氧池	出水	混凝后	厌氧池	缺氧池	好氧池	出水	混凝后
A	3 916.0	3 448.0	461.6	372.3	336.7	100	88.0	11.8	9.5	8.6
B	1 513.0	1 386.0	399.1	343.0	318.7	100	91.6	26.4	22.7	21.1
C	870.2	855.6	540.4	468.6	530.7	100	98.3	62.1	53.8	49.5

注： COD在厌氧池、缺氧池、好氧池、出水和混凝后的浓度分别为260.30、215.20、73.74、72.23和49.66 mg/L；以厌氧池为基准,出水中COD百分比分别为100%、82.7%、28.3%、27.7%和19.1%。

比较有无化粪池站区的三维荧光光谱及COD变化可知,有化粪池站区在经过厌氧池后,COD已得到大幅降解;而无化粪池站区,COD的降解主要发生在好氧池,但由于缺少化粪池的水解酸化作用,COD去除效果有限。因此,对于无化粪池站区,可通过后续增加混凝沉淀工艺,弥补前端功能段缺

失的不足,提高 COD 去除率,进一步保证出水水质。

### 3 结论

① 化粪池是生活污水处理必不可少的一环,其水解酸化作用可以加速污染物的去除,使得一体化设备各功能段正常发挥作用,保证水质达标。

② 对有化粪池站区而言,溶解性有机污染物的降解主要在化粪池完成,此时 COD 去除率为 75.7%,COD 的总体去除率可达 84.6%;而无化粪池站区溶解性有机污染物的去除主要发生在好氧池,COD 去除率为 71.7%,且由于功能段缺失,出水水质难以保证,需采用混凝沉淀再处理。

③ 对于有化粪池站区而言,由于原有的一体化设备溶解氧偏低,通过改造增加曝气量后,出水中 COD、氨氮均可达到生活污水排放一级 A 标准。

④ 三维荧光光谱所表征的污染物质变化与 COD 变化呈正相关关系,可定性衡量污染物的去除效果。

### 参考文献:

- [1] 张静,石小峰,侯红勋. 村镇生活污水处理偏大设计问题分析与对策[J]. 工业用水与废水,2018,49(2): 44-47.
- ZHANG Jing, SHI Xiaofeng, HOU Hongxun. Analysis and countermeasures of overlarge problem in design of villages and towns domestic sewage treatment project [J]. Industrial Water & Wastewater, 2018,49(2): 44-47 (in Chinese).
- [2] 刘秉涛,张亚龙. 村镇生活污水处理中存在的问题及分类处理方法[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):

239-243.

LIU Bingtao, ZHANG Yalong. Problems and classification methods during treatment of domestic sewage in villages and towns [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(6): 239-243 (in Chinese).

- [3] XING L Q, KONG M, XIE X C, *et al.* Feasibility and safety of papermaking wastewater in using as ecological water supplement after advanced treatment by fluidized-bed Fenton coupled with large-scale constructed wetland [J]. Science of the Total Environment, 2020, 699: 134369.
- [4] CHEN W, WESTERHOFF P, LEENHEER J A, *et al.* Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter [J]. Environmental Science and Technology, 2004, 37(24): 5701-5710.
- [5] 付昆明,廖敏辉,王俊安,等. 村镇低浓度生活污水现状及处理技术分析[J]. 环境工程,2019,37(4): 48-51,111.
- FU Kunming, LIAO Minhui, WANG Jun'an, *et al.* Present situation on low concentration domestic wastewater in villages and towns and its treatment technology analysis [J]. Environmental Engineering, 2019, 37(4): 48-51,111 (in Chinese).

作者简介:李媛(1985-),女,山西运城人,博士,高级工程师,主要研究方向为废水生物处理及高效生物脱氮技术。

E-mail:yuanl2013@sina.com

收稿日期:2019-12-04

修回日期:2020-05-11

(编辑:沈靖怡)

借自然之力,护绿水青山