

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.002

长江中游湖南和江西两省村镇污水处理模式现状分析

刘璐^{1,2}, 胡飞超^{1,2}, 张文强^{1,2}, 庞阔^{1,2}, 郭亚丽^{3,4},
张婷^{3,4}, 李敏^{1,2}

(1. 北京林业大学环境科学与工程学院 水体污染源控制技术北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 污染水体源控制与生态修复技术北京市高等学校工程研究中心, 北京 100083; 3. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335; 4. 中国长江三峡集团有限公司 长江生态环境工程研究中心<上海>, 上海 200335)

摘要: 长江流域村镇污水治理是长江大保护的重要方面。收集了湖南和江西两省2017年—2021年处理规模<500 m³/d的村镇污水处理工程的项目资料,从收集方式、处理技术和运维管理等三个方面,分析了两省村镇污水处理模式的应用现状。结果表明,两省村镇污水主要为单村和联村相对集中收集方式;处理设施应用中生物工艺占比最高(46.5%),其次是生物+生态组合工艺(35.16%),生态工艺应用比例最低(18.34%),其中一体化设施主要采用AO/A²O、生物接触氧化和AO/A²O+MBR等生物处理技术;处理设施的运维管理主要有农户、政府事业单位和第三方公司运维三种方式。研究结果可为长江中游湖南和江西两省村镇污水处理模式选择提供参考。

关键词: 村镇污水; 处理模式; 收集方式; 处理技术

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0013-06

Analysis of the Village and Town Sewage Treatment Mode in Hunan Province and Jiangxi Province in the Middle Reaches of Yangtze River

LIU Lu^{1,2}, HU Fei-chao^{1,2}, ZHANG Wen-qiang^{1,2}, PANG Kuo^{1,2}, GUO Ya-li^{3,4},
ZHANG Ting^{3,4}, LI Min^{1,2}

(1. Beijing Key Lab for Source Control Technology of Water Pollution Source, College of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Engineering Research Center for Water Pollution Source Control & Eco-remediation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co. Ltd., Shanghai 200335, China; 4. YANGTZE Eco-Environment Engineering Research Center <Shanghai>, China Three Gorges Corporation, Shanghai 200335, China)

Abstract: Village and town sewage treatment in the Yangtze River basin is an important aspect of the great protection of the Yangtze River. We collected the project information of village and town sewage treatment in Hunan Province and Jiangxi Province with treatment scale <500 m³/d from 2017 to 2021. The current situation of the application of village and town sewage treatment mode in the two provinces is analyzed from three aspects: collection method, treatment technology and operation and maintenance

基金项目: 中国长江三峡集团有限公司科研项目(202003082)

通信作者: 李敏 E-mail: minli@bjfu.edu.cn

management. The collection mode of village and town sewage treatment in the two provinces is mainly single-village and co-village relatively centralized collection. Among the treatment facilities, the application of biological technology accounted for the highest proportion (46.5%), followed by the biological + ecological combination process (35.16%), and the application of ecological technology accounted for the lowest proportion (18.34%). The integrated facilities mainly adopt biological treatment technologies such as AO/A²O, biological contact oxidation and AO/A²O+MBR. The operation and maintenance management of treatment facilities mainly includes three modes: farmers, government institutions and third-party companies. The research results can provide a reference for the selection of village and town sewage treatment modes in Hunan Province and Jiangxi Province in the middle reaches of the Yangtze River.

Key words: village and town sewage; treatment mode; collection method; treatment technology

长江流域村镇污水治理是长江大保护的重要方面。建设村镇污水处理工程,对改善村镇生活环境、提升农民生活品质具有重要作用。目前,我国村镇污水治理正处于发展阶段,村镇污水处理模式主要包括收集方式、处理技术和运维管理三个方面。收集方式确定了污水处理的规模,处理规模、接纳水体和排放标准等因素决定了处理技术的复杂程度,而收集方式和处理技术又影响了运维管理的难易程度,三者之间相互制约^[1]。因此对现有工程案例进行分析与总结,梳理其相互关系显得尤为重要。通过收集湖南和江西两省的村镇污水处理案例资料,对已建工程的处理模式进行了探讨分析,归纳了两省村镇污水处理模式的应用情况,可为两省村镇污水治理提供参考。

1 研究区域概况

长江中游湖南和江西两省地形多丘陵和山地,气候以亚热带季风性湿润气候为主,面积 $37.87 \times 10^4 \text{ km}^2$,洞庭湖水系及鄱阳湖水系分别穿过湖南省和江西省最终汇入长江干流。根据住房和城乡建设部数据,截止到2020年,湖南和江西两省村庄常住人口6 033.68万人,集中供水的行政村的比例分别为61.26%和71.07%,农村供水普及率分别为64.74%和66.22%,农村居民人均生活用水量分别为90.77、95.05 L/d。随着村镇集中供水的普及和居民生活用水量的增加,村镇污水排放量随之增加。

村镇污水以排放生活污水为主,长江中游四省中湖南和江西分别有67.92%和64.74%的建制镇以及44.80%和49.18%的乡对生活污水进行了处

理,远低于长江中游安徽省(建制镇84.82%,乡85.77%)和湖北省(建制镇91.99%,乡90.57%)的乡镇污水处理比例,长江中游湖南和江西两省村镇污水处理建设亟待加强。两省村镇地区由于建设条件差和运维管理不当导致污水收集和处理率低,大量村镇污水未经处理直接排放,导致长江流域水环境受到严重威胁。

2 研究方法

2.1 数据收集

针对长江中游湖南和江西两省处理规模 $<500 \text{ m}^3/\text{d}$ 的村镇污水处理工程开展调研。通过收集2017年—2021年村镇污水处理工程项目的可研报告、环评报告,并结合实地调研,共获得村镇污水处理工程案例1 834项,其中湖南省666项、江西省1 168项。工程案例筛选标准:①明确工程的处理规模,且规模 $<500 \text{ m}^3/\text{d}$;②明确工程应用的处理技术及排放标准。经过筛选共得到1 456项工程案例,基本涵盖了平原、丘陵和山地三种典型地形,同时包含了各类污水处理规模,总体呈点多面广的特点。

2.2 村镇污水收集方式分类

关于村镇污水收集方式的分类,目前尚无统一方法^[2-3]。依据污水收纳聚集程度,将污水收集方式划分为原位(单户/联户)收集、单村建站收集、村组建站收集以及纳管收集等四种方式^[4]。村镇人口聚集程度以及村镇所处地形地势条件是村镇污水收集方式选择的主要影响因素^[5]。根据两省村镇污水治理相关规范标准,基于当地区域特征,将收集方式划分为单户/联户分散($Q < 5 \text{ m}^3/\text{d}$)、单村相对集中

($5\text{ m}^3/\text{d} \leq Q < 50\text{ m}^3/\text{d}$)、联村相对集中($50\text{ m}^3/\text{d} \leq Q < 500\text{ m}^3/\text{d}$)和纳管集中四类,其中纳管集中收集不单独建设污水处理站点,重点针对单独建站的三种收集方式开展研究。

2.3 村镇污水处理技术分类

国内村镇污水治理大多借鉴城市污水处理工艺,但村镇污水C/N比低,水质水量波动大,且缺乏专业的运维管理,针对村镇污水治理特点衍生出了一些抗冲击能力强、维护简单的新工艺,按照主体工艺类型可划分为生物工艺、生态工艺以及生物+生态组合工艺^[6]。依据两省案例收集情况,生物工艺主要包括资源化利用、活性污泥法、生物膜法和活性污泥+生物膜法,生态工艺包括单一和组合生态工艺,组合工艺是生物法和生态法的联合使用,包括活性污泥法+生态工艺和生物膜法+生态工艺。

处理技术的选择首先要考虑达标排放要求,其次再根据收集方式针对不同的处理规模,选择适当的污水处理技术^[7]。目前,两省村镇污水处理设施的水污染物排放均已执行地方标准,分别为:湖南省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB 43/1665—2019)、江西省《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB 36/1102—2019)。两省地方标准与国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)对比见表1。

表1 村镇污水处理设施水污染物排放标准对比

Tab.1 Comparison of sewage pollutant discharge standards in villages and towns $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

排放标准		COD	BOD ₅	SS	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N
国家标准	一级A标准	50	10	10	15	0.5	5(8)
	一级B标准	60	20	20	20	1	8(15)
	二级标准	100	30	30		3	25(30)
湖南、江西两省地方标准	一级标准	60		20	20	1	8(15)
	二级标准	100		30		3	25(30)
	三级标准	120		50		3 (湖南)	25(30)

注: ①括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。②无数值表示该项出水指标无限值规定。

两省地方一级和二级标准分别与国家一级B和二级标准接近,地方标准均未对BOD₅排放限值作出要求。两省各级地方标准基本相同,不同之处是江西省三级标准未对TP排放限值作出规定,而湖南省限值为3 mg/L。本研究将案例中采用的排放标准划

分为资源化、地方一级、地方二级和地方三级标准,以及更为严格的国家一级A标准等五类进行分析。

2.4 村镇污水处理设施运维方式分类

通过收集村镇污水处理工程项目资料(可研报告、环评报告)和实地走访调研,湖南和江西两省村镇污水处理设施主要有农户、政府事业单位以及委托第三方公司运维管理三种方式。农户或政府事业单位对污水处理设施进行运维管理,由于缺乏专业的技术人员,污水处理设施在运行过程中存在的问题往往不能被及时发现,导致处理效果不佳;委托第三方公司运维保证了设施的处理效果,但需要投入大量的资金^[8]。选择合理的运维方式,是保障村镇污水处理设施长期正常稳定运行的关键。

3 结果与讨论

3.1 村镇污水收集方式应用现状

湖南和江西两省村镇污水收集方式见图1。

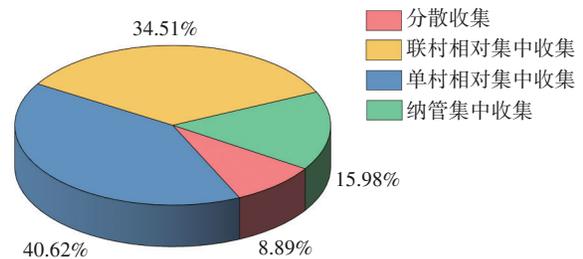


图1 湖南和江西两省村镇污水不同收集方式占比

Fig.1 Proportion of different collection methods of village and town sewage in Hunan Province and Jiangxi Province

由图1可知,单村相对集中收集率(40.62%)>联村相对集中收集率(34.51%)>纳管收集率(15.98%)>分散收集率(8.89%),其中单村与联村相对集中收集方式占绝大部分,且处理规模大多在200 m³/d以下,因此整体来看两省村镇污水多采用小规模相对集中收集方式。

在建站处理工程案例中,收集方式按照地形划分,站点多集中分布于丘陵、山地地形,平原分布相对较少,这是由于两省农村多处于丘陵和山地,平原地区更多为城镇化污水处理厂。分散和单村相对集中收集的站点分布情况为:山地(56.76%)>丘陵(37.53%)>平原(5.71%),而联村相对集中收集的站点分布情况为:丘陵(65.05%)>平原(23.75%)>山地(11.20%),其中丘陵多为低矮的丘陵,这是因为不同地形的人口聚集程度不同,海拔越高,人口聚集程度越小,污水收集难度更大,同时地形导致

管道的铺设难度增大^[9],在山地采用分散式收集更加经济。不同排放标准下,随着容纳污水量的增加,采用的排放标准也更加严格。联村相对集中方式容纳污水量较大,更接近于城市污水处理量,采用了与城市污水处理同样严格的国家一级A标准以及地方一级标准,单村相对集中方式容纳污水量较少,多采用地方一级和二级标准,分散收集由于污水量较少,其单独建站费用较高,更适宜收集储存后进行资源化利用。

3.2 村镇污水处理技术应用特征

湖南和江西两省村镇污水处理技术见图2。

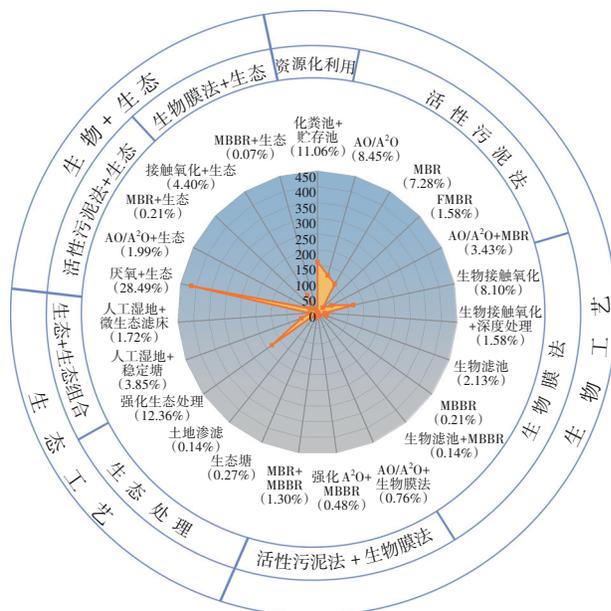


图2 湖南和江西两省村镇污水处理技术应用情况

Fig.2 Application of village and town sewage treatment technologies in Hunan Province and Jiangxi Province

由图2可知,两省污水处理技术应用占比顺序为生物工艺(46.5%)>生物+生态组合工艺(35.16%)>生态工艺(18.34%)。在各类型处理技术中,厌氧+生态处理技术应用案例最多(28.49%),这是由于该技术具有建设成本低、技术成熟、容易推广的特点^[10]。AO/A²O工艺及其组合工艺总占比达15.11%,AO/A²O工艺应用时间较长,相对较为成熟,对其进行强化或与其他工艺组合应用能够增强脱氮除磷效果,因而较多被使用^[11]。强化生态处理(12.36%)如高负荷地下渗滤、土壤型高负荷微生物滤床及微生态活水生物接触氧化塘等,将土地处理或氧化塘等传统生态处理技术添加特异性微生物改良强化,对污水进行深度处理,使出水能够达到

严格的排放标准^[12]。案例中有21.7%的工程采用了一体化设备,主要采用AO/A²O、生物接触氧化和AO/A²O+MBR等生物处理技术,出水能够达到国家一级A和地方一级排放标准。

收集方式和排放标准对处理技术的选择具有一定约束。一级A排放标准下应用强化生态处理工艺的工程案例最多,在传统生态处理中投加微生物进行深度处理,在提高处理效果的同时节约了成本,因而被广泛应用;其次为AO/A²O+MBR、生物接触氧化+深度处理、MBR+MBBR等生物组合工艺,工艺的组合增强了处理系统的稳定性和污染物的去除能力^[6]。根据调研资料,这些工艺一般分布在人口密度较大的地区,可能是因为便于单村或联村相对集中收集;地标一级排放标准下的工艺很多,几乎覆盖了所有已使用的工艺,说明在良好的运行维护下,这些工艺都可以达到地方一级标准;达到地方二级/三级标准的污水处理工程主要采用厌氧+生态处理工艺,这是由于村镇地域广、厂站分布零散、专业运维人员少等原因导致工艺运维难度较高,而该工艺具有投资省、管理方便等特点,更适用于单村相对集中收集后处理污水;对于资源化利用的工艺,一般选择成本低的化粪池来收集单户或联户分散的生活污水,然后进行资源化利用。

3.3 村镇污水处理设施运维管理规划

根据《湖南省农村生活污水治理专项规划指导意见》(2020)和江西省《农村生活污水治理运行维护技术指南(试行)》(DB 36/T 1447—2021)中的相关要求,两省正在形成以县(市、区)人民政府为责任主体、乡镇人民政府(街道办)为管理主体、村级组织为落实主体、农户为受益主体、运维单位为主体的“五位一体”运维管理体系,根据村镇污水处理设施的收集方式、处理规模和工艺特点,采取不同方式对污水处理设施进行运维管理。对于纳管收集的采用城乡一体化运维方式;对于相对集中收集规模较大、工艺复杂、运行维护技术要求较高的污水处理设施,由责任主体委托具有相应能力的第三方专业机构作为运行维护单位;对于分散收集规模较小、工艺简单、运行维护技术要求较低的污水处理设施,由乡镇(街道)人民政府或委托村委会自行运行维护管理。对不同模式污水处理设施运维管理单位、监督考核主体进行统一规划与要求,具体见表2。

表2 湖南和江西两省村镇污水处理设施运维管理及监督考核主体

Tab.2 Village and town sewage treatment facilities operation and maintenance management and supervision and assessment bodies in Hunan Province and Jiangxi Province

收集方式	运维对象	运维管理单位	监督与考核主体
纳管集中收集	通过管网纳入的城镇(建制镇)生活污水处理厂	城镇污水处理厂	住建部门
相对集中收集	有动力的集中治理达标排放的处理设施	第三方专业机构	乡镇人民政府、生态环境部门
	采用人工湿地、稳定塘等生态处理设施达标排放的污水处理设施	各乡镇人民政府	生态环境部门
分散	分户处理与资源化利用设施	农户	乡镇人民政府

3.4 村镇污水处理模式选择

对村镇污水处理模式的选择应同时兼顾收集方式、处理技术和运维管理三方面^[13]。根据调研结果,对已建工程汇总分析见表3。按照收集方式,处

理规模和排放标准分类设定多种可能情景,并基于统计得出各种情形下应用最为广泛的处理技术和运维方式,分析结果对后续村镇污水处理工程具有一定指导意义。

表3 湖南和江西两省村镇污水处理模式应用

Tab.3 Application of village and town sewage treatment modes in Hunan Province and Jiangxi Province

收集方式	处理规模 $Q/(m^3 \cdot d^{-1})$	排放标准	处理技术	运维方
分散收集	<5	资源化利用	化粪池+贮存池	农户自行运维
单村相对集中	$5 \leq Q < 50$	一级A标准	高负荷地下渗滤系统	各乡镇人民政府
		地方一级标准	MBR、生物接触氧化+人工湿地、 A^2O +人工湿地	第三方专业机构
			人工湿地+稳定塘、土壤型高负荷微生物滤床技术、微生态滤床+人工湿地	各乡镇人民政府
		地方二级标准	厌氧水解+人工湿地/稳定塘、厌氧水解+快速渗滤+人工湿地/稳定塘	各乡镇人民政府
		地方三级标准	厌氧水解+人工湿地/稳定塘	各乡镇人民政府
联村相对集中	$50 \leq Q < 500$	资源化利用	化粪池+贮存池	农户自行运维
		一级A标准	A^2O +MBR、MBR+MBBR、生物接触氧化+深度脱氮除磷	第三方专业机构
			高负荷地下渗滤系统	各乡镇人民政府
		地方一级标准	生物接触氧化、 AO 、 A^2O 、FMBR	第三方专业机构
			厌氧+人工湿地/稳定塘	各乡镇人民政府
		地方二级标准	生物滤池、生物接触氧化	第三方专业机构
厌氧+人工湿地/稳定塘	各乡镇人民政府			

4 结论

在长江大保护背景下,湖南和江西两省村镇污水处理已得到一定发展。研究表明,两省多以单村(40.62%)和联村(34.51%)相对集中方式收集污水,丘陵和山地地形以分散和单村相对集中方式为主,采用地方一级或二级排放标准,而联村相对集中收集主要分布于海拔较低的丘陵和平原,采用国标一级A或地方一级排放标准;在污水处理技术应用方面,生物工艺(46.5%)>生物+生态组合工艺(35.16%)>生态工艺(18.34%),厌氧+生态处理技术(28.49%)的应用最为广泛,且污水多以单村相对集中方式收集,污水经处理后达到地方二级或三级标准排放。调研发现,工程中使用一体化设备的占比达到21.7%,以 AO/A^2O 、生物接触氧化和 AO/A^2O +MBR等生物法作为主体工艺的一体化设施

正逐步成为两省村镇污水处理的趋势。

参考文献:

- [1] 王洪臣. 探索农村污水治理的中国之路——浅议农村污水处理设施的规划、建设与管理[J]. 给水排水, 2018, 44(5): 1-3.
WANG Hongchen. Exploring the road of rural sewage treatment in China: discussion on planning, construction and management of rural wastewater treatment facilities [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(5): 1-3 (in Chinese).
- [2] 蒋涛,李亚,盛安志,等. 农村生活污水治理模式与技术研究综述[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(4): 79-83.
JIANG Tao, LI Ya, SHENG Anzhi, et al. Review of rural sewage treatment modes and technologies [J].

- Environment and Sustainable Development, 2018, 43(4): 79-83 (in Chinese).
- [3] 胡明,王培京,邱彦昭,等. 基于经济性评价的北京市平原区农村污水治理模式优化研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(1): 133-142.
- HU Ming, WANG Peijing, QIU Yanzhao, *et al.* Research on the optimal selection of domestic sewage treatment modes based on economic evaluation in rural plain areas of Beijing [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(1): 133-142 (in Chinese).
- [4] 杨少鹏,王志平,何义亮,等. 不同排水模式对于农村水环境质量的影响[J]. 环境工程, 2018, 36(5): 1-5.
- YANG Shaopeng, WANG Zhiping, HE Yiliang, *et al.* The impact of different drainage modes on water quality of rural water environment [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(5): 1-5 (in Chinese).
- [5] 关睿,黄源生,何义亮. 河口岛屿农村地区原位与分散生活污水处理模式的环境与经济对比分析[J]. 环境科学学报, 2020, 40(5): 1894-1901.
- GUAN Rui, HUANG Yuansheng, HE Yiliang. Environmental and economic comparative analysis of in-situ and decentralized domestic sewage treatment modes in rural areas of Hekou Island [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(5): 1894-1901 (in Chinese).
- [6] 谢林花,吴德礼,张亚雷. 中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(10): 865-870.
- XIE Linhua, WU Deli, ZHANG Yalei. Analysis and evaluation of China's rural domestic sewage treatment technology [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(10): 865-870 (in Chinese).
- [7] 李云,夏训峰,陈盛,等. 我国农村生活污水处理地方标准现状、问题及对策建议[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(1): 293-300.
- LI Yun, XIA Xunfeng, CHEN Sheng, *et al.* Local standards for domestic wastewater treatment in rural areas of China: current situation, problems and suggestion [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(1): 293-300 (in Chinese).
- [8] 胡明,李其军,孟庆义,等. 基于长效管理机制的乡村生活污水治理研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 7-15.
- HU Ming, LI Qijun, MENG Qingyi, *et al.* Research on the rural domestic sewage treatment based on the long-term management mechanisms [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 7-15 (in Chinese).
- [9] 宋云颖,陈星,张其成. 山地丘陵及平原河网区农村生活污水处理模式[J]. 水电能源科学, 2013, 31(5): 149-151, 219.
- SONG Yunying, CHEN Xing, ZHANG Qicheng. Treatment countermeasures of rural domestic wastewater in hilly and plain river network region [J]. Water Resources and Power, 2013, 31(5): 149-151, 219 (in Chinese).
- [10] 孔令为,邵卫伟,叶红玉,等. 农村生活污水处理技术应用的浙江经验及发展方向[J]. 中国给水排水, 2021, 37(2): 12-17.
- KONG Lingwei, SHAO Weiwei, YE Hongyu, *et al.* Experience and development direction of application of rural domestic wastewater treatment technology in Zhejiang Province [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(2): 12-17 (in Chinese).
- [11] 谢晴,张静,麻泽龙,等. A²O-MBR工艺在农村生活污水处理中的示范[J]. 环境工程, 2016, 34(7): 38-41, 87.
- XIE Qing, ZHANG Jing, MA Zelong, *et al.* Demonstration of A²O-MBR process in rural sewage treatment [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(7): 38-41, 87 (in Chinese).
- [12] 李晓东,安乐,晁雷,等. 地下渗滤系统存在的问题及解决方法[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 351-353.
- LI Xiaodong, AN Le, CHAO Lei, *et al.* Problems and solutions of underground infiltration system [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(1): 351-353 (in Chinese).
- [13] 周浩,卢楠,邹家乐,等. 农村生活污水收集模式及污水处理现状分析[J]. 净水技术, 2021, 40(8): 90-96.
- ZHOU Hao, LU Nan, ZOU Jiale, *et al.* Analysis of collection modes and existing treatment processes for rural domestic wastewater [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 90-96 (in Chinese).

作者简介:刘璐(1998-),女,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向为村镇污水治理。

E-mail:lulu_cky@163.com

收稿日期:2021-12-29

修回日期:2022-01-16

(编辑:丁彩娟)