

孙凌波, 胡明忠, 梁明明, 等. 东北寒冷地区农村生活污水处理工艺技术与难点[J]. 净水技术, 2023, 42(2):39-46,116.

SUN L B, HU M Z, LIANG M M, et al. Technological processes and difficulties of rural domestic wastewater treatment in cold areas in northeast China [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(2):39-46,116.

## 东北寒冷地区农村生活污水处理工艺技术与难点

孙凌波, 胡明忠\*, 梁明明, 吴永娟, 刘立影, 侯兴顺

(长春工业大学化学工程学院, 吉林长春 130000)

**摘要** 由生活污水而引发的农村水体污染已成为亟待解决的重大难题。东北地区寒冷的气候、复杂的地形地貌、薄弱的农村经济实力、原始的技术及管理水平为农村生活污水的有效处理增加了难度。当前, 针对我国东北寒冷地区农村生活污水的研究相对较少, 文章充分结合该地区农村生活污水现状及其典型特征, 论述了东北寒冷地区农村生活污水治理所面临的难点及问题, 并提出在东北寒冷地区具有良好适应性的农村生活污水处理技术, 旨在为当地农村生活污水治理提供参考与借鉴经验。

**关键词** 寒冷地区 农村生活污水 现状 难点 污水处理技术

中图分类号: X799.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2023)02-0039-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.02.005

## Technological Processes and Difficulties of Rural Domestic Wastewater Treatment in Cold Areas in Northeast China

SUN Lingbo, HU Mingzhong\*, LIANG Mingming, WU Yongjuan, LIU Liying, HOU Xingshun

(School of Chemical Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130000, China)

**Abstract** Rural water environmental pollution caused by domestic wastewater has become a significant problem to be solved desperately. The factors, such as cold climate, complex topography, weak rural economic power, primitive level of technology and management in northeast China, increase the difficulty of effective treatment for rural domestic wastewater. Currently, there are relatively few researches on rural domestic wastewater in cold areas in northeast China. Combining with the existing condition and typical characteristics of rural domestic wastewater in this region adequately, not only does this paper discuss the difficulties and problems faced by rural domestic wastewater treatment, but also puts forward the rural domestic wastewater treatment technologies with favourable adaptability in the cold area of northeast China, aiming to provide references and experiences for local rural domestic wastewater treatment cause.

**Keywords** cold areas rural domestic wastewater existing condition difficulties wastewater treatment technology

随着乡村振兴战略的不断推进, 农村居民的生活水平已得到极大改善, 污水产生量逐年攀升, 其中大多数污水未经处理即排放至水体环境, 导致水体污染形势愈发严峻。农村水体环境较为脆弱, 一旦超过其自身净化能力, 将会对农村水源地以及居民

的身心健康产生严重威胁。自《农村人居环境整治三年行动方案》颁布以来, 农村地区水体污染防治已取得了阶段性的胜利, 各水体流域水质朝着总体向好的方向发展, 然而, 位于我国东北地区的松花江流域以及辽河流域的部分河流仍处于污染状态。2020年《中国生态环境状况公报》显示, 松花江流域除黑龙江水系为轻度污染外, 其余水体水质均达到良好以上水平; 相较而言, 辽河流域的总体水质较差, 除了大凌河水系、鸭绿江水系以及大辽河水系水质较好之外, 干流和主要支流均为轻度污染<sup>[1]</sup>。

东北地区冬季寒冷而漫长, 气候是影响农村污

[收稿日期] 2021-10-16

[作者简介] 孙凌波(1996—), 男, 硕士, 研究方向为水污染处理, E-mail: 2056068867@qq.com。

[通信作者] 胡明忠(1966—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为水污染处理技术与工艺设备研究, E-mail: humingzhong@ccut.edu.cn。

水处理技术选择的重要因素。同时,复杂多样的地形地貌、分布分散的村屯以及居民聚集程度的差异增加了污水收集的难度。另外,东北农村地区较为落后的经济水平导致大部分农村并没有足够的经济实力来建设完善的污水处理设施<sup>[2]</sup>。农村居民淡薄的环保意识、相关政策以及法律法规的缺失也使农村污水治理事业受到阻碍。本文结合东北地区农村生活污水处理现状以及水质特征,提出当前农村地区污水治理所存在的难点和困境,并针对性地提出适用于该地区的污水处理技术,为东北农村污水治理事业的长效推进提供参考。

## 1 东北地区农村生活污水处理现状及水质特征

国外从很早就开始针对农村污水进行相关处理技术的开发与研究,经过半个多世纪的发展,已经形成了较为完善的农村污水治理体系,发明了许多先进的技术并积累了大量成熟宝贵的经验,如日本 JARUS 模式净化槽<sup>[3]</sup>、美国分散型污水处

理系统<sup>[4]</sup>、韩国湿地污水处理系统<sup>[5]</sup>、荷兰一体化氧化沟<sup>[6]</sup>、德国百乐克(BIOLAK)污水处理系统<sup>[7]</sup>、澳大利亚菲尔脱(FILTER)污水处理系统<sup>[8]</sup>、美国高效藻类塘(HRAP)<sup>[9]</sup>以及 Living Machine System<sup>[10]</sup>等。在此基础上,这些发达国家还制定了相关法律法规以保证农村污水治理朝着标准化和规范化方向不断发展<sup>[11]</sup>。与发达国家相比,我国对于农村污水处理的研究仍处于起步阶段,尚未形成能够面向农村地区大范围推广与普及的研究成果,目前仅在部分经济较为发达的南方地区如江苏、浙江、上海等地建设农村污水治理示范工程,而在东北寒冷地区仍缺少相关示范工程的有力指导。表 1 显示了东北地区对农村污水处理情况的统计分析,由此可知,东北地区未对生活污水进行处理的乡镇仍占极大比例,再加上国家和地方针对农村污水治理的相关规范以及法律法规尚不完善,导致在农村污水处理的技术开发和管理上均远落后于世界发达国家<sup>[12]</sup>。

表 1 东北地区农村污水处理统计

Tab. 1 Statistics of Rural Wastewater Treatment in Northeast China

项目	建制镇			乡		
	辽宁	吉林	黑龙江	辽宁	吉林	黑龙江
总数/个	612	391	471	189	165	332
对生活污水进行处理的乡镇数/个	197	138	115	29	30	19
比例	32.19%	35.29%	24.42%	15.34%	18.18%	5.72%

我国东北地区农村生活污水主要表现出以下特征:(1)农村生活污水一般分为黑水和灰水,黑水由尿液、粪便、冲厕污水以及圈舍冲洗污水组成,而灰水则由洗涤和洗浴污水、餐厨污水等组成,黑水的污染物浓度远高于灰水;(2)生活污水中 N、P 以及有机物含量较高,同时还存在着大量病原微生物,一般不含重金属等高毒性物质<sup>[13]</sup>;(3)农村地区人口规模较小,稍大一些的村庄有一二百户,而小的仅有 10 户左右,故产生的污水总量相对较少,一般低于 500 m<sup>3</sup>/d<sup>[14]</sup>;(4)居民生活习惯较为接近,污水一般呈间歇排放且时间段相对集中,具有一定的规律性,通常在早中晚出现排水高峰,而其他时间段则较少甚至零排放,日变化系数较大,可达 3~5<sup>[15]</sup>;(5)由于村落分布状况以及人口聚集程度的差异性,同时大部分农村地区经济仍处于欠发达水平,尚未建设完善的污水收集系统,也无法充分、有效地利用市政

管网系统,污水仅通过简单的明渠或暗沟排放甚至随意泼洒,污水排放呈现出较强的随机性和分散性<sup>[16]</sup>;(6)东北地区多样的地形地貌以及不同农村的人口规模、生活习俗、经济水平等因素导致农村地区的污水水量、水质均存在一定程度的区域性差异。

## 2 东北寒冷地区农村污水治理难点分析

我国东北寒冷地区农村污水治理主要存在以下几个难点。

(1)农村地区居民文化水平有限,《中国农村统计年鉴 2020》显示,80%以上的农村居民文化程度集中在小学及初中水平,接受过高中及以上教育程度的居民仅占 11.2%,因而对污水治理的认知相对匮乏,环保意识和生态意识淡薄,缺乏治理污水以及保护农村环境的积极性和主动性<sup>[17]</sup>。此外,基层地方政府对于农村生活污水治理工作的宣传力度仍有待提升。

(2) 由于农村和城镇地区在地理条件、经济发展水平、居民聚集情况、生活习惯以及污水处理规模等诸多方面均存在较大差异, 现有较为成熟的城镇污水处理模式和工艺在农村地区污水处理中往往表现出较差的适应性<sup>[18]</sup>。

(3) 东北地区冬季的严寒气候导致各类污水处理系统中的微生物以及植物活性受到抑制, 严重影响污水处理设施的净化效果, 甚至可能无法启动运行<sup>[19]</sup>。

(4) 城镇与农村地区的环保资源配置严重失衡。在农村地区从事污水治理的相关专业技术人员极为稀缺, 大多数农村污水处理设施建成后, 仅对当地村民进行简单培训后即进行污水处理设施的日常运营和管理, 导致污水处理设施的运行维护不理想, 进而降低其处理效率<sup>[20]</sup>。

(5) 农村地区污水治理工程资金缺口巨大, 基础设施建设极度匮乏, 污水治理事业的推进受到严重阻碍<sup>[21]</sup>。尽管东北地区农村居民人均可支配收入较往年已有显著提升, 但仍难以承担污水处理设施建设所需的巨额费用, 对于农村污水治理项目的建设还只能依靠政府的投资。此外, 污水处理系统建成后还需要进行相应的维护和保养工作, 产生运行和维护成本, 缺乏持续的资金供给, 使污水处理设施在农村地区维持长期良性运转面临挑战。

(6) 尽管各省已相继发布了农村生活污水处理设施水污染物排放标准, 但目前针对农村地区污水

治理所制定的相关标准和法律体系尚未完善, 在处理设施建设、具体工艺参数以及运行维护等方面的规定仍处于空白状态, 导致农村地区污水处理设施在规划设计以及实际建设阶段缺乏科学的理论指导, 运行效果难以得到保障。

(7) 未建立有效的监管体制, 农村污水治理工程存在管理主体不明的乱象, 各级政府和职能部门权责归属模糊, 同时还缺乏长期运行效果的监测评价体系<sup>[22]</sup>。

### 3 东北寒冷地区农村污水处理技术探究

#### 3.1 选择原则

针对东北寒冷地区农村生活污水处理技术的选择要充分结合当地情况, 从实际出发, 因地制宜地选择能够克服冬季寒冷气候、经济实用、操作简单的污水处理技术。

#### 3.2 污水处理模式

东北地区农村分布广泛, 一般来说, 不同地域的地形地貌、居民聚集程度、经济发展水平以及污水特征等均存在一定差异, 因此, 适用于农村地区的污水处理模式也应随之表现出多样性。目前, 农村污水处理模式主要可以分为集中处理、分散处理以及纳入市政管网统一处理 3 种类型, 其适用条件如表 2 所示<sup>[23]</sup>。作为集中处理模式的补充, 分散处理模式在布局以及工艺选取上更加灵活多变, 有利于解决集中处理模式无法覆盖的农村地区的污水处理需求, 在有效控制投资成本的同时仍能保持较为理想的处理效果<sup>[24]</sup>。

表 2 农村污水处理模式

Tab. 2 Modes of Rural Wastewater Treatment

处理模式	适用性
集中处理	适用于人口规模较大、居民聚集程度较高且经济条件较好的农村地区
分散处理	适用于人口规模较小、地形条件较复杂、村庄布局较分散、污水收集难度较大且经济条件较差农村地区
接入城镇管网统一处理	适用于距城镇污水管网系统较近(一般 5 km 以内)、满足市政管网接入要求的农村地区

#### 3.3 污水处理主要技术

结合上述分析, 综合考虑东北地区的气候、地理条件及其农村地区的经济发展状况、人口分布、污水处理规模等多种因素, 可以大致确定以下几类适用于东北农村地区的污水处理技术, 如化粪池和厌氧沼气池、地下土壤渗滤、潜流人工湿地、稳定塘、一体化污水处理技术以及组合工艺等<sup>[25-26]</sup>。

(1) 化粪池和厌氧沼气池。化粪池和厌氧沼

池作为典型的厌氧消化技术在我国农村地区的应用非常广泛, 对于东北地区而言, 通常采取地埋式以达到保温效果。通过微生物的厌氧发酵作用, 污水、人畜粪便中的有机物发生转化, 产生沼气和沼渣, 分别可用作燃料和农家肥, 在实现污染物降解的同时实现了资源循环利用的目的, 是一种资源利用率极高的污水处理工艺<sup>[27-28]</sup>。数据表明, 截至 2019 年, 农村地区户用沼气池数量已超过 3 380 万个, 表 3 显

示了东北地区户用沼气池以及沼气工程的建设情况。化粪池和厌氧沼气池优势在于施工难度低、基建投资省、抗冲击负荷能力强、管理方便、运行过程中基本不消耗能量、具有极高的虫卵杀灭能力。然而,由于其停留时间长、污泥产量多、处理效果相对有限、出水难以达到污水排放标准,一般仅用于污水的预处理阶段。

表3 东北地区户用沼气池以及沼气工程建设统计  
Tab. 3 Statistics of Household Biogas Digesters and Biogas Project Construction in Northeast China

省份	户用沼气池/个	沼气工程数量/个
辽宁省	389 900	1 029
吉林省	194 300	64
黑龙江省	238 143	1 412

(2) 地下土壤渗滤。地下土壤渗滤是一种污水土地处理系统,污水由距离地面一定深度的布水系统均匀投配至处理系统中,利用土壤基质、微生物以及植物的物理、化学、生物协同作用净化污水<sup>[29]</sup>。地下土壤渗滤技术基建投资少、运行耗能低、无需占用地表面积、受温度影响较小、运行管理方便,还能够通过自由调节土壤基质的构成成分及比例,以实现污水处理能力的最大化。但该工艺一般水力负荷小、对土地面积需求量较大、易发生土壤堵塞、如防渗不当易造成二次污染,适用于土地资源丰富但资金较为短缺的农村地区,出水经收集系统回收后可回灌作物,以达到水资源循环利用的目的<sup>[30]</sup>。田宁宁等<sup>[31]</sup>采用土壤毛细管渗滤技术处理小区生活污水, COD<sub>Cr</sub> 去除率可达 80% 以上, BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP 的去除率均达到 90% 以上,系统在冬季气温低至 -13.5 °C 的环境条件下,仍能保持良好的处理效果。沈阳也建设有地下土壤渗滤系统示范工程,出水能够达到中水回用要求,这也证明了该技术在东北严寒地区的适用性<sup>[32]</sup>。

(3) 潜流人工湿地。潜流人工湿地是一种仿照自然湿地功能并经过人工适当改造而设计的生态处理系统,按照布水方式可分为水平潜流人工湿地和垂直潜流人工湿地,污水在湿地床表面以下流动,能够有效避免气温的影响<sup>[33]</sup>。湿地系统主要通过土壤基质、微生物以及水生植物三者的共同作用实现水体污染物的有效去除。人工湿地建设投资少、运行费用低、能耗低、维护管理简单、兼具景观效应,其劣势在于占用土地面积较大、污水处理水力负荷有限、基

质易堵塞,处理效果受季节影响较大,适合在土地辽阔但资金相对匮乏的农村地区进行推广与应用<sup>[34]</sup>。

潜流人工湿地在东北地区的适用性已得到证实,目前已报道了沈阳满堂河人工湿地<sup>[35]</sup>、沈阳浑南人工湿地<sup>[36]</sup>、哈尔滨信义沟人工湿地<sup>[37]</sup>、辽河流域人工湿地地面源污染治理<sup>[38]</sup>以及污水厂出水深度处理<sup>[39]</sup>等示范工程。这些工程在 -30 ~ -20 °C 的严寒气候下仍能保持较为理想的污水净化效果,与此同时,工程的建设及运行成本与传统污水处理工艺相比也得到了极大的削减。对于东北农村地区而言,可充分借鉴以上建设经验,通过采取一定的保温措施(如植物覆盖法、冰雪覆盖法、地膜保温法、温室保温法)或提升湿地系统内部溶解氧量(出水回流、人工曝气、多点进水、间歇运行)等方式保证潜流人工湿地的净化能力<sup>[40-41]</sup>。此外,还有研究者<sup>[42]</sup>提出在传统人工湿地的基础上进行结构改造,构建新型复合增强型双层潜流人工湿地,当气温较高时,采用上层湿地处理污水,而进入冬季后,底层湿地则进入工作状态,保证系统在低温期的正常稳定运行。

(4) 稳定塘。稳定塘是一种利用水体自净过程净化污水的处理系统,能够充分依靠藻类及其他各类微生物的协同作用降解污染物。稳定塘设计简单,能够充分利用地形优势节省建设成本,同时,在运行过程中耗能低、管理方便,大大减少了运营成本。它的缺点是占地面积大、停留时间相对较长、仅能处理低浓度污水、污水处理效果受光照和温度等环境条件影响较为严重、易滋生蚊虫和臭味等<sup>[43]</sup>。稳定塘在东北农村地区使用时,可采用增加曝气或多塘串联的方式保证其正常运行,也作为临时储水塘使用,适合在经济条件有限、有天然低洼地或废弃塘的农村地区进行应用<sup>[44]</sup>。孙楠等<sup>[45]</sup>提出了以凹凸棒土作为填料,构建了凹凸棒土-稳定塘模式处理严寒地区农村生活污水,在最优运行条件下,系统对 COD<sub>Cr</sub>、氨氮、TP 的平均去除率分别达到了 91.5%、87.7%、84.1%,与单一稳定塘相比,污染物去除率均有所提升。辽宁省开原市庆云堡镇建设了由前置强化塘、自然塘和后置调节塘组成的生活污水处理工程,处理规模为 2 000 m<sup>3</sup>/d,出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)二级标准,该工程为东北地区稳定塘系统的冬季低温运行提供了良好的示范作用<sup>[46]</sup>。

(5)一体化污水处理技术。一体化污水处理技术是一种将预处理、生化处理以及污泥处理等流程集于一体的污水处理工艺,在东北农村地区常采用地埋式,当建于地面上时,应采取适当的保温措施。一体化污水处理技术所包含的污水处理工艺更为多样化,但其主体工艺基本为生物处理法,如生物接触氧化法、AO 或 AAO、序批式活性污泥法(SBR)、膜生物反应器(MBR)以及其他变形、组合工艺等<sup>[47]</sup>。该技术可以充分依据其服务区域的水量、水质进行针对性设计,具有灵活性高、空间占用少、运行费用低、处理效率高、易于实现自动化、管理方便等诸多优点,但是相应的工程建设及维护成本与传统生态处理工艺有所提升,因而适用于污水处理规模较小、有一定的经济实力且对出水水质要求较高的农村地区<sup>[48-49]</sup>。辽宁省某村庄采用兼氧 MBR 一体化设备处理生活污水,设备整体埋于地下以起到保温效果,监测时段内各项水质指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,卫生条件也得到极大提升,在北方农村有着良好的应用前景和推广价值<sup>[50]</sup>。辽宁省盘锦市大洼区清水河流域的周边村镇采取一体化接触氧化污水处理设施处理农村生活污水,出水水质达到一级 A 标准,能够有效减少河流污染,改善水体环境<sup>[51]</sup>。谷成国等<sup>[52]</sup>针对东北地区的村镇污水提出了 AAO+MBR+MBBR 一体化污水处理集成化设计工艺,与单项工艺相比,集成工艺具有更强的稳定性以及更高的污染物处理效率,对 COD<sub>Cr</sub> 和氨氮的去除率分别达到 92.85% 和 97.19%,满足辽宁省地方标准《农村生活污水处理设

施水污染物排放标准》中的一级标准,但是工艺成本也相应提升,其大规模应用受到制约。

(6)组合工艺。一般而言,单一类型的污水处理技术由于其自身局限性通常不能达到理想的预期治理效果,此时需要结合实际情况对多种污水处理工艺进行灵活组合与优化,从而实现污水处理效果最大化的目的,如生态组合工艺、生物组合工艺以及生态-生物组合工艺等。组合工艺将其包含的各类单一工艺的优势集于一身,因而具有更强的稳定性和抗冲击负荷能力,出水水质也更加优良,适用性也更为广泛,但是其建设及运行成本也相对增加,适用于有一定经济基础且对出水水质要求较高的地区<sup>[53]</sup>。宋铁红等<sup>[54]</sup>构建了厌氧折流板反应器(ABR)酸化预处理+两级人工湿地组合工艺净化生活污水,采取珍珠岩作为保温材料,在室外气温低至-30℃的条件下,工艺仍能保持稳定的去除效果,结果表明,低温对酸化过程产生的影响远小于湿地,当系统温度保持在 5℃以上时,湿地对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率与夏季水平相当,而当温度低于 5℃时,COD<sub>Cr</sub> 的去除率则降低至 50%以下。吴迪等<sup>[55]</sup>探究了两级回流生物膜工艺对农村生活污水的处理效果,设计处理规模为 100 m<sup>3</sup>/d,结果表明,工艺对 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN、TP、SS 的平均去除率分别可达到 75.7%、84.8%、69.2%、68.0%、58.9%、87.9%,除 TP 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二级标准外,其余指标均符合一级 B 标准。表 4 列举了一些组合工艺在东北地区

表 4 组合工艺在东北农村污水处理案例

Tab. 4 Application Cases of Combined Processes in Rural Wastewater Treatment in Northeast China

项目	处理规模/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	建设成本/ 万元	运行成本/ (万元·a <sup>-1</sup> )	平均处理 成本/ (元·m <sup>-3</sup> )	净化效果	建设地点	文献
水解酸化+潜流人工湿地	400	97.2	-	0.3~0.4	出水可达 GB 18918—2002 二级标准	沈阳市法库县大孤家子镇	[33]
一级强化+潜流湿地	500	112.9	-	0.4~0.5	出水可达 GB 18918—2002 一级 B 标准	沈阳市东陵区前进村	[33]
接触氧化+温室结构潜流人工湿地	520	91.85	9.84	0.52	COD <sub>Cr</sub> 去除率保持在 60% 以上;氨氮的去除率可达 80% 以上;TN 去除率为 15%~60%;TP 去除能力波动较大	牡丹江市海林农场	[56]
生物接触氧化+人工湿地	500	180	8.11	0.45	BOD <sub>5</sub> 、COD <sub>Cr</sub> 、SS、氨氮、TP 去除率分别达到 94.2%、88.9%、91.1%、97.7%、81.4%	黑龙江省某村庄	[57]
接触氧化+潜流人工湿地+表面流人工湿地	300	92	-	0.12	冬季作为污水临时储存地,基本不出水,待春季到来时开始运行,出水水质能够达到 GB 18918—2002 一级 B 标准甚至一级 A 标准	吉林省通化东部山区	[58]

农村污水处理的应用案例,从表中可以看出生物+生态组合工艺在达到高净化效率的同时还能保持较低的投资成本,因此,这种处理工艺较为符合东北农村地区的实际情况。

#### 4 结论

针对东北地区农村污水处理存在的问题,可采取以下措施:(1)研发农村污水处理新工艺,降低污水处理成本,加强专业技术人才的培训规模与力度;(2)大力推广操作以及维护简单的工艺;(3)加快制定相关政策、标准以及法律规范,明确主体责任,积极推动农村生活污水治理的规范化发展;(4)从实际出发,因地制宜,针对不同农村的现场情况制定相应的污水处理工艺路线;(5)国家和地方各级政府应针对污水处理设施的后期运行与维护制定相应的政策并提供资金支持,同时拓宽资金渠道;(6)加大环保宣传力度,积极转变农村居民对于污水处理的认知和态度,提升农民的认同感和参与感。

东北农村地区特殊的地理及气候特征使污水处理技术的应用受到限制。因此,在选取适用于该地区的污水处理技术时,要综合考虑农村地区的客观条件,遵循因地制宜的原则,对于当前已存在的污水处理技术,未来应着眼于进一步拓宽其应用范围,提升其处理能力,如经过适当的技术改良或采取一定的保温措施使其达到满意的净化效果。农村污水治理是创造农村宜居环境,提升农民群众幸福感的重要一环,能够产生诸多综合效益,对实现乡村振兴、改善农村人居环境具有极为重要的意义。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 2020年中国生态环境状况公报[R/OL]. (2021-05-24)[2021-10-16]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202105/P020210526572756184785.pdf>. 2021.
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Bulletin on China's ecological environment in 2020[R/OL]. (2021-05-24)[2021-10-16]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202105/P020210526572756184785.pdf>. 2021.
- [2] 王宁,边德军,赵乐欣,等. 吉林省农村污水处理现状及治理思路[J]. 净水技术, 2020, 39(12): 99-104.
- WANG N, BIAN D J, ZHAO L X, et al. Present situation and management solutions for rural sewage treatment in Jilin Province[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(12): 99-104.
- [3] 贾小梅,赵芳,董旭辉. 日本农村生活污水治理设施行业管理经验对我国的启示——以净化槽为例[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(6): 90-93.
- JIA X M, ZHAO F, DONG X H, et al. Enlightenment of Japan's rural domestic sewage treatment facilities industry management experience to China: Take johkasou as an example[J]. Environment and Sustainable Development, 2019, 44(6): 90-93.
- [4] 田泽源,吴德礼,张亚雷. 美国分散型生活污水治理的经验与启示[J]. 给水排水, 2017, 53(5): 52-57.
- TIAN Z Y, WU D L, ZHANG Y L. Experience and enlightenment of decentralized domestic sewage treatment in America[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 53(5): 52-57.
- [5] HAM J H, YOON C G, JEON J H, et al. Feasibility of a constructed wetland and wastewater stabilisation pond system as a sewage reclamation system for agricultural reuse in a decentralised rural area[J]. Water Science and Technology, 2007, 55(1/2): 503-511. DOI: 10.2166/wst.2007.014.
- [6] 城市污水处理技术考察团. 丹麦荷兰两国氧化沟污水处理技术简介[J]. 水资源保护, 1987(3): 21-29.
- Investigation Group on Municipal Wastewater Treatment Technology. Brief introduction of oxidation ditch wastewater treatment technology in Denmark and Netherlands[J]. Water Resources Protection, 1987(3): 21-29.
- [7] 曹向东,穆瑞林,胡国光,等. 德国百乐卡(BIOLAK)工艺的设计和运行[J]. 给水排水, 2000(9): 6-8.
- CAO X D, MU R L, HU G G, et al. Design and operation of BIOLAK process[J]. Water & Wastewater Engineering, 2000(9): 6-8.
- [8] 何继宏,李海军. FILTER污水处理系统在0℃环境下运行的研究[J]. 科技情报开发与经济, 2008(3): 137-138.
- HE J H, LI H J. Research on the operation of FILTER sewage treatment system in the environment of 0℃[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2008(3): 137-138.
- [9] OSWALD W J, GOTAAS H B, GOLUEKE C G, et al. Algae in waste treatment[J]. Sewage and Industrial Wastes, 1957, 29(4): 437-457.
- [10] TODD J, JOSEPHSON B. The design of living technologies for waste treatment[J]. Ecological Engineering, 1996, 6(1/2/3): 109-136. DOI:10.1016/0925-8574(95)00054-2.
- [11] 李志刚. 发达国家农村污水治理经验及启示[J]. 净水技术, 2021, 40(9): 71-77.
- LI Z G. Experiences and the enlightenment of rural sewage treatment in developed countries[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(9): 71-77.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城乡建设统计年鉴(2020)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. China urban-rural construction

- statistical yearbook (2020) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021.
- [13] 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 T, LI Y, SHENG A Z, et al. Review of rural sewage treatment modes and technologies [J]. Environment and Sustainable Development, 2018, 43(4): 79-83.
- [14] 王守中, 张统. 我国农村的水污染特征及防治对策[J]. 中国给水排水, 2008, 24(18): 1-4.  
WANG S Z, ZHANG T. Characteristics and prevention countermeasures of Chinese rural water pollution [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(18): 1-4.
- [15] 柴喜林. 乡村振兴战略下农村生活污水治理模式优选之思考[J]. 中国环境管理, 2019, 11(1): 106-110.  
CHAI X L. Insights into optimization of rural domestic sewage treatment technology under rural revitalization [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(1): 106-110.
- [16] 殷海立, 王玥颖, 于心如, 等. 浅析中国东北寒冷地区农村生活污水处理形势及对策[J]. 山西建筑, 2020, 46(6): 102-103.  
YIN H L, WANG Y Y, YU X R, et al. Analysis on the situation and countermeasures of rural domestic sewage treatment in the cold area of northeast China [J]. Shanxi Architecture, 2020, 46(6): 102-103.
- [17] 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 H, LU N, ZOU J L, et al. Analysis of collection modes and existing treatment processes for rural domestic wastewater [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 90-96.
- [18] 毛世峰, 高雪杉, 张勇. 东北寒冷地区农村污水特征及处理技术[J]. 现代农业科技, 2014(23): 236-237.  
MAO S F, GAO X S, ZHANG Y. Characteristics and treatment technology of rural sewage in northeast cold region [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(23): 236-237.
- [19] 张文楠, 丛仕博, 耿辉, 等. 北方低温地区农村分散式污水处理技术[J]. 环境生态学, 2019, 1(1): 13-18.  
ZHANG W N, CONG S B, GENG H, et al. Rural decentralized sewage treatment technology in low temperature region of north China [J]. Environmental Ecology, 2019, 1(1): 13-18.
- [20] 刘耕良. 东北寒区农村生活污水治理效率评价及技术选择研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.  
LIU G L. Study on the evaluation and technology selection of rural domestic wastewater treatment efficiency in the northeast cold region [D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [21] 陈咄圳, 谭丙昌, 郑向群. 辽宁省农村生活污水治理现状及存在问题分析[J]. 环境生态学, 2019, 1(6): 45-49.  
CHEN P Z, TAN B C, ZHENG X Q. Current situation and problems of rural domestic sewage treatment in Liaoning Province [J]. Environmental Ecology, 2019, 1(6): 45-49.
- [22] 闫凯丽, 吴德礼, 张亚雷. 我国不同区域农村生活污水处理的技术选择[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 212-216.  
YAN K L, WU D L, ZHANG Y L. Technical selection of rural domestic sewage treatment in different regions of China [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 212-216.
- [23] 于法稳, 于婷. 农村生活污水治理模式及对策研究[J]. 重庆社会科学, 2019(3): 6-17.  
YU F W, YU T. Study on the model and countermeasure of rural domestic sewage treatment [J]. Chongqing Social Science, 2019(3): 6-17.
- [24] 徐亚同. 农村水环境保护和治理对策的思考与建议[J]. 净水技术, 2017, 36(1): 1-6.  
XU Y T. Consideration and suggestion of water environmental protection and countermeasures for rural areas [J]. Water Purification Technology, 2017, 36(1): 1-6.
- [25] 杨瑞, 李立军. 北方地区农村污水处理技术探索[J]. 山西建筑, 2017, 43(16): 128-130.  
YANG R, LI L J. Exploration for rural sewage treatment technology in northern China [J]. Shanxi Architecture, 2017, 43(16): 128-130.
- [26] 何立红. 农村生活污水治理实用技术应用及研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(1): 103-105.  
HE L H. Application and research progress of practical technology of domestic sewage treatment in rural areas [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39(1): 103-105.
- [27] 陈子爱, 施国中, 熊霞. 厌氧消化技术在农村生活污水治理中的应用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 432-437.  
CHEN Z A, SHI G Z, XIONG X. Application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2020, 37(3): 432-437.
- [28] 张颖, 刘益均, 姜昭. 沼渣养分及其农用可行性分析[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(3): 59-63.  
ZHANG Y, LIU Y J, JIANG Z. Analysis of nutrient analysis and the feasibility of agricultural residue [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2016, 47(3): 59-63.
- [29] 刘晓宁, 邱荣华. 地下渗滤系统处理分散式生活污水的研究[J]. 节水灌溉, 2007(8): 129-130.  
LIU X N, QIU R H. Study on treatment of decentralized domestic sewage by underground infiltration system [J]. Water Saving Irrigation, 2007(8): 129-130.
- [30] 郑彦强, 卢会霞, 许伟, 等. 地下渗滤系统处理农村生活污水的研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(10): 2235-2238.  
ZHENG Y Q, LU H X, XU W, et al. Study on rural sewage treatment by subsurface infiltration system [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(10): 2235-2238.
- [31] 田宁宁, 杨丽萍, 彭应登. 土壤毛细管渗滤处理生活污水[J]. 中国给水排水, 2000(5): 12-15.

- TIAN N N, YANG L P, PENG Y D. Treatment of domestic wastewater by soil infiltration system [J]. *China Water & Wastewater*, 2000(5): 12-15.
- [32] SUN T H, HE Y W, OU Z Q, et al. Treatment of domestic wastewater by an underground capillary seepage system [J]. *Ecological Engineering*, 1998, 11(1): 111-119. DOI: 10.1016/S0925-8574(98)00027-5.
- [33] 陈晓东. 人工湿地在沈阳市农村生活污水处理中的适用性分析[J]. *环境保护与循环经济*, 2011, 31(11): 43-45.  
CHEN X D. Applicability analysis of constructed wetlands in rural domestic sewage treatment in Shenyang[J]. *Environmental Protection and Circular Economy*, 2011, 31(11): 43-45.
- [34] 林卉, 姜忠群, 冒建华. 人工湿地在农村生活污水处理中的应用及研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2020, 22(5): 129-136.  
LIN H, JIANG Z Q, MAO J H. Application and research of constructed wetlands in rural wastewater treatment[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(5): 129-136.
- [35] 陈晓东, 常文越, 王磊, 等. 北方人工湿地污水处理技术应用研究与示范工程[J]. *环境保护科学*, 2007(2): 25-28.  
CHEN X D, CHANG W Y, WANG L, et al. Application study and engineering demonstration of northern constructed wetlands wastewater disposal process [J]. *Environmental Protection Science*, 2007(2): 25-28.
- [36] 李亚峰, 刘佳, 王晓东, 等. 垂直流人工湿地在寒冷地区的应用[J]. *沈阳建筑大学学报(自然科学版)*, 2006(2): 281-284.  
LI Y F, LIU J, WANG X D, et al. Application and research of vertical constructed wetland in cold areas [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2006(2): 281-284.
- [37] 张一丁, 王本德, 刘伟, 等. 利用人工湿地法解决哈尔滨信义沟水污染问题[J]. *长春工程学院学报(自然科学版)*, 2005(1): 20-21.  
ZHANG Y D, WANG B D, LIU W, et al. Solving water pollution problem of Xinyi ditch in Harbin City using artificial wetland law [J]. *Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2005(1): 20-21.
- [38] 晁雷, 王雪非, 郭宝东, 等. 人工湿地在辽河流域面源污染治理中的应用[J]. *环境保护与循环经济*, 2010, 30(10): 47-49.  
CHAO L, WANG X F, GUO B D, et al. Application of constructed wetland in the treatment of non-point source pollution in Liaohu river basin[J]. *Environmental Protection and Circular Economy*, 2010, 30(10): 47-49.
- [39] 朱林, 刘建卫, 孙宏伟, 等. 寒冷地区污水深度处理的人工湿地设计[J]. *水电能源科学*, 2013, 31(12): 195-197.  
ZHU L, LIU J W, SUN H W, et al. Artificial wetland design for advanced wastewater treatment in cold area[J]. *Water Resources and Power*, 2013, 31(12): 195-197.
- [40] 王湛, 万佳静, 陈晓东, 等. 寒冷地区人工湿地污水处理技术研究进展[J]. *环境保护科学*, 2009, 35(2): 30-33.  
WANG Z, WAN J J, CHEN X D, et al. Research advance on constructed wetlands in cold region[J]. *Environmental Protection Science*, 2009, 35(2): 30-33.
- [41] 练建军, 许士国. 低温下人工湿地去污效率及强化措施研究进展[J]. *水电能源科学*, 2011, 29(8): 25-28.  
LIAN J J, XU S G. Research progress of decontamination efficiency and intensified measures in constructed wetlands at low temperatures[J]. *Water Resources and Power*, 2011, 29(8): 25-28.
- [42] 庞长涛, 马放, 邱珊, 等. 寒冷地区中小型城镇污水的处理实用技术[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(s2): 192-195.  
PANG C L, MA F, QIU S, et al. Practicable technologies for wastewater treatment of the small towns in the cold area [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(s2): 192-195.
- [43] 张巍. 生态稳定塘系统处理农村及小城镇生活污水的现状 & 前景[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(2): 329-332.  
ZHANG W. Present situation and prospect of treatment of rural and small town domestic sewage by ecological stabilization pond system [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(2): 329-332.
- [44] 孙伟丽, 刘绍俨, 高宇, 等. 高效藻类塘处理北方农村模拟生活污水试验研究[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(28): 217-220.  
SUN W L, LIU S Y, GAO Y, et al. Study on treatment of northern rural simulated domestic wastewater with high rate algal pond [J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(28): 217-220.
- [45] 孙楠, 田伟伟, 李晨洋. 凹凸棒土-稳定塘工艺提高严寒地区农村生活污水处理效果[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(24): 209-215.  
SUN N, TIAN W W, LI C Y. Sewage treatment effect in cold rural region by attapulgite combined with stabilization pond [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(24): 209-215.
- [46] 张巍, 路冰, 刘峥, 等. 北方地区农村生活污水生态稳定塘处理示范工程设计[J]. *中国给水排水*, 2018, 34(6): 49-52.  
ZHANG W, LU B, LIU Z, et al. Demonstration project design of ecotypic stabilization pond for rural domestic sewage treatment in northern China [J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(6): 49-52.
- [47] 高立洪, 蒋滔, 杨小玲, 等. 农村生活污水常见处理技术及设备现状分析[J]. *农业技术与装备*, 2017(9): 81-85.  
GAO L H, JIANG T, YANG X L, et al. Analysis of common treatment technology and equipment for rural domestic sewage [J]. *Agricultural Technology & Equipment*, 2017(9): 81-85.

(下转第116页)

- University, 2020.
- [21] 李翊豪. 臭氧/微电解工艺处理化纤印染废水效能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.  
LI Y H. Efficacy of ozone/microelectrolysis process treating chemical fiber dyeing wastewater[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.
- [22] KARIMIFARD S, MOGHADDAM M. Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: A critical review [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 640/641: 772–797. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.435.
- [23] BEZERRA M A, SANTELLI R E, OLIVEIRA E P, et al. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry[J]. *Talanta*, 2008, 76(5): 965–977. DOI: 10.1016/j.talanta.2008.05.019.
- 
- (上接第 46 页)
- [48] 吴娜, 薛晓莉, 张志立, 等. 农村污水治理现状及一体化污水处理设施的应用[J]. *现代农业科技*, 2020(1): 173–174.  
WU N, XUE X L, ZHANG Z L, et al. Current situation of rural sewage treatment and application of integrated water treatment facilities[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(1): 173–174.
- [49] 孟祥芬. 农村生活污水一体化处理工艺探讨[J]. *黑龙江环境通报*, 2018, 42(4): 56–60.  
MENG X F. Discussion on the integrated treatment process of rural domestic sewage [J]. *Heilongjiang Environmental Journal*, 2018, 42(4): 56–60.
- [50] 晁雷, 李婧男, 李亚峰. 兼氧 MBR 工艺在北方农村污水处理工程中的应用[J]. *工业水处理*, 2019, 39(4): 97–99.  
CHAO L, LI J N, LI Y F. Application of facultative oxygen MBR process to rural sewage treatment projects in northern China [J]. *Industrial Water Treatment*, 2019, 39(4): 97–99.
- [51] 艾晨亮. 小型一体化农村生活污水处理设施研究及应用[J]. *建筑与预算*, 2018(8): 28–31.  
AI C L. Research and application of small-scale integrated rural domestic sewage treatment facilities[J]. *Construction and Budget*, 2018(8): 28–31.
- [52] 谷成国, 王松, 崔鑫, 等. 东北地区村镇污水中一体化污水处理设备的应用[J]. *环境保护与循环经济*, 2020, 40(7): 18–22.  
GU C G, WANG S, CUI X, et al. Application of integrated sewage treatment equipment in villages and towns in northeast China [J]. *Environmental Protection and Circular Economy*, 2020, 40(7): 18–22.
- [53] 张瑞斌, 奚道国, 王乐阳, 等. A/O+铝污泥填料人工湿地组合工艺处理农村生活污水的效果[J]. *环境工程技术学报*, 2019, 9(2): 145–150.  
ZHANG R B, XI D G, WANG L Y, et al. Effect of A/O + alu-
- minum sludge filled constructed wetland combined process on rural domestic sewage [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2019, 9(2): 145–150.
- [54] 宋铁红, 丁大伟, 王野, 等. 冬季人工湿地内微生物活性和除污效率分析[J]. *水处理技术*, 2008(9): 68–70.  
SONG T H, DING D W, WANG Y, et al. Study on pollutant treatment by microorganism in winter artificial wetland [J]. *Technology of Water Treatment*, 2008(9): 68–70.
- [55] 吴迪, 高贤彪, 李玉华, 等. 两级回流生物膜工艺处理农村生活污水效果[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(1): 218–224.  
WU D, GAO X B, LI Y H, et al. Treatment effect of rural domestic sewage in rural area using biofilm with two-stage reflux [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1): 218–224.
- [56] 胡奇. 生物接触氧化-温室结构潜流人工湿地处理农村生活污水[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.  
HU Q. Study on treatment of biological contact oxidization and greenhouse structure subsurface-flow constructed wetland for processing rural domestic sewage [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [57] 边喜龙, 于景洋, 孙彩玉, 等. 寒冷地区农村分散式污水处理工艺的探讨与实践[J]. *江苏建筑职业技术学院学报*, 2017, 17(3): 36–39.  
BIAN X L, YU J Y, SUN C Y, et al. Discussion and practice on decentralized sewage treatment process of cold rural area [J]. *Journal of Jiangsu Vocational Institute of Architecture Technology*, 2017, 17(3): 36–39.
- [58] 唐抒圆. 人工湿地处理低温地区农村污水的工程设计与运行效果分析[D]. 长春: 吉林大学, 2014.  
TANG S Y. Engineering design and running effect analysis of rural sewage treatment by constructed wetland in low-temperature area [D]. Changchun: Jilin University, 2014.