



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

我国农村生活污水治理的现状分析和对策探究

王昶, 王力, 曾明, 郝林林, 孙娟娟

引用本文:

王昶,王力,曾明,郝林林,孙娟娟. 我国农村生活污水治理的现状分析和对策探究[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 283-292.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0615>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

关于“十四五”农村生活污水治理的思考

贾小梅, 于奇, 王文懿, 赵芳, 董旭辉

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 623-626 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0133>

杭州市农村生活垃圾治理实践及问题对策研究

屠翰, 华永新, 徐钢, 虞益江, 陈艳

农业资源与环境学报. 2018, 35(3): 251-256 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0024>

一种无动力·蒸发式农村生活污水处理新技术及其工程应用

陈咄圳, 赵建军, 郑向群

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 570-574 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0264>

巢湖流域厌氧-土壤净化床工艺处理农村生活污水生态补偿标准测算

丁健, 吴晓斐, 黄治平, 郑宏艳, 米长虹, 郑宏杰

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 584-591 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0205>

太湖流域农村生活污水处理技术模式调查和分析——以江苏省为例

张亚平, 王海芹, 印杰, 管永祥, 龙珍

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 483-491 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0002>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王昶, 王力, 曾明, 等. 我国农村生活污水治理的现状分析和对策探究[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 283–292.

WANG C, WANG L, ZENG M, et al. Status and countermeasure for the treatment of rural domestic sewage in China[J]. *Journal of*

Agricultural Resources and Environment, 2022, 39(2): 283–292.



开放科学 OSID

我国农村生活污水治理的现状分析和对策探究

王昶, 王力, 曾明, 郝林林, 孙娟娟

(天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457)

摘要:随着我国“乡村振兴”“厕所革命”等国家战略的实施,我国农村生活污水的治理也越来越受到重视,但是农村生活污水不同于城市生活污水,它的治理在标准、模式、技术、运维等方面存在诸多问题。本文详细介绍了我国农村污水治理现状,针对全国不同地区农村生活污水处理工艺和典型案例,从处理技术、排放标准以及运维管理等方面进行了系统分析,重点论述了处理技术的优缺点,并结合农村自然的自净能力和面源污染的根本原因,提出了建立排放标准的合理前提,同时也介绍了智慧运维在农村生活污水处理中的积极作用。另外,根据农村居住分散、地势差异大的特点,强调了分散式处理的重要性,旨在从根本上解决农村生活污水收集难、处理复杂的难题,以生态处理模式实现美丽乡村建设。

关键词:农村;生活污水;治理现状;排放标准;对策分析

中图分类号:X799.3; F323.22 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2022)02-0283-10 doi: 10.13254/j.jare.2021.0615

Status and countermeasure for the treatment of rural domestic sewage in China

WANG Chang, WANG Li, ZENG Ming, HAO Linlin, SUN Juanjuan

(College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: With the implementation of national strategies, such as “rural revitalization strategy” and “toilet revolution”, the treatment of rural domestic sewage has also received increasing attention in China. However, rural domestic sewage differs from urban domestic sewage, and there are many problems in the standard, mode, technology, operation, and maintenance of rural domestic sewage treatment. This paper provides a detailed introduction of the current situation of China's rural sewage; analysis of the treatment cases of rural domestic sewage in different regions of the country; and systematic analysis of the treatment technology, discharge standards, and operation and maintenance management. Focused on the advantages and disadvantages of the treatment technology, this paper puts forward the reasonable premise for the establishment of the discharge standard combining with the self-purification ability of rural nature and the root cause of non-point source pollution, and also discusses the positive role of intelligent operation and maintenance in the treatment of agricultural sewage. According to the characteristics of scattered rural residents and large differences in terrain, the importance of decentralized treatment is emphasized, so as to fundamentally solve the difficult problems of sewage collection and treatment, and realize the construction of beautiful countryside with ecological treatment mode.

Keywords: rural; domestic sewage; treatment status; discharge standards; countermeasure analysis

1 我国农村生活污水治理现状

1.1 污水排放量

《中国城市建设统计年鉴》数据显示,2011—2019年我国污水排放量逐年增长,2019年城市污水排放

量为555亿t,县城污水排放量为102亿t,村镇污水排放量为216亿t,合计873亿t,我国的污水处理工作刻不容缓;据初步统计,2020年城市污水排放量为588亿t,县城污水排放量为105亿t,村镇部分污水排放量为233亿t,合计926亿t。显然农村生活污水排放

收稿日期:2021-09-13 录用日期:2021-11-03

作者简介:王昶(1958—),男,江苏人,教授,博士生导师,研究方向为水污染控制及节能减排技术。E-mail: wangc88@163.com

基金项目:天津市农业科技成果转化与推广项目(201901260)

Project supported: Tianjin Agricultural Commission Scientific and Technological Achievements Transformation and Promotion Project(201901260)

量增速较快,其中欠发达地区农村卫生设施少,旱厕较多,厕所冲洗水较少,其污水主要是洗漱和厨房等生活污水,氮磷含量低;发达地区的农村有较完善的卫生设施,所以生活污水排放量比欠发达地区污水排放量多,而且污水中氮磷含量高^[1]。但随着农村生活方式不断城市化,农村生活污水的构成也不限于厕所废水,洗衣、洗澡、厨房等排水中的BOD(生化需氧量)负荷已经远超厕所废水,农户生活污水全收集将成为未来农村污水处理的关键。由于各地区生活水平、生活习惯不同,生活污水的水质也有所差异,所以严格来说,对农村污水排放进行实际测定对于污水处理工艺和处理装置的设计极为重要^[2]。

1.2 污水排放方式

我国大部分农村地区没有健全的污水收集处理管网,农村污水整体呈粗放型排放,污水径流量较小,分布散乱且覆盖面广泛。大多数地区农村污水未经处理直接就近排放。江成等^[3]在鄱阳湖流域调查中发现,超90%的农村污水采用直排处理。另外,农村生活污水排放量变化系数大,污水排放量与居民生活规律相关,农村生活污水排放量早晚比白天大,夜间排水量小,甚至可能断流,水量变化明显^[1]。

1.3 生活污水处理面临的主要问题

相比于城市生活污水,农村生活污水处理存在5大难题:

(1)农户居住分散以及地势差异使得管网建设难度较大,如果采用城市管网连接,不仅难以施工,而且投资也相当巨大。即使有些地方建设了下水管网,但很多也是雨污不分,使得生活污水的后期处理极为困难并且产生高昂的成本。

(2)因农户用水量少且浓度高,流量变化大,难以控制,再加上缺乏科技管理人员,农村生活污水处理设施需要有很好的抗冲击性。

(3)现有的城市污水处理模式难以适用于农村生活污水处理,需要开发一些适合国情的农村生活污水处理集成技术和可产业化的装备。

(4)农村生活污水排放标准的制定缺少相关技术标准的支持,这给选择合理的处理工艺带来麻烦,由于没有可参考的技术支撑,因而无法准确进行经费预算。

(5)处理设备小型化、处理功能多,受自然环境影响大,工程没有寿命周期的约束。

农村生活污水处理是一项系统工程,上述的前两项难点足以说明,农村生活污水处理设施若按照城市下水道管网建设,不仅投资巨大,而且施工也十分复

杂,因此分散式处理是目前普遍认同的适合农村生活污水处理的较好方法,其中集成技术和相应的稳定运行装备是农村生活污水处理的关键。

随着我国“乡村振兴”“厕所革命”等国家战略的实施,各地积极推动农村生活污水治理,取得了一定成效,对改善农村生态环境、提升农民生活品质、促进农业农村现代化发挥了重要作用。但也要看到,农村生活污水治理仍然是农村人居环境整治过程中突出的短板,仍然面临资金投入不到位、工作进展不平衡、管护机制不健全等问题。

2 不同地域农村典型案例分析

2.1 东部沿海地区

2010年我国东部沿海地区的农村已全面建设自来水工程,但没有及时对生活污水加以处理,很多农村坐落在海岸线附近,每日有大量生活污水直排进周边海域,不仅影响自然环境,也影响海洋渔业资源。造成东部沿海地区农村脏、乱、差的主要原因有以下几点:①生活污水、家畜养殖废水等面源污染未经处理直接排出;②农村厕所几乎没有防渗措施,生活污水直接渗入地下;③农村污水处理基础设施建设落后,建设进度非常缓慢^[4]。与内陆城镇污水处理相比,东部沿海农村生活污水处理需更为注重合理性和应用性,应采用工艺简单、实际效果良好、运维方便的污水处理工艺及装备。此外,东部沿海农村风土人情、人口状况、自然环境、社会经济差异很大,应依据村落布局、人口数量、地形地貌、排水管道特点和排污规定综合规划等,选用适合的污水收集和处理方式,特别是一些旅游型的乡村,随着游客的增多,大量民宿、客栈如果没有配套的污水处理设施,对环境的影响会逐渐加剧^[5]。

东部沿海农村污水处理工程涉及面广、工作量大,相比于城市污水处理的资金投入,沿海农村污水处理项目资金预算显著不足,因此需要统筹做好农村污水治理规划,加大农村环境治理资金投入,落实项目建设资金,加快项目建设。其次,沿海农村需要因地制宜探索符合当地的生活污水治理模式。过去很多项目重建设、轻运维,导致项目没有达到规划设计的效果,所以应选取适合本地区的高效、低投入、低运行成本的农村生活污水处理模式进行应用推广。

2.2 西南地区

我国西南地区包括四川、贵州、云南、西藏、重庆,地形地貌、气候类型以及地质条件复杂多样。西南地

区经济发展缓慢,当地居民生活习惯不同,尤其是在农村地区^[6],村民保护环境的意识薄弱,卫生设施不健全,是水污染较为严重的地区。以贵州省喀斯特地区为例,该地区地下水资源丰富,污水管网不健全,收集转运污水过程中会混杂着雨水和河水,从而导致污水处理厂进水的各项水质指标偏低。针对该地区农村生活污水的特点,污水处理厂宜采用A²O工艺的立式一体化设计,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准^[7]。

2.3 华北平原地区

华北平原地区地势平坦,河流湖泊众多,人口数量大,人均水资源极度匮乏。大部分地区的农村生活污水收集管网不健全,污水处理设备少,水体受到不同程度污染,饮用水水源的水质安全受到严重威胁,直接危害农村居民的身体健康^[8]。部分村庄虽建有污水处理设备,但华北平原冬季寒冷、气温低,进入冬季后设备处理效率下降,增加了农村生活污水的处理难度。目前,华北平原农村地区的生活污水主要有集中处理和分散处理两种处理模式。集中处理模式需要建设完整的管网系统,而且选址困难,拆迁工作量巨大,前期需要投入大量的资金,地方政府财政难以支持,目前覆盖全体村域的下水管网建设基本暂停,其中一个重要的原因是缺乏农村下水管网的建设标准,使下水管网建设得不到质量和法律的保障。而分散式农村生活污水处理技术在实际应用中取得了良好效果,适合我国农村实际情况。

2.4 东北寒区

东北地区村庄分布广,人口数量少。冬季干燥寒冷的气候特征是影响该地区农村生活污水治理效果的主要因素,而且大多数农村地区没有完整的污水排放系统。该地区农村排水主要采用地下管网和明沟,没有固定的排水口,大部分地区没有配套的排水系统,生活污水直接排入旱厕或菜园,严重影响周围环境。只有距离污水处理厂不远的极少数农村铺设了排污管道,采用雨污合流的排水系统,将污水集中转移到污水处理厂^[9]。

东北寒冷地区农村生活污水与当地村民生活习惯密切相关,平均排水量少且不稳定,水中氮、磷元素含量较高^[10]。目前虽然制定了农村生活污水排放标准,但是缺乏良好的处理模式和运维模式,该地区农村生活污水处理还面临着严峻的挑战。

2.5 西北干旱区

我国西北干旱地区生态环境较为脆弱,年降水量

不均匀,冬季严寒而干燥,夏季高温。该地区村庄分布零散,集中收集生活污水困难且缺乏污水处理设备,近年来由于农村居民生活水平的提高,直接排放的生活污水增多,加剧了农村环境污染程度^[11]。

干旱地区农村生活污水处理工艺应该考虑将污水中的氮、磷等营养元素还田再利用,以实现污水资源化,同时可以适当缓解西北干旱地区水资源紧张的问题,所以设计污水处理工艺要符合当地实际情况。生物处理技术、生态处理技术和组合处理技术对COD(化学需氧量)和BOD具有良好的处理效果,不但可以保留部分的氮、磷营养元素,而且处理过程简单,前期投资少,运维便捷,对周围环境基本没有影响^[12]。

2.6 中部长江流域

长江流域农村农户住房涵盖集中式和分散式村落,总体呈点多面广、布局分散的特点,大多建设在临湖、临河、交通相对便捷之处。由于地势差异,中、西部村庄分散点多为山地、岭谷等海拔相对较高地区,东部发达地区农村则以村庄连片、居民集中点为主。长江经济带沿线农村生活污水主要来自厨房、洗浴、冲厕及家庭畜禽养殖等。污水收集方面,由于各地域农户生活习惯差异,在东部地区的河网密集区,农户存在就地倾倒洗衣等杂用废水的习惯;中、西部地区受地形限制,散户污水收集成本高且旱厕较多,收集困难。处理单元方面,原有靠墙建设的砖砌化粪池改造重建难度大,厨房油污也会导致处理设施运行异常。此外,农村小作坊的污水排放使进水水量、水质产生冲击负荷,对小规模处理设施也造成不利影响^[13]。

3 农村生活污水治理技术对比

3.1 污水收集技术

农村生活污水的收集是污水处理过程中的重要环节,由于农村居住分散、地势差异大,需要因地制宜地开展污水收集,在保证污水全收集的同时,又能减少管网建设费用。传统农村污水处理主要利用化粪池对厕所污水进行收集,相对集中后加以生化处理,或者是通过吸粪车运送到指定处理场所进行处理,但是农村地区逐渐城市化的生活方式,使得家庭洗涤、洗澡以及厨房废水的BOD负荷比厕所废水更高,不加以全面收集处理,会引起二次污染。日本在2001年立法规定建立农户生活污水处理一体化净化槽系统,明确指出化粪池不足以满足农村生活污水处理要

求,必须对农户的生活污水全面收集处理。而我国在短时间内难以逐户安装价格昂贵的户用型一体化净化槽,主要采用多户联用,甚至全村建立管网收集,然后再集中处理。这两种处理方式都需要对农户生活污水进行全收集并建设必要的管网。因此农村生活污水全收集系统不仅要考虑抑制固体颗粒物的排放,而且需保证微生物降解,以减少后端处理负荷,使出水均匀稳定。另外,管道管径、管网建设成本等也是重要的考虑因素。

控制农村污水下水管道的建设成本是重中之重,实际工程中主要通过选择合适的管径和坡度来降低建设成本,如大部分采用高密度聚乙烯(HDPE)波纹管 DN300 和 DN200 两种型号,但前者比后者价格高出约 60%,因此需要合理优化组合。王昶等^[14]的研究采用了高效的归一模块化解槽,使不同农户的生活污水转化为可溶性的污水,避免颗粒物在管道内引起堵塞的风险,管网可以采用 DN100 型号,并多户联用,大大降低成本。另外,还需因地制宜,降低管网的坡度既可以减小管道埋深,又可以节省开挖回填土方量,有效节省工程费用^[15-17]。此外管网的建设也要考虑到管道防冻,特别是在北方寒冷地区,管道埋深务必低于冻土层的深度,避免管道中污水在低温下冻结,导致整个污水处理系统瘫痪。

3.2 污水处理技术

农村生活污水处理方式有一体化设备、人工湿地、稳定塘、蚯蚓生物滤池、膜分离生物反应器、土地渗滤和生物生态组合工艺等^[18],实际工程中需要根据进水水质和出水标准选择合适的工艺进行优化组合,达到最佳效果和最低成本的目标。这些处理技术主要包括一体化设备、生态处理系统和深度处理

系统。

3.2.1 一体化设备

一体化设备投资及运行费用少、集成化程度高、处理效果明显、占地小、操作管理简单,适用性和应用性更强,尤其适用于分散式农村生活污水的处理^[19]。王昶等^[14,20-21]和王智成等^[22]利用生物膜替代活性污泥法,充分利用生物膜微生物与污水底物的正相关性,基于反应工程平推流和全混流的基本原理,对传统净化槽内部构件进行改造,抑制了高浓度污水进入低浓度区,降低后续的处理负荷,同时确保生物滤床的微生物与底物能构建生态平衡,进一步提高生物反应器的效率。净化槽装备还可以根据不同村庄和不同处理量采用多台净化槽串并联系统(图1),该工艺具有抗冲击能力强、出水水质稳定、所需能耗低、使用寿命长的优势。为了使净化槽系统处理水质达到一级排放标准,适用于水源地、风景区等农村地区,本团队又进一步开发了无回流的 A-O-A-O 深度脱氮工艺,采用点进水的方式且提供碳源,促进缺氧区的反硝化,实现深度脱氮;同时以电除磷方法替代传统的絮凝法和离子交换法,让分子态的磷酸盐在生态滤床中吸附沉积,实现对磷的深度处理,最终构建了深度脱氮除磷净化槽串并联系统(图1)。该系统是生态型污泥零排放集成技术,通过矿化、脱氮、除磷、污泥减量化工艺的优化组合,在不添加任何化学药剂的情况下,使出水实现达标排放。相对来说该系统占地面积比较大,不建议用于日处理量 100 t 以上的情况。

膜生物反应器(MBR)、移动床膜生物反应器(MBBR)、序批式活性污泥法(SBR)以及改良型 A²O 工艺装备都属于活性污泥法(图2),处理效率取决于活性污泥的活性和浓度,水量越小,处理过程的波动

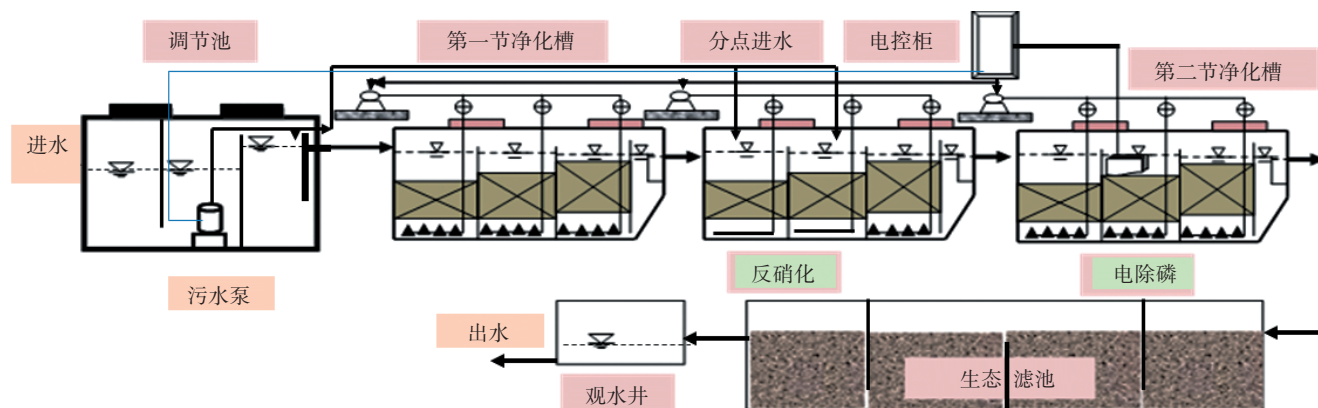


图1 净化槽工艺流程图

Figure 1 Process flow chart of purification tank

性就越大,而农村是污水流量和浓度变化最大的地区,因此系统的处理效果差异很大,而且活性污泥不具有深度脱氮除磷的功能,总氮、总磷难以达到一级排放标准。

MBR一体化装备属于膜分离生物反应器,系统中仍然使用活性污泥处理污水,出水主要依靠物理膜,采用负压抽吸,所以具有体积小、处理效率高、出水浊度低等特点,在国内村镇使用很广泛。但其缺陷也较为明显,需要靠负压排水,处理费用高,日常维护复杂,而且需要定期洗膜或换膜,清洗膜的废液如果不加以有效处理,会造成严重的二次污染。

SBR一体化装备属于序批式处理系统,进水、曝气、沉降以及排水相互有机衔接,减少了常规A²O的污泥回流,且能耗低,在自动化完备的条件下,可以应对农村生活污水波动大的特点,实现有的放矢的处理模式,尤其是对于镇一级水流量比较大的农村污水处理具有优势。但其缺点是在农村生活污水处理量不多的情况下,其处理过程为非连续式曝气,活性污泥不易控制,存在沉淀和厌氧过程,一旦出现极端情况,污泥沉降性能就会变差且难以恢复;另外,其控制系

统复杂,需要专业人员维护。

相对成熟的改良型A²O模式也很多,其主要目的是提高脱氮和除磷效率。A²O模式装备投资和操作费用低,适应能力强。但由于处理水量小,活性污泥的回流控制往往随机而定,会导致系统不稳定、污泥老化,难以提高除磷效果。另外,在小型装置中采用A²O,往往会偏离实际意义的A²O工艺,城市污水处理的A²O工艺在装备上采用折流平推流式,污水与回流的活性污泥在折流通道上进行生化反应,污水浓度随着平推流流动,污染物浓度逐步降低,在二沉池中进行沉降分离。而小型污水处理装置,虽然划分了厌氧、缺氧和好氧区域,但污水通常以混合态形式与活性污泥接触,导致单位体积的处理效率下降。

MBBR工艺处理过程属于生物膜法和活性污泥法的双重叠加系统,通过漂浮多孔填料,不仅可以提高微生物总量,而且能够提高脱氮能力,使单位体积处理能力增强,操作过程也比MBR更为简单(图2)。但是,漂浮多孔填料处于曝气环境下,气泡不断冲击使填料上生长的好氧生物膜易脱落,特别是完全采用漂浮填料的处理过程,颗粒物沉降性能差,出水浊度

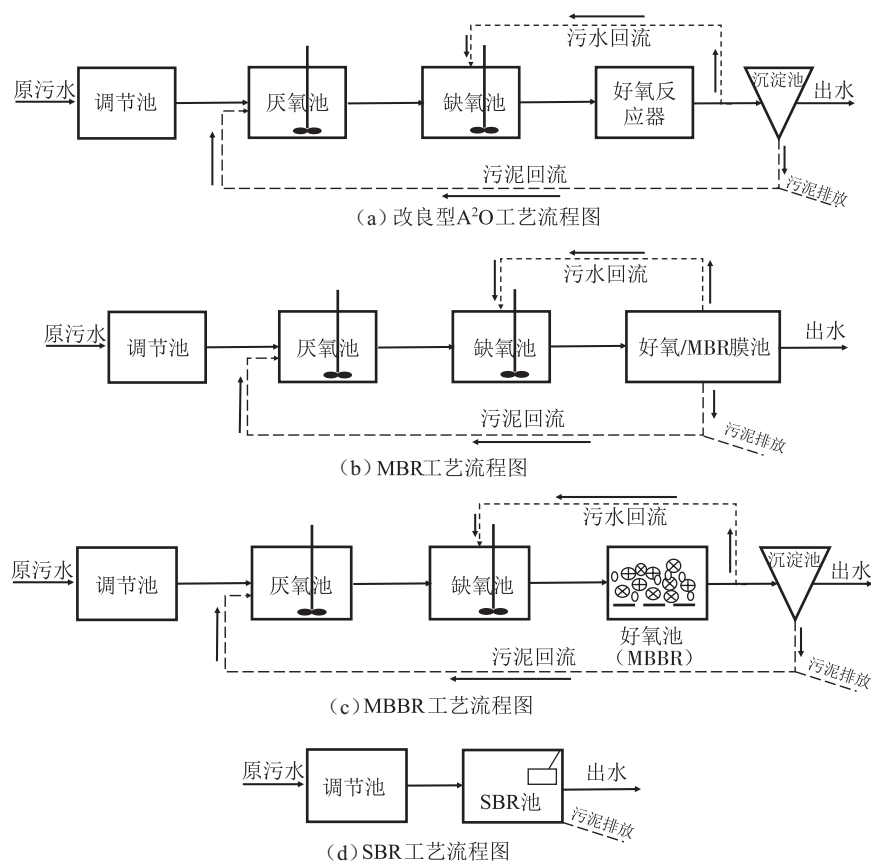


图2 常用污水处理工艺流程图

Figure 2 Flow chart of common sewage treatment process

高,需要对这些颗粒物做特殊的去除处理,还需要对分离的固体作无害化处理。此过程不具有深度除磷功能,出水难以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》的一级排放标准。

目前用于农村生活污水处理的MBR、SBR、改良型A²O以及MBBR系统中,为了实现深度除磷,几乎全部采用添加混凝剂的方法,比如在曝气池里投加聚合氯化铝(PAC)或聚合硫酸铁(PFS),而不采用独立的絮凝处理单元。但由于以上的传统工艺属于生化处理模式,直接在传统的工艺中投加混凝剂不符合工艺的基本原则。每日直接投加混凝剂不仅对系统中的微生物产生很大的影响,而且会因脱水给后期污泥处理处置带来困难;另外也要防止混凝剂进入水体,引起二次污染。

以上所列举的技术均属于二级处理方式,难以对污水进行深度脱氮除磷,出水无法达到一级标准,要想真正实现出水达到一级标准,必须进行后端的深度处理。

3.2.2 生态处理系统

生态处理工艺处理农村生活污水具有提升污水处理效率、提高水资源回收利用率、降低投资成本和改善农村整体生态环境的优势。农村生活污水生态处理技术有稳定塘系统、人工湿地系统、土地渗滤系统和蚯蚓生物滤池。

稳定塘又称氧化塘或生物塘,是一种天然的或经一定人工构筑的污水净化系统。该系统主要通过提高水体的自净作用去除水中的污染物质,而提高水体自净作用主要依靠塘中藻类和微生物的共生作用。稳定塘具有投资少、运行管理简便、节省能耗以及没有污泥产生等优点,但在水源地或人口较多地区不宜采用。

人工湿地处理技术主要分为表面流型和潜流型两种模式,两种模式的突出优势均为水力负荷与污染负荷较强、能够有效降低污水气味,与此同时,这一处理工艺完全依靠生物自行运转,因而在运行、维护和管理方面具有简便性特征,且费用支出较少,仅相当于传统生活污水处理工艺的10%~50%,非常适合人口密度较低、污水总量较少的农村区域^[23]。

土地渗滤技术是利用土壤中动植物和微生物以及土壤的物理、化学特性对污水进行净化的一种人工强化生态处理系统。该系统对生活污水具有良好的脱氮除磷效果,并且具有前期投资少、运行稳定、管理方便、不产生污泥等优势,但是该系统受场地和土壤条件影响较大。

蚯蚓生物滤池是一种通过滤料截留及蚯蚓和微生物分解来处理污水、污泥中有机物和营养物质的生态型污水污泥同步处理技术。蚯蚓生物滤池除污效率高,还可以产生一定的经济效益,并且造价和运行成本低^[24]。但污水净化能力有限,适用于高浓度低流量的污水处理。

以上处理方法都存在一定的局限性,单独使用很难达到污水处理的排放标准,需要因地制宜和优化组合。

3.2.3 深度处理系统

生活污水深度处理系统是为了达到排放标准或回收利用标准,经过一级、二级处理后,针对处理前和处理后的水质要求采用单级或多级处理工艺的工程。目前常用的深度处理技术有絮凝沉淀法、活性炭吸附法、离子交换法、膜分离法、臭氧氧化法、电化学法等物理化学方法,以及生物脱氮除磷等方法^[17,24]。

尽管我国正不断推进深度处理技术的发展,但对于农村生活污水处理的一体化设备来说,仍然存在技术复杂、工艺不成熟、使用范围小、前期投入大和回用不稳定等问题。尤其是絮凝沉降,如果控制不当,有毒的絮凝剂,如聚合物PAC或PFS,会残留在水中或者存在于污泥中,引起二次污染。若进行深度除磷过程,应同城市污水处理一样采用独立的、可控的深度絮凝除磷工艺。

多方面推进农村生活污水的再利用,开发适合我国国情的生活污水深度处理技术将是水资源合理利用、农村生态环境保护领域的重大课题。近年研究开发的无回流深度脱氮技术以及电除磷和生态滤除耦合技术^[25],能够在不使用任何化学药剂的情况下实现深度脱氮除磷,起到生态保护作用。

农村分散式处理模式和相对集中处理模式更加适合广大的农村地区。日本早期在拥有24户、240人的静冈县芝川町上长贯村建立了生活污水处理管网示范工程,其地下管网总长2 374 m,集水井3个,处理设施为两层构建,总面积为512 m²,处理工艺为活性污泥法,管理人员2人,总投资5.255亿日元,其中管网建设费占85%,总费用相当于人民币3 600万元,远远高于分散式净化槽处理费用。通过示范工程的建设,日本政府更加明确了农村生活污水宜采用分散式一体化净化槽模式,并要求家庭生活污水不能进入下水管网的户内安装一体化净化槽,同时加强对净化槽后期的运维,形成了自上而下的管理系统,并于2001年修订了《净化槽法》。目前,我国农村生活污

水处理仍然处于一个不稳定期,更多关注污水处理装备,忽略了污水收集这一至关重要的环节,致使农村生活污水收集率过低,且存在环境污染风险。

4 农村生活污水排放标准制定

4.1 各地农村生活污水排放标准对比

2018年9月生态环境部、住房和城乡建设部印发《关于加快制定地方农村生活污水处理排放标准的通知》(环办水体函〔2018〕1083号),明确了制定农村生活污水处理排放标准的总体要求、控制指标及排放限

值等,要求各地开展农村生活污水处理排放标准制修订工作,标志着我国农村生活污水排放标准体系建设。表1汇总了我国不同地区的农村生活污水排放标准。

以长江三角洲地区为例,浙江、江苏率先完成农村生活污水排放地方标准的制定,经过一段时间的实行,现有标准也更加成熟合理。对于江苏而言,结合自身情况制定分级标准,适用性更强。安徽地方标准的制定工作起步较晚,但其参考了其他省(市)的标准,借鉴了经验,弥补了不足,进而研究制定了一套更

表1 部分省(自治区、直辖市)农村生活污水排放标准(mg·L⁻¹)

Table 1 Discharge standards of rural domestic sewage in some provinces(mg·L⁻¹)

地区 Region	省份 Province	化学需氧量 COD			固体悬浮物 SS			氨氮 Ammonia nitrogen			总氮 TN			总磷 TP			动植物油 Animal and vegetable oils		
		一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级
华北	北京	30	50~60	100	15	20	30	1.5~2.5	5(8)~8(15)	25	15~20	—	—	0.3~0.5	0.5	1	0.5	1	3
	天津	50	60	—	20	20	—	5(8)	8(15)	—	20	—	—	1	2	—	3	5	—
	河北	50	60	100	10	20	30	5(8)	8(15)	15	15	20	30	0.5	1	3	1	3	5
	山西	50	60	80	20	30	50	5(8)	8(15)	15(20)	20	30	—	1.5	3	—	3	5	10
	内蒙古	60	100	120	20	30	50	8(15)	15	25(30)	20	—	—	1.5	3	5	—	—	—
东北	辽宁	60	100	120	20	30	50	8(15)	25(30)	25(30)	20	—	—	2	3	—	3	5	10
	吉林	60	100	120	20	30	50	8(15)	25(30)	25(30)	20	35	35	1	3	5	3	5	20
华中	河南	60	80	100	20	30	50	8(15)	15(20)	20(25)	20	—	—	1	2	—	3	5	5
	湖北	60	100	120	20	30	50	8(15)	8(15)	25(30)	20	25	—	1	3	—	3	5	10
	湖南	60	100	120	20	30	50	8(15)	25(30)	25(30)	20	—	—	1	3	3	3	5	5
华南	广东	60	70	100	20	30	50	8(15)	15	25	20	—	—	1	—	—	3	5	5
	广西	60	100	120	20	30	50	8(15)	25(30)	—	20	20	—	1.5	3	5	3	5	20
	海南	60	80	120	20	30	60	8	20	25	20	—	—	1	3	—	3	5	20
华东	上海	50	60	—	10	20	—	8	15	—	15	25	—	1	2	—	1	3	—
	江苏	50	60	100	10	20	30	5(8)	8(15)	25(30)	20	30	—	1	3	—	1	3	5
	安徽	50	60	100	20	30	50	8(15)	15(25)	25(30)	20	30	—	1	3	—	3	5	5
	福建	60	100	120	20	30	50	8	15(25)	15(25)	20	—	—	1	3	—	3	5	5
	浙江	60	100	—	20	30	—	15(20)	25(30)	—	—	—	—	2	3	—	3	5	—
	江西	60	100	120	20	30	50	8(15)	25(30)	25(30)	20	—	—	1	3	—	3	5	—
	山东	60	100	—	20	30	—	8(15)	15(30)	—	20	—	—	1.5	—	—	5	10	—
西南	重庆	60	100	120	20	30	50	8(15)	15(30)	15(25)	20	—	—	2	3	4	3	5	10
	四川	60	80	100	20	30	40	8(15)	15	25	20	—	—	1.5	3	4	3	5	10
	贵州	60	100	120	20	30	50	8(15)	15	25	20	30	—	2	3	—	3	5	10
	云南	60	100	120	20	30	50	8(15)	15(20)	15(20)	20	—	—	1	1	3	3	5	20
	西藏	60	100	200	20	30	50	15(20)	20(25)	—	—	—	—	2	3	—	3	5	—
西北	陕西	60	80	150	20	20	30	15	15	—	20	—	—	2	2	3	5	5	10
	青海	60	80	120	15	20	30	8(10)	8(15)	10(15)	20	—	—	1.5	3	5	3	5	15
	新疆	20	25	30	60	60	100	8(15)	8(15)	25(30)	20	—	—	—	—	—	3	5	5
	甘肃	60	100	120~200	20	30	50~100	8(15)	15(25)	25(30)	20	—	—	2	3	—	3	5	15
	宁夏	60	120	150~200	20	50	80~100	8(15)	25(30)	—	20	—	—	1	2	—	—	—	—

注: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。

Note:The values outside of parentheses are at the temperature >12℃, while in the parentheses are at the temperature ≤12℃.

加完善的标准^[26]。

根据2013年发布的《村镇生活污染防治最佳可行技术指南(试行)》(HJ-BAT-9)中的核算标准,农村生活污水处理设施规模通常不高于 $400\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$,但各地政府部门考虑到随着经济的发展和农村居民生活质量的提高,农村地区居民生活污水排水量会增加,浙江、江苏、安徽等地将地方标准中的污水处理规模确定为 $500\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 以下。调查数据显示,上海市目前建设完成的农村生活污水设施规模在 $100\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 以下,而 $200\sim 300\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 规模的农村生活污水处理设施仅有1座,因而上海市明确指出地方标准仅适用于规模小于 $300\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 的农村生活污水处理设施^[27]。综上,制定农村生活污水排放地方标准时,相关政府部门要充分考虑当地经济水平、村落聚集程度、居民生活习惯等因素。

目前各地区所建立的排放标准因地区差异而带有一些人为因素,尤其是对总磷的要求,缺乏严谨的科学依据,没有真正了解家庭生活污水中的总氮和总磷基本都来源于食物链,并非日用化学品。这使得农村生活污水处理进入一个瓶颈期,随着时间的推移,问题会逐步显现,需要进一步深入分析和总结。

4.2 农村生活污水排放标准的制定建议

住建部《城市建设统计年鉴》数据显示,2013年农村生活污水排放量为91亿t,假设生活污水中平均磷含量 $5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,氨氮为 $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,推算每年排放总磷4.55万t、总氮24.65万t。2013年,全国年施肥总量为5498万t,其中氮肥为3382万t,磷肥为1175万t^[28]。磷肥的利用率为6%~18%,假如平均利用率为12%,推算残余磷肥为1034万t;进而假设磷肥含磷量平均为10%,推算总磷年排放量为103.4万t。同样,氮肥的利用率为30%~35%,假如平均利用率为32.5%,推算残余氮肥为2282.85万t。若以尿素计量,则氮排放总量为1066.09万t。从而推知,农村生活污水的总氮和总磷年排放量相对于农用化肥未被植物吸收的年总量的比例分别只有2.31%和4.40%。

随着生活水平的提高,我国的集约化养殖也快速发展,2020年生猪出栏数为4.1亿头,养牛总量将近1亿头,根据猪与牛每日平均排出的粪污中氮磷量计算,一头猪每日排泄的氮和磷分别相当于6.2人和29.4人,一头牛分别相当于48.3人和108.0人。虽然养殖场干湿分离模式不断推进,但养殖场的污水,尤其是养猪场污水仍然是富营养元素氮和磷的重要来源之一。因此,我国应严格控制农业用肥,严格处理

养殖废水,使其达标排放,以有效解决农村面源污染和水体富营养化问题。

从以上数据分析可知,我国农村面源污染和水体富营养化的原因主要是农业化肥的过度使用以及养殖废水未得到有效处理,相对来说农村生活污水的影响是有限的,但处理也是必要的。日本不仅重视农村生活污水分散式处理净化槽排放标准,而且更重视对村庄农户污水处理的覆盖率,并以法律形式加以规定,每户都要遵循《净化槽法》,且要依法对污水进行处理。农村生活污水处理基本以单户净化槽为主,而净化槽的处理能力由日本国立环境研究所进行评价,要求BOD能够达到90%的去除率,出水BOD小于 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,对总氮、总磷没有过度要求(水源地和风景区除外)。日本农村生活污水经净化槽处理后,再依靠自然界的自净能力进行消纳,这一科学方法值得我国借鉴。

排放标准只是对出水水质的规定,而对处理量没有要求,如果农户生活污水不能全收集,或者因管路不健全而沿路流失,那么处理量只是整个村庄生活污水的一部分,即使处理后出水水质达标,相对于整个村庄生活污水来说,标准也会失去意义。因此,农村生活污水处理标准不能只着眼于污水处理后的排放指标,也要把污水收集考虑在内,否则处理的标准就有局限性。如果污水收集率只有70%,即使处理设施对BOD的去除率达到99%,对整个村庄而言污水BOD处理率也不足70%,因此污水收集对于农村生活污水处理至关重要,也是污水处理流程中最困难的环节,因而需要引起高度重视,把污水的收集作为农村生活污水处理的首要任务。

在制定排放标准的同时,还应制定相应的技术标准,例如针对水源地等特殊地区,出水要进行深度脱氮除磷,才可以达到排放要求。排放要求越高,处理技术就越关键,所以排放标准下的技术标准极为重要,需要政府有关部门制定统一的技术标准,供实施单位参照执行。农村生活污水处理要因地制宜,也要了解生活污水中的富营养物质氮和磷主要来源于食物链,应充分发挥自然的自净能力;同时,控制化肥的过度使用,严格处理氮磷含量高的养殖废水,加大农村生活污水收集率和处理率,积极提倡生态型处理模式,减少无机高分子聚合物絮凝剂的大量使用。

5 农村生活污水治理工程的运维模式

5.1 设施运营模式

目前,虽然我国部分地区建立了农村生活污水处理

理设施,但是处理设施的日常运营还面临着严峻的挑战。主要原因是污水处理设施维护成本不足,污水处理管理制度不完善,管理人员短缺。

现有的农村生活污水处理设施运营模式有:乡镇和村委会管理、建设单位自营、第三方运营、互联网+远程监控运营。其中使用最广泛的是第三方运营模式,该模式可以有效保证污水处理设备正常运行,但仍存在覆盖范围小、排除故障不及时、运维成本高等问题。利用物联网等先进技术建立一套智能的污水处理运维体系迫在眉睫。

5.2 智慧运维技术

近年来,国家对农村生活污水的治理要求不断提高,各省(市)相继出台农村生活污水排放标准,从而使农村生活污水处理设备激增。传统的运维模式不能满足高效率、低成本的需求,再加上农村生活污水处理设备分布范围广,运维方需要掌握污水处理设备的实时运行情况,因而亟需采用互联网、大数据、云计算、移动互联等新技术,建立集在线水质监测、故障报警等多功能于一体的农村生活污水智慧运维系统。分散式农村生活污水处理设施智慧运维模式主要采用多平台、多方参与和信息化的多元融合管理模式^[29]。

6 结论

相较于城市生活污水的处理,农村生活污水处理更加困难,近年来,美丽乡村建设虽已取得了前所未有的突破,但也存在很多需要解决的问题,根据以上对农村生活污水处理的论述,得出如下结论:

(1)我国农村水体污染和富营养化的主要原因是农业化肥过度使用和养殖废水未得到有效处理,相比之下,农村生活污水对水体富营养化的影响是有限的,但是处理是必要的,需要研发适合我国国情的处理工艺与设备,并制定实用可行的排放标准。

(2)农村生活污水处理不能只着眼于污水处理装置的效率,而是要把污水收集率放在第一位,如果农村生活污水收集率低,即使排放标准再高,也解决不了农村污水污染的根本问题。

(3)农村生活污水处理是一项系统工程,分散式处理是目前普遍认同的适合农村生活污水处理的较好方法,生态型处理模式与自然界自净能力相结合是我国未来农村生活污水处理的重要发展方向。

(4)农村生活污水处理排放标准的建立,还需要配套适合于农村生活处理的技术标准,这样才能够引

导我国相关环保企业健康发展。

参考文献:

- [1] 陈子爱, 贺莉, 施国中, 等. 农村生活污水排放量及特性分析[J]. 中国沼气, 2016, 34(4): 67-69. CHEN Z A, HE L, SHI G Z, et al. Analysis of domestic wastewater emissions in rural area and characteristics[J]. *China Biogas*, 2016, 34(4): 67-69.
- [2] 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[D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [3] 江成, 饶江敏, 熊继海, 等. 鄱阳湖流域农村生活污水处理现状及技术模式[J]. 环境工程, 2018, 36(10): 9-12. JIANG C, RAO H M, XIONG J H, et al. Status and trend of rural domestic sewage treatment technology: A case study of rural area in Poyang Lake basin[J]. *Environmental Engineering*, 2018, 36(10): 9-12.
- [4] 卢贤飞, 林常春, 陈刚亮. 浙江省农村生活污水处理工程现状调研及症结剖析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18): 6-9. LU X F, LIN C C, CHEN G L. Investigation on current situation of rural domestic sewage treatment projects in Zhejiang Province and analysis of its main crux[J]. *China Water & Wastewater*, 2019, 35(18): 6-9.
- [5] 张荣斌, 张晨娇. 上海崇明农村生活污水处理运行现状、问题及对策[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(10): 129-131. ZHANG R B, ZHANG C J. Current situation, issues and countermeasures of rural sewage treatment and operation in Chongming Village of Shanghai[J]. *Heilongjiang Hydraulic Science and Technology*, 2019, 47(10): 129-131.
- [6] 郑琳, 冯欢, 钱钰洁, 等. 一体化生活污水处理装置运行性能研究[J]. 水处理技术, 2011, 37(2): 73-76. ZHENG L, FENG H, QIAN Y J, et al. Study on sewage treatment with a new type integrated device[J]. *Technology of Water Treatment*, 2011, 37(2): 73-76.
- [7] 张建民, 朱四喜. 贵州喀斯特地区人工湿地应用存在的问题与解决对策[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(4): 1134-1135. ZHANG J M, ZHU S X. Problems and countermeasures in the application of constructed wetlands in Karst terrains in Guizhou[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(4): 1134-1135.
- [8] 丁文杰, 张瑞华. 北方平原地区农村生活污水治理模式选择分析[J]. 临沂大学学报, 2019, 41(6): 99-103. DING W J, ZHANG R H. Analysis on selection of rural domestic sewage treatment mode in northern plain area[J]. *Journal of Linyi University*, 2019, 41(6): 99-103.
- [9] 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 in the cold area of northeast China[J]. *Shanxi Architecture*, 2020, 46(6): 102-103.
- [10] 赵丹. 浅析农村环境问题中农民的行动逻辑[J]. 科技致富向导, 2012(32): 257. ZHAO D. Analysis of farmers' action logic in rural environmental problems[J]. *Guide of Sci-tech Magazine*, 2012(32): 257.
- [11] 乔海军. 寒旱地区农村生活污水处理工艺介绍[J]. 资源节约与环

- 保, 2019(7):69. QIAO H J. Introduction of rural domestic sewage treatment technology in cold and dry areas[J]. *Resources Economization & Environmental Protection*, 2019(7):69.
- [12] 王维红, 葛光毅, 彭维. 分散生活污水处理在西北寒冷地区的应用探讨[J]. 广州化工, 2015(16):154-156. WANG W H, GE G Y, PENG W. Application of decentralized sewage treatment in northwest cold area[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2015(16):154-156.
- [13] 颜安, 黄天寅, 许晓毅, 等. 长江流域农村生活污水治理工程建设及运维现状分析[J]. 苏州科技大学学报(工程技术版), 2021, 34(3):17-22, 49. YAN A, HUANG T Y, XU X Y, et al. Analysis of the construction, operation and maintenance of rural sewage treatment facilities in the Yangtze River basin[J]. *Journal of Suzhou University of Science and Technology (Engineering and Technology Edition)*, 2021, 34(3):17-22, 49.
- [14] 王昶, 王洪亭, 曾明, 等. 农村生活污水分散式处理的技术开发与应用[J]. 天津科技大学学报, 2017, 32(5):1-9, 27. WANG C, WANG H T, ZENG M, et al. Development and application of decentralized treatment of domestic sewage in rural areas[J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 2017, 32(5):1-9, 27.
- [15] 陶丹. 浅谈西北地区农村生活污水处理工程管网设计[J]. 环境工程, 2019, 37(增刊):12-14. TAO D. Pipe design of rural domestic sewage treatment in northwest China[J]. *Environmental Engineering*, 2019, 37(Suppl):12-14.
- [16] 王宏宇. 北方农村地区生活污水管网工程设计探索[J]. 智能建筑与智慧城市, 2019(12):54-56. WANG H Y. Exploration on the design of domestic sewage pipe network in northern rural areas: A case study of Xuguantun Village[J]. *Intelligent Building & Smart City*, 2019(12):54-56.
- [17] 杨桂蓉, 张佳霖, 薄芳芳, 等. 天津市某村农村生活污水收集管网设计实例[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(16):107. YANG G R, ZHANG J L, BO F F, et al. Design example of a rural sewage collection pipe network in a village of Tianjin[J]. *Technology and Economic Guide*, 2020, 28(16):107.
- [18] 贾小宁, 何小娟, 韩凯旋, 等. 农村生活污水处理技术研究进展[J]. 水处理技术, 2018, 44(9):22-26. JIA X N, HE X J, HAN K X, et al. Research progress of sewage treatment technology in rural areas[J]. *Technology of Water Treatment*, 2018, 44(9):22-26.
- [19] 张天益, 王琬. 农村分散生活污水一体化处理工程实例[J]. 水处理技术, 2020, 46(11):129-132. ZHANG T Y, WANG W. Engineering project of integrated rural scattered domestic sewage treatment[J]. *Technology of Water Treatment*, 2020, 46(11):129-132.
- [20] 王昶, 刘楠, 贾青竹, 等. 净化槽中生物滤床对家庭生活污水处理的水质影响[J]. 水处理技术, 2009, 35(10):73-77, 117. WANG C, LIU N, JIA Q Z, et al. Influence of bio-filter bed on domestic sewage treatment in purifying tank[J]. *Technology of Water Treatment*, 2009, 35(10):73-77, 117.
- [21] 王昶, 杨晓娇, 酒井裕司, 等. 新型净化槽对污水进水量的抗冲击性能研究[J]. 环境工程, 2014, 32(2):59-63. WANG C, YANG X J, SAKAI Y J, et al. Study on impact resistance of sewage inflow in new purifying tank[J]. *Environmental Engineering*, 2014, 32(2):59-63.
- [22] 王智成, 王昶, 酒井裕司, 等. 净化槽中生物滤床种类对家庭生活污水处理效果的影响[J]. 水处理技术, 2011, 37(2):81-84, 89. WANG Z C, WANG C, SAKAI Y J, et al. Effect of different kinds of bio-filter on treatment of household sewage in purifying tank[J]. *Technology of Water Treatment*, 2011, 37(2):81-84, 89.
- [23] 储勋, 曹锐, 江澎. 污水生态处理工艺在农村生活污水处理中的应用探析[J]. 南方农业, 2020, 14(33):220-221. CHU X, CAO R, JIANG P. Analysis on the application of sewage ecological treatment technology in rural sewage treatment[J]. *South China Agriculture*, 2020, 14(33):220-221.
- [24] 贾晓竞, 毕东苏, 周雪飞, 等. 农村生活污水生态处理技术研究与进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31):19307-19309. JIA X J, BI D S, ZHOU X F, et al. Discussion of the developments of domestic wastewater ecological treatment in rural area[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(31):19307-19309.
- [25] 王昶. 一种矿化脱氮除磷和污泥减量化与生态滤池耦合处理设备: CN209815897U[P]. 2019-12-20. WANG C. Coupling treatment equipment for mineralized nitrogen and phosphorus removal, sludge reduction and ecological filter: CN209815897U[P]. 2019-12-20.
- [26] 周文强, 贾冰. 长三角地区农村生活污水处理设施水污染物排放标准比较研究[J]. 再生资源与循环经济, 2020, 13(4):35-38. ZHOU W Q, JIA B. A comparative study on the discharge standards of water pollutants for rural domestic sewage treatment facilities in the Yangtze River Delta region[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2020, 13(4):35-38.
- [27] 时珍宝, 吴伟峰, 严寒, 等. 上海市《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》解读[J]. 净水技术, 2019, 38(9):1-5, 11. SHI Z B, WU W F, YAN H, et al. Explanation of discharge standard of water pollutants for rural sewage treatment facilities of Shanghai[J]. *Water Purification Technology*, 2019, 38(9):1-5, 11.
- [28] 杨帆, 孟远夺, 姜义, 等. 2013年我国种植业化肥施用状况分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1):217-225. YANG F, MENG Y D, JIANG Y, et al. Chemical fertilizer application and supply in crop farming in China in 2013[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2015, 21(1):217-225.
- [29] 陈锐, 崔贤程, 黄天寅, 等. 分散式农村生活污水处理设施统一管理模式研究——以平望镇为例[J]. 给水排水, 2020, 46(9):15-19, 59. CHEN R, CUI X C, HUANG T Y, et al. Research on unified management mode of decentralized rural domestic sewage treatment facilities: A case study of Pingwang Town[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2020, 46(9):15-19, 59.