

农村生活污水处理技术现状与进展

李平海,陈轶凡

(南京柯若环境技术有限公司,江苏 南京 210000)

摘要:农村生活污水处理是深入打好污染防治攻坚战、实施乡村振兴战略的重要任务。基于国家统计数据 and 文献资料调查数据,综述了国内外农村生活污水处理的现状和发展趋势,分析了不同地区和不同类型的农村生活污水的特点和治理模式,评价了常用的农村生活污水处理技术的特点和适用范围,并提出了未来农村生活污水处理的发展方向和建议。旨在为农村生活污水治理提供参考和借鉴,促进农村环境整治和乡村振兴。

关键词:农村;生活污水;处理技术

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0008-04

0 引言

随着国家城镇化程度的加快,截至2021年,我国居住城镇人口901 991 162人,居住乡村人口509 787 562人^[1]。人口增加,其产生的废水总量随之增加。截至2021年,城镇的污水治理率达97.89%,县城的污水处理率达96.11%,农村的污水处理率为36.94%,数据表明农村存在大量未经处理直接排放的污水^[2]。农村生活和生产污水的无序排放会导致黑臭河道的产生、水体的富营养化^[3]和污染源^[4-5]等问题,进而影响农村人居环境整治计划的推进^[6]。鉴于此,本文简要分析农村生活污水特点和污水处理模式,着重对农村生活污水的分散式处理技术进行总结,以为农村污水处理提供参考。

1 农村生活污水的特点

根据污水产生的场所,农村用户产生的污水可分为黑水和灰水。黑水为冲厕污水,灰水为洗漱、洗澡、洗衣和厨房用水等^[7]。农村用户的普遍生活作息为04:00—22:00,其中存在3个用水高峰,分别为04:00—06:00、10:00—12:00、18:00—22:00。在用水高峰中,黑水的产生量几乎无变化,但灰水的排放出现峰值,且后者的排放量大于前者。在表1单户黑水和灰水的不同指标值中,黑水相对灰水而言,其水量小,但是其污染物浓度相对较高^[8]。农村的住房往往

根据村里可用住宅地的地势建设,其住宅点分布相对分散,污水的排放口多而分散。

表1 单户黑水和灰水的不同指标值

指标	黑水	灰水
水量/(L·cap ⁻¹ ·d ⁻¹)	15.8±3.9	81.9±23.4
COD/(mg·L ⁻¹)	1203~1711	497~584
NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	73.4~172.6	3.9~7.3
TN/(mg·L ⁻¹)	214.6~608.0	18.0~26.0
TP/(mg·L ⁻¹)	18.8~39.6	2.1~2.7

农村的居住和生活特点,使得其产生的生活污水与城镇生活污水的特点存在较大的差异,农村生活污水存在水量和水质变化系数大以及排放口多,常规管道收集的难度大和性价比低,并且在处理技术上的选择存在较大的局限性^[9-12]。

2 农村生活污水处理模式

农村生活污水处理模式主要取决于农村人口分布、地形地貌、气候条件、经济发展水平、环境保护要求等因素。根据这些因素,农村生活污水处理模式主要分为常规处理模式和新型处理模式,常规处理模式即为混合处理模式,而新型处理模式则是灰黑分离处理模式。

2.1 混合处理模式

混合处理是将生活污水通过管道收集、混合和运输至污水处理设施处理,满足当地排放标准后排放。

2.1.1 城市纳管集中处理模式

适用于人口居住集中、地形平坦、水资源充足、经

收稿日期:2023-10-25

作者简介:李平海(1996—),男,学士,工程师,从事工艺研发和设计工作。

济发达、环境要求高的地区,将距离市政污水管网较近的,并且具备施工条件的生活污水产生单位,通过污水管道收集后接入市政管网,由市政污水处理厂统一处理。该模式利用现有污水处理厂,只需建设污水管网接入市政管网即可,具有处理高效、规模大、运营成熟、投资低和见效快等优点,但也存在建设成本高、运行费用高、管网维护难等缺点。

2.1.2 农村连片集中处理模式

根据村镇及其临近村镇的地势情况和施工条件,在相对村镇地势的较低处建设污水处理站,通过官网敷设,将污水处理站周围村镇产生的生活污水运输至污水处理站处理,污水处理达标后排放。

2.1.3 农村分散式处理模式

适用于人口居住分散、地形复杂、水资源缺乏、经济欠发达、环境要求低的地区。因地势情况和施工条件的限制,区域内的生活污水无法通过管道运输至临近污水站,需就地建设污水站进行处理。根据规模大小,可分为单户或多户联合处理模式。采用该模式,可避免过长管道的建设,从而导致的资金的浪费,但也存在处理效果差、运行管理困难、资源回收利用率低等缺点。

2.2 灰黑分离处理模式

根据污水中污染物质浓度将污水分为黑水和灰水,黑水水量少但是其污染物和含病原菌浓度高,处理难度较高;而灰水水量多但是其污染物和含病原菌浓度较低,易于处理。基于灰黑分离处理模式,从单户层面将生活污水源头分离,黑水和灰水区别化初级处理后再进行汇合处理,该模式显著减小后续污水处理的污染负荷,进而减少处理时间和设施体积,达到降低建设和运行成本的目的^[13]。

3 农村生活污水处理技术

3.1 农村主要处理技术

生活污水处理技术主要包括物理法、化学法和生物法三大类。物理法主要利用物理作用对污水进行固液分离或浓缩,如沉淀法、过滤法、膜分离法等;化学法主要利用化学反应或吸附作用对污水中的有机物或无机物进行转化或去除,如混凝法、氧化法、吸附法等。生物法主要利用微生物或植物对污水中的有机物进行降解或转化。目前农村生活污水的主要生物处理技术有五类,依次为活性污泥法、生物膜法、生态处理法、一体化技术和组合工艺法。其中农村活性污泥法和生物膜法是城镇污水处理技术的延

伸,基于该工艺对农村处理规模进行缩小化设计,由于农村相对城镇而言,其人才缺乏和资金匮乏,难以稳定运行改工艺站点,因此城镇污水技术照搬存在“水土不服”的情况;生态法是利用生态工程的方法,构建生态系统,系统对水质的净化是一个复杂的过程,存在物理、化学和生物作用。但是生态处理法往往占地面积大,并且处理效果受季节温度影响大。一体化技术和组合工艺是针对单一工艺难以处理达标,对不同工艺进行组合而成,其处理效果较好,但是其运维费用较高。综合文献的调研^[14-22],例举部分地区农村主要处理技术投资对比见表2。

表 2 部分地区农村主要处理技术投资对比表

处理技术	处理工艺	运维方式	运维费用 / (元·d ⁻¹)	建设成本 / (万·t ⁻¹)	地区
活性污泥法	埋地式污水装置	无人值守	0.10	0.03~0.04	—
	A/O	定期清理	0.91	0.66	盐城
	MBR	专人看守	0.90~1.50	0.66	上海
	SBR	定期清理	0.41	0.35	常熟
生物膜法	生物滤池	无人值守	0.23	0.33	盐城
	接触氧化	定期清理	0.54	0.66	无锡
生态处理法	土壤渗滤系统	定期清理	0.59	0.46	靖江
	人工湿地	定期清理	0.09	0.50	溧阳
	地下渗滤	无人值守	—	0.06~0.13	滇池
	稳定塘	无人值守	0.05	0.05	—
一体化技术	一体化生物集成	定期清理	0.60	0.71	上海
	SBR	定期清理	0.95	—	苏州
	接触氧化池	定期清理	0.44	0.69	广东
	A2/O-MBR	专人看守	0.70	0.23	四川
组合工艺法	微动力生化+景观绿地	无人值守	0.25~0.40	0.20	上海
	SBR+化学除磷	专人看守	0.40~0.60	0.35	上海
	接触氧化+人工湿地	定期清理	1.37	1.00	南京
	生物滤池+人工湿地	无人值守	0.32	0.94	常州
	一体化设备+人工湿地	定期清理	0.96	0.66	常州
	一体化生物集成+人工湿地	定期清理	0.35	0.67	上海

3.2 农村新型处理技术

随着乡村人居环境整治计划的持续推进,农村生活污水处理技术呈现多样化,但是殊途同归的是其技术特点解决常规技术在农村地区不适应的情况,目前在农村地区适用需要解决的问题:(1)农村地区专业人员较少,无法对污水处理站的运行情况进行维护,需要解决站点无人运维或自动化程度低的问题。(2)农村地区财政压力大,资金短缺,往往想

着一劳永逸的建设,避免后续重复投资,当出现问题时,需要解决低成本、高效的更新维护的问题;以及该技术需要较低的建设成本和运维成本。

如南京大学周正伟等^[23]研发腐殖填料生物滤池处理农村生活污水,COD、NH₄⁺-N、TP的平均去除率分别为55.0%、100%、84.5%,其出水水质:COD < 40 mg/L、TP < 0.5 mg/L、NH₄⁺-N基本检测不出来。而其工程建设费小于0.3万/m³,污水处理成本小于0.1元/m³。东南大学吕锡武等^[24]研发厌氧-缺氧调节-跌水接触氧化-植物滤床处理生活污水,其总氮、氨氮的去除率分别为75%、95%,总磷的出水值低于0.3 mg/L。设施建设费小于3 000~4 000元/m³,运行费小于0.1元/m³。以及研发脱氮池-脉冲多层复合滤料生物滤池-生态单元处理农村生活污水,其总氮、氨氮和总磷的去除率分别为75%、95%、80%。设施建设费小于3 000~4 000元/m³,运行费小于0.1元/m³。综合文献的调研^[15,17,23-25],例举部分地区农村新型处理技术投资对比见表3。从表3可以看出,新型处理技术主要是对生态处理法的改进和组合,比如生物膜法中的腐殖填料生物滤池是利用腐殖填料丰富的微生物种群,采用滤池形式对污水进行处理,这样其运维和建设费用较低,且更新维护成本低。

表3 部分地区农村新型处理技术投资对比表

处理技术	处理工艺	运维方式	运维费用 / (元·d ⁻¹)	建设成本 / (万元·t ⁻¹)	地区
活性污泥法	DSP-SH (A ² O)	定期清理	0.8	0.70	常熟
生态 处理法	蚯蚓滤池系统	无人值守	0.08	0.50	苏州
	多介质土壤渗滤(MSL)	无人值守	0.04	0.85~0.90	浙西
一体化 技术	PEZ 高效污水 处理	专人看守	0.50	2.50~3.00	浙西
生物 膜法	腐殖填料生物 滤池	无人值守	0.067	0.30	扬中
组合 工艺法	海沃特复合生 物水处理技术	定期清理	0.25	0.40~0.80	常熟
	厌氧-缺氧 调节-跌水 接触氧化- 植物滤床	无人值守	0.10	0.30~0.40	昆山
	脱氮池-脉冲 多层复合滤料 生物滤池- 生态单元	无人值守	0.15	0.18	无锡
	叠层生态滤床	无人值守	基本无	0.70~0.80	浙西

4 结 论

农村生活污水治理是“十四五”规划里的人居环境治理的重要内容,但是目前我们农村污水处理率还比较低,其中不乏污水处理站点只建设不运营的情况。建议各地方在规划建设的过程中应综合考虑资源回收利用的最大化、处理技术的可维护性、工艺运行的简单性和经济性等因素,因地制宜地选择符合地方地形位置的处理技术。农村生活污水问题是农村环境保护的重要组成部分,对于改善农村生态环境、保障农村水资源具有重要意义。当前,我国农村生活污水处理技术尚不成熟,需要加强研究和技术推广,提高农村生活污水处理水平。随着国家对环境保护的重视和政策的支持,农村生活污水处理技术将迎来更加广阔的发展空间,为建设美丽乡村和实现乡村振兴战略目标提供有力保障。随着全球人口的持续增长和经济的发展,水资源需求不断攀升,而农村地区成为水资源消耗的主要区域之一。然而,由于农村地区的特殊性,如地形复杂、基础设施不完善等,使得农村水资源的可持续利用面临诸多挑战。因此,对实现农村水资源的可持续利用提出以下几点建议。

首先,加强农村污水处理设施建设是关键。政府应加大投入,完善农村污水处理设施,提高污水处理能力。这包括建设污水处理厂、改造升级现有的污水处理设施,以及推广适用于农村地区的小型污水处理设备。通过这些措施,可以有效减少农村污水对水资源的污染,保障水质安全。此外,政府还应加强对污水处理设施的运行管理和维护,确保其正常运行,发挥预期效果。

其次,推广节水型农业生产方式也是促进农村水资源可持续利用的重要途径。农业生产是农村用水的主要来源,因此,通过改进灌溉方式、提高农业用水效率等方式,可以有效减少农业用水量,从而减轻对水资源的压力。例如,可以推广滴灌、喷灌等先进灌溉技术,以提高农业用水效益。同时,政府还应加强对农民的培训和指导,提高他们的节水意识和技能,使他们能够更好地利用有限的水资源。

再者,加强农村居民的水资源保护意识也至关重要。通过开展水资源保护宣传教育活动,提高农村居民对水资源短缺的认识,引导他们养成节约用水的好习惯。此外,政府还可以通过制定相应的法律法规和政策措施,对水资源的浪费和污染行为进行严

格监管和惩罚,以营造良好的水资源保护氛围。

最后,加强农村水资源监测与管理是实现水资源可持续利用的重要保障。政府应建立健全农村水资源监测体系,定期对农村水资源进行监测评估,为决策提供科学依据。同时,加强农村水资源管理,制定合理的水资源开发利用规划,确保水资源的合理配置和有效利用。此外,政府还应加强对农村水资源的科学研究和技术支持,推动水资源管理的技术创新和发展。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国统计局.第七次全国人口普查公报(第七号)[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.中国城乡建设统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [3] Xu Y,Lu X,Chen F.Field investigation on rural domestic sewage discharge in a typical village of the Taihu Lake Basin[J].Iop Conference Series:Earth and Environmental Science,2020,546(3):032031.
- [4] Wang W H,Kuan T H.Rural sewage treatment processing in Yongjia County, Zhejiang Province[J].Iop Conference Series:Earth and Environmental Science,2016(39):012037.
- [5] Duan N,Xiong J,Feng Q,*et al.*Special Rural Sewage Treatment Plan in Jiangxia District, Wuhan City, China[J].Sustainability, 2023, 15(3):1764.
- [6] 中华人民共和国中央人民政府.中共中央办公厅 国务院办公厅印发《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025年)》[N].新华社,[2021-12-05].https://www.gov.cn/zhengce/2021/12/05/content_5655984.htm.
- [7] Oh K S,Leong J Y C,Poh P E,*et al.*A review of greywater recycling related issues:Challenges and future prospects in Malaysia[J].Journal of Cleaner Production,2018(171):17-29.
- [8] 程方奎,汪晨晨,温仓祥,等.太湖流域农村生活污水产污特征及治理模式分析[J].东南大学学报(自然科学版),2022,52(3):578-585.
- [9] 何源,吕锡武,郑向群,等.巢湖地区农村生活污水产排污调研方法及实证[J].农业资源与环境学报,2022,39(2):319-325.
- [10] 刘云国,江卢华,曾光明,等.我国农村生活污水分散式处理技术的研究进展[J].世界科技研究与发展,2014,36(3):343-348.
- [11] Li X.Rural Domestic Sewage Treatment Technology Application in Conghua District of Guangzhou under the Rural Revitalization Strategy[J].IOP Conference Series:Earth and Environmental Science, 2021,621(1):012097.
- [12] Piasecki A.Water and Sewage Management Issues in Rural Poland [J].Water,2019,11(3):625.
- [13] 程方奎,巩子傲,汪思宇,等.农村生活污水低耗资源化处理工艺应用[J].东南大学学报(自然科学版),2020,50(6):1076-1083.
- [14] 曹蕾,陆继来,周军,等.江苏省太湖流域农村生活污水处理技术评价[J].环境科技,2015,28(1):24-27.
- [15] 张悦,段华平,孙爱伶,等.江苏省农村生活污水处理技术模式及其氮磷处理效果研究[J].农业环境科学学报,2013,32(1):172-178.
- [16] 贾倩,朱梦洁,胡亚伟,等.农村水环境污染控制及治理技术分析[J].中国资源综合利用,2021,39(7):183-185.
- [17] 龙珍,王海琴,张亚平,等.四种农村生活污水处理技术比较研究[C]//2016全国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集.北京:中国环境科学学会,中国环境科学研究院,2016.
- [18] 周正伟,吴军,夏金雨,等.我国南方农村生活污水处理技术的研发现状[J].山东建筑大学学报,2009,24(3):261-266.
- [19] 王云龙,张微晨,陶琪,等.四种农村生活污水处理工艺比较[J].水处理技术,2011,37(7):133-136.
- [20] 彭杰,黄天寅,曹强,等.一体化SBR农村生活污水处理设施设计[J].水处理技术,2015,41(1):132-134.
- [21] 彭扬飞.基于农村生活污水一体化处理技术应用与发展分析[J].环境与发展,2018,30(12):89,91.
- [22] 谢晴,伍阳,蒋加洪,等.新型农村污水处理一体化技术在工程中的应用[J].水处理技术,2016,42(4):123-126.
- [23] 周正伟,吴军,曹丽华,等.腐殖填料生物滤池处理生活污水的效能研究[J].中国给水排水,2010,26(7):22-26.
- [24] 吕锡武.小型分散式农村污水处理的理论与实践[J].水工业市场,2012(9):26-34.
- [25] 裘知,胡智锋,孔令为,等.叠层生态滤床技术在生活污水处理中的应用研究[J].环境污染与防治,2014,36(12):43-45.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com