

王彩虹, 郭绍东. 广州市农村生活污水处理现状及经验[J]. 净水技术, 2025, 44(1): 92-97, 143.

WANG C H, GUO S D. Existing situation and experience of rural domestic wastewater treatment in Guangzhou[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(1): 92-97, 143.

广州市农村生活污水处理现状及经验

王彩虹¹, 郭绍东^{2,3,*}

(1. 中誉设计有限公司, 广东清远 511500; 2. 武汉科技大学城市建设学院, 湖北武汉 430065; 3. 武汉科技大学城市更新湖北省工程研究中心, 湖北武汉 430065)

摘要 【目的】为深入了解广州市农村生活污水治理现状, 总结推广行之有效的治理经验, 为其他地区开展新农村建设提供借鉴。【方法】采用现场勘察、资料复核、数据统计、水质[化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮、总磷]分析等方法, 考察分析了农村生活污水治理工程建设、运维管理、资金投入情况、污水收集情况及各类型处理工艺的运行效果。【结果】结果显示, 广州市因地制宜选择治理模式, 优选工程总承包(EPC)模式进行建设, 公开招标第三方单位开展运维工作, 持续建设、运维资金投入, 启用信息化管理手段, 取得了显著效果。建设污水管网长度约为 8 500 km, 建成农村生活污水集中处理设施站点 2 600 余个, 总处理能力达到 17.6 万 m³/d。污水收集系统存在渗水、管网质量缺陷、雨污合流等问题。集中处理主要采用厌氧池+人工湿地、厌氧池、膜生物反应(MBR)工艺、厌氧/缺氧/好氧(AAO)工艺, 占比分别为 46.9%、27.9%、10.6%、12.2%。处理规模在 50 m³/d 以下。运维成本排序为 MBR>AAO>厌氧池+人工湿地>厌氧池。占地面积排序为厌氧池+人工湿地>厌氧池>AAO>MBR。各工艺对 COD_{Cr}、氨氮、总磷去除效果差异较明显, 厌氧池出水水质最差。【结论】农村生活污水治理过程中要重视管网建设质量及运维管理, 加大资金投入, 根据运维成本、占地情况、水质水量等选择合适的处理工艺。

关键词 农村生活污水 治理现状 处理工艺 污水收集 工艺选择

中图分类号: X799 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)01-0092-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.01.011

Existing Situation and Experience of Rural Domestic Wastewater Treatment in Guangzhou

WANG Caihong¹, GUO Shaodong^{2,3,*}

(1. Zhongyu Design Co., Ltd., Qingyuan 511500, China;

2. School of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China;

3. Hubei Provincial Engineering Research Center of Urban Regeneration, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China)

Abstract [Objective] In order to get insight into the existing situation of rural domestic wastewater treatment in Guangzhou, summarize and promote effective treatment experience, and provide reference for other areas to carry out new rural construction. [Methods] The construction, operation and maintenance management and capital investment of rural domestic wastewater treatment project were investigated and analyzed by site investigation, data review, data statistics and water quality [chemical oxygen demand (COD_{Cr}), ammonia nitrogen, total phosphorus] analysis, wastewater collection and the operation effect of various treatment process. [Results] The results showed that Guangzhou selected the governance mode according to local conditions, preferred the engineering procurement construction (EPC) mode for construction, publicly invited third-party units to carry out operation and maintenance work, continued construction and operation and maintenance capital investment, and used information management means, and achieved remarkable results. More than 8 500 kilometers of wastewater pipe networks and 2 600 rural domestic wastewater centralized treatment facilities with a total treatment capacity of 176 000 m³/d had been built. There were some problems in wastewater collection and

[收稿日期] 2024-04-30

[基金项目] 国家自然科学基金项目(52200173)

[作者简介] 王彩虹(1978—), 女, 博士, 高级工程师, 研究方向为水环境工程设计与研究, E-mail: 21717075@qq.com。

[通信作者] 郭绍东(1987—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为污水及污泥处理, E-mail: guo_shaodong@126.com。

storage, such as water seepage, pipe network quality defects, rainwater and wastewater confluence, etc. The concentrated treatment mainly used anaerobic pond + constructed wetland, anaerobic pond, membrane biological reaction (MBR) process, and anaerobic/anoxic/aerobic (AAO) process, accounting for 46.9%, 27.9%, 10.6%, 12.2% respectively. The processing scale was below 50 m³/d. The order of operation and maintenance cost was MBR > AAO > anaerobic tank + constructed wetland > anaerobic tank. The covering area rank was anaerobic pool + constructed wetland > anaerobic pool > AAO > MBR. The removal effect of COD_{Cr}, ammonia nitrogen and total phosphorus was different, and the effluent quality of anaerobic tank was the worst. [Conclusion] In the process of rural domestic wastewater treatment, attention should be paid to the quality of pipe network construction and operation and maintenance management, strengthen capital investment, and select the appropriate treatment process according to operation and maintenance cost, land area, water quality and quantity, etc.

Keywords rural domestic wastewater treatment status treatment process wastewater collection process selection

随着美丽乡村建设、乡村振兴战略工作的推进,农村生活污水治理工作也在大力开展,对其的研究也逐渐得到了业内学者的重视。当前农村生活污水治理综合考虑人口规模、人口密度、城镇管网的敷设范围、施工难度、建设成本等因素,主要通过 3 个方式进行:第一类,将污水收集后纳入城镇污水处理厂处理;第二类,建设农村集中处理站点;第三类,采用联户或单户分散处理后达标排放或资源化利用。

广州市农村社会经济的蓬勃发展,人口剧增,环境污染问题日益凸显,农村生活污水治理问题也愈发受到关注及重视。为改善农村人居环境质量,广州市自 2008 年起,按照“因地制宜、分类推进、建管并重”梯次推进农村生活污水治理工作,涉及广州市白云区、黄埔区、花都区、番禺区、南沙区、从化区、增城区 7 区下辖的 1 144 个行政村。广州市农村生活污水治理为改善农村人居环境、美丽乡村示范带建设的重要内容,取得了突出成果。结合广州市农村生活污水治理建设情况,总结该市在农村生活污水治理方面的经验,有利于为广州市及其他地区新

乡村建设提供借鉴。广州市建设集中式处理站点的村庄较多,在建设、运行、维护管养上需要更高的成本,受到了更多的重视,分析考察设施站点各类工艺的运行效能,为类似工艺建设提供思路显得尤为重要。为此,统计了广州市所采用的主要工艺类型,在设施出水达标排放、污染物[化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮、总磷]削减上的效果,分析总结了各类工艺处理农村生活污水的特点。

1 广州市农村生活污水治理情况

1.1 广州市农村生活污水处理项目建设概况

截至近年,广州市各区农村生活污水处理工程建设情况如表 1 所示。实现了全市 7 231 个自然村生活污水治理,其中有 2 286 个接入城镇污水处理厂、3 416 个建设集中式污水治理设施、1 529 个采用资源化利用,受益人口约为 550 万,全市累计敷设农村生活污水收集管网长度为 8 551.4 km(不含城中村截污纳管量),建成农村生活污水处理设施站点 2 617 个,污水处理能力超过 17 万 m³/d。但部分村庄存在管网雨污分流不彻底、旱天满管流,处理设施出水不达标、进出水污染物浓度差小等问题。

表 1 广州市农村生活污水处理建设总体概况

Tab. 1 General Situation of Guangzhou Rural Domestic Wastewater Treatment Construction							
项目	自然村数/个	纳入城镇污水处理系统	建设农污处理设施	资源化利用	设施建设情况		
		自然村数/个	自然村数/个	自然村数/个	污水管网长度/km	已建设施站点数/个	设施处理规模/(m ³ ·d ⁻¹)
白云区	109	101	8	0	266.92	32	6 556
黄埔区	11	10	1	0	460.31	1	100
花都区	1 106	737	312	57	1 361.18	222	31 024
番禺区	178	155	23	0	797.59	50	6 907
南沙区	87	22	65	0	1 578.35	305	44 815
从化区	2 726	208	1 545	973	1 130.97	1 198	49 561.91
增城区	3 014	1 053	1 462	499	3 275.07	809	37 713.05
总计	7 231	2 286	3 416	1 529	8 870.39	2 617	176 676.96

1.2 经验做法

1.2.1 因地制宜选择治理模式

针对治理模式选择不合理、设施处理效果不好、收水困难、盲目建设设施站点等问题,该市编制印发《广州市农村生活污水处理适用技术指引(修订版)》《广州市农村生活污水治理查漏补缺技术指引》《广州市水务局关于农村生活污水治理资源化利用和设施认定(试行)等工作的通知》,指导各区因地制宜选择纳入城镇污水处理系统、就地建设污水处理设施、污水资源化利用(或自然生态消纳)等一种或多种方式开展治理^[1]。从农村实际出发,不照搬城镇模式,选取原则如下。

(1)位于城镇周边、可协调纳入城镇污水处理厂服务范围且符合市政排水管网接入要求的村庄,优先考虑将村庄收集污水纳入城镇污水处理系统完成处理,农村生活污水水质应达到《排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)。

(2)居住相对集中的村庄或村庄片区,根据居住片区情况建设集中的单个或多个污水处理设施。

选择管护简便、建设和运维费用低的工艺设备。

(3)人口规模小、居住分散的村庄或村庄片区,在周边无黑臭水体且水环境良好的前提下,采用污水资源化利用(或自然生态消纳)方式进行处理。

1.2.2 持续投入资金

资金筹措难、投入大一直是农村生活污水治理的共性问题^[2-3],针对该问题该市强化涉农资金统筹整合,将财政资金投入向农污治理倾斜,持续加大投入力度,坚持投入同治理要求匹配,形成以区筹集为主,市级财政给予适当补助的资金筹措方式,保障资金投入。该市农村生活污水治理建设及运维养护费用市级补助标准如表2所示。“十三五”期间,市区两级财政累计投入农污治理资金为112.9亿元,管网设施双管齐下,是“十二五”投入的9.3倍。建设过程中实施“以奖代补”制度,对按时完成建设任务的村社给予20万元补助。维管资金标准为:非纳入城镇治理村的维修养护标准为26元/(人·年)、大中修标准为9元/(人·年)。

表2 建设及运维养护费用市级补助标准

Tab. 2 Municipal Subsidy Standard for Construction, Operation and Maintenance Expenses

项目	系统	标准
建设投资参考标准	2009年—2016年 非纳入城镇污水处理系统治理村	800元/人(从化区为1000元/人)
	2014年起 纳入城镇污水系统治理村	500元/人
	2016年起 非纳入城镇污水系统治理村	2500元/人
	纳入城镇污水系统治理村	1900元/人
运维养护参考标准	非纳入城镇污水系统治理村	26元/(人·年)
	纳入城镇污水系统治理村	参照《广州市市政设施维修养护工程年度费用估算指标》
	大中修	9元/(人·年)

1.2.3 优选建设运维模式

针对农污项目分布散、队伍小、看不住、成效差等突出问题,优选工程总承包(EPC)建设模式,将多个分散小项目打包为规模化、系统化大项目,吸引水平高、专业强的团队组织参与建设,特别是南沙区创新采用EPC+O(运营)模式,将建设与后期运维管理打包招标,显著提高了治理效果。

针对农村地区技术人员缺乏、设施管养不到位等问题,各区通过公开招标确定第三方专业维管单位进行专业性的运维管理工作,有效提高了维护质量。同时成立村级运维管理队伍,负责非专业的日常养护工作,增强了村民自治自管的责任感。

1.2.4 开展运行效能评价

当农村生活污水治理设施在监管不到位的情况下,容易出现晒太阳工程。为此,该市2010年起便开展了农村生活污水治理运行维护监督考核工作,多次印发广州市农村生活污水治理运行维护监督考核工作细则,形成了市监督、区组织、镇(街)实施的管理制度,经过不断修订,逐步收严考核标准,于2020年创新建立运行效能评价体系,编制《广州市农村生活污水治理设施运行效能评价工作指引》(试行),考核和评价工作通过招标确定第三方技术单位具体实施。市级对区级采取定期评价、现场指导及突击检查相结合的方式开展效能评价,定期评

价每半年一次,其余月份进行现场指导及突击检查。区级对镇街每季度一次,镇街对行政村、区级或镇街对维管单位每月一次。评价结果填报至广州市农村生活污水治理管理信息系统,量化排名,定期通报。

1.2.5 应用信息化管理

针对农污设施点多、面广、规模小、管理难等问题,开发应用了广州市农村生活污水管理信息系统,采集全市农村的人口、各类管(渠)、井、设施点及水质检测等农污基础信息,开发了信息报送、数据查询、建设管理、污泥管理、事务处理、维管人员签到、在线监测、巡检打卡、巡检追踪、问题上报、问题交办及督办、问题整改等全流程数字化管理功能,实现巡检履职、设施状态、问题整改等管理事务“一目了然”,管理流程“全覆盖、可倒查、可追溯”,每周自动生成巡检周报,每半月公布“红黑榜”,切实压实一线人员巡查养护责任,督促维管工作见人、见点、见事落实到位,提高运维水平。

2 农村集中式处理设施运行情况

2.1 建设情况

2.1.1 污水处理主体工艺

统计了全市 2 617 个处理设施站点的工艺类型如图 1 所示,该市所采用的工艺种类较多,大多数为低运营成本的生态工艺。数量前五的工艺为厌氧池+人工湿地、厌氧池、膜生物反应器(MBR)、厌氧+缺氧+好氧(AAO,包含厌氧+缺氧+生物接触氧化)工艺、厌氧+好氧(AO,包含厌氧+生物接触氧化或生物滤池工艺),均为常用工艺^[4-5],还有少数村庄采用其他组合工艺、生物转盘等。其中采用厌氧池+人工湿地的有 1 227 个,占比达到 46.9%;采用厌氧池的有 729 个,占比为 27.9%,采用 MBR 的有 278 个,占比为 10.6%。AO 及 AAO 工艺一共 319 个,占比 12.2%。可见厌氧池+人工湿地占比最大,对于土地充足的村庄,更倾向于采用生态型处理工艺。其他省市采用人工湿地、厌氧池及二者组合工艺也比较常见^[6-7]。

2.1.2 污水处理设施处理规模

农村生活污水处理设施规模为 2~2 600 m³/d,具体分布如图 2 所示。处理设施规模为 2~50 m³/d 的有 1 570 个;处理设施规模为 51~100 m³/d 有 484 个,处理设施规模为 101~150 m³/d 的有 259 个,处理设施规模为 151~200 m³/d 的有 194 个,处理设

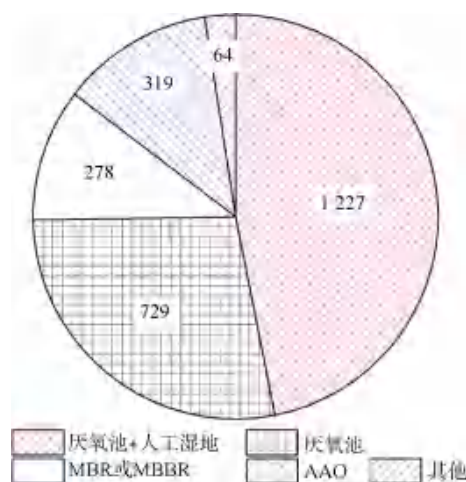


图 1 处理工艺分类

Fig. 1 Classification of Treatment Processes

施规模为 200 m³/d 以上的设施总共有 110 个。规模为 50 m³/d 以下的设施占比最大,达到 60.0%,且其中主要工艺为厌氧池和厌氧池+人工湿地工艺,可见人工湿地在小水量下适应性较好^[6]。结合各设施站点服务人数及按 100 L/(人·d)的排水定额估算,结合现场核实,大部分设施规模与实际需求相符。

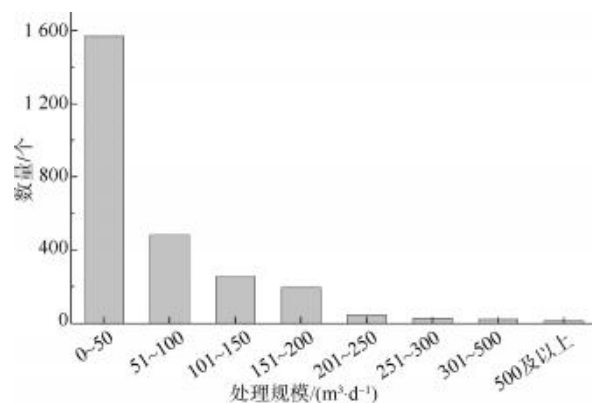


图 2 处理规模分布

Fig. 2 Distribution of Treatment Capacity

2.1.3 污水收集情况

采用管道潜望镜检测检查井和管道,现场调研了 127 个行政村,污水收集情况调研结果如图 3 所示。发现存在外水入渗的比例为 14.2%,管道存在功缺陷的为 10.5%。由于管网存在缺陷,暗渠渗漏,易导致山泉水、鱼塘水、灌溉水、河涌水混入污水管网。存在满管流的为 15.7%,雨污合流的为 23.6%。污水收集管网建设是农村生活污水处理过程中的一个难点问题,其设计施工要求高、投资大,

管网建设年限跨度较大,可能会出现新管建好、旧管老损等问题,而管网质量与完善程度与处理设施进水水质浓度密切相关。

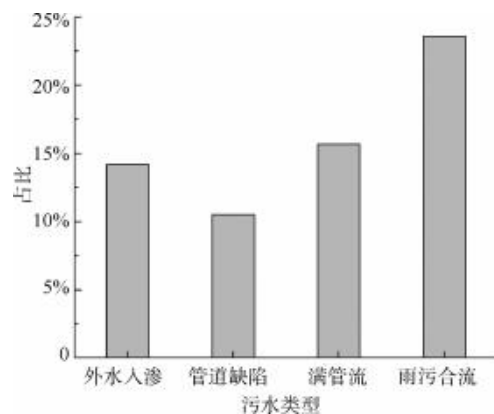


图3 污水收集情况

Fig. 3 Wastewater Collection Condition

2.1.4 工艺占地面积和投资成本

各工艺的吨水占地面积和投资成本均值如图4所示。可见厌氧池+人工湿地的吨水占地面积最大,为 5.1 m^2 。厌氧池的为 1.0 m^2 ,MBR和AAO工艺的吨水占地面积相对较低,分别 0.4 m^2 和 0.5 m^2 。采用人工湿地的村庄,会因土地征收难以程度而有差距,厌氧池+人工湿地、厌氧池、MBR、AAO的吨水投资分别为0.35、0.16、0.52、0.41万元。各工艺的实际投资成本与《农村生活污水处理项目建设与投资指南》相接近,由于部分村社需要征地,投资成本有一定的差异。从运维成本分析,MBR>AAO>厌氧池+人工湿地>厌氧池。MBR的成本达到2.0元/t左右,AAO工艺成本约为0.5元/t,厌氧池+人工湿地的成本约为0.1元/t。主要由于

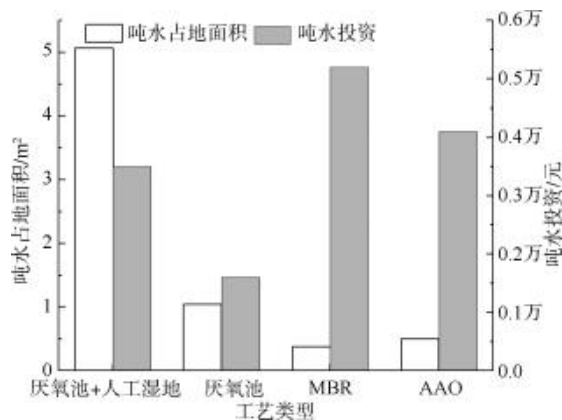


图4 各工艺占地面积及投资成本

Fig. 4 Land-Use Area and Investment Cost of Each Process

前两者属于有动力工艺,需要电耗较大。

2.2 工艺处理效果分析

2.2.1 达标情况

调研了全市640个生活污水处理设施进出水水质报告,发现进水氨氮质量浓度为 $0.1\sim 55.5\text{ mg/L}$,平均值为 18.9 mg/L ; COD_{Cr} 质量浓度为 $15\sim 577\text{ mg/L}$,平均值为 89.9 mg/L ,进水 COD_{Cr} 低于 50 mg/L 的占比为64.6%;总磷质量浓度为 $0.02\sim 18.10\text{ mg/L}$,平均值为 2.12 mg/L 。出水氨氮质量浓度为 $0.01\sim 27.20\text{ mg/L}$,平均值为 8.90 mg/L ; COD_{Cr} 质量浓度为 $15.0\sim 95.2\text{ mg/L}$,平均值为 24.8 mg/L ;总磷质量浓度为 $0.01\sim 8.40\text{ mg/L}$,平均值为 1.02 mg/L ,可见农村生活污水水质波动范围大,设施进水污染物浓度低是一个比较共性的问题。结合污水收集情况分析,由于部分区域财政紧张,缺少雨污分流改造资金,管网雨污分流不彻底,生活污水被雨水稀释;其次,管网存在结构缺陷,如错口、破裂等,使污水外渗;再次,管道堵塞、错混接等情况,污水积存、外水混入,使得污水水质波动或被稀释。这对采用生物处理的工艺十分不利。

目前处理规模为 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 以下的处理设施水污染物排放参照广东省地方标准《农村生活污水处理排放标准》(DB44/2208—2019)执行。处理规模为 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 及以上的设施按《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)执行。统计水质调研数据,各主要工艺出水水质达标率如图5所示,厌氧池+人工湿地、厌氧池、MBR、AAO等工艺的出水水质达标情况有待改善,达标率为62.3%、63.7%、70.0%、66.7%。

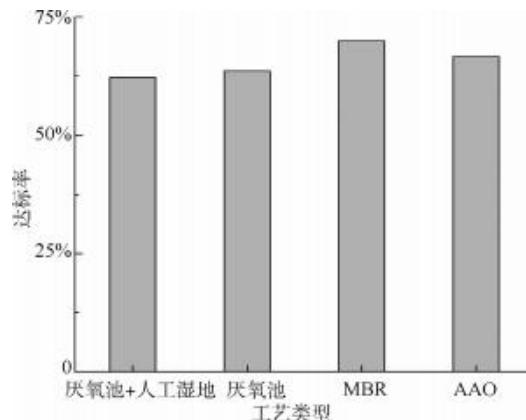


图5 各工艺出水达标情况

Fig. 5 Up-to-Standard Effluent of Each Process

2.2.2 主要污染物去除情况

选取进水 COD_{Cr} 、氨氮、总磷浓度接近平均值的站点为分析对象,各工艺对主要污染物的去除率如图6所示。厌氧池+人工湿地、MBR、AAO 工艺对 COD_{Cr} 的去除效果均较好,去除率达到 82% 以上;厌氧池工艺对 COD_{Cr} 的去除率为 57.5%,该工艺主要通过厌氧菌将大分子有机物降解为小分子有机物,而很难进一步把 COD_{Cr} 去除,抵抗进水水质波动的能力较弱。AAO、厌氧池+人工湿地和 MBR 工艺削减氨氮效果相当,削减率分别为 94.5%、88.2% 和 95.2%。而厌氧池工艺表现最差,对氨氮的削减率仅为 54.6%。厌氧池工艺氨氮削减效果差的主要原因是:一般情况下,氨氮去除需要在好氧条件下进行,而厌氧池污水中溶解氧不足,因此氨氮去除率低。随着出水水质标准的提高,广州市农村生活污水治理也开展了提标扩容改造,在厌氧池后面增加生物或生态处理工艺,确保氨氮达标。对于进水 COD_{Cr} 浓度不高的农村生活污水,氨氮去除效果不理想,这和其他文献^[8]报道相似。厌氧池+人工湿地工艺去除总磷表现较好,去除率达到 92.4%;AAO 工艺对总磷的去除率为 88.7%。值得注意的是厌氧池、MBR 对总磷的去除率分别为 53.5%、72.5%,表明这 2 种工艺总磷去除效果较差。主要原因是:农村使用的厌氧水解工艺和 MBR 工艺为无药剂工艺,磷的去除依赖于微生物作用,根据磷的生物去除原理,污水中的磷需要通过微生物在厌氧状态下释放磷、好氧状态下过量摄取磷的作用,再以定期排泥(微生物)的方式去除。厌氧池工艺没有厌氧、好氧交替处理的过程,而在 MBR 运行过程中可

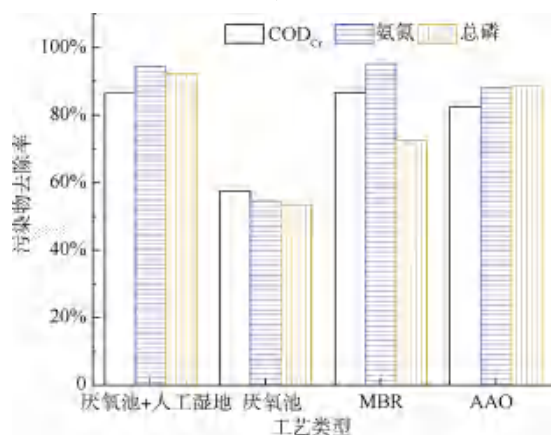


图6 污染物削减效果

Fig. 6 Effect of Contaminants Reduction

不排泥。因此,总磷削减效果不甚理想,若后期设施运行维护管理不到位将会进一步加重该效应。其他文献^[9]报道也表明,MBR 工艺在除磷方面效果相对 COD_{Cr} 、氨氮等指标要差。

2.3 工艺选择建议

农村集中处理设施中采用厌氧池+人工湿地的村社最多,处理水质较好,在用地充裕的情况下,水量小、污染物浓度低的情况下,推荐采用厌氧池+人工湿地工艺。而厌氧水解工艺单独使用时,除 COD_{Cr} 、氨氮和总磷方面均表现欠佳,因此。工艺需联合其他工艺才能获得较好成效。在工程应用中,对于人口规模大、聚集程度高、用地紧张、经济宽裕、进水总磷浓度较低的村庄,可采用 MBR 工艺,在运行过程中应根据水质情况优化运行参数,比如污泥回流比、曝气强度、排泥周期等,同时加强维护管理,确保污水达标排放。AO 或 AAO 工艺不太适合进水污染物浓度低的村社,当污水中污染物浓度较高,碳氮磷比例合适时可以采用该工艺。但对于有脱氮除磷要求的村社还需优化运行条件。需要指出的是其他工艺主要为一些组合工艺,在用地、资金、管网完善的条件下,经过论证后可以采用合适的组合工艺。

3 结论

(1)农村生活污水收集管网建设属于难点、重点工程,要重视其质量,并加强雨污分流建设。各处理工艺中,厌氧池+人工湿地占地面积大、运维成本低;MBR 工艺占地面积最小,但运维成本最高。

(2)农村生活污水治理过程中应根据村庄特点优选设施建设、运维模式,加强各单位建设和运维资金投入,同时结合信息化手段提高管理水平,为农村生活污水治理工作提供保障。

(3)农村生活污水集中式处理设施站点应根据污水收集情况、水质水量特点、用地面积、投资等情况,因地制宜选择合适工艺,而厌氧池工艺不适合单独使用。

参考文献

- [1] 彭彬. 广东省农村生活污水处理模式及其区域影响因素[D]. 广州: 广州大学, 2019.
PENG B. Rural domestic sewage treatment and its regional influencing factors in Guangdong Province [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2019.

(下转第 143 页)

- plants [J]. Journal of Biosafety, 2023, 32(1): 25-32.
- [27] 沈连峰, 苗蕾, 韩敏, 等. 河南省淮河流域不同土地利用类型氮磷流失的特征分析 [J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 77-80.
- SHEN L F, MIAO L, HAN M, et al. Characteristics analysis of nitrogen and phosphorus loss about different land use types of Huaihe River Basin in Henan Province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(4): 77-80.
- [28] 林朝晖. 赣抚平原农田沟渠植物多样性及生态化学计量特征研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- LIN Z H. Study on diversity an ecological stoichiometry characteristics of plants grown in farmland ditches of GanFu Plain [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016.
- [29] 田霄鸿, 李生秀, 王清君. 几种作物 NO_3^- 吸收动力学参数测定方法初探 [J]. 土壤通报, 2001, 32(1): 16-18, 31.
- TIAN X H, LI S X, WANG Q J. Preliminary study on the methods for determining absorption kinetic parameters of NO_3^- by using some crops [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(1): 16-18, 31.
- [30] CRESS W A, THRONEBERRY G O, LINDSEY D L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots [J]. Plant Physiology, 1979, 64(3): 484-487.
- [31] 姜利, 洪娟, 陈法志, 等. 油用牡丹‘凤丹’不同生育期养分吸收和积累规律 [J]. 经济林研究, 2022, 40(1): 112-122.
- JIANG L, HONG J, CHEN F Z. Regularity of the adsorption and accumulation of nutrients at different growth stages of *Paonia ostii* Feng Dan [J]. Non-Wood Forest Research, 2022, 40(1): 112-122.
- [32] 许艺, 陈鑫, 巩雪峰, 等. 基施微生物菌肥和不同水肥一体化施肥模式对避雨栽培辣椒产量品质和养分吸收的影响 [J]. 江苏农业科学, 2023, 51(18): 122-128.
- XU Y, CHEN X, GONG X F, et al. Impacts of basic application of microbial fertilizer and different integrated fertilization modes of water and fertilizer on yield, quality and nutrient absorption of pepper under rain-shelter cultivation [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(18): 122-128.
- [33] 郭雅倩, 薛建辉, 吴永波, 等. 沉水植物对富营养化水体的净化作用及修复技术研究进展 [J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(3): 58-68.
- GUO Y Q, XUE J H, WU Y B, et al. Research progress on purification effects and restoration technologies of submerged macrophytes on eutrophic water [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2020, 29(3): 58-68.

(上接第 97 页)

- [2] 周华, 孙亮, 陈旭怀, 等. 广州市南沙区农村生活污水治理示范性研究 [J]. 中国环保产业, 2021(9): 35-40.
- ZHOU H, SUN L, CHEN X H, et al. Demonstration research on rural domestic sewage treatment in Nansha District, Guangzhou City [J]. China Environmental Protection Industry, 2021(9): 35-40.
- [3] 周春林, 韦卓, 刘忠正, 等. 漓江流域农村生活污水治理现状及对策 [J]. 给水排水, 2016, 42(s1): 97-101.
- ZHOU C L, WEI Z, LIU Z Z, et al. Current situation and countermeasures of rural domestic sewage treatment in the Lijiang River Basin [J]. Water & Wastewater Engineering, 42(s1): 97-101.
- [4] 肖皓, 李继云, 陈泊明, 等. 循环复氧生物膜工艺在农村分散式污水处理中的应用研究 [J]. 给水排水, 2023, 50(1): 46-51.
- XIAO H, LI J Y, CHEN B M, et al. Study on application of cyclic reoxygenation biofilm process in rural decentralized sewage treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 50(1): 46-51.
- [5] 任毅, 肖许沐, 伍峥, 等. 厌氧池处理农村生活污水效能提升对策研究 [J]. 水处理技术, 2023, 49(12): 65-68.
- REN Y, XIAO X M, WU Z, et al. Research on the optimization of the effect of anaerobic process for treatment of rural domestic sewage [J]. Technology of Water Treatment, 2023, 49(12): 65-68.
- [6] 史世强, 王培京, 胡明, 等. 基于层次分析-灰色评价法的北京市农村污水处理技术评估 [J]. 环境科学学报, 2022, 42(5): 13-21.
- SHI S Q, WANG P J, HU M, et al. Evaluation of Beijing rural sewage treatment technology based on analytic hierarchy process-grey relation analysis [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2022, 42(5): 13-21.
- [7] 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.
- [8] 潘振东, 莫小堂, 邱鸿荣, 等. 广州市增城区农村生活污水设施运维分析 [J]. 给水排水, 2023, 59(8): 24-30.
- PAN Z D, MO X T, QIU H R, et al. Investigation and anlysis of technological treatment effect of rural domestic sewage facilities in Zengcheng District of Guangzhou City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 59(8): 24-30.
- [9] 杨易帆, 李欲如, 项晓晖, 等. 浙江省农村生活污水治理工艺效果分析 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47(9): 60-63.
- YANG Y F, LI Y R, XIANG X H, et al. Analysis on pollutants removal efficiency of rural sewage treatment processes in Zhejiang [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(9): 60-63.