

农村生活污水监测指标筛选及与水环境质量响应关系研究

孙满兰¹ 陈志华¹ 李臻² 陈锡华¹ 张建新¹

1. 广州市生态环境局南沙环境监测站, 中国·广东 广州 510000

2. 广东省科学院测试分析研究所(中国广州分析测试中心), 中国·广东 广州 510000

摘要: 本论文针对农村生活污水治理中监测指标繁杂、水环境响应机制不明确的问题, 系统梳理农村生活污水的排放特征与污染现状, 结合水环境质量要求, 构建科学的监测指标筛选体系, 并深入研究监测指标与水环境质量的响应关系。通过文献研究、实地调研和数据分析, 明确关键监测指标, 揭示污染物迁移转化规律, 提出优化监测方案与污染防控策略, 为农村生活污水精准治理和水环境质量改善提供理论依据与技术支持。

关键词: 农村生活污水; 监测指标; 水环境质量; 响应关系; 污染防控

Research on Screening of Rural Domestic Sewage Monitoring Indicators and Their Response Relationship with Water Environment Quality

Sun Manlan¹, Chen Zhihua¹, Li Zhen², Chen Xihua¹, Zhang Jianxin¹

1. Nansha Environmental Monitoring Station, Guangzhou Municipal Bureau of Ecology and Environment, China Guangdong Guangzhou 510000

2. Institute of Analysis and Testing, Guangdong Academy of Sciences (China National Analytical Center, Guangzhou), China Guangdong Guangzhou 510000

Abstract: Aiming at the problems of complex monitoring indicators and unclear water environment response mechanism in rural domestic sewage treatment, this paper systematically sorts out the discharge characteristics and pollution status of rural domestic sewage, constructs a scientific monitoring indicator screening system combined with water environment quality requirements, and deeply studies the response relationship between monitoring indicators and water environment quality. Through literature research, field investigation and data analysis, the key monitoring indicators are identified, the migration and transformation laws of pollutants are revealed, and optimized monitoring schemes and pollution prevention and control strategies are proposed. This study provides theoretical basis and technical support for the precise treatment of rural domestic sewage and the improvement of water environment quality.

Keywords: Rural domestic sewage; Monitoring indicators; Water environment quality; Response relationship; Pollution prevention and control

1 引言

1.1 研究背景与意义

随着乡村振兴战略的推进, 农村人居环境整治成为重点工作, 而生活污水治理是其中的关键环节。据统计, 我国农村每年产生生活污水超 200 亿吨, 但处理率不足 40%, 大量未经处理的污水直接排放, 导致河流水体黑臭、地下水污染等问题, 严重威胁农村生态环境与居民健康。科学合理的监测指标体系是精准掌握农村生活污水污染状况、评估治理效果的基础; 明晰监测指标与水环境质量的响应

关系, 则能为污染防控提供靶向依据。因此, 开展农村生活污水监测指标筛选及与水环境质量响应关系研究, 对推动农村生活污水有效治理、改善水环境质量具有重要现实意义。

1.2 国内外研究现状

国外对农村生活污水监测与治理的研究起步较早。美国环保署(EPA)制定了农村分散式污水处理设施的监测标准, 重点关注生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、氨氮等指标; 欧盟通过构建流域水环境监测网

络, 研究农村污水排放对水体富营养化的影响。国内相关研究近年来逐步增多, 学者们围绕农村生活污水的污染特征、处理技术等展开探讨, 但在监测指标筛选方面, 多借鉴城市污水监测体系, 缺乏对农村污水排放特点的针对性; 在水环境质量响应关系研究上, 定量分析不足, 尚未形成系统的污染迁移转化模型。

1.3 研究方法与创新点

本研究采用文献研究法梳理国内外相关理论成果, 运用实地调研法对典型农村地区的生活污水排放与水环境质量进行采样分析, 结合统计学方法(如相关性分析、主成分分析)筛选监测指标, 并通过构建数学模型揭示指标与水环境质量的响应关系。创新点在于: 一是基于农村污水排放的分散性、季节性特点, 构建差异化的监测指标体系; 二是量化监测指标与水环境质量的响应关系, 为污染防治提供精准决策依据。

2 农村生活污水排放特征与现存问题

2.1 排放特征分析

2.1.1 排放分散且不规律

农村居民居住分散, 污水排放点多面广, 且受生活作息、季节变化影响, 排放时间与水量波动大。如农忙季节因用水减少, 污水排放量仅为日常的 60% - 70%。

2.1.2 污染物成分复杂

主要污染物包括有机物(BOD、COD)、氮磷营养盐(氨氮、总磷)、悬浮物(SS)以及少量洗涤剂中的表面活性剂等。其中, 氮磷污染物排放占比高, 部分地区总氮、总磷浓度分别达 30 - 50mg/L 和 3 - 5mg/L, 远超地表水Ⅴ类标准。

2.1.3 处理设施覆盖率低

多数农村缺乏完善的污水收集管网与处理设施, 部分已建设施因运维资金不足、技术落后, 导致处理效率低下, 出水水质不达标。

2.2 监测与治理现存问题

2.2.1 监测指标体系不合理

当前农村污水监测指标体系存在明显缺陷, 过度沿用城市标准, 未能契合农村污水排放的实际特性。农村污水中农药残留、畜禽养殖污染物混排现象突出, 而现有监测体系对此缺乏针对性指标设置, 难以准确反映真实污染状况。同时, 部分指标如重金属, 在农村污水中实际含量极低, 却仍纳入监测范围, 不仅耗费人力、物力和财力, 还导致监测资源的无效配置, 无法将有限资源聚焦于关键污染因子的监测上。这种不合理的指标体系, 使得监测数据

无法有效支撑农村水污染防治工作, 难以满足精准治理的需求。

2.2.2 监测频次与点位不足

农村污水排放受季节、农事活动等因素影响, 具有显著的季节性波动特征。然而, 多数地区仍采用固定的监测频次, 无法及时捕捉污染随时间的变化规律, 极易错过污染高发期的关键数据采集, 导致对农村水环境质量的评估出现偏差。此外, 监测点位布局也存在严重问题, 大多集中于村庄中心, 对偏远区域的污水排放点以及周边受纳水体的覆盖不足。这使得大量分散污染源的排放情况难以被有效监测, 无法全面掌握农村水环境的真实污染状况, 给后续的污染防控和治理工作带来极大困难。

2.2.3 污染防控缺乏精准性

由于尚未厘清监测指标与水环境质量之间的响应关系, 农村水污染防控工作缺乏科学依据, 治理措施往往采取“一刀切”的模式。在实际工作中, 部分地区盲目建设污水处理站, 却未针对农村污水中氮磷污染等关键问题制定专项治理方案, 导致设施运行效果不佳, 资源浪费严重。这种缺乏精准性的治理方式, 未能从根本上解决农村水污染的核心问题, 既无法有效改善水环境质量, 也难以实现治理投入与产出的最优配比, 制约了农村水污染防治工作的推进和成效。

3 农村生活污水监测指标筛选

3.1 筛选原则

3.1.1 针对性原则

指标应反映农村生活污水的污染特征, 优先选取对水环境影响显著的污染物指标。

3.1.2 可操作性原则

监测方法简便、成本低, 适合农村地区技术条件与经济水平。

3.1.3 动态性原则

考虑污水排放的季节性变化, 选取能反映污染动态特征的指标。

3.2 筛选方法

3.2.1 文献与政策分析

梳理国内外农村污水监测相关标准(如《农村生活污水处理设施污染物排放标准》)及研究成果, 初步确定候选指标。

3.2.2 实地调研与数据分析

选取不同经济水平、地理环境的农村地区(如南方水乡、北方旱作区、城郊结合部), 采集生活污水样品 200

余份,测定 COD、BOD、氨氮、总磷、SS、粪大肠菌群等 20 余项指标,分析污染物浓度分布特征。

3.2.3 统计筛选

运用主成分分析(PCA)对数据降维,结合相关性分析,剔除冗余指标。结果显示,COD、氨氮、总磷、SS、粪大肠菌群 5 项指标累计贡献率达 85% 以上,可作为核心监测指标;同时,根据区域特征补充农药残留(如有机磷农药)、表面活性剂(LAS)等特征指标。

4 监测指标与水环境质量响应关系研究

4.1 数据收集与处理

在选定的农村区域内,同步监测生活污水排放口与周边受纳水体(河流、池塘)的水质指标,连续监测 12 个月,获取数据 1200 余组。运用 SPSS 软件对数据进行标准化处理,消除量纲影响。

4.2 响应关系分析

4.2.1 相关性分析

结果表明,农村生活污水中氨氮、总磷浓度与受纳水体的富营养化程度呈显著正相关(相关系数分别为 0.82、0.78),是导致水体藻类暴发、溶解氧下降的主要因素;COD 与水体黑臭程度相关系数达 0.75,反映有机物污染对水质感官的影响。

4.2.2 污染扩散模型构建

基于质量守恒原理,结合农村地形地貌与水文条件,建立污染物迁移转化模型。以某丘陵地区农村为例,模拟显示污水排放后,氨氮在地表径流作用下,1-2 天内可扩散至周边 500 米范围的水体,浓度衰减率与水流速度、植被覆盖度密切相关。

4.2.3 阈值确定

通过回归分析,确定不同水环境功能区对应的监测指标阈值。如在饮用水源保护区上游,农村生活污水氨氮排放浓度需控制在 5mg/L 以下,方可保障下游水体氨氮浓度达标。

5 优化监测与污染防控策略

5.1 监测方案优化

科学合理的监测方案是掌握农村水环境状况、精准治理水污染的关键。为提升监测效率与准确性,需从分级分类、动态调整和技术创新等方面对监测方案进行全面优化。实施分级分类监测,依据村庄人口规模、污水排放量等关键因素划分监测等级,实现监测资源的合理分配。对于靠近水源地、居民聚集度高的重点区域,由于其环境敏感性强,一旦污染将对周边生态和居民用水安全造成严重影响,

因此加密监测频次至每月 1 次,以便及时发现水质变化趋势。而一般区域因人口密度较低、污染风险相对较小,可将监测频次设定为每季度 1 次,在保证监测效果的同时降低运营成本。这种差异化的监测策略,既突出了重点,又兼顾了全面性,有效提高了监测资源的利用效率。动态调整监测指标是增强监测针对性的重要手段。农村水环境受季节因素影响显著,需根据不同时段的污染特征灵活调整监测项目。在农忙季节,大量农药、化肥的使用易导致水体农药残留超标,此时增加农药残留指标监测,能够及时掌握农田面源污染状况;雨季时,降雨冲刷会使地表泥沙、畜禽粪便等污染物大量进入水体,因此加强悬浮物(SS)与粪大肠菌群监测,有助于准确评估水体受污染程度。通过动态调整监测指标,使监测工作紧密贴合农村水环境变化规律,为污染防控提供更具时效性的数据支撑。推广智能化监测技术是提升监测能力的关键举措。低成本水质传感器的应用,可对氨氮、总磷等反映水体污染程度的关键指标进行实时在线监测。这些传感器通过物联网技术将采集的数据实时传输至监测平台,管理人员可随时查看水质数据,一旦指标超过设定阈值,系统立即发出污染预警。例如,当氨氮浓度超标时,系统自动通知相关人员排查污染源,并采取相应治理措施。智能化监测技术的应用,不仅提高了监测数据的及时性和准确性,还实现了对水污染的动态预警,为农村水环境的科学管理提供了有力的技术保障。

5.2 污染防控策略

农村水污染防控是一项系统工程,需从源头减排、过程控制和精准治理三个层面协同发力,构建全方位、多层次的污染防控体系,实现农村水环境质量的持续改善。源头减排是从根本上减少污水产生量的重要途径。通过推广节水型器具,如节水马桶、节水龙头等,可有效降低农村家庭生活用水量,进而减少污水排放。同时,鼓励农村家庭建设小型化粪池,对粪便污水进行初级处理。化粪池通过沉淀、厌氧发酵等过程,可去除部分有机物和悬浮物,降低污水中污染物浓度,减轻后续污水处理设施的负荷。这种从源头控制污水产生量和污染程度的方式,是农村水污染防控的基础环节,对改善农村水环境具有重要意义。过程控制是削减污水中污染物含量的关键环节。针对农村常见的氮磷污染问题,采用人工湿地、生物滤池等生态处理技术具有显著效果。人工湿地通过种植芦苇、菖蒲等水生植物,利用植物吸收、微生物降解和基质过滤等多重作用,可有效去除污水中的氮、磷等污染物。例如,某农村

建设的人工湿地,通过科学配置水生植物和基质,总磷去除率可达 70% 以上,使处理后的水质得到明显改善。生物滤池则利用微生物的代谢作用分解污水中的有机物和氮磷等营养物质,具有运行成本低、管理简便等优点。这些生态处理技术既实现了污水处理的功能,又能营造良好的生态景观,是农村水污染过程控制的理想选择。精准治理是依据监测数据和水环境实际状况制定差异化治理方案的有效策略。不同水体的污染类型和程度存在差异,需“对症下药”。对于富营养化严重的水体,氨氮、总磷是导致水体富营养化的主要污染物,因此优先采取措施控制这两项指标的排放,如加强畜禽养殖废水治理、减少化肥使用量等;对于黑臭水体,化学需氧量(COD)是影响水体感官和生态功能的关键因素,治理时重点削减 COD 含量,通过清淤疏浚、增加水体流动性等措施,改善水体水质。精准治理策略避免了“一刀切”的治理方式,提高了治理的针对性和有效性,确保农村水污染防治工作取得实效。

6 结语

本研究通过系统分析农村生活污水排放特征,构建了

科学的监测指标体系,并揭示了监测指标与水环境质量的响应关系。研究表明:COD、氨氮、总磷、SS、粪大肠菌群可作为农村生活污水核心监测指标,同时需结合区域特征补充特征指标;氨氮、总磷是影响水环境质量的關鍵污染物,其排放与水体富营养化、黑臭现象密切相关。未来研究可进一步深化污染物在不同环境介质中的迁移转化机制,探索人工智能、大数据等技术在农村污水监测与治理中的应用,完善农村水环境质量保障体系,推动农村生态环境可持续发展。

参考文献:

- [1] 张勇, 赖莉. 系统化监测在农村生活污水处理提质增效中的应用[J]. 价值工程, 2024,43(22):140-143.
- [2] 何飞添. 农村分散式生活污水处理设施的水质监测研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2023,4(16):138-139+151. DOI:10.20025/j.cnki.CN10-1679.2023-16-48.
- [3] 吴月. 农村生活污水监测系统分析与设计[D]. 河北科技师范学院, 2023.DOI:10.27741/d.cnki.ghbkj.2023.000139.