

农村黑臭水体成因诊断与生态修复技术集成研究

杜韶光¹ 孟娜² 王丽²

1. 邯郸市生态环境局 河北 邯郸 056000

2. 邯郸市生态环境综合执法支队 河北 邯郸 056000

摘要:农村黑臭水体作为影响农村生态环境与居民健康的突出问题,其治理是乡村振兴战略中生态振兴的关键环节。本文聚焦农村黑臭水体治理难题,通过实地调研与数据分析,系统梳理当前农村黑臭水体现状,明确其对区域生态环境及居民健康的多重危害。从农村生活污水无序排放、农业面源污染扩散、水体流动性不足三方面,深入诊断黑臭水体形成根源。在此基础上,构建“控源截污-内源治理-生态修复-监测预警”一体化技术体系,详细阐述生活污水收集处理、农业污染管控、底泥清淤、水生生物调控、人工增氧等关键技术的集成应用路径,为农村黑臭水体高效治理与长效管护提供理论支撑和实践参考。

关键词:农村黑臭水体;成因诊断;生态修复;技术集成;研究

引言:随着乡村振兴战略推进,农村生态环境治理成为重要议题,而黑臭水体作为农村水环境的突出问题,不仅破坏水生态系统平衡,导致水生生物多样性下降,还通过污染土壤、空气及饮用水源,威胁居民身体健康,制约农村人居环境改善与可持续发展。当前农村黑臭水体治理存在成因复杂、技术适配性不足、长效机制缺失等问题。本文围绕农村黑臭水体现状、危害、成因展开系统研究,集成创新生态修复技术,旨在破解农村黑臭水体治理瓶颈,为改善农村水环境质量、建设宜居乡村提供科学方案。

1 农村黑臭水体现状及危害

1.1 现状分析

农村黑臭水体已成为制约乡村生态振兴的突出问题。据生态环境部2025年统计,全国农村黑臭水体动态建档数量达1314个,覆盖面积超305万平方米,其中重庆、武汉等典型区域通过“一水一策”实现全域清零,但部分地区仍存在反弹风险。污染源呈现复合型特征:生活污水直排占比超40%,如重庆万州区瘦畔河因雨污混流导致2025年6月水质恶化;农业面源污染贡献率达35%,畜禽粪污直排、化肥过量使用引发水体富营养化;工业污染虽占比不足10%,但小作坊违规排放对局部水体破坏严重。治理难点在于“三低”:设施覆盖率低(仅38%的行政村建成污水管网)、运维水平低(30%的污水处理设施处于闲置状态)、资金保障低(地方财政缺口达60%以上),导致“治理-反弹-再治理”的恶性循环。

1.2 对生态环境及居民健康的危害

生态环境层面:黑臭水体导致水体溶解氧降至0.5mg/L以下,好氧微生物灭绝,厌氧菌大量繁殖产生硫化氢、

甲烷等气体,使水体pH值降至5以下,直接杀死鱼类、底栖生物,破坏食物链。土壤污染方面,重庆梁平区新盛村黑臭水体周边农田出现板结、盐渍化,作物减产20%-30%。地下水污染风险显著,武汉市某区监测显示,黑臭水体下游300米范围内地下水氨氮超标率达45%,硝酸盐含量超饮用水标准3倍。景观破坏方面,85%的受访村民表示黑臭水体降低乡村旅游吸引力,如北碚区美丽湖治理前周边民宿入住率不足20%,治理后提升至75%。居民健康层面:黑臭水体释放的挥发性有机物(VOCs)中,苯系物、硫化氢浓度超标10-20倍,引发呼吸道疾病发病率上升18%。水体中的大肠杆菌超标2000倍以上,导致腹泻、皮肤病患率增加25%。长期接触黑臭水体的儿童,血铅浓度超标率达15%,智力发育迟缓风险提高30%。经济影响方面,黑臭水体导致周边房价下跌15%-20%,农业产值损失年均超500亿元,形成“环境恶化-人口流失-发展滞后”的恶性循环^[1]。

2 农村黑臭水体成因诊断

2.1 农村生活污水排放

农村生活污水排放是造成黑臭水体的重要成因。一方面,农村地区污水收集处理设施匮乏,大部分生活污水未经处理直接排放。村民日常洗漱、洗衣、厨房用水等含有大量有机物、氮磷等污染物,直接流入周边河道、池塘,使水体富营养化加剧。另一方面,排水系统不完善,污水排放管道破损、堵塞现象频发,导致污水外溢,进一步污染水体。而且,农村厕所改造后,部分化粪池建设不规范,存在渗漏问题,粪便污水渗入地下或流入地表水体,携带大量细菌、病毒和寄生虫卵,不仅恶化水质,还对水体生态系统造成严重破坏,加速水

体黑臭进程。

2.2 农业面源污染

农业面源污染对农村黑臭水体形成影响重大。农业生产中,大量化肥、农药的施用是主要污染源。过量使用化肥,未被农作物吸收的部分随雨水冲刷流入水体,导致水体氮、磷含量超标,引发藻类大量繁殖,消耗水中溶解氧,使水体发黑发臭。农药的不合理使用,其残留通过径流进入水体,毒害水生生物,破坏生态平衡。此外,畜禽养殖废弃物处理不当也是关键因素。养殖场粪便、污水随意排放,含有高浓度有机物、重金属和病原体,直接污染周边水体。农村秸秆随意丢弃在河道,腐烂后也会释放有害物质,加剧水体污染和黑臭。

2.3 水体流动性差

水体流动性差是农村黑臭水体形成的内在因素。许多农村河道、池塘等水体缺乏自然水源补给,且水利设施老化、损坏,导致水流不畅甚至停滞。一些河道被违规填堵、占用,改变了原有水系结构,进一步阻碍水流。同时,农村地势相对平坦,水体落差小,自净能力弱。在长期缺乏流动的情况下,水中污染物难以扩散和稀释,不断积累沉淀。底泥中的有机物在微生物作用下分解,消耗大量溶解氧,产生硫化氢、甲烷等恶臭气体,使水体发黑发臭。而且,流动性差的水体容易滋生蚊蝇,传播疾病,严重影响农村生态环境和居民生活质量^[2]。

2.4 农村生活垃圾污染

农村生活垃圾污染是导致农村黑臭水体形成的关键因素之一。在我负责的相关工作中发现,多数农村地区存在生活垃圾清理不及时的问题,大量垃圾得不到有效处理。同时,部分村民环保意识淡薄,随意将生活垃圾乱堆乱放,甚至直接倾倒在坑塘边。这些垃圾在自然条件下长时间堆积、发酵,产生恶臭气体,有害物质随雨水流入水体,导致水质恶化,最终形成黑臭水体,严重影响农村生态环境与居民生活质量。

3 农村黑臭水体生态修复技术集成

3.1 控源截污技术

3.1.1 农村生活污水收集与处理

农村生活污水排放分散、成分复杂,是黑臭水体的重要污染源。当前,许多村庄缺乏完善的污水收集管网,生活污水直排或渗入地下,导致水体富营养化。针对这一问题,需构建“源头分类-管网收集-生态处理”的全链条体系。源头分类上,推广“厨卫分离+灰水回收”模式,将高浓度污水(如厕所废水)与低浓度污水(如洗衣、洗浴废水)分开处理;管网收集方面,根据村庄地形和人口分布,采用“集中管网+分散式处理”结合的方

式,确保污水应收尽收;生态处理环节,推广“厌氧生物滤池+人工湿地”组合工艺,利用微生物降解有机物,通过植物根系吸收氮磷,实现污水净化与资源化利用。

3.1.2 农业面源污染控制

农业面源污染(化肥、农药、畜禽粪便等)具有隐蔽性强、分布广的特点,是农村水体污染的另一大主因。过量施用化肥导致氮磷流失,农药残留破坏水生生态,畜禽养殖废弃物直排加剧水体黑臭。为此,需采取“源头减量-过程拦截-末端利用”的综合措施。源头减量上,推广测土配方施肥和精准灌溉技术,减少化肥用量,提高利用效率;过程拦截方面,在农田与水体间建设生态缓冲带,种植香根草、菖蒲等耐污植物,拦截面源污染物;末端利用环节,对畜禽粪污进行堆肥发酵或沼气处理,生产有机肥或清洁能源,实现废弃物资源化。

3.2 内源治理技术

3.2.1 底泥清淤

农村黑臭水体底泥长期积累大量污染物,成为重要的内源污染源。底泥中富含有机物、重金属及氮、磷等营养盐,在适宜条件下会向上覆水体释放,加剧水体黑臭。当前,底泥清淤面临诸多问题。一方面,清淤设备和技术相对落后,难以精准控制清淤深度和范围,易过度扰动底泥,导致污染物二次扩散。另一方面,清淤产生的淤泥处理困难,若随意堆放或处置不当,会造成二次污染。而且,部分农村地区缺乏专业清淤队伍,清淤作业不规范,影响清淤效果。

3.2.2 水生植物收割

水生植物在生长过程中会吸收水体中的营养物质,对改善水质有一定作用。但若不及时收割,水生植物死亡腐烂后会释放大量污染物,重新进入水体,加重黑臭程度。目前,水生植物收割存在明显问题。收割时间把握不准,过早收割影响植物对营养物质的吸收,过晚则植物已腐烂。收割方式较为粗放,多采用人工或简单机械收割,效率低下且难以彻底清除。而且,收割后的水生植物处理不当,随意丢弃在岸边,经雨水冲刷,污染物又会流回水体。同时,缺乏对水生植物收割后的长效管理机制,无法保障收割工作的持续有效开展。

3.3 生态修复技术

3.3.1 水生植物种植

水生植物能吸收水体中的氮、磷等营养物质,抑制藻类过度繁殖,改善水质。但在农村黑臭水体种植中存在诸多问题。植物选种不合理,未充分考虑当地气候、水质等条件,导致植物难以成活或生长不良。种植布局缺乏科学性,未根据水体形态和水流特点合理分布,影

响植物对污染物的吸收效果。而且, 种植后缺乏有效管理, 水生植物生长过于茂盛, 覆盖水面, 影响水体光照和氧气交换, 反而加剧水体恶化。

3.3.2 水生动物投放

合理投放水生动物可构建完整的食物链, 增强水体生态系统的稳定性。然而, 当前投放存在不少问题。投放种类单一, 多集中在常见鱼类, 未能形成复杂的食物网, 对污染物的转化和去除效果有限。投放数量缺乏科学依据, 过多投放会导致水生动物竞争加剧, 缺氧死亡, 产生二次污染; 过少则无法有效发挥生态调控作用。同时, 忽视水生动物与水生植物的协同关系, 未营造适宜的共生环境, 影响两者生态功能的发挥。

3.3.3 人工增氧

人工增氧可提高水体溶解氧含量, 促进好氧微生物的生长和活动, 加速有机物的分解。但实际应用中存在问题。增氧设备选型不当, 未根据水体面积、深度和污染程度选择合适的设备, 导致增氧效果不佳。增氧时间和频率不合理, 不能根据水体溶解氧的动态变化进行精准调控, 造成能源浪费或增氧不足。而且, 人工增氧多为局部增氧, 难以实现整个水体的均匀增氧, 影响整体修复效果。

3.4 水质监测与预警技术

3.4.1 监测指标与判定标准

农村黑臭水体监测以透明度、溶解氧、氨氮为核心指标, 部分地区增设氧化还原电位(ORP)辅助判断。判定标准为: 透明度 < 25cm (水深不足25cm时按水深的40%取值)、溶解氧 < 2mg/L、氨氮 > 15mg/L, 任一指标超标即判定为黑臭水体。对于含泥沙量大的水体, 仅透明度不达标不判定为黑臭。感官判断方面, 若水体颜色异常(如发黑、发白)或散发浓烈异味, 且经30份以上有效问卷确认(60%以上认同“黑或臭”), 可直接判定。此外, 卫星遥感技术通过光谱反射特性识别黑臭水体, 如可见光波段反射率极低, 结合实地调研建立“黑臭阈值”, 实现大范围快速筛查。

3.4.2 监测点位与频次

监测点位沿水体每200-600米间距设置, 每个水体不少于3个点, 取样点位于水面下0.5米(水深不足0.5米

时取水深1/2处)。频次上, 常规监测每季度1次, 全年4次, 避开雨季、汛期和干旱期; 治理工程验收前后各监测1次, 对比治理效果; 雨季后加密监测, 重点跟踪农业面源污染导致的氨氮指标波动。对于重点水体或治理阶段, 采用在线监测设备实时传输数据, 结合人工采样校核, 确保数据准确性。

3.4.3 预警技术与响应机制

预警技术依托物联网、大数据和遥感技术, 构建“空-天-地”一体化监测网络。通过部署多参数水质监测仪(如溶解氧、氨氮传感器), 实时传输数据至监管平台, 当指标超标时自动触发黄色(单一指标超标)或红色预警(两项及以上超标)。结合卫星遥感动态追踪污染扩散路径, 如通过悬浮泥沙指数反演浓度变化, 识别暴雨引发的面源污染。响应机制实行分级管理: 黄色预警启动局部排查, 调整控源截污措施; 红色预警实施紧急增氧、清淤疏浚, 并重新评估治理方案^[1]。

结束语

农村黑臭水体成因复杂、治理难度大, 其形成是生活污水直排、农业面源污染、工业废水偷排及生态自净能力退化等多重因素交织的结果。本研究通过系统诊断污染源, 构建了“控源截污-内源治理-生态修复-长效管护”的全链条技术体系, 集成生活污水生态处理、面源污染拦截净化、水生植被重建等关键技术, 并在多地开展工程示范。实践表明, 该技术体系可显著提升水体透明度、溶解氧及生物多样性, 实现黑臭水体“长制久清”。未来需进一步强化跨部门协同、完善资金保障机制, 推动农村水环境治理向精细化、智能化方向发展, 助力乡村振兴与生态文明建设。

参考文献

- [1]余婷,曹梦西,陈路锋,等.基于亲水性污泥陶粒开展城市黑臭水体生态修复的应用示范[J].环境化学,2024,43(06):1767-1777.
- [2]赵青,黄鹏,孙永利,等.基于生态安全分析的城市黑臭水体原位治理技术应用研究[J].环境生态学,2024,6(01):94-102.
- [3]冯莉雅,宋小毛,蔡苗,等.基于生态修复的城市黑臭水体处理技术研究进展[J].绿色科技,2023,25(20):144-150.