

关于粉尘的防治,必须按照 DB13/2934-2019《施工场地扬尘排放标准》的要求进行。施工现场要做到“六个100%”,也就是100%的围挡,100%的材料堆放,100%的车辆的冲洗,100%的道路的硬化,100%的拆除工程的湿法作业,100%的渣土车辆百分百密闭运输。在汽车清洗设备上,要有一个沉降槽,清洗压力不小于0.3 MPa,以保证汽车出厂时轮胎和车身上不沾有污泥。城市主干道路的清扫工作,包括:城市主干道路的机械清扫比例要在90%以上;在采暖期和其他重要时期,每天都要完成3次喷洒,确保路面的湿度在40%~60%。

目前,中国农田非点源污染的研究主要集中在农作物秸秆燃烧及氨气的防治上。依据 GB16297-1996《大气污染物综合排放标准》中有关规定,构建了“区—乡—村”三级的网格监督管理制度,并通过铁塔视频监控,对耕地进行了24小时的监测。针对秸秆的资源化,提出了一种新的玉米秸秆破碎方式,即:秸秆破碎长度不超过5厘米,撒布量 $\geq 85\%$,犁底层厚度 ≥ 20 cm。为解决养殖场氨污染问题,在大型养殖场推行密闭粪便净化装置,并使用过氧化氢等药剂,氨的释放速率可达50%。根据抚宁区环保监测资料,经过以上综合整治,2024年全市PM_{2.5}排放总量将比2020年减少7.2个百分点,表明控制效果明显。另外,要构建多个行业的联合监督体系。在此基础上,通过与交通、国土、农业等多个部门的数据共享,实现对农业转移、非点源污染的全过程控制。通过设置在线监控装置,实现对各种污染物的排放状况的实时监控,对出现的异常状况进行检测和处置^[4]。

3.3 完善监管体系与区域联动

建立健全的监测系统和区域协调机制,是提高县级城市PM_{2.5}治理成效的关键。秦皇岛市抚宁分局是秦皇岛市生态环境总局的一个基层单位,在多年的工作中体会到,要实现高效监督,必须构建一个精确的监控网。县级以上地区要根据 HJ 664-2013《环境空气质量监测点位布设技术规范》,在城市建成区、主要工业园区、交通干线和背景区等地区进行科学布点。选择抚宁区6个镇(包括3个具有组分检测功能的超观测站),实现对大气细颗粒物中水溶性离子、碳组分及金属离子含量的在线观测。通过对各站点的实际观测结果表明,该站点的布设方式可使该站点的污染源溯源精度提高35%。从调控方法上看,应构建一套完整的地、天、空一体化监控系统。应用卫星遥感方法对县级区域的空气质

量状况进行宏观监控,实现对秸秆焚烧和扬尘等非点源污染的识别;利用携带便携监控装置的无人机对重要地区进行精确巡逻,尤其是在地势较高的山区,能够对常规监控盲区进行有效的监控;在地表层次上,通过构建小型传感网和廉价的传感设备,构建高密度的监控网络。在抚宁区,利用无人机对3个隐蔽的生物质焚烧进行了监测和处理,成功地防止了该地区的污染进程^[5]。

构建区域性联防联控体系,是解决环境污染跨境转移问题的重要途径。在分析华北空气污染物迁移特征的基础上,构建了与周围县区联合工作机制,并形成了一个数据共享的系统。在实践中,一旦发现有区域重污染事件的出现,就会马上启动“72小时”的预警消息,在48个小时之内采取相应的应急处置措施,24个小时的联合执法巡查。在卢龙县和昌黎县联合防治工作中,三地对水泥和玻璃等重点工业实行差别控制,实现了地区PM_{2.5}最大值下降28%。从监督管理的角度来看,必须加强对执法设备的管理。通过使用高科技的仪器,如便携式傅立叶红外分析仪和气溶胶激光雷达,可以让现场的工作人员迅速确定污染源。

4 结语

综上所述,开展县域大气PM_{2.5}污染特征与来源解析研究,将为县域内PM_{2.5}的污染特性和来源分析,为该地区的空气质量控制和治理工作奠定理论基础,同时对于提高县域居民生活环境和居民身体健康也有一定的现实意义。在中国,多源信息的整合与分析是当前中国城市空气质量控制研究的重要方向,但目前尚缺乏有效的方法。通过该研究,可为中国大气污染防治工作的开展奠定基础,为中国“美丽中国”的创建工作奠定基础。

参考文献

- [1] 常亮等.长三角春秋极端高温天气对PM_{2.5}和O₃双高污染的影响[J].复旦学报(自然科学版), 1-13.
- [2] 罗嘉文等.长沙城区污染高发期PM_{2.5}中多环芳烃浓度特征与健康风险评估[J].湘潭大学学报(自然科学版), 1-14.
- [3] 赵伊琳等.天津工业区PM_{2.5}中SVOCs的污染特征及溯源分析[J].天津科技大学学报, 1-7.
- [4] 宋晓伟等.汾渭平原PM_{2.5}-O₃复合污染特征及输送路径分析[J].环境工程, 1-16.
- [5] 孙文欣等.泸州市大气PM_{2.5}浓度特征及典型重污染事件成因分析[J].环境科学研究, 1-13.

Research on the Optimisation and Application Effects of Ecological Treatment Technology for Rural Domestic Sewage

Zhefeng Jin

Funing Branch, Qinhuangdao Ecological Environment Bureau, Qinhuangdao, Hebei, 066300, China

Abstract

Rural domestic sewage is complex in composition and discharged in a dispersed manner. Direct discharge into rivers can rapidly consume dissolved oxygen, causing black and odorous water, and may also pose potential carcinogenic risks through nitrate accumulation. In villages with sparse water networks and undulating terrain, traditional centralized pipe network models are often constrained by high investment, difficult operation and maintenance, and low community participation, making sustainable development challenging. Ecological treatment technology, through the synergistic effect of "soil-plant-microorganism", achieves pollutant reduction and resource recycling from the source, providing a low-cost, low-energy solution to the above issues. Promoting technology optimisation and scenario matching is the turning point in achieving a shift in rural pollution management from "whether it exists" to "how well it performs".

Keywords

rural life; ecological treatment of sewage; technology optimisation; application effects

农村生活污水生态处理技术优化及应用效果研究

金哲丰

秦皇岛市生态环境局抚宁分局, 中国·河北 秦皇岛 066300

摘要

农村生活污水成分复杂, 排放分散, 如果直接排入河流, 会快速消耗溶解氧, 引发黑臭, 还可能通过硝酸盐累积产生潜在的致癌风险。在水网稀疏、地形起伏的乡村, 传统的集中式管网模式往往受到投资高、运行维护难度大、群众参与性低等多重制约, 难以持续发展。生态处理技术通过“土壤-植物-微生物”的协同效应, 从源头上实现污染物减排和资源循环利用, 是解决上述问题的一条低成本、低能耗的途径。推进技术优化和情景匹配, 是实现农村污染治理由“有没有”到“好不好”的跨越点。

关键词

农村生活; 污水生态处理; 技术优化; 应用效果

1 引言

我国农村污水治理长期处于“城市标准”和“乡村现实”的夹缝中, 前者强调高度集中, 后者强调分散自治, 两者在尺度、技术和制度上存在错位, 造成项目建成容易, 运营难的问题。生态修复强调自然过程的强化, 其实质是将环境自净化能力转换成工程可控参数, 通过基质配置、水力调控和生物相构筑等方法, 实现污染物在时间和空间上的迁移和形态转化。然而, 由于农村水情多变, 农户生活习惯各异, 管理主体薄弱等因素, 往往难以在现场再现实验室效应, 因此, 农村生活污水生态处理技术优化及应用效果, 为当前相关行

业热议课题。

2 农村生活污水生态处理技术特征与核心要求

2.1 技术原理与适用场景

以“模拟自然净化过程”为核心, 构建“土壤-植物-微生物”复合系统, 利用截留、吸附、降解、转化等协同效应, 实现对污染物的高效去除。以人工湿地为代表的人工湿地技术, 根据水流形态可分为表层潜流、水平潜流和垂向潜流三种: 表层潜流型人工湿地以植物根系吸附和表层水微生物降解为主, 适合于地势平缓、水量小的分散式乡村地区^[1]。水平潜流人工湿地利用填料层的孔隙结构对污染物进行截留, 其处理效率比表层流法提高30%-40%, 适合中型村落的集中处理; 垂向潜流人工湿地具有“上、下”两种水流形式, 具有高效、占地面积仅为地表径流1/3的特点。

【作者简介】金哲丰(1975-), 男, 汉, 河北秦皇岛, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环保研究。

生态沟渠技术通过对自然沟渠进行改造,设置植被缓冲带、砾石过滤层和拦截坝等措施,利用沟流的自然净化能力,实现对生活污水的原位处理,并实现农田灌溉回用。生物浮床技术以浮体为载体种植水生植物,利用根系吸附和生物膜降解作用对水体进行净化处理,适合乡村坑塘和河道原位修复,实现水质改善和景观提升。针对不同类型的污水处理技术,需要针对不同类型的污水排放、地形、气候等特点,选择不同的处理方式,以保证技术适用性和生态兼容性。

2.2 核心技术参数与材料要求

采用“砾石+沸石+石英砂”复合填料系统,使其粒径分别为2-4cm(沸石)、4-8cm(砾石)、8-16cm(沸石)和8-16cm(沸石),其中沸石含量不少于30%。选用耐寒、耐污染、生物量高的水生植物,种植密度30-40株/m²,以保证植物根系和微生物的稳定共生体系。

生态沟渠断面设计要考虑净化效果和水力特征,梯形断面底宽0.8~1.2米,深1.0~1.5米,坡度1:1.5,沟底铺10-15cm厚的砾石层,边坡上种植芦苇、美人蕉等水生植物,每5~10m设置一道多孔混凝土拦截坝,延长水力滞留时间至8~12小时。浮床采用HDPE材料,承载力≥50kg/m²,植物种植密度20-30株/m²,浮床覆盖面积控制在30-40%,防止过度覆盖造成水体缺氧。

采用耐低温复合菌剂,在-5℃-35℃范围内添加硝化菌、反硝化菌、芽孢杆菌等,投药量为50-100g/m³,提高低温下污染物的降解效率^[2]。该填料具有较高的孔隙率、较大的比表面积和较高的化学稳定性,且沸石阳离子交换量≥150mmol/100g,且含泥量≤1%,保证长时间运行不会出现板结、堵塞等问题。

3 农村生活污水生态处理技术优化路径

3.1 工艺参数精准优化

以人工湿地为研究对象,针对低温环境引起微生物活性降低的问题,开展多尺度参数优化研究:水平潜流人工湿地填料层厚度达到80cm,底层设置20cm厚珍珠岩/土工布复合保温层,利用珍珠岩多孔结构保留热量的同时,为微生物提供栖息空间,有效降低低温对微生物群落活性的抑制作用。采用基于污水处理工艺的污水处理工艺,即水力停留时间按季节动态调整,夏季保持24~48小时,冬季延长至72小时^[3]。以耐寒性强的品种(芦苇、黑三棱等)和伴生植物(菖蒲等)为研究对象,以黑三棱为研究对象,在-10℃低温条件下仍能保持根系活力,显著提高低温条件下污染物的去除效率,经实测,低温阶段COD去除率提高15%-20%,NH₃-N去除率提高10%-15%,有效缓解低温对处理效果的影响。

针对我国农村污水水量季节性波动大(雨季水量骤增、旱季骤减)问题,构建“调控-缓冲-净化”三级水力调控系统,即在生态处理系统进水端设置调节池,容积设计为日处理水

量1.5倍,池内设置液位传感器和自动闸阀,对水量变化进行实时监控,对进水流量进行自动控制,以防止暴雨期间水量冲击造成填料层堵塞或微生物流失。在人工湿地和生态沟渠间增设缓冲池,在超负荷(COD>300mg/L,氨氮>40mg/L)的条件下,投加耐低温复合菌剂(投加量80g/m³),实现对污水的可生化性快速提升,提高系统的抗冲击负荷能力。

3.2 工艺组合模式创新

针对我国农村污水排放特点,构建“预处理+核心生态处理+深度净化”的差异化组合工艺系统,实现对不同排放场景的精准匹配。针对日排出小于5m³的单户或联户式污水处理厂,采用“化粪池+小型垂直潜流人工湿地+生物浮床”组合工艺,以化粪池为预处理单元,采用三格结构,水力停留时间为12~24小时,可以去除60%以上的悬浮固体和30%的有机物质,减少后续处理单元的负荷。小型垂直潜流人工湿地(占地2-3m²),以“沸石+活性炭”为填料,其中沸石(强化脱硝)层为40cm(吸附有机物),活性炭(吸附有机质)为20cm,处理效率比单一填料提高25%。本项目拟将生物浮床设置于庭院景观水池内,采用模块化设计方式,种植具有强氮、磷、磷吸附能力的凤眼莲、金鱼藻等植物,达到深度净化和美化景观的双重目的,处理后出水COD≤50mg/L,氨氮≤5mg/L,可直接用于庭院蔬菜灌溉和绿化灌溉,达到水资源循环利用的目的。针对农村污水(日排水量50-100m³),采用“格栅+调控池+水平潜流人工湿地+生态沟渠”组合工艺,格栅采用机械格栅,格栅间距为5mm,能有效地将污水中大块杂物(如塑料袋、树枝等)除去,防止后续管道堵塞;调节池为矩形结构,配有搅拌装置,平衡水质水量,保证水质稳定;水平潜流人工湿地为核心处理单元,采用2-3个并行单元,以便于维护,每层填料按照“支持层(8-16cm砾石+2-4厘米沸石+0.5-1厘米石英砂)的分层铺设方式,实现对COD、氨氮等核心污染物的集中去除^[4]。生态沟渠连通人工湿地出水,在沟底种植芦苇、香蒲等植物,在沟底铺设10cm厚的生物陶粒层,进一步脱除总磷和残余有机质,达到农田灌溉水质标准(GB5084-2021),为周边农田提供每年2万m³的灌溉用水。

3.3 运维体系简化优化

建立“成本低、操作简单、可落地”的运维系统,降低运维门槛和成本。人工湿地采取“季节性维护”模式,明确不同季节的核心维护任务:春季(3月-4月),重点清理填料表面的枯枝落叶和泥沙,清理深度控制在5厘米以内,防止填料层结构受损。同时,对冬季枯死植物进行补种,栽植密度30-40株/m²;在夏季(5月-10月)每月对进出水的水质进行监测,使用简单的水质检测试剂盒(可以检测COD和氨氮),根据检测结果对水力停留时间进行动态调节,当COD去除率在70%以下时,延长水力停留时间5-10小时。秋季(11月)向植株根部施有机肥(如腐熟农家肥等),提高植株抗寒性;冬季(12月-2月)人工湿地仅需

覆盖 0.15mm 厚的保温薄膜,边缘用土夯实,不需要复杂的加热设备,降低了运行维护成本。

生态沟渠运营以“防堵塞、保畅通”为重点,制定标准化的运行维护流程,每周对拦河坝上的杂物和藻类进行清理,防止坝孔堵塞;每季度(3月、6月、9月、12月)对沟底泥沙进行清理,采取人工清淤方法,清淤深度 10-15cm,淤泥干燥后可用作农田有机肥^[4]。每年秋季(11月)收获水生植物,收获后保留 10-15 厘米的根系,以保证来年正常萌发,并将收获的植株资源化(如粉碎堆肥)。浮床采用模块化设计,2米×1米,便于拆卸和搬运。冬季(12月)将浮床移入室内越冬(室温≥5℃),春季(4月)再放回水中,降低低温损失。每月检查浮体的完整性,及时更换破损的浮体,单次更换费用约 50 元,运行费用比传统的固定式浮床降低 4~50%。

建立“村集体+农户”协同运维机制,明确各方面的责任,由村集体负责对集中式处理设施(如调节池、人工湿地等)进行日常巡查和维护,并配备 1-2 名经县级环保部门培训合格的专业运维人员,主要负责设施巡查(每日 1 次)与简单故障维修^[6]。农户应自行清理自家分散式污水处理设施(如化粪池),化粪池每六个月清理一次,清掏工作可委托村集体组织专业队伍进行,政府补助 50%,政府设立农村污水治理专项资金,按每户 100-200 元的标准拨付到村集体,用于设施维护、药剂购置和维护人员补贴,以保证日常管理工作的可持续性。

4 农村生活污水生态处理技术应用案例

4.1 案例概况

以北方沿海地区 280 户居民 850 人的村庄为研究对象,每天的生活污水排放量约 60 m³,污水中的主要污染物含量为 COD220~280mg/L,氨氮 25~35mg/L,总磷 3~4mg/L。本项目采用“格栅+调节池+水平潜流人工湿地+生态沟渠”组合工艺,设计处理规模 70m³/天,占地 1200m²,总投资 85 万元,于 2022 年 6 月建成投产。

4.2 技术应用与优化措施

以砾石(4~8cm)、沸石(2~4cm)、石英砂(0.5~1cm)为填料,采用 80cm 厚、沸石占 35% 的复合系统作为填料;选择芦苇、菖蒲和黑三叶混栽,种植密度 35 株/m²;在水力负荷为 0.8m³/(m²·天)的情况下,水力停留时间为 48 小时。为应对冬季的低温,在填料层底部加 20cm 厚的珍珠岩隔热层,并在入口端加装加热器,保证入口温度在 5℃以上。

生态沟渠断面设计成梯形,底宽 1.0 米,深 1.2 米,坡度 1:1.5,沟底铺 15cm 厚碎石层,边坡种植芦苇和美人蕉,

每 5 米设一道多孔混凝土拦河坝,在渠尾设置水质监测点,实现对出水水质的实时监测。在运行过程中,采取“简单监控+定期维修”的方式,由经过培训的村干部负责日常运行,保证设备的稳定运行。

4.3 应用效果分析

经过一年半的运行,出水 COD 平均浓度为 38mg/L,去除率为 82.1%;氨氮平均浓度为 4.2 毫克/升,去除率为 87.7%;总磷的平均浓度为 0.45 毫克/升,去除率为 88.3%,达到 GB18918-2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 B 类标准,具有良好的经济效益和社会效益。

在冬季低温(12月-2月),该设施仍能维持较高的处理效率,COD、NH₃-N、NTP 去除率分别为 75.3%、78.5% 和 80.2%,较未经优化的常规人工湿地在低温条件下的处理效率提高 18%-22%。运行费用低,平均日运行成本仅 0.8 元/m³,比传统污水处理厂 2—3 元/m³ 低得多。人工湿地和生态沟渠构成的绿色景观,使村庄环境得到改善,出水回农田灌溉,每年可获得 2.1 万 m³ 的灌溉用水,达到生态效益和经济效益的统一。

5 结语

综上所述,农村生活污水生态处理技术优化及应用效果研究,旨在实现农村生活污水生态处理深度优化,既是工艺升级,也是对乡村水环境治理逻辑的重新校准,将污染减排与生态服务、工程建设与社区治理、当前达标与长期宜居等有机统一起来。展望未来,面对气候变化带来的极端降水与干旱交替、农村人口回流与产业升级带来的水、质双重波动,生态处理系统仍需在材料耐久性、智能监测、碳汇增值、景观耦合等方面不断演化,在更低的全生命周期成本和更高的社会接受度的前提下,保持农村“清水长流”的底线。

参考文献

- [1] 王彩虹.农村生活污水生态处理技术应用研究[J].乡村科技,2024,15(22):141-144.
- [2] 骆美,甘曼琴,马中文,武升,李陈,马友华.芜湖市农村生活污水处理现状及适用技术分析[J].安徽农业科学,2024,52(21):54-57.
- [3] 匡荣凯,刘宝震,马彬,安呈泰,王永磊,王欣妍.农村生活污水生态处理技术研究进展[J].净水技术,2024,43(09):25-34.
- [4] 李环宇,白玥萌.东北地区农村生活污水现状及生态处理工艺[J].建筑与预算,2023,(09):68-70.
- [5] 李丹丹,唐璐,张剑,张怡.我国分散式农村生活污水处理技术应用现状及发展趋势[J].农村.农业.农民,2023,(16):54-56.
- [6] 李峰,秦磊.一种分散式农村生活污水生态处理技术探索与实践[J].绿色科技,2023,25(12):139-143.