

高原地区农村污水治理技术评价与推广应用

祝华勋¹ 白玉君² 刘一帆² 丁美冬² 马利亚² 博承艳²

1 四川绿维佳创环保科技有限公司

2 阿坝藏族羌族自治州若尔盖生态环境局

DOI:10.32629/eep.v9i7.3267

[摘要] 本文围绕高原农村污水治理的现实需求,系统梳理当前治理工作面临的困境,对比分析不同治理技术的适用性与局限性,重点阐释无动力生态净化技术的工艺原理与适配优势,并结合若尔盖县农村污水处理改造项目开展案例验证,最终提出技术推广应用的实施路径与保障建议。研究表明,以重力自流为核心的无动力雨污水处理系统,契合高原地区生态优先、低耗耐寒、运维简便的治理需求,能够有效解决雨污混流、设施冻损、运行成本高等痛点,可为高寒草原地区农村污水治理提供可复制的技术范式,助力农村生态环境可持续发展。

[关键词] 高原地区; 农村污水治理; 无动力处理; 生态净化; 技术推广

中图分类号: P942 **文献标识码:** A

Evaluation and Promotion of Rural Wastewater Treatment Technologies in Plateau Areas

Huaxun Zhu¹ Yujun Bai² Yifan Liu² Meidong Ding² Liya Ma² Chengyan Bo²

1 Sichuan Green WeijiaChuang Environmental Technology Co., Ltd

2 Ruogai Ecological Environment Bureau of Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture

[Abstract] This article focuses on the practical needs of rural sewage treatment in high-altitude areas, systematically sorts out the difficulties faced by current treatment work, compares and analyzes the applicability and limitations of different treatment technologies, focuses on explaining the process principles and adaptation advantages of non powered ecological purification technology, and combines the rural sewage treatment renovation project in Ruogai County to carry out case verification. Finally, the implementation path and guarantee suggestions for the promotion and application of technology are proposed. Research has shown that the non powered rainwater and sewage treatment system with gravity flow as the core meets the ecological priority, low consumption and cold resistance, and simple operation and maintenance needs in high-altitude areas. It can effectively solve the pain points of mixed rainwater and sewage, facility freezing damage, and high operating costs. It can provide a replicable technical paradigm for rural sewage treatment in high-altitude grassland areas and help promote the sustainable development of rural ecological environment.

[Key words] Plateau region; Rural sewage treatment; No power handling; Ecological purification; technology promotion

引言

随着乡村振兴战略的深入推进,农村生态环境保护要求不断提高,原有污水处理设施在高原特殊环境下逐渐暴露出处理效率不足、设施易损坏、运维成本高等问题,难以稳定满足排放标准。探索适配高原气候、地形与生态特征的污水治理技术,构建低成本、易维护、高效率的治理体系,对于保护高原生态安全、改善农村人居环境具有重要的现实意义。

1 高原地区农村污水治理的现实困境

1.1 自然环境制约治理效能

高原地区低温低氧的气候条件对生化处理工艺形成直接限制,冬季气温长期处于零下,微生物活性大幅下降,常规好氧生化工艺的处理效率出现明显衰减。同时高海拔区域空气稀薄,充氧效率低于平原地区,传统活性污泥法等依赖曝气的工艺运行效果大打折扣,难以稳定实现污染物降解目标。

1.2 设施建设运维存在短板

高原农村村落居住分散,人口规模偏小,污水排放量波动较

大, 部分区域受旅游、放牧等季节性因素影响, 水量起伏更为明显, 导致处理设施长期处于低负荷或超负荷交替运行的状态, 容易出现设施失效问题。

1. 3生态保护要求不断提升

高原地区生态环境承载力弱, 水体、土壤生态系统一旦遭到破坏难以恢复, 污水直排或处理不达标极易引发草原水体污染、土壤退化、生物多样性下降等生态风险。随着国家生态保护力度持续加大, 对农村污水排放的管控标准不断严格, 传统粗放的治理方式已无法满足生态保护要求。

2 高原农村污水治理技术的选型原则与评价

2. 1治理技术选型的核心原则

高原农村污水治理需立足区域自然与社会特征, 坚持生态优先、无动力低耗、耐寒抗冻、运维简便、因地制宜的核心原则。生态优先要求治理过程兼顾污染物去除与生态保护, 实现污水治理与生态修复协同推进, 最大程度降低工程建设与设备运行对草原湿地原生生态的扰动。无动力低耗要求尽可能降低对电力等能源的依赖, 适配部分区域供电不稳定、电力配套薄弱的现状。耐寒抗冻要求技术与设施能够适应低温冻土环境, 有效抵御冻融灾害, 减少冻损故障。

2. 2主流治理技术对比评价

当前农村污水治理常用技术包括一体化生化处理设备、人工湿地、生物滤池、稳定塘等, 不同技术在高原场景下各有优劣, 适配性差异显著。一体化生化处理设备出水水质稳定, 但能耗较高, 低温环境下核心配件易老化损坏, 需要高频巡检维护, 长期运维成本偏高, 难以适配偏远乡村。人工湿地能耗低、生态性强, 但占地面积大, 冬季低温会大幅抑制微生物活性, 处理效率下降明显, 且易出现淤积堵塞、植被枯萎等问题。生物滤池依靠重力流动, 维护相对简单, 但悬浮物极易堵塞填料层, 好氧生化能力有限, 整体处理效果受气温波动影响较大。稳定塘造价低廉, 但高原漫长冰封期内基本失去处理能力, 且占地面积大、易淤积污泥、滋生蚊虫, 适用场景较为有限, 无法满足高标准治理需求。

2. 3无动力生态治理技术的适配优势

相较于传统工艺, 无动力生态治理技术与高原农村场景的适配性更强, 完美契合高寒地区污水治理的各类核心需求。该技术全程依靠重力自流, 无需水泵、曝气等动力设备, 从根源上规避了低温冻损动力设备的风险, 彻底摆脱对电力的依赖, 大幅降低运行能耗与后期运维成本。工艺核心采用生态填料净化模式, 结合物理截留、吸附与耐低温微生物降解多重作用, 即便在严寒低温环境下仍能保持稳定的污染物处理效果。同时设施可采用预制化耐寒材质, 现场施工安装便捷, 对草原地形与生态扰动极小, 填料使用寿命长、维护频次极低, 能够很好地匹配农村运维能力不足的现状, 高度契合高原脆弱生态环境的绿色保护要求。

3 无动力雨污水处理系统的技术构成

3. 1双通道并联处理架构

无动力雨污水处理系统采用常规处理通道与无动力雨污水处理通道并联的架构, 通过智能水位感应分流井实现水量的精准智能分配, 精准适配高原旱季少水、雨季暴雨的差异化运行工况, 彻底改变传统单一处理设备工况适配性差的弊端。旱季污水量较小时, 全部污水进入原有常规处理设施, 精细化保障常态化污水处理效果, 稳定维持出水水质达标; 雨季水量激增、雨污混流严重时, 超额雨污水会自动分流至无动力处理系统, 剩余少量污水进入常规设备, 从根本上避免设施因水量超负荷出现停机瘫痪、处理失效等问题。

3. 2多级生态净化工艺单元

系统采用三级重力自流净化工艺, 依次为格栅预处理、砂石过滤单元与火山岩填料单元, 全程依托自然地势落差实现水流流动, 无需电力驱动, 完美适配高原供电不稳定的现状。格栅预处理主要拦截污水中的枯枝、牧草、塑料杂物等大颗粒漂浮物, 全方位保护后续滤层结构, 大幅降低设备堵塞、淤积的风险, 减少基础运维工作量。砂石过滤单元通过多级级配的砂层, 依靠孔隙截留、物理吸附与絮凝沉降多重作用, 高效去除水中悬浮物与胶体物质, 显著降低出水浊度, 为后续生物净化处理创造稳定优质的水质条件。

3. 3配套抗冻运维保障技术

为适配高原低温、冻土广布、温差极大的特殊复杂环境, 系统针对性配备了完善的抗冻防渗与长效运维保障技术, 全面适配高寒区域恶劣工况。设施主体采用高强度玻璃钢耐寒防渗材质, 整体一体化成型、密封性能优异, 能够长期抵御高原低温冻胀、昼夜温差冻融循环影响, 杜绝罐体开裂、水体渗漏等问题。输水管道选用专用耐寒PE/PPR管材, 严格遵循高原施工标准深埋于冻土线以下, 外部包裹加厚保温棉, 有效杜绝冬季管道结冰、堵塞、冻裂等常见故障。

4 案例分析

以若尔盖县农村污水处理站改造项目为例, 该区域位于川西北高寒草原生态核心区, 境内多个农村污水处理站点建成投用后, 受高原低温、冻土、雨季暴雨集中等特殊条件影响, 在雨季普遍存在雨污混流、水量超负荷、设施冻损堵塞等问题, 部分站点雨季长期处于超限运行状态, 无法稳定实现达标排放, 对周边草原湿地生态造成潜在威胁。针对不同站点的进水特征与设施短板, 项目遵循因地制宜、低成本改造的原则, 采用玻璃钢材质的无动力雨污水处理系统进行配套改造, 构建常规处理与旁路处理相结合的双通道并联处理架构, 配套建设水位感应式分流井与多级生态净化单元, 同时落实管道保温深埋、罐体整体防渗等抗冻措施, 结合地形条件优化设施布局与施工工序。改造完成后, 系统能够灵活应对旱季与雨季的水量波动, 有效解决了雨季设施超负荷瘫痪的突出问题, 在冬季低温环境下仍能保持稳定运行状态, 出水水质稳定满足地方农村污水处理排放标准, 处理后水体优先回灌周边草原或补给湿地, 实现了污水治理与生态保护的协同增效。项目整体施工周期短, 基坑开挖量小, 对草原原生生态扰动小, 且日常运维无需专业人员值守, 长期运行成

本显著低于传统动力处理工艺,为高原同类地区开展农村污水治理改造提供了可复制的实践参考。

5 高原农村污水治理技术推广应用建议

5.1 因地制宜开展技术适配

推广无动力污水治理技术过程中,需充分结合不同村落的地形条件、人口规模、排放特征与生态定位,灵活调整工艺参数与设施规模,杜绝一刀切的建设模式,最大程度贴合高原乡村差异化治理需求。对于人口相对集中的村落,可结合现有处理设施增设无动力旁路处理系统,有效分担雨季污水负荷,大幅提升系统抗冲击能力,保障污水治理稳定性;对于分散居住、污水排放量小且无完善管网的村落,可采用小型分散式无动力处理装置,实现就地处理就近排放,减少管网建设投入。

5.2 完善运维管理保障体系

建立适配农村特点的运维管理机制,是保障治理技术长效发挥作用的关键,也是破解高原农村污水设施重建轻管问题的核心举措。可构建县域统一运维与村级日常巡查相结合的两级管理模式,细化市县、乡镇、村级各级运维责任,明确运维责任主体,制定标准化巡检、养护、故障处置流程,定期开展设施全面巡检与常态化维护。持续加强对村级运维人员的简单技能培训,开展常态化实操教学,使其能够熟练完成格栅清理、淤积排查、设备外观检查等基础维护工作。

5.3 强化政策与资金支持

加大对高原农村污水治理的政策倾斜与资金投入,将无动力生态治理技术纳入农村环境整治推荐技术目录与地方乡村建设标准体系,引导各地优先选用适配性强、运维成本低、生态效益好的治理工艺。建立政府主导、社会参与的多元化资金投入机制,统筹整合乡村振兴、生态保护、人居环境整治等各类专项

资金,全面保障治理设施建设、设备更新、日常运维的全周期资金需求。鼓励探索生态产品价值实现路径,结合草原生态保护补偿、绿色惠农补贴等机制,持续拓宽污水治理资金来源,降低基层治理压力,稳步推动高原农村污水治理工作常态化、规范化、可持续推进。

6 结束语

高原地区农村污水治理是一项兼具生态价值与民生意义的系统工程,需要充分考量区域自然环境特征与农村发展实际,选择适配性强、经济可行的治理技术。无动力生态净化技术凭借低能耗、抗冻性强、运维简便、生态友好等优势,能够有效破解高原农村污水治理的诸多痛点,具有广阔的推广应用前景。

[参考文献]

- [1]陈雅琪,周娟,张璐晶,等.云贵高原地区乡镇级农村污水处理工程脱氮除磷优化效果分析[J].贵州大学学报(自然科学版),2026,43(4):84-91.
- [2]陶玲.甘南高原地区农村生活污水治理技术探索与研究[J].清洗世界,2023,39(5):146-148.
- [3]周述明,唐涛涛,叶三霞,等.高原农村生活污水处理技术进展[J].绿色科技,2022,24(8):72-74+84.
- [4]赵庆贵.高原地区农村污水治理工艺设计研究[J].低碳世界,2022,12(3):26-28.
- [5]卢芬.高原地区农村污水治理工艺设计[J].广东化工,2020,47(8):114-115.

作者简介:

祝华勋(1987--),男,汉族,四川省成都市人,专科,工程师,研究方向:污水治理。