

陈晔圳, 赵建军, 郑向群. 一种无动力·蒸发式农村生活污水处理新技术及其工程应用[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5): 570-574.

CHEN Pei-zhen, ZHAO Jian-jun, ZHENG Xiang-qun. A novel technology and its engineering application for rural domestic sewage treatment[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(5): 570-574.

一种无动力·蒸发式农村生活污水处理新技术及其工程应用

陈晔圳¹, 赵建军², 郑向群¹

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 内蒙古克澜尔环保科技有限公司, 呼和浩特 010020)

摘要: 为了加强我国寒冷干旱地区农村污水治理, 介绍了一种无动力·蒸发式污水处理新技术, 由前处理装置、二次过滤装置、特殊土壤处理蒸发装置组成, 整个系统采用埋地式, 埋藏深度为冻土层以下。通过无动力·蒸发式污水处理系统处理内蒙古地区的集中式与分散式农村生活污水, 处理后污水可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准, 氨氮、总磷、BOD₅、COD_{Cr}、悬浮物的去除率均超过90%。系统终端蒸发装置可将净化后水体全部蒸发, 系统运行无需专人维护, 节能减排。该技术在内蒙古地区已有多处工程应用, 且具有良好的应用效果, 适用于北方低温干旱地区, 有很强的地域实用性。

关键词: 干旱寒冷地区; 农村生活污水; 无动力; 蒸发式; 污水处理技术

中图分类号: U664.9+2 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2019)05-0570-05 doi: 10.13254/j.jare.2019.0264

A novel technology and its engineering application for rural domestic sewage treatment

CHEN Pei-zhen¹, ZHAO Jian-jun², ZHENG Xiang-qun¹

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. Inner Mongolian Clear Environmental Technology Co., Ltd., Hohhot 010020, China)

Abstract: Improvement in the living standards of rural people is generally accompanied by an increase in the annual volume of sewage discharge. Consequently, the treatment of sewage and operation of rural domestic sewage treatment systems become difficult, specifically in arid and cold regions. To address this problem, this research introduced a novel sewage treatment technology—The unpowered and evaporative sewage treatment system. The unpowered and evaporative sewage treatment system comprised a pre-treatment device, secondary precision filtration device, special soil treatment device, and evaporation device. The entire system was installed underground below the frozen soil layer. This system could treat sewage to the "first-class" standard listed in the Discharge Standards of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918—2002). In addition, a removal rate of above 90% of ammonia nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD_{Cr}), and suspended solids could be achieved. Furthermore, the treated wastewater could be completely evaporated by the terminal evaporation device. The operation of this system was simple, and the system did not require special maintenance; Moreover, the system consumed very less energy, resulting in emission reduction. This system was now being employed for sewage treatment in rural, arid, and cold regions of China. Furthermore, this technology has been successfully employed in many projects in Inner Mongolia and has been proven to be very effective.

Keywords: arid and cold regions; rural domestic sewage; unpowered; evaporative; sewage treatment technology

收稿日期: 2019-05-17 录用日期: 2019-07-25

作者简介: 陈晔圳(1983—), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事乡村水环境污染治理研究。E-mail: chenpeizhen@cpz@sina.com

基金项目: 天津市自然科学基金(19JCYBJC23100); 中央级科研院所基本科研业务费专项(Y2019LM01, 2019-jbkyywf-cpz); 中国农业科学院科技创新工程协同创新任务(CAAS-XTCX2016015)

Project supported: Tianjin Natural Science Foundation (19JCYBJC23100); The Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund (Y2019LM01, 2019-jbkyywf-cpz); Science and Technology Innovation Project from the Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-XTCX2016015)

党的十九大报告提出乡村振兴战略,要着力解决突出环境问题,开展农村人居环境整治行动,其中农村生活污水治理是一个重要方向。随着生活水平的提高,农村生活污水排放量逐年加大,但目前我国大多数农村并没有完善的污水收集和处理设施。据住建部《2016年城乡建设统计年鉴》数据,中国乡镇集中供水率达到81.44%,但污水平均处理率只有11.38%,集中处理率仅有6%,我国96%的村庄没有排水渠道和污水处理系统^[1]。污水直接排放,严重污染纳污水体和土壤,并且会严重威胁地下水安全和农村居民的身体健康^[2]。由于农村污水面广分散,不能直接照搬城镇污水处理技术或方式,必须建立适合农村特点的处理方法^[3-4]。我国干旱寒冷地区主要包括内蒙古大部、宁夏、甘肃、新疆等地,这些地区的农村占地面积较大,具有干燥少雨、温差大、太阳辐射强、蒸发量大、雨热同季等显著的气候特征,自然条件严酷。同时这些农村污水处理设施建设滞后,常用的污水处理工艺推广比较难。因此,本文介绍一种无动力·蒸发式污水处理系统,可有效地利用干旱寒冷地区农村面积大、气候干燥、蒸发量大等自然条件,能很好地处理农村生活污水。

1 材料与方法

1.1 无动力·蒸发式污水处理系统

无动力·蒸发式污水处理系统主要包括前期处理装置、精密滤水处理装置、蒸发装置、检水槽,见工艺流程图1。无动力·蒸发式污水处理系统采用污水进阶式处理。前处理装置由第一消化槽、第二消化槽、预备过滤室构成。预备过滤室主要由过滤布和鹅卵石

石过滤材料组成。污水前处理主要是在第一消化槽里停留56 h被固液分离,再经过第二消化槽,高分子有机物得到氧化分解,然后通过预备过滤室进行初步过滤。污水经前期处理后,进入精密滤水处理装置进行二次精密过滤,同时利用散水布将水体送入特殊性土壤蒸发装置处理。土壤净化组件由下层的特殊土壤和上层的植被层组成,特殊土壤层由孔隙率在60%~75%的火山岩和炼钢炉渣构成。检水槽里的水位通常和精密滤水处理装置的水位相同,用于定期抽出水样监测水质。该系统的剖面如图1所示。

无动力·蒸发式污水处理工艺采用二级厌氧消化+精密过滤+土壤毛细作用和蒸发作用处理农村污水,适用于分散农户家庭或者集中处理规模。污水主要经过二级消化槽、预备过滤室、精密滤水处理装置、土壤处理装置、蒸发装置、检水槽。设计进水水质:化学需氧量(COD_{Cr}) $\leq 350 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \leq$ 五日生化需氧量(BOD_5) $\leq 250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,氨氮 $\leq 80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,悬浮物 $\leq 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总磷 $\leq 7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,要求经处理后出水指标达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中一级标准。工艺流程如图2所示。

1.2 无动力·蒸发式污水处理系统工程应用

(1)集中污水处理模式。呼和浩特市和林格尔县盛乐新区台基营村的公共卫生间污水处理采用该无动力·蒸发式污水处理系统(图3,由内蒙古克澜尔环保科技有限公司提供),系统采用埋地式,埋藏深度为1.6 m(冻土层以下)。进水方式为自流式进水,日处理量为3 t,占地面积60 m²,2018年9月建成,整个冬天可以正常运行。系统运行稳定后,2019年4月在第一消化槽和监测井分别采样检测水质指标。

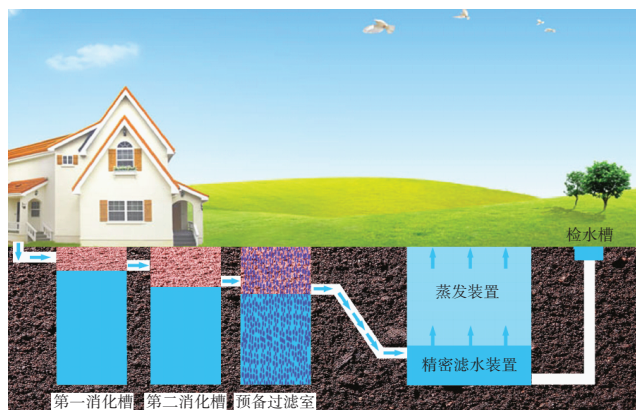
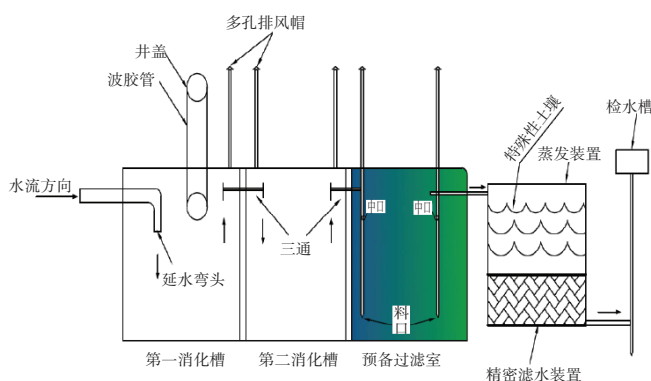


图1 无动力·蒸发式污水处理系统剖面图

Figure 1 Profile of the unpowered and evaporative sewage treatment system



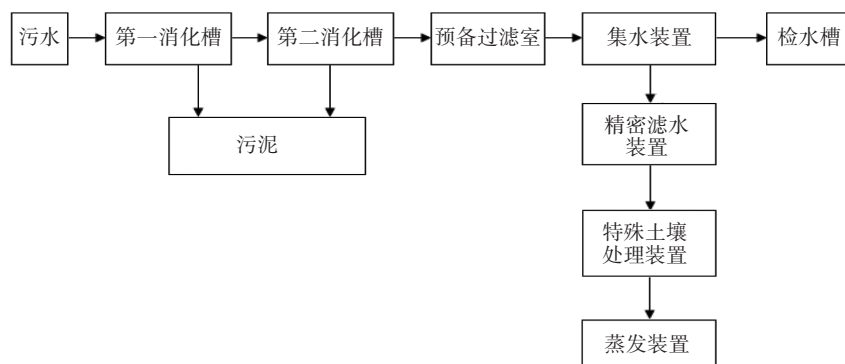


图2 无动力·蒸发式污水处理系统工艺流程图

Figure 2 Flow chart of unpowered and evaporative sewage treatment system

(2)分散式污水处理模式。赤峰市松山区大庙镇小庙子村单户生活污水处理采用该无动力·蒸发式系统(图4,由内蒙古克澜尔环保科技有限公司提供),日处理量为0.3 t,占地面积20 m²,2018年5月建成,建设规模为100户。系统采用地埋式,埋藏深度为1.8 m(冻土层以下)。2018年10月在第一消化槽和监测井采样检测水质指标。

1.3 水质指标测定方法

COD_{Cr}采用重铬酸盐法(HJ 828—2017);BOD₅采用稀释与接种法(HJ 505—2009);悬浮物测定采用重量法(GB/T 11901—1989);石油类和动植物油类的测定采用红外分光光度法(HJ 637—2012);阴离子表面活性剂测定采用亚甲蓝分光光度法(GB/T 7494—1987);总氮测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636—2012);氨氮测定采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009);总磷测定采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989);色度测定采用稀释倍数法(GB/T 11903—1989)。



图3 无动力·蒸发式污水处理系统处理集中式农村生活污水
Figure 3 Photo of the unpowered and evaporative sewage system treating centralized rural domestic sewage

2 结果与分析

呼和浩特市和林格尔县盛乐新区台基营村的公共卫生间污水处理采用该无动力·蒸发式污水处理系统。建成后运行1个月出水稳定,系统运行半年后从第一消化槽和监测井采样并进行水质指标测定,结果见表1。结果表明无动力·蒸发式污水处理系统处理农村生活污水效果好,出水水质指标均可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。其中,氨氮、总磷、BOD₅、COD_{Cr}、悬浮物的去除率均超过90%,分别为99.6%、90.5%、96.0%、91.3%、90.2%,总氮的去除率可以达到81%,净化后的水质较清澈。

无动力·蒸发式污水处理系统处理赤峰市松山区大庙镇小庙子村单户的生活污水的效果如表2所示。



图4 无动力·蒸发式污水处理系统处理分散式农村生活污水
Figure 4 Photo of the unpowered and evaporative sewage system treating decentralized rural domestic sewage

表1 无动力·蒸发式污水处理系统处理集中式农村生活污水效果

Table 1 Effects of the unpowered and evaporative sewage system treating centralized rural domestic sewage

水质指标 Water quality index	第一消 化槽 First tank	监测井 Monitoring well	标准限值(一级A) Standard limit (level A)
COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	230	20	50
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	151	6	10
总氮/mg·L ⁻¹	71.4	13.6	15
氨氮/mg·L ⁻¹	70.1	0.3	8
总磷/mg·L ⁻¹	4.2	0.4	0.5
阴离子表面活性剂/mg·L ⁻¹	0.12	0.05	0.5
悬浮物/mg·L ⁻¹	92	9	10
动植物油/mg·L ⁻¹	0.84	0.27	1
石油类/mg·L ⁻¹	0.15	0.08	1
色度/倍	16	2	30
粪大肠菌群/个·L ⁻¹	7.0×10 ⁵	<2	1000
pH	8.6	7.8	6~9

表2 无动力·蒸发式污水处理系统处理分散式农村生活污水效果(mg·L⁻¹)

Table 2 Effects of the unpowered and evaporative sewage system treating decentralized rural domestic sewage(mg·L⁻¹)

水质指标 Water quality index	第一消化槽 First tank	监测井 Monitoring well	标准限值(一级A) Standard limit (level A)
COD _{Cr}	200	7	50
BOD ₅	157	2	10
氨氮	40	0.34	8
总磷	4	0.05	0.5

系统对总磷、氨氮、BOD₅、COD_{Cr}的去除率均超过90%,出水水质可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。

3 讨论

无动力·蒸发式污水处理工艺对氨氮、总磷、BOD₅、COD_{Cr}、悬浮物具有较好的去除效果,出水水质均可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,这与系统的单元组成相关。前期处理主要包括前处理、二次过滤、土壤净化组件处理几个重要环节。前处理主要是污水在消化槽里停留56 h被固液分离,再经过二级消化槽,高分子有机物分阶段进行氧化分解。一级消化槽主要是将污水中高分子有机物通过厌氧菌群进行酸性发酵,分解成为低分子有机物后产生中间产物,如纤维素分

解为醋酸、丁酸,碳水化合物分解为醋酸、丁酸、丙酮、乙醇等,蛋白质分解为氨基酸、脂肪酸等,脂肪分解为脂肪酸、甘油、乙醇等。第二阶段主要是将有机中间产物通过甲烷菌进行碱性发酵,变成气体使沉淀污泥量减少。过滤环节分为两个环节:预备过滤和精密过滤。预备过滤室主要由过滤布和鹅卵石过滤材料组成,沉淀分离后的污水自上而下经过过滤布和滤料,将污水进行一次大颗粒过滤;精密过滤室内填充生物膜,污水经过时,细微的浮游物被生物膜吸收去除,变成上澄水。土壤净化组件由下层的特殊土壤和上层的植被层组成。特殊土壤层由孔隙率为60%~75%的火山岩和炼钢炉渣构成,其透气性较高,大气蒸腾作用使土壤内部产生最大不超过-0.01 MPa的负压,蒸腾产生的拉力以负压的形式在土壤内部从上至下依次传递,水分在土壤中经受的吸附力、张力、毛管力、真空力等综合作用力大于水分蒸发所承受的重力时,会向上移动,最终蒸发。水分在上移过程中,给土壤间隙和土壤微生物提供氧气,污染物再次通过土壤微生物进行有氧性分解,使出水水质达到更高标准。植被层可以是绿草、经济作物或灌木等,实现土壤水分再次吸收,同时具有景观作用。

目前,干旱寒冷地区农村生活污水排放问题没有得到解决,对于居住比较分散的农村,大多农村日常生活污水不经过处理,随地乱排或通过一家一户式的渗坑排放。由于渗水井的临时性、不彻底性,其不仅污染地下水,而且污染周边环境,使得农村生活污水处理成为落实乡村振兴战略过程中迫切需要解决的问题^[5-6]。我国干旱寒冷地区气候干旱、多风、寒冷,村落规模较小,村落间的距离较远。各地经济发展水平不一、生活习惯差异大。区域地理、气候与经济状况等特征成为影响农村污水处理工艺技术和处理效能的重要因素。常规的污水处理方法^[7]在寒冷干旱地区运行存在一定的弊端,导致运行比较困难^[8-10]。无动力·蒸发式污水处理系统是一种分散型污水处理系统,适用于没有管网、农户分散的村落,干旱寒冷地区农村土地面积大和日照蒸发量大的条件,可满足干旱寒冷地区污水处理需要。无动力·蒸发式污水处理系统处理后的污水达标后均以气体状态蒸发,不存在污染地下水问题。无动力·蒸发式污水处理系统具有以下优点:(1)无动力、无排放、不渗透、污水净化后蒸发;(2)占地面积小,处理单户农村污水只需占地20 m²左右;(3)无需专人维护,后期无任何费用,使用寿命可达25年,且无臭味、无虫害;(4)整个处理装置安

装在冻土层以下,不损害景观,不占用地表面积,冬季不怕上冻。另外该系统设计运行寿命为25年,系统的长期运行效果以及不同季节的运行效果,后续会继续跟踪研究。

4 结论

(1)无动力·蒸发式污水处理系统,由前处理装置、二次过滤装置、特殊土壤处理蒸发装置组成,整个系统采用地埋式,无需专人维护,可在我国北方干旱寒冷地区乡镇、农牧区等无城市管网和处理系统的条件下运行。该系统可处理集中式农村生活污水与分散式农村生活污水。

(2)系统出水水质指标均可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。氨氮、总磷、BOD₅、COD_{Cr}、悬浮物的去除率均超过90%。

(3)无动力·蒸发式污水处理系统的终端蒸发装置可将净化后水体全部蒸发,节能减排。该技术在内蒙古地区已有多处工程应用,具有良好的应用效果,适用于北方寒冷干旱地区,有很强的地域实用性。

参考文献:

- [1] 张齐生. 中国农村生活污水处理[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 2013.
ZHANG Qi-sheng. Treatment of domestic sewage in rural China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2013.
- [2] 冯 宁, 苏 雷, 李亚峰. 农村生活污水处理技术与发展趋势[J]. 节能, 2016, 35(8): 53-55.
FENG Ning, SU Lei, LI Ya-feng. The treatment technology situation and development prospects for the rural sewage[J]. *Energy conservation*, 2016, 35(8): 53-55.
- [3] 寇胜男. 浅析农村水环境污染现状及治理措施[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(8): 129.
KOU Sheng-nan. Analysis of the status and control measures of rural water environment pollution[J]. *Technology and Economic Guide*, 2019, 27(8): 129.
- [4] 胡光楠. 乡村振兴背景下农村污水治理技术应用现状及发展研究[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(3): 99-101.
HU Guang-nan. Application status and development of rural sewage treatment technology under the background of rural revitalization[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2019, 37(3): 99-101.
- [5] 刘士清, 徐 进, 郝雁军. 人工快渗在北方寒冷地区农村污水处理的应用[J]. 广东化工, 2015, 42(14): 173-174.
LIU Shi-qing, XU Jin, HAO Yan-jun. Application of constructed rapid infiltration for rural sewage treatment in northern cold region[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2015, 42(14): 173-174.
- [6] 范 彬. 我国农村污水治理技术构架与顶层设计构想[J]. 环境保护, 2015, 43(3): 46-49.
FAN Bin. Top-down design vision of the rural sewage and disposal technology frame in China[J]. *Environmental Protection*, 2015, 43(3): 46-49.
- [7] 胡 明, 刘英豪, 朱仕坤, 等. 农村分散污水处理技术评价研究进展[J]. 中国给水排水, 2015, 31(12): 16-21.
HU Ming, LIU Ying-hao, ZHU Shi-kun, et al. Assessment of rural decentralized sewage treatment technology[J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(12): 16-21.
- [8] 边喜龙, 于景洋, 齐世华, 等. 寒冷地区农村污水处理工艺选择与实践[J]. 低温建筑技术, 2017, 39(10): 129-132.
BIAN Xi-long, YU Jing-yang, QI Shi-hua, et al. Selection and practice of rural sewage treatment process in cold area[J]. *Low Temperature Architecture Technology*, 2017, 39(10): 129-132.
- [9] 王三反, 洪 雷, 唐玉霖. 高寒地区生态大棚污水处理技术研究[J]. 中国科技成果, 2009, 10(4): 20-22.
WANG San-fan, HONG Lei, TANG Yu-lin. Study on wastewater treatment technology of ecological greenhouse in alpine region[J]. *China Science and Technology Achievements*, 2009, 10(4): 20-22.
- [10] 毛世峰, 高雪杉, 张 勇. 东北寒冷地区农村污水特征及处理技术[J]. 现代农业科技, 2014(23): 236-237.
MAO Shi-feng, GAO Xue-shan, ZHANG Yong. Characteristics and treatment techniques of rural sewage in cold regions of northeast China[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2014(23): 236-237.