

湖南村镇生态治污工艺分析

李成 邹楚骏 胡晓莲

湖南科技大学土木工程学院

摘要:通过对湖南省村镇污水水质、水量、收集处理难度和处理现状等特征的分析,遴选出蚯蚓生态滤池、生物浮床、高效藻类塘三种目前国内广泛采用的村镇生态治污工艺,并结合工艺原理、工艺优缺点和工艺适用范围等多方面进行分析考虑,最后从工艺特点、投资估算、出水水质等对这三种工艺在湖南省村镇污水处理方面进行了适应性工艺推荐,以期为湖南省村镇环境治理提供帮助。

关键词:村镇污水;生态治污工艺;蚯蚓生态滤池;生物浮床;高效藻类塘

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.108

一、前言

我国村镇覆盖面积广大,居民人口众多,村镇污水处理一直是我国发展新农村事业的一大瓶颈。当前,我国大多数村镇地区水环境质量差、水生态受损严重、环境隐患多等问题十分突出,污水处理设备稀缺、污水处理工艺落后,造成环境污染、影响居民生存环境和身体健康的同时,还制约了村镇经济健康可持续发展。本文以湖南省村镇污水处理为例,调查当地污水水质、水量特点、收集处理难度、污水处理现状,发现生态治污工艺节能高效、成本低廉,是村镇污水处理的主流方法,但是生态治污工艺方法繁多,如何有效地选择工艺方法是当前村镇污水治理的困扰之一。

二、湖南村镇污水处理特征

湖南省共有104个县级以上城市和1001个县级以上建制镇。2013年10月底,全省村镇共建成污水管网6315公里,污水处理能力29.2万立方米/日,污水处理率10.5%。截至2021年底,湖南省已有914个村镇建成(介入)污水处理设施,覆盖率达77%,湖南省136座污水处理厂共处理污水17.4亿吨,同比增长3.5%,运行平均负荷率高达87.8%。^[1]湖南村镇污水量主要包括生活污水量、公共建筑污水量、类似生活污水的工(企)业生产废水量和畜禽养殖废水量。其中生活污水在村镇污水占比最高,成分包含有机物、氮、磷及悬浮物等污染物

质,重金属和有毒物质含量较低,此外还包括一些病毒、细菌、寄生虫等。^[2]由于湖南城镇污水分布点多、面广、分散,导致其污水处理分散排污、搜集难和集中排放的管理费用升高。湖南省农村迫切需要成本低廉、节能高效、运行管理方便、无二次污染、抗冲击负荷能力强的污水处理工艺。

三、湖南村镇生态治污工艺推荐

(一) 蚯蚓生态滤池^[3]

1. 工艺原理

蚯蚓和植物被认为是蚯蚓生态滤池的两个重要组成部分。蚯蚓产生的蚓粪和小块有机物质,可为微生物生长创造条件。在蚯蚓生态滤池内,蚯蚓可以延长生物的食物链,丰富微生物的种类,通过与微生物的协同作用强化对污染物的去除作用。同时,蚯蚓的活动增加了滤池中滤料的渗透性,有助于提高滤池能够承受的水力负荷。^[4]而植物通过吸收,将氮、磷等营养物质转化为自身的组分,从而降低了水中营养物的含量。同时,植物根部为微生物的生长、繁殖提供了良好的环境,并促进其对污染物的降解与转化。

2. 工艺优缺点

优点:蚯蚓生态池的植物可以定时清理,清理后的植物可以作为肥料或草料,实现能量物质的重复利用,提高农村土壤肥力。在不处理重金属等有害物质时,蚯蚓生态池的植物可以换成合适的经济作物,提高蚯蚓生态池的经济价值。^[5]面对很多工艺的污泥处理问题时,蚯蚓生态池不产生剩余活性污泥,省去了剩余活性污泥的处理费用,杜绝了因剩余活性污泥处置不当而引起环境二次污染问题的发生。

缺点:能较好的处理平时村镇的生活污水,但相比其他工艺其去污能力较弱,在面对污染程度较高的污水,如村镇某些小工厂排放的污水时,不能保证出水水质,具有一定的局限性。

3. 工艺适用范围

适用水质:经过化粪池预处理后的污水、一般污染程度的生活污水等。

适用地区：有一定土地资源的农村地区。

(二) 生物浮床

1. 工艺原理

生物浮床工艺以竹架、竹篓、弹性材料、植物、动物等制成的生物浮床为基质或载体，通过水生植物生长吸附，将水体中大量N、P等营养物转移到植物体中，不断地收割植物体，营养物质被移出水体，从而达到去除目的^[6]。丰富的植物根系是一个根区微环境，根区丰富的厌氧菌、好氧菌、兼性菌通过硝化及硝化作用将N以NH⁴⁺-N和N₂形式挥发出水体之外。P则通过磷酸盐沉降并固结在基质或载体上，或转化为可溶性磷再被植物吸收。同时还辅以弹性材料生物膜、植物根系微生物、蚌、螺等的净化作用，提高了水体中N、P的去除效率。^[7]

2. 工艺优缺点

优点：成本低廉，生物浮床不需要占用土地，仅需购买浮床等费用，每年运行维护费用只需在浮床上种植植物；经济效益高，年去氮、磷量各达139kg/a、11kg/a，使用年限达6年，总成本费用仅需28.8万^[8]；节能高效，系统在能耗方面是其他常用技术的1/10-1/11，每日可以节省1400-1600千瓦时的能耗，符合节能减排设计理念；无二次污染，无须曝气、二沉池，不产生活性污泥；运行管理方便，仅有少部分控制植物生长方面的工作，一般2000t/d污水处理厂仅需4-8人即可完成操作。

缺点：该技术有专利保护，抗冲击能力一般。

3. 工艺适用范围

适合水质：适用于富营养化的农村生活污水和河流水的深度处理。

使用地区：适用于以发展渔业、养殖业为主的农村地区。

(三) 高效藻类塘^[9]

1. 工艺原理

高效藻类塘的主要结构为藻菌共生体系，通过藻菌强大的协同净化效应运行，高效降解水体中污染物质。藻类利用光合过程释放出大量O₂，供给细菌氧化有机物、吸收无机物。在细菌氧化过程中，所释放的大量CO₂可作为藻类生长中所需的碳源，供藻类繁殖所用。藻类以太阳能为能源，CO₂为碳源合成新的藻类细胞，而细菌

会在藻类所提供的优良环境中快速繁殖，使高效藻类塘内快速建立起丰富的藻菌体系，两者之间互利共生，为高效降解各类污染物质提供了良好的环境。其中，藻类产氧、提高碱度的生物化学机制如式(1)、式(2)所示。



2. 工艺优缺点

优点：高效藻类塘工艺流程简单，不采用曝气、不设污泥回流、不用处理污泥，污水经过高效藻类塘处理沉淀后即可，系统产生的污泥会在塘底沉淀分解，极大的节省了能源消耗。建设价格低，运行方式简单，很适合农村小范围的污水处理。且高效藻类塘对污水中NH₄⁺-N去除率高达95%以上，TP去除率达60%以上，COD去除率高达90%以上，节能又高效^[10]。高效藻类塘具有较好的抗冲击能力，短时间的水质水量突变不会影响系统正常运行，出水依旧稳定。停止运行一段时间后，如塘内藻类未全部死亡，可以直接运行，如藻类死亡，只需继续添加藻类便可继续运行，对于污水变化具有较大的适应性。

缺点：高效藻类塘需要一定的场地进行建设，会占用一部分的农村土地，且用水需求较大，不适宜用水紧张的地区。

3. 工艺适用范围

适用水质：主要适用于污染程度一般的农村生活污水、禽畜污水。

适用地区：主要适用于有一定土地资源的农村地区。

四、湖南村镇生态治污工艺比较分析(表1)

通过从工艺特点、投资估算、出水水质等方面综合比较分析，最后得出不同规模湖南省村镇建议生态治污使用工艺：在欠发达村镇，其人口数量较少，且主要污水来源于富含有机物的生活污水，需要处理的污水水量不多，不需要进行深度污水处理，低成本的蚯蚓生态滤池便可满足其污水处理需求；在较发达村镇，人口数量较多，所需处理的污水量也随之增加，因其有一定的经济实力，可在此地区建设污水处理的生物浮床，满足其污水处理量的同时，增加经济效益；在发达村镇，其人口数量多，污水水量大幅度增加，污水来源于多个方面

表1

工艺分类	工艺内容	工艺特点	年去氮、磷量 (kg/a)	总成本费用 (万元)	出水水质	占地面积	适合村镇类型	备注
蚯蚓生态滤池	利用蚯蚓来提高土壤通透性能,在水分和气体充足的条件下促进有机物分解转化,同时蚯蚓的引进可以降低污泥量。	优点:成本低、经济效应强;无二次污染。 缺点:出水水质较其他一般。	614.4 (氮) 73.86 (磷)	27.52	二级	小	欠发达村镇	1.运行灵活可调,可根据进水调节滤池大小; 2.比较适宜小水量工程。
生物浮床	水生植物的根系吸收或吸附作用,削减水体中N、P等及有机污染物质。辅以弹性材料生物膜、植物根系微生物、蚌、螺等的净化作用。	优点:用地省、能耗低、无二次污染。 缺点:抗冲击能力一般。	1378 (氮) 101 (磷)	28.8	一级A	小	较发达村镇	1.适用于富营养流水或养殖业较发到村镇; 2.要按时对浮床表层植物进行收割及保养。
高效藻类塘	建立藻菌共生体系,产生协同净化效应,高效降解水体中污染物质。异养细菌降解有机物、自养细菌氧化氨氮。	优点:节能高效、抗冲击强、处理效果稳定。 缺点:占地大。	139 (氮) 11 (磷)	63.75	一级A	中	发达村镇	1.规模宜大不宜小,小规模时,成本较高; 2.适用浓度较高的污水。

如工业废水、生活污水等,处理工艺需满足污水处理量的同时,保证出水水质的质量,因此高效藻类塘为这种地区的首选。

参考文献

[1]刘璐,胡飞超,张文强,庞阔,郭亚丽,张婷,李敏.长江中游湖南和江西省村镇污水处理模式现状分析[J].中国给水排水: 1-11.

[2]常尧枫,谢嘉玮,谢军祥,郭萌蕾,陆辉,江磊,陈重军.城镇污水处理厂提标改造技术研究进展[J].中国给水排水, 2022, 38 (06): 20-28.

[3]周晨.基于蚯蚓的分散式污水处理装置设计研发[J].中国地名, 2020 (03): 58.

[4]郭飞宏,郑正,张继彪.PCR-DGGE技术分析塔式蚯蚓生态滤池微生物群落结构[J].中国环境科学, 2011, 31 (04): 597-602.

[5]梁建军,彭俊,侯淑媛.蚯蚓生态滤池处理农村生活污水试验研究[J].中国给水排水, 2016, 32 (11): 16-19.

[6]李建柱,侯杰,张鹏飞,柳尧全,夏闰红,马徐发.空心菜浮床对鱼塘水质和微生物多样性的影响[J].中国环境科学, 2016, 36 (10): 3071-3080.

[7]Gram-Negative Bacteria - Microcystis; New Data from Harbin Institute of Technology Illuminate Findings in Microcystis (Biological floating bed and bio-contact oxidation processes for landscape water treatment: simultaneous removal of Microcystis aeruginosa, TOC, nitrogen and...) [J].Ecology, Environment & Conservation, 2018.

[8]董杰锋,张妍,江学顶,许伟城,李富华,刘淑娟.生物浮床对富营养化水体治理的研究进展[A].中国环境科学学会环境工程分会.中国环境科学学会2019年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛论文集(三)[C].中国环境科学学会环境工程分会:《环境工程》编辑部, 2019: 79-83

[9]丁怡,王玮,宋新山,刘兴坡,梅梦媛,王宇晖.高效藻类塘在水质净化中的研究进展[J].工业水处理, 2017, 37 (09): 15-20.

[10]谢艳艳,吉凯锋,纪婧,吾斯曼江·艾尼外尔,邱江平,李旭东.膜-高效藻类塘工艺处理污水厂尾水[J].水处理技术, 2016, 42 (06): 67-70+75.