

文章编号: 1005-0523(2008)06-0006-05

地下土壤渗滤系统处理农村生活污水试验分析

华文才, 冯益敏, 朱炳泉

(上海嘉定水务工程设计有限公司, 上海 201800)

摘要: 建设地下土壤渗滤系统处理农村生活污水试验工程. 通过取样检测, 数据进行分析, 系统对 COD 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 TP 的平均去除率分别达到了 89.78%、78.9%、97.13% 和 95.03%, 效果理想. 系统的出水方式对 BOD_5 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除有一定的影响, 而上部作物的种类对处理效果略有影响. 系统造价低, 管理简单, 卫生条件好, 是污水资源利用的较好方法. 特别适用于零星分散排放污水的治理, 在广大农村具有较大的应用价值.

关键词: 生活污水; 就地处理; 土壤渗滤; 工艺原理

中图分类号: X32

文献标识码: A

地下土壤渗滤污水处理系统是将污水有控制地投配到经一定构造、距地面一定深度和具有良好扩散性能的土层中, 污水经毛细管浸润和土壤渗滤作用向周围运动且达到处理要求的一种土地处理方式, 是一种小型的污水自然净化系统. 它是充分利用地表下土壤中栖息的土壤动物、土壤微生物、植物根系及土壤所具有的物理、化学特性将污水净化的工程技术. 该系统充分利用了大自然净化能力, 具有土建费用低、运行费用低、管理操作方便等优点. 同时, 还能利用污水中的水肥资源, 将污水处理与绿化及农业生产相结合, 美化和改善生态环境, 创造一定的经济效益.

在国外利用土壤渗滤系统处理污水的应用相当普遍, 目前, 美国、日本等发达国家都在大力推行土壤渗滤技术^[1]. 进入 20 世纪 90 年代以来, 国内该技术得到了迅速地发展.

作为社会主义新农村建设配套项目, 上海金山区要在近几年对廊淦岛内的农村生活污水进行就地处理, 达标排放. 经过方案比较, 确定在陆家浜采用地下土壤渗滤污水处理系统作试验工程. 以便通过处理效果的检测, 作为在岛内推广该系统的依据.

1 试验工程设计

1.1 工艺流程

本工程的工艺流程为: 自住户的生活污水经各户的简易化粪池处理后, 上清液通过管道收集自流进入调节池, 经泵提升进入地下渗滤系统, 处理后的污水达标排放.

生活污水 → 化粪池 → 调节池 → ^{提升} → 渗滤场 → ^{出水} (利用或排放)

采用化粪池作为地下土壤渗滤系统的预处理装置, 可以为后续系统提供污染物浓度较低、生化降解性较高的进水. 试验所在村各农户已经建成了简易化粪池, 可以直接使用, 不必新建, 节省投资.

收稿日期: 2008-10-26

作者简介: 华文才 (1969-), 男, 安徽蚌埠人, 工程师, 研究方向为给排水工程设计.

1.2 处理水量与进水水质

设计系统的处理水量为 $70 \text{ m}^3/\text{d}$. 化粪池作为预处理设施设置于调节池前, 渗滤场地的进水水质实际上反映了生活污水经预处理后的水质情况, 一般 BOD_5 为 $30 \sim 80 \text{ mg/L}$, COD 约为 $100 \sim 250 \text{ mg/L}$.

1.3 渗滤场面积计算及布置

地下土壤渗滤系统的设计方法有: 污染物负荷法; 水力负荷法; 植物需水量法. 可以在实际设计时相互校核.

目前国内关于土壤渗滤系统研究采用的负荷较低, 一般为: 水力负荷 $30 \sim 40 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ^[2,3], 而 BOD_5 负荷为 $1 \sim 10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. 出水水质远低于国家排放标准. 本试验工程采用较高水力负荷, 以验证在较高负荷下地下土壤渗滤污水处理系统的处理效果.

工程取水力负荷为 $60 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 所需渗滤场的总面积: $F = 70/0.06 = 1\,170 \text{ m}^2$.

根据工程所在村的住户分布和被河道分隔情况, 工程采用 3 个系统, 每个系统设计水量分别为: 1#系统处理水量 $17 \text{ m}^3/\text{d}$, 2#系统处理水量 $33 \text{ m}^3/\text{d}$, 3#系统处理水量 $20 \text{ m}^3/\text{d}$. 这既可以有效地减小收集管道埋设, 减少管道穿越河道, 也可以减少单个处理场规模, 便于灵活布置.

考虑均匀布水, 每条布水沟中心距取 1.5 m , 沟内设穿孔布水管. 渗滤场形状可根据场地具体确定, 从施工方便考虑, 本工程采用矩形. 3 个渗滤场平面尺寸分别为:

$14 \text{ m} \times 20 \text{ m} = 280 \text{ m}^2$, $22 \text{ m} \times 25 \text{ m} = 550 \text{ m}^2$, $17 \text{ m} \times 20 \text{ m} = 340 \text{ m}^2$, 共 $1\,170 \text{ m}^2$.

1.4 地下土壤渗滤系统结构

污水主要是在流经渗滤场的过程中得以净化的, 结构见图 1.

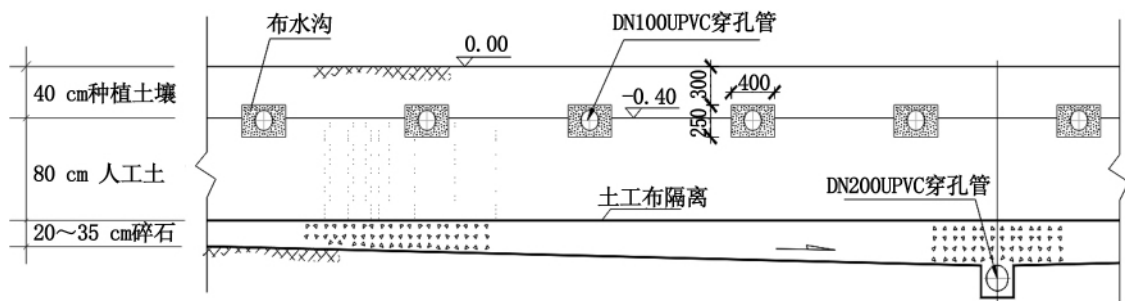


图1 土壤渗滤系统结构图

渗滤场主要由 6 部分组成. 表层土壤, 即: 耕植土层, 由较肥沃的耕作土壤组成, 是植物的生长层, 也是污水净化的主要作用层.

表层土壤以下为布水沟和下层土壤, 布水沟底、壁由聚氯乙烯薄膜围成, 内填满直径为 $20 \sim 40 \text{ mm}$ 的砾石, 顶部覆盖土工透水布, 沟内设穿孔布水管; 下层土壤主要由砂粘土掺和一定比例的炉渣构成, 厚度 80 cm , 主要为过滤、截留污水中的污染物质, 是污水净化的重要作用层.

“底层”: 又称承托层或垫层, 由直径为 $20 \sim 40 \text{ mm}$ 的砾石组成, 起承托上层土壤和使污水均匀分布的作用, 内设穿孔管, 收集处理后的污水, 以排除系统.

隔离层: 为防止上部土壤落入承托层, 堵塞水流通通道, 影响布水均匀性, 及防止土壤随水流入系统, 在下层土壤和承托层之间铺设土工布隔离.

防渗层: 位于沟床最底层, 采用 2 层聚氯乙烯薄膜加 2 层土工布构成. 作用是防止污水直接下渗, 污染地下水.

“底层”和隔离层是本工程在其它渗滤场的基础上增设, 主要是有助于布水均匀.

本工程采用的渗滤场是由渗滤沟取消各自侧向隔离组合改进而成, 减少了沟沟间的隔离工程量.

1.5 表层作物的种植

为了考察上层作物处理效果的影响, 1#渗滤场种植随季农作物, 2#、3#渗滤场种植了麦草.

1.6 工艺特点

地下土壤渗滤系统位于地面以下, 具有以下特点:

- (1) 系统位于地面以下,不占用地表面积,不损害景观.
- (2) 整个系统在地下,不会散发臭气,卫生条件好.
- (3) 系统位于地面以下,处理效果受外界气温影响小.
- (4) 工程没有土建结构,建设容易、维护简便、基建投资少、运转费用低.
- (5) 将污水处理与绿化、耕作建设相结合,产生一定经济效益,有助于实现污水的资源化利用.

1.7 进水出水的控制

系统进水水泵由水位自动控制运行,水泵每天工作 4 次,每次工作 1~2 h. 渗滤场出水采用 2 种方式,1#、3#采用直接排放方式,即系统出水口标高和渗滤场内部收集排水管相同,系统停止进水一段时间后,渗滤场内水即被排空,处于干化状态. 2#采用抬高出水口方式,出水口标高和系统布水沟相当,渗滤场表层土以下始终处于淹没状态. 主要是为了考察 2 种出水状态对处理效果的影响.

2 系统的净化效果分析

2.1 系统的净化效果

渗滤场从建成到运行近 9 个月,一直在无人值守的情况下稳定运行. 从 2008 年 4 月开始,上海市水环境检测中心金山分中心对 3 个渗滤场进行了 5 次检测,每月取样 1 次,检测结果如表 1~3(水量单位: m^3/d).

表 1 1#渗滤场进出水水质 mg/L

检测时间	水量	COD		BOD ₅		NH ₃ -N		TP	
		进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2008-04-04	14.6	180.0	15.8	31.0	5.2	22.5	1.10	8.55	0.663
2008-05-06	16.1	342.0	15.7	46.0	8.1	45.7	0.30	8.58	0.725
2008-06-05	15.0	164.0	16.0	39.0	7.0	37.1	0.34	8.61	0.765
2008-07-08	17.2	170.0	17.4	42.0	8.0	42.3	0.42	8.65	0.877
2008-08-06	16.4	42.0	13.8	14.0	3.7	11.2	1.33	8.71	0.881

表 2 2#渗滤场进出水水质 mg/L

检测时间	水量	COD		BOD ₅		NH ₃ -N		TP	
		进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2008-04-02	23.3	140.0	16.2	27.0	8.6	41.0	1.57	11.87	0.240
2008-05-06	25.8	384.0	18.7	49.0	12.3	44.3	2.00	11.5	0.231
2008-06-05	26.0	180.0	22.0	41.0	10.0	39.7	2.39	10.46	0.211
2008-07-08	30.2	314.0	17.9	48.0	8.0	50.3	1.88	13.82	0.438
2008-08-06	27.1	62.0	14.9	16.0	9.1	37.5	4.15	14.9	0.489

表 3 3#渗滤场进出水水质 mg/L

检测时间	水量	COD		BOD ₅		NH ₃ -N		TP	
		进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2008-04-02	15.6	82.0	22.3	29.0	5.8	31.4	0.33	5.32	0.138
2008-05-06	16.2	280.0	19.4	51.0	2.9	49.3	0.25	5.51	0.140
2008-06-05	18.4	92.0	17.0	34.0	6.8	32.0	0.31	5.68	0.147
2008-07-08	19.7	220.0	17.6	45.0	7.5	48.3	0.24	11.89	0.438
2008-08-06	20.2	58.0	19.1	18.0	9.1	43.0	0.46	12.1	0.457

对表 1~3 数据进行分析整理,得出各渗滤场对污染物的去除率,见表 4~6.

数据表明系统对有机污染物有很好的去除能力和很高的稳定性. COD 的平均去除率 89.78%, BOD₅ 的平均去除率 78.9%. 出水中 COD 和 BOD₅ 的平均值为 17.49 mg/L 和 7.47 mg/L,远优于二级生化处理系统的出水水质. 在高效去除 BOD₅ 的同时能去除氮、磷,对水源保护意义重大. 系统在 60 mm/d 的水力负荷下,出水仍可以达到回用水的标准.

表4 1#渗滤场污染物去除率

%

污染指标	COD	BOD ₅	NH ₃ - N	TP
最大	95.41	83.23	99.34	92.25
最小	67.14	73.57	88.13	89.86
平均	91.24	81.40	97.80	90.93

表5 2#渗滤场污染物去除率

%

污染指标	COD	BOD ₅	NH ₃ - N	TP
最大	95.13	83.33	96.26	97.99
最小	75.97	43.13	88.93	96.72
平均	91.69	73.48	94.37	97.43

表6 3#渗滤场污染物去除率

%

污染指标	COD	BOD ₅	NH ₃ - N	TP
最大	93.07	94.31	99.83	97.46
最小	67.07	49.44	98.93	96.22
平均	86.97	81.86	99.22	96.74

2.2 系统的净化效果分析

出水 BOD₅ 数值很低表明,渗滤系统对可生化有机物的降解去除非常理想.当污水投配到渗滤场后,在沿毛细管上升的过程中,污水中的有机污染物通过土壤的过滤、吸附、植物吸收和微生物分解而被去除.土壤具有较大的吸附容量,截留下的有机物在微生物的分解代谢作用下,将有机物转化为无机物,这样又恢复了土壤的吸附能力.土壤就是通过这样的循环往复来对有机污染物进行净化的.

系统中氨氮去除效果理想,去除率平均在 97.1% 以上.污水中氮的去除总是要经过铵化、硝化和反硝化几个步骤完成.硝化与反硝化反应分别是在好氧与厌氧条件下发生的,两种截然相反的反应条件的转换,对常规生化处理方法提出了很高的要求,难于实现脱氮目的.土壤渗滤系统由于其作用机理,可以实现硝化与反硝化的顺利完成.间歇性的转换布水,系统实质上进行着布水与干化的交替运行,使土壤处于好氧与厌氧交替变换的状态.另外,土壤中还会存在许多与周围环境状况不同的微环境,即在好氧大环境中存有厌氧微环境,而在厌氧大环境中又存在着好氧微环境.就是这种厌氧与好氧条件的变化和共存,为硝化和反硝化反应创造了条件,渗透系统由此得到良好的脱氮效果.

虽然在系统干化阶段,下层土壤中可以恢复部分氧气,土壤中氧气水平较低,硝化反应很难进行到最后阶段,下层土壤中的氮应该主要以亚硝酸氮为主.在厌氧条件下,可能发生厌氧氨氧化反应,即在厌氧条件下,微生物直接以 NH₄⁺ 做电子供体,以 NO₂⁻ 为电子受体,将 NH₄⁺ 或 NO₂⁻ 转变成 N₂ 的生物氧化过程^[9].

另外,氨态氮、亚硝酸氮、硝酸氮都能被植物根系吸收,转换为植物体的一部分,通过收割植物而去除.经常收割植物可以使营养元素的去除量达到最大.

系统进水中磷含量较高,平均值为 9.74 mg/L,平均出水浓度普遍低于 0.456 mg/L,平均去除率达到 95%.系统虽然表现出了很强的除磷能力,但磷的去除只能通过土壤吸附固定与植物吸收实现,而不能通过生化反应直接去除.

在 BOD₅、NH₃ - N 的去除方面,2#渗滤场明显不及 1#、3#渗滤场.这主要因为 2#渗滤场下部处于淹没状态,下部土壤一直处于缺氧条件,不利于形成好氧与厌氧交替变换微环境,土壤的生物活性相对较差.对磷的去除效果,三个系统相当,应为这种系统对磷不是通过生化反应直接去除的.

在系统运行过程中,渗滤场没有臭味溢出.土壤中粘土具有阳离子交换能力,其结晶具有阴离子吸附作用,厌氧和好氧微生物能对恶臭物质进行生物氧化与还原.在上述各种机制作用下恶臭物质被吸附、交换、氧化、分解.

类似研究表明,这种系统处理效果受外界气温影响较小,污水处理效果稳定.这类系统在生物学上是安全的^[10].

植物对营养元素的吸收也是污水净化的重要途径.污水中的有机物、氮、磷等作为植物生长所必需的养分,通过根系被加以吸收利用,成为植物自身的材料,当割草时被移出系统而达到脱除的目的.经常收割、修剪可以使营养元素的去除量达到最大.

植物的生长也极大地改变了土壤的特性,也即改变了污水处理过程的环境条件.由于植物根系深入土壤和增加土壤有机质,既提高了土壤的渗滤速度,也增加了根区土壤的水力有效传导率,还创造了一个良好的

植物根区的微环境,有利于微生物对污染物的降解.

从数据可以看出,种植的作物种类对系统的处理效果有一定的影响,在 COD, BOD₅ 去除率方面,种植随季农作物的效果略好于种植麦草. 而在去除 NH₃ - N 和磷方面,刚好相反.

3 结论

(1) 本试验系统建成运行 9 个月以来,运行良好. 系统处理的全部为生活污水. 试验过程中对工程的进、出水水质进行分析,对污水的去除效果做了探讨. 积累了一定的系统设计经验.

(2) 该系统的污染物去除效果非常理想. 在较高负荷下,出水 COD 浓度普遍低于 15 mg/L, BOD₅ 浓度低于 10 mg/L, NH₃ - N 浓度普遍低于 5.0 mg/L, TP 低于 1.0 mg/L, 达到回用标准,不会对当地水环境造成危害.

(3) 地下土壤渗透系统除了可以消除水污染外,地表种植绿化草坪又可以起到美化环境、丰富绿化层次的作用. 种植农作物可以产生一定的经济效益,是污水资源利用的方法,适用于零星分散排放污水的治理. 特别在广大农村具有大量应用的价值.

(4) 地下土壤渗透系统建设投资少、维护简便、管理难度低、运转费用低,特别适合在广大农村使用.

参考文献:

- [1] 张 建,黄 霞,施汉昌,等. 地下渗滤系统在污水处理中的应用研究进展 [J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(4):47-48.
- [2] 国家环境保护局科技标准司. 城市污水土地处理技术指南 [M]. 北京: 中国环境科学出版社,1997. 12.
- [3] 尤勇军,沈 娟,王艳萍. 同步硝化反硝化生物脱氮技术研究 [J]. 环境污染治理技术与设备,2006,(4):130-133.
- [4] 田宁宁,杨丽萍,彭应登. 土壤毛细管渗滤处理生活污水 [J]. 中国给水排水,2000,16(5):12-15.

An Experimental Analysis of the Subsurface Soil Infiltration System for Rural Domestic Sewage Treatment

HUA Wen_cai, FENG Yi_min, ZHU Bing_quan

(Shanghai Jiading Water Engineering Design & Research Institute Co. LTD Shanghai 201800, China)

Abstract: A test project of the subsurface soil infiltration system for rural domestic sewage treatment is built. Through some sample inspections and data analysis of the system, the average removal rates of COD, BOD₅, NH₃ - N and TP can respectively reach 89.78%, 78.9%, 97.13% and 95.03%, which have ideal effects. The effluent discharging modes of the system has some influence on the removal rates of BOD₅ and NH₃ - N, while the species of the crops on the upper part has a little effect on the treatment efficiency. This system has the advantages of low investment, convenient operation management, and good sanitation conditions. It is a better method to use sewage resource and a more suitable system for dispersed domestic sewage which has a great value in application in the vast rural areas.

Key words: domestic sewage; onsite treatment; subsurface soil infiltration; technological principle

(责任编辑: 刘棉玲)