

李晓东,安 乐,张 巍,等. 地下渗滤系统水力负荷周期和水力负荷的参数优化[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):362-364.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.117

地下渗滤系统水力负荷周期和水力负荷的参数优化

李晓东¹,安 乐²,张 巍¹,晁 雷¹

(1. 辽宁省环境科学研究院国家环境保护村镇污水处理与资源化工程中心,辽宁沈阳 110161;
2. 东北大学资源与土木工程学院,辽宁沈阳 110004)

摘要:利用室内模拟装置,对地下渗滤系统的水力负荷周期参数进行优化,研究不同水力负荷对污染物去除效果的影响。结果表明,水力负荷周期为 24、12 h 时,系统对 COD_{Cr} 去除效果较好,COD_{Cr} 平均去除率分别为 76%、74%;6、12 h 时,氨氮去除效果好,平均去除率分别达到 97.6%、99.2%;综合考虑 COD_{Cr} 和氨氮去除效果,选择 12 h 为最佳周期。推荐合适水力负荷为 0.08 m³/(m²·d),此时,COD_{Cr}、氨氮出水浓度能满足城镇污水处理厂污染物排放 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》的 1 级 A 标准。

关键词:地下渗滤系统;水力负荷周期;水力负荷;参数优化

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0362-03

地下渗滤土地处理系统具有兴建运行费用低、受温度影响小、不存在卫生问题、出水效果好等优点^[1-3]。传统的土地渗滤直接以土壤作为基质,渗透性差、易堵塞、占地面积大^[2,4]。目前,基质改良和优化基质的填充方式是地下渗滤系统的研究热点。本试验构建以生物基质、炉渣、河沙分层装填并适合沙质土壤地区的地下渗滤系统,对该系统水力负荷周期^[5] 和水力负荷进行优化,寻找最优的运行条件,为实际工程设计提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 地下渗滤系统

将基质填充于高 120 cm、外径 30 cm 的有机玻璃柱内来模拟地下渗滤系统,自上而下分别装填 15 cm 河沙、40 cm 生物基质、5 cm 炉渣、50 cm 河沙、10 cm 砾石,其中,生物基质由活性污泥、河沙、炉渣和草炭土按照一定比例混合配制而成。散水管设置在 40 cm 处,在散水管下方 5 cm 处设置不透水槽,进水由蠕动泵输送至散水管,进入不透水槽后在毛细作用下上升一段距离,并由于重力作用下渗,最终从出水口流出(图 1)。渗滤系统装置放置于室内,温度为 16~28 ℃,系统进水和落干交替进行,时间和频率由配电箱控制。

1.2 试验用水

以试验用水模拟生活污水,水质指标见表 1。

1.3 检测项目及方法

常规性水质检测项目有 COD_{Cr}、氨氮、TN,测定方法参照《水和废水监测分析方法》^[6]。

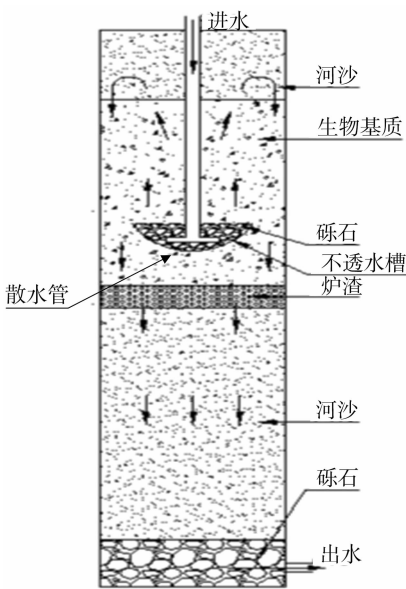


图1 地下渗滤系统模拟实验装置

表 1 试验用水水质指标

水质指标	浓度范围 (mg/L)	平均值 (mg/L)
COD _{Cr}	86.0~140.0	122.0
氨氮	42.0~67.5	64.3
总氮(TN)	45.1~69.5	64.3
总磷(TP)	4.0~13.2	10.1
pH 值	6.5~7.0	

1.4 试验方案

1.4.1 不同水力负荷周期对污染物净化效果的影响 水力负荷周期概念源于快速渗滤工艺,1 次淹水和 1 次落干构成的循环称为水力负荷周期^[5]。渗滤系统设定水力负荷为 0.08 m³/(m²·d),湿干比为 1:1,采用 48、24、12、6 h 共 4 个水力负荷周期进行试验,确定最优水力负荷周期。

收稿日期:2014-04-01
基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07202-003,2012ZX07212-001);辽宁省科学技术计划(编号:2014020164)。
作者简介:李晓东(1978—),男,山西太谷人,博士,高级工程师,从事污水生态治理与修复工作。E-mail:13889348902@126.com。

1.4.2 不同水力负荷对污染物净化效果的影响 渗滤系统以最优水力负荷周期、湿干比 1:1 进行设定,采用 8×10^{-2} 、 10×10^{-2} 、 $12 \times 10^{-2} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 共 3 个水力负荷进行试验,确定最优水力负荷。

2 结果与分析

2.1 最佳水力负荷周期的确定

2.1.1 水力负荷周期对 COD_{Cr} 去除率的影响 由图 2 可见,水力负荷周期为 24、12 h 时, COD_{Cr} 去除效果较好,平均去除率分别为 76%、74%;水力负荷周期为 6 h 时,1 d 内进水 4 次,进水频率较大,每次落干时间只有 3 h,落干时间相对较短,在落干期内微生物无法将有机物完全分解就又进入下次淹水期,同时,未分解的有机物还会影响淹水期微生物对有机物的吸收,从而 COD_{Cr} 去除效果最差,平均去除率仅为 59%;48 h 时, COD_{Cr} 去除率为 67%,与 24、12 h 时相比, COD_{Cr} 去除效果下降,可能是由于淹水时间过长,微生物较长时间处于缺氧状态而活性降低,同时,落干时间过长,导致微生物营养不足,甚至死亡,这与马利民等的研究结论^[7]较为吻合。

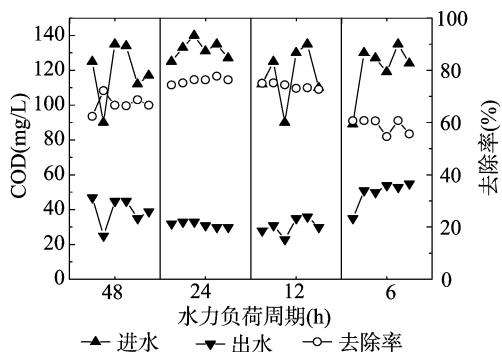


图2 不同水力负荷周期下的 COD_{Cr} 去除率

2.1.2 水力负荷周期对氨氮去除率的影响 氨氮的去除涉及自然挥发、基质吸附和微生物硝化作用,并且微生物硝化作用是去除氨氮的主要途径^[8]。由图 3 可见,水力负荷周期为 6、12 h 时,渗滤系统复氧效果较好,硝化作用强烈,氨氮去除率分别达到 97.6%、99.2%,这与严群等的研究结果^[9-10]比较一致;24、48 h 时,由于淹水时间较长,导致基质中的氧含量较低,限制了硝化细菌的活性,导致氨氮去除率下降。

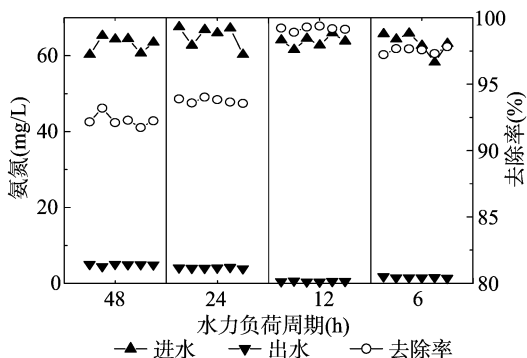


图3 不同水力负荷周期下的氨氮去除率

2.1.3 水力负荷周期对 TN 去除率的影响 TN 去除与氨氮挥发、基质吸附和微生物硝化-反硝化作用^[8]有关。在 pH

值 < 8 的体系中,氨氮挥发量很小^[11],大部分氨氮都被转化成 $\text{NO}_x - \text{N}$, $\text{NO}_x - \text{N}$ 由于带有负电而不会被基质吸附^[12],因此,反硝化作用是总氮去除的主要途径,而决定反硝化程度的主要因素包括 DO 浓度、C/N 比和缺氧段的停留时间^[13]。由图 4 可见,水力负荷周期为 6 h 时, TN 的去除效果虽然相对较好,但去除率仍然较低,平均去除率仅为 21.2%,这是因为,间歇运行使系统的复氧效果较好,仅在基质局部形成小范围的缺氧环境,在系统内部无法形成较大范围、有效的适合反硝化细菌生长的环境,从而导致反硝化效果很差, TN 去除率低。

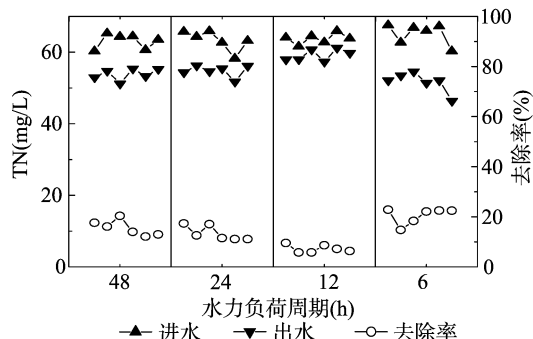


图4 不同水力负荷周期下的 TN 去除率

2.2 最佳水力负荷的确定

2.2.1 水力负荷对 COD_{Cr} 去除率的影响 由图 5 可见, COD_{Cr} 去除率随水力负荷的增大而降低,其中,水力负荷为 $0.08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, COD_{Cr} 去除率在 80% 左右;当水力负荷由 $0.08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 变为 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, COD_{Cr} 去除率变化较小,出水仍能满足城镇污水处理厂污染物排放 1 级 A 标准(GB 18918—2002),说明系统有一定的抗有机负荷冲击能力;当水力负荷增大到 $0.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, COD_{Cr} 去除率明显降低,稳定在 60% 左右,出水满足城镇污水处理厂污染物排放 1 级 B 标准,这是由于水力负荷增大,污染物负荷提高,出水中携带了一些脱落的生物膜,水流的冲刷使生物膜加速脱落而系统中生物量减少,系统中有限的生物量导致 COD_{Cr} 去除率下降,同时,基质内部可能出现短流,水力停留时间缩短^[14],系统内的基质和微生物与污水接触不充分,而对污染物吸附、吸收作用下降,微生物与污水进行的物质交换减弱,另外,高负荷进水在基质上层可能形成积水,产生过滤压力,而导致上层基质过滤效果下降^[15]。综上所述,以 COD_{Cr} 出水浓度达标设计,建议水力负荷为 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

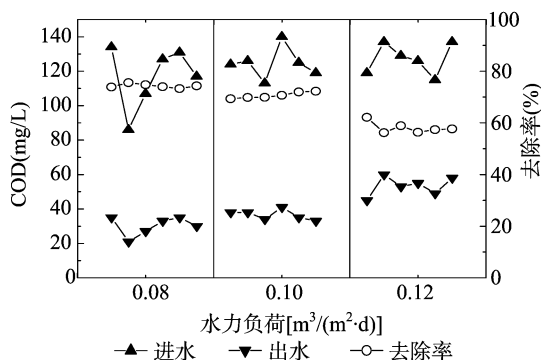


图5 不同水力负荷下的 COD_{Cr} 去除率

2.2.2 水力负荷对氨氮去除率的影响 由图 6 可见,水力负荷 $0.08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,系统对氨氮有很高的去除率,保持在 99% 以上,出水氨氮浓度接近为零;随着水力负荷的逐渐增大,氨氮去除率逐渐降低,依次为 85%、65% 左右,此时氨氮出水浓度在 10 mg/L 以上,难以满足城镇污水处理厂污染物排放 1 级 B 标准。这主要是因为水力负荷增大,使氨氮的停留时间缩短,单位时间内进入系统的氨氮负荷升高,再加上硝化细菌数量有限,无法与硝化细菌充分接触^[14],导致氨氮去除效果差。另外,基质对氨氮吸附能力有限,无法对氨氮进行有效的吸附。综上所述,以氨氮出水浓度达标设计,建议水力负荷为 $0.08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

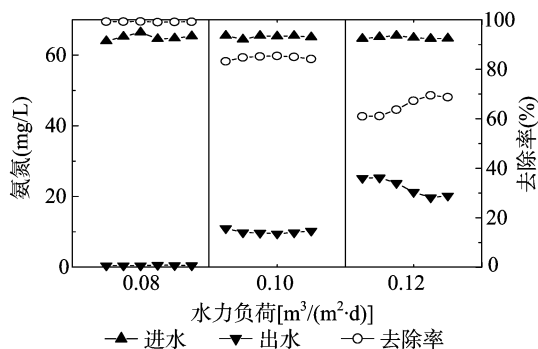


图6 不同水力负荷下的氨氮去除率

2.2.3 水力负荷对 TN 去除率的影响 由图 7 可见,渗滤系统整体对 TN 的去除效果不理想;水力负荷 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, TN 去除效果最好,去除率也仅约 40%,此时出水 TN 在 40 mg/L 以上,难以满足城镇污水处理厂污染物排放 1 级标准;水力负荷 0.08 、 $0.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, TN 去除率仅在 10%、20% 左右。这主要是因为,当水力负荷增大到 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,系统进水量增加,促进缺氧环境的形成,进而提高微生物反硝化效果;水力负荷达到 $0.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,虽然形成更好的缺氧环境,但由于氨氮去除效果急剧下降(图 6),进而影响 TN 的去除, TN 去除能力低限制了地下渗滤系统的应用。

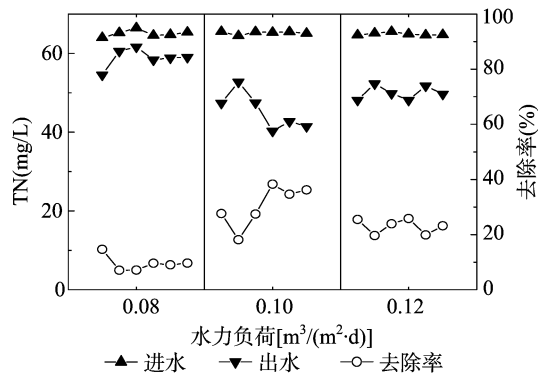


图7 不同水力负荷下的 TN 去除率

3 结论

地下渗滤系统水力负荷周期优化试验结果表明,水力负荷周期为 24、12 h 时, COD_{Cr} 的去除效果较好,平均去除率分

别为 76%、74%,周期为 6、12 h 时,氨氮去除率分别达到 97.6%、99.2%。综合考虑氨氮、 COD_{Cr} 的去除效果,建议选择 12 h 为水力负荷最佳的运行周期,即进水 6 h、落干 6 h。

不同水力负荷对污染物去除效果研究表明,水力负荷为 0.08 、 $0.10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, COD_{Cr} 出水浓度都能满足城镇污水处理厂污染物排放 1 级 A 标准;水力负荷为 $0.08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,氨氮出水浓度满足城镇污水处理厂污染物排放 1 级 A 标准。因此,推荐合适的水力负荷为 $0.08 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

地下渗滤系统对 COD_{Cr} 、氨氮有较高的去除能力,而对 TN 的去除效果却不理想。因此,在保证 COD_{Cr} 、氨氮去除效果的基础上,如何提高系统的 TN 去除能力,将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] Sun T H, He Y W, Ou Z Q, et al. Treatment of domestic wastewater by an underground capillary seepage system[J]. Ecological Engineering, 1998, 11(1-4): 111-119.
- [2] Zhang J, Huang X, Liu C X, et al. Nitrogen removal enhanced by intermittent operation in a subsurface wastewater infiltration system[J]. Ecological Engineering, 2005, 25(4): 419-428.
- [3] 贾宏宇, 孙铁珩, 李培军, 等. 污水土地处理技术研究的最新进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(1): 62-65, 47.
- [4] 李英华, 孙铁珩, 李海波, 等. 地下渗滤系统不同基质层对污染物的去除效果[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2010, 31(5): 737-740.
- [5] 何江涛. 人工快渗污水处理系统水力负荷周期的设计[J]. 地学前缘, 2005, 12(增刊 1): 49-54.
- [6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [7] 马利民, 刘 丛, 崔程颖, 等. 人工土地快速渗滤系统处理城镇污水工艺优化[J]. 水处理技术, 2008, 34(6): 47-51.
- [8] Llorens M, Perez - Marin A B, Aguilar M I, et al. Nitrogen transformation in two subsurface infiltration systems at pilot scale [J]. Ecological Engineering, 2011, 37(5): 736-743.
- [9] 严 群, 吴一繁, 杨 健, 等. 复合填料地下渗滤系统的强化脱氮研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 38(5): 697-703.
- [10] Achak M, Mandi L, Ouazzani N. Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(8): 2771-2779.
- [11] 庄源益, 戴树桂, 张明顺. 水中氨氮挥发影响因素探讨[J]. 环境化学, 1995, 14(4): 343-346.
- [12] Zou J L, Dai Y, Sun T H, et al. Effect of amended soil and hydraulic load on enhanced biological nitrogen removal in lab - scale SWISS [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 163(2/3): 816-822.
- [13] 陈俊敏, 刘 方, 付永胜, 等. 人工快速渗滤系统脱氮机理试验研究[J]. 水处理技术, 2009, 35(2): 32-34, 57.
- [14] Stevik T K, Ausland G, Jenssen P D, et al. Removal of *E. coli* during intermittent filtration of wastewater effluent as affected by dosing rate and media type[J]. Water Research, 1999, 33(9): 2088-2098.