

李晓东,安 乐,晁 雷,等. 地下渗滤系统存在的问题及解决方法[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):351-353.

地下渗滤系统存在的问题及解决方法

李晓东¹, 安 乐^{1,2}, 晁 雷¹, 张 巍¹, 赵晓光^{1,2}, 许 静^{1,2}

(1. 辽宁省环境科学研究院, 辽宁沈阳 110031; 2. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110004)

摘要:地下渗滤系统为分散式生活污水处理技术,具有出水水质稳定、受季节影响小、运行费用低等优点,近年来广泛用于乡镇生活污水处理,但它也存在处理效率低、易堵塞、脱氮效果差等缺点。本文针对地下渗滤系统现存的问题,提出了一些合理的建议。

关键词:地下渗滤系统;分散式;生活污水

中图分类号: X506 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)01-0351-03

地下渗滤土地处理系统是一种基于生态学原理的分散污水处理技术,具有出水水质稳定、受季节影响小、运行费用低等优点^[1]。利用地下渗滤系统处理污水的过程也是污水资源化的过程,污水中的营养物质被地表景观性植物吸收,出水可二次利用^[2]。鉴于地下渗滤系统的上述优点,其在污水处理特别是在乡镇污水处理中的应用研究受到越来越多的关注^[3]。

虽然地下渗滤系统具有埋于冻土层以下、出水水质稳定、在北方的冬季也可以正常运行、避免了蚊蝇孳生等卫生问题的优势,但地下渗滤系统仍有一些问题亟待解决,如处理效率低、总氮去除效果差等,本文综述了地下渗滤系统运行中存在的一些问题,并提出了一些解决对策。

1 存在的问题及对策

1.1 处理效率低

1.1.1 原因 地下渗滤系统通过物理截留、吸附、化学沉淀、生物降解作用去除污染物,生化需氧量(BOD)和氮的去除最终都是利用生物作用。系统中有限的空间、有限的生物量影响了系统处理效率的提高。

1.1.2 提高处理效率的对策 (1)基质改良。在地下渗滤系统去除污染物的过程中,基质发挥了重要的作用。对系统中基质的改良,能有效提高基质的渗透速率,从而提高水力负荷。杨健等建立了由土壤与沙子分层装填的渗滤系统,在水力负荷达到 20 cm/d 时,对各种污染物仍保持了较高的去除效率^[4]。聂俊英在地下渗滤系统的基质中添加含量为 0.8% 的聚氨酯泡沫,与未添加该种基质的系统相比,基质的平均孔隙率由 38% 提高到 58%,平均饱和渗透速率由 0.19 m/d 提高到 1.46 m/d,当水力负荷增加到 30 cm/d 时,未添加聚氨酯泡沫的系统化学需氧量(COD)出水浓度接近 50 mg/L,而添加聚氨酯泡沫的系统 COD 出水浓度低于 40 mg/L,添加聚氨酯泡沫的系统抗水力负荷冲击的能力强,在较大的水力负荷下,仍能保持较好的处理效果^[5]。(2)系统改进。张荣等

设计的高负荷地下渗滤系统,自上而下分别设置覆盖层、散水-通风层、上防堵层、通风层、下防堵层和精滤层,增加了基质与污染物的接触面积,保证了好氧过程的氧气供应,该系统对还原性物质、固体悬浮物(SS)、铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总氮(TN)和总磷(TP)的平均去除率分别为 87.7%、92.5%、87.6%、52.2% 和 76.3% 的情况下,水力负荷高达 56 cm/d^[6]。通过对地下渗滤系统进行基质改良、系统改进,从而提高水力负荷,是解决地下渗滤系统处理效率低的有效方式。

1.2 系统堵塞

1.2.1 堵塞成因 地下渗滤系统在运行中易发生堵塞而影响系统的寿命。引起系统堵塞的因素涉及物理、化学、生物 3 方面:(1)悬浮物引起堵塞。地下渗滤系统中的基质之间有一定的孔隙,在运行过程中,若进水中含有较多的悬浮物,进入系统后,短时间内不能被降解去除,必然会引起系统的堵塞。悬浮物产生的堵塞发生迅速,堵塞不可逆,在运行中应该着重避免^[7-8]。(2)微生物及胞外聚合物的积累引起堵塞。微生物的快速生长及生长过程中产生的大量胞外聚合物,会引起系统的堵塞。何江涛等认为,由微生物引起的堵塞主要发生在系统的浅表层,随深度增加,堵塞状况会大大减轻,该种堵塞与原水组成和微生物活性密切相关^[9]。(3)有机物分解产生的气体引起堵塞。地下渗滤系统中的异氧微生物在进行好氧呼吸时,有机物最终被分解成 CO_2 、氨和水等无机物,厌氧微生物则把有机物最终转化为 CH_4 、 CO_2 、氨、水和 H_2S 等无机物,生物脱氮的过程中也会产生 N_2O 和 N_2 ^[10],这些气体若不能及时排出,可能会造成系统的堵塞。

1.2.2 防止堵塞的对策 (1)加强预处理。通过加强预处理,降低进水悬浮物含量,可以有效避免悬浮物引起的堵塞。常见的预处理设施有格栅、筛网、厌氧处理、预曝气等。(2)控制进水有机负荷。聂俊英认为,微生物堵塞关键在于系统偏大的有机负荷使土壤中微生物过多增长,微生物体以及胞外聚合物使土壤孔隙率降低,基质的有效含水量降低,土壤的饱和渗透速率减小^[5]。何江涛等也认为,堵塞与原水组成和微生物活性密切相关^[9]。因此,通过室内模拟土柱试验对系统的进水水力负荷和有机负荷进行有效的预测,可以预防堵塞的发生。(3)基质改良。基质是影响系统堵塞的重要因素,选择渗透速率较高的基质可减少堵塞的发生。杨健等构建了由纯土壤和土壤与沙子分层装填的 2 套地下渗滤系统,

收稿日期:2013-06-21

基金项目:国家水体污染控制与治理重大专项(编号:2012ZX07202-003,2012ZX07212-001)。

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。

在 20 cm/d 的水力负荷下,纯土壤装填的系统发生堵塞无法运行,而土壤与沙子分层装填的系统仍可以获得较好的出水效果^[4]。聂俊英在地下渗滤系统的基质中添加含量为 0.8% 的聚氨酯泡沫,提高了基质的平均孔隙率和饱和渗透率,在相同水力负荷下,未添加聚氨酯泡沫的系统堵塞的频率更高^[5]。(4)干湿交替运行。de Veries 的研究表明,干湿交替运行可以使系统保持好氧状态,对有机物的降解更加充分,可以减少堵塞^[11]。付贵萍等在对湿地的研究中采用干湿交替运行的方式,每次进水时间为 6~10 min,系统 5 年内未发生堵塞^[12]。通过干湿交替的运行方式,也可有效防止微生物新陈代谢产生的气体对基质孔隙造成的堵塞^[13]。(5)系统改进。可以通过系统的改进来防止悬浮物和微生物引起的堵塞。吕锡武等在地下渗滤系统的进水管处设置预留通风装置,经过一段时间运行后进行通风,在好氧条件下促进胞外聚合物降解,可有效地减少堵塞的发生^[14]。张荣等设计的高负荷地下渗滤系统,自上而下设置多层过滤结构,以高达 56 cm/d 的水力负荷,仍不发生堵塞^[6]。

1.2.3 堵塞后的恢复对策 (1)更换基质。当系统发生堵塞时,可先判断系统堵塞发生的位置,悬浮物引起的堵塞主要发生在表层及进水管处,可只对表层的基质进行更换,而微生物过快生长及胞外聚合物积累引起的堵塞发生在较深的位置,需要对深层的基质进行更换。(2)自然恢复。使系统停止运行,空气通过扩散进入系统,微生物的活性进一步增强,加速胞外聚合物的消耗,不补充微生物生长所需的营养,使微生物进入内源呼吸,逐渐老化死亡^[15]。陈华清等对人工快速渗滤系统进行了堵塞-恢复试验,表明系统可以自然恢复其活性,以混沙为基质的系统堵塞后在 12 d 内即可恢复运行^[16]。莫凤鸾等在对人工湿地的研究中发现,当系统因有机物积累而堵塞时,停止对系统供水约 15 d,系统的渗透性能得到极大的改善,系统的堵塞问题得到缓解^[17]。上述方法,在地下渗滤系统中也可以借鉴。

1.3 脱氮效果差

1.3.1 原因 生活污水中的氮素主要以有机氮和铵态氮的形式存在。氮的去除主要是生物作用,通过氨化、硝化、反硝化过程,最终将氮素转化为 N_2O 和 N_2 。地下渗滤系统埋于地下,系统的氧化还原电位不易控制,氨化、硝化、反硝化细菌的生长环境不易调控,使氮成为最难去除的污染物^[18]。

1.3.2 强化脱氮的对策 (1)强化补氧。在设计地下渗滤系统时选择优质基质,设置通风管,以适宜的干湿比运行可以提供有效的好氧环境,从而增加铵态氮的转化率。张建等通过在基质中添加 10% 的草炭,使系统的铵态氮去除率由原来的 83% 提高到 95%,同时,总氮的去除率也有所提高^[19]。(2)抬高出水水位。严格的厌氧环境是反硝化顺利进行的必备条件。一般认为,系统中溶解氧保持在 0.15 mg/L 以下时,反硝化才能正常进行^[20]。通过抬高出水水位可以保证厌氧环境的形成,促进总氮的去除。严群等构建的复合填料地下渗滤系统,在抬高出水水位运行的条件下,总氮去除率由 20.1% 提高到 26.9%^[21]。(3)补充碳源。碳源是影响地下渗滤系统生物反硝化的主要因素,若投配污水的五日生化需氧量(BOD_5)/TN > 3~5,无需投加碳源;反之,则碳源不足,反硝化细菌的活性将受到抑制,从而不利于氮的去除^[22]。可

以通过污水中间分流补充碳源强化反硝化细菌的活性。张建等以黏性红壤土为基质构建地下渗滤系统,结果表明中间分流能够明显提高系统对总氮的去除效果,可使总氮的去除率由 55% 提高到 65%,并且未对 COD 和总磷的去除效果产生明显影响^[23]。潘晶等采用中间分流措施,当分流比为 1:1 时,系统的总氮去除率由 59.37% 提高到 68.41%,并且 COD 和总磷的去除率没有受到影响^[24]。另外,添加缓释碳源补充碳源的措施也引起了人们的关注。赵福祥在其构建的生态人工快速渗滤系统中,在反硝化阶段添加碎树枝作为缓释碳源,出水总氮去除率达到 80.0% 以上,明显高于未添加时的 68.9%^[25]。李森等采用非水溶性可生物降解多聚物 PBS 为固相碳源,研究改良多介质土壤层系统对污染河水的脱氮效果,结果表明,PBS 颗粒碳源促进反硝化的效果良好,对 TN 的去除率达 64.3%^[26]。(4)厌氧氨氧化细菌脱氮。厌氧氨氧化细菌在厌氧或者缺氧条件下,能够将 $NH_4^+ - N$ 、亚硝态氮($NO_2^- - N$)转变成 N_2 ,该过程称为厌氧氨氧化^[27]。姜听等在人工快速渗滤系统埋深 50 cm 处发现了厌氧氨氧化细菌^[28]。Tang 等认为,硝态氮($NO_3^- - N$)的还原并非反硝化过程的限速步骤, $NO_2^- - N$ 的还原才是反硝化的限速步骤。因此,通过合理的设计,利用反硝化细菌和厌氧氨氧化细菌同时对 $NO_2^- - N$ 进行转化,是一种新型的脱氮方法^[29]。但这种方法的实际应用还有待进一步研究。

1.4 磷穿透问题

1.4.1 原因 地下渗滤系统去除污水中的磷主要靠基质的沉淀、吸附作用^[30]。基质中通常含有较多钙、铁、铝等阳离子,具有较好的除磷作用,但是长期运行会使基质中磷元素出现饱和状态,丧失除磷功能^[31]。

1.4.2 防止磷穿透的对策 在设计具有高效除磷效果的地下渗滤系统时,往往对基质进行改良,在基质中添加一些磷吸附量大的物质。郭振远等在人工快速渗滤系统的饱水带填充矿物质丰富的蛭石,使出水中 TP 的去除率稳定在 91% 以上^[32]。康爱彬等在人工快速渗滤系统的中试基质中加入 15% 海绵铁,TP 的进水浓度为 6.43 mg/L 时,出水平均浓度为 0.08 mg/L,去除率高达 98.7%^[33]。聂俊英在土壤渗滤柱中添加 3% 铁矿石,使出水中 TP 的含量低于 1 mg/L,并且利用除磷的数学模型对系统的使用年限进行了预测,结果显示,如果不添加铁矿石,地下渗滤系统有效除磷的时间仅为 4 年;而添加 3% 铁矿石的示范工程的有效除磷时间为 44 年^[5]。通过高效除磷基质的添加强化对磷的去除,从而延长了地下渗滤系统的寿命。

2 结语

通过对基质的改良、系统的改进和高效除磷基质的添加,不仅能改善地下渗滤系统内部的好氧环境,提高污染物的去除效果,还能够提高水力负荷,提高处理效率,同时,能防止堵塞的发生,延长地下渗滤系统的使用寿命。另外,能够强化铵态氮转化为硝态氮,为反硝化做准备。抬高出水水位优化了反硝化细菌生长的厌氧环境,中间分流等补充碳源的措施能够提高反硝化细菌的活性,从而提高系统的总氮去除效果,而系统中厌氧氨氧化细菌的发现,为地下渗滤系统脱氮提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 孙铁珩, 李宪法. 城市污水自然生态处理与资源化利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 71-73.
- [2] 李英华, 孙铁珩, 李海波, 等. 地下渗滤系统处理生活污水的技术难点及对策[J]. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1415-1418.
- [3] 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): 47-51.
- [4] 杨 健, 严 群, 吴一繁, 等. 不同填料渗滤系统净化生活污水的效果比较[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(11): 1502-1507.
- [5] 聂俊英. 改良的地下渗滤系统处理污水及相关机理研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [6] 张 荣, 杨永强, 刘劲松, 等. 分散式高负荷地下渗滤污水处理系统的设计和运行[J]. 环境工程学报, 2011, 5(8): 1755-1760.
- [7] 毕学军, 赵桂芹, 毕海峰. 污水生物除磷原理及其生化反应机制研究进展[J]. 青岛理工大学学报, 2006, 27(2): 9-13.
- [8] Drizo A, Forget C, Chapuis R P, et al. Phosphorus removal by electric arc furnace steel slag and serpentinite[J]. Water Research, 2006, 40(8): 1547-1554.
- [9] 何江涛, 马振民, 张金炳, 等. 污水渗滤土地处理系统中的堵塞问题[J]. 中国环境科学, 2003, 23(1): 86-90.
- [10] 高廷耀, 顾国维, 周 琪. 水污染控制工程[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 83-86.
- [11] de Veres J. Soil filtration of wastewater effluent and the mechanism of pore clogging[J]. J Water Pollution Control Fed, 1972, 44: 565-573.
- [12] 付贵萍, 吴振斌, 张 晟, 等. 构建湿地堵塞问题的研究[J]. 环境科学, 2004, 25(3): 144-149.
- [13] 蒋跃平, 葛 滢, 岳春雷, 等. 人工湿地观赏植物对水中氮磷去除的贡献[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1720-1725.
- [14] 吕锡武, 李 彬, 宁 平, 等. 强制通风型地渗系统处理分散生活污水的初步研究[J]. 给水排水, 2008, 34(3): 52-55.
- [15] 尧平凡, 陈静静. 人工湿地基质堵塞预防措施及恢复对策研究进展[J]. 净水技术, 2007, 26(5): 45-48.
- [16] 陈华清, 李义连, 宁 宇, 等. 人工快速渗滤系统堵塞-恢复实验研究[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(3): 60-63.
- [17] 莫凤鸾, 王 平, 李淑兰, 等. 人工湿地系统的维护[J]. 云南环境科学, 2004, 23(增刊): 5-8.
- [18] Wang Z H, Li S X. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation[J]. Pedosphere, 2003, 13: 309-316.
- [19] 张 建, 黄 霞, 施汉昌, 等. 掺加草炭的地下渗滤系统处理生活污水[J]. 中国给水排水, 2004, 20(6): 41-43.
- [20] McKenney D J, Drury C F, Wang S W. Effects of oxygen on denitrification inhibition, repression, and derepression in soil columns[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65(1): 126-132.
- [21] 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.
- [22] 张希衡. 水污染控制工程[M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 283.
- [23] 张 建, 邵长飞, 刘志强, 等. 地下渗滤系统的中间分流强化脱氮研究[J]. 中国给水排水, 2004, 20(4): 1-4.
- [24] 潘 晶, 孙铁珩, 李海波. 污水地下渗滤系统强化脱氮试验研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(9): 1456-1460.
- [25] 赵福祥. 生态人工快速渗滤系统(ECRI)处理高浓度生活污水工艺研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- [26] 李 森, 叶 海, 陈 昕, 等. 改良多介质土壤层系统对污染河水的脱氮效果[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(5): 569-573.
- [27] Dalsgaard T, Thamdrup B, Canfield D E. Anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) in the marine environment[J]. Research in Microbiology, 2005, 156: 457-464.
- [28] 姜 昕, 马鸣超, 李 俊, 等. 污水人工快速渗滤系统中厌氧氨氧化菌的分子生态学分析[J]. 生态学杂志, 2008, 27(4): 573-577.
- [29] Tang X, Huang X, Miklas S. Nutrient removal in wetlands during intermittent artificial aeration[J]. Environmental Engineering Science, 2008, 25: 1279-1285.
- [30] 孔 刚, 许昭怡, 李华伟, 等. 地下土壤渗滤法净化生活污水研究进展[J]. 土壤, 2005, 37(3): 251-257.
- [31] Amador J A, Potts D A, Savin M C, et al. Mesocosm-scale evaluation of faunal and microbial communities of aerated and unaerated leachfield soil[J]. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(4): 1160-1169.
- [32] 郭振远, 贺松年, 刘宗耀. 改进型人工快速渗滤系统除磷研究[J]. 水处理技术, 2010, 36(6): 116-118, 135.
- [33] 康爱彬, 王祖光, 王守伟, 等. 改进型人工快渗系统处理生活污水中试[J]. 净水技术, 2009, 28(4): 42-45.

欢迎订阅 2014 年《江苏农业科学》

邮发代号: 28-10

《江苏农业科学》是由江苏省农业科学院主办的综合性农业科技期刊, 为双核心期刊(中国科技核心期刊、全国中文核心期刊)、CSCD 来源期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、中国农业核心期刊, 荣获第三届国家期刊奖提名奖、第二届国家期刊奖百种重点期刊奖、全国优秀科技期刊、江苏省双十佳期刊、江苏省优秀期刊、全国农口学会优秀期刊、华东地区优秀期刊等。主要刊登国内最新农业科技创新和研究成果方面的研究论文, 时效性强、发表周期短、信息量大, 适合农业科研人员、农业行政管理人员、农业技术推广人员、农业企业管理人员、生物与农业院校师生以及农民等阅读。《江苏农业科学》刊载的文章科学性强、论证严谨, 在学术上多有新的见解与发展, 而且通俗易懂, 是您从事农业科研、农技推广、农业管理, 跟踪农业科技, 实现科学致富的良师益友。

《江苏农业科学》为月刊, 每月 25 日出版, 大 16 开, 每期 432 页, 辟有专论、生物技术、育种栽培与生理生化、新品种、植物保护、园艺园林、畜牧兽医、水产养殖与特种种养、贮藏与加工、质量安全与检测分析、资源与环境、农业工程、农业经济与管理等栏目。国内外公开发行, 邮发代号: 28-10。中国标准连续出版物号: CN32-1214/S; ISSN1002-1302。每期定价 25.00 元, 全年 300.00 元。

地址: 南京市孝陵卫钟灵街 50 号 邮编: 210014 网址: <http://www.jsnykx.cn>电话: 025-84390282 E-mail: jsnykx@vip.163.com