

文章编号: 1000-6524(2001)04-0539-05

人工快渗系统处理洗浴污水的试验研究

张金炳^{1,2}, 汤鸣皋¹, 陈鸿汉¹, 钟佐燊¹, 邓雁希¹, 宋志勇¹

(1. 中国地质大学水资源与环境工程系, 北京 100083; 2. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450045)

摘要: 用人工快渗系统模拟地下环境, 进行了5个月处理洗浴污水的室内试验研究, 重点探讨了渗滤介质、滤层厚度、布水方式及进水浓度对系统去污效果的影响, 为人工快渗系统处理洗浴污水的工艺设计提供了依据。

关键词: 洗浴污水; 人工土壤; 快渗系统; 去污效果

中图分类号: X703.1; **文献标识码:** A

污水土地处理作为“革新-替代技术”正在国外得到复兴和发展, 世界上许多国家都在积极研究和大力推广城市污水土地处理与利用。传统的土地处理系统如快速渗滤系统、慢速渗滤系统等虽然具有低能耗、低花费、易维护等优点, 但也具有水力负荷低、占地面积大、场地条件要求严格和受气候条件影响等缺点, 从而使其应用受到了限制^[1]。人工快渗系统是土地处理系统的一种, 它是将污水有控制地投放于人工构筑的渗滤介质表面, 使其在向下渗透过程中经历不同的物理、化学和生物作用, 最终达到污水净化的目的。它在保留了传统土地处理系统优点的同时, 明显增大了其水力负荷, 是一种崭新的污水土地处理技术。近年来, 在美国、法国、芬兰、丹麦、瑞士等国家, 人工快渗系统的研究取得了一系列突破性的进展, 获得了丰富的实验资料, 并相继建成了一些实用工程, 其运行效果展现出良好的发展前景, 被认为是一种简单、可靠、实用、低能耗、低花费的小型污水处理系统。由于其具有水力负荷高、占地面积小等特点, 同时也可以将其置于地下, 与环境协调一致, 因此, 人工快渗系统是解决小流量生活污水的最适合、最可靠的途径^[2]。洗浴污水具有水量小、排放集中、成分简单、污染负荷低及可生化性强等特点, 用人工快渗系统处理简单易行。经人工快渗系统处理的出水, 可以通过集水管回收利用, 既处理了污水, 又节约了水资源, 具有很好的环境效益和经济效益。当然, 由于渗滤技术的多样性、污水成分的差异性及微生物培养过程的复杂性, 仅靠文献资料不足以全面认识人工快渗系统, 许多方面还有待于进一步探索。基于上述考虑, 作者以人工土壤作为渗滤介质, 模拟地下环境对洗浴污水进行了5个月的室内试验研究, 以观察和研究系统的去污效果。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验用土壤主要有两种: 一种是石英砂, 为人工加工而成, 其不均匀系数和有效粒径分别为1.8和0.5 mm; 另一种是天然砂, 取自北京昌平地区, 其不均匀系数和有效粒径分别为2.8和0.3 mm。3根有机玻璃柱内分别填以100 cm厚的天然砂砂层(1#柱和2#柱)和150 cm厚的石英砂砂层(3#柱), 柱的底部均装以10 cm厚的砾石层, 以便于排水。供试污水取自中国地质大学(北京)澡堂排水, 其水质分析结果(mg/L)

收稿日期: 2001-05-16; 修订日期: 2001-08-06

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999045706); 自然科学基金重点资助项目(49832005)

作者简介: 张金炳(1965-), 男, 讲师, 在读博士, 水文学与水资源专业。

为: COD 101.0~ 263.9(平均 157.0) BOD₅ 28.00~ 59.06(平均 48.35) LAS 6.34~ 9.15(平均 7.76)。

1.2 试验的运行管理

试验运行时间: 2000年11月至2001年4月, 其平均室温与地下0.5~3m范围内的温度基本一致。试验用有机玻璃柱均包以不透光纸, 以模拟地下环境。

试验开始前两周为微生物培养期, 菌种取自澡堂下水道污泥。取澡堂污水先进行预处理, 将污水在室内静置预沉一段时间。由于澡堂每天开放一次, 污水在流经试验土柱之前实际上已经过了24小时的静置预沉(在本次试验中, 对澡堂污水在静置过程中COD的变化进行了每4小时取一次样的连续监测, 结果表明, 由预沉产生的对COD的去除主要发生在前8小时)。经预处理后的污水用泵提升到供水箱, 污水自上而下以自流的方式分别通过填以天然砂和石英的试验土柱。1#柱采取每2.4小时投配一次污水、每次投配时间为4~5分钟的方式运行; 2#柱和3#柱采取2天淹水和4天落干的方式运行。在试验过程中, 3根滤柱保持在基本相同的水力负荷条件下运行, 以便对比其去污效果。

1.3 监测项目及分析方法

测定项目主要有水量、水温、pH值、COD、BOD₅、DO和LAS等。其分析方法为: pH值—玻璃电极法; COD_{Cr}—重铬酸钾法; BOD₅—标准稀释法; DO—碘量法; LAS—亚甲蓝分光光度法。

2 结果与讨论

2.1 土壤性质对去污效果的影响

土壤的质地、结构、渗透性能和化学性质等均会影响系统的去污效果。结构良好的土壤实际上是由土壤、水和空气构成的固-液-气三相体系。在这一体系中, 土壤中粘土矿物、有机质及土壤微生物是土壤能够容纳、缓冲和分解各种污染物的关键因素。本次试验采用两种性质明显不同的土壤介质处理洗浴污水, 其去污效果相差较大(如表1所示)。从表中可知, 天然砂对洗浴污水具有较高的去除能力, 出水水质稳定, 耐负荷冲击能力强; 而石英砂的去污效果较差, 出水水质不稳定, 耐负荷冲击能力差。造成这种差别的原因主要是由于两种土壤的性质不同: 天然砂中小于0.3mm的颗粒占9.52%, 且含有一定量的粘土矿物和有机质, 易于通过吸附和微生物作用去除污染物; 而石英砂中小于0.3mm的颗粒仅占2.50%, 小于0.2mm的颗粒基本没有, 这种土壤比表面积小, 吸附性能差, 土壤中微生物量小, 因此, 其去污效果较差。

表1 2#柱和3#柱进水和出水COD及BOD₅浓度 mg/L
Table 1 COD and BOD₅ concentration of influent and effluent in 2# and 3# columns

项目	COD		BOD ₅	
	2#柱	3#柱	2#柱	3#柱
进水浓度	57.98~ 103.88	72.44~ 91.56	19.00~ 59.06	34.20~ 39.50
进水浓度平均值	89.90	82.12	36.36	37.77
出水浓度	14.68~ 41.83	53.67~ 60.55	9.00~ 24.00	26.50~ 32.03
出水浓度平均值	25.93	56.31	16.33	29.28
平均去除率(%)	71.16	31.43	55.09	22.48

2.2 滤层厚度对去污效果的影响

表2及图1、2、3是2#柱不同滤层深度出水的COD、BOD₅及LAS的分析结果。结果表明, 滤柱上部的相对去除率较高, 往下逐渐下降。这种规律在LAS的去除上表现得较明显, 污水通过60cm厚滤层后, 其去除率达92.89%, 这说明LAS容易降解。虽然滤柱对COD和BOD₅的去除率也符合上述规律, 但其变化幅度不大, 也就是说整个100cm厚的渗滤介质对COD和BOD₅的去除所做的贡献均较大。此结果与有机污染物的降解主要在渗滤介质上部15cm内完成的结论不一致^[3], 这主要是由于本次试验所用渗滤介质

的渗透性能好,系统的水力负荷高(大于 1 m/d),水与微生物接触的时间短,滤柱不同深度对 COD 和 BOD₅ 的去除所做的贡献趋向均一的结果。因此,用这种渗滤介质处理洗浴污水,其滤层厚度不能小于 100 cm。

表 2 2[#] 柱不同滤层深度出水 COD、BOD₅ 和 LAS 浓度 mg/L
Table 2 COD, BOD₅ and LAS concentration of effluent in 2[#] column at different depths

滤层深度	0 cm	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	
COD	浓度范围	57.98~ 101.1	33.59~ 68.40	31.31~ 47.01	28.03~ 38.01	23.33~ 32.62	14.68~ 30.49
	浓度平均值	81.82	55.36	44.50	37.31	29.58	24.40
	累计去除率	0%	32.34%	45.61%	54.40%	63.85%	70.18%
BOD ₅	浓度范围	19.00~ 59.06	17.00~ 39.79	—	12.00~ 25.09	—	10.00~ 22.30
	浓度平均值	34.62	28.68	—	19.26	—	15.33
	累计去除率	0%	17.16%	—	44.37%	—	55.72%
LAS	浓度范围	1.73~ 2.13	0.65~ 1.10	0.18~ 0.76	0.089~ 0.15	0.018~ 0.093	0.050~ 0.066
	浓度平均值	1.97	0.83	0.44	0.14	0.064	0.057
	累计去除率	0%	57.87%	77.66%	92.89%	96.75%	97.11%

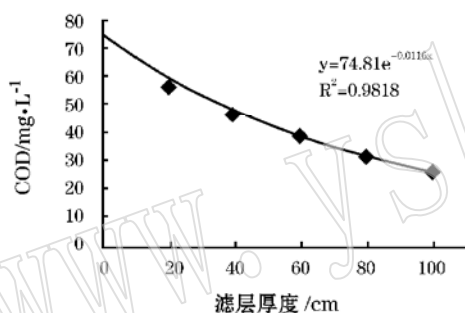


图 1 2[#] 柱不同滤层深度出水 COD 曲线
Fig. 1 Curve of COD concentration of effluent in 2[#] column at different depths

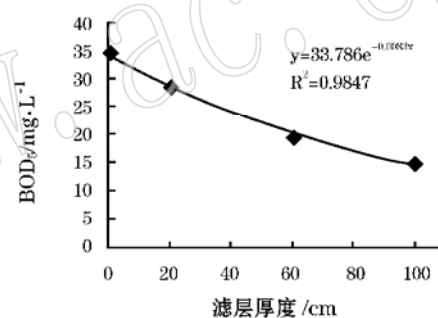


图 2 2[#] 柱不同滤层深度出水 BOD₅ 曲线
Fig. 2 Curve of BOD₅ concentration of effluent in 2[#] column at different depths

2.3 布水方式对去污效果的影响

1[#] 柱和 2[#] 柱的渗滤介质一致,其进水浓度和水力负荷基本相同,但其出水浓度相差较大(如表 3 及图

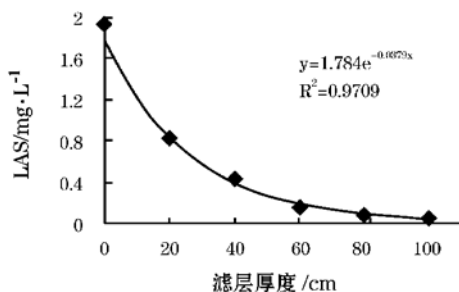


图 3 2[#] 柱不同滤层深度出水 LAS 曲线
Fig. 3 Curve of LAS concentration of effluent in 2[#] column at different depths

4 5 所示)。笔者认为这主要是由于布水方式的不同对系统去污效果的影响。

人工快渗系统对有机污染物的去除主要由过滤截留、吸附和生物降解作用共同完成,其中过滤截留和吸附作用主要起调节机制,而有机污染物的真正去除主要靠发生在好氧-厌氧交替带的好氧生物降解^[4]。因此,加大系统的复氧量将有利于改善系统的去污效果^[5]。人工快渗系统是一种自然处理技术,不需人工曝气,其复氧过程主要靠空气的扩散和对流来完成。对于 1[#] 柱,其运行方式是每天投配污水 10 次,每次投配时间为 4~5 分钟。也就是说,在每 2.4 个小时之内 1[#] 柱便完成了一次淹水和一次落干的全过程。这种淹

水时间短、落干频率高的运行方式加强了由于水的吸入(suction)作用而引起的空气对流对系统的复氧^[6,7],有利于有机污染物的好氧生物降解。同时,由于布水方式的不同,污水在两柱中具有明显不同的动力学行为(dynamic behavior)^[8]。在2[#]柱中,由于采取2天淹水和4天落干的运行方式,在淹水的2天时间内流过渗滤介质的水量应相当于1[#]柱6天内所流过的水量。因此,污水在2[#]柱中的实际流速要明显大于在1[#]柱中的实际流速。很显然,污水在1[#]柱中的水力停留时间较长,有利于微生物对有机物的降解。因此,布水方式直接影响系统的去污效果。

表3 1[#]柱和2[#]柱进水和出水COD及BOD₅浓度
Table 3 COD and BOD₅ concentration of influent and effluent in 1[#] and 2[#] columns

项目	COD		BOD ₅	
	1 [#] 柱	2 [#] 柱	1 [#] 柱	2 [#] 柱
进水浓度	57.98~103.88	57.98~103.88	19.00~59.06	19.00~59.06
进水浓度平均值	89.90	89.90	36.36	36.36
出水浓度	8.74~28.05	14.68~41.83	1.00~11.56	9.00~24.00
出水浓度平均值	17.36	25.93	8.43	16.33
平均去除率(%)	80.69	71.16	76.82	55.09

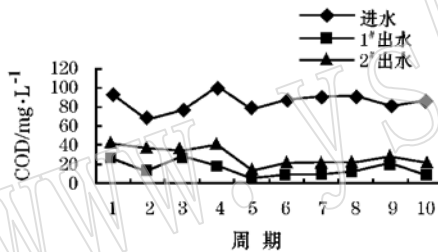


图4 1[#]柱和2[#]柱进水和出水COD曲线

Fig. 4 Curves of COD concentration of influent and effluent in 1[#] and 2[#] columns

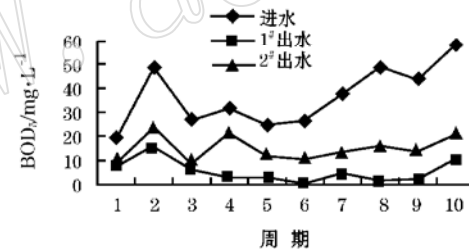


图5 1[#]柱和2[#]柱进水和出水BOD₅曲线

Fig. 5 Curves of BOD₅ concentration of influent and effluent in 1[#] and 2[#] columns

2.4 进水浓度对去污效果的影响

在试验的后期,人为增大进水浓度,以观察系统的去污效果。结果(表4)表明,天然砂具有较强的耐负荷冲击能力,系统出水COD、BOD₅浓度尽管随进水浓度的增加而增加,但其变化幅度很小;而石英砂耐负荷冲击能力较弱,系统出水COD、BOD₅浓度明显随进水浓度的增加而增加。不过,随进水浓度的增加,砂滤系统的渗透速率明显降低,经过仅两周的运行,1[#]柱、2[#]柱和3[#]柱均出现明显的堵塞。因此,为保证系统在较高的水力负荷(大于1 m/d)条件下稳定运行,用人工快渗系统处理洗浴污水,必须严格控制系统的污染物负荷。

3 结论

(1) 试验表明,天然砂对洗浴污水具有较高的去除率,耐负荷冲击能力强,处理出水水质稳定。以天然砂为渗滤介质构建人工快渗系统处理洗浴污水,具有效果好、费用低和便于污水综合利用等特点,在我国具有一定的推广价值。

表4 1[#]柱 2[#]柱和3[#]进水和出水 COD 和 BOD₅ 浓度 mg/L
Table 4 COD and BOD₅ concentration of influent and effluent in 1[#], 2[#] and 3[#] columns

项目	COD			BOD ₅		
	1 [#] 柱	2 [#] 柱	3 [#] 柱	1 [#] 柱	2 [#] 柱	3 [#] 柱
进水浓度	122.9~ 192.4	122.9~ 192.4	133.7~ 167.9	44.20~ 59.06	44.20~ 59.06	34.20~ 58.36
进水浓度平均值	161.7	161.7	167.9	52.06	52.06	48.39
出水浓度	13.98~ 38.62	20.31~ 47.02	68.93~ 155.6	8.08~ 11.56	14.30~ 22.30	26.50~ 38.31
出水浓度平均值	26.37	37.07	117.2	9.56	18.19	31.48
平均去除率	83.69%	72.45%	30.20%	81.64%	65.06%	34.94%

(2) 在本试验条件下, 为保证系统的出水水质, 其天然砂滤层厚度不能小于 100 cm。

(3) 布水方式直接影响系统的去污效果, 采取淹水时间短、落干频率高的运行方式可以增加系统的复氧量, 增大水在系统中的停留时间, 从而改善系统的去污效果。

(4) 用人工快渗系统处理洗浴污水, 为保证系统在较高的水力负荷条件下稳定运行, 必须加强预处理, 严格控制系统的污染物负荷。

参考文献:

- [1] 崔理华, 朱夕珍, 李国学, 等. 北京西郊城市污水人工快滤处理与利用系统[J]. 中国环境科学, 2000, 20(1): 45~48.
- [2] Schedule P and Boller M. Onsite wastewater treatment with intermittent buried filters[J]. Wat. Sci. Tech., 1990, 22(3/4): 93~100.
- [3] Pell M and Nyberg F. Infiltration of wastewater in a newly started pilot sand filter system: I. Reduction of organic matter and phosphorus[J]. J. Environ. Qual., 1989, 18: 451~457.
- [4] 汪民, 吴永锋, 钟佐荣, 等. 污水快速渗滤土地处理[M]. 地质出版社, 1993, 74~82.
- [5] Van Buuren J C L, Abusam A, Zeeman G, et al. Primary effluent filtration in small scale installations[J]. Wat. Sci. Tech., 1999, 39(5): 193~202.
- [6] Green M, Friedler E and Safrai I. Investigation of alternative method for nitrification in constructed wetlands[J]. Wat. Sci. Tech., 1997, 35(5): 63~70.
- [7] Platzer C. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification[J]. Wat. Sci. Tech., 1999, 40(3): 257~263.
- [8] Boller M, Schwager A, Eugster J. Dynamic behavior of intermittent buried filters[J]. Wat. Sci. Tech., 1993, 28(10): 99~103.

The Experimental Study on the Treatment of Bath Wastewater by Artificial Soil Rapid Infiltration System

ZHANG Jin_bing^{1,2}, TANG Ming_gao¹, CHEN Hong_han¹, ZHONG Zuo_shen¹,
DENG Yan_xi¹ and SONG Zhi_yong¹

(1. China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, 450045, China)

Abstract: By imitating subsurface surroundings, lab_scale artificial rapid infiltration systems were used to treat bath wastewater in a period of five months. The effects of artificial soil, thickness of sands, loading rate and concentration of influent upon removal effect were studied, and the results provide foundations for designing artificial soil infiltration system to treat bath wastewater.

Key words: bath wastewater; artificial soil; rapid infiltration system; removal effect