

城市污水人工土快滤床运行方式的试验研究

崔理华¹, 汤连茂², 朱夕珍¹, 张祖锡², 白 瑛²

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘 要: 在北京地区的秋、冬季和成都地区的春、夏季, 用模拟人工土柱处理城市污水, 研究不同季节人工土快滤床的最佳运行方式。试验结果证明, 春、夏季以连续配水 8 h、干化 16 h 的水力负荷率较高; 秋季以连续配水 8 h、干化 40 h 的水力负荷率较高; 冬季以连续配水 16 h、干化 128 h 的水力负荷率较高。COD、BOD₅、SS 和 TP 的去除率和处理出水浓度以连续配水 8 h、湿干比较大的运行方式较好; 而 TN 则以配水 8h、湿干比较小的运行方式较好。

关键词: 城市污水; 人工土壤; 生物滤床; 运行方式

中图分类号: X703. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)01 – 0037 – 04

Test of Dosing Regime of Artificial Soil Filter Treating Municipal Wastewater

CUI Li-hua¹, TANG Lian-mao², ZHU Xi-zhen¹, ZHANG Zu-xi², BAI Ying²

(1. College of Natural Resources & Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, P. R. China; 2. College of Natural Resources & Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, P. R. China)

Abstract: Utilization of simulating artificial soil columns for treatment of municipal wastewater was done in order to study dosing regime of artificial soil biofilter at different seasons. in autumn and winter in city of Beijing and in spring and summer in city of Chengdu, respectively. Experimental results showed that the treatments for wetting 8 hours and drying 16 hours in follow in both spring and summer; the treatments for wetting 8 hours and drying 40 hours in autumn; or the treatments for wetting 16 hours and drying 128 hours in winter, all gained higher hydraulic loading rates. In consideration of concentration of COD, BOD₅, SS and TP in the treated effluent and their removal efficiency. The dosing regime of wetting 8 hours and larger ratio of wetting to drying was much better than others, whilst the treatment for wetting 8 hours and smaller ratio of wetting to drying for total nitrogen removal was more attractive than other treatments.

Keywords: municipal wastewater; artificial soil; biofilter; dosing regime

城市污水人工土快滤床与生物砂滤床、垂直流系统和自然土壤快速渗滤处理等一样都是采用干湿交替方式运行, 其湿、干延续时间的长短之比称为湿干比。由于处理目的和要求不同, 其配水时间和湿干比也就不同。要维持最大水力负荷就要有足够长的干化时间; 要获得最佳脱氮效果, 就要维持足够长的配水时间^[1]。美国 EPA(1984)提供的资料指出, 使 RI 系统土壤入渗速率最大的配水周期与干化周期, 夏季分别为 1—2 d 和 5—7 d, 冬季分别为 1—2 d 和 7—12 d^[2]。Leach(1983)等选用了 4 种不同配水周期与干化周期对快滤系统进行研究后指出: 配水 1 d 干化 1 d 是他所设计的试验中最佳方案^[3]。Felde(1997)建议交替

和间歇运行系统至少需要 2 个平等滤床^[4]。Boller(1993)认为, 两次淹灌之间的最佳水力负荷和最佳时间随着土壤中细粒物质含量的增加而增加, 细至中粗砂每天可灌溉 1—2 次, 大尺寸填料如砾石可频繁地用小水力负荷灌溉。由于人工土快滤床所选填料不同于自然土壤、砂和砾石, 为此我们进行了配水时间和湿干比的研究, 为科学运行和管理人工土快滤床提供理论依据。

1 材料与方法

1. 1 北京地区秋冬季配水时间与湿干比试验

模拟试验土柱采用 20 根 $d = 20\text{ cm}$ 、 $h = 130\text{ cm}$ 的缸瓦管和 12 根 $d = 8\text{ cm}$ 、 $h = 130\text{ cm}$ 的 PVC 管, 内装人工土壤 100 cm, 砾石垫层 20 cm。秋季缸瓦管试验选择在北京西郊城市污水人工土快滤处理系统中试场地, 试验时间从 10 月上旬至 11 月中旬。冬季

收稿日期: 2001 – 01 – 15
基金项目: 成都市环保局和城建局资助项目
作者简介: 崔理华(1963—), 男, 华南农业大学资源环境学院环境科学与工程系副教授, 硕士生导师, 生态学在职博士生。

PVC 管试验地点选择在中国农业大学家属区,试验时间从 12 月上旬至次年 2 月下旬结束。缸瓦管试验选择了 5 个配水时间(4 h, 8 h, 12 h, 16 h, 24 h)和 4 个湿干比(1: 2, 1: 5, 1: 8, 1: 11)组成运行方案。PVC 管试验方案则由 3 个配水时间(8 h, 12 h, 16 h)和 4 个湿干比(1: 2, 1: 5, 1: 8, 1: 11)组成。

1. 2 成都地区春、夏季配水时间与湿干比试验

模拟土柱装置采用 12 根 $d = 8\text{cm}$ 、 $h = 100\text{ cm}$ PVC 管,内装 20 cm 砾石垫层和 60 cm 的人工土壤。试验地点选择在成都市南郊污水泵站,试验时间为春

表 1 供试 3 种污水的水质浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

指标	北京圆明园排污口				成都市南郊污水泵站				中国农业大学家属区
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	冬季
COD	435	381	345	459	342	134	301	352	238
BOD ₅	121	100	91	119	145	65. 8	142	108	140
SS	201	245	203	253	114	110	128	77. 3	114
TN	29. 5	28. 5	31. 5	32. 6	39. 7	28. 0	37. 7	33. 9	—
TP*	1. 40	1. 16	1. 22	1. 27	4. 60	3. 75	2. 27	4. 20	—

* : 北京圆明园排污口 TP 为水溶性磷。

COD——重铬酸钾法; BOD₅——碘量法; SS——减压抽滤法; TN——凯氏法; TP——钼蓝比色法; 水溶性磷——经 0. 45 μm 滤膜过滤后再用钼蓝比色法测定。

2 结果与讨论

2. 1 不同运行方式对渗滤速率 (Kt) 和水力负荷率 (Lw) 的影响

2. 1. 1 秋冬季不同运行方式对 Kt 和 Lw 的影响

人工土快滤床的湿干比直接影响着渗滤速率的恢复,而渗滤速率的大小则决定着快滤床的水力负荷。因此,由不同配水时间和湿干比组成的运行方案是成功地运行人工土快滤床的关键。秋、冬季不同运行方式试验是在北京地区秋末和冬季进行的,各运行方案的 Kt 和 Lw 值分别列入表 2 和表 3 中。在秋季,当湿干比较大时(1: 2 和 1: 5),不同连续配水时间所得到的 Kt 和 Lw 值表现出正态分布规律,分别以配

水 12 h 和 8 h 为最大;当湿干比较小时(1: 8 和 1: 11),不同配水时间所得 Kt 和 Lw 值随着配水时间的延长而增加。在同一配水时间下,不同湿干比所得 Kt 值表现为随着湿干比变小而增大的规律,尤其以配水时间 4 h, 8 h 和 24 h 3 种方案较为明显;不同湿干比所得 Lw 值均表现为湿干比适中时较高,而湿干比较

1. 3 供试污水水质

北京地区秋季试验供试污水取自万泉河圆明园东排放口的混合型城市污水,工业废水与生活污水的比例为 7: 3,冬季试验污水取自中国农业大学家属区生活污水。成都地区试验供试污水取自成都市南郊污水泵站的城市污水。3 种供试污水水质监测结果见表 1。

1. 4 分析方法

表 2 秋季各运行方式的 $Kt(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$ 和 $Lw(\text{cm} \cdot \text{d}^{-1})$ 值

湿干比		连续配水时间/h				
		指标				
		4	8	12	16	24
1: 2	Kt 值	0. 020	0. 170	0. 172	0. 129	0. 079
	Lw 值	10. 08	85. 67	86. 69	65. 01	39. 81
1: 5	Kt 值	0. 026	0. 340	0. 306	0. 257	0. 267
	Lw 值	6. 55	85. 67	77. 12	64. 77	67. 29
1: 8	Kt 值	—	0. 338	0. 337	0. 340	0. 359
	Lw 值	—	56. 80	56. 30	57. 12	60. 30
1: 11	Kt 值	0. 083	0. 322	0. 368	0. 267	0. 365
	Lw 值	10. 47	40. 58	40. 08	33. 64	46. 00

表 3 冬春夏三季各运行方案的 $Kt(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$ 和 $Lw(\text{cm} \cdot \text{d}^{-1})$ 值

指标		8 h				12 h				16 h			
		1: 2	1: 5	1: 8	1: 11	1: 2	1: 5	1: 8	1: 11	1: 2	1: 5	1: 8	1: 11
冬、春季	Kt	0. 123	0. 168	0. 240	0. 394	0. 062	0. 178	0. 221	0. 363	0. 055	0. 163	0. 375	0. 344
	Lw	59. 0	40. 3	38. 4	47. 3	29. 7	42. 7	35. 4	43. 6	26. 4	39. 1	60. 0	41. 3
夏季	Kt	0. 207	0. 332	0. 230	0. 232	0. 202	0. 173	0. 264	0. 245	0. 094	0. 148	0. 309	0. 305
	Lw	99. 4	77. 3	36. 3	27. 8	96. 9	41. 5	42. 2	29. 4	45. 1	35. 5	49. 4	36. 6

大和较小时都较低的规律。综合考虑 Kt 和 Lw 值,可以得出配水 8—16 h,湿干比在 1:2—1:8 范围内均可获得较高的水力负荷率。在冬季,各运行方案的 Kt 值均随着湿干比变小而增大(见表 3),说明在温室条件下,冬季低温高湿和通风差等条件严重影响人工土壤的干化。除配水 16 h 以湿干比 1:8 运行方案的 Kt 值恢复较大外,配水 8 h 和 12 h 的运行方案均以湿干比 1:11 的 Kt 值恢复较快。从 Lw 值来看,也以配水 16 h 湿干比 1:8 的运行方案为最高。这是因为 Lw 值与 Kt 值成正比,与湿干比成反比,湿干比小, Kt 值大的运行方案的 Lw 值不一定就高。

2.1.2 春、夏季不同运行方式对 Kt 和 Lw 值的影响

春、夏季试验是在成都地区进行的,各运行方案的 Kt 和 Lw 值列入表 3 中。春季配水 12 h 和 16 h 的 Kt 值随湿干比变化即干化时间延长而增大,而配水 8 h 最大 Kt 值时的湿干比为 1:5,再延长干化时间, Kt 值反而会下降,这说明了较短时间即可恢复较大的 Kt 值;而较长时间淹灌,则需要相应地延长其干化时间,即减小湿干化才能使其 Kt 得到较大的恢复。夏季配水 12 h 和 16 h 最大 Kt 值的湿干比为 1:8,这主要

是由于夏季多雨而影响土层干化。从 Lw 值来看,无论是春季,还是夏季,配水 8 h 和 12 h 的水力负荷率均随着湿干化的减小而变小,而配水 16 h 则不明显。

2.2 不同运行方式对污水的处理效果

2.2.1 对 COD 的处理效果

人工土快滤床对城市污水中耗氧有机污染物具有较好的处理效果^[7-9],其对 COD 的去除能力是由渗滤速率和温度等因素决定的。渗滤速率快,污染物去除率就低;反之,亦然。由于渗滤速率随配水时间和湿干比的不同组合而变化,因而其处理效果也不一样(见表 4)。春、夏季人工土柱处理出水中 COD 浓度均以配水 8 h 最小,并且 100% 达到二级生化处理排放标准,而配水 12 h 和 16 h 只有湿干比较大的土柱出水水质较好。秋、冬季人工土柱仍以配水 8 h 出水水质较好。从去除率来看,秋、冬季以湿干比较大的土柱去除率较高,而秋季土柱 COD 去除率普遍较低的原因是土柱刚开始运行,渗滤速率较快,生物膜尚未完全形成之所致^[6]。

2.2.2 对 BOD₅ 和 SS 的处理效果

表 4 不同季节处理出水 COD 浓度及其去除率

Table 4 COD concentration in the treated effluent and its removal rate at different seasons									
连续配水 时间/h	湿干比	春季		夏季		秋季		冬季	
		浓度/mg·L ⁻¹	去除率/%	浓度/mg·L ⁻¹	去除率/%	浓度/mg·L ⁻¹	去除率/%	浓度/mg·L ⁻¹	去除率/%
8	1:2	33.8	86.2	56.9	76.8	89.3	50.9	56.1	75.8
	1:5	39.8	78.1	58.8	66.6	90.4	51.9	88.3	61.9
	1:8	54.5	75.8	55.4	74.6	92.7	47.9	90.8	60.9
	1:11	46.7	75.3	24.7	86.0	87.1	47.9	93.6	59.6
	1:2	68.7	73.5	42.1	77.1	106	40.4	55.7	76.0
12	1:5	70.8	68.5	70.9	67.5	104	45.5	90.4	61.0
	1:8	102	52.6	86.3	58.5	84.7	46.7	89.3	61.5
	1:11	54.3	74.3	80.1	62.4	95.6	43.8	100	56.9
	1:2	86.4	65.4	55.2	67.7	99.1	47.3	74.4	67.9
	1:5	55.8	70.5	55.7	68.4	94.9	44.5	84.1	63.8
16	1:8	102	51.7	116	56.4	99.2	38.8	95.1	59.0
	1:11	80.0	57.9	95.0	55.0	100	47.1	132	43.1

人工土快滤床对城市污水中 BOD₅ 的去除是生化作用的结果。生化作用的大小则由反应时间和温度来决定,而人工土快滤床的生化反应时间与其渗滤速率成反比,渗滤速率越快,生化反应时间越短,处理出水水质越差;反之,亦然。而渗滤速率则是由配水时间和湿干比决定的。人工土壤柱处理出水中 BOD₅ 和 SS 浓度均随着配水时间和湿干比而变化(见表 5)。在同一湿干比下,配水时间越长,出水水质越差;在同一配水时间下,湿干比越大,出水水质也越差。按 BOD₅ 和 SS 出水浓度小于 20 mg·L⁻¹ 的排放标准来考虑,以

湿干比 1:5 和 1:8,配水时间 8 h 为最佳,前者的运行周期为 2 d,后者的运行周期为 3 d。

2.2.3 对 TN 和 TP 的去除效果

人工土快滤床对城市污水具有较强的硝化能力,可以用于废水的硝化处理上,但由于废水在人工土壤柱中的停留时间较短,致使硝化和反硝化作用不能同时完成。如果通过延长配水时间和缩小湿干比,使其硝化作用和反硝化作用进行得更充分,则可以提高对 TN 的去除率。试验结果表明(见表 6),湿干比较小的土柱(1:8 和 1:11)对 TN 的去除率高于湿干比较大

表 5 秋季处理出水中 BOD₅ 和 SS 的浓度(mg · L⁻¹)

Table 5 Concentration of BOD₅ and SS in the treated effluent in autumn(mg · L⁻¹)

湿干比	水质指标	连续配水时间/h				
		4	8	12	16	24
1: 2	BOD ₅	1. 03	22. 5	27. 6	12. 3	6. 84
	SS	14. 0	20. 8	30. 0	8. 50	14. 0
1: 5	BOD ₅	0. 62	13. 3	20. 5	38. 3	32. 8
	SS	22. 4	16. 8	27. 8	18. 7	29. 5
1: 8	BOD ₅	—	4. 04	19. 4	23. 2	37. 5
	SS	15. 0	15. 5	17. 1	31. 8	17. 7
1: 11	BOD ₅	2. 31	21. 2	18. 7	21. 4	32. 9
	SS	17. 5	23. 8	13. 0	22. 5	10. 8

的土柱(1: 2 和 1: 5), 而延长配水时间对 TN 去除率的增加则不明显。

人工土快滤床对城市污水中 TP 的去除能力较强, 这归功于人工土壤填料的吸附作用和微生物的同化作用。由于吸附的磷在好氧条件下可以被微生物同化, 而在厌氧条件下则会重新释放出来, 因此人工土快滤床的运行方式就显得至关重要。试验结果表明(见表 6), 较短的配水时间(如 8 h)可保持好氧条件, 有利于人工土壤吸附磷, 因而处理出水中 TP 含量较低; 而较长的配水时间易产生厌氧条件, 不利于人工土壤吸附磷, 因而处理出水中 TP 含量较高。

3 结论

(1)北京地区秋季以配水 8—12 h、湿干比 1: 5 和 1: 8 运行方式的水力负荷率较高; 冬季以湿干比 1: 11、配水时间 8—12 h 运行方案的渗滤速率恢复较快, 但以配水 16 h、湿干比 1: 8 运行方案的水力负荷最高。

(2)成都地区夏季以配水 8 h、湿干比 1: 5 的渗滤速率最高, 而春季则以配水 12—16 h、湿干比 1: 11 的渗滤速率最高。春夏两季的水力负荷率均以配水 8 h、湿干比 1: 2 的运行方案最高。

(3)从处理出水中 COD 含量来看, 以配水 8 h、湿干比 1: 2 和 1: 5 的运行方案较好; 从处理出水中 BOD₅ 和 SS 来看, 则以配水 8—12 h、湿干比 1: 5 和 1: 8 的运行方案都较好。

(4)从 TN 的去除率来看, 湿干比较小的土柱高于湿干比较大的土柱, 延长配水时间对 TN 去除率的增加并不十分明显。从 TP 去除率来看, 以配水 8 h 的

表 6 秋季人工土壤柱对 TN 和 TP 的去除率

Table 6 Removal rate of total nitrogen and phosphorus by artificial soil column in autumn

连续配水时间/h	湿干比	TN		TP	
		出水 /mg · L ⁻¹	去除率 /%	出水 /mg · L ⁻¹	去除率 /%
8	1: 2	50. 7	19. 0	1. 22	55. 5
	1: 5	54. 3	16. 2	0. 924	67. 5
	1: 8	35. 2	46. 8	1. 40	55. 0
	1: 11	39. 5	38. 6	0. 991	66. 3
12	1: 2	56. 3	12. 6	2. 52	18. 2
	1: 5	55. 0	13. 5	1. 69	42. 9
	1: 8	47. 2	29. 3	1. 66	44. 3
	1: 11	42. 0	33. 8	1. 17	60. 1
16	1: 2	44. 1	32. 6	2. 68	5. 6
	1: 5	48. 7	25. 9	1. 56	47. 3
	1: 8	46. 4	33. 4	1. 38	55. 5
	1: 11	39. 2	39. 2	2. 63	18. 1
24	1: 2	49. 2	22. 6	1. 37	53. 7
	1: 5	44. 9	28. 4	1. 92	35. 1
	1: 8	52. 0	15. 7	1. 63	42. 8
	1: 11	36. 2	44. 4	1. 48	50. 2

各种湿干比运行方案都较好, 延长配水时间反而引起 TP 去除率的下降。

参考文献:

[1] 张祖锡, 白 瑛, 崔理华, 等. 城市污水人工土快滤处理技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 54 – 78.

[2] Reed S C and Crites R W. Handbook of land treatment systems forindustrial and municipal wastewater[M]. NJ: Noyes Data Corp, Park Ridge, 1984.

[3] Lowell E Leach, Carl G Enfield. Nitrogen control in domestic wastewater rapid infiltration system[J]. J WPCF, 1983, 55(9): 1 150 – 1 157.

[4] Katrin von Felde and Sabine Kunst. N – and COD – removal in vertical – flow systems[J]. Wat Sci Techno, 1997, 35(5): 79 – 85.

[5] Boller M, et al. Dynamic behaviour of intermittent buried filters. Preprints of 2nd international specialized conference on design and operation of small wastewater treatment plants. Odegaard H(eds), Trondheim(Norway), 1993. 248 – 254.

[6] 汤连茂. 人工土快滤处理系统运行管理技术研究[D]. 北京: 北京农业大学, 1991.

[7] 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.

[8] 崔理华, 朱夕珍, 汤连茂, 等. 城市污水人工土快滤床与水生植物复合处理系统[J]. 中国环境科学, 2000, 20(5): 432 – 435.

[9] 李国学, 何建平, 张建华, 等. 城市污水人工土快滤处理与利用系统[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 21 – 44.