

炭砂滤池去除硝基苯等微污染有机物的研究

冯令艳, 袁 星, 吕炳南

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 采用炭砂滤池处理受硝基苯等有机物污染的松花江原水, 在保证水厂原运行参数不变的条件下, 通过 50 d 的跟踪生产运行, 考察了炭砂滤池对浊度和 COD_{Mn} 的去除效果, 同时通过活性炭对硝基苯等 7 种有机物的静态吸附试验, 分析了活性炭去除各种有机物的难易程度。结果表明, 当进水浊度为 2.4~5.3 NTU、 COD_{Mn} 为 2.34~4.36 mg/L 时, 出水浊度始终保持在 0.6~1.0 NTU、 COD_{Mn} 为 1.72~3.54 mg/L, 保证了炭砂滤池优质的出水水质。由不同吸附时间下活性炭对有机物的吸附率可知, 在 7 h 之前, 活性炭对硝基苯的吸附率最低, 这说明硝基苯较其他 6 种有机物的处理难度大, 但只要保证一定的吸附时间, 硝基苯也可被有效去除。

关键词: 炭砂滤池; 硝基苯; 活性炭; 吸附

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)15-0058-04

Study on Removal of Nitrobenzene and Other Organic Micro-pollutants in Carbon-sand Filter

FENG Ling-yan, YUAN Yixing, LV Bing-nan

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract Carbon-sand filter was used to treat Songhua River raw water polluted by organic pollutants such as nitrobenzene. The removal efficiencies of turbidity and COD_{Mn} in carbon-sand filter were investigated by keeping the original operation parameters of the waterworks in a 50-day production run. The removal efficiency of different organics by activated carbon were analyzed in static adsorption tests for seven kinds of organics. The results show that when the influent turbidity and COD_{Mn} are 2.4 to 5.3 NTU and 2.34 to 4.36 mg/L respectively, the effluent turbidity and COD_{Mn} are 0.6 to 1.0 NTU and 1.72 to 3.54 mg/L respectively, ensuring high-quality effluent of the carbon-sand filter. From the adsorption rates of organics at different adsorption times, it is found that before 7 h, the adsorption rate of nitrobenzene on activated carbon is the lowest, meaning that nitrobenzene is more difficult to be removed than six other organics. But it still can be effectively removed by the activated carbon if the adsorption time is long enough.

Key words carbon-sand filter; nitrobenzene; activated carbon; adsorption

硝基苯是石油化工废水中的主要污染物之一, 其化学性质稳定、水溶性差, 在水中具有极高的稳定

性, 如遇明火、高热会燃烧或爆炸。硝基苯对人体毒害极大, 《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)

基金项目: 松花江水污染应急科技项目 (2006BA618A-02)

中规定饮用水源中硝基苯的含量 < 0.017 mg/L。

随着经济的飞速发展,松花江也被工业污水所污染,水中微量有机物含量和种类不断增加,传统污水处理工艺难以满足要求。笔者针对松花江水中硝基苯等污染物的具体情况,采用实验室和生产运行相结合的方式,研究颗粒活性炭对硝基苯等污染物的吸附效能,并通过对活性炭的解吸研究,可计算出运行 50 d 的炭砂滤池中活性炭床体对硝基苯等 7 种污染物的吸附总量。同时结合实验室的研究结果,确定活性炭对硝基苯等 7 种污染物的吸附顺序。

1 试验装置与方法

1.1 工艺流程

试验采用某净水厂实际运行的生产工艺,其工艺流程见图 1。

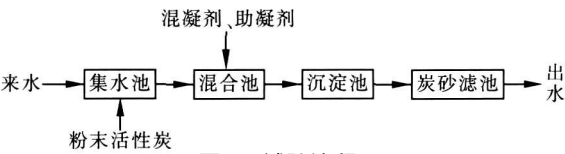


图 1 试验流程

Fig 1 Flow chart of test process

炭砂滤池之前的工艺为前处理工艺,目的是保证炭砂滤池的进水水质稳定,试验不讨论前处理工艺的处理效果,主要针对炭砂滤池的除污效果进行研究。

炭砂滤池是哈尔滨某净水厂的双阀双虹吸普通快滤池,由原来的无烟煤/石英砂双层滤料改为活性炭/石英砂滤料。单池水量为 $1.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 面积为 76.15 m^2 ,滤层厚为 800 mm,上层颗粒活性炭厚为 400 mm,活性炭型号为 ZJ-15 型,下层石英砂厚为 400 mm,粒径为 0.5~1.2 mm,滤速为 7.9 m/h 。

1.2 试验用水水质

试验用水是松花江原水经预处理后的沉淀池出水,其硝基苯、苯、甲苯、二甲苯、萘、邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二丁酯的浓度分别为 0.14、0.12、0.67、0.59、0.35、0.20、0.57 $\mu\text{g/L}$, COD_{Mn} 为 3.42 mg/L ,浊度为 3.67 NTU。

1.3 试验方法

1.3.1 对炭砂滤池除污效果的测定

① 炭砂滤池对浊度和 COD_{Mn} 的控制

滤料改变后,砂滤层变薄了,增加了活性炭层。在保证参数不变的条件下运行 50 d 连续测定其进、出水浊度和 COD_{Mn} 值,考察炭砂滤池的运行效果。

② 活性炭床体对硝基苯等有机物的吸附量

经过 50 d 运行的炭砂滤池,在活性炭滤床中分别于 (0~20)、(20~30) 和 (30~40) cm 深度处取等量活性炭,通过对活性炭解吸的方法,测定 50 d 中 1 g 活性炭对硝基苯等 7 种有机物的吸附量,并根据水厂所用活性炭总量,计算出水厂 50 d 内砂滤池吸附 7 种有机物的总量。

1.3.2 确定活性炭对 7 种有机物的吸附顺序

根据对松花江水中有机物的分析结果和松花江受污染期间可能含有的优先控制污染物,最终确定了 7 种有机物(苯、甲苯、二甲苯、萘、硝基苯、邻二氯苯、对二氯苯)为研究对象。按照江水中这些有机物的含量比例,配制上述 7 种有机物的标准溶液,并取一定量新颗粒活性炭分别加入到所配溶液中,分别振荡 0.1、2、4、7、10、15 h 使之达到吸附平衡;然后再各取 2 L 上述水样(去除活性炭),分别用 C_{18} 柱富集,测定溶液中各时段 7 种有机物的含量,结果见表 1。

表 1 不同吸附时间下有机物的浓度变化

Tab 1 Changes of organic pollutants with different

项 目	adsorption time						
	0	1 h	2 h	4 h	7 h	10 h	15 h
硝基苯	31.7	—	31.4	30.4	28.7	19.8	17.3
邻二氯苯	18.4	17.9	16.1	15.4	12.7	11.9	11.1
对二氯苯	6.5	—	6.1	5.0	4.4	3.8	3.6
苯	32.4	31.5	25.4	25.3	23.6	22.1	19.6
甲苯	65.2	41.3	25.8	16.2	16.0	15.6	12.8
二甲苯	240	231.8	209.5	200.2	176.2	171.4	168.7
萘	105	—	102.6	92.4	75.7	63.1	46.8

2 结果与分析

2.1 炭砂滤池除污效果

炭砂滤池的运行时间为 11 月 28 日到次年 1 月 24 日,共 50 d。结果表明,进水浊度为 2.4~5.3 NTU,出水浊度为 0.6~1.0 NTU。这说明炭砂滤池对浊度有较好的控制效果。在应急情况下,由普通砂滤池换为炭砂滤池是可行的,能起到很好的物理拦截作用。

2.2 炭砂滤池对 COD_{Mn} 的去除效果

试验结果表明,滤池进水 COD_{Mn} 为 2.34~4.36 mg/L ,出水 COD_{Mn} 为 1.72~3.54 mg/L ,去除率为 19%~27%;另外,滤池进、出水色度有明显变化,由 9 倍降到 6 倍。之后, COD_{Mn} 浓度趋于稳定。这说明炭砂滤池中的活性炭对水中有机物有较强的吸附效

能,对于改善滤池出水水质具有重要作用。

2.3 活性炭床对有机物的吸附量

活性炭床体不同深度处解吸下来的有机物量见表 2。可知,0~20 cm 处活性炭床体对各种有机物的吸附量最多,相当于实测平均值的 1.4~1.68 倍;但随着深度的加大,其吸附量逐渐减少。这说明水进入滤池后,将近有 50% 的有机物首先被上层活性炭吸附,随着滤池水不断下流,活性炭吸附有机物量递减,水中有机物也逐渐被吸附去除,从而保证了滤池优质的出水水质。由此可知,炭砂滤池中保证一定的活性炭床体厚度是十分必要的。

表 2 活性炭床对有机物的吸附量

Tab 2 Adsorption quantity of organic pollutants by carbon-bed $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

项 目	0~ 20 cm	20~ 30 cm	30~ 40 cm	实测平均值
硝基苯	1. 44	0. 9	< 0. 6	1. 02
苯	20. 76	6. 35	5. 08	12. 82
甲苯	10. 71	3. 59	2. 27	6. 49
二甲苯	1. 97	0. 72	< 0. 6	1. 285
萘	4. 73	1. 98	1. 73	3. 23
邻苯二甲酸二乙酯	23. 75	15. 57	10. 23	16. 99
邻苯二甲酸二丁酯	34. 22	24. 02	6. 46	20. 34

水厂处理水量为 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 炭砂滤池所用颗粒活性炭量为 500 t 根据滤池中 1 g 活性炭对有机物的吸附量,可计算出炭砂滤池运行 50 d 对硝基苯等 7 种有机物的去除总量,结果见表 3。

表 3 滤池对 7 种有机物的吸附量

Tab 3 Adsorption quantity of 7 kinds of organic pollutants by filter

项 目	1 g 活性炭吸附 的污染量 / μg	500 t 活性炭 吸附的污染 物量 /kg
硝基苯	1. 02	0. 510
苯	12. 82	6. 460
甲苯	6. 49	3. 645
二甲苯	1. 285	0. 643
萘	3. 23	1. 615
邻苯二甲酸二乙酯	16. 99	8. 495
邻苯二甲酸二丁酯	20. 34	10. 170
总计	—	31. 138

由表 3 可知,运行 50 d 的炭砂滤池能吸附去除 31.138 kg 微污染有机物(仅指硝基苯等 7 种污染物,如果还考虑其他有机物则吸附量会更多)。此

外,在相同条件下活性炭对硝基苯等 7 种有机物的吸附量不同,其中对邻苯二甲酸二乙酯和邻苯二甲酸二丁酯的吸附量最高,对硝基苯的吸附量最低,这说明去除水中硝基苯要难于去除其他有机物。

2.4 活性炭对有机物的吸附排序

不同吸附时间下,活性炭对有机物的吸附率见表 4。

表 4 活性炭对有机物的吸附率

Tab 4 Adsorption rate of organic pollutants by activated carbon %

项 目	1 h	2 h	4 h	7 h	10 h	15 h
硝基苯	—	0. 95	4. 1	9. 46	37. 5	45. 4
邻二氯苯	2. 7	11. 6	16. 3	30. 9	35. 3	39. 7
对二氯苯	—	6. 15	23. 1	32. 3	41. 5	44. 6
苯	2. 8	21. 6	21. 9	27. 2	31. 8	39. 5
甲苯	36. 7	60. 4	75. 2	75. 5	76. 1	80. 4
二甲苯	3. 4	12. 7	16. 6	26. 6	28. 6	29. 7
萘	—	2. 29	12	27. 9	39. 9	55. 4

由表 4 可知,随吸附时间的不同,活性炭对有机污染物的吸附率也不同。在 1~15 h 的吸附时段中,对甲苯的吸附率始终最高;吸附 2 h 时,对甲苯、苯、二甲苯的吸附率较其他污染物高;吸附 4 h 时,对甲苯、对二氯苯、苯的吸附率较其他污染物高;吸附 7 h 时,对甲苯、对二氯苯和邻二氯苯的吸附率较其他污染物高;吸附 10 h 时,对甲苯、对二氯苯、萘的吸附率较其他污染物高;吸附 15 h 时,对甲苯、萘、硝基苯的吸附率较其他污染物高。不难看出,在 7 h 之前的各时段中,对硝基苯的吸附率均最低,直到 10 h 时,对硝基苯的吸附率才排在第 4 位,这也进一步表明硝基苯较其他有机物的处理难度大。要想提高活性炭对硝基苯的去除率,需要保证一定的吸附时间,这些结果对实际工程有一定的指导作用。

3 结论

① 通过研究水厂的实际生产运行数据,发现炭砂滤池对浊度和有机污染物都有较好的去除效果,当进水浊度为 2.4~5.3 NTU、 COD_{Mn} 为 2.34~4.36 mg/L 时,出水浊度为 0.6~1.0 NTU、 COD_{Mn} 为 1.72~3.54 mg/L。出水中硝基苯等 7 种有机物均未检出。

② 炭砂滤池中活性炭床体对硝基苯等 7 种有机物的吸附量由上到下逐渐减少,从而保证了优质出水水质,可见保证一定厚度的活性炭床体是十分

(下转第 63 页)

仍然较高,因此后续的 CMAS工艺对氨氮的进一步去除效果就比较关键。CMAS工艺对氨氮的去除效果见图 4。

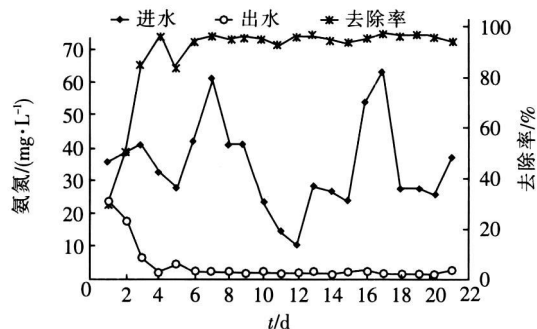


图 4 CMAS工艺对氨氮的去除效果

Fig 4 Removal effect of $\text{NH}_3\text{-N}$ by CMAS process

由图 4可知,虽然 CMAS反应器进水的氨氮浓度呈现很大的波动性,但出水的氨氮浓度可稳定在较低水平(低于 5 mg/L),对氨氮的去除率可稳定在 96% 以上。这是由于反应器中溶解氧浓度较高,能够满足亚硝酸菌和硝酸菌对氧的需求,所以对氨氮的去除效果非常显著。

3 结论

采用 CMAS工艺作为 IC反应器的后续处理工艺,在 IC反应器的出水即 CMAS反应器的进水 COD

和氨氮分别为 (85 00~514 62)、(9 08~63 17) mg/L,MLSS为 2 000 mg/L的条件下,经 CMAS工艺处理后,出水 COD < 50 mg/L、氨氮 < 5 mg/L,且出水水质较稳定,达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,证明 CMAS工艺作为 IC反应器的后续处理工艺是可行的,与 IC反应器的单独处理效果相比,两工艺的有机结合可大大改善出水水质。

参考文献:

- [1] 何连生,朱迎波,席北斗,等. 高效厌氧生物反应器研究动态及趋势 [J]. 环境工程, 2004 22(1): 7- 11.
- [2] 郭永福,储金宇. 内循环厌氧反应器 (IC) 的应用与发展 [J]. 工业安全与环保, 2007, 33(5): 6- 9.
- [3] 吴静,陆正禹,胡纪萃,等. 新型高效内循环 (IC) 厌氧反应器 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(1): 26- 29.
- [4] 聂威,闵亚光,黄家驹. IC反应器-曝气生物滤池处理蔗渣堆场喷淋废水 [J]. 中国造纸, 2005, 24(9): 25- 28.

电话: 138 11629129

E-mail zfkhyh@ sina. com

收稿日期: 2010- 02- 05

(上接第 60 页)

必要的。炭砂滤池运行 50 d 活性炭 (500 t) 对硝基苯等有机物的吸附总量为 31. 138 kg 可见采用炭砂滤池作为水体污染的应急措施是行之有效的。

③ 通过活性炭对硝基苯等 7 种有机物的静态吸附试验可知, 7 种有机物被吸附的顺序是不同的, 在 7 h 之前活性炭对硝基苯的吸附率均低于其他有机物, 直到 10 h 时对硝基苯的吸附率才逐渐提高, 这表明对硝基苯的去除要比其他有机物的难度大, 但在保证一定的吸附时间后, 活性炭对硝基苯也可达到较高的去除率。

参考文献:

- [1] 杨开,周涛,高婷,等. 生物活性炭-砂滤处理微污染

原水研究 [J]. 中国给水排水, 2000 16(12): 54- 56

- [2] 王琳,王宝贞. 饮用水深度处理技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002
- [3] 侯轶,高乃云,张楠,等. 粉末活性炭 (PAC) 强化处理微污染原水国内外研究现状 [J]. 城镇供水, 2008 (6): 37- 39
- [4] 陈忠林,马军,李圭白,等. 受硝基苯污染松花江原水的应急处理工艺研究 [J]. 中国给水排水, 2006, 22 (13): 1- 5.

电话: (0451) 86665993 131 15555556

E-mail wxlyhly@ 126. com

收稿日期: 2010- 03- 04