

炭砂滤池中活性炭使用特性研究

李伟光^{1,2} 公绪金¹ 王广智¹ 李鑫¹ 李刚¹

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2 城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心, 哈尔滨 150090)

摘要 以北方某水厂应急改造的 V 型炭砂滤池为对象, 对炭砂滤池中活性炭的吸附性能指标、有机物吸附效能及生物作用等进行了研究, 综合评价了炭砂滤池中活性炭的使用特性, 并从碘吸附值和 UV₂₅₄ 去除效能两个方面对活性炭的使用寿命进行了估算, 从而为水厂的生产运行提供可行的技术指导。

关键词 炭砂滤池 应急处理 吸附性能 使用特性

0 前言

炭砂滤池作为净水厂应急处理中的重要单元, 是利用原有的无烟煤/石英砂滤池, 将其中的无烟煤滤料更换为活性炭来实现的^[1]。炭砂滤池同时具备了活性炭的吸附作用与石英砂物理拦截作用, 石英可有效提高供水水质, 从而为水厂的生产运行提供了可行的技术措施与应急方案^[2,3]。

本文以北方某水厂应急改造的 V 型炭砂滤池为研究对象, 其具体运行参数为: 单池水量 1.25 万 m³/d, 单池面积 88.16 m², 双层滤料, 上层活性炭 500 mm, 下层石英砂 500 mm, 滤速 7.6 m/h, 采用气水联合反冲洗。通过对炭砂滤池中活性炭的吸附性能变化、使用寿命、生物再生作用等方面的研究, 综合评价了炭砂滤池中活性炭的使用特性。

1 试验与方法

1.1 试验用水水质

生产运行期间松花江原水和炭砂滤池进水水质平均值见表 1。

1.2 检测指标和方法

浊度: HACH2100N 浊度仪; 细菌总数: 平板菌落计数法; TOC: DG-190 总有机碳检测仪; UV₂₅₄: 752 紫外可见分光光度计; 耗氧量(COD_{Mn}): 酸性高锰酸钾法。

1.3 试验方法

国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2008AA06A414); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07424-005)。

表 1 试验水质

项目	松花江原水	炭砂滤池进水
浊度/NTU	11.85	2.62
COD _{Mn} /mg/L	5.64	3.42
UV ₂₅₄ /cm ⁻¹	0.220	0.115
TOC/mg/L	6.37	2.79
氨氮/mg/L	1.78	1.78
细菌总数/CFU/mL	56.44	10.27
大肠菌数/CFU/L	413.48	2.43

取炭砂滤池不同炭层高度的活性炭(上层: 50 mm, 中上: 200 mm, 中下: 300 mm, 下层: 450 mm), 经过烘干后进行吸附速率试验和吸附容量试验。

(1) 吸附速率试验。室温下, 取一系列细口瓶, 精确称取已烘干活性炭 1 g, 依次放入细口瓶中, 加入 200 mL 水样, 盖好盖子, 在 20 ℃恒温摇床中振荡。每隔 5 min 取出一个细口瓶, 分别用 0.45 μm 的滤膜和中性滤纸过滤, 收集 20 mL 和 100 mL 滤液, 测其 UV₂₅₄ 和 TOC, 直至不再下降为止。

(2) 吸附容量试验。室温下, 取一系列细口瓶, 分别称取已烘干的活性炭 1 g, 依次放入细口瓶中, 加入 200 mL 水样, 在振荡机上振荡, 分别用 0.45 μm 的滤膜和中性滤纸过滤, 收集 20 mL 和 100 mL 过滤水样, 测其 UV₂₅₄ 和 TOC(试验振荡时间为 60 min)。

2 结果与分析

2.1 炭砂滤池中活性炭吸附性能指标变化特征

应急改造的炭砂滤池连续运行两个月中, 取不同炭层高度活性炭样, 分析碘吸附值、亚甲蓝值等吸附性能的变化情况。

2.1.1 活性炭碘吸附值的变化特征

表征活性炭吸附量的性能指标主要包括碘吸附值、亚甲蓝值等。其中碘吸附值可用于表征活性炭及对相对分子质量约为 250、非极性和分子结构对称的物质的吸附能力。生产运行期间炭砂滤池不同炭层高度的碘吸附值变化情况见图 1。

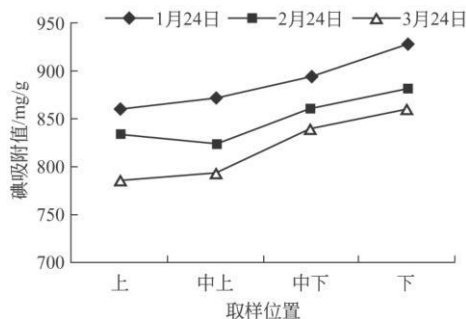


图 1 炭砂滤池中活性炭碘吸附值的变化

通过三次对碘吸附值的分析来看, 中层以下的活性炭碘吸附值都在 800 mg/g 以上, 这说明炭砂滤池连续运行两个月后滤池中的活性炭仍具有很好的吸附能力。随着炭层深度增加, 活性炭的碘吸附值变化量减小, 这说明在两个月的运行中, 炭砂滤池中对有机物起吸附作用的主要是上层活性炭。经过反冲洗后, 活性炭层没有出现混层现象, 炭层保持了相对稳定状态。

2.1.2 活性炭亚甲蓝值的变化

亚甲蓝值是常用的表征活性炭性能的指标, 是活性炭孔隙结构的一个表征值^[4, 5]。生产运行期间炭砂滤池不同炭层高度的亚甲蓝值变化见图 2。

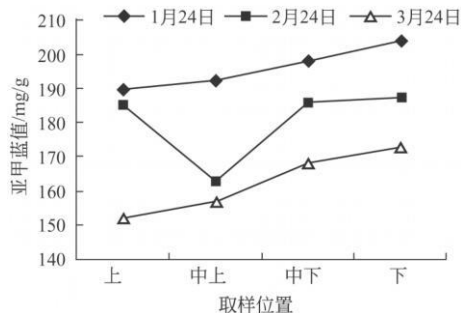


图 2 炭砂滤池中活性炭亚甲蓝值的变化

结果表明炭砂滤池中不同高度活性炭亚甲蓝值变化特征与碘吸附值相似, 即底层的活性炭吸附能力较好, 炭层深度增加活性炭亚甲蓝值变化量减小。

因此, 对炭砂滤池中活性炭碘吸附值和亚甲蓝值的检测结果表明, 经过两个月的运行后, 炭砂滤池中下层以下的活性炭仍具有较高的吸附能力。

2.2 活性炭对有机物的吸附效能

2.2.1 吸附速率试验

松花江水体中的污染物以苯系物等为主, 因此通过 UV_{254} 的变化情况可间接表征活性炭对此类有机物的去除效能^[6]。为更加深入地研究炭砂滤池中活性炭吸附性能变化特征, 试验中研究了生产运行两个月后滤池中下层活性炭对 UV_{254} 和 TOC 的吸附效能。炭砂滤池中颗粒活性炭对水中 UV_{254} 和 TOC 的动态吸附曲线见图 3 和图 4。

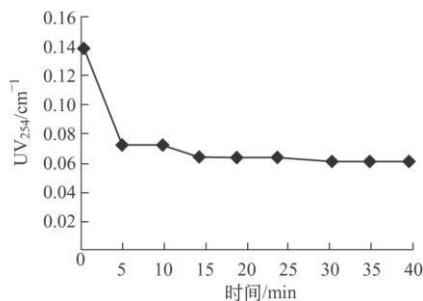


图 3 颗粒活性炭对 UV_{254} 的动态吸附曲线

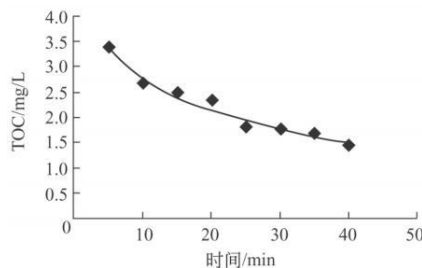


图 4 颗粒活性炭对 TOC 的动态吸附曲线

试验结果表明, 针对松花江水质, 所选择的活性炭对 UV_{254} 在 5 min 左右就可取得较好的效果, 在 20 min 之内对 TOC 的吸附速度和吸附量也较大。但由于试验水厂的炭砂滤池中活性炭层的水力停留时间只有 4.5 min, 因此实际运行中炭砂滤池对 TOC 的去除率一直较低, 而对 UV_{254} 的去除率最高在 40% 以上。动态试验结果表明, 在现有的生产条件下, 确保活性炭层的有效接触时间是非常必要的。

2.2.2 吸附容量试验

表 2 是滤池中活性炭吸附容量试验结果。从试验结果来看, 不同炭层的颗粒活性炭在保证接触时间的条件下, 对 TOC 和 UV_{254} 吸附效果明显。随着

表 2 炭砂滤池中活性炭静态吸附效果

项目	颗粒炭		粉末炭	
	TOC/ mg/L	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹	TOC/ mg/L	UV ₂₅₄ / cm ⁻¹
原水	3.552	0.139	3.552	0.139
上层/ %	16.13	23.02	56.76	43.17
中上层/ %	25.31	23.74	66.24	45.32
中下层/ %	30.63	24.46	64.81	46.04
下层/ %	36.3	24.46	65.31	46.04

炭层高度增加, 活性炭对 TOC 的吸附能力越来越高, 而对 UV₂₅₄ 的吸附能力, 各炭层差别不大。

颗粒活性炭破碎后的试验结果表明, 活性炭对 TOC 和 UV₂₅₄ 具有较强的吸附能力, 对 TOC 和 UV₂₅₄ 的去除率分别在 56% 和 43% 以上。未破碎的活性炭内部孔隙没有完全表露, 活性炭的内部孔隙结构仍大量存在, 因此在破碎后活性炭的吸附能力显著增加。

吸附试验结果表明, 目前炭砂滤池中的活性炭对有机物仍具有较强的吸附效能。试验结果与活性炭碘吸附值、亚甲蓝值分析结果是一致的。

2.3 活性炭使用寿命的估算

在生产运行中, 活性炭的使用寿命受到多种因素的影响, 例如原水水质、活性炭接触条件、活性炭应用条件等。本文中从活性炭碘吸附值、UV₂₅₄ 吸附性能及生物作用三个方面对活性炭的使用寿命进行了估算。

2.3.1 以碘吸附值估算活性炭使用寿命

为了评估活性炭的使用寿命, 针对反映活性炭吸附性能的主要指标(碘吸附值)的变化进行数学拟合, 并通过吸附性能指标变化拟合公式对活性炭使用寿命进行初步估算(针对松花江水的水质特点, 设定活性炭碘吸附值的限值为大于 500 mg/g)。试验水厂炭砂滤池中活性炭使用寿命的拟合结果见表 3。

线性拟合结果表明: 试验水厂的炭砂滤池上层和中上层活性炭的使用寿命在 150 天左右, 中下层和下层的使用寿命在 180 天以上, 值得注意的是下层使用时间可长达 7 个月。综合来看, 炭砂滤池中活性炭层在 5 个月的使用时间内可保持较好的吸附能力。

以上的估算是根据活性炭的碘吸附值计算的, 为保证炭砂滤池的吸附性能, 计算中采用直线拟合,

对活性炭使用寿命进行保守估算, 导致上述计算结果相对偏小。

表 3 炭砂滤池中活性炭碘吸附值变化规律计算

分层		计算值					拟合公式
上层	碘吸附值变化量 / mg/g	0	221	249	297	583	$y = 3.737 \ 3x$
	对应时间/d	0	57	70	78	156	
中上层	碘吸附值变化量 / mg/g	0	210	259	290	583	$y = 3.704 \ 1x$
	对应时间/d	0	57	70	78	157	
中下层	碘吸附值变化量 / mg/g	0	188	222	243	583	$y = 3.084 \ 7x$
	对应时间/d	0	57	70	78	189	
下层	碘吸附值变化量 / mg/g	0	154	201	222	583	$y = 2.821 \ 9x$
	对应时间/d	0	57	70	78	207	

注: 活性炭初始平均碘吸附值为 1 080 mg/g。

有研究表明碘吸附值大小与活性炭的实际使用效果存在一定的差别, 因此还必须从炭砂滤池实际运行状况对活性炭使用寿命进行分析。

2.3.2 以 UV₂₅₄ 的吸附效能估算活性炭使用寿命

从试验水厂实际运行结果来看, 随着炭砂滤池运行时间的延长, 活性炭对有机物的去除效率也逐渐降低。因此, 可以从炭砂滤池实际运行效果评价活性炭的使用寿命。

由前叙可知炭砂滤池对以 UV₂₅₄ 表征的含共扼双键或苯环的有机物具有非常好的去除效果。因此采用炭砂滤池对 UV₂₅₄ 的吸附效能评估活性炭的使用寿命。

表 4 和图 5 是炭砂滤池对 UV₂₅₄ 吸附效能的拟合计算结果(计算中, 针对松花江水的水质特点, 设定 UV₂₅₄ 的去除率限值为大于 0; 为保证炭砂滤池的吸附效能, 计算中仍采用直线拟合, 对活性炭使用寿命进行保守估算, 其中 x 为使用寿命, y 为 UV₂₅₄ 的去除率)。

表 4 炭砂滤池对 UV₂₅₄ 去除效果拟合计算

拟合公式	$Y = 30\%$	$Y = 20\%$	$Y = 10\%$	$Y = 0$
$y = -0.445 \ 9x + 69.194$	$x = 88$	$x = 110$	$x = 132$	$x = 155$

从表 4 可以估算出试验水厂的炭砂滤池中活性炭使用 150 多天(即 5 个月)后, 其对 UV₂₅₄ 的吸附

能力开始丧失。另外,活性炭静态试验结果表明,活性炭层对 TOC 的去除速度较慢,尽管活性炭使用 5 个月后,其对 UV_{254} 去除效果不太明显了,但仍然对 TOC 具有一定的去除效果。如果仅为保证出水浊度指标,且产水量不降低的情况下,活性炭只起到普通滤料的作用,与无烟煤或石英砂相似。因此,针对炭砂滤池中活性炭对有机物吸附效能的估算,试验水厂炭砂滤池中的活性炭使用寿命至少为 5 个月。

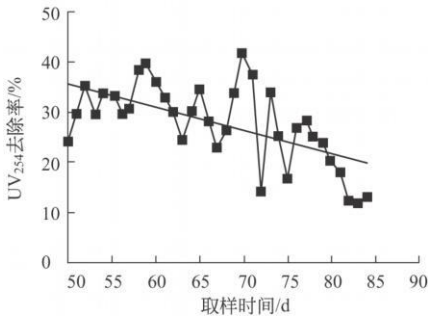


图 5 炭砂滤池对 UV_{254} 去除效果拟合曲线

2.3.3 活性炭的生物作用评价

在炭砂滤池运行过程中,由于其对微生物的拦截富集作用,随着运行时间延长,炭砂滤池中逐渐形成了生物活性炭。试验表明生物活性炭提高了对水中有机物和氨氮的去除效果^[6]。为了评价活性炭上的生物作用,对试验水厂炭砂滤池中活性炭层的生物量进行了分析。炭砂滤池运行 2 个月后,采用平板菌落计数法测定活性炭上的菌量,测定结果见表 5。

表 5 炭砂滤池活性炭上的菌量特征

层序	上层	中上层	中下层	下层
菌数 CFU/L	4.7×10^5	3.8×10^4	4.5×10^4	4.1×10^4

从表 5 中可以看出,炭砂滤池中的活性炭层在经过两个月运行后,炭表面已经生长了微生物。由于活性炭上微生物作用,炭砂滤池对水中氨氮有一定的去除效果,但由于试验进行时水温较低、活性炭层较薄、停留时间较短,炭表面的微生物数量小,微生物活性较低,因此生物氧化作用不够明显。随着运行时间延长和水温的不断升高,活性炭的生物作用将会得到增强,活性炭的使用寿命会因为生物作用而进一步延长。

3 结论

(1) 对炭砂滤池中活性炭吸附性能指标的检测结果表明:连续运行两个月后炭砂滤池中对有机物起主要吸附作用的是上层活性炭,中、下层活性炭仍具有较高的吸附能力。

(2) 炭砂滤池连续运行两个月后,滤池中不同炭层的活性炭对 TOC 的吸附效能相差较大,而对 UV_{254} 的吸附效能差别不大。

(3) 对不同炭层碘吸附值的变化量进行线性拟合,估算炭砂滤池中各层活性炭的使用寿命,计算结果为:上层、中上层和下层活性炭的使用寿命分别为 150 天,180 天和 207 天。以 UV_{254} 的吸附效能估算的活性炭使用寿命为 150 天。

(4) 运行两个月的炭砂滤池中活性炭表面存在一定微生物,上层活性炭上的生物量最多,高达 4.7×10^5 CFU/L,随着运行时间延长和水温的不断升高,活性炭上的生物作用将会增强,活性炭的使用寿命也将进一步延长。

参考文献

- Kim W H, Nishijima W, Shoto E, et al. Pilot plant study on ozonation and biological activated carbon process for drinking water treatment. Wat Sci Tech, 1997, 35(8): 21~ 28
- 王广智,李伟光,王锐,等.炭砂滤池在松花江污染应急处理中的应用.给水排水,2007,33(8): 11~ 15
- 崔福义,李伟光,张悦,等.哈尔滨气化厂(达连河)供水系统应对硝基苯污染的措施与效果.给水排水,2006,32(6): 13~ 17
- 王占生,刘占君.微污染水源饮用水处理.北京:中国建筑工业出版社,1999
- 乔铁军,刘晓辉,张金松,等.饮用水处理中活性炭选择的评价体系.见:城镇饮用水安全保障技术研讨会论文集.深圳:深圳水务集团,2004: 352~ 355
- Li L, Quinlivan P A. Effects of activated carbon surface chemistry and pore structure on the adsorption of organic contaminants from aqueous solution. Carbon, 2002, 40(12): 2085~ 2100
- 杨开,周涛,高婷.生物活性炭砂滤处理微污染源水研究.中国给水排水,2000,16(12): 54~ 56

○ 电话: 13904512510
E-mail: hitlw@126.com
收稿日期: 2010 09 21
修回日期: 2011 03 18