

新型 AF 滤料处理微污染水的过滤技术

王 圃¹, 廖 熠¹, 姚雨霖¹, 何 刚¹, 计定安²

(1. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045;

2. 内江市供排水公司, 四川 内江 641000)

摘 要: 本研究采用新型 AF 滤料在水厂进行了模型试验和生产性试验。模型试验结果表明: 单层 AF 滤料滤池、双层 AF-无烟煤滤料滤池在充氧条件下, 滤速为 4m/h 时, 对 COD_{Mn} 的去除率分别为 17.4% 和 21.3%, 对氨氮的去除率分别为 55% 和 61%, 出水水质均优于国家饮用水标准。生产性试验表明: 双层 AF-无烟煤滤料滤池的周期产水量是双层石英砂-无烟煤滤料滤池的 1.5 倍, 出水水质前者优于后者, 采用双层 AF-无烟煤滤料滤池可为供水企业带来显著的经济效益。

关键词: 新型 AF 滤料; 微污染水; 过滤技术; 模型试验; 生产性试验

中图分类号: TU991.24

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2006)08-0057-04

过滤是饮用水处理不可缺少的处理单元^[1], 滤料的好坏直接影响到滤池运行的稳定和效果。进入 80 年代后, 世界普遍面临着水的有机污染问题, 面临着日益严格的饮用水标准, 探索新的性能优良的过滤介质和发展过滤技术, 提高滤池单位面积的产水量和出水水质, 就成为当今迫切而重要的任务。新型 AF 滤料是一种人工合成的多孔滤料, 其主要成份是 Al_2O_3 , SiO_2 , 本研究中的模型试验及生产性试验是在对 AF 滤料的材质分析的基础上进行的, 模型试验和生产性试验均采用 AF 滤料与石英砂滤料进行对比。在生产性试验运行过程中, 双层 AF-无烟煤滤料滤池的运行效果表明: 新型 AF 滤料滤池比传统的石英砂滤池的周期产水量高, 出水水质好。

1 实验部分

1.1 新型 AF 滤料材质分析

AF 滤料的化学成分及部分物理、化学特性如表 1 和表 2 所示。

表 1 AF 滤料的化学成分

Table 1 Chemical content of AF filter media

成分	Al_2O_3	SiO_2	MgO	TiO_2	CaO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	烧失量
含量(%)	65.10	23.62	4.44	3.20	0.47	0.70	0.24	1.78	0.45

从表中可知, AF 滤料的主要成分为 Al_2O_3 , 其次是 SiO_2 , 其它物质含量很少。该滤料表面粗糙、多棱角、多微孔, 与传统的石英砂滤料相比, AF 滤料比表面积为石英砂的 30 倍, 孔隙率是石英砂的 1.5 倍, 具有足够的机械强度, 其酸碱可溶率和溶出物的测定具有足够的化学稳定性。

1.2 实验方法

模型试验在内江市第二水厂进行, 沱江源水经管道加药(聚合氯化铝)和两级絮凝沉淀后进入试验滤柱, 源水中 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 都达不到国家地面水三类水体允许的标准, 属于微污染水。

过滤装置由 3 根滤柱组成, 每根滤柱高为 3m, 内径为 100mm。滤柱底部设有穿孔配气短管, 由一

表 2 AF 滤料的部分物理、化学特性

Table 2 Physical and chemical properties of AF filter media

项目	物理特性						化学特性			
	比表面积 (cm^2/g)	松散容重 (kg/m^3)	比重 (g/cm^3)	总孔容 (cm^3/g)	磨损率 (%)	破碎率 (%)	HCl 可溶率 (%)	H_2SO_4 可溶率 (%)	NaOH 可溶率 (%)	溶解固体残渣 (mg/L)
数值	4.45×10^4	1060	2.83~2.88	0.0788	0.35	0.16	0.38	0.39	1.12	8.2

收稿日期: 2006-01-15

基金项目: 国家重点科技项目(96-909-03-01-04), 重庆市科技计划项目(9714)

作者简介: 王 圃(1965-), 男, 副教授, 博士, 主要从事给水处理理论及技术研究; 联系电话: 13608336509; E-mail: WPU2120@sina.com。

台空压机作为反冲洗空气源。在滤料层表面以上100mm处设有曝气头,由另一台空压机不断提供空气。三个滤柱的滤料层分别为三种类型,各滤柱的滤料情况见表3。

表3 试验的滤床构成

Table 3 Composition of tested filter bed

滤柱号	滤床构成	厚度 (mm)	粒径 (mm)			比重 (g/cm ³)	孔隙率	形状系数
1	无烟煤	350	0.8~1.8	$d_{10}(\text{mm})$	1.09	1.63	0.55	2.10
				$d_{80}(\text{mm})$	1.44			
	AF滤料	450	0.5~1.2	$d_{10}(\text{mm})$	0.71	2.88	0.60	1.72
				$d_{80}(\text{mm})$	0.95			
2	AF滤料	700	0.5~1.2	$d_{10}(\text{mm})$	0.71	2.88	0.60	1.72
				$d_{80}(\text{mm})$	0.95			
3	石英砂	450	0.5~1.2	$d_{10}(\text{mm})$	0.71	2.61	0.41	1.17
				$d_{80}(\text{mm})$	0.95			
	无烟煤	350	0.8~1.8	$d_{10}(\text{mm})$	1.09	1.63	0.55	2.10
				$d_{80}(\text{mm})$	1.44			

滤柱稳定运行期间的试验滤速从2m/h开始,然后依次递增至4m/h、6m/h、8m/h,每种滤速运行4~6个周期。鉴于滤柱进水浊度多数时间小于3NTU,为防止滤料板结,试验中滤速2m/h和4m/h时周期定为72h,6m/h和8m/h时周期定为48h。一号柱采用三段式气水反冲洗:第一阶段,单独气洗,强度14L/s·m²,4min;第二阶段,气水同时冲洗,气洗强度14L/s·m²,水洗4L/s·m²,4min;第三阶段,单独水洗,强度6L/s·m²,4min。而2、3号柱仍采用传统的高速水流反冲洗,控制滤层膨胀度为45%,时间6min。

2 试验结果与分析

检测项目有:过滤前后水的浊度、水温、水头损失、COD_{Mn}和NH₃-N等。

经一年的运行,三滤柱过滤性能对比的试验结果见表4。三根滤柱的出水浊度频率分布曲线,在不同滤速下的初始水头损失分别见图1和图2。三根

滤柱COD_{Mn}去除率、NH₃-N去除率与滤速关系分别见图3、图4。

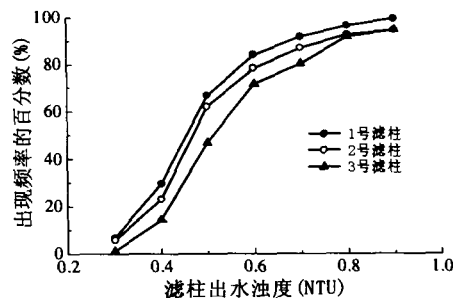


图1 各滤柱出水浊度频率分布曲线

Fig.1 Distribution of frequency of turbidity appearing in various columns

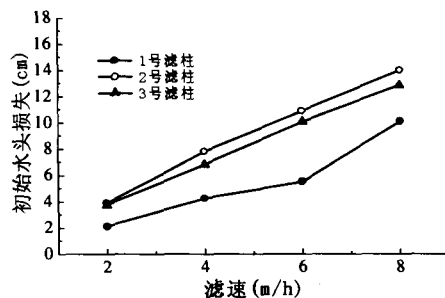


图2 各滤床在不同滤速下的清水水头损失

Fig.2 Head loss of clear water at different filter speed of various filter beds

图1及表4说明三滤柱的出水浊度基本上都在1NTU之下,在四种不同的滤速下取得的浊度去除率都在70%左右,大致相同,这主要是因为进水浊度低(通常不超出3NTU,只在极个别时段出现接近10NTU)、滤速小,悬浮物主要被截留在滤层表面10~30cm。从图表中还可看出:除浊效果由高到低依次为:1号、2号、3号,而且随进水浊度下降,去除率的平均值也下降。

图2可知,清洁滤层水头损失与滤速的一次方成正比。初始水头损失由大到小依次为:2号、3号、1号。

图3说明三根滤柱在充氧条件下的生物作用比较明显,并且随滤速的提高,COD_{Mn}去除率下降,特

表4 过滤性能对比试验结果

Table 4 Comparison of filter performance

滤柱	1号				2号				3号			
滤速(m/h)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
平均水温(℃)	17	18	22	22	17	18	22	22	17	18	22	22
平均进水浊度(NTU)	2.47	2.24	2.29	2.73	2.11	2.20	2.19	2.67	2.20	2.25	2.09	2.42
平均出水浊度(NTU)	0.58	0.46	0.57	0.59	0.64	0.59	0.63	0.67	0.64	0.60	0.68	0.71
初始水头损失(cm)	2.1	4.2	5.5	10	4	8	10.9	14	3.8	7	10	12.7
期末水头损失(cm)	21.1	42	77.4	98	26.5	76	108	134	41	81	114.1	154.5
工作周期(h)	72	72	48	48	72	72	48	48	72	72	48	48
周期产水量(m ³ /m ²)	144	288	288	384	144	288	288	384	144	288	288	384
截留杂质质量(kg/m ²)	0.247	0.466	0.45	0.747	0.302	0.662	0.642	1.097	0.321	0.679	0.58	0.938

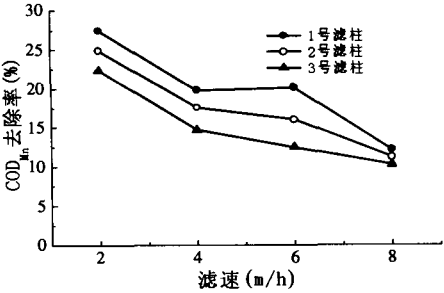


图3 滤柱 COD_{Mn} 去除率与滤速的关系
Fig.3 COD_{Mn} removal rate vs. filter speed

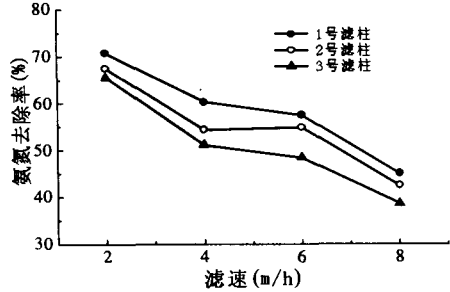


图4 滤柱氨氮去除率与滤速的关系
Fig.4 NH₃-N removal rate vs. filter speed

别是在 8m/h 滤速时, 三根滤柱的 COD_{Mn} 去除率都降低很多。滤速较高意味着水流接触时间短, 可见, 接触时间对于滤料吸附去除有机物的影响较大。图 4 表明随滤速的增加, 三根滤柱的 NH₃-M 去除率趋于下降, 且去除 NH₃-N 的能力的大小依次为 1 号, 2 号, 3 号。

此外, 在试验中检测到 1 号和 2 号滤柱在滤速 ≤4m/h 的出水 COD_{Mn} 值小于 3mg/L, 三根滤柱在滤速 ≤8m/h 时的出水 NH₃-N 值均小于 0.5mg/L。说明 1 号和 2 号滤柱的出水满足国家生活饮用水卫生标准。

下面采用生物快滤池的性能评价指标 BFI^[2] 对上述三种滤池进行综合分析, 一般地, BFI 越小则表示生物快滤池的性能越好。

对三种滤床的 BFI 过滤性能评价指标进行了对比。通过选择不同的滤池进水, 水质条件, 并根据相应的出水水质情况及利用有关公式^[2]计算的 BFI, 以此来评价生物快滤池对浊度、COD_{Mn} 和 NH₃-N 等几项指标的综合去除能力。结果表明, 在各种进水水质条件下, BFI 指标从低到高依次是: 1 号滤柱、2 号滤柱、3 号滤柱, 这说明过滤性能由高到低为: 双层 AF- 无烟煤滤料滤柱、单层 AF 滤料滤柱、双层石英砂 - 无烟煤滤料滤柱。

在模型试验的基础上, 进行了 AF 滤料的生产

性试验, 利用水厂的 6 格虹吸滤池中的 2 格单池组装成了 1 号双层 AF- 无烟煤滤料滤池, 并与 2 号双层石英砂 - 无烟煤滤料滤池在相同情况下作过滤性能和冲洗试验比较。而且在试验期间, 生产池经历了洪水季节的考验。虹吸滤池的单池面积为 8.1m², 试验的滤床构成如表 5。

表 5 生产性试验滤床构成
Table 5 Composition of filter bed

滤柱号	滤床构成	厚度(mm)	粒径(mm)		K ₈₀
1号	AF滤料	450	0.5~1.2	d ₁₀ =0.71	1.34
				d ₈₀ =0.95	
	无烟煤	350	0.8~1.8	d ₁₀ =1.09	1.32
				d ₈₀ =1.44	
2号	无烟煤	350	0.8~1.8	d ₁₀ =1.09	1.32
				d ₈₀ =1.44	
	石英砂	450	0.5~1.2	d ₁₀ =0.71	1.34
				d ₈₀ =0.95	

生产性试验的检测项目有: 过滤前后水的浊度、pH 值、水温、过滤水量、水头损失、冲洗水排水浊度、有机物、氨氮指标 (表 7 中值为每月的平均值) 等项目。

生产性试验滤池在正常运行期间得出的试验结果如表 6 和表 7 所示。

表 6 两种生产性双层滤池过滤和冲洗性能比较

Table 6 Comparison of filtration and washing performance of two dual-layer filters

指标	双层 AF- 无烟煤滤池	双层石英砂 - 无烟煤滤池	两种滤池比值
滤前水平平均浊度(NTU)	8.5	8.5	
滤后水平平均浊度(NTU)	0.6	0.8	
滤速(m/h)	4	4	
初始水头损失(cm)	4	7	1.75
期末水头损失(cm)	127	127	
水头损失增长速度(cm/h)	2.6	3.8	1.46
工作周期(h)	48	32	1.5
周期产水量(m ³ /m ²)	192	128	1.5
冲洗强度(L/s·m ²)	13.5	14.2	
冲洗时间(min)	5	5	
最终冲洗排水浑浊度(mg/L)	小于 40	小于 40	
冲洗耗水比(%)	2.11	3.33	1.58

从表 6 中可知, 在滤池进水浊度和滤速相同情况下, 双层石英砂 - 无烟煤滤料滤池的初始水头损失、水头损失增长速度、冲洗耗水比分别是双层 AF- 无烟煤滤料滤池的 1.75 倍、1.46 倍和 1.58 倍。而双层 AF- 无烟煤滤料滤池的工作周期和周期产水量是双层石英砂 - 无烟煤滤料滤池的 1.5 倍。对双层 AF- 无烟煤滤料滤池的多次实测结果表明, 在冲洗强度为 13.5L/s·m² 时, 滤池膨胀率为 40%~50%, 冲

表 7 生产性滤池有机物、氨氮检测结果

Table 7 Test results of organics and $\text{NH}_3\text{-N}$ in productive filter

日期	沉淀水		AF-无烟煤滤池滤后水		石英砂-无烟煤滤池滤后水	
	COD_{Mn} (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	COD_{Mn} (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	COD_{Mn} (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)
6月	1.84	0.81	1.50	0.15	1.52	0.23
7月	2.8	1.12	2.6	0.37	2.6	0.41
8月	2.56	1.19	0.72	0.32	0.72	0.35
9月	2.6	1.09	1.5	0.28	2.0	0.30
10月	1.68	0.89	1.12	0.23	1.12	0.26
11月	3.36	0.80	2.75	0.19	2.8	0.23
12月	2.44	0.92	1.92	0.32	1.92	0.33

洗时间仅 5min, 最终排水浊度就可达到 40 度以下。

从表 7 中可知, 双层 AF-无烟煤滤料滤池对 COD_{Mn} 和氨氮的去除率比双层石英砂-无烟煤滤料滤池对 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率高, 其出水水质优于国家饮用水标准。

当用 BFI 指标对上述两生产性滤池进行综合分析时, 双层 AF-无烟煤滤料滤池的 BFI 平均值为 0.447, 双层石英砂-无烟煤滤料滤池的 BFI 平均值为 0.792, 所以双层 AF-无烟煤滤料滤池的过滤性能优于双层石英砂-无烟煤滤料滤池。

新型 AF 滤料已成功地应用于水厂。这种新型滤料滤池反冲强度与石英砂滤池相当, 老水厂挖潜革新, 使用 AF 滤料代替石英砂滤料, 无需对原有滤池内部结构作任何变动, 而且滤池的周期产水量和出水水质可得到提高。水厂日产量为 2.3 万 m^3 , 采用 AF 滤料代替石英砂滤料后, 每年节约反冲洗水量约 10 万 m^3 , 节电约 8400kWh。对于新建水厂, 采用单层 AF 滤池和双层 AF-无烟煤滤池可以减少滤池数目, 节省基建投资和占地面积。

3 结 论

对 AF 滤料的材质分析表明: AF 滤料满足作为

滤料的要求, 而且绝大部分性能优于石英砂滤料。

双层 AF-无烟煤滤料滤床、单层 AF 滤料滤床与双层石英砂-无烟煤滤料滤床的过滤模型试验表明: 三种滤料滤床的出水浊度都在 1NTU 以下; 在 4m/h 的滤速下, 双层 AF-无烟煤滤料滤床和单层 AF 滤料滤床的 COD_{Mn} 去除率平均值分别为 21.3%、17.4% (出水 COD_{Mn} 均小于 3mg/L), $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率平均值为 61%、55% (出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均小于 0.5mg/L), 说明双层 AF-无烟煤滤料滤床和单层 AF 滤料滤床的出水均满足国家饮用水卫生标准。

生产性试验表明: 把水厂中双层石英砂-无烟煤滤料滤池改造成双层 AF-无烟煤滤料滤池, 不仅无需对原有的滤池内部结构做任何变动, 而且可提高滤池的周期产水量达 50%, 不仅能获得显著的经济效益和节能效益, 还能提高滤池的出水水质。新建水厂若采用单层 AF 滤料滤池或双层 AF-无烟煤滤料滤池, 可以减少滤池数目, 节省基建投资和占地面积。

参考文献:

- [1] 蔡全胜. 滤站优化管理与控制系统[J]. 平原大学学报, 1999, 16 (4): 90-92.
- [2] 曹相生, 孟雪征, 等. 生物快滤池的性能评价指标 BFI[J]. 中国给水排水, 2005, 21 (1): 34-36.

FILTRATION TECHNOLOGY OF A NEW AF MEDIA FILTER TO TREAT MICRO-ORGANIC-POLLUTED RAW WATER

Wang Pu¹, Liao Yi¹, Yao Yu-lin¹, He Gang¹, Ji Ding-an²

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment of Chongqing University, Ministry of Education, Chongqing 400045, China; 2. Neijiang City Water Supply and Drainage Company, Neijiang 641000, China)

Abstract: Model Experiment on filtration using the AF filter media was done to treat the micro-organic-polluted raw water from a river, followed by an industrial scale experiment. The results suggested that at the filtration rate of 4 m/h, as filled with air, the AF media filter removed 17.4% COD_{Mn} and 55% $\text{NH}_3\text{-N}$ averagely when the average content of COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ in influent were 3.4mg/L and 0.97mg/L. The dual-layer media filter made up of coal and AF media removed 21.3% COD_{Mn} and 61% $\text{NH}_3\text{-N}$ averagely. The quality of filtered water met the national drinking water quality standard. Meanwhile, the production test showed that the yield of dual-layer AF-anthracite filter was 1.5 times that of dual-layer sand-anthracite filter, and the effluent water quality of the former was better than that of the latter; the great economical benefit could be achieved.

Key words: a new AF filter media; micro-organic-polluted raw water; filtration technology; model experiment; production test