

新型复合多层滤料滤池处理微污染水的过滤技术研究

廖 熠¹, 王 圃², 姚雨霖², 计定安³

(1. 四川理工学院建筑工程系, 四川自贡 643000

2. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045 3. 内江市供排水公司, 四川内江 641000)

【摘 要】 以内江市沱江受微污染源水为研究对象, 比较三种生物活性滤料滤池(两种新型复合多层滤料滤池和瓷砂-石英砂双层滤料滤池)的挂膜情况和稳定运行期的处理效果。研究表明: 包含惰性和活性滤料(由极性和非极性滤料复合而成)并在下部设有一定厚度的石英砂出水浊度保护区的新型复合多层滤料滤池在充氧条件下, 对 COD_{Mn} 的去除率可达 22.4% ~ 29.2%, 对氨氮的去除率可达 57% ~ 92%, 其出水水质优于国家生活饮用水卫生标准, 具有较好的处理效果。

【关键词】 微污染源水; 复合多层滤料; 过滤技术

【中图分类号】 TU991.24

【文献标识码】 B

水中有机物复杂多样, 各有机物在吸附性、可生物降解性、极性或非极性、饱和链或非饱和链方面的性质都不相同。理想的滤料应该是对极性、非极性、饱和、非饱和有机物均有效的全面的平衡体系。近年来, 国内外研究得最多的是单层滤料和双层滤料。单层滤料有颗粒活性炭(GAC)、石英砂、无烟煤和陶粒等, 双层滤料有 GAC-石英砂和无烟煤-石英砂等^[2], 其性质都比较单一。基于对理想吸附材料的理解, 笔者设计了新型复合多层滤料滤池, 通过对单、双层滤料生物活性滤池的滤床结构的改善——改变单一的滤料组成, 采用极性和非极性滤料的搭配, 获得除浊和生物降解去除有机物效果均良好的过滤技术。

1 试验介绍

1.1 新型复合多层滤料滤池简介

新型复合多层滤料滤池由活性和惰性滤料复合构成滤床, 在保持滤池去除悬浮物功能的基础上, 强化了滤池去除有机物的能力。其中的活性滤料和惰性滤料均由极性和非

极性滤料复合构成。由于极性、非极性滤料的同时存在, 活性滤料能互补地吸附、去除有机物; 惰性滤料能适合多种细菌生长, 并在保证滤池生物作用的前提下降低了滤床的造价。该滤池采用空气充氧, 是一种生物滤池。

1.2 试验目的

本次试验主要对比两种新型复合多层滤料滤池和双层滤料生物活性滤池的挂膜情况和它们在充氧条件下处于稳定运行期对 COD_{Mn} 、 NH_3-N 、色度、浊度的去除情况及过滤性能, 得到复合多层滤料滤池相比于双层滤料生物活性滤池的特点。

1.3 试验装置和试验条件

1.3.1 试验装置

试验场设在内江市第二自来水厂, 包括三根滤柱的过滤系统。滤柱是无色透明有机玻璃柱, 内径 100 mm, 高 3.0 m。滤柱底部设有穿孔配气板及气水反冲洗的穿孔配气管, 气源为一台 EMA-2000 型空压机。滤床上部设有曝气头, 气源为一台 A-006 型空压机。滤柱侧面设有取样管, 与测压板

相连, 取样口间距 10 cm。滤柱系统布置示意图 1。

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, 水源水及试验进水的的水质情况如表 1 所示, 从表 1 可知, 原水中 COD_{Mn} 和 NH_3-N 都达

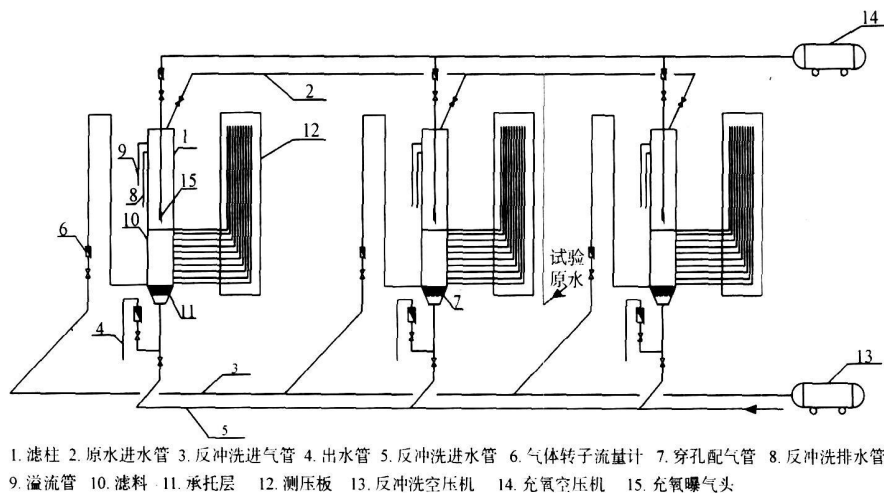


图 1 滤柱系统示意图

[收稿日期] 2007-04-13

[基金项目] 重庆市科委资助项目, 国家“九五”攻关子项目。

[作者简介] 廖熠(1980~), 女, 四川隆昌人, 助教, 硕士, 主要从事给水处理理论及技术研究。

不到国家地面水三类水体允许的标准,属于微污染水。

表 1 水厂原水及试验原水水质

项目	COD _{Mn} (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	浊度 (NTU)	色度 (度)	pH
原水	4.00~7.92	1.66~2.28	8.28~11.3	23~47	7.0~8.5
试验原水	2.9~3.81	0.42~1.09	0.8~9.99	14~43	7.0~8.0

试验所用滤料可分为吸附性能优良的活性滤料和吸附性能一般的惰性滤料,前者包括 GAC 和活性氧化铝 (AA),后者包括陶粒 (MT)、无烟煤 (MC)、氧化铝滤料 (MA)、瓷砂 (MK)、石英砂 (MSi)。三个滤柱的滤料层分别为三种类型,其中 1[#]、2[#] 是复合多层滤料滤床, GAC 和 AA 分别装填于 1[#] 柱的底层及 2[#] 柱的表层, 2[#] 柱底部还设有一定厚度的石英砂作为出水浊度保护区, 3[#] 柱是双层滤料生物活性滤床,它们的具体构成情况见表 2。

表 2 试验滤床构成

滤料	粒径 (mm)	d_{10} (mm)	K_{60}	1 [#] 柱		2 [#] 柱		3 [#] 柱	
				构成 (%)	厚度 (cm)	构成 (%)	厚度 (cm)	构成 (%)	厚度 (cm)
GAC	0.6~1.8	1.32	1.26	23		5			
AA	0.6~2.0	1.24	1.44	17		2.5			
MT	0.6~1.8	0.93	1.25	12		20			
MC	0.6~1.43	1.04	1.25	35	110	20	110		110
MA	0.6~1.25	0.68	1.28	13		2.5			
MK	0.6~2.0	0.91	1.30					50	
MSi	0.6~2.0	0.95	1.23			50		50	

1.3.2 运行条件

三滤柱的过滤周期是 72 h,采用三段式气水反冲洗。1[#]、2[#] 柱按照正交试验,选定的最佳反冲洗强度及时间如下。

第一阶段为气冲洗, $q_g = 10 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$, $t = 4 \text{ min}$; 第二阶段为气水同时冲洗, $q_q = 10 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$, $q_s = 2.5 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$, $t = 4 \text{ min}$; 第三阶段为水冲洗, $q_s = 5 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$, $t = 3 \text{ min}$ 。

2 试验结果

2.1 挂膜

试验滤柱采用自然挂膜,滤速为 2 m/h,气水比约为 1:1。挂膜期间的水温为 23~38℃, pH 值约为 7.0~8.0。进水 COD_{Mn} 为 2.5~4.5 mg/L, NH₃-N 为 0.1~5 mg/L。挂膜期间三滤柱的 COD_{Mn} 去除变化见图 2。

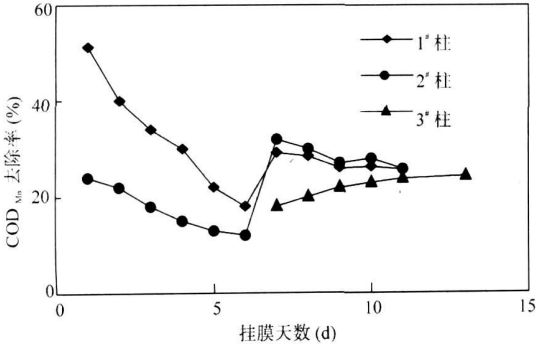


图 2 挂膜期间各滤柱的 COD_{Mn} 去除变化

2.2 稳定运行期的过滤效果

本试验检测项目有:过滤前后水的浊度、水温、COD_{Mn} 和氨氮等。经一年的运行,三滤柱对 COD_{Mn} 的去除情况见图 3 和表 3 对 NH₃-N 的去除情况和过滤性能评价见表 4、5。对色度、浊度的去除情况分别见图 4、5 和图 6。

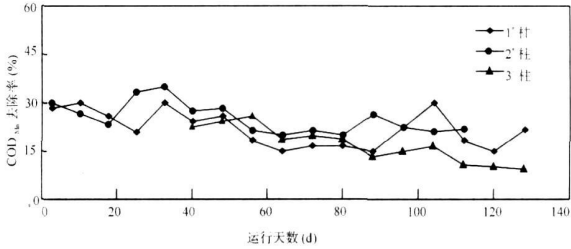


图 3 稳定运行期间各滤柱的 COD_{Mn} 去除率

表 3 各滤柱的 COD_{Mn} 去除率 (%)

项目	滤柱	最大值	最小值	平均值
COD _{Mn}	1 [#]	29.27	15.02	22.01
	2 [#]	34.30	19.96	25.07
	3 [#]	25.33	10.04	17.08

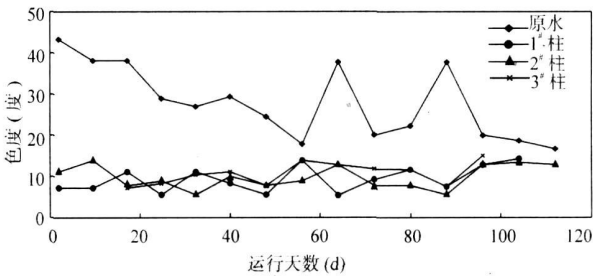


图 4 各滤柱稳定运行期间出水的色度

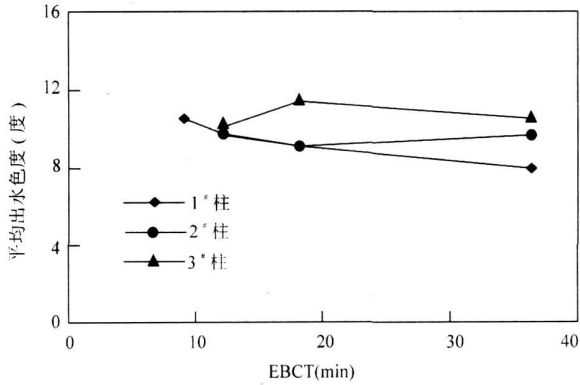


图 5 EBCT-平均出水色度

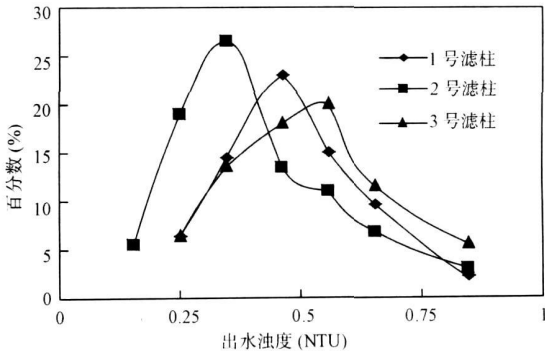


图 6 各滤柱出水浊度频率分布

表 4 各滤柱的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率 (%)

项目	滤柱	最大值	最小值	平均值
$\text{NH}_3 - \text{N}$	1 [#]	100.00	51.28	72.30
	2 [#]	97.90	45.00	68.68
	3 [#]	82.30	34.07	53.26

3 试验结果分析

图 2 表明,三滤柱的挂膜时间都比较短(1[#]、2[#]柱约 4 d,3[#]柱约 8 d),这是得益于充足的溶解氧和适宜的温度、酸碱度等环境条件。1[#]、2[#]柱的挂膜速度明显快于 3[#]柱,说明吸附性能好、孔隙容积大的滤料易于挂膜。1[#]和 2[#]柱的 COD_{Mn} 去除率在开始运行的 6 d 内(未通气)及充氧运行的最初 2 d 内都呈下降趋势,说明这段时间内生物膜尚未形成,吸附作用是去除有机物的主要机理。充氧 2 d 后,1[#]柱和 2[#]柱的 COD_{Mn} 去除率分别为 28.4% 和 26.6% (>15%), $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率分别为 82.4% 和 78.0%,以后一直比较稳定,第 4 天观察到滤料表面以下 30 cm 内滤料已呈黄褐色,表层滤料经镜检发现多种细菌,认为此时完成挂膜。

图 3 及表 3 表明, COD_{Mn} 去除率由高到低排序为 2[#]、1[#]、3[#]。3[#]柱的 COD_{Mn} 去除率低说明瓷砂作为一种微生物膜载体比不上复合型生物滤料,复合型生物滤料中极性、非极性滤料的互补搭配确能提高有机物去除率,这证明了选用极性、非极性滤料复构成滤床的合理性。而 1[#]、2[#]柱同为复合多层滤料滤床,且 1[#]柱的活性滤料(GAC、AA)量多于 2[#]柱,但其去除有机物的能力却低于 2[#]柱,这样的结果是由于生物活性滤池去除有机物的机理除了滤料的物理吸附,还有生物膜的生物吸附和生物降解作用,而且后两者还对有机物的去除起着主要作用。研究结果表明,由于沿滤床由上而下水中的溶解氧及基质浓度均在减少,因此生物量、生物膜活性也由上而下递减,滤床表层最利于细菌生长繁殖。此试验中的活性滤料 GAC 和 AA 与惰性滤料 MA 和 MT 相比,有更好的吸附性能,在 2[#]柱中放于表层,一方面可以为生长在其表面的细菌更好地富集基质和氧;另一方面又提供了大量不易被水流冲刷的孔隙给生物膜作为附着表面,所以与 1[#]柱相比,2[#]柱更有利于细菌生长的整体环境。

表 4 表明,三滤柱在进水氨氮一般为 1~5 mg/L 时对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率由大到小排序为 1[#]柱、2[#]柱、3[#]柱,去除率平均值均在 50% 以上,同双层滤料滤池相比,复合多层滤料滤池同样具有优势。1[#]柱的 COD_{Mn} 去除率低于 2[#]柱, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率却高于 2[#]柱,这与现有的理论相符。研究认为,以 COD_{Mn} 为基质的厌氧菌和以 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为基质的自养型硝化菌之间存在对溶解氧的竞争,因为硝化菌生长时间长,在对 DO 的争夺中处于劣势。据此理论,在 2[#]柱中,活性滤料处于上层更利于 COD_{Mn} 的去除,厌氧菌生长旺盛,使硝化菌可利用的 DO 减少,同时生物膜增厚也阻碍了氧向生物膜的传递,这些都相对抑制了硝化菌的生长,所以 2[#]柱的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率低于 1[#]柱。

图 4 表明,三滤柱对色度均有较好的去除,在稳定运行时它们的出水均低于 15 度,1[#]柱有半数时间出水低于 10 度。

1[#]、2[#]柱抗色度冲击负荷性能良好,在进水色度远高于 50 度时,1[#]柱出水 12 度,2[#]柱出水 13 度,均达国家生活饮用水卫生标准。图 5 表明 1[#]、2[#]柱的出水色度明显低于 3[#]柱,2[#]柱出水的色度值受 EBCT 影响较弱,而 1[#]柱的出水色度随 EBCT 的减少显著提高。

对图 6 进行概率统计,可得到在滤柱进水浊度为 1~10 NTU 时,三滤柱的平均出水浊度分别为 0.41 NTU、0.35 NTU、0.46 NTU。由运行结果可知:2[#]柱的出水浊度随着滤速的改变波动最小;1[#]柱在 2 m/h 的低滤速下出水浊度很低,但滤速增至 4 m/h 时其出水浊度明显上升,在 4~8 m/h 滤速范围内其出水浊度基本稳定;3[#]柱在 2 m/h 滤速下的平均出水浊度高于 4 m/h 和 8 m/h。

下面采用生物快滤池的性能评价指标 $\text{BFI}^{[3]}$ 对上述三种滤池的浊度、 COD_{Mn} 和氨氮等几项指标的综合去除能力进行分析。 BFI 的表达式为:

$$\text{BFI} = 10^5 \frac{\Delta L}{TVH} d \left(\frac{\text{TUR}_e \text{COD}_e}{\Delta \text{TUR} \Delta \text{COD}} + \frac{\text{AMM}_e}{\Delta \text{AMM}} \right)$$

式中: V 为滤速, m/h ; T 为过滤时间, h ; ΔL 为过滤时间 T 内的水头损失增量, m ; H 为滤床厚度, m ; d 为滤料粒径, m ; TUR_e 为滤池出水浊度, NTU; AMM_e 为滤池出水氨氮浓度, mg/L ; COD_e 为滤池出水 COD 浓度, mg/L ; ΔTUR 为滤池进、出水浊度差, NTU; ΔCOD 为滤池进、出水 COD 浓度差, mg/L ; ΔAMM 为滤池进、出水氨氮浓度差, mg/L 。

BFI 越小则表示生物快滤池的性能越好,经计算,1[#]、2[#]、3[#]滤柱的 BFI 平均值分别为 0.315、0.206、0.483,说明 2[#]柱的过滤性能最好。

4 结 论

(1) 新型复合多层滤料滤床(2[#])对 COD_{Mn} 的平均去除率为 25.07%;当进水氨氮浓度在 5 mg/L 以下时,平均去除率是 68.68%;出水色度低于 15 度;浊度平均去除率约 77.4%,平均出水浊度为 0.69 NTU,出水水质优于国家饮用水卫生标准,具有较好的处理效果。

(2) 研究结果表明,采用活性和惰性两类滤料组成的新型复合多层滤料滤床(包括 1[#]和 2[#])处理沱江微污染源水均能满足限定指标的要求(COD_{Mn} 去除率 $\geq 15\%$,在进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率 $\leq 5 \text{ mg/L}$ 条件下, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除率 $\geq 50\%$)。若采用带有砂层保护区的 2[#]滤床比 1[#]可节省 50% 左右的滤料费用,而处理效果仍能满足要求。

(3) 本过滤技术适合于城市中小型水厂,可强化现有滤池的处理效果,达到既去除水中的浊度,又去除微污染水中有机污染物的目的。

参 考 文 献

- [1] 张忠祥,钱易.城市可持续发展与水污染防治对策[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 张长,曾光明,余健.生物活性滤池处理有机微污染源水的研究与发展[J].环境科学与技术,2003,26(4):53-55.
- [3] 曹相生,孟雪征.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.