

自来水厂除锰滤池的成熟与微生物群落的研究*

朴真三 鲍志戎 李 惟

徐爱军 杨 宏 张 杰

(吉林大学分子生物学系, 长春 130023)

(中国市政工程东北设计院, 长春 130021)

摘要 为探讨自来水厂除锰滤池成熟的生物机理, 从生产滤池和实验滤柱成熟过程的不同阶段取 1000 多个水质和细菌样品进行了分析测试. 实验结果表明: 滤池(柱)的成熟过程是不同细菌有规律的增殖并固定在滤料和包埋于铁泥的过程; 当每 g 滤砂的细菌个数超过 10^4 时, 滤池(柱)才能成熟和高速除锰, 承受反冲洗强度及提高出水质量. 根据细菌数量和除锰效果, 把滤池的成熟过程分为适应期、第 1 增长期、第 2 增长期和稳定期等 4 个时期. 本文工作为加速滤池的成熟和有效除锰提供了实验依据.

关键词 地下水, 滤池, 除锰, 微生物, 成熟过程.

Study on the Maturation of the Filters in Water Plants and the Formation of Microbial Community

Piao Zhensan Bao Zhirong Li Wei

(Department of Molecular Biology, Jilin University, Changchun 130023)

Xu Aijun Yang Hong Zhang Jie

(Chinese Northeast Institute of Municipal Engineering Design, Changchun, 130021)

Abstract A great number of the bacterial and water sample was taken for study on the mechanism of maturation of the filters in water plants. The test indicated that the maturation of the filters is due to the regular reproduction of the bacteria, including the iron bacteria and some other bacteria. Not only the microbes on the filter sands, but also the microbes in the ferric mud contribute to the maturation of the filters and the quality of the water product. The maturation of the filters can be divided into four period according to the Mn-removing capacity and amount of the bacteria: adjusting period, increasing period, increasing period and stable period.

Keywords groundwater, filters, Mn^{2+} -removal, bacteria, process of maturation.

除锰滤池的成熟期一般为 2—6 个月, 而有些滤池则超过 2 年. 因此, 搞清滤池除锰的机理和缩短它的成熟期具有重要的理论和生产意义. 笔者的前期工作已经证明滤池成熟之后的除锰活性主要来源于滤砂表面的微生物^[1-2], 这与其它作者的工作^[3-4]基本相同.

本文工作的目的是通过对 2 个自来水厂的除锰滤池和滤柱的成熟过程与微生物群落的关系作深入、系统的研究, 为进一步探讨生物除锰的机理和缩短滤池的成熟期提供实验依据.

1 材料和方法

1.1 实验地点及水质情况

实验地点分别选在鞍山大赵台自来水厂和

抚顺经济开发区自来水厂. 2 水厂所用的地下水水质情况见表 1.

1.2 实验装置

(1) 大赵台锰砂试验柱 采用有机玻璃滤柱, 直径 185mm, 总高 4m, 内装粒径为 0.5—1.6mm 的广西马山锰砂(未使用过的生砂), 砂层厚 1.2m. 原水由高位水箱进入滤柱, 跌水高度 45cm.

(2) 大赵台石英砂试验柱 采用有机玻璃滤柱, 直径 135mm, 总高 4m, 内装粒径为 0.5—1.6mm 的山东龙口石英砂(未使用过的生砂),

* 国家建设部“八五”科技攻关项目(编号: 85-05-02)

朴真三: 男, 53 岁, 硕士, 教授

收稿日期: 1997-06-06

表 1 地下水水质

项 目	大赵台水源水	抚顺水源水
水温/	11	9
浑浊度/度	12	40
色度/度	15	10
总铁/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.5	8.00
$\text{Mn}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.9	1.40
pH	6.8	6.9
总硬度/德	9.28	7.77
耗氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.42	0.560
$\text{CO}_2/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	32.17	28.34
$\text{DO}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.0- 2.0	0.90
$\text{SiO}_2/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	18.00	20.00
$\text{HCO}_2^-/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	176.93	139.61
$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.124	0.20
$\text{NO}_2^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	未检出	未检出
$\text{NO}_3^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.117	未检出
$\text{Ca}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	49.70	42.70
$\text{Mg}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	10.21	7.82
$\text{TP}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.24	

砂层厚 1.2m. 原水由高位水箱进入滤柱, 跌水高度 45cm.

(3) 抚顺锰砂滤池 截面积 $3.3\text{m} \times 3\text{m}$, 砂层厚 1.2m, 内装粒径为 0.5– 1.9mm 的广西马山锰砂. 该滤池在试验前已运行 1 年, 但始终未能成熟.

(4) 抚顺锰砂试验柱 同大赵台锰砂柱.

1.3 细菌计数

- (1) 铁细菌培养基 见文献[1].
- (2) 亚硝化菌、硝化菌的培养基及鉴定法见文献[5].
- (3) 计数法 MPN 法, 具体参见文献[6]. 计数所用砂样, 除特别指出外, 均为相应滤柱滤池表层滤砂.

1.4 出水 Mn^{2+} 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 定量分析方法详见文献[7]. 未检出时以 0 计.

2 结果与讨论

2.1 滤池(柱)的成熟过程与铁细菌数量变化

图 1 表明了大赵台石英砂柱成熟过程中原水锰含量、滤后水锰含量、滤速和反冲洗水中铁细菌数随时间变化的情况.

从图 1 曲线 b、c 上可以看出, 滤柱的成熟

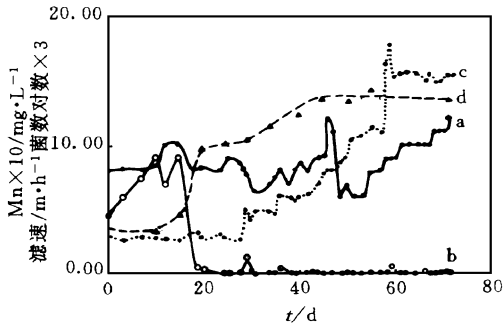


图 1 大赵台石英砂柱成熟情况
a. 原水 Mn 含量($\times 10\text{mg}/\text{L}$) b. 滤后水 Mn 含量($\times 10\text{mg}/\text{L}$) c. 滤速(m/h) d. 铁细菌数对数($\times 3$)

过程基本可以分为 4 部分, 即适应期(0– 15d, 无明显除锰), 第 1 增长期(15– 30d, 低滤速下除锰率上升至 100%), 第 2 增长期(30– 50d, 此时在完全除锰的情况下可不断提高滤速)和稳定期(50d 以后, 此时可在 $15\text{m}/\text{h}$ 的高滤速下完全除锰). 而反冲洗水中的铁细菌的对数增长期是 15– 30d(曲线 d).

反冲洗水中的细菌, 并不是固定在滤砂上的, 而是吸附或包埋在由滤砂所截留的铁泥(铁的氧化物、氢氧化物等形成的铁锈色粘泥)中的. 这部分细菌的对数增长期与滤柱第 1 增长期在时间上一致, 说明滤柱最初的活性增长不是来源于滤砂表面的细菌增长, 而是铁泥中细菌的增长. 由于培养初期, 滤速较低、反冲洗较弱, 铁泥可以相对稳定地存在于滤柱中, 其中的细菌在适当的条件下, 就可以繁殖起来并去除地下水中的 Mn^{2+} . 但此时提高滤速和反冲洗强度, 将使滤柱的除锰能力下降. 表 2 中的数据说明了这一点.

此时尚不能认为滤柱已成熟, 滤柱还需要一段时间才能承受较大的滤速和反冲洗强度. 这段时间正是细菌固定在滤砂上的时间.

图 2 表明了抚顺锰砂滤池的原水、滤后水锰含量、滤速和滤砂上计到的铁细菌数随时间变化的情况. 可以看到, 滤砂上吸附的铁细菌的对数增长期落后于滤池成熟的第 1 增长期, 而与第 2 增长期一致. 这一现象证实了上面的观点.

表 2 大赵台石英砂柱成熟期的部分数据

<i>t</i> /d	滤速	原水[Mn ²⁺]	滤后水[Mn ²⁺]
	/m·h ⁻¹	/mg·L ⁻¹	/mg·L ⁻¹
27	2.93	0.80	0
28	2.62	0.85	0
29	4.92	0.80	0.13
31	4.74	0.65	0
36	4.78	0.70	0
37	5.98	0.80	0.04
38	5.80	0.70	0
40	5.70	0.80	0
41	6.08	0.80	0.02
43	6.88	0.90	0
57	16.29	0.90	0
58	17.62	1.00	0.05
59	15.17	1.00	0

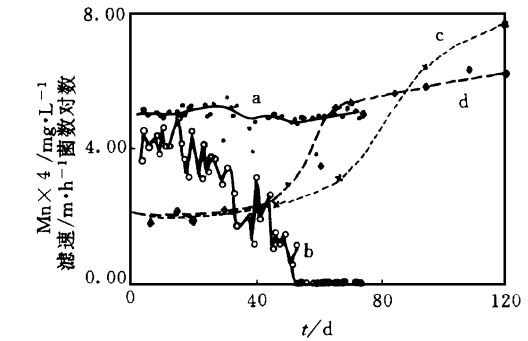


图 2 抚顺锰滤池成熟情况

a. 原水 Mn 含量(×4mg/L) b. 滤后水 Mn 含量(×4mg/L) c. 滤速(m/h) d. 铁细菌数对数(×3)

图 3 表明了大赵台锰砂柱成熟过程中原水、滤后水锰含量、滤速及反冲洗水中铁细菌数随时间变化的情况。通常, 锰砂在使用初期对 Mn²⁺ 有很强的吸附能力(是石英砂的 500 倍), 因此在最初的 20–30d, 滤池能有效地除锰, 但吸附饱和后, 如果滤池仍未成熟, 则其除锰率会急剧下降直至为 0^[1], 比如抚顺滤池在实验开始前的情况。从图 3 上可以看出, 该柱的除锰率始终为 100%。这说明, 在适当的培养条件下, 锰砂滤池的成熟期完全可以与吸附期衔接起来, 避免吸附期后水质下降的情况。由于该柱不存在除锰率上升期, 因此不能将反冲洗水中铁细菌对数增长期与之进行对照。不过, 该对数期超前于滤速提升期, 这一点与图 1、图 2 是一致

的。

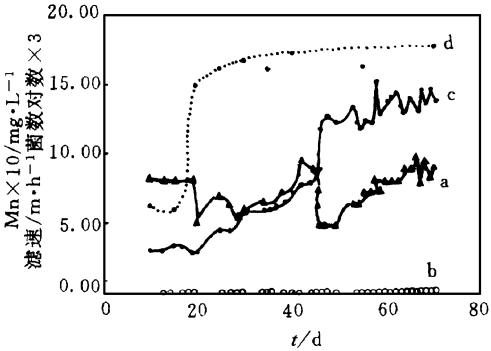


图 3 大赵台锰砂柱成熟情况

a. 原水 Mn 含量(×10mg/L) b. 滤后水 Mn 含量(×10mg/L) c. 滤速(m/h) d. 铁细菌数对数(×3)

2.2 铁细菌在滤池(柱)中的分布

表 3、表 4 表明抚顺锰砂柱和锰砂池中不同深度的滤砂上的铁细菌数。可以看到, 随着深度加大, 铁细菌数不断减小。这可能是由于随着深度增加, 营养物质供应逐渐减少, 不利于细菌的繁殖。同时, 铁泥对滤池(柱)的穿透力是有限的, 深层滤砂中的铁泥较少, 因而细菌初步繁殖的场所也较少。

表 3 抚顺锰砂滤柱中铁细菌的分布

砂层深度/mm	铁细菌数量/个·g ⁻¹
0	2.20×10 ⁶
370	1.50×10 ⁵
740	1.90×10 ⁴
980	1.90×10 ²

表 4 抚顺锰砂滤池中铁细菌的分布

砂层深度/mm	细菌数量/个·g ⁻¹
0	1.40×10 ⁵
300	1.60×10 ⁴
600	5.00×10 ³

2.3 其它微生物在滤池(柱)成熟过程中的变化

除铁细菌外, 其它微生物在滤池(柱)成熟过程中也在发生变化, 其中有些细菌, 如亚硝化菌和硝化菌的变化, 对滤后水的水质有较大的影响。图 4 表明大赵台锰砂柱成熟过程中亚硝化菌、硝化菌的数量及原水、滤后水 NO₂⁻ 含量的变化情况。表 5 反应了相对应的原水、滤后水

中 NH_4^+ 和 NO_3^- 的含量。

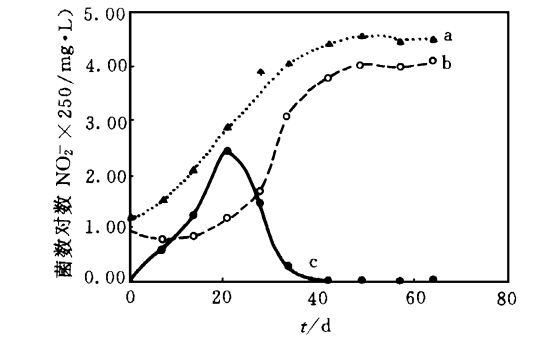
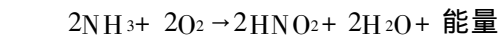


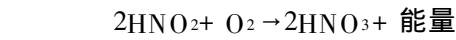
图 4 大赵台锰砂柱成熟过程中亚硝化菌、硝化菌的数量及滤后水 NO_2^- 含量的变化情况
a. 亚硝化菌数对数 b. 硝化菌数对数
c. 滤后水 NO_2^- 含量($\times 250\text{mg/L}$)

表 5 大赵台锰砂柱原水、滤后水中 NH_4^+ 和 NO_3^- 的含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$				
t/d	原水 [$\text{NH}_4^+ - \text{N}$]	原水 [$\text{NO}_3^- - \text{N}$]	滤后水 [$\text{NH}_4^+ - \text{N}$]	滤后水 [$\text{NO}_3^- - \text{N}$]
3	0.020	0.900	微量	0.225
10	0.020	0.180	微量	0.270
17	0.040	0.240	微量	0.135
23	0.100	0.450	未检出	0.360
38	0.080	0.350	微量	0.045
46	0.100	0.450	未检出	0.045
53	0.100	0.225	未检出	0.180

亚硝化菌和硝化菌是 2 类化能自养细菌, 分别催化如下的化学反应并从中获得能量:
亚硝化菌:



硝化菌:



由于原水中只存在 NH_4^+ , 不存在 NO_2^- , 所以在滤柱培养初期, 亚硝化菌首先增殖并产生 NO_2^- , 随着亚硝化菌的增殖, 水中 NO_2^- 浓度逐渐上升, 硝化菌也开始增殖. 由于硝化菌的增殖落后于亚硝化菌, 导致在这期间滤后水中 NO_2^- 含量的上升, 影响了水质. 随着硝化菌的不断增

加, 2 种细菌的数量逐渐达到平衡, 滤后水中的 NO_2^- 浓度开始下降并最终降为 0. 亚硝化菌和硝化菌形成了共生关系.

3 小结

(1) 除锰滤池(柱)的成熟, 是整个滤池(柱)系统中微生物群落增殖并达到平衡的过程. 从微生物种类的角度看, 它包括具有 Mn^{2+} 氧化能力的细菌和其它许多适于在滤池(柱)环境中生长的微生物, 这些微生物之间存在着诸如共生等复杂的相互关系. 从微生物分布位置来看, 滤池(柱)的成熟并不只是滤砂表面固定的微生物的增长, 而是包括了在铁泥中的微生物的增长. 滤后水的水质, 包括锰含量和其它一些指标, 是由滤池(柱)系统中各不同位置的各种各样的微生物共同决定的.

(2) 根据细菌数量和除锰效果, 把滤池的成熟过程分为 4 个时期, 当每 g 滤砂的细菌个数超过 10^4 时, 滤池(柱)才能成熟和高速除锰.

(3) 原水中的 Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ 和 O_2 为化能自养菌的生长提供了能量, 而 HCO_3^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} 等提供了必要的物质基础.

参 考 文 献

- 1 朴真三, 李惟等. 鞘铁菌固锰的生化分析. 吉林大学自然科学学报, 1991, 3: 107- 110
- 2 鲍志戎, 李惟等. 自来水厂除锰滤料的催化活性分析. 环境科学, 1997, 18(1): 38- 41
- 3 Vandenabeele J, D de Beer et al. Manganese Oxidation by Microbial Consortia from Sand Filters. Microb. Ecol., 1992, 24: 91- 108
- 4 Seppanen H T. Experience of Biological Iron and Manganese Removal in Finland. JIWEM, 1992, 6: 333- 341
- 5 陈绍铭, 郑福寿. 水生微生物学实验方法(上册). 北京: 海洋出版社, 1985: 80- 83
- 6 俞毓馨, 吴国庆等. 环境工程微生物检验手册. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 138- 142
- 7 宋仁元, 张自杰等译. APHA, AWWA & WPCF 合编. 水和废水标准检验法(第 15 版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1985: 194- 195, 324- 352