

生物除铁除锰滤池对砷(Ⅲ)的去除效果

刘晓天¹, 李冬^{1,2}, 曾辉平¹, 张杰¹

(1. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090;

2. 北京工业大学 水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100124, lidong2006@bjut.edu.cn)

摘要: 采用人工配制的含有 As (Ⅲ) 30 ~ 200 $\mu\text{g/L}$, Fe^{2+} 0.5 ~ 1.50 mg/L, Mn^{2+} 0.6 ~ 2.0 mg/L 的原水, 通过已经培养成熟的生物除铁除锰滤柱进行过滤实验, 分别考察了 3、4、5 m/h 滤速条件下砷的去除效果. 结果表明: 在原水中砷质量浓度低于 200 $\mu\text{g/L}$ 的情况下, 生物除铁除锰滤池的铁锰去除能力基本不受砷的影响, 并且砷的去除效果明显, 去除率在 95% 以上. 经过滤柱分层取水实验, 发现砷的去除集中在 0 ~ 660 mm 的滤层厚度. 在反冲洗后, 短时期内砷和铁有超标的现象.

关键词: 生物滤池; 砷; 除铁; 除锰

中图分类号: TU991.2

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)06-0873-03

Arsenic(Ⅲ) removal by biofilter for iron and manganese removal

LIU Xiao-tian¹, LI-Dong^{1,2}, ZENG Hui-ping¹, ZHANG Jie¹

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Key Laboratory of Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China, lidong2006@bjut.edu.cn)

Abstract: In this research, the removal efficiency of As (Ⅲ) by biofilter was studied under filtration velocity of 3, 4 and 5 m/h respectively, using well-established biofilter column and synthetic raw water which contains As (Ⅲ), Fe(Ⅱ) and Mn(Ⅱ) in the concentration of 30 ~ 200 $\mu\text{g/L}$, 0.5 ~ 1.5 mg/L and 0.6 ~ 2.0 mg/L, respectively. The results indicate that the removal efficiency of biofilter on As (Ⅲ) can be over 95%, and it is not affected by As with the concentration below 200 $\mu\text{g/L}$ in the raw water. The capability of arsenic removal of the biofilter is found to concentrate in the filter bed with deepness of 0 ~ 660 mm after measuring the samples from different sampling places. And As (Ⅲ) and Fe(Ⅱ) will exceed the standards for a short time after back-washing.

Key words: biofilter; arsenic; iron removal; manganese removal

砷是一种对人和动物有毒害作用的物质, 不仅可以引起急性、慢性中毒, 还可以呈现致癌作用^[1], 主要通过饮用水的途径进入人体. 2003 年, 欧盟将饮用水中砷的标准由 50 $\mu\text{g/L}$ 修改为 10 $\mu\text{g/L}$. WHO 也采用这一标准. 我国新的 GB 5749-2006《生活饮用水卫生标准》中也已将砷标准由原来的 50 $\mu\text{g/L}$ 修改为 10 $\mu\text{g/L}$. 在我国, 受到高砷饮用水危害的人数众多^[2]. 采用沉降及共沉

降、吸附等方法处理时, As (Ⅲ) 的去除效果较差^[3].

生物除铁除锰技术是一种有效的去除地下水中铁锰的方法, 在我国北方得到了广泛应用^[4-6]. 地下水中一般存在较多的金属离子和无机盐, 在很多情况下, As (Ⅲ)、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 共同存在于地下水中, 因此, 本研究旨在考察生物除铁除锰滤池对 As (Ⅲ) 的去除效果.

1 试验

1.1 试验装置

实验装置见图 1. 试验滤柱采用有机玻璃柱, 滤柱高为 2 500 mm, 直径为 60 mm, 卵石承托层厚

收稿日期: 2010-03-01.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07424-005-003).

作者简介: 刘晓天(1985—), 男, 硕士研究生;

张杰(1938—), 男, 教授, 中国工程院院士.

度为 300 mm, 滤层厚度为 1 200 mm, 滤料采用粒径为 0.5 ~ 1.2 mm 的普通石英砂. 在有机玻璃柱上从底端开始每隔 200 mm 设一个水样取样口, 共 10 个. 该滤柱为已经培养成熟的生物除铁除锰滤柱, 除铁除锰效果良好.

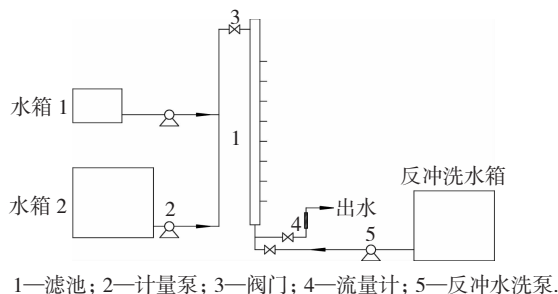


图1 试验装置

1.2 原水水质

试验中原水采用人工配制的方法, 向静置 24 h 以上的自来水中投加一定浓度的 MnSO_4 溶液、 FeSO_4 溶液、As(III) 溶液 (由 NaAsO_2 配制), 模拟天然水体含有 As(III)、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 的情况. 水箱 2 中为自来水, 水箱 1 中为一定浓度的含 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、As(III) 的储备液. 两个水箱的水经过计量泵输送到静态混合器进行混合后, 形成原水, 原水中 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、As(III) 的浓度可以通过计量泵进行调节. 试验中原水的其他性质如下, 温度为 15 ~ 17 °C, pH 值为 6.5 ~ 7.0, 浊度 3.3 ~ 3.7 NTU, DO 为 6.4 ~ 6.9 mg/L.

1.3 试验过程

控制滤柱的运行工况分别在 3, 4, 5 m/h 的滤速下, 每 24 h 从取样口取水样, 测 Fe、Mn、As(III) 的浓度, 考察滤柱在不同的滤速下对 As(III) 的去除效果, 以及在不同的滤层深度各目标物质的去除效果.

开始运行阶段, 为减小 As(III) 对滤层内生物产生的冲击, 采用较低的进水 As(III) 浓度及较小的滤速 (2 m/h), 并延长反冲洗周期, 减小反冲洗强度. 在稳定运行后采用 3 ~ 5 m/h 的滤速, 反冲洗强度 $8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, 反冲洗时间 3 min, 反冲洗周期 72 h.

1.4 分析项目及方法

pH 值由 pH S-3C 型酸度计 (上海雷磁仪器厂) 进行测定, 测定前用标准 pH 缓冲溶液进行校正. DO 的测定采用溶解氧仪 (WTW, oxi315i). As(III)、Fe、Mn 浓度检测: 水样经 0.45 μm 的滤膜过滤后, 酸化至 $\text{pH} < 1$, 采用 ICP-OES (Perkin Elmer, Optima 5300DV) 测定.

2 结果与讨论

2.1 长期运行效果

在对滤池两个月的运行效果观测中, 滤池对

As(III)、Fe、Mn 均有很好的去除效果 (见图 2 ~ 4), 出水均达到 GB5749-2006《生活饮用水卫生标准》的水质指标. 从图 2 ~ 4 可以看出, 在滤速由 2 m/h 增加到 5 m/h, As(III) 的质量浓度从 30 $\mu\text{g}/\text{L}$ 逐渐增加到 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 的过程中, 滤柱的出水 Fe、Mn 质量浓度一直能够达标 (国家标准: Fe 0.3 mg/L, Mn 0.1 mg/L), As(III) 的加入没有影响原滤柱对 Fe、Mn 的去除效果, 并且出水中 As 的浓度也一直能够达标. 图 4 中在滤速 5 m/h, 进水 As(III) 质量浓度 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 的运行工况下, 出水 As 的质量浓度接近 10 $\mu\text{g}/\text{L}$, 说明在 5 m/h 的滤速下, 且原水铁锰离子质量浓度在 1 ~ 2 mg/L 波动时, 生物除铁除锰滤柱的极限除 As(III) 质量浓度为 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 左右.

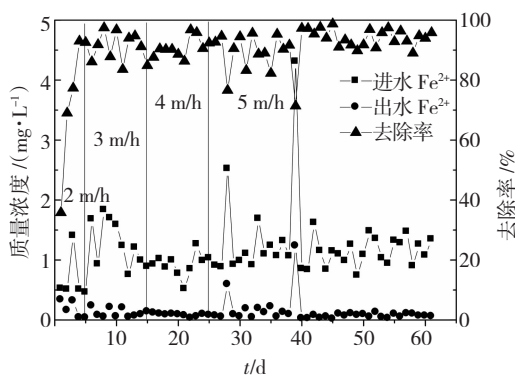


图2 长期试验铁的去除效果

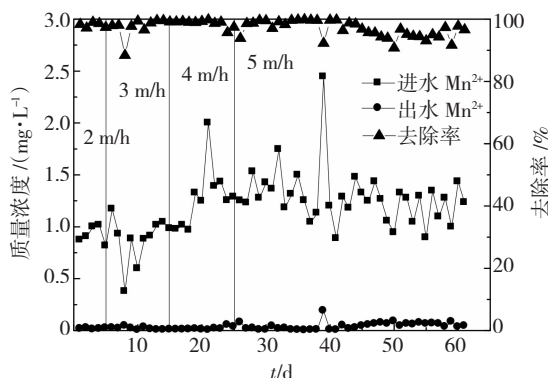


图3 长期试验锰的去除效果

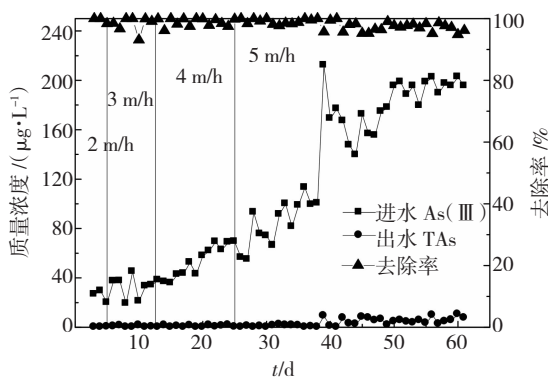


图4 长期试验砷的去除效果

2.2 不同滤层厚度的 Fe、Mn、As(Ⅲ) 去除效果

分别在滤层深度为 200,460,660,860,1 060,1 200 mm 处取水样测定 Fe,Mn,As 的浓度,结果如图 5 所示.

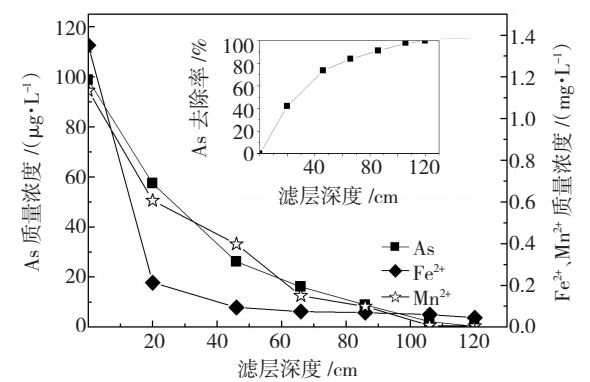


图5 不同滤层深度对 As(Ⅲ) 的去除效果

在 As(Ⅲ) 初始质量浓度 98.5 μg/L, pH = 6.8,溶解氧为 6.5 mg/L 的初始条件下,考察滤层中 Fe、Mn、As(Ⅲ) 的去除效果.从图 5 可以看出,Fe 在 0~200 mm 的滤层深度内很快被去除,在滤层中 0~660 mm 的深度范围内,As 的浓度下降很快,去除率达到 83.73%,到 1 200 mm 的滤层深度时,去除率为 99.72%. Mn 的分层去除效果与 As 几乎一致,都是在滤柱上部(0~660 cm)得到大部分去除.

2.3 滤速对 As(Ⅲ) 去除效果的影响

考察了在 As(Ⅲ) 初始浓度 100 μg/L 左右, pH = 6.8,溶解氧 6.5 mg/L 的初始条件下,滤速分别为 3,4,5 m/h 时,滤柱对 As(Ⅲ) 的去除效果.从图 6 可以看出,在 3 种滤速下,As(Ⅲ) 的最终去除效果相差不大,尽管在滤速 5 m/h 时去除率稍有降低,但是出水 As 质量浓度依然达到 10 μg/L 以下.由此可见,在实验条件下,滤池去除 As(Ⅲ) 的极限滤速可以达到 5 m/h 以上.

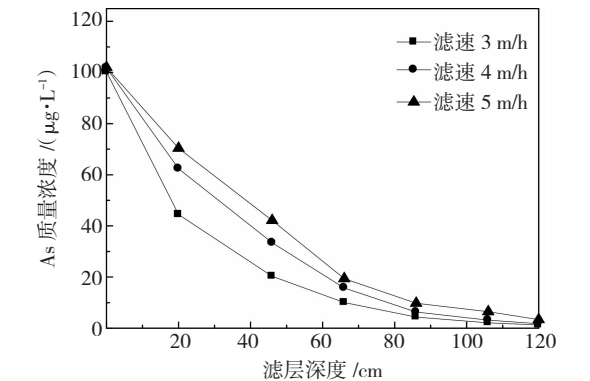


图6 不同滤速下 As(Ⅲ) 的去除效果

2.4 反冲洗对滤柱除砷效果的影响

考察了反冲洗后 5,10,20,30 min 时,滤池出

水 Fe、Mn、As 的浓度,如图 7 所示.可以看出,在滤柱反冲洗后的 5 min 内,出水 Fe 的浓度超标;在反冲洗后 20 min 内,出水 As 的浓度超标.

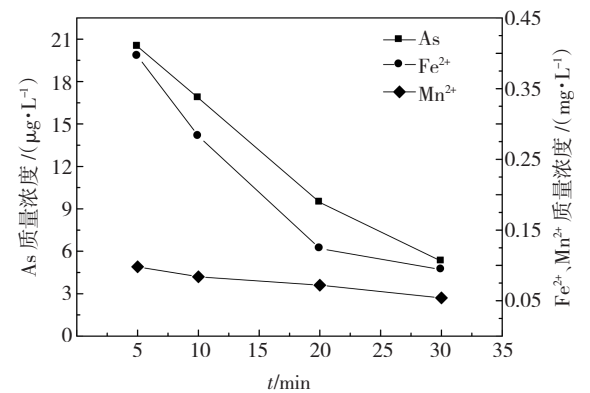


图7 反冲洗后 As(Ⅲ)、Fe、Mn 的去除效果

3 结 论

1)在实验水质条件下,生物除铁除锰滤池能够实现 对 Fe、Mn、As(Ⅲ) 的良好去除,As(Ⅲ) 的去除率在 95% 以上.当进水 As(Ⅲ) 质量浓度 200 μg/L 时,生物滤柱运行的极限滤速为 5 m/h.

2)生物除铁除锰滤池对 As(Ⅲ) 的去除起主要作用的滤层深度为 0~660 mm;反冲洗强度 8 L/(s·m²),反冲洗周期 72 h 的条件下,反冲洗后 20 min 内,出水 As 的浓度会出现超标,出水 Mn 的浓度一直能够达标.

参考文献:

[1] GROEN K, HAMG V, JJG K, *et al.* bioavailability of inorganic arsenic from bogore-containing soil in the dog[J]. Enviromental Health Perspectives, 1994, 102 (2): 182 - 184.

[2] 张 岚,陈昌杰.我国高砷饮用水的地理分布与暴露人群[J]. 卫生研究,1997,26(5):310 - 313.

[3] MEEA Kanga, HONG Chenb, YUKO Satoc, *et al.* Rapd and economical indicator for evaluating arsenic removal with minimum aluminum residual during coagulation process [J]. Water Research, 2003, 37 (19): 4599 - 4604.

[4] 李 冬,杨 宏,张 杰. 生物滤层同时去除地下水 中铁、锰离子研究[J]. 中国给水排水,2001,17 (8): 1 - 5.

[5] 李 冬,杨 宏,张 杰. 首座大型生物除铁除锰水 厂的实践[J]. 中国工程科学,2003,5 (7): 53 - 57.

[6] 李 冬,张 杰,陈立学,等. 生物除铁除锰在地下水 处理厂的应用[J]. 中国给水排水, 2004, 20 (12): 85 - 88.

(编辑 杨 波)