

# 凹凸棒复合滤料生物过滤去除 $Fe^{2+}$ 性能研究

申明杨<sup>1</sup>, 王郑<sup>1</sup>, 刘璐<sup>2</sup>, 杨铠诚<sup>2</sup>, 卢霞<sup>1</sup>, 孙海<sup>1</sup>, 田龙杰<sup>1</sup>, 马磊<sup>1</sup>

(1.南京林业大学 土木工程学院, 江苏南京 210037;  
2.南京林业大学 南方学院, 江苏南京 210037)

**摘要:** 利用凹凸棒复合滤料良好的吸附和生物挂膜性能对普通滤池进行生物强化, 研究生物过滤对原水中  $Fe^{2+}$  的去除效果及影响因素。实验结果表明: 原水溶解氧在 3 mg/L 左右,  $Fe^{2+}$  的去除率达到 90% 以上; 温度在 13.9 °C~22.3 °C 时,  $Fe^{2+}$  去除率达到 93% 以上; 滤速越低, 生物过滤对  $Fe^{2+}$  的去除率越高, 4 m/h 为本实验研究的最佳水力负荷; 原水中  $Fe^{2+}$  浓度在 2 mg/L 以下时, 出水的  $Fe^{2+}$  浓度可以达到 0.15 mg/L 以下。反冲洗对生物过滤去除  $Fe^{2+}$  的影响较小, 去除率在冲洗 2 h 后能够恢复到冲洗前的水平。

**关键词:** 凹凸棒复合滤料; 生物过滤;  $Fe^{2+}$ ; 性能研究

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2010)04-0030-04

## PERFORMANCE STUDY ON REMOVAL OF $Fe^{2+}$ BY BIOFILTRATION USING ATTAPULGITE COMPOSITE FILTER

SHEN Ming-yang<sup>1</sup>, WANG Zheng<sup>1</sup>, LIU Lu<sup>2</sup>, YANG Kai-cheng<sup>2</sup>,  
LU Xia<sup>1</sup>, SUN Hai<sup>1</sup>, TIAN Long-jie<sup>1</sup>, MA Lei<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

2. South College, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China )

**Abstract:** The test used attapulgite composite filter with its good absorption and biofilm performance on enhanced biological filter instead of normal filter to study the biofiltration on the effect of  $Fe^{2+}$  removal from raw water and influencing factors. Experimental results showed that:  $Fe^{2+}$  removal rate was over 90% when the raw water with 3mg/L dissolved oxygen left.  $Fe^{2+}$  removal rate reached 93% with temperature of from 13.9°C to 22.3°C. Biofiltration on the  $Fe^{2+}$  with higher removal efficiency when filtration rate lower and the best hydraulic loading was 4m/h. Raw water concentration of  $Fe^{2+}$  below 2mg/L, the effluent of the  $Fe^{2+}$  concentration was below 0.15mg/L. Backwashing had little effect on biofiltration removal of  $Fe^{2+}$  and the removal rate can restore after 2h of backwashing.

**Keywords:** attapulgite composite filter; biofiltration;  $Fe^{2+}$ ; performance study

自 20 世纪 80 年代以来, 国外在研究传统的自然曝气过滤除铁的过程中发现生物氧化除铁具

有处理效率高、出水水质稳定、过滤周期长和对水质适应范围广等优点<sup>[1]</sup>。生物过滤除铁是利用铁细菌的吸附、催化氧化作用除铁。铁细菌能分泌氧化还原酶, 附着在细胞外将二价铁氧化成不溶性的氢氧化合物, 部分铁细菌将其吸附到细胞体内在

氧化,以获取生物生长繁殖所需的能量<sup>[2]</sup>。本研究利用凹凸棒复合滤料良好的吸附和生物挂膜性能对普通滤池进行生物强化<sup>[3]</sup>,对微污染源水进行生物过滤试验,探讨了溶解氧,温度,水力负荷以及原水中铁浓度对生物过滤除铁的影响,为凹凸棒复合滤料在实际工程中的应用提供理论依据。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验药品及仪器

药品:硫酸亚铁铵,硫酸亚铁,邻菲罗啉,冰乙酸,乙酸铵。

仪器:BS224 精密天平(德国 SARTORIUS 公司),QUANTA 200 扫描电子显微镜(SEM)(荷兰 FEI 公司),UV752 紫外-可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司),PHS-3C 型精密 PH 计(上海精密科学仪器有限公司)。

### 1.2 吸附剂表征

本实验研究所用凹凸棒复合滤料由江苏正本净化节水科技实业有限公司生产。滤料以天然凹凸棒土作为主要原料,提取凹凸棒石中具有纤维状的纳米级矿物成分,加入活性炭等材料经过复配、造粒、焙烧、活化等工艺加工制成,滤料主要物理性能指标见表 1,凹凸棒复合滤料的扫描电镜(SEM)图见图 1。

表 1 凹凸棒复合滤料的主要物理性能指标

性能指标	粒径范围	松散密度	平均孔径	比表面积	K <sub>50</sub>
	/mm	/(g·cm <sup>-3</sup> )	/nm	/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	
值	2.0~2.5	1.25	128	11.86	<1.2

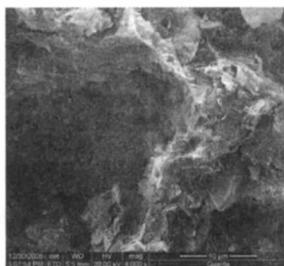


图 1 凹凸棒复合滤料的扫描电镜图(4000×)

### 1.3 实验装置与方法

以有机玻璃滤柱模拟实际生产中的滤池(图 2),滤柱直径为 100 mm,高 3 m,上层凹凸棒复合滤料的高度为 80 cm;下层石英砂滤料的高度为 40 cm,粒径为 0.6~1.2 mm,平均粒径为 0.8 mm,

不均匀系数 K<sub>80</sub><1.1;承托层(卵石)高度为 20 cm,粒径为 8~12 mm。试验采取下向过滤方式,滤后水由水箱收集,反冲洗从水箱中抽水对滤柱进行冲洗。在生物滤柱中采取表面微曝气,为附着在凹凸棒滤料表面和内部的微生物提供氧气。Fe<sup>2+</sup>的检测采用邻菲罗啉分光光度法<sup>[4]</sup>。

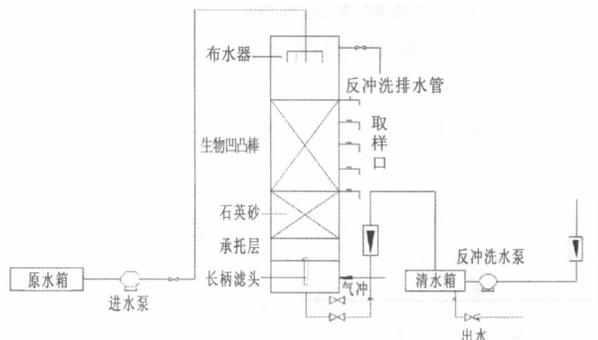


图 2 实验装置简图

## 2 实验结果与分析

### 2.1 溶解氧浓度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

滤速为 8 m/h 时,溶解氧浓度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响如图 3 所示。

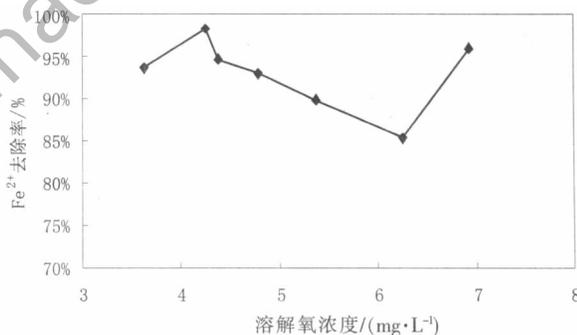


图 3 溶解氧浓度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

由图 3 可知,原水溶解氧浓度在 3.62mg/L~5.5mg/L 时,Fe<sup>2+</sup>的去除率达到 90% 以上,当溶解氧达到 7 mg/L 时去除率达到 95% 以上。DO 浓度为 3.62 mg/L 时,生物过滤去除率达到 93.7%,这与文献<sup>[5]</sup>中生物滤池除铁,原水溶解氧维持在 3 mg/L 左右即可满足运行要求的结论相符合。在 4.38~6.38 mg/L 时去除率出现下降,主要原因可能是随着溶解氧的增加,进水中 Fe<sup>2+</sup>部分氧化成 Fe<sup>3+</sup>,使得进水中实际测得 Fe<sup>2+</sup>的浓度较小,去除率相对降低。而当 DO 达到 7mg/L 时,由于溶解氧含量较高,原水中的 Fe<sup>2+</sup>被大量氧化成 Fe<sup>3+</sup>,再经过生物滤池的生物过滤,对 Fe<sup>2+</sup>的去除率达到 96.05%,此时生物氧化作用起的作用较小,滤柱

除铁可能主要是物理化学氧化所致，这一实验结果与 Chiorse<sup>[6]</sup>的研究结论是一致的，Chiorse 认为，在 DO 较高、pH 值为 7 左右的条件下，Fe<sup>2+</sup>的生物氧化不会是主要的，除非 pH 值较低(pH 值 5~6)。通过上述分析可知，凹凸棒复合滤料生物过滤除 Fe<sup>2+</sup>，溶解氧在 3 mg/L 左右时即可满足运行要求。

### 2.2 温度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

滤速为 8m/h 时，温度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响如图 4 所示。

由图 4 可知，当水温在 12.9 °C ~ 13.8 °C 时，

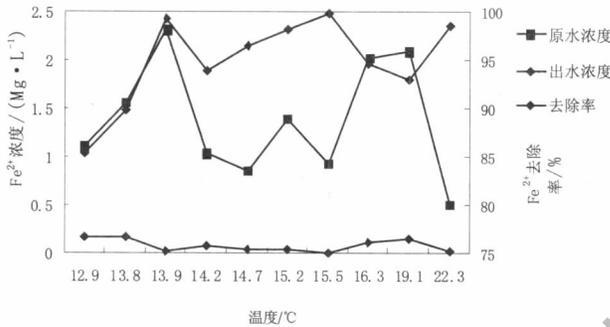


图 4 温度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

凹凸棒复合滤料生物过滤对 Fe<sup>2+</sup>的去除率为 85.26 %~89.83 %;当水温在 13.9 °C ~ 22.3 °C 时，尽管进水 Fe<sup>2+</sup>浓度波动比较大，但是出水浓度都在 0.15mg/L 以下，去除效率均在 93 % 以上。综合各温度条件下凹凸棒复合滤料生物过滤对 Fe<sup>2+</sup>的去除率，温度对 Fe<sup>2+</sup>去除率有影响，但影响不是很显著。同时说明除铁微生物在 12.9 °C ~ 22.3 °C 范围内能够大量的生长繁殖，满足生物过滤除铁对微生物的生物量和生物活性的需要。

### 2.3 水力负荷对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

水力负荷对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响如图 5 所示。由图 5 可知，当水力负荷为 8 m/h 时，对 Fe<sup>2+</sup>

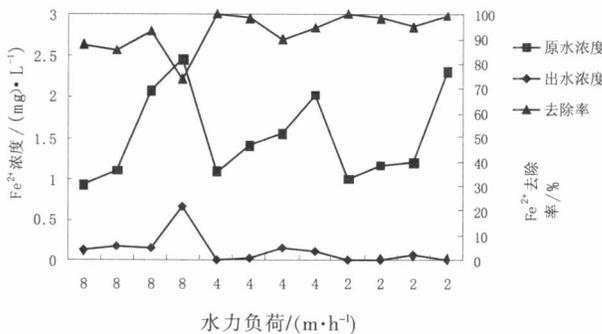


图 5 水力负荷对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

的平均去除率为 84.93 %; 当水力负荷为 4 m/h 时，平均去除率为 95.64 %; 当水力负荷为 2 m/h 时，平均去除率为 98.18 %。由此可知，随着水力负荷的降低，去除率是逐渐提高的。水力负荷为 8 m/h 时，由于水在滤柱中的停留时间较短，Fe<sup>2+</sup>在滤柱中的生物氧化不够充分，致使出水中铁含量较高。水力负荷降低到 4 m/h 时，去除率提高 10 % 左右，其主要原因是水力负荷的降低提高了原水在滤柱中微生物的接触时间，Fe<sup>2+</sup>得以充分接触氧化，同时有利于滤料及微生物对 Fe<sup>2+</sup>的吸附。当水力负荷为 4 m/h 和 2 m/h 时，Fe<sup>2+</sup>的出水浓度全部低于 0.15 mg/L，去除率达到 90% 以上。4m/h 的水力负荷和 2 m/h 相比，其稳流作用对生物膜厚度的控制以及对传质效率的改善更为有利<sup>[7]</sup>，结果表明 4m/h 的水力负荷具有更高的实际应用价值。

### 2.4 原水浓度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

滤速为 8 m/h 时，原水浓度对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响如图 6 所示：

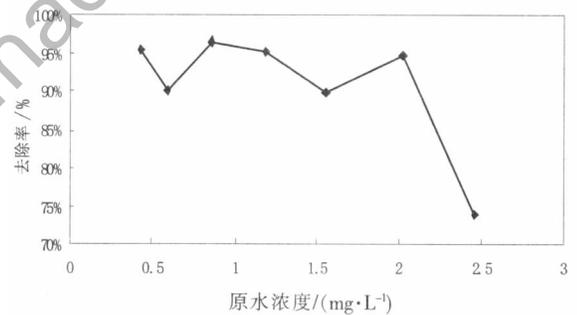


图 6 Fe<sup>2+</sup>浓度对其去除率的影响

由图 6 可知，当进水浓度在 0.43 ~ 2.02 mg/L 时，生物过滤对 Fe<sup>2+</sup>的去除率达到 90 % 以上，出水浓度均在 0.15 mg/L 以下。当 Fe<sup>2+</sup>的浓度为 2.46 mg/L 时，去除率仅为 73.75 %，出水浓度达到 0.65 mg/L。因此，对于 Fe<sup>2+</sup>浓度较高的原水，可通过降低水力负荷或者增加溶解氧含量的方式来提高处理效果。

### 2.5 反冲洗对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响

反冲洗是保证生物过滤有效工作的必要条件。本实验采用不加氯水反冲洗的形式，反冲洗强度为 16 L/s.m<sup>2</sup>，历时 5min，整个实验过程共进行 4 次反冲洗。在反冲洗后两小时取滤柱出水检测，反冲洗对 Fe<sup>2+</sup>去除率的影响见表 2。

