

滤料粒径对给水曝气生物滤池运行稳定性的影响

陆少鸣 钟高辉

(华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006)

摘要 利用给水曝气生物滤池(UBAF)处理刘屋洲水源水,考察了不同陶粒粒径对氨氮、高锰酸盐指数的去除效果以及水头损失变化的影响。结果表明,陶粒 $\phi 3 \sim 5$ mm 的 UBAF 对氨氮、高锰酸盐指数的去除效果较高,但是其水头损失较大,且反冲洗前后水头损失变化偏大,不利于 UBAF 稳定运行。陶粒 $\phi 6 \sim 10$ mm 的 UBAF 运行状况良好,氨氮的去除率为 73.8%,高锰酸盐指数的去除率为 18.6%,滤池 24 h 过滤水头损失 < 0.4 m,反冲洗前后过滤水头损失变化量 < 5 cm。其出水氨氮和高锰酸盐指数均达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006),滤池的水头损失小,反冲洗前后也变化甚微。进一步的实验表明陶粒破碎会导致滤料粒径级配变化,使得水头损失增加。

关键词 给水曝气生物滤池 陶粒粒径 水头损失 运行稳定性

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2012)05-1409-04

Influence of media size on operational stability of UBAF

Lu Shaoming Zhong Gaohui

(College of Environmental Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract Up biological aerated filter (UBAF) was applied for the treatment of source water in Liuwuzhou. Effect of media size on the variation of head loss as well as the removal efficiency of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD_{Mn} was evaluated. The results showed that UBAF with media size between 3 and 5 mm was suitable for the removal of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD_{Mn} . However, because of the great head loss which also varied significantly before and after back wash, this media size was not favorable for UBAF operation. UBAF with media size between 6 and 10 mm made good performance, and the removal efficiencies of COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ were 73.8% and 18.6%, respectively, which meet the requirement of the Sanitary Standard for Drinking Water (GB5749-2006). The head loss was low (below 0.4 m) after operating for 24 h. And the variation of head loss before and after back wash was minimal (below 5 cm). Additional test demonstrated that media broken might result in the change of size gradation and the head loss increased subsequently.

Key words up biological aerated filter (UBAF); media size; head loss; operational stability

近年来,曝气生物滤池(BAF)应用于给水生物预处理,已经有了一定的发展^[1,2]。给水曝气生物滤池(UBAF)为微污染原水的处理提供了一种高效、节能、省地的处理工艺^[3,4]。UBAF 在实际运行中的稳定性主要表现在对氨氮、高锰酸盐指数的去除效果和过滤水头损失的控制。UBAF 稳定运行,首先要达到去除效果,其次要有效控制水头损失。UBAF 过滤水头损失是指当水流通过滤料颗粒时,滤料对水流运动产生很大的阻力,在滤池上下两端造成压降^[5]。水头损失在设计上是决定构筑物高度的指标,在操作运行中是停止过滤的时间指标^[6]。影响 UBAF 水头损失的因素很多,滤料的粒

径是其中之一^[7]。

根据《室外给水设计规范》(GB50013-2006)第 9.2.10 条,给水的曝气生物滤池滤料粒径宜为 2 ~ 5 mm^[8]。因此,本实验以刘屋洲水源水为原水,以 $\phi 2 \sim 5$ mm 的陶粒为基础,采用给水曝气生物滤池 + 常规处理工艺中试实验,分析了不同陶粒粒径对 UBAF 稳定运行的影响。

基金项目:国家“水体污染控制与治理”科技重大专项(2008ZX07423-002-1)

收稿日期:2010-09-26; **修订日期:**2011-01-12

作者简介:陆少鸣(1958~),男,教授,主要从事水污染控制与给水技术研究工作。E-mail:lushaom@163.com

1 实验装置和方法

1.1 实验装置

实验流程如图 1 所示,给水曝气生物滤池构造如图 2 所示。

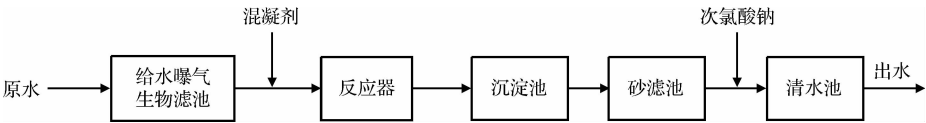


图 1 实验工艺流程图
Fig. 1 Flow chart of pilot-scale experimental process

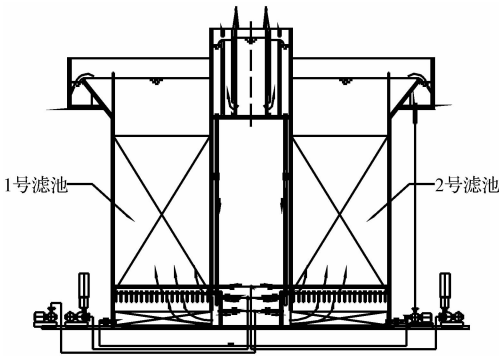


图 2 给水曝气生物滤池构造
Fig. 2 Structure diagram of UBAF

给水曝气生物滤池预处理实验装置,主体包括配水渠和 2 座给水曝气生物滤池,配水渠位于管廊的上方,原水经配水渠分别进入 2 座给水曝气生物滤池,然后从下至上流经滤池,采用膜孔曝气管或单膜孔曝气滤头进行曝气,如图 2 所示。

1.2 实验方法

实验参数如表 1 所示。

1.3 检测方法

实验期间,每天测定氨氮、高锰酸盐指数、浊度和水头损失。水质检测方法按国家标准执行:氨氮采用纳氏试剂分光光度法,高锰酸盐指数采用酸式滴定法,浊度采用 HACH2100N 浊度仪法^[9]。过滤水头损失采用测压管法,用水柱高度表示,单位 cm。(压强与水柱高度换算公式: $P = \rho gh$,其中, h 单位为 m)

表 1 各工况的主要工艺参数

Table 1 Operational parameters under different conditions

工 况	滤料级配 (mm)	滤料厚度 (m)	滤速 (m/h)	进水量 (m ³ /h)	气水比	时 间
工况 1	1# Ø3 ~ 5	3.5	8	18	0.5 ~ 1:1	08.3.21—08.5.25
工况 2	1# Ø5 ~ 7	3.5	16	36	0 ~ 0.5:1	08.6.12—08.9.20
工况 3	1# Ø6 ~ 8	3.5	16	36	0 ~ 0.5:1	09.1.24—09.9.20
	2# Ø6 ~ 10	3.5	16	36	0 ~ 0.5:1	

注: 2#滤池中,采用双层滤料,上层 Ø6 ~ 8 mm 厚 2 m; 下层 Ø8 ~ 10 mm 厚 1.5 m。

2 结果与分析

2.1 滤料粒径对高锰酸盐指数、氨氮去除效果的影响

各工况 24 h 连续运行,采用连续进水的动态自然挂膜方式,启动 2 周左右时间之后,滤池达到稳定运行状态^[10]。对于不同粒径的 UBAF,取稳定运行 2 个月内的数据的平均值进行分析,不同粒径 UBAF 对氨氮、高锰酸盐指数的去除效果对比分别如图 3 和图 4 所示。

从图中可以看出,实验条件下,UBAF 稳定运行后,陶粒 Ø3 ~ 5 mm 的 UBAF 对氨氮、高锰酸盐指数的去除率分别达到 91.6% 和 40.2%,大于其他 3 种

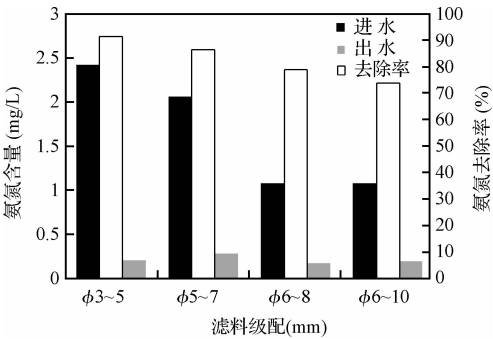


图 3 氨氮去除效果的对比

Fig. 3 Contrast of ammonia removal efficiency

粒径的 UBAF 去除率。这是因为粒径小的滤料床层单位体积所提供的比表面积大,能附着更多生物膜,

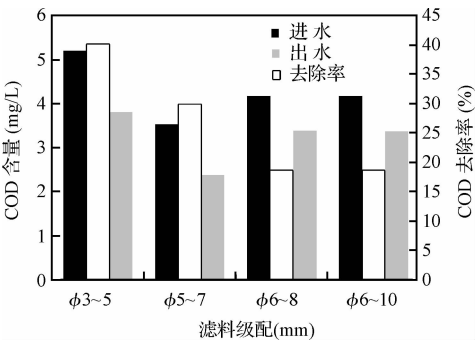


图 4 高锰酸盐指数去除效果的对比

Fig. 4 Contrast of COD_{Mn} removal efficiency

所以对氨氮和高锰酸盐指数有更好的处理效果。陶粒 Ø6 ~ 10 mm 的 UBAF 对氨氮、高锰酸盐指数的去除率分别为 73.8% 和 18.6%，相对其他粒径，其去除率较小。但是，实验条件下，这种粒径的 UBAF 出水氨氮基本 <0.5 mg/L，高锰酸盐指数经过后续常规处理之后小于 2 mg/L，2 种指标均能达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。所以，在满足去除效果的同时，适当放松对滤料比表面积指标的追求，采用相对较大的陶粒粒径，可降低水头损失，有利于 UBAF 的稳定运行^[11]。

2.2 滤料粒径对过滤水头损失的影响

为保证 UBAF 稳定运行，需对水头损失进行有效控制。首先水头损失绝对值要小，在运行 UBAF 时才不会超过水头控制高度；其次滤池在冲洗前后水头损失变化要小，因为给水曝气生物滤池多采用多座滤池共用鼓风机曝气系统，若要控制各座滤池之间曝气量的差异不超过 3%，则需要将滤池冲洗前后水头损失变化量控制在 0.2 mH₂O 以内。

实验期间 UBAF 进水浊度、UBAF 出水浊度以及 UBAF 对浊度去除率，如图 5 所示。

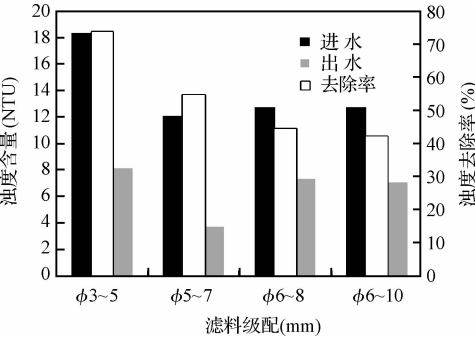


图 5 浊度去除效果

Fig. 5 Turbidity removal efficiency

由图 5 可知，各 UBAF 进水的浊度相差不大。由于实验条件也大致相同，所以仅分析陶粒粒径对过滤水头损失的影响。

UBAF 的水头损失经过初期的微小波动后趋于

稳定，取稳定运行 2 个月内的数据的平均值进行分析。反冲洗前后，不同粒径的 UBAF 的水头损失对比如图 6 所示。

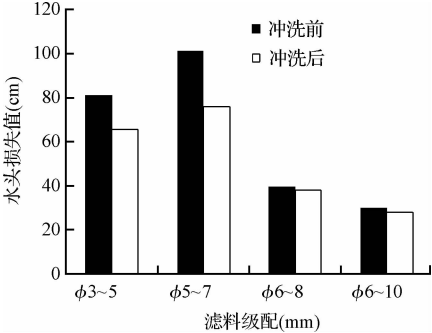


图 6 水头损失的对比

Fig. 6 Contrast of head loss

由于滤料对 SS 和老化脱落的生物膜的机械截留和沉淀，导致滤层孔隙率减小，使得 UBAF 过滤水头损失逐步增加^[12]。由图 5 和图 6 可知，各 UBAF 进水的浊度相差不大，而陶粒 Ø6 ~ 10 mm 的 UBAF 的水头损失最小，稳定在 26.1 ~ 32.4 cm，这是因为其粒径较大，颗粒间隙所形成的孔隙大，截留 SS 较少，所以对浊度的去除率较小，水头损失增加也相对较小；然而陶粒 Ø3 ~ 5 mm 的 UBAF 的水头损失为 81.2 cm，小于陶粒 Ø5 ~ 7 mm 的 UBAF 的水头损失，这是因为陶粒 Ø3 ~ 5 mm 的 UBAF 过滤速度只有陶粒 Ø5 ~ 7 mm 的 UBAF 的一半的缘故。陶粒 Ø3 ~ 5 mm 和 Ø5 ~ 7 mm 的 UBAF 的水头损失较大，实验观察到，较大的水头损失导致滤池曝气不均匀，不利于 UBAF 稳定运行。

日本学者藤田贤二通过研究导出了过滤过程中，滤料粒径、滤层空隙率、滤速和水头损失之间的关系公式：

$$h = k \cdot \frac{LV\mu}{\gamma\Psi^2d^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}$$

(1)

式中： h 为水头损失； k 为系数； L 为滤层厚度； V 过滤速度； μ 为水的粘度； γ 为水的比重； Ψ 滤料球形度； d 为滤料粒径； ε 为滤层空隙率。

公式(1)说明其他因素不变时，水头损失与滤速呈正比趋势，与滤层孔隙率呈反比趋势。即在同等条件下，滤速越大，水头损失越大；粒径越小，水头损失越大。实验结果与此结论相符。

实验期间，各 UBAF 均采用气水联合反冲洗，反冲强度分别为，Ø3 ~ 5 mm：气冲洗强度为 30.4 L/(m²·s)，水冲洗强度为 5 L/(m²·s)，反冲洗周期为 24 h；Ø5 ~ 7 mm：气冲洗强度为 19.6 L/(m²·s)，水冲洗强度为 4.7 L/(m²·s)，反冲洗周期为 12 h；Ø6 ~ 8 mm 和 Ø6 ~ 10 mm：气冲洗强度为 20 L/(m²·s)，水冲洗强度为 8 L/(m²·s)，反冲洗周期

为 24 h。从图 6 可以看出, $\phi 6 \sim 8 \text{ mm}$ 和 $\phi 6 \sim 10 \text{ mm}$ 的 UBAF, 反冲洗前后水头损失的变化值远小于 20 cm, 所以可以采用共用鼓风曝气系统, 集中曝气。

2.3 水头跳跃增长的分析

对于陶粒 $\phi 6 \sim 8 \text{ mm}$ 和陶粒 $\phi 6 \sim 10 \text{ mm}$ 的 UBAF, 实验进行到后期, 由于现场实验人员的操作疏忽, 没发现风机漏风, 致使气冲强度只有 $11 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 远不够设计的气冲强度 $20 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 为了降低水头损失, 操作人员加大了气冲强度并延长冲洗时间, 水头损失降至原来水平, 然而 3 d 后陶粒 $\phi 6 \sim 8 \text{ mm}$ 的 BAF 的水头损失增加至 45 cm, 陶粒 $\phi 6 \sim 8 \text{ mm}$ 的 BAF 的水头损失增加至 55 cm。之后, 改变冲洗强度和时间也不能降低水头损失。9 月 21 日, 停止运行设备, 用 120 mg/L 的次氯酸钠溶液浸泡, 效果不明显, 由此可见, 水头损失的增长不可逆。9 月 23 日清空 2# 滤池的滤料, 观察到滤料表面清洁, 几乎没有泥砂积累现象, 但是有少量滤料破碎。此阶段水头损失如图 7 所示。

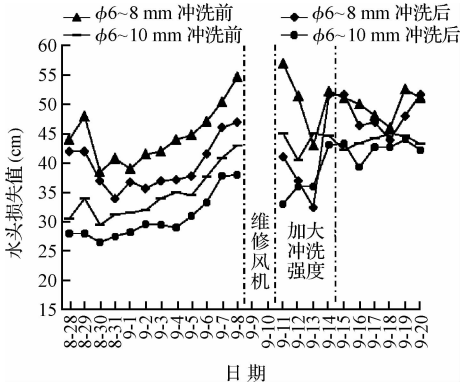


图 7 水头损失的变化
Fig. 7 Change of head loss

分析水头损失变化原因, 起初因为冲洗强度不够, 使得滤料表面的污泥无法脱落, 污泥堵塞在滤料层, 导致水头损失过快地增长, 加大冲洗强度后, 水头损失得到有效控制, 然而冲洗强度过大, 使得滤料颗粒间相互碰撞强度过大, 滤料破碎, 形成一些小颗粒滤料, 从而改变了滤料的级配。在冲洗过程中, 破碎的小颗粒滤料填充于大颗粒滤料间隙内, 使得滤料的空隙率和纳污能力降低, 水头损失增长。

3 结 论

(1) 本实验条件下, 陶粒 $\phi 3 \sim 5 \text{ mm}$ 的 UBAF 对氨氮、高锰酸盐指数的去除效果最高, 分别达到 91.6% 和 40.2%, 但是其过滤水头损失太大, 冲洗前后变化也大, 不利于稳定运行。

(2) 陶粒 $\phi 6 \sim 10 \text{ mm}$ 的 UBAF 对氨氮、高锰酸盐指数的去除率分别为 73.8% 和 18.6%; UBAF 出水氨氮基本 $< 0.5 \text{ mg/L}$, 高锰酸盐指数经过后续常

规处理之后 $< 2 \text{ mg/L}$, 两种指标均能达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。并且其 24 h 过滤水头损失小于 0.4 m, 反冲洗前后变化量 $< 5 \text{ cm}$, 滤池能稳定运行。

(3) 其他因素不变时, 水头损失与滤速呈正比趋势, 与滤层孔隙率呈反比趋势。

(4) 如果冲洗强度过大, 会造成陶粒破碎, 改变滤料级配, 从而引起水头损失的不可逆增长。

参 考 文 献

[1] 桑军强, 王占生. BAF 在微污染源水生物预处理中的应用. 中国给水排水, 2003, 19(2): 21-23

[2] 王舜和, 郭淑琴. 不同功能曝气生物滤池的设计要点. 给水排水, 2008, (11): 47-51

[3] 陆少鸣, 施燕, 尹宇鹏, 等. 两种工艺处理微污染水的比较研究. 中国给水排水, 2009, 25(13): 1-3
Lu Shaoming, Shi Yan, Yin Yupeng, et al. Comparison between two processes for micropolluted source water treatment. China Water and Wastewater, 2009, 25(13): 1-3 (in Chinese)

[4] 王学闯, 魏晓安, 陆少鸣, 等. 曝气生物滤池去除亚硝酸盐氮的效果及影响因素. 水处理技术, 2007, 33(9): 65-67
Wang Xuechuang, Wei Xiaolan, Lu Shaoming, et al. Effect of nitrite nitrogen removal by biological aerated filter and affecting factors. Technology of Water Treatment, 2007, 33(9): 65-67 (in Chinese)

[5] 杨钦, 严熙世. 给水工程(下). 北京: 中国建筑工业出版社, 1987

[6] 许保玖. 给水处理理论. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000

[7] 阮如新. 滤料粒度对过滤的影响. 给水排水, 1997, 23(11): 15-17
Ruan Ruxin. Effect of the granule size of filtrating media on the filtration process. Water and Wastewater, 1997, 23(11): 15-17 (in Chinese)

[8] 中华人民共和国建设部. 室外给水设计规范(GB50013-2006). 北京: 中国计划出版社, 2006

[9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 96-281

[10] 陆少鸣, 方平, 杜敬, 等. 曝气生物滤池挂膜的中试实验. 水处理技术, 2006, 32(8): 67-69
Lu Shaoming, Fang Ping, Du Jing, et al. Research on biofilm growing in system of BAF. Technology of Water Treatment, 2006, 32(8): 67-69 (in Chinese)

[11] 陆少鸣, 杨立, 陈艺韵, 等. 高速给水曝气生物滤池预处理微污染原水开发研究. 中国给水排水, 2009, 25(18): 65-70
Lu Shaoming, Yang Li, Chen Yiyun, et al. High-rate UBAF for pretreatment of micro-polluted raw water. China Water and Wastewater, 2009, 25(18): 65-70 (in Chinese)

[12] 余健, 曾光明, 柏光明, 等. 生物滤池除浊及水头损失的增长特点. 中国给水排水, 2004, 20(5): 53-55