

滤料粒径对地下水中铁、锰、氨氮、浊度去除效果的影响

张安媛

(甘肃省工程咨询中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 滤料粒径是生物滤池设计的一个重要参数。采用滤料粒径分别为0.8~1.0、3~4、8~10 mm的3根成熟生物滤柱处理地下水,考察滤料粒径对铁、锰、氨氮、浊度去除效果的影响。结果表明,1[#]、2[#]、3[#]滤柱出水的总铁平均浓度分别为0.020、0.037、0.078 mg/L,锰平均浓度分别为0.003 0、0.005 1、0.006 7 mg/L,氨氮平均浓度分别为0.022、0.030、0.050 mg/L,浊度均值分别为0.28、0.69、1.32 NTU,除3[#]滤柱出水浊度不达标外,其余指标均满足国家标准。随着滤料粒径的增大,铁、锰、氨氮的沿程浓度明显升高,去除区域向下延伸,浊度主要在0~0.4 m滤层被去除。

关键词: 生物滤柱; 滤料粒径; 地下水; 铁; 锰; 氨氮; 浊度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)07-0047-05

Effect of Filter Material Size on Removal Efficiency of Iron, Manganese, Ammonia and Turbidity in Groundwater

ZHANG An-ai

(Gansu Engineering Consulting Center, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Filter material size is one of the most critical parameters in the design of biofilters. Effects of filter material size on the removal efficiency of iron, manganese, ammonia and turbidity were investigated in three mature biofilters with filter material size of 0.8–1.0 mm, 3–4 mm, 8–10 mm, respectively. The average concentration of total iron in the effluent of 1[#], 2[#] and 3[#] biofilter was 0.020 mg/L, 0.037 mg/L and 0.078 mg/L respectively, the average concentration of manganese was 0.003 0 mg/L, 0.005 1 mg/L and 0.006 7 mg/L respectively, the average concentration of ammonia was 0.022 mg/L, 0.030 mg/L and 0.050 mg/L respectively, and the average concentration of turbidity was 0.28 NTU, 0.69 NTU and 1.32 NTU respectively. Except for effluent turbidity of the 3[#] biofilter, all other indexes reached the national standard. With the increase of filter material size, the concentration of total iron, manganese, ammonia and turbidity increased obviously along the biofilter depth, and the removal area extended downward. Turbidity was mainly removed in the 0–0.4 m layer of the biofilter.

Key words: biofilter; filter material size; groundwater; iron; manganese; ammonia; turbidity

地下水由于不易受到人类活动的污染,水质优异,一般作为良好的饮用水源和最佳的工业水源^[1]。但某些地区地下水仍然面临被铁、锰、氨氮污染的情况^[2],同时也不乏受到有机物污染的例子^[3],严重影响其使用价值。在我国,有数量可观

的一部分地下水厂都将生物除铁除锰技术投入应用^[4-8],这是因为该工艺具有处理效果好、流程简单、投资费用少、运行稳定、占地面积小等优点^[9-10]。但工艺实际运行中也会出现问题,比如采用该工艺处理高铁、锰地下水时,如果滤料粒径较

小,滤料能很好地拦截地下水中的杂质以及二价铁氧化后生成的氢氧化铁等,但这些氢氧化铁会填充到滤料上层的间隙中造成堵塞,从而增大水头损失、缩短反冲洗周期,导致用水量增大、能耗升高,同时影响生产能力;如果采用较大粒径的滤料,虽然能够有效缓解上部滤层的堵塞、减少水头损失、延长反冲洗周期,但滤料间隙会增大,导致地下水中的杂质、氢氧化铁穿透滤层,影响出水浊度。为解决这一矛盾,笔者采用3种不同滤料粒径的生物滤柱处理地下水,研究滤料粒径对地下水中氨氮、铁、锰、浊度去除效果的影响,旨在为含铁、锰、氨氮地下水生物处理工艺的设计及运行提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验装置

本试验采用直径为250 mm、高为3 000 mm、填充锰砂滤料厚度为1 500 mm的有机玻璃滤柱3根(分别编号1[#]、2[#]、3[#]),滤料粒径分别为0.8~1.0、3~4、8~10 mm。顺着滤层在滤柱不同高度依次设置取样口。以地下水厂内经过曝气后的1 000 L原水为研究对象。试验装置如图1所示。

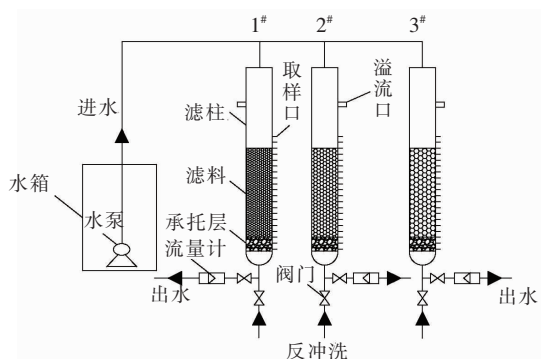


图1 生物除铁除锰滤柱示意

Fig.1 Schematic diagram of iron and manganese removal biofilter

1.2 原水水质

试验原水来自北方某地下水厂(取地下40~50 m的深层地下水),该水厂的主体工艺为喷淋曝气预处理配合生物除铁除锰滤池。地下水经曝气后,水温保持在8℃左右,DO约为8.5 mg/L,后由生产曝气池流出,经过出水槽引入试验装置,曝气后原水水质: $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为1.0~1.4 mg/L、总Fe为9~13 mg/L、Mn为0.9~1.3 mg/L、浊度为2~5 NTU。

1.3 试验方法

本试验所用3根生物滤柱均已启动成功并稳定

运行了一段时间。曝气后的原水由潜水泵分别泵入1[#]、2[#]、3[#]滤柱内,3个滤柱的滤速均为6 m/h,反冲洗强度均为12 L/(s·m²)。1[#]滤柱的反冲洗周期为48 h,反冲洗时间为6 min;2[#]滤柱的反冲洗周期为72 h,反冲洗时间为8 min;3[#]滤柱的反冲洗周期为96 h,反冲洗时间为10 min,每个生物滤柱稳定运行约一个半月。对于进、出水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、总Fe、Mn、浊度实行每日监测, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、总Fe、Mn、浊度沿程变化实行每周监测2次。采样时间为上午8点,反冲洗时间为上午10点。

1.4 检测项目与方法

总铁:二氮杂菲分光光度法;锰:过硫酸铵分光光度法;氨氮:水杨酸分光光度法;浊度:浊度仪(2100Q HACH);DO:便携式溶解氧测定仪(Oxi 315i-WTW)。

2 结果与讨论

2.1 对铁、锰、氨氮、浊度的去除效果

2.1.1 对铁的去除效果

生物滤柱对进水中总铁的去除效果见图2。可以看出,进水的总铁浓度在9~13 mg/L之间波动,比较稳定,不同滤柱对进水中的铁均有良好的去除效果。滤柱对进水中二价铁的去除机理:二价铁被溶解氧和铁细菌氧化,其中化学氧化是主要形式^[11-12];氧化后生成的三价铁氢氧化物被生物滤柱中的滤料拦截,从而将铁从水中去除。1[#]、2[#]、3[#]滤柱出水的总铁平均浓度分别为0.020、0.037、0.078 mg/L,均低于0.2 mg/L,低于国家饮用水标准限值;出水中总铁浓度随滤料粒径的增大而升高,因为滤料粒径越大,三价铁氢氧化物越容易穿透滤层。

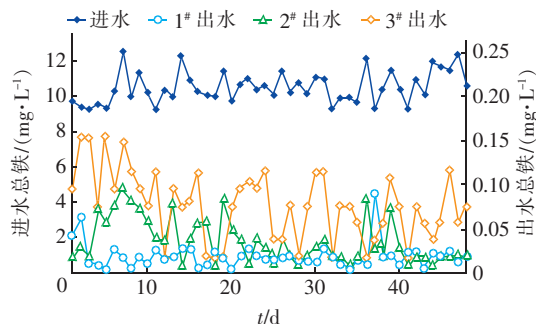


图2 生物滤柱对总铁的去除效果

Fig.2 Removal efficiency of total iron by biofilters

2.1.2 对锰的去除效果

进水锰浓度的变化范围相对较小(0.9~1.3 mg/L),比较稳定,不同生物滤柱对锰均有很好的去

除效果,1[#]、2[#]、3[#]滤柱出水中锰的平均浓度分别为0.003 0、0.005 1、0.006 7 mg/L,出水锰浓度均低于国家标准限值(0.1 mg/L)。生物滤柱去除锰的作用主要有两种:一种是吸附作用,主要利用滤柱中的填料锰砂对锰进行吸附;另一种是利用锰氧化菌氧化,首先将二价锰吸附到锰氧化菌的菌体表面,然后再将二价锰氧化成高价锰氧化物^[13]。在滤层中培养大量锰氧化菌制成成熟的滤柱,由锰氧化菌分泌的胞外酶来将进水中的二价锰氧化为高价锰氧化物,并附着在滤料上,从而实现锰的去除。

2.1.3 对氨氮的去除效果

进水氨氮浓度在1.0~1.4 mg/L之间波动(见图3),1[#]、2[#]、3[#]滤柱出水氨氮浓度虽然波动较大,但是浓度很低,均低于0.12 mg/L,平均浓度分别为0.022、0.030、0.050 mg/L,均远低于国家标准限值(0.5 mg/L)。培养成熟的生物滤柱的滤层中含有大量的硝化菌,该硝化菌能够将进水中的氨氮全部氧化成硝酸盐氮。

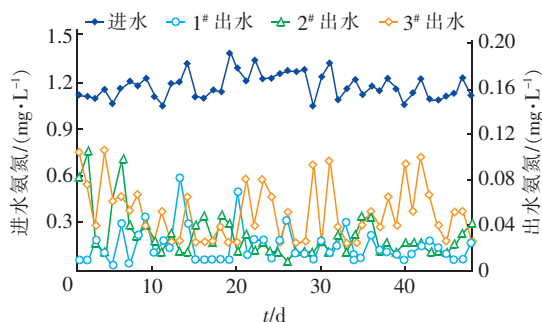


图3 生物滤柱对氨氮的去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of ammonia by biofilters

2.1.4 对浊度的去除效果

本试验中进水浊度指的是原水进滤柱前的浊度,因为原水中铁含量很高,并且二价铁很容易被氧化成氢氧化铁沉淀,导致进水浊度波动较大,多数在2~4 NTU之间(见图4)。1[#]、2[#]、3[#]滤柱出水的平均浊度分别为0.28、0.69、1.32 NTU,出水浊度随滤料粒径的增大而增大,3[#]滤柱出水浊度超过了国家标准限值(1 NTU)。滤料粒径对出水浊度有较大的影响,这是因为滤柱主要依靠滤料的拦截作用去除浊度,由图4可知,出水浊度随滤料粒径的增大而升高,滤料粒径越小,滤料间隙越小,对水中杂质的拦截效果越好,出水浊度越低,反之出水浊度越高。但是采用较小粒径的滤料时,滤料间隙较小、水头损失

较大、反冲洗周期较短,导致用水量增大、能耗升高。

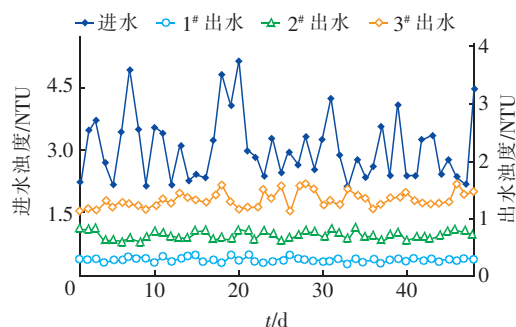


图4 生物滤柱对浊度的去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of turbidity by biofilters

2.2 铁、锰、氨氮、浊度的沿程去除效果

2.2.1 铁的沿程去除效果

1[#]、2[#]、3[#]滤柱进水总铁浓度相差不大,分别为11.56、11.48、11.17 mg/L。在滤层的0.4 m处,3个滤柱的总铁浓度分别为0.077、0.14、0.23 mg/L,浓度依次升高;在滤层的0.8、1.2、1.5 m处3个滤柱中总铁浓度类似,出水总铁在1.5 m处均下降到0.05 mg/L以下(见图5)。随着滤料粒径的增大,滤料的间隙增大,更多的三价铁氢氧化物穿透滤层,总铁浓度升高。

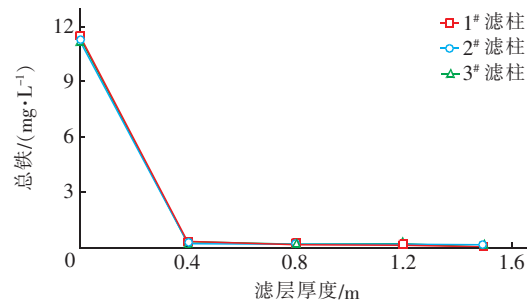


图5 生物滤柱中总铁的沿程去除效果

Fig. 5 Removal efficiency of total iron along biofilter

2.2.2 锰的沿程去除效果

1[#]、2[#]、3[#]滤柱对锰的沿程去除效果如图6所示。1[#]、2[#]、3[#]滤柱进水的锰浓度分别为1.13、1.11、1.08 mg/L,比较接近。锰浓度在1[#]、2[#]、3[#]滤柱滤层的0.4 m处分别降到了0.25、0.50、0.84 mg/L,锰浓度随滤料粒径的增大而增大;在滤层的1.5 m处锰浓度均降到了0.1 mg/L以下。滤料粒径对锰的沿程去除效果影响很大,因为滤料粒径越大,滤料的比表面积越小,附着的锰氧化菌的数量越少。此外,锰的氧化只能发生在二价铁全部氧化之后^[14],滤料粒径增大后,铁的去区域向下延伸,因而锰的去区域也向下延伸。

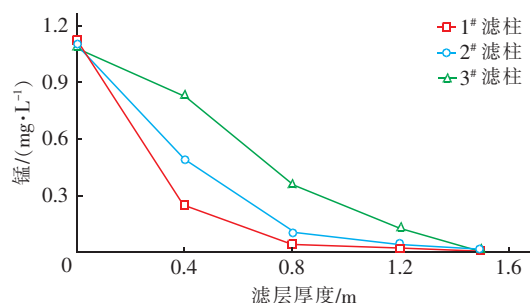


图6 生物滤柱中锰的沿程去除效果

Fig. 6 Removal efficiency of manganese along biofilter

2.2.3 氨氮的沿程去除效果

1#、2#、3#滤柱进水氨氮浓度比较接近,沿滤层向下氨氮浓度逐渐降低,并在1.5 m处降到了0.1 mg/L以下(见图7)。在滤层的0.4 m处,1#、2#、3#滤柱中氨氮浓度分别为0.10、0.32、0.66 mg/L,随着滤料粒径的增大,0.4 m滤层处氨氮浓度明显升高,0~0.4 m段对氨氮的去除量明显降低。虽然铁和氨氮均从滤料顶部开始去除,但进水中的铁会影响氨氮的去除^[15],因为二价铁极易被氧化,其氧化后生成的氢氧化铁不溶于水,当进水中二价铁浓度较高时,产生的氢氧化铁沉淀会附着在生物滤柱的填料上,堵塞小粒径滤料的间隙,降低了氨氮与硝化菌的接触面积,进而降低了对氨氮的去除效果^[11]。此外,滤料粒径增大后,单位滤层中附着硝化菌量减少,氨氮去除量下降。

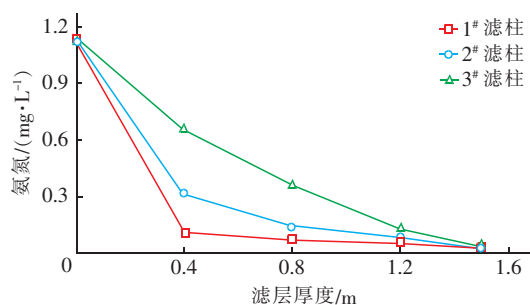


图7 生物滤柱中氨氮的沿程去除效果

Fig. 7 Removal efficiency of ammonia along biofilter

2.2.4 浊度的沿程去除效果

1#、2#、3#滤柱进水浊度分别为3.37、3.13、3.24 NTU,在滤层的0.4 m处分别降到了0.19、0.67、1.52 NTU,浊度主要在滤料上层去除。沿滤层向下,浊度变化不大,并且没有明显的变化规律。浊度的去除主要靠滤料的拦截,进水铁浓度很高,二价铁在滤层上部被氧化成三价铁氢氧化物后形成铁泥,填充在滤料间隙而形成混合滤层,能有效拦截进水

中的杂质。滤料粒径越大,滤料间隙越大,进水中的杂质、三价铁氢氧化物越容易穿透滤层,使得出水浊度升高。

3 结论

采用滤料粒径分别为0.8~1.0、3~4、8~10 mm的生物滤柱处理高铁、锰、氨氮地下水,能很好地去除铁、锰、氨氮,出水中铁、锰、氨氮分别低于0.2、0.1、0.12 mg/L,均满足国家标准,且出水中的铁、锰、氨氮浓度随滤料粒径的增大而增大;出水浊度也随滤料粒径的增大而增大,3#滤柱出水浊度超过了国家标准。此外,随着滤料粒径的增大,铁、锰、氨氮的沿程浓度明显升高,去除区域向下延伸。浊度主要在滤层上部去除,滤料粒径越大,出水浊度越高。但是滤料粒径越小,滤料间隙较小、水头损失较大、反冲洗周期较短,导致用水量增大、能耗升高。

当进水中总铁浓度较低时,建议采用粒径较小的滤料,实现铁、锰、氨氮、浊度的同步高效去除;当进水中总铁浓度较高时,建议采用粒径较大的滤料,但是出水浊度会超标,需增加后续工艺进一步去除浊度。

参考文献:

- [1] 程庆峰. 高铁锰氨氮地下水净化工艺优化及菌群结构研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
Cheng Qingfeng. Optimization of Purifying Filter of Groundwater Containing High Concentration of Iron, Manganese and Ammonia and the Investigation of Microbial Community Structure [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014 (in Chinese).
- [2] 曾辉平. 含高浓度铁锰及氨氮的地下水生物净化效能与工程应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
Zeng Huiping. Biological Purification of Iron, Manganese and Ammonia with High Concentration in Groundwater and Engineering Application [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010 (in Chinese).
- [3] Mustika S A. Potential Optimisation of Chlorination at Buaran WTP, Jakarta Water and Environmental Engineering [D]. Guildford: University of Surrey, 2004.
- [4] 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.
Li Dong, Zhang Jie, Chen Lixue, et al. Application of biological removal of iron and manganese from groundwater treatment plant [J]. China Water &

- Wastewater, 2004, 20(12): 85–88 (in Chinese).
- [5] 高洁, 刘志雄, 李碧清. 生物除铁除锰水厂的工艺设计与运行效果[J]. 给水排水, 2003, 29(11): 26–28.
Gao Jie, Liu Zhixiong, Li Biqing. Technical design and performance of waterworks for iron and manganese removal by microorganism [J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(11): 26–28 (in Chinese).
- [6] 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.
Li Dong, Yang Hong, Zhang Jie. Realization of the first water plant with biological removal of iron and manganese [J]. Engineering Science, 2003, 5(7): 53–57 (in Chinese).
- [7] 曾辉平, 李冬, 高源涛, 等. 生物除铁、除锰滤层中铁、锰的氧化还原关系[J]. 中国给水排水, 2010, 26(9): 86–88, 92.
Zeng Huiping, Li Dong, Gao Yuantao, et al. Redox relationship between Fe and Mn in biological filter layer for iron and manganese removal [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(9): 86–88, 92 (in Chinese).
- [8] 李冬, 杨昊, 李相昆, 等. 无烟煤滤料在生物除铁除锰水厂中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2007, 23(5): 818–821.
Li Dong, Yang Hao, Li Xiangkun, et al. The application of anthracite in water plant for biological removal of iron and manganese [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2007, 23(5): 818–821 (in Chinese).
- [9] 张杰, 李冬, 杨宏, 等. 生物固锰除锰机理与工程技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
Zhang Jie, Li Dong, Yang Hong, et al. Mechanism and Engineering Technology of Biological Fixation and Removal of Manganese [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005 (in Chinese).
- [10] 段晓东, 宋立新, 杨宏, 等. *Rhodococcus sp-1* 的 Mn^{2+} 生物去除能力及诱导特性[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(2): 245–249.
Duan Xiaodong, Song Lixin, Yang Hong, et al. Study on the capacity and induction of *Rhodococcus sp-1* biological Mn^{2+} removal [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 36(2): 245–249 (in Chinese).
- [11] 程庆锋, 能子礼超, 徐冬莹, 等. 两级生物滤柱同时去除地下水中铁锰氨氮浊度的效果研究[J]. 中国给水排水, 2016, 32(21): 50–54.
Cheng Qingfeng, Nengzi Lichao, Xu Dongying, et al. Simultaneous removal of iron, manganese, ammonia and turbidity from groundwater using two-stage biofilters [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(21): 50–54 (in Chinese).
- [12] Tekerlekopoulou A G, Vasiliadou I A, Vayenas D V. Physico-chemical and biological iron removal from potable water [J]. Biochem Eng J, 2006, 31(1): 74–83.
- [13] Hasan H A, Abdullah S R, Kofli N T, et al. Isotherm equilibria of Mn^{2+} biosorption in drinking water by local isolated *Bacillus* species and sewage activated sludge [J]. J Environ Manage, 2012, 111: 34–43.
- [14] Tekerlekopoulou A G, Vayenas D V. Ammonia, iron and manganese removal from potable water using trickling filters [J]. Desalination, 2007, 210(1): 225–235.
- [15] Tekerlekopoulou A G, Vayenas D V. Simultaneous biological removal of ammonia, iron and manganese from potable water using a trickling filter [J]. Biochem Eng J, 2008, 39(1): 215–220.



作者简介: 张安媛(1975–), 女, 甘肃景泰人, 本科, 高级工程师, 主要从事给水排水研究工作。

E-mail: 675502644@qq.com

收稿日期: 2019–09–21