

地下水纤维滤料除铁中试研究

周利¹, 彭永臻², 刘晓阳³, 董典同¹

(1. 青岛理工大学山东省环境工程重点实验室, 山东 青岛 266033;

2. 北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复重点实验室, 北京 100022;

3. 深圳市地铁有限公司, 广东 深圳 518049)

[摘要] 进行了纤维滤料地下水除铁中试研究, 试验结果表明纤维滤料具有成熟期短(14 d)、除铁效率高的特点。在滤速为 20 m/s 时能将原水中 Fe 从 11.6 mg/L 去除至 0.3 mg/L 以下。三价铁是影响出水水质的重要因素, 应减少曝气后停留时间及控制曝气量以减少滤前三价铁的含量。分析了纤维滤料除铁的机理及特点, 确定了纤维滤料过滤器合适的反冲洗强度及步骤。

[关键词] 地下水; 除铁; 纤维滤料

[中图分类号] TU991 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2005)09-0034-03

Full-scale experimental study on iron removal from groundwater by fiber filtering media

Zhou Li¹, Peng Yongzhen², Liu Xiaoyang³, Dong Diantong¹

(1. Shandong Provincial Key Lab of Environmental Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China; 2. Beijing Key Lab of Water Quality Science and Water Environment Recovery, Beijing Polytechnical University, Beijing 100022, China; 3. Shenzhen Metro Co., Ltd., Shenzhen 518049, China)

Abstract: The full-scale experimental study on iron removal from groundwater by fiber filtering media has been made. The results showed that fiber filtering media had shorter 'mature period' of 14 d and higher efficacy of iron removal. Iron in the groundwater could be removed from 11.6 mg/L to 0.3 mg/L and below. Fe³⁺ concentration is an important factor which influences the iron removal effect. Reducing retention period after aeration and controlling aeration rate are needed to reduce Fe³⁺ concentration before filters. The mechanism and characteristics of iron removal by fiber filtering media are discussed. The wash steps and suitable washing rate of fiber filters are put forward.

Key words: groundwater; iron removal; fiber filtering media

目前地下水除铁最常用的是接触氧化工艺, 多用锰砂、石英砂、及无烟煤等硬质滤料为活性铁质滤膜的载体^[1]而用软性滤料的并不多见^[2]。采用硬质滤料除铁, 运行经验成熟, 效果也不错, 但存在着滤速较低、反冲洗强度不易控制等问题^[3]。纤维滤料由于其具有巨大的表面积, 吸附及截留能力强, 滤料密实程度可以随过滤及反冲洗的需要进行调整, 克服了硬质滤料的不足。东北某大型发电厂以地下水为生产用水水源, 该地区系松花江流域, 地下水含有大量的铁需要去除。根据发电厂特点及要求, 需要高效、布置紧凑、占地小的除铁工艺, 为此进行了纤维

滤料除铁中试研究。

1 试验材料与方法

试验原水取自电厂水源地, 原水中铁以 Fe²⁺ 形式存在, 含量高达 11.6 mg/L, 属于高含铁地下水。其他指标均符合出水水质要求。处理后出水中铁的含量要求不超过 0.3 mg/L。

中试系统主要设备为 LLY-300 型纤维滤料过滤器, 该过滤器内填充细长丙纶纤维丝, 纤维丝直径 20 μm, 长度为 1.2 m。在纤维束周围中间设有密闭胶囊来控制纤维束的紧密程度, 使纤维束在过滤时处于压实状态, 而在反冲洗时处于松散状态。LLY-

[基金项目] 北京市水质科学与水环境恢复重点实验室开放基金资助, 编号: A2004-105

300型纤维滤料过滤器处理规模为 1.5 m³/h。中试装置系统如图 1 所示。

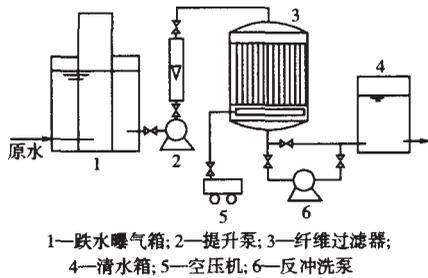


图 1 中试装置系统

纤维滤料过滤器采用气 - 水反冲洗, 其水泵为 1- 1/2BA- 6 型, 空压机容量为 0.6 m³(带除油器)。

2 结果与分析

2.1 纤维滤料的成熟期

接触氧化除铁是依靠滤料上面形成的活性铁质滤膜的吸附及催化作用去除水中的铁, 而滤料本身只是活性铁质滤膜的载体。滤料从表面洁净到形成足够量的活性铁质滤膜而有效去除水中的铁的过程, 称为除铁滤料成熟期。中试设备投入运行后, 随着运行天数的增加, 出水中含铁量逐渐下降, 14 d 后达标 (不超过 0.3 mg/L), 并且出水水质稳定, 见图 2。这表明纤维滤料除铁滤膜已成熟。

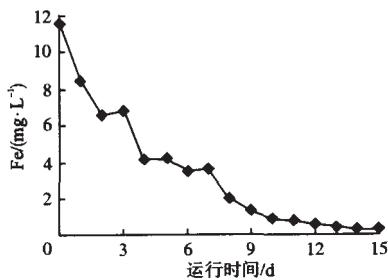


图 2 纤维滤料滤膜成熟过程

2.2 除铁效果

试验中以过滤水头损失达到 0.2 MPa 为过滤终点。试验中逐渐提高滤速, 当滤速达到 20 m/h 时, 除铁效果良好, 出水含铁量稳定在 0.3 mg/L 以下, 过滤周期为 16~20 h。当滤速进一步提高时, 出现过滤周期明显缩短, 且个别周期出水中铁的含量略有超标, 因此, 滤速应控制在 20 m/h 以内。图 3 是原水含铁 11.6 mg/L、滤速为 20 m/h 时几个运行周期的除铁效果及每个周期的过滤持续的时间。

在每个过滤周期中, 过滤水头损失随时间的增长具有一定的规律性。在过滤初期水头损失增加比较缓

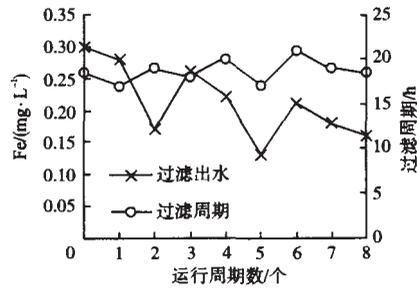


图 3 滤速为 20 m/s 时除铁效果

慢, 过滤后期水头损失则加速增长, 如图 4 所示。

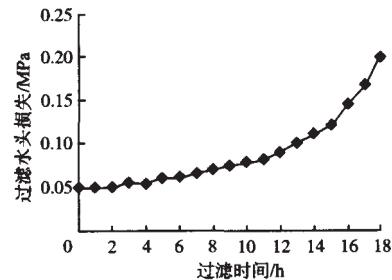


图 4 过滤周期中水头损失变化

2.3 三价铁的影响

Fe³⁺的含量是影响出水水质的主要因素, 试验中发现, 在过滤前如果水中 Fe³⁺的浓度增加, 出水水质将变差。滤前水中 Fe³⁺浓度较高的原因是由于曝气后停留时间过长及曝气强度过大所致。图 5 是过滤前水中 Fe³⁺的含量对出水水质的影响。其中前 6 个运行周期中曝气后水中溶解氧质量浓度为 9 mg/L, 滤前停留时间为 1 h, 滤前水中 Fe³⁺质量浓度为 1.3 mg/L 左右, 滤后出水 Fe 质量浓度为 0.35 mg/L 左右; 从第 7 周期开始, 将曝气后停留时间缩短至 20 min, 同时降低曝气强度, 使溶解氧降低至 6 mg/L, 此时滤前水中 Fe³⁺质量浓度降低至 0.7 mg/L 左右, 而滤后出水中 Fe 质量浓度降低至 0.1 mg/L 左右。从图 5 中还可以看出, 出水中铁的形态主要是 Fe³⁺。

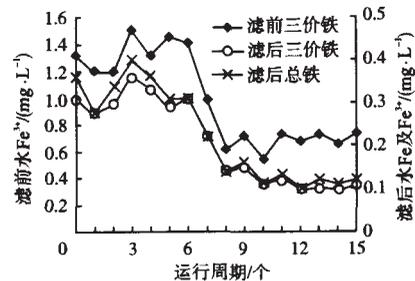


图 5 滤前三价铁对出水水质的影响

当滤前水中有 Fe³⁺时, Fe³⁺水解形成的絮体虽然可以被滤料截留, 但其结构松散, 在水流剪切力作用

下易于破碎,造成 Fe³⁺穿透滤层,或者滤前水中 Fe³⁺还没有水解形成絮体直接穿透滤层,使出水含铁量增大。因此,除铁过程中应该尽量减少滤前水中 Fe³⁺的含量,为此要尽量减少曝气后的停留时间;另外控制适当曝气量。有研究表明,当溶解氧浓度超过理论需氧量的 34%时除铁效果不再受其影响^[4]。

2.4 纤维滤料除铁机理及特点分析

纤维滤料除铁在机理上属于接触氧化除铁。接触氧化除铁是通过滤料表面上形成的活性铁质滤膜的催化作用进行的。首先活性铁质滤膜对水中 Fe²⁺吸附,当水中有溶解氧时,被吸附 Fe²⁺在活性滤膜的催化作用下迅速地氧化、水解,并形成新的活性滤膜又参与反应,从而将水中的铁去除。新鲜的活性滤膜成分是 Fe(OH)₃·H₂O,无定形结构,也有认为起催化作用的是 -FeOOH 和 γ-FeOOH。生物除铁除锰是近十年来提出的新理论与技术,尤其在生物除锰上取得了较大的进展^[5]。很多研究表明在除铁中可能有微生物的作用但不是主要的,起主要作用的是活性滤膜的催化作用^[6],本试验研究中对纤维滤料上活性滤膜镜检也未发现铁细菌存在。

实验表明,Fe²⁺向滤料表面扩散是除铁速率的控制因素,除铁速率可表示为:

$$-d_{Fe^{2+}}/dt=Ds/(C_{Fe^{2+}}-C_{Fe^{2+}}^s)$$

式中: C_{Fe²⁺}——水中二价铁离子质量浓度, mg/L;

C_{Fe²⁺}^s——滤膜表面上的二价铁离子质量浓度, mg/L;

t——时间, s;

D——扩散系数, cm²/s;

s——单位体积滤层中滤膜的外表面积,

cm²/cm³;

δ——边界层厚度, cm。

可以看出,除铁速率与单位体积滤料滤膜的外表面积 s 呈正比,纤维滤料的直径仅为 20 μm(石英砂滤料的直径为 0.5 mm 以上),具有巨大的表面积,因此具有更大的除铁速率,在试验中除铁滤速可达 20 m/h。另外纤维滤料表面为负电性,容易吸附水中带正电的铁离子,加上吸附能力及机械截留能力强,导致纤维滤料在较短时间内能够成熟。

2.5 反冲洗强度

由于纤维丝细长,过滤时容易被铁质滤膜黏结在一起,仅靠水流冲洗难以取得好的效果,必须进行气-水反冲洗。试验中发现,气-水反冲洗强度的大小对下一个周期运行影响很大,经过大量试验,确定

合适的反冲洗强度:水洗强度 14 L/(s·m³),气洗强度 16 L/(s·m³)。反冲洗步骤如下:(1)气-水正洗 1 min;(2)气-水反洗 6~8 min;(3)水反洗 2 min。图 6 为反冲洗废水中含铁浓度随时间的变化情况。可以看出,反冲洗废水在 2 min 左右含铁浓度达到最高值,6~7 min 以后含铁浓度不再明显下降,说明在此之前滤料吸附截留的绝大部分铁质已被洗掉,因此反冲洗时间控制在 8~10 min 比较合适。

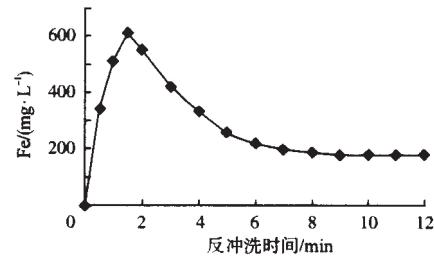


图 6 冲洗水含铁量随时间的变化

3 结论

(1)纤维滤料除铁成熟期短,10 余天内纤维滤料便可成熟。

(2)纤维滤料具有良好的除铁能力,滤速达到 20 m/h 时出水水质合格,过滤周期为 16~20 h。

(3)滤前水中的 Fe³⁺难以去除,要尽量减少滤前水中 Fe³⁺的含量,为此,应尽量减少曝气后的停留时间,曝气量也要适当,不易过强。

(4)采用气-水反冲洗,合适的反冲洗强度:水洗强度 14 L/(s·m³),气洗强度 16 L/(s·m³)。反冲洗步骤依次为气-水正洗 1 min;气-水反洗 6~8 min;水反洗 2 min。

[参考文献]

[1] 李圭白,刘超.地下水除铁除锰[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.175-182
 [2] 宋金璞,张宝杰,张锦,等.多层纤维除铁除锰塔生产性试验[J].化工进展,2002,21(10):766-768
 [3] 黄宇萍.接触氧化除铁滤池设计的若干问题[J].中国给水排水,2001,17(12):41-43
 [4] 余健,郭照光,柳云富,等.地下水接触氧化除铁影响因素与速率[J].给水排水,2003,29(11):15-18
 [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] 余健,付国楷,郭照光,等.洞庭湖区高含铁地下水除铁试验研究[J].给水排水,2003,29(2):23-26

[作者简介] 周利(1963—),1999年毕业于哈尔滨建筑大学,博士,副教授。电话:0532-5072963 13589227369。E-mail:zhouli@qtech.edu.cn。

[收稿日期] 2005-06-10(修改稿)