

技术总结

生物除铁除锰滤池的快速启动研究

李冬¹, 张杰², 王洪涛¹, 程东北³

(1 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 3 北京正华建筑设计事务所, 北京 100073)

摘要: 通过实验室模拟滤柱试验和生产运行实践,确定了制约生物除铁除锰滤池快速启动的主要因素,即原水水质、滤速和反冲洗参数,给出了实际生物除铁除锰滤池快速启动的方法,可供有关技术人员参考。

关键词: 生物滤池; 除铁; 除锰; 快速启动

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2005)12 - 0035 - 04

Quick Start-up of Filter for Biological Removal of Iron and Manganese

L I Dong¹, ZHANG Jie², WANG Hong-tao¹, CHENG Dong-bei³

(1 Dept of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 3 Beijing Genre Architects Associate, Beijing 100073, China)

Abstract: By means of bench-scale simulation test for column filter and practical operation, the main factors affecting the quick start-up of filter for biological removal of iron and manganese were determined, including raw water quality, filtration rate, and backwashing parameters. The method for achieving quick start-up of the filter was also provided, which may be available to the technical personnel for reference.

Key words: biofilter; iron removal; manganese removal; quick start-up

在生物除铁除锰技术的工程应用中,由于自然条件的差异和人为因素的影响,常常会导致生物除铁除锰滤池的成熟期、滤后水水质及运行稳定性等存在较大差异。实践表明,通过对滤池进行适当的调控可减小自然条件的影响。因而可以说,生物除铁除锰工艺在实际运行中的成败在很大程度上取决于对运行条件的控制。

1 材料与方法

1.1 试验装置

以有机玻璃滤柱模拟实际生产中的滤池。滤柱直径为 250 mm,高为 3 m,以粒径为 0.8 ~ 1.2 mm 的石英砂作滤料,滤层厚为 1100 mm;以粒径为 1 ~ 2 mm 的卵石作垫层,垫层厚为 300 mm。用喷淋曝

气代替生产中的跌水曝气。试验装置如图 1 所示。

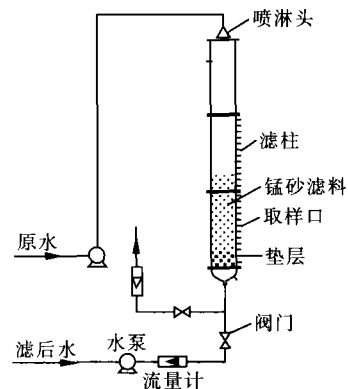


图 1 试验装置示意图

Fig 1 Schematic diagram of experimental set-up

1.2 试验水质和运行参数

原水为人工配制的含铁、含锰水。经喷淋曝气后,水中溶解氧控制在 $4 \sim 5 \text{ mg/L}$,滤柱的滤速为 5 m/h ,反冲洗强度为 $11 \text{ L/(s} \cdot \text{m}^2)$,反冲洗时间为 3 min ,工作周期为 48 h 。

生产性试验采用天然的含铁、含锰地下水,其中兰西县生物除铁除锰水厂源水铁含量为 $10 \sim 14 \text{ mg/L}$,锰含量为 $0.65 \sim 1.1 \text{ mg/L}$,是罕见的高铁高锰地下水;沈阳开发区生物除铁除锰水厂源水铁含量为 $0.048 \sim 0.397 \text{ mg/L}$,锰含量为 $1.792 \sim 3.043 \text{ mg/L}$,属于微铁、高锰地下水。

试验中分析项目有 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 DO 、 Fe^{3+} 等,均采用国家标准分析方法测定^[1]。

2 结果与讨论

2.1 源水水质对快速启动的影响

生产经验表明,源水中铁、锰含量低则滤池成熟期短,同时含铁量极低而含锰量高的源水也不利于滤池的成熟,也就是说铁、锰含量及其比例在很大程度上决定了滤池的成熟状况。

2.1.1 源水铁含量对快速启动的影响

实验室模拟滤柱试验

采用两个完全相同的石英砂滤柱 1[#]和 2[#]进行试验,除了控制进水铁浓度不同外(进水锰约 2.4 mg/L),其他运行参数均相同:滤速为 2 m/h ,反冲洗强度为 $13 \sim 14 \text{ L/(s} \cdot \text{m}^2)$,反冲洗历时为 4 min ,工作周期为 96 h 。控制 1[#]滤柱前 27 d 的进水铁浓度平均为 0.095 mg/L ,后 16 d 平均为 0.037 mg/L ,至出水锰为痕量时滤柱共运行了 43 d ;2[#]滤柱的进水铁浓度在前 10 d 为 0.5 mg/L ,后 22 d 为 0.75 mg/L ,仅运行了 21 d 出水锰便达到了合格标准。

由此可知,处理微铁高锰源水的滤池的成熟期较处理低铁高锰的稍长,但对成熟后的出水水质无影响。经分析原因为:当铁含量过低时滤层内属于极端贫营养环境,此时细菌对底物的利用遵循一级反应,即对底物的氧化速率受底物浓度的影响,由于底物浓度太低,铁、锰氧化细菌的代谢繁殖受到了限制,所以其代谢繁殖速率维持在较低的水平,因而成熟期较长。

实际生产滤池的运行

2003年 10月末对兰西县生物除铁除锰水厂滤池进行接种,经过 8个月的培养至 2004年 6月底滤层基本成熟,出水总铁 $<0.1 \text{ mg/L}$ 、锰 $<0.1 \text{ mg/L}$ 。

这表明,处理高铁含量源水时滤池的成熟期不但没有缩短反而延长了。因此,含铁量太高或太低(微量)的源水都不利于生物滤层的快速成熟。通过对多座生物除铁除锰滤池的运行调试,笔者认为,源水铁、锰含量及其比例是影响滤层成熟期的重要因素。鞍山、抚顺、长春地区地下水的铁含量为 $5 \sim 7 \text{ mg/L}$,锰含量为 $0.4 \sim 0.5 \text{ mg/L}$,铁、锰浓度与比例都比较适度,因而铁、锰比较容易在同一滤层中去除,而且成熟期较短(一般为半个月至 3个月);而对于像兰西县、佳木斯那样地下水铁、锰含量分别高达 $12 \sim 15$ 、 $0.8 \sim 1.2 \text{ mg/L}$ 的地区,滤层中铁氧化物极多,它包埋了滤砂表面和滤层孔隙中的铁、锰氧化细菌群系,减少了其与铁、锰的接触机会,阻碍了代谢的正常进行,因而降低了除锰活性,最终导致成熟期延长。

对于生物除铁除锰滤池极为重要的是维持滤砂表面和滤层孔隙中的生物量及其活性,这在培养期间尤为重要。而铁含量过高会导致频繁的反冲洗,反冲洗强度大、时间长,会造成活性生物的流失,这对滤池的培养是极其不利的,会使培养期延长;反冲洗强度弱、时间短,则会造成铁泥、细菌代谢产物和老化生物细胞的积累,影响了生物活性的增长,严重时甚至出现滤层的板结,进而影响到滤池的正常运行。基于此处理铁含量极高的地下水时生物滤层的成熟期较长。

2.1.2 完全氧化时间对成熟期的影响

各地区地下水中 Fe^{2+} 的完全氧化时间相差较大,有的地下水接触空气之后,短短几分钟就可被氧化为 Fe^{3+} 胶体颗粒,而有的即使几十分钟甚至更长时间也不能被完全氧化,这是各地地下水特有的性质,主要是受溶解氧、可溶性硅酸、pH等因素的影响。兰西地区地下水中 Fe^{2+} 的完全氧化时间很短,从跌水曝气池至滤池不到 2 min 的时间里就有部分 Fe^{2+} 被氧化,地下水由澄清透明变为浑浊的黄褐色,于是在滤层的表层覆盖了一层薄薄的铁泥,这些铁泥影响了生物膜和絮凝体活性的快速增长,导致了成熟期延长。因此可以认为,完全氧化时间短的地下水不利于生物滤层的快速成熟。

2.2 滤速对快速启动的影响

2.2.1 对模拟滤柱成熟期的影响

采用两个完全相同的滤柱同时进行试验,其中 3[#]滤柱以 1.2 m/h 的滤速运行,4[#]滤柱以 2.3 m/h

的滤速运行,其他水力条件相同。将等体积等浓度的细菌悬浊液分别接种到两个滤柱中,同时取进、出水水样并检测铁、锰含量。两滤柱的成熟过程曲线分别见图 2 和图 3。

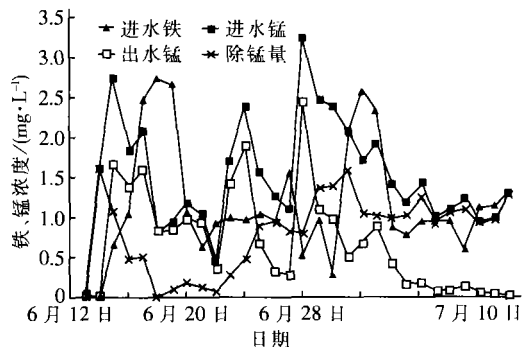


图 2 4[#]滤柱培养成熟过程

Fig 2 Mature period of No. 4 filtration column

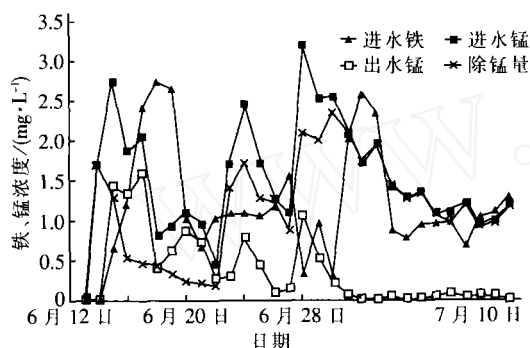


图 3 3[#]滤柱培养成熟过程

Fig 3 Mature period of No. 3 filtration column

由图 2、3 可知,在进水水质完全相同的条件下,3[#]滤柱运行 20 d 后出水就达标,此后出水锰一直稳定在痕量,而 4[#]滤柱运行 30 d 后出水锰含量才达标并稳定,这表明采取低滤速有利于生物滤层的快速成熟。

2.2.2 对生产滤池成熟期的影响

在兰西县生物除铁除锰滤池的调试运行过程中,控制 1[#]~4[#]滤池的滤速分别为 2.3、1.9、1.41、0.95 m/h,则运行 4 个月后不同滤池的成熟情况见图 4。

从图 4 可知,1[#]~4[#]滤池滤后水的锰含量分别为 0.6、0.5、0.4、0.4 mg/L,与滤速高低顺序相一致。运行 8 个月后,2[#]、3[#]滤池出水的锰浓度均在 0.05 mg/L 以下,说明滤池已经成熟。与之相比,滤速最大的 1[#]滤池的出水锰含量为 0.15~0.25 mg/L,说明该滤池仍未成熟,4[#]滤池则由于闸门故障而停

运。

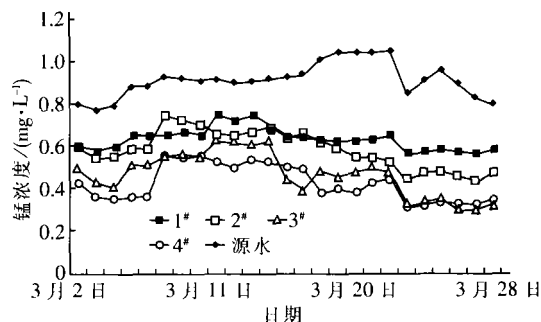


图 4 不同滤速下的滤池成熟状况

Fig 4 Mature condition of filter in different flow rate

综上所述,生产运行结果与实验室模拟结果相一致,即培养期滤速的大小直接影响滤层的成熟状况。这主要是由于铁、锰氧化细菌对环境的要求所致。铁、锰氧化细菌与载体接触后,并不能立刻牢固地附着在其表面,若此时的滤速较大则相应的水流剪切力也较大,会将刚刚附着在滤料表面的细菌冲刷下来(使之成为游离细菌),于是在反冲洗过程中被冲出滤层。所以在铁、锰氧化细菌与载体表面接触后还需要一个相对稳定的环境条件,即必须保证他们能在载体表面有一定的停留时间,以使铁、锰氧化细菌在载体表面牢固附着,为以后的生长、繁殖创造条件。随着滤层中微生物数量的不断增加,滤砂表面附着与固定的微生物量也不断增加,便可以逐渐提高滤速了,一般初始滤速应控制在 3 m/h 之下,每次增加的幅度应不高于 0.5~1 m/h,某一滤速下至少要运行一周,在保证一定的巩固运行时间后才能继续增加滤速直至设计滤速(5~7 m/h)。在培养过程中如果滤速增幅过大、巩固运行时间过短,则出水水质往往会恶化。

2.3 反冲洗对快速启动的影响

试验中发现,细菌不单附着在滤料表面,也大量地存在于滤层孔隙的铁泥中^[2],该部分细菌是滤层培养期除铁除锰能力的主要来源。在滤层培养期尤其是初期,细菌绝大多数以游离态存在于滤层空间,附着在滤料表面的细菌数量相当少,强度过大的反冲洗将使这些游离细菌流失,会延缓滤层的成熟。因而在培养期提倡弱反冲洗。

兰西县生物除铁除锰滤池培养初期的反冲洗强度为 12 L/(s·m²),反冲洗时间为 4 min,反冲洗周期为 3 d,但运行 3 个月后滤池仍未成熟,并发现滤层中积累了大量铁泥(形成卵石状的泥团),严重阻

碍了过滤的正常进行。对泥团进行人工清除后将反冲洗周期缩短为 1 d,反冲洗强度提升到 $14 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,反冲洗时间延长为 8 min,经过 5 个月的培养最终成熟。以此看来,正是由于反冲洗参数选择不当导致了生物活性增长缓慢,使得滤池的成熟期长达 8 个月。

沈阳开发区生物除铁除锰水厂在培养期的反冲洗强度为 $10 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,反冲洗时间为 2 min,反冲洗周期为 4 d。运行一段时间后发现滤层出现了严重的板结现象,导致滤层过滤不均匀,影响了滤后水水质。为消除板结现象和保证处理效果,通过人工翻砂将结块打碎,并将反冲洗强度提升为 $12 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,反冲洗时间延长至 5 min,反冲洗周期缩短为 2 d,经过几天的恢复后滤池处理效果变得非常稳定,出水锰为痕量。

分析滤层出现板结的原因,认为是培养后期反冲洗强度不够所致。实践证明,反冲洗参数的确定要综合考虑许多因素,如进水铁锰含量、源水的特有性质、滤速等。从上面两个生产实例可知,对于不同水质的地下水,滤池的反冲洗参数是有差异的,应根据生产状况来确定,但要遵循如下原则:在培养至成熟的过程中,反冲洗强度从弱到强逐渐提高,反冲洗时间逐渐延长,而滤池的工作周期相应地要缩短。这是由滤层中铁、锰氧化细菌的生长过程决定的,随着细菌由适应期进入对数生长期其活性逐渐增强,并产生分泌物使细菌牢固地附着在滤料表面。滤层培养成熟后,滤料表面附着的细菌达到一定的数量,滤层的处理能力和抗冲击负荷能力大大提高,此时

应适当提高反冲洗强度,这是因为有较多的代谢产物沉积在滤料表面,需要通过加强反冲洗来有效清除这些物质,保证生物代谢的顺畅;培养初期的弱反冲洗导致一部分铁泥滞留在滤层中,不但增加了滤层的水头损失,还可能导致滤料产生板结,也需要通过加强反冲洗来使滤层冲洗得更彻底;适当增加反冲洗强度可能使细菌在滤料表面附着更牢固,能适应较强的水力冲击,有利于维持滤层的稳定,进而促进滤池的快速启动。

3 结论

生物除铁除锰滤池的快速启动受地下水水质、滤速、反冲洗参数等因素的制约。微铁和高铁含量的地下水都会延长生物滤层的成熟期。为实现生物除铁除锰滤池的快速启动可遵循如下原则:在培养期采取较低的滤速和较弱的反冲洗强度,随着滤层内细菌数量的不断增加适当提高滤速和反冲洗强度;与铁、锰含量较低的地下水相比,铁、锰含量较高的地下水在培养期应适当降低滤速、提高反冲洗的强度并缩短过滤周期。

参考文献:

- [1] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1988
- [2] 杨宏,李冬,张杰. 生物固锰除锰机理与生物除铁除锰技术 [J]. 中国给水排水, 2003, 19(6): 1 - 5

E - mail: li_dongzi@sina.com

收稿日期: 2005 - 06 - 20

· 工程信息 ·

钓鱼台国宾馆外网改造工程

建设内容:包括综合管沟改造、供热管道、热力站、制冷管道、制冷站、燃气管道、供水管网、水处理站、污水管网、雨水管网、电缆、智能管理网线缆及通行管沟的建设。工程投资:2.5 亿元,建设单位:钓鱼台国宾馆管理局,设计单位:中国市政工程华北设计研究院,工程进展:可行性研究。

(本刊编辑部)