

技术总结

某水厂 V 型滤池初滤水排放控制技术研究

徐晓丽¹, 何 莲¹, 郑全兴²

(1. 扬州大学 环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2. 江苏长江水务股份有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 《室外给水设计规范》(GB 50013—2006)对初滤水的排放提出了要求,但对于初滤水排放时间、排放方式等相关内容未提出具体要求,实际很多水厂未设计初滤水排放设施或未合理排放初滤水。以扬州某水厂 V 型滤池实际生产数据为例,对影响初滤水水质的因素进行分析,对初滤水排放过程中浊度、颗粒数、 UV_{254} 、 COD_{Mn} 和菌落总数等参数的变化规律进行了研究,并从经济和安全性的角度提出初滤水排放时间控制在 2~5 min 较为合适,滤池进水浊度较高时宜取上限。

关键词: 初滤水; V 型滤池; 优化控制; 浊度; 颗粒数

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0040-05

Study on Controlled Discharge of Initial Filtrated Water of V-type Filter in a Waterworks

XU Xiao-li¹, HE Lian¹, ZHENG Quan-xing²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;
2. Jiangsu Yangtze River Water Affairs Incorporated Company, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The Code for Design of Outdoor Water Supply Engineering (GB 50013 - 2006) regulates the removal of initial filtrated water, but it is lack of specific requirements on the discharge time or other design parameters of the initial filtrated water. In fact, the initial filtrated water discharge design or control devices are absent in many waterworks. Taking the actual production data of the V-type filter from a waterworks in Yangzhou as an example, the parameters affecting the quality of initial filtrated water were analyzed. The variations of turbidity, particle count, UV_{254} , COD_{Mn} and total bacterial colony number in the process of initial filtrated discharge were studied. From economy and safety perspectives, it was appropriate to control the discharge time of initial filtrated water in 2 - 5 minutes, and the upper limit should be taken when the turbidity of the inlet water of the filter was high.

Key words: initial filtrated water; V-type filter; optimal control; turbidity; particle count

滤池出水水质直接关系到出厂水水质的安全稳定,随着供水水质要求的提高,初滤水的水质监测和排放控制作为水厂运行管理的一个重要环节,需要

加以重视。滤池冲洗完成后有部分反洗水残留于滤池内,在滤池恢复过滤初期,出水水质波动较大,含有较高的浊度与较多的颗粒数^[1-2],存在水质安全

基金项目: 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(SJCX17_0628)

通信作者: 何莲 E-mail: helian@yzu.edu.cn

风险,直接进入清水池对供水安全会有一定的影响。

有的水厂要求滤池总出水浊度在0.1 NTU以下,已有研究表明,在此范围浊度仪误差较大,且不能有效反映粒径 $>1\ \mu\text{m}$ 的颗粒(如贾第鞭毛虫和隐孢子虫)的情况,因此水质安全性不能仅以浊度衡量^[3-4]。颗粒计数仪能有效监测粒径 $>1\ \mu\text{m}$ 的颗粒数的变化,但我国还未将颗粒数纳入《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),有研究发现当水中颗粒数超过100个/mL时,有较大的概率存在“两虫”问题^[5-7]。美国国家环境保护局要求单个滤池出水浊度最大不超过0.3 NTU,15 min内水质要达到稳定^[8]。

《室外给水设计规范》(GB 50013—2006)提到“滤池宜设有初滤水排放设施”,但对于初滤水水质要求、排放时间、排放方式等缺少具体指导,现有的设计手册也很少有关于初滤水设计的内容,部分水厂未设置初滤水排放设施或忽视初滤水排放,导致部分质量不合格的初滤水直接进入清水池,降低了水质安全性。基于此,笔者结合扬州某水厂V型滤池实际生产运行,对初滤水水质变化进行研究,分析影响因素,并对初滤水排放条件进行优化。

1 试验过程和方法

1.1 试验场所

试验选择在设有初滤水排放设施的扬州某水厂进行,该水厂以长江水为水源水,全年原水浊度在16~302 NTU之间、 COD_{Mn} 浓度在1.7~3.8 mg/L之间,水源水质符合地表水Ⅱ类水体要求,水厂采用折板絮凝池+平流沉淀池+V型滤池,处理效果稳定,出厂水浊度控制在0.3 NTU以下, COD_{Mn} 浓度控制在1.5 mg/L以下。

水厂近期设计供水规模为 $30\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$,分2期建设,每期设置1座V型滤池,供水规模为 $15\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 。每座滤池分为10格,单格过滤面积为 $91.8\ \text{m}^2$,滤料粒径为0.9~1.35 mm,不均匀系数 <1.25 ,滤层厚度为1.30 m,滤速一般在6~7 m/h范围内。滤池反冲洗方式及过程如下:首先进行气反冲洗,冲洗强度为 $17\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,时间为5 min;然后是气水同时反冲洗,气洗和水洗强度分别为 17 、 $3\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,时间为5 min;最后是清水漂洗,冲洗强度为 $5\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,时间为7 min。整个反冲洗过程伴随着强度为 $2\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的表面扫洗,冲洗效果良好,滤料冲洗后的含泥率一般小于0.2%。滤

池设计有初滤水排放设施(见图1)并正常排放,在每格滤池排水侧设置孔径为700 mm的人孔,人孔安装闷板,闷板上开孔,孔径为DN200,装有2根初滤水排放管,并设有两台DN200气动蝶阀,用于排放初滤水,两阀门可同时启闭,阀板开启从 $0\sim 90^\circ$ 行程时间约为4 s。初滤水排放结束后,清水阀门采取缓慢启动的方式,保证过滤水水质。

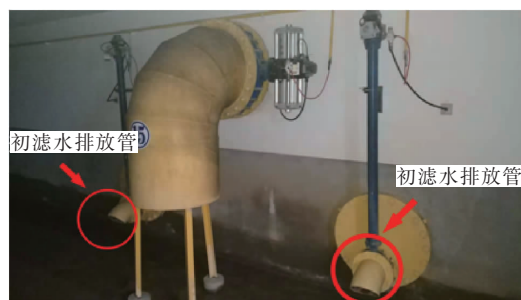


图1 初滤水排放管

Fig. 1 Discharge pipe for initial filtrated water

水厂初滤水设计排放时间为15 min,但实际运行发现,单格滤池初滤水排放时两阀门同时开启,实际初滤水排放速度达到12 m/h左右,按照这个速度,到15 min时,滤池液面会下降到砂面以下,为了防止露砂,水厂实际运行中将初滤水排放时间调整为2 min,设定的主要依据是此时排放初滤水的滤格出水浊度低于0.3 NTU,是否经济合理需通过试验和生产数据分析确定。

1.2 试验方法

选择一期工程滤池进行试验,通过改变水厂一期2[#]、4[#]、9[#]滤池的过滤周期以及初滤水排放时间来分析初滤水水质变化情况,过滤周期设为48和72 h,初滤水最长排放时间约为7 min,前2 min每隔30 s取样,2 min后每隔1 min取样,超过7 min后取滤后水进行试验分析。

1.3 分析项目及方法

浊度:HACH 便携式浊度仪(2100P型),分辨率为0.01 NTU;颗粒数:IBR 便携式颗粒物计数仪,有8个测量通道,分别为 >2 、 >3 、 >5 、 >7 、 >10 、 >15 、 >20 、 $>25\ \mu\text{m}$; COD_{Mn} :酸性高锰酸钾滴定法; UV_{254} :紫外分光光度计(UV759S型),水样需经 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤;菌落总数:平皿计数法。

2 结果与分析

2.1 初滤水排放时间对初滤水水质的影响

对初滤水排放过程中的浊度、颗粒数、 UV_{254} 、

COD_{Mn}及菌落总数进行测定,其中浊度和颗粒数随排放时间的变化情况见图2。

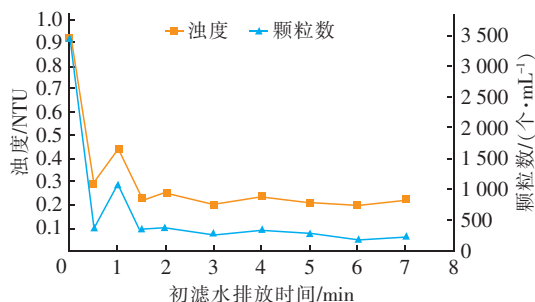


图2 初滤水排放过程中浊度和颗粒数的变化情况

Fig.2 Change of turbidity and particle counts during discharge of initial filtrated water

从图2可以看出,初滤水排放初期浊度较高,最高达到0.92 NTU,30 s内浊度迅速降至0.3 NTU左右,而后随着排放时间的增加,浊度会有小幅度波动,在排放时间超过2 min后,浊度基本稳定,始终在0.3 NTU以下。

初滤水中颗粒数的变化规律与浊度基本一致,即在排放初期的30 s内下降最多,然后逐渐趋于稳定。颗粒数在排放初期较高,平均在3 000个/mL左右,2 min后迅速降至350个/mL左右,降幅接近90%,随着排放的进行,颗粒数继续缓慢降低,5 min后,颗粒数约降至200个/mL左右。反冲洗过后,因滤料表面及其孔隙内的反冲洗残液中存在残留的杂质,所以排放初始阶段初滤水中颗粒数量较多,随着初滤水的排放,滤料层结构趋于稳定并逐渐恢复过滤能力,水中的颗粒物被滤料截留,反冲洗残液也几乎排放结束,出水中颗粒数迅速降低。

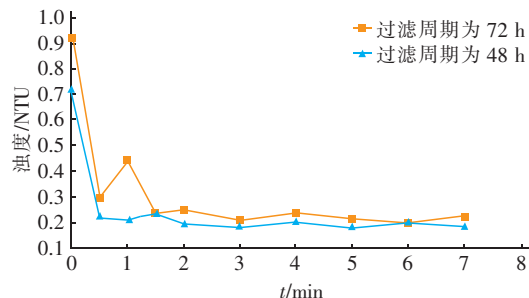
此外,随着初滤水排放时间的增加,有机物含量变化不太明显。其中初滤水中UV₂₅₄变化平缓且幅度很小,排放初期平均在0.021 7~0.031 1 cm⁻¹之间,低于试验期间滤池进水;COD_{Mn}变化规律不显著,排放初期平均在1.31~1.70 mg/L之间。

初滤水中菌落总数随着排放时间的增加整体呈下降趋势,初滤水排出瞬间,菌落总数最高时达到1 130 CFU/mL,2 min内菌落总数总体较高,但2 min后很快下降到500 CFU/mL以下,之后继续下降并趋于稳定。

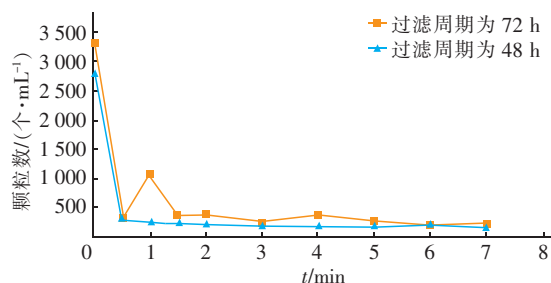
2.2 过滤周期对初滤水水质的影响

过滤周期对初滤水中浊度、颗粒数、UV₂₅₄和COD_{Mn}等均有一定的影响,过滤周期短,初滤水水质

相对较优,但UV₂₅₄、COD_{Mn}整体变化不大,且规律性不明显。过滤周期由72 h降为48 h后,初滤水中浊度和颗粒数的最高值均明显下降,排放过程中浊度和颗粒数的变化更为平缓且相对较低(见图3)。



a. 浊度随时间的变化



b. 颗粒数随时间的变化

图3 过滤周期对初滤水中浊度和颗粒数的影响

Fig.3 Effect of filtration cycle on turbidity and particle counts of initial filtrated water

2.3 其他因素对初滤水水质的影响

① 滤池反冲洗效果的影响

根据试验数据发现,反冲洗结束时的排水浊度越高,初滤水浊度和颗粒数等参数相对较高。水厂实际运行中通过优化反冲洗参数、增加反冲洗后静置时间等措施提高反冲洗效果,反冲洗排水终点浊度基本控制在10 NTU以下,初滤水中浊度最高值能控制在1 NTU以内。

② 初滤水排放速度的影响

初滤水水质也会受到初滤水排放速度的影响,通过不同排放方式对比,发现滤速较大时出水中的颗粒数相对较多,这主要是由于滤速增大会降低杂质截留率,但反过来也会增大冲刷力,便于杂质快速排出。

③ 滤池进水水质的影响

滤池进水水质对初滤水水质也有影响,图4为不同进水水质对初滤水排放初始不同粒径颗粒数的影响。可以看到,滤池进水浊度越大,排放的初滤水初始水质相对较差。另外,初滤水中浊度和颗粒数

最大值都低于滤池进水,说明初滤水排放过程中滤料已经起到部分过滤作用。

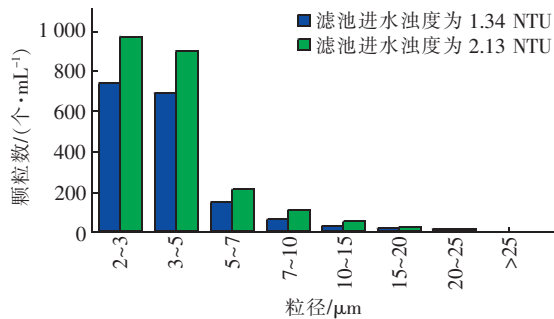


图4 滤池进水水质对初滤水排放初始不同粒径颗粒数的影响

Fig. 4 Effect of influent turbidity on initial particle size during discharge of initial filtrated water

综上,合理控制过滤周期、提高混凝沉淀效果及反冲洗效果等可以改善初滤水水质。

3 初滤水排放优化控制

3.1 初滤水排放主要水质控制参数

从初滤水水质变化规律可知,初滤水中浊度、颗粒数、菌落总数在排放初期存在突变;UV₂₅₄、COD_{Mn}变化不大,且规律性不明显。从便于水厂运行管理和出水水质安全角度考虑,选用浊度和颗粒数作为初滤水排放的主要水质控制参数。

由图2可知,初滤水中颗粒数在排放初期的30 s内下降最多,之后小幅波动并逐渐趋于稳定,这种相似的变化规律表明浊度和颗粒数之间极有可能存在一定的相关性。图5为初滤水中颗粒数与浊度的关系曲线。通过曲线拟合,得出线性相关系数 $R^2 = 0.9218$,表明二者具有一定的相关性。

颗粒数可以体现出水中颗粒粒径组成和数量的变化。不同粒径颗粒数占比随时间的变化情况见图

6。可知,2~5 μm的颗粒随初滤水排放时间变化与颗粒总数变化规律基本一致,在排放初期下降最为明显,2 min之内降幅接近90%,但其占比始终最高,在75%左右;此外,粒径越大则颗粒数所占比例越小。

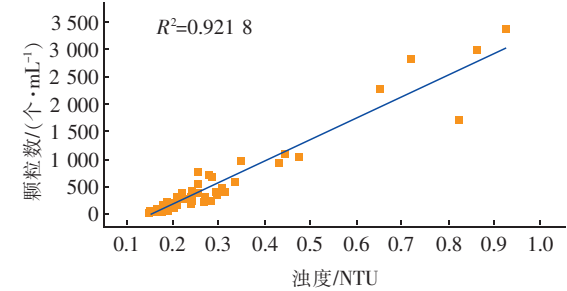


图5 颗粒数与浊度的关系曲线

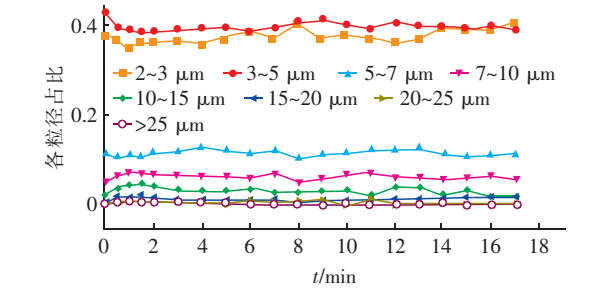


图6 不同粒径颗粒数占比随时间的变化情况

由于浊度仪检测的局限性,相同浊度对应的颗粒数及颗粒组成会有差异,如浊度同为0.2 NTU时,对应颗粒数最低为121个/mL、最高为202个/mL,且不同粒径颗粒分布均有差异(见表1)。由此可知,单凭浊度这一个参数无法全面了解水质,在浊度较低时,颗粒数比浊度更能体现水质的变化。

表1 浊度和颗粒数的对应关系

Tab. 1 Relationship between turbidity and particle counts

浊度/NTU	>2 μm 颗粒数/ (个·mL ⁻¹)	不同粒径颗粒分布/(个·mL ⁻¹)							
		2~3 μm	3~5 μm	5~7 μm	7~10 μm	10~15 μm	15~20 μm	20~25 μm	>25 μm
0.2	202	79	78	23	12	7	2	1	0
	195	69	70	22	15	11	5	2	1
	160	58	63	20	10	5	2	1	1
	128	44	46	15	11	7	3	1	1
	121	41	44	15	10	7	2	1	1

3.2 初滤水排放时间的优化

从排放时间对颗粒数的影响可知,在初滤水排放7 min之内,一开始初滤水浊度与颗粒数变化较

为剧烈,2 min后变化幅度减小,浊度稳定在0.3 NTU以下,颗粒数基本稳定在350个/mL左右,排放5 min后,颗粒数可降至200个/mL以下。

经过连续跟踪测定,水厂长期运行的滤池出水颗粒数基本稳定在 40 ~ 100 个/mL,贾第鞭毛虫和隐孢子虫的数量均在 1 个/10 L 以下,水质安全风险在可控范围内。

试验过程中初滤水最长排放时间设为 7 min,虽然时间越长,水质越稳定,但是排放废水量也会随之增加。

从水质安全和经济角度考虑,水厂初滤水排放时间控制在 2 ~ 5 min 比较适宜,为避免初滤水排放浪费,在满足水质安全的条件下,可将初滤水收集并输送到混合池与原水重新混合进行后续处理。

4 结论

① 滤池反冲洗后有少量杂质难以及时排出,在过滤初期,水中浊度、颗粒数和菌落总数等相对较高,水质波动较大,需要进行初滤水排放。

② 初滤水水质与排放时间、过滤周期、滤池进水水质、反冲洗效果等因素有关,可以通过过滤周期的控制、混凝沉淀效果的提高以及反冲洗过程的优化等措施来改善初滤水的水质。

③ 初滤水中以粒径在 2 ~ 5 μm 的颗粒物为主,颗粒数变化规律与浊度相近且存在一定的相关性,以浊度和颗粒数为初滤水排放控制参数,可以更全面地反映初滤水水质状况。建议初滤水最终排放浊度控制在 0.3 NTU 以下,粒径 > 2 μm 的颗粒数控制在 200 个/mL 以下。

④ 从水质安全和经济角度考虑,水厂初滤水排放时间控制在 2 ~ 5 min 较为合适,滤池进水浊度较高时宜取上限。

参考文献:

- [1] 许保玖. 给水处理理论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
Xu Baojiu. Water Treatment Theory[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2004(in Chinese).
- [2] Amburgey J E. Optimization of the extended terminal subfluidization wash (ETSW) filter backwashing procedure[J]. Water Res,2005,39(2/3):314-330.
- [3] 杨艳玲,李星,刘美洲,等. 用颗粒计数和浊度联合评价颗粒物去除作用[J]. 北京工业大学学报,2007,33(11):1199-1202.
Yang Yanling, Li Xing, Liu Meizhou, et al. Evaluation on particle removal effect with combination of particle

counting and turbidity[J]. Journal of Beijing University of Technology,2007,33(11):1199-1202(in Chinese).

- [4] 黄小红,周圣东,王海湧,等. 活性炭滤池中颗粒物数量和粒径分布的研究[J]. 供水技术,2013,7(1):18-21.
Huang Xiaohong, Zhou Shengdong, Wang Haiyong, et al. Particle amount and particle size distribution in activated carbon filter[J]. Water Technology,2013,7(1):18-21(in Chinese).
- [5] Ribas F, Bernal A, Perramon J. Elimination of *Giardia* cysts, *Cryptosporidium* oocysts, turbidity and particles in a drinking water treatment plant with clarification and double filtration[J]. Water Sci Technol,2000,41(7):203-211.
- [6] Huck P M, Coffey B M, Anderson W B, et al. Using turbidity and particle counts to monitor *Cryptosporidium* removals by filters[J]. Water Supply,2002,2(3):65-71.
- [7] 王东升,陈勇生. 在线激光颗粒计数仪在水处理中的应用[J]. 中国给水排水,2003,19(9):29-31.
Wang Dongsheng, Chen Yongsheng. Application of online laser particle counter in water treatment[J]. China Water & Wastewater,2003,19(9):29-31(in Chinese).
- [8] 冯硕,张晓健,陈超,等. 炭砂滤池反冲洗及初滤水浊度控制方式研究[J]. 中国给水排水,2011,27(1):52-54,57.
Feng Shuo, Zhang Xiaojian, Chen Chao, et al. Study on backwash methods and initial filtered water turbidity control of GAC-sand filters [J]. China Water & Wastewater,2011,27(1):52-54,57(in Chinese).



作者简介:徐晓丽(1993-),女,江苏如皋人,硕士研究生,研究方向为水处理理论与技术。

E-mail:857284562@qq.com

收稿日期:2018-10-08