

反粒度生物滤池初滤水浊度控制研究

刘宏远¹, 陶娟娟¹, 朱海涛^{1,2}, 沈卫民², 叶守开¹, 邢岚英¹

(1. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 嘉兴市水务集团有限公司, 浙江 嘉兴 314000)

摘要: 在反粒度生物滤池/臭氧-生物活性炭组合工艺处理微污染水源水过程中,存在反粒度生物滤池初滤水浊度过高,进而影响后续臭氧-生物活性炭工艺稳定运行的情况,针对这一问题进行了反粒度生物滤池初滤水浊度控制研究。以反粒度生物滤池出水浊度 <1.5 NTU为预设目标,通过直接排放初滤水、延时启动、延时与慢速启动联用、降低运行初期滤速、二次絮凝、延时启动后二次絮凝与慢速启动联用等6种技术措施对反粒度生物滤池出水浊度进行了控制研究。结果表明,直接排放初滤水至出水浊度 <1.5 NTU需要40 min,初滤水排放量约占每一个运行周期处理水量的1.4%,浪费了大量水资源;另外5种措施对浊度控制有一定效果,其中,延时10 min后缓慢启动并进行二次絮凝(絮凝剂投加量为7 mg/L,投加时间为30 min)工况下,初滤水浊度峰值 <10 NTU,10 min内初滤水浊度可降至1.5 NTU,控制效果较为理想。

关键词: 反粒度生物滤池; 初滤水; 浊度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)11-0056-05

Turbidity Control in Initial Effluent of Reverse Grain Biological Filter

LIU Hong-yuan¹, TAO Juan-juan¹, ZHU Hai-tao^{1,2}, SHEN Wei-min², YE Shou-kai¹,
XING Lan-ying¹

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Jiaxing Water Investment Group Co. Ltd., Jiaxing 314000, China)

Abstract: Several operational techniques were tested to reduce the turbidity to below 1.5 NTU in the initial effluent in a reverse grain biological filter, in order to protect the subsequent ozone/biological activated carbon process in the treatment of micro-polluted water. The operations included discharging initial effluent directly, delaying start-up, slow start-up after delaying, reducing the initial operational filtration velocity, secondary flocculation, and secondary flocculation combined with a slow start-up after delaying. The results showed that discharging initial effluent directly could reduce initial filtered water turbidity to below 1.5 NTU within 40 min; however, approximately 1.4% of treated water was discharged in each cycle. The other five techniques could control turbidity effectively to a certain degree as well. Especially, through the operation of secondary flocculation (7 mg/L PAC, 30 min) with a slow start-up after 10 min of delaying, the turbidity was reduced to below 1.5 NTU within 10 min and the highest turbidity was below 10 NTU.

Key words: reverse grain biological filter; initial filtered water; turbidity

嘉兴地区的水源水是以氨氮和有机物为特征污染物的污染河网原水,常规给水处理工艺对其去除能力有限。针对这一问题,课题组进行了反粒度生物滤池处理微污染水源水的可行性及运行效能研究^[1],结果表明反粒度生物滤池对氨氮、浊度、有机物等有良好的去除效果,稳定运行期间对氨氮和浊度的平均去除率分别达到91%和84%,且运行能耗低。反粒度滤池依靠吸附与筛滤去除水中悬浮物,但截留在滤池底部粗滤料和滤层中大量的悬浮固体在反冲洗过程中受到冲洗强度限制而难以完全冲洗干净,若反冲洗强度过大则又会导致滤层膨胀率太大而造成表层细滤料流失,而且滤料冲洗过于干净也不利于过滤^[2]。另外,反洗结束后的滤层呈不稳定状态,当再次开始过滤时滤层残留的杂质在上向流过滤作用下极易被带出滤层,导致初滤水浊度高于正常过滤时出水浊度。郜玉楠等^[3]通过正交试验提出了二次微絮凝与调节过滤初期流速组合工艺的方法进行初滤水浊度控制;Sánchez等^[4]对反粒度石英砂滤池中低成本多级滤池强化混凝进行研究,结果表明投加混凝剂的情况下浊度去除率可提高至90%左右。因此采取一定程度的技术措施对初滤水浊度进行控制,可有效降低初滤水浊度,提高出水水质。为解决初滤水浊度过高,同时保证后续臭氧-生物活性炭工艺的稳定运行,以反粒度生物滤池出水浊度<1.5 NTU为预设目标,通过直接排放初滤水、延时启动、延时与慢速启动联用、降低运行初期滤速、二次絮凝、延时启动后二次絮凝与慢速启动联用等6种措施对反粒度生物滤池初滤水浊度进行了控制研究。

1 试验方法

1.1 试验装置

试验在嘉兴市某水厂进行,水源水的 COD_{Mn} 和氨氮浓度长期处于4~8 mg/L和0.5~4 mg/L,是典型的氨氮、有机物污染的河网水质。现场中试流程为:原水→平流沉淀池→上向流反粒度生物滤池→臭氧柱(三级)→上向流活性炭池→砂滤池→清水池。以反粒度生物滤池为研究对象,主要研究其初滤水浊度问题,从而保证后续臭氧-生物活性炭工艺的稳定运行。图1为上向流反粒度生物滤池装置示意,该滤池采用Q235A钢质壳体,设备主体直径为1 000 mm,高度为2 700 mm,总体积为2.12 m³,以石英砂为填料,承托层粒径为2~4 mm,滤层

粒径为0.8~2.0 mm,采用中阻力长柄滤头布水。

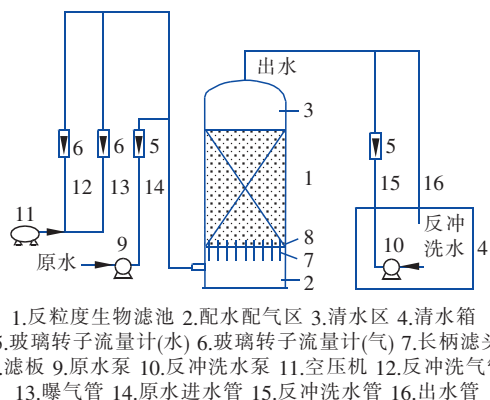


图1 反粒度生物滤池装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of reverse grain biological filter setup

1.2 运行工况

反粒度生物滤池以平流沉淀池出水作为待滤水。运行参数按照课题组前期试验结果确定^[1]:流量为8.5 m³/h,滤速为11 m/h,运行周期为48 h。反冲洗分为4个步骤,首先是气冲,强度为14 L/(m²·s),冲洗时间为4 min,方向由下至上;其次是气水联合反冲洗,气冲强度为14 L/(m²·s),水洗强度为3 L/(m²·s),冲洗水为待滤水,冲洗时间为6 min,方向由下至上;然后是单独水反冲,强度为3 L/(m²·s),冲洗水为待滤水,冲洗时间为4 min,方向由下至上;最后是正冲洗,强度为6 L/(m²·s),冲洗水为滤后水,冲洗时间为4 min,方向由上至下。

1.3 试验方法

试验通过直接排放初滤水、延时启动、延时与慢速启动联用、降低运行初期滤速、二次絮凝、延时启动后二次絮凝与慢速启动联用等6种技术措施进行初滤水浊度控制研究。①直接排放初滤水:通过浊度仪在线监测得到浊度>1.5 NTU的时间段,将此时间段内较高浊度初滤水直接排放;②延时启动:反冲洗结束后关闭进水阀,待滤池静置3~15 min再开启进水阀;③延时与慢速启动联用:反冲洗结束后关闭进水阀,待滤池静置3~10 min后再缓慢开启进水阀,使滤速在3 min左右时间内缓慢匀速增加到设计工况11 m/h;④降低运行初期滤速:反冲洗结束后过滤前30 min控制滤速为4~8 m/h,之后再 将滤速提高到设计工况11 m/h;⑤二次絮凝:反冲洗后开启阀门同时投加5~15 mg/L絮凝剂,直到反冲洗后出水浊度稳定;⑥延时启动后二次絮凝与慢

速启动联用:反冲洗结束后关闭进水阀,待滤池静置0~15 min后开始投加絮凝剂,同时缓慢开启进水阀,使滤速在3 min左右时间内缓慢匀速增加到设计滤速11 m/h。

采用HACH SC200浊度仪在线监测滤池出水浊度。

2 结果与讨论

2.1 直接排放初滤水

初滤水浊度峰值一般出现在反洗后过滤的第4分钟,达到90 NTU,然后开始下降,直到第40分钟才降至预设目标值1.5 NTU左右。如果采用这种反冲洗后直接排放的方法,较高浊度的初滤水需要排放约40 min,排放量约占每一个周期处理水量的1.4%,会造成大量水资源的浪费。

2.2 延时启动

由反粒度滤池的反冲洗机理可知,反洗结束后滤层呈不稳定状态,残存的杂质易随水流带出滤池,导致初滤水浊度较高。因此,试验试图通过推迟滤池启动时间,让滤池在反冲洗后静置一段时间,使滤层趋于稳定,以此降低初滤水浊度。从理论上分析,滤池反冲洗后静置时间越长,滤层越稳定,滤后水浊度则越低。试验研究了分别延时3、5、7、10和15 min启动的效果,结果见图2。

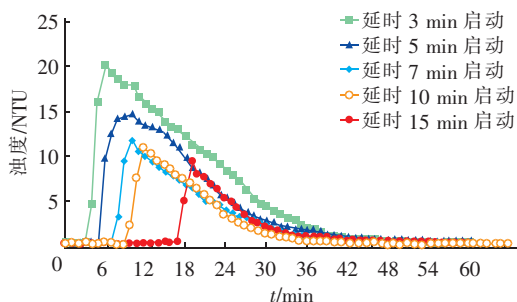


图2 延时启动时初滤水浊度变化趋势

Fig. 2 Variation of initial filtered water turbidity through delaying start-up

由图2可知,当静置时间达到10 min时,浊度峰值仅为10.8 NTU,继续延长静置时间,发现浊度过高问题并没有明显改善,分析原因可能是静置时间达到10 min时滤层基本稳定,继续延长静置时间,滤层稳定改善幅度较小。为节省时间提高滤池工作效率,考虑延时10 min再开启进水阀,采用这种方法可使滤池在运行20 min左右初滤水浊度降至预设目标值1.5 NTU。

2.3 延时与慢速启动联用

反冲洗结束后,直接开启进水阀至设计滤速时,较大的水流冲击力对滤层产生强烈的扰动,可能会使吸附的杂质重新脱落而带出滤层外,从而增加初滤水浊度,相反,缓慢开启进水阀可减少滤池的扰动,降低初滤水浊度。基于上述机理,采用延时与慢速启动联用,在滤池静置一段时间后,再缓慢开启进水阀可更好地控制初滤水浊度。试验研究了延时3、5、7和10 min后,使滤速在3 min左右时间内缓慢匀速增加到设计工况11 m/h。结果表明,分别延时3、5、7和10 min后再缓慢增加滤速至设计工况时,对应初滤水浊度峰值分别为12.8、9.9、6.9和5.5 NTU,相比图2中延时3、5、7和10 min启动对应的浊度峰值(分别为20.2、14.7、11.8、10.8 NTU),此项措施已经取得较好效果,而初滤水降至1.5 NTU以下的时间分别需要26、18、17和15 min,高浊度初滤水的影响时间缩短,有一定的初滤水浊度控制效果,但浊度降至1.5 NTU的预设目标所需时间仍然较长。

2.4 降低运行初期滤速

在滤池反冲洗后过滤初期以较低滤速运行,逐渐恢复到正常滤速,可以减轻对滤层的扰动,有降低初滤水浊度的效果^[5]。试验分别以4、6、8 m/h的初始滤速运行,30 min后缓慢恢复到正常滤速11 m/h,考察了不同初期滤速下浊度的变化情况。试验结果见图3。

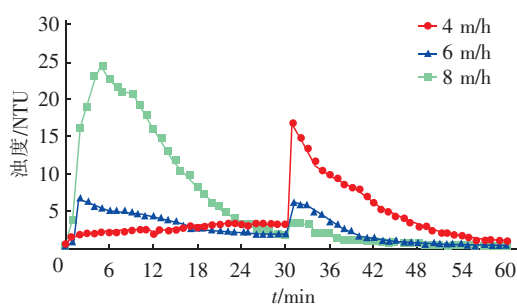


图3 降低运行初期滤速时初滤水浊度变化趋势

Fig. 3 Variation of initial filtered water turbidity through reducing initial operational filtration velocity

由图3可知,当初期滤速为4 m/h时,前30 min初滤水浊度峰值仅为3.3 NTU,恢复正常滤速后浊度迅速上升,浊度降至1.5 NTU所需的时间反而有所增长,分析原因在于前30 min较低滤速对滤层扰动较小,有利于杂质吸附在滤料表面,但后期较大幅

度的滤速提升对滤层产生扰动,造成浊度大幅升高;当初期滤速为 6、8 m/h 时,运行前 30 min 内浊度有所下降,恢复正常滤速后,浊度有小幅升高,浊度降至 1.5 NTU 分别需要 40、38 min 左右。综合分析可知,适当降低初期滤速可减轻对滤层的扰动,对浊度控制有一定效果,但出水浊度降至 1.5 NTU 预期目标所需的时间仍然较长。

2.5 二次絮凝

由直接过滤机理分析可知,适量投加絮凝剂能使滤层中不稳定颗粒絮凝集聚,使滤层快速达到稳定状态,降低初滤水浊度。试验在反冲洗结束后开启进水阀,同时分别投加 5、7、10、15 mg/L 絮凝剂, PAC 原液中有效 Al_2O_3 含量为 10%,待过滤 30 min 后停止投加,考察不同絮凝剂投加量下浊度的变化趋势,结果见图 4。由图 4 可知,投加 7 mg/L 絮凝剂时,浊度降至 1.5 NTU 需要 15 min 左右,达到预设目标值所需时间最短,且停止投加絮凝剂后浊度没有再次升高,认为絮凝剂最佳投量为 7 mg/L。投加较少絮凝剂时,浊度峰值较高,降至 1.5 NTU 所需时间较长,过滤效果改善不理想;相反,絮凝剂投加量过高可能会导致浊度相对较高,这可能是由于过量的絮凝剂本身引起浊度升高。

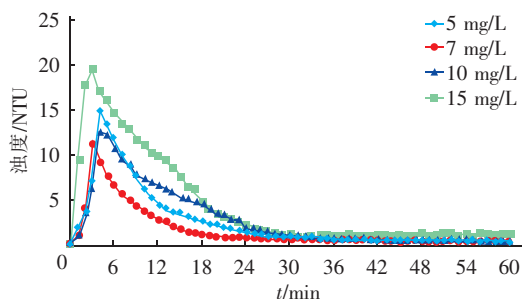


图4 不同絮凝剂投加量下初滤水浊度变化趋势

Fig. 4 Variation of initial filtered water turbidity through secondary flocculation

2.6 延时启动后二次絮凝与慢速启动联用

由于反粒度滤池不是简单的表面截留,而是整个滤层都在截留污染物,因而单一某种方法控制初滤水浊度效果有限,可以考虑采用多种方法联用来控制初滤水浊度。试验在滤池反冲洗结束后分别延时 5、10、15 min 开启加药泵,并投加 7 mg/L 絮凝剂,同时开启进水阀,使滤速在 3 min 左右时间内缓慢匀速增加到设计工况 11 m/h,过滤 30 min 后停止投加絮凝剂,考察不同延时启动时间条件下浊度的

变化趋势,结果见图 5。

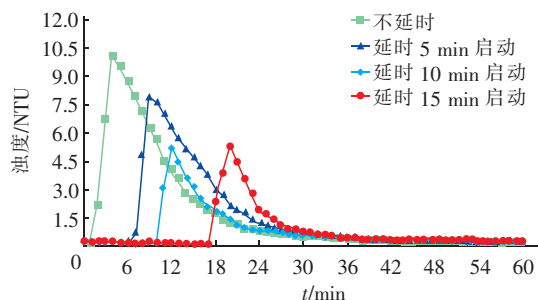


图5 延时启动与二次絮凝慢速启动方法联用时初滤水浊度变化趋势

Fig. 5 Variation of initial filtered water turbidity through secondary flocculation with a slow start-up after delaying

由图 5 可知,延时 10 min 后慢速启动并投加 7 mg/L 絮凝剂工况下,浊度降至 1.5 NTU 预设目标需要 10 min 左右;与之相比,延时 15 min 对浊度的控制效果没有明显改善,考虑节省时间、提高滤池工作效率,认为延时 10 min 后投加 7 mg/L 絮凝剂同时缓慢开启进水阀为最优技术措施。运用 3 种不同措施联用的初滤水浊度控制方法,浊度控制效果明显改善,启动后在 10 min 内浊度降至 1.5 NTU 预设目标,且浊度峰值控制在 10 NTU 以下。此技术措施下浊度峰值小、初滤水浊度降至预设目标所需时间短,且浊度没有再次升高,一定程度上解决了初滤水浊度过高问题。另外,絮凝剂投加量较小,投加时间仅为 30 min,同时由于排放初滤水量的减少,运行成本几乎不会变化。

3 结论

对反粒度生物滤池初滤水的浊度进行控制,可以采用反冲洗后延时缓慢开启进水阀达到设计流量,同步投加絮凝剂的控制方法。试验中反粒度生物滤池在反冲洗结束后延时 10 min 缓慢启动,滤速在 3 min 左右缓慢匀速增加到设计滤速 11 m/h,并同步投加 7 mg/L 的 PAC,投加时间为 30 min,水厂实际运行中可根据实际情况调整静置时间和加药量以达到更好的初滤水浊度控制效果。对于短时间浊度超过预设目标的问题,建议采用中间水箱回收高浊度初滤水,回流至污泥浓缩池浓缩后再重复利用其上清液。

参考文献:

[1] 刘宏远,叶守开,朱海涛,等. 反粒度生物滤池处理污

- 染水源水的研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(3): 52-56.
- Liu Hongyuan, Ye Shoukai, Zhu Haitao, *et al.* Treatment of contaminated source water using reverse grain biological filter[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(3): 52-56 (in Chinese).
- [2] Liu H Y, Zha R G, Zhang Y, *et al.* A new strategy for start-up and filter backwash for ultra-low turbidity water treatment[J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2017, 26(3): 1857-1863.
- [3] 邵玉楠, 李伟光, 黄晓东, 等. 正交试验法优选控制初滤水浊度最佳工艺[J]. 给水排水, 2008, 34(6): 19-22.
- Gao Yunan, Li Weiguang, Huang Xiaodong, *et al.* Application of the orthogonal test method on optimal control of turbidity in initial filter effluent[J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(6): 19-22 (in Chinese).
- [4] Sánchez L D, Marin L M, Visscher J T, *et al.* Low-cost multi-stage filtration enhanced by coagulation-flocculation in upflow gravel filtration[J]. Drinking Water Engineering and Science, 2012, 5(1): 73-85.
- [5] 何提纯, 路琦. 初滤水回用途径探索[J]. 给水排水, 2007, 33(8): 43-45.
- He Tichun, Lu Qi. On reuse of initial filter outlet water[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(8): 43-45 (in Chinese).



作者简介: 刘宏远(1971-), 男, 辽宁辽中人, 博士, 副教授, 从事水处理技术研究。

E-mail: lhyzyy@zjut.edu.cn

收稿日期: 2018-02-12

(上接第55页)

- of prediction methods and application of chaotic time series based on BPNN[J]. Journal of University of South China: Science and Technology, 2012, 26(2): 26-31 (in Chinese).
- [6] Oshima N, Kosuda T. Distribution reservoir control with demand prediction using deterministic chaos method[J]. Water Sci Technol, 1998, 37(12): 389-395.
- [7] 韩敏. 混沌时间序列预测理论与方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- Han Min. Prediction Theory and Method of Chaotic Time Series[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007 (in Chinese).
- [8] Brito N S D, Souza B A, Pires F A C. Daubechies wavelets in quality of electrical power[A]. Harmonics and Quality of Power Proceedings[C]. New York: IEEE, 1998.
- [9] 樊计昌, 刘明军, 海燕, 等. 计算尺度函数和小波函数中心频率的 GUI 及其应用[J]. 科技导报, 2007, 25(24): 36-39.
- Fan Jichang, Liu Mingjun, Hai Yan, *et al.* GUI for computing center-frequency of the scale and wavelet functions and its applications[J]. Science & Technology Review, 2007, 25(24): 36-39 (in Chinese).
- [10] 陶海龙. 基于混合智能算法的铁路运量预测研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2012.
- Tao Hailong. Study on Forecast of Railway Traffic Volume Based on Hybrid Intelligent Algorithm[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2012 (in Chinese).



作者简介: 王圃(1965-), 男, 重庆人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为给水系统优化与节能。

E-mail: wpu2120@sina.com

收稿日期: 2017-10-12