

吴淞江微污染水源水处理工艺的比较研究

杨建强¹ 张玉先¹ 吴建树² 毛信皎²

(1 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2 嘉定自来水有限公司, 上海 201800)

摘要 采用预臭氧生物活性炭滤池、生物接触预氧化、PAC 吸附预处理三种工艺对吴淞江微污染水源水处理进行研究:常温下,臭氧投加量 2 mg/L,预臭氧生物活性炭滤池对氨氮的去除率维持在 70 %以上,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 约 1 mg/L, COD_{Mn} 平均去除率 34.16 %;生物接触预氧化对氨氮去除率可达 80 %以上,但 COD_{Mn} 平均去除率只有 7.6 %;PAC 对色度及臭味有良好的去除效果,但对其他物质去除率较低。三种工艺相比,作为水厂改造或备用应急方案,预臭氧生物活性炭滤池为最佳选择。

关键词 吴淞江水 预臭氧生物活性炭滤池 PAC 生物接触预氧化 应急方案

Research on treatment of slightly polluted raw water of Wusong River

Yang Jianqiang¹, Zhang Yuxian¹, Wu Jianshu², Mao Xinjiao²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Jiading Water Company, Shanghai 201800, China)

Abstract : Pre-ozone-biological activated carbon ($\text{O}_3\text{-BAC}$), biological oxidation (BO) and powdered activated carbon (PAC) processes are researched experimentally to treat the slightly polluted raw water taken from Wusong River. For process of $\text{O}_3\text{-BAC}$, at condition of normal room-temperature and ozone dosage 2 mg/L, the removal rates of ammonia nitrogen and COD_{Mn} are 70 % more and 34.16 % mean respectively, with residual ammonia nitrogen 1 mg/L in outlet water. For BO process, the removals of ammonia nitrogen and COD_{Mn} are 80 % more and 7.6 % only respectively. PAC has good removal abilities on color and odor, but not well effective for other pollutants. Compared to the other two processes, we think that as countermeasures of waterworks upgrading or for alternate emergency, $\text{O}_3\text{-BAC}$ might be the best choice.

Keywords : Wusong River water; Pre-ozone-biological activated carbon filter; PAC; Biological oxidation; Alternate emergency program

0 引言

近年来,随着经济的发展、人口的聚集,上海嘉定区供水压力与日俱增。现今,由于引来的长江原水水量有限(特别是夏季高峰用水期间已不能满足需要),考虑实际情况,将吴淞江水作为备用应急水源,以解水量不足之困。

吴淞江起源于太湖,太湖水体富营养化严重,水体中色度、氨氮、 COD_{Mn} 等指标较高,当地 A 水厂的预加氯+传统工艺对处理该微污染水的效果有限。因此,在常温(15~30 °C)下,分别采用预臭氧生物活

性炭滤池、生物接触预氧化工艺对吴淞江水进行处理研究,同时将上述两种工艺与 A 水厂现行的应急时采用投加粉末活性炭的工艺进行对比,寻求最佳处理工艺。

1 预臭氧生物活性炭滤池

预臭氧生物活性炭滤池与传统工艺的结合,可以提高对有机物、氨氮等污染物的去除率,降低出水中卤代烃等消毒副产物的含量^[1],保证出水的稳定性,提高出水水质。

1.1 试验装置及工艺流程

试验流量 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 采用 $\varnothing 300 \times 3\,000$ 不锈钢臭氧接触罐; $\varnothing 600 \times 3\,000$ 直接过滤滤柱, 内装 1.1 m 厚石英砂, 主要目的是降低浊度, 以减少浊度对后续生物活性炭滤池的冲击; $\varnothing 200 \times 2\,000$ 活性炭滤柱 A、B, A 柱下层为石英砂层(厚 400 mm), 上层为颗粒活性炭层(厚 400 mm), B 柱作为平行研究的滤柱, 砂层厚 300 mm , 炭层厚 500 mm 。由于炭层的厚度有限, 不能像其他生物滤池那样有丰富的生物菌落, 称之为贫生物滤池; 采用 LN-103A 型臭氧发生器, 以氧气为气源, 臭氧投加量 2 mg/L 。中试处理装置见图 1。

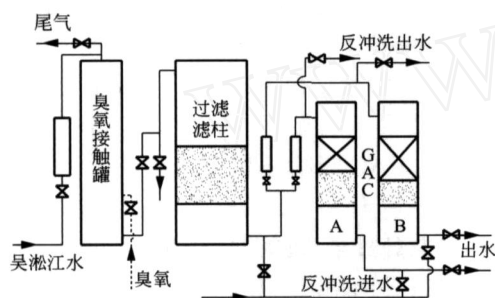


图1 中试装置示意

1.2 进水水质

试验原水为吴淞江水, 原水氨氮、有机物等污染含量较高, 具体数据见表 1。

表1 吴淞江原水水质

浊度/NTU	色度/度	$\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg/L}$	$\text{NH}_3 - \text{N}/\text{mg/L}$
40~80	20~35	3~5	3~7

1.3 试验结果及讨论

1.3.1 浊度及色度的去除

试验原水浊度 $40 \sim 80 \text{ NTU}$, 混凝剂投加量 30 mg/L , 经预臭氧生物活性炭滤池工艺处理后出水浊度低于 0.5 NTU , 符合国家标准^[2]。试验初期利用臭氧脱色和活性炭吸附作用, 色度的去除率均在 70% 以上, 运行稳定后(以臭氧脱色为主)色度去除率也可达 60% 以上, 见表 2。

表2 运行初期及稳定时 A、B 柱对色度的平均去除效果

项目	原水色度/度	出水色度/度	去除率/%
运行初期	25.2	A 柱 5.8	76.90
	25.2	B 柱 5.1	79.76
运行稳定	30.4	A 柱 9.8	67.76
	30.4	B 柱 8.6	71.71

1.3.2 对水中污染物的去除

原水经泵提升后进入臭氧接触罐, 臭氧有效投加量 2 mg/L , 接触时间 15 min , 直接过滤滤柱停留时间 75 min , 贫生物活性炭滤池停留时间 5 min , 试验水温 $15 \sim 30^\circ\text{C}$ 。

1.3.2.1 对氨氮的去除

试验期间工艺对氨氮的去除效果见图 2。

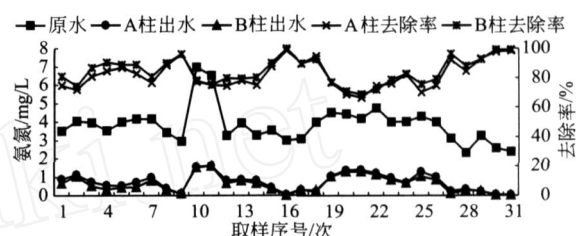


图2 氨氮去除效果

由图 2 可知, 工艺对氨氮的去除率基本达到 70% 以上, 原水氨氮在 4 mg/L 左右时, 出水氨氮在 1 mg/L 左右, 与现在运行的传统工艺相比, 很大程度上提高了氨氮的去除率, 生物滤料上形成的生物膜可以强化对氨氮的去除效果^[3]。A 柱与 B 柱相比, 氨氮的去除率相差不大, B 柱略好于 A 柱, 主要是由于 B 柱炭层比 A 柱厚 100 mm , 微生物量也略多。

1.3.2.2 对 COD_{Mn} 的去除

试验期间工艺对 COD_{Mn} 的去除效果见图 3。

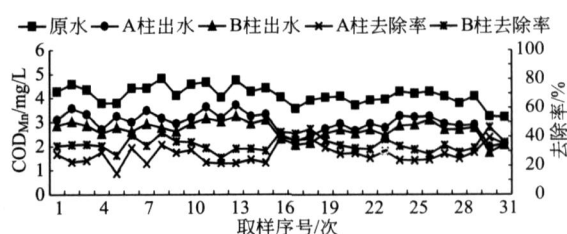


图3 COD_{Mn} 去除效果

原水 COD_{Mn} $3 \sim 5 \text{ mg/L}$, 经处理后, A、B 两柱平均出水 COD_{Mn} 分别为 3 mg/L 和 2.63 mg/L , 平均去除率 26.32% 和 34.16% , B 柱出水 COD_{Mn} 低于 3 mg/L 。可见, 预臭氧生物活性炭滤池工艺对 COD_{Mn} 的去除是在臭氧和活性炭共同作用下的结果, 活性炭层的厚度一定程度上影响了活性炭滤池对 COD_{Mn} 的去除, 在运行条件相同的情况下, B 柱效果明显要好于 A 柱。

2 生物接触预氧化处理

生物接触预氧化是应用较广的生物预氧化技术。张华等^[4]利用生物接触氧化对上海浦东大治河水进行处理,原水氨氮 1~4 mg/L, COD_{Mn} 5~7 mg/L, 常温下,氨氮去除率达 80%~90%,有机物去除率达 20%,对浊度、色度等也有去除效果。此外,对后续过滤工艺污染物去除效果具有强化作用,可节约混凝剂的用量,具有经济效益。

常温下,同步开展生物接触预氧化处理吴淞江水,考察原水经接触氧化池后的处理效果。接触氧化池主要运行参数有:水力停留时间 1 h;气水比 0.6:1,池内采用微孔曝气,以促进填料表面生物膜的生长;常水位下设 YDT 弹性立体填料,填充率 50%左右。运行稳定(生物膜形成)后,吴淞江水经生物接触预氧化处理后的情况见表 3。

表 3 生物接触预氧化对吴淞江水的处理情况

项目	原水 平均值	出水 平均值	最小去除率 / %	最大去除率 / %	平均去除率 / %
氨氮/ mg/L	4.8	0.9	68.3	86.3	82.18
COD _{Mn} / mg/L	4.2	3.88	1.6	22.7	7.54
色度/ 度	30	27	7	12	9
浊度/ NTU	58.7	42.9	21.4	33.6	26.8

从监测资料可以得出,常温下,工艺对氨氮的处理效率较高,去除率最高达 86.3%,但对 COD_{Mn}、色度、浊度的平均去除率分别为 7.54%、9%、26.8%,且随着运行时间的推移,浊度的去除率还会受到预处理池底部污泥的影响而降低。

3 粉末活性炭吸附预处理

粉末活性炭(PAC)通过物理吸附和化学吸附对水体进行净化,前者是吸附质通过范德华力结合到活性炭表面,是可逆的,后者是吸附质与活性炭表面之间有化学键形成,是不可逆的,活性炭吸附是两种吸附综合作用的结果^[5]。吴淞江水色度高、臭味浓,可以利用活性炭进行吸附处理。

近两年来,A 水厂在原水量不足的情况下,取用吴淞江水应急,并投加 PAC 进行预处理,具体做法是:在取水泵前管道中投加 PAC,利用水泵的作用进行混合,再经管道输送至水厂进行常规处理,运行

中得出的最佳 PAC 投加量约 25 mg/L。在浊度低于 1 NTU 时,出水中色度、臭味及藻类指标均能达到国家标准^[2],但对氨氮、有机物去除效果均较差,前者去除率低于 10%,后者低于 15%。处理效果见表 4。

表 4 PAC 对吴淞江水的处理效果

项目	原水	出水	去除率/ %
色度/ 度	20~35	3.8	83
氨氮/ mg/L	4~8	3.78~7.57	4.58
COD _{Mn} / mg/L	3.5~7.0	2.98~6.43	10.46

PAC 具有设备投资省,投加灵活,吸附速度快,对短期及突发性水质污染适应能力强等优点,可作为一项应急性的水质改善措施。但对于处理吴淞江高氨氮水,效果不明显,且一次性投资较大,不适合长时间运行,PAC 吸附饱和后在澄清池中与污泥一起排放,不可再生。

4 三种工艺处理效果的对比分析

常温下,采用预臭氧生物活性炭滤池、生物接触预氧化、PAC 吸附预处理三种工艺分别对吴淞江水进行处理,各项水质指标处理效果见表 5。

表 5 三种工艺的运行效果对比

项目		预臭氧生物 活性炭滤池	投加 PAC	生物接触 预氧化
氨氮	出水平均值/ mg/L	1.00	5.37	0.90
	平均去除率/ %	74.60	4.58	82.18
COD _{Mn}	出水平均值/ mg/L	2.63	4.26	3.88
	平均去除率/ %	34.16	10.46	7.54
色度	出水平均值/ 度	8.60	3.80	27.00
	平均去除率/ %	71.70	83.00	9.00

从表 5 可以得出:预臭氧生物活性炭滤池和 PAC 工艺对色度去除较好,生物接触预氧化和预臭氧生物活性炭滤池对氨氮去除率相对较高,对于 COD_{Mn}三者去除率都不高,预臭氧生物活性炭滤池工艺最高,达 35%左右,后两者都低于 20%。综上所述,从处理效果角度考虑,预臭氧生物活性炭滤池工艺相对有优势。

5 技术经济的对比分析

以 A 水厂为例,对常规工艺进行改造的技术经济分析见表 6。

表6 水厂工艺改造的技术经济分析

工艺	预臭氧生物活性炭滤池		生物接触预氧化		投加 PAC	
项目	颗粒活性炭/ 万元	58	接触氧化池/ 万元	165	PAC 投加费用	0.1 元/ m ³
	臭氧发生器/ 万元	120	YDT 弹性填料/ 万元	23.75		
	臭氧接触池/ 万元	27.5	鼓风机及机房/ 万元	约 20		
	未预见费用(10 %计)/ 万元	20.55	未预见费用(10 %计)/ 万元	20.1		
合计	226.05 万元(0.02 元/ m ³)		228.8 万元(0.021 元/ m ³)		> 0.1 元/ m ³	

注:未包含各工艺运行管理费用(如电耗等)。

表6中数据均是以使用寿命5年,水厂平均供水6万m³/d计算而得。臭氧接触池采用新型压力式臭氧溶解池,池体是钢筋混凝土结构(600元/m³),停留时间按10min计;PAC最佳投加量为25mg/L,仅这一项转换成制水成本就是0.1元/m³;生物接触氧化池(停留时间1h,600元/m³)采用YDT弹性立体填料(190元/m³),填料高度2.5m,按接触池体积50%计。从表6中可以看出对于近期投资,投加PAC费用较高;远期来看,无论是臭氧还是鼓风机曝气,都需要消耗电力,具体费用有待深入研究,另外从管理上讲,与臭氧接触池相比,生物接触氧化池存在积泥、水生动物泛滥、管理复杂等问题。

综合三种工艺可以得出:常温下,作为应急方案,且水质要求不高时,投加PAC最为方便、快速,效果立竿见影;作为备用或长期运行方案,且对水质及在经济管理上有一定要求时,预臭氧生物活性炭滤池为最佳选择,出水水质好,改造方便,但低温下效果不好,建议作为常温下特别是夏季高峰用水期间的备用方案;当长期运行,且只是针对高氨氮水时,生物接触预氧化为首选,氨氮去除效果明显,改造方便,但管理难度高,对有机物处理效果有限。

6 结论

(1) 预臭氧生物活性炭滤池工艺在常温、臭氧投加量2mg/L条件下,对氨氮的去除率维持在70%以上,出水NH₃-N1mg/L左右;COD_{Mn}出水平均为2.63mg/L,平均去除率34.16%。为保证出水氨氮<0.5mg/L^[2],建议进水NH₃-N浓度控制在<4mg/L,大于4mg/L时,超出工艺的处理范

围。

(2) 生物接触预氧化对氨氮的去除效果最好,可达80%,但对有机物的去除率低于10%,且需要预先运行培养足够的微生物,管理复杂。

(3) 投加PAC对色度、臭味去除效果明显,色度去除率达75%以上,对有机物和氨氮的去除率低于15%和5%。

(4) 备用方案的选择,因时因地,特别是针对夏季供水紧张的暂时性情况,综合三种工艺的对比分析,建议采用预臭氧生物活性炭滤池工艺,出水水质较好,易于在传统工艺的基础上进行改造,技术经济,且减少土建、节约用地,符合我国中小型水厂改造的实际情况。

参考文献

- 王占生,刘文君. 微污染水源饮用水处理. 北京:中国建筑工业出版社,1999
- CJ/T 206—2005 城市供水水质标准
- 叶辉,许建华. O₃-BAC工艺处理高氨氮原水的问题探讨. 水处理技术,2001,27(5):300~302
- 张华. 上海惠南水厂生物预处理工艺的运行效果. 中国给水排水,2000,16(8):12~14
- 张军. 粉末活性炭除微污染试验研究. 南京工业大学学报,2003,25(3):72~74

✉ 通讯处:200092 上海市四平路 1239 号同济大学 0520 信箱

电话:13585775660

E-mail:yjq1169@163.com

收稿日期:2007-06-13

修回日期:2007-11-02