

工程实例

原水预臭氧化对常规处理工艺的影响

代 荣, 许 阳

(杭州市水业集团有限公司, 浙江 杭州 310016)

摘 要: 杭州南星水厂的原水经预臭氧处理后,砂滤池除铁、锰作用得以加强并发挥了生物除氨氮作用,但反冲时滤砂难以洗净,池壁还滋生了青苔;混凝效果得到强化,矾耗降低。通过生产性试验分析了原水预臭氧化对常规工艺的不利影响,认为原水由预氯化变为预臭氧化后,生物砂滤池宜改为气水反冲洗方式,斜管沉淀池和滤池宜采用遮阳方法防止池内滋生藻类,另外从成本方面考虑,用投加臭氧来降低矾耗是不经济的。

关键词: 南星水厂; 预臭氧; 常规处理

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2006)10 - 0057 - 04

Effects of Raw Water Preozonation on Conventional Water Purification

DAI Rong, XU Yang

(Hangzhou Water Group Co., Ltd., Hangzhou 310016, China)

Abstract: After the preozonation of raw water in Nanxing Water Treatment Plant, Hangzhou, the removal efficiency of iron and manganese through sand filter was improved and the biological ammonia removal was realized. However, it was difficult to wash the filter-sand effectively and some lichen grew on the chamber walls. Preozonation also enhanced the coagulation and decreased the consumption of polyaluminum chloride (PAC). The negative effects of preozonation on the conventional purification process were analyzed after the on-site operation. It is believed that after the change of prechlorination to preozonation, air-water backwash of the quartz sand filter should be used for more effective washing. The inclined-tube settling tanks and sand filters should be shielded from sun to prevent algae growing. On the other hand, considering the cost, it is not economical to reduce PAC consumption through dosing ozone.

Key words: Nanxing Water Treatment Plant; preozonation; conventional water purification

杭州市南星水厂是杭州市首家实施深度处理的水厂,按照杭州市水业集团有限公司“十一五”科技规划要求,将在 10 年内完成杭州所有水厂的深度处理改造。为掌握深度处理在水厂生产中的运行规律,并为类似水厂提供有价值的生产运行参数,南星水厂于 2005 年开展了深度处理生产运行研究。

目前国内很多水厂都在实施深度处理工程,关于原水预臭氧化的诸多争议大多集中在工艺的优化选择及水质处理方面,而对预臭氧化对常规工艺生

产运行影响方面的研究还很少。事实上,这方面的影响在水厂日常管理中不可忽视,如果能掌握产生各种不利影响的原因,就能及时采取措施,保证水厂的安全生产。

1 水厂概况

南星水厂设计供水能力为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用絮凝、沉淀、过滤的常规处理系统。2004 年 12 月新增的臭氧活性炭深度处理一期工程 ($10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 正式投入运行。南星水厂现状工艺流程如图 1 所

示,图中带虚线框的均为此次工程新增构筑物。

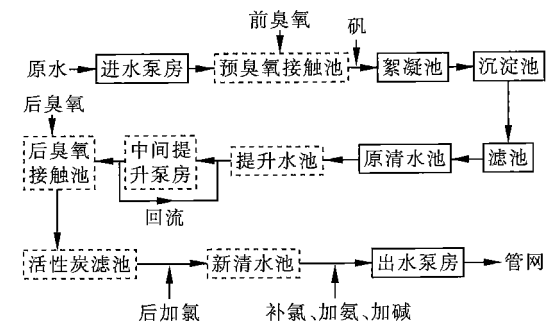


图 1 南星水厂工艺流程

Fig 1 Nanxing waterworks treatment process

南星水厂在原有常规处理工艺前增加了预臭氧氧化,在常规处理工艺后增加了深度处理,并将原来的前加氯改为后加氯。最初增加预臭氧氧化主要是考

虑在藻类高发期临时投加臭氧除藻。为进一步研究预臭氧在除锰、铁、氨氮等方面的作用,于 2005 年 1 月—10 月进行了连续投加臭氧(偶有中断)试验,臭氧平均投量为 0.5 mg/L,接触时间为 3 min。水厂砂滤池为单独水冲普通快滤池,滤前水浊度控制在 4 NTU 以下。

2 原水预臭氧氧化对常规处理的影响

2005 年 8 月初对砂滤池的滤砂取样检查,发现滤砂表面包裹了一层黑黄色黏附层,将滤池滤干后发现,垂直断面上的滤砂也变成了黑黄色。经检测得知:滤砂表面黏附物中锰、铁含量极高;经砂滤池后锰、铁几乎全部去除(见表 1);滤砂表面的附着物溶解于水中后,测得细菌含量极高(细菌总数 > 1 000 CFU/mL);黏附物有粘性和滑腻感。

表 1 原水预臭氧氧化后水中铁、锰含量

Tab 1 Iron and manganese content in water after raw water preozonation

项目		原水 / (mg · L ⁻¹)	预臭氧后 / (mg · L ⁻¹)	去除率 / %	沉淀后 / (mg · L ⁻¹)	去除率 / %	砂滤后 / (mg · L ⁻¹)	去除率 / %	总去除率 / %
锰	8 月	0.11	0.10	9.1	0.06	40	<0.05 (接近 0)	>90	>90
	9 月	0.08	0.08	0	0.05	38	<0.05 (接近 0)	>90	>90
	10 月	0.11	0.11	0	0.08	27	<0.05 (接近 0)	>90	>90
铁	8 月	0.36	0.36	0	0.16	56	<0.05 (接近 0)	>90	>90
	9 月	0.22	0.22	0	0.10	55	<0.05 (接近 0)	>90	>90

注: 测定时间为 2005 年 8 月—10 月。

2.1 砂滤池除锰、铁作用增强

臭氧可将原水中的溶解性铁、锰氧化为不溶性的三氧化二铁、二氧化锰,一部分经过混凝沉淀去除(对锰去除率平均为 35%,对铁去除率平均为 56%),一部分在砂滤池去除(去除率 > 90%)。砂滤池经过较长时间的运行,滤砂表面包裹了一层锰、铁氧化物,形成类似于“锰砂”的锰质活性滤膜,依靠该滤膜的化学催化和生物氧化作用可起到去除锰、铁的作用。

2.2 砂滤池发挥生物除氨氮作用

2004 年 12 月—2005 年 9 月砂滤池对氨氮的去除情况见表 2,可以很清楚地看到,1 月—4 月砂滤池对氨氮的去除率逐渐增大,从 5 月开始砂滤池出水氨氮低于检测限。

经分析,由于原水由前加氯变为前加臭氧,给细菌生长繁殖创造了有利条件,特别是随着气温和水温升高,砂滤池内硝化细菌和亚硝化细菌开始大量繁殖,在这些细菌的作用下氨氮得以去除。

表 2 2004 年 12 月—2005 年 9 月氨氮去除率变化

Tab 2 Ammonia nitrogen removal by sand filter Dec 2004 to Sep. 2005

时间	原水平均 氨氮 / (mg · L ⁻¹)	砂滤后平 均氨氮 / (mg · L ⁻¹)	砂滤池氨 氮去除率 / %	预处理
2004 年 12 月	0.29	0.29	0	前加氯
2005 年 1 月	0.61	0.65	-6.6	前加臭氧
2005 年 2 月	0.42	0.40	4.8	前加臭氧
2005 年 3 月	0.34	0.30	11.8	前加臭氧
2005 年 4 月	0.25	0.16	36.0	前加臭氧
2005 年 5 月—9 月	0.14~0.22	<0.02	>90	前加臭氧

砂滤池进、出水含氮有机物的变化见表 3。从表 3 可明显看出,砂滤前后总氮基本不变,氨氮降低,硝酸盐氮升高,说明氨氮转化成了硝酸盐氮。

由此推断:砂滤池由前加氯变为前加臭氧后,已转变成生物滤池,去除氨氮效果良好;在冬、春季(温度为 7~16℃)砂滤池挂膜时间为 3~4 个月。

表 3 砂滤池进、出水含氮化合物的变化

Tab 3 Variation of nitrogen content in influent and effluent of sand filter $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

日期	取样点	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{NO}_2^- - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	总氮
2005 - 04 - 20 (水温为 17 $^{\circ}\text{C}$)	原水	0.20	0.032	1.46	1.47
	滤前水	0.20	0.034	1.48	1.50
	滤后水	0.12	0.040	1.65	1.51
2005 - 05 - 18 (水温为 19 $^{\circ}\text{C}$)	原水	0.22	0.051	1.60	1.40
	滤前水	0.22	0.045	1.69	1.46
	滤后水	<0.02	0.008	1.85	1.51

2.3 砂滤池反冲洗时难以洗净

从 2005 年 7、8 月开始,发现以前运行良好的砂滤池工作周期大大缩短,经检查得知,滤砂表面结球较为严重。通过多次现场观察洗池情况,发现以同样的水冲强度,以前约冲 6 min 即可洗净(排水浊度 < 4 NTU),但现在冲 12 min 后排水浊度仍高达 10 NTU 左右,无法冲洗干净。

经分析有两种可能:一是由于滤砂表面附着锰质滤膜,虽然起了除锰作用,但同时也增大了滤砂密度(天然锰砂密度为 3.4 t/m^3 ,天然石英砂密度为 2.6 t/m^3)^[1],实测原石英砂密度为 2.44 t/m^3 ,而包裹了锰质滤膜的石英砂密度为 2.52 t/m^3 ,因此可能导致原有的反冲强度和时间无法满足要求;二是由于滤砂颗粒表面黏附了多种细菌,粘性较强,仅靠水冲难以冲净。

为防止滤池运行受到影响,采取了以下措施:对滤池表面作刮加砂处理,对滤池进行消毒浸泡,将滤池的运行周期由原来的 24 h 调整至 16 h,适当延长冲洗时间,进一步规范冲洗操作规程等,取得了一些效果,但并不能完全恢复到前加氯时的滤池状况。

针对以上问题,对其他采用类似工艺的水厂进行过了解,虽然很多水厂的砂滤池也变成了锰砂生物滤池,但采用气水反冲的滤池没有出现反洗不干净的情况,而采用单独水冲的砂滤池则出现了洗不干净的状况^[2]。经分析认为气水反冲时先通过气与砂的磨洗,将滤砂表面的老化菌膜和黏附的悬浮颗粒去除,然后用水冲达到快速洗净的目的,而单独水冲难以将老化菌膜与砂粒剥离。所以要使砂滤池仍旧发挥除锰、铁、氨氮等功能,宜将滤池水冲方式改为气水反冲方式。

2.4 斜管沉淀池和滤池长满青苔

自 2005 年 5 月开始,斜管沉淀池的穿孔集水管表面和滤池池壁、三角槽等处滋生了许多丝状物和

青苔,量多的时候几乎堵塞斜管沉淀池的集水孔,导致出水负荷增大,出水量减少,同时滤砂表面经常有脱落的大块苔藓,影响了出水水质和反冲效果。为保证正常供水,只能采取加大冲洗周期的措施,但因此消耗了大量厂用水。

在清洗斜管沉淀池过程中发现位于走道板下方未被太阳照射的穿孔集水管特别干净,据此推测,这些丝状物和青苔只有在一定的光照和温度下才会滋生。为验证这个推测,在一组斜管沉淀池上方搭建了遮阳篷,15 d 后与无遮阳篷的另一组沉淀池进行对比,发现有遮阳篷的一组穿孔集水管的青苔滋生程度明显低于没有遮阳篷的那一组。经了解,欧洲有些水厂早就有在高密度澄清池上加盖以防止太阳直晒而滋生藻类的经验^[3],在国内如嘉兴等地水厂也有这方面的实践。

3 原水预臭氧化对混凝效果和矾耗的影响

理论上预臭氧可以助凝,其机理是增加水中含氧官能团有机物(如羧酸等),使其与金属盐水解产物形成聚合体,降低颗粒表面的静电作用,使颗粒更容易脱稳、沉淀。在生产实际中拟从两个方面进行验证,一是化验室需矾量试验结果,二是实际矾耗统计结果。

首先选取不同季节进行了需矾量烧杯试验,结果见表 4。

表 4 2005 年不同季节需矾量试验表

Tab 4 Dosing test results in different seasons in 2005

时间	取样点	预臭氧加量 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水温 / $^{\circ}\text{C}$	浊度 / NTU	pH	需矾量 / ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	预臭氧后需矾量减少率 / %
春季	原水	0.50	11	28.47	10	23.8	15.1
	预臭氧后			27.37	10	20.2	
夏初	原水	0.35	23	31.77	15	18.0	17.8
	预臭氧后			30.47	20	14.8	
夏季	原水	0.65	28	20.17	25	15.5	19.0
	预臭氧后			21.57	30	12.5	
秋季	原水	0.50	22.5	26.57	15	22.2	13.1
	预臭氧后			25.67	15	19.3	

从表 4 来看,原水经预臭氧后需矾量相对于原水平均下降了 16.3%。

其次,对生产实际消耗进行了同期对比(见表 5,2005 年 1 月—2 月因设备原因前臭氧停加),其中 2004 年 3 月—9 月原水经预氯化处理,2005 年 3 月—9 月原水经预臭氧化处理。

表 5 2004年—2005年原水浊度和矾耗对比
Tab 5 Comparison of raw water turbidity and PAC
consumption 2004 to 2005

月份	2004年		2005年	
	原水浊度 / NTU	矾耗 / (g·m ⁻³)	原水浊度 / NTU	矾耗 / (g·m ⁻³)
3月	26.0	24.16	33.0	17.19
4月	21.7	20.52	22.4	18.23
5月	14.8	15.78	22.0	14.38
6月	17.1	15.86	21.7	13.80
7月	17.6	15.80	29.4	13.52
8月	30.5	21.35	25.9	10.60
9月	26.1	16.29	37.8	12.49
平均	22.0	18.54	27.4	14.31

注：2004年滤前水浊度控制在 6 NTU 以下，2005年滤前水浊度控制在 4 NTU 以下。

从表 5 可知，2005 年原水平均浊度比 2004 年的有所上升，但矾耗下降了 22.8%，而且 2005 年滤前水浊度控制为 4 NTU，低于 2005 年的 6 NTU，说明原水预臭氧化比预氯化的混凝效果更好，矾耗至少下降 22.8%。

4 矾耗节省和臭氧消耗成本的对比

若单独从成本考虑，用投加臭氧来降低矾耗是否经济呢？分析如下：按 2004 年和 2005 年 3 月—9 月的矾耗差值计算（见表 5），节省矾量为 4.23 g/m³，矾平均单价为 1.056 元/kg，则千吨水节省矾耗成本为 4.47 元。前臭氧平均投量按 0.5 mg/L 计，臭氧质量分数为 10%，则液氧消耗量为 5 g/m³，液氧平均单价为 0.875 元/kg，则千吨水增加液氧成本为 4.38 元。同时臭氧发生器平均电耗为 9 (kW·h)/kgO₃，电费单价为 0.64 元/(kW·h)，则千吨水增加电耗成本为 2.88 元。

综上，投加前臭氧的千吨水增加成本为 7.26 元，千吨水矾耗降低成本为 4.47 元，千吨水的总成

本上升 2.79 元，所以单独从成本方面考虑，用投加臭氧来降低矾耗是不经济的。

5 结语

① 原水由预氯化变为预臭氧化后，经过一段时间的运行，可提高砂滤池的除锰、除铁、除氨氮效果，去除率接近 100%。在冬、春季（温度为 7~16℃）砂滤池挂膜时间为 3~4 个月。

② 原水经预臭氧化后，因砂滤池承担除锰、除铁、除氨氮功能，导致砂滤池运行周期缩短，滤池难以洗净，宜将滤池冲洗方式改为气水反冲洗。

③ 原水由预氯化变为预臭氧化后，斜管沉淀池和滤池池壁易滋生青苔，影响处理水质，增加清池费用，可采用对斜管沉淀池和滤池遮光的办法解决。

④ 由烧杯试验知，原水经预臭氧化后可强化混凝效果，降低矾耗（降幅为 16.3% 左右）；实际生产中原水预臭氧化比预氯化的混凝效果更好，矾耗约下降 22.8%。

⑤ 单独从成本方面考虑，用投加臭氧来降低矾耗是不经济的。

参考文献：

[1] 彭书郁. 含铁地下水深度处理工程实践 [J]. 给水排水, 2005, 31 (6): 60 - 62
[2] 查人光, 仲建锋. 生物滤池在净水生产中的应用 [J]. 给水排水, 2003, 29 (12): 4 - 7.
[3] 洪觉民. 欧洲水厂观感 [J]. 给水排水, 1998, 24 (3): 10 - 13.

电话: (0571) 87886598
传真: (0571) 87829689
E-mail: dairong5@sohu.com
收稿日期: 2006 - 01 - 06

· 本刊简讯 ·

《中国给水排水》2005 年度优秀通讯员评选结果揭晓

经过综合考核与评定，《中国给水排水》杂志 2005 年度优秀通讯员评选结果揭晓。名单公布如下：肖睿书, 周明潭, 郑琴, 方卫国, 崔炳勇, 邢宏。

为表彰以上同志在《中国给水排水》杂志的宣传与科技交流工作中的积极表现，特奖励 1985 年—2005 年《中国给水排水》合订本光盘一套。

(本刊编辑部)