

北江水厂生产废水回用系统的风险评价与控制

柯 乐¹ 郭五珍² 林伟镜¹ 董燕珊¹ 林志强¹

(1 佛山水业三水供水有限公司 广东 佛山 528100; 2 佛山水业集团有限公司 广东 佛山 528000)

DOI:

【摘要】 本研究以广东省佛山市北江水厂为研究对象,通过检测生产废水中部分具代表性的浊度、有机物、金属离子、丙烯酰胺以及消毒副产物指标,评估了生产废水回用的水质风险;研究了不同原水条件下回用生产废水北江水厂生产废水回用对水质的影响;监测了生产废水长期回用下出厂水的水质情况;介绍了北江水厂回用生产废水后对生产工艺的调整措施。

【关键词】 回用,滤池反冲洗水,排泥水,丙烯酰胺,三氯甲烷

给水厂生产废水主要包括了滤池反冲洗废水,反应池、沉淀池排泥水,一般占水厂供水量的 3%~8%^[1]。随着水资源压力增大,水厂的生产废水回用逐渐成为主流。但是,水厂生产废水中含有大量来自原水的污染物和净水过程中投加的药剂,回用生产废水后存在一定的水质风险^[2]。本文以实现了生产废水零排放的北江水厂作为研究对象,通过对其生产废水回用后出厂水的浊度、氨氮含量、金属含量、三氯甲烷含量、丙烯酰胺单体含量等进行监测,评价分析了生产废水回用对现有水处理工艺和出厂水水质的影响,并提出生产上的控制措施。

1 系统概况

1.1 水厂概况

北江水厂于 2009 年投产,是佛山市三水区的的主力供水厂,采用了折板絮凝池、平流沉淀池、气水反冲洗 V 型滤池和氯胺消毒的常规工艺流程,首期供水规模为 30 万 m³/d。

1.2 生产废水处理工艺

北江水厂的生产废水包括反应池、沉淀池排泥水和滤池反冲洗水,经过处理后全部回用,实现了零排放。图 1 是北江水厂自来水生产及废水处理回用流程:

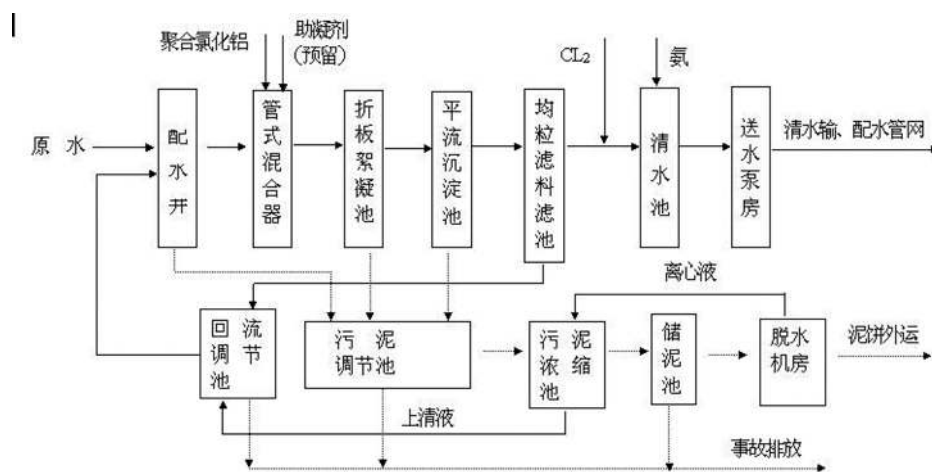


图 1 北江水厂生产废水处理工艺流程

滤池反冲洗水直接进入回流调节池。沉淀池排泥水排入污泥调节池,再经潜水泵抽入浓缩池,在浓缩池静置澄清,浓缩池上清液溢流至回流调节池,与反冲洗水共同回用。浓缩池底泥进入储泥池,在离心

机投加聚丙烯酰胺后脱水,所产生的泥饼外运,脱水沥出液则回流至浓缩池,离心机每小时产生 20~30m³ 脱水沥出液。

北江水厂每天产生滤池反冲洗水 3200m³,占北

江水厂产水量的 1.1%; 产生排泥水 900m³, 占产水量 0.3%。然而在原水高浊度期, 排泥周期缩短, 排泥水量最高可达 6400m³, 占产水量 2.3%。

1.3 原水水质状况

北江水厂取水水源位于北江干流新潭村段, 2013

表 1 2013 年北江水厂原水水质数据

日期	水温 (°C)	pH (无量纲)	溶解氧 (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	氨氮 (mg/L)	铁 (mg/L)	锰 (mg/L)
2013 年 1 月	13.9	7.64	10.5	2.00	0.26	0.02	0.02
2013 年 2 月	15.0	7.67	9.5	1.53	0.25	0.02	<0.01
2013 年 3 月	18.0	7.80	8.2	1.86	0.27	0.04	<0.01
2013 年 4 月	19.1	7.60	8.4	2.44	0.46	0.26	0.06
2013 年 5 月	24.0	7.76	7.0	1.82	0.28	0.07	<0.01
2013 年 6 月	25.9	7.52	7.5	1.80	0.17	0.04	<0.01
2013 年 7 月	29.6	7.59	7.5	1.49	0.23	0.04	<0.01
2013 年 8 月	30.8	7.45	7.4	2.27	0.25	0.07	<0.01
2013 年 9 月	30.0	7.33	7.4	1.38	0.10	0.32	0.02
2013 年 10 月	26.3	7.49	7.6	1.78	0.14	0.18	<0.01

2 水质风险评价与控制

供水厂产生的废水中富集了原水中的大量有机物、重金属和微生物, 此外, 净水过程中投加的铝盐和生废水处理过程中投加的 PAM 以及消毒过程中产生的三氯甲烷都存在水质风险^[3], 因此回用生产废水, 需要对这些风险进行评估, 提出控制措施。

2.1 浊度

北江水厂待滤水浊度控制在 3NTU 以内, 滤池在一个反冲洗周期内截污量基本固定, 因此滤池反冲洗水浊度变化不大。北江水厂污泥处理系统最大负荷按照原水浊度 100NTU 设计, 在原水浊度小于 100NTU 时, 浓缩池上清液浊度可以控制在 50NTU 以内, 但是在洪峰来临时原水浊期可高达 1000NTU, 反应池、沉淀池排泥周期缩短, 排泥水量由平时占产水量 0.3% 增加至 2.3%, 远超浓缩池和污泥脱水车间最大负荷, 浓缩池上清液浊度最高达 36000NTU。

由于高浊期浓缩池上清液不能有效去除悬浮物, 浊度高, 颗粒含量多, 颗粒浓度增大, 在沉淀过程中, 大小颗粒互相干扰, 沉淀速度下降, 混凝效果变坏。针对这一问题, 北江水厂采取了大幅增加投矾

量的强化混凝方法, 出厂水浊度未有上升, 保持在 0.1NTU 以下。

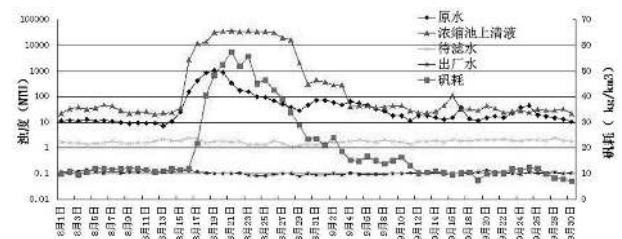


图 2 高浊期北江水厂生产情况

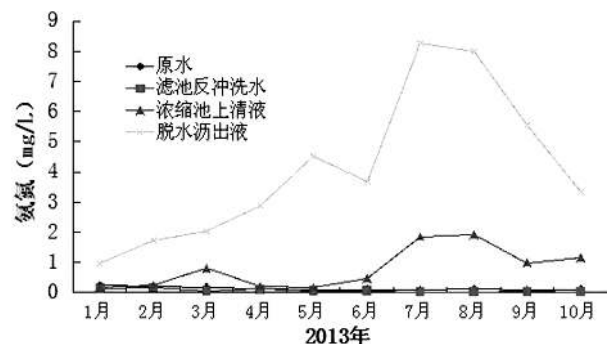


图 3 生产废水氨氮变化情况

2.2 氨氮

如图所示, 滤池反冲洗水氨氮为 0.02~0.16mg/L, 和原水相当, 其回用不会对水厂进水氨氮

造成影响。浓缩池上清液氨氮在 0.15~1.91mg/L 之间波动较大,主要是由于在浓缩池中存在排泥死角,污泥腐化形成厌氧环境,污泥降解产生的氨氮释放到上清液中,气温越高,微生物活动越活跃,污泥腐化程度越高,释放的氨氮也越高;此外,脱水沥出液的回流也是上清液氨氮较高的原因。脱水沥出液氨氮含量很高,最高达 8.27mg/L,其氨氮浓度同样受温度影响。

由于北江水厂原水氨氮含量较低,生产废水回用后氨氮含量仍较低,未对氯耗造成影响。

2.3 金属指标

生产废水回用有可能导致金属元素的富集,2013 年 8 月对各类金属元素进行了全面分析,对铁、锰、铝这三种环境中大量存在的元素 2013 年 1 至 10 月每月检测 1 次结果见下表。

表 2 生产废水金属含量情况

	原水	滤池反冲洗水	浓缩池上清液	脱水沥出液	出厂水
总铜 mg/L	<0.005	0.03	0.01	<0.005	<0.005
溶解性铜 mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
总锌 mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
溶解性锌 mg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
总硒 mg/L	<0.0004	0.0007	0.0004	<0.0004	<0.0004
溶解性硒 mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
总砷 mg/L	0.006	0.020	0.011	0.010	0.006
溶解性砷 mg/L	0.006	0.006	0.005	0.008	0.006
总汞 mg/L	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
溶解性汞 mg/L	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
总镉 mg/L	<0.0005	0.0031	0.0009	0.0008	<0.0005
溶解性镉 mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0007	<0.0005
总铅 mg/L	<0.002	0.003	0.011	0.003	<0.002
溶解性铅 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<0.002
总锑 mg/L	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
溶解性锑 mg/L	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
总铁 mg/L	0.11—0.90	1.22—335	0.22—1.18	1.5—16.1	0.01—0.12
溶解性铁 mg/L	<0.01—0.05	<0.01—0.02	<0.01—0.02	0.02—0.42	0.01—0.12
总锰 mg/L	<0.01—0.09	0.75—75.5	0.02—4.64	4.08—9.01	<0.01—0.01
溶解性锰 mg/L	<0.01—0.04	<0.01—0.03	<0.01—1.88	1.50—6.36	<0.01—0.01
总铝 mg/L	0.08—0.73	4.69—389	0.11—2.22	1.05—8.70	0.02—0.04
溶解性铝 mg/L	<0.01—0.20	<0.01—0.04	0.01—0.06	0.06—0.32	0.02—0.04

除铁、锰、铝外,其他各种金属元素在生产废水中的含量都很低。

由于铁、锰是两种地壳中最丰富的元素,生产中使用聚合氯化铝作为混凝剂,所以生产废水中含有高浓度的总铁、总锰、总铝,但是溶解性的铁和铝浓度较低,显示其主要附着在絮体上。

国家《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)规定作为集中式生活饮用水源的锰 $\leq 0.1\text{mg/L}$,滤池反冲洗水和原水中溶解锰的含量都小于 0.1mg/L ,但是浓缩池上清液和脱水沥出液均出现了高于 0.1mg/L 的情况,这是由于浓缩池中产生厌氧环境导致锰还原溶解。这显示锰是影响生产废水回用的主要因素,为了防止废水回用造成锰含量的增加,美国要求循环使用的水中溶解性锰必须被氧化,然后经沉淀去除包括 MnO_2 在内的悬浮物质。

由于浓缩池上清液回用比例较小,未对出厂水锰造成影响。

2.4 消毒副产物

2013年7月,取样检测原水和生产废水中三氯甲烷和三氯甲烷生成势。

表3 北江水厂生产废水中三氯甲烷和三氯甲烷生成势

	三氯甲烷 ug/L	三氯甲烷生成势 ug/L
原水	<0.1	453.6
滤池反冲洗水	4.9416	2211.9
反应池、沉淀池 排泥水	4.0513	4089.0
浓缩池上清液	3.7317	402.7
脱水沥出液	4.6897	1073.8

由于没有投氯消毒,生产废水中三氯甲烷浓度均很低,三氯甲烷生成势(TCMFP)反映了原水和生产废水氯气消毒后生成三氯甲烷的潜能,《生活饮用水卫生标准》GB5749—2006中规定三氯甲烷的含量不得超过 60ug/L ,显示了原水和生产废水大量投氯消毒存在三氯甲烷超标的风险。

浓缩池上清液三氯甲烷生成势 402.7ug/L 比反应池、沉淀池排泥水的 4089.0ug/L 低了一个数量级,显示经过去除大部分颗粒,消毒后消毒副产物超标的风险下降了。滤池反冲洗水三氯甲烷生成势高达 2211.9ug/L ,这是由于未经脱泥,悬浮物中存在大量有机物的缘故。脱水沥出液中溶解的有机物很

多,其三氯甲烷生成势也很高。

滤池反冲洗水和反应池、沉淀池排泥水未经脱泥直接回用,如果在制水工艺前端投加氯气预氧化存在消毒副产物超标的风险。

北江水厂将生产废水回用时段集中在8:00~20:00的时段,此时不进行前投氯消毒,尽量降低三氯甲烷等消毒副产物的形成,前投氯消毒时间调整到20:00~7:00。

2.5 丙烯酰胺

北江水厂回用处理的浓缩污泥脱水过程投加聚丙烯酰胺PAM,2013年5月~10月期间,每月取样检测浓缩池上清液和脱水沥出液的PAM单体含量。图4为脱水车间浓缩池上清液和脱水沥出液的丙烯酰胺检测结果。

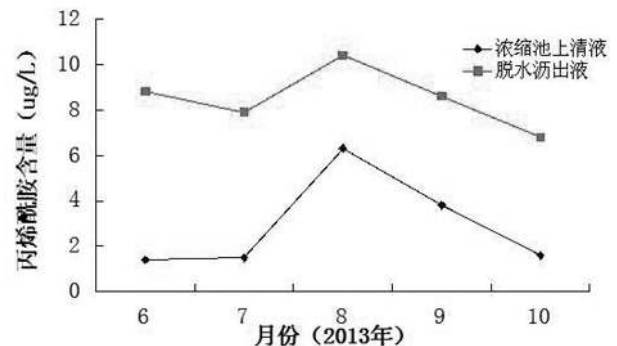


图4 北江水厂生产废水回用系统PAM单体分析

从图4中结果可知,脱水沥出液的丙烯酰胺单体含量很高,为 $6.8\sim 10.4\text{ug/L}$,丙烯酰胺单体含量很高的脱水沥出液进入浓缩池,威胁浓缩池上清液中丙烯酰胺单体的含量。浓缩池上清液中丙烯酰胺单体含量为 $1.1\sim 6.3\text{ug/L}$,超过《生活饮用水卫生标准》GB5749—2006中规定的限量标准 0.5ug/L ,特别是在8月份高浊度期,由于反应池、沉淀池排泥水中含泥量很高,为达到更好的脱泥效果,投加丙烯酰胺的量也相应增加,浓缩池上清液中丙烯酰胺单体含量高达 6.3ug/L 。

已有的研究表明,常规水处理工艺无法去除丙烯酰胺,生产废水回用导致净水工艺进水丙烯酰胺含量升高,从而产生出水超标的风险。根据物质守恒定律,8月份以8%的比例回用浓缩池上清液即可使得出厂水丙烯酰胺单体超标。

北江水厂在生产上严格控制生产废水回流比,大倍数稀释生产废水中污染物含量,出厂水未有检

出丙烯酰胺单体。

表 4 北江水厂出厂水丙烯酰胺单体含量

	7 月	8 月	9 月	10 月
丙烯酰胺单体 mg/L	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005

3 结论

北江水厂作为在生产上成功运用生产废水回用工艺的水厂,实现了生产废水零排放,且出厂水水质远优于《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)。本研究通过分析北江水厂不同原水条件下生产废水中部分代表性的浊度、氨氮、金属离子、丙烯酰胺以及消毒副产物指标,评估生产废水回用的水质风险,并通过对生产工艺的调整避免了对出厂水水质的影响,得出结论如下:

(1)浓缩池上清液浊度变化很大,高浊期水厂生产废水水量升高,超过生产废水处理系统处理能力,使得浓缩池上清液浊度最高升至 36000NTU,对水厂生产工艺造成很大冲击。通过大幅度提高聚合氯化铝(PAC)的投加量的强化混凝方法可避免对出厂

水浊度造成影响。

(2)滤池反冲洗水氨氮含量与原水相当,其回用不会对水厂进水氨氮造成影响。浓缩池上清液的氨氮浓度随气温升高而升高,但是由于其水量较小,未对水厂进水氨氮造成明显影响。

(3)除锰外,生产废水中金属元素基本以颗粒物的形态存在,浓缩池上清液中锰含量较高,但是由于其水量较小,未对出厂水锰含量造成明显影响。

(4)由于未对生产废水投氯消毒,生产废水中三氯甲烷含量很低,但是由于滤池反冲洗水未经脱泥直接回用,如果在制水工艺前端投加氯气预氧化存在消毒副产物超标的风险。可以通过错开回用时段和前投氯消毒时段,降低三氯甲烷等消毒副产物的形成。

(5)脱水沥出液的丙烯酰胺单体含量高达 6.8~10.4ug/L,其回用至浓缩池导致浓缩池上清液丙烯酰胺单体含量较高,特别在高浊期,可高达 6.3ug/L,其回用导致水厂出水中的丙烯酰胺单体超标风险较严重,建议不回用脱水沥出液。

【参考文献】

- [1] 邝璐. 超滤技术回收滤池反冲洗水的试验研究 [D]. 长沙:湖南大学, 2007.
- [2] 赵建树, 范爱丽, 李笑梅等. 南方某水厂排泥水回用系统评估及优化、改造建议[J]. 《中国建设信息(水工业市场)》, 2010, (06): 30—34
- [3] 李文英, 黄廷林, 黄卓等. 给水厂生产废水回用系统的风险评价与分析[J]. 科技咨询, 2011, (14): 123—124