

“臭氧 + 次氯酸钠”联用消毒方式在工业企业中水消毒中的应用

李嵘¹, 余仲勋²

(1. 云南铝业股份有限公司, 云南 昆明 650502;

2. 昆明有色冶金设计研究院股份公司, 云南 昆明 650051)

摘要: 结合项目实例对中水消毒工艺方案进行了比选, 针对工业企业的实际条件, 提出采用“臭氧 + 次氯酸钠”联用的消毒方式。介绍了设计思路及选择的参数, 进出水水质检测结果表明, 联用的消毒方式对总大肠菌群的控制取得了较好的处理效果。

关键词: 消毒工艺; 臭氧; 次氯酸钠; 中水处理

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673 - 9655 (2019) 05 - 0071 - 04

1 背景工程概况

云南铝业股份有限公司厂区生活污水处理站于2004年进行扩建, 目前污水处理站设计规模为180m³/h。原设计采用2台二氧化氯发生器作为消毒设备, 改建时沿用该设备。因自污水处理站建设至今已10余年, 原有消毒设备老化、破损不能正常运行, 不能满足目前水量的消毒需要, 造成回用水管网中细菌指标超标情况。因此对生活污水中水处理站的消毒系统进行改造。

2 消毒工艺比选

污水再生利用是解决我国目前水资源紧缺的重要途径, 污水消毒是保障水质安全必不可少的环节。目前的消毒技术有很多, 有氯消毒、二氧化氯消毒、紫外线消毒、臭氧消毒等。氯消毒因其成本低廉、运行管理简单且对致病微生物有广泛的灭活特性, 在目前的污水消毒处理中仍处于主导地位^[1-2]。但氯消毒会产生大量的三氯甲烷、卤乙酸等消毒副产物。很多替代氯消毒的方法, 如二氧化氯消毒、紫外线消毒、臭氧消毒等, 臭氧 + 次氯酸钠等联合消毒技术等也得到了广泛的应用。各消毒方式对比, 见表1。

从表1可看出, 氯消毒与二氧化氯消毒具有持续消毒作用, 紫外线与臭氧消毒不具有持续消毒作用; 从投资来看, 臭氧消毒最高, 二氧化氯与紫外线次之, 液氯消毒最低; 加氯消毒会生成三卤甲烷 (THMs) 类致癌副产物, 二氧化氯与臭氧均会产生少量副产物, 紫外线消毒不会产生消毒副产物。

氯消毒与臭氧消毒因其缺点不推荐单独在本项目中使用。

比较二氧化氯与紫外线法。本项目如采用紫外线消毒法, 需要设置消毒渠, 因现有清水池为地上式, 通过消毒渠的中水难以自流进入清水池, 故还需要设置中间水池与提升泵, 将消完毒的水提升进清水池。现场在滤池与清水池之间难以找到合适位置设置消毒渠与中间水池。且紫外消毒无持续杀菌的能力, 运行更换灯管费用也较高, 而二氧化氯法可在风机房旁或无阀滤池旁设置设备间, 通过滤池出水管上的管式混合器投加, 目前有定型成品可使用, 可实现自动化运行, 管理简单。

“臭氧 + 次氯酸钠”联用消毒方式在工业企业中水处理中很少有应用。这种消毒方式将臭氧与次氯酸钠两种消毒方式结合起来。利用臭氧消毒, 臭氧杀灭病原体所需时间更短, 效率更高而且不产生有毒有害的副产物。臭氧消毒具有现场发生、反应速度快、消毒后臭氧立即分解、基本消除了对生物群的毒效、使水的溶解氧增加、无毒等优点。结合厂区有空压机以及电费较低的优势, 可以利用臭氧消毒。因臭氧不具有持续消毒能力, 同时投加少量次氯酸钠, 控制水中余氯, 可以使本消毒方式具有持续消毒能力。

根据以上分析, “臭氧 + 次氯酸钠”的消毒方式, 消毒、杀灭病原体所需时间短、效率高, 而且产生有毒有害的副产物较少, 同时具有持续消毒能力; “臭氧 + 次氯酸钠”联用的消毒方式在本厂具有较高的可实现性。综合考虑, 本项目建议采用二氧化氯消毒或“臭氧 + 次氯酸钠”消毒。

表1 各消毒方式比较表

比较项目	氯	二氧化氯	紫外线	臭氧	臭氧+次氯酸钠
消毒效果	杀菌效果缓慢,需要较长的接触时间,效果持续	杀菌效果快,接触时间短,效果持续	杀菌效果快,无持续杀菌的能力,需要与氯或二氧化氯联用	反应速度快,比二氧化氯略慢,臭氧不稳定易分解,对细菌后生长难以控制性不佳	反应速度快,比二氧化氯略慢,具有持续杀菌的能力
设备投资	最低	略高于液氯消毒	高于臭氧消毒	液氯消毒的5倍	高于单独臭氧消毒
土建投资	投配设备简单,投资一般	投配设备简单,投资一般	需要建消毒渠,投资较高	需要建设备间、消毒池,投资高	需要建设备间、消毒池,投资高
制造成本	试剂成本低	较高	主要消耗电费	高	高
运行成本	较低	较高	一般	高	高
消毒副产物	会生成三卤甲烷(THMs)类致癌副产物	主要为 ClO_3^- 、 ClO_2^- ,消毒副产物远低于加氯	无消毒副产物	能降解水中其他污染物,能生成醛类,当水中存在溴时,会生成溴酸盐	能降解水中污染物,能生成醛类,可能会生成溴酸盐,以及少量三卤甲烷类致癌副产物
对水质指标影响	加氯消毒对污水的色度影响不大	二氧化氯消毒可以降低污水20%~40%的色度。二氧化氯可氧化水中有机物,还可降低水10%的COD、嗅和味。	当溶解性有机物(DOM)吸收光线后发生分解为小分子有机物,水样的COD浓度会升高。不会影响其他水质指标。	可降低色度,增加水中溶解氧	可降低色度,增加水中溶解氧
原料安全性	具有刺激性	原料中的盐酸具有危险性	原料为紫外线,安全	原料为空气,安全	原料安全
技术安全性	技术较为成熟,有氯泄漏的风险,出水余氯对环境产生影响	只能现场发生、有定型产品,自动运行,安全可靠	对环境无影响,操作简单安全,自动运行,安全可靠	臭氧由设备现场制备,有臭氧泄漏的风险,应设尾气吸收,设备可自动运行,管理难度大	臭氧由设备现场制备,有臭氧泄漏的风险,应设尾气吸收,设备可自动运行,管理难度大
适用范围	适用于大、中、小污水处理厂	中小型污水处理厂	下游水体要求较高的污水处理厂	对出水水质卫生条件要求较高的污水处理厂	适用于大、中、小污水处理厂

3 工艺方案

3.1 工艺流程

无阀滤池出水进入臭氧接触池,臭氧发生器通过接触池底部设置的曝气盘投加臭氧消毒,辅助加次氯酸钠消毒,消毒后出水进入中水池,通过中水泵站提升至用水点使用。消毒系统工艺流程如图1所示。

3.2 臭氧消毒设施设计

3.2.1 气源系统

臭氧发生器的气源可采用干燥空气、液氧或者现场制氧,本设计中采用空气作为气源。由于污水处理站旁就是150m³/h空压站,压缩空气压力可

达0.6MPa,空压站的压缩空气经减压阀减压后就可供给臭氧发生器作为气源。

该臭氧发生器对气源的要求如下:

产生臭氧所需的原料气体是氧气或含有氧气的气体(例如空气),应尽可能不含有水分、灰尘、油、碳氢化合物和氢之类的杂质,所有这些杂质都会对臭氧形成过程产生不良影响,并可能对设备产生一定程度的损坏。

供给臭氧发生器的原料气体至少要达到如下标准:

- ① 含水量:要求气源露点低于-50℃;

- ②含油量：要求含油量不高于 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ (21°C)；
- ③杂质颗粒度：要求杂质颗粒 $<0.1\mu\text{m}$ ，最好 $<0.01\mu\text{m}$ ；

- ④温度：一般要求温度不高于 25°C ，特殊条件下不高于 35°C ；
- ⑤压力：要求有一定的压力，以保证稳定工作并满足臭氧气体投加的需要。

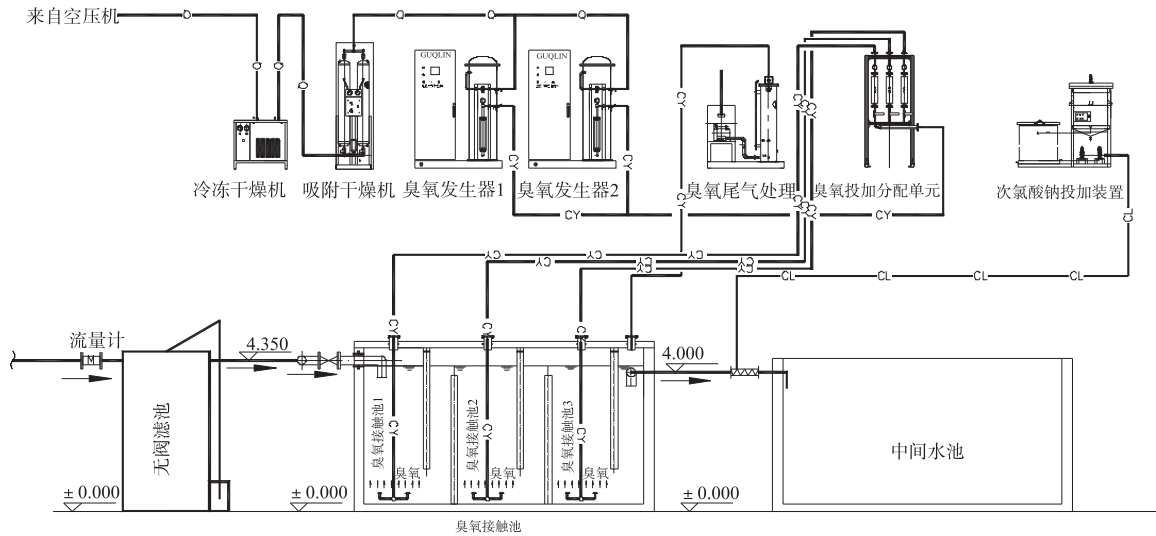


图1 消毒系统工艺流程图

表2 气源指标表

气源种类	供气压力 /MPa	常压露点 /°C	氧气体积 分数/%
空气	≥ 0.2	≤ -55	21

3.2.2 臭氧制备间

臭氧制备间内设置臭氧制备系统，本设计中包括2套臭氧发生系统以及配套的配电系统、自动控制系统和安全排风系统。臭氧制备间设于臭氧接触池上。

参照《给排水设计手册》(第5册城镇排水)，因本项目投加臭氧旨在灭活细菌、控制出水细菌总数，臭氧投加量推荐 $5 \sim 15\text{mg}/\text{L}$ ，接触时间 $6 \sim 15\text{min}$ 。参考已有科研试验结果，臭氧投加量推荐值在 $5\text{mg}/\text{L}$ 左右^[3-5]。因此本工程中采用 $5\text{mg}/\text{L}$ 作为设计臭氧投加浓度。

本项目按照最大时水量 $180\text{m}^3/\text{h}$ 进行计算，臭氧投加浓度 $5\text{mg}/\text{L}$ ，则臭氧投加量为 $900\text{g}/\text{h}$ ，故选用臭氧产量为 $500\text{g}/\text{h}$ 的臭氧发生器2套。

臭氧系统配置包括气源处理系统、臭氧发生器、冷却水系统、臭氧投加系统、尾气破坏系统。

气源处理系统：包括冷冻干燥机与吸附干燥机。空气经压缩机压缩后，经主管道的过滤器去除 $>1\mu\text{m}$ 的尘埃粒子以及水雾和油雾，由冷冻式干燥机进行浅度除水，经高效除油过滤和超高效除油

过滤去除 $>0.01\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，使水雾和油雾含量不超过 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ ，然后进入制氧机产生高纯度氧气，再经通用除尘过滤和高效除尘过滤器去除 $>0.01\mu\text{m}$ 的尘埃粒子成为合格的原料气源。

臭氧发生器：合格的气源经减压稳压后进入臭氧发生室。在臭氧发生室内部分氧气通过中频高压放电变成臭氧，产品气体经温度、压力、流量监测调节后由臭氧出气口产出。

冷却水系统：采用厂区生产一次用水作为冷却水，冷却水不循环，冷却设备后直接流入中水池。直接冷却水流量 $5 \sim 10\text{m}^3/\text{h}$ ，水温 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 。

臭氧投加系统：采用曝气投加方式，将臭氧气体与接触池内的水充分反应。

尾气破坏系统：臭氧接触池顶部设置双向透气安全阀及尾气排放口等。池子内的尾气经除雾器去除水雾后，进入尾气破坏器。尾气破坏器采用加热催化的方式将臭氧分解，整个尾气破坏器的控制由尾气破坏箱控制。分解后的气体臭氧浓度 $<0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，可直接排放到大气中。

臭氧制备间内设置臭氧泄漏报警仪，浓度超出设定限值时发出警报。

3.2.3 臭氧接触池

由于处理站用地较为紧张，采用的方案是臭氧接触池上设置臭氧消毒间。臭氧接触池分为3段扩散室，中间设置隔板，采用微孔曝气头在每个扩散

室内，臭氧共分3级投加，每级均布置微气泡曝气系统，3级的臭氧投加比例分别为50%、25%和25%。在臭氧接触池反应区内设置竖向导流隔板，以利于臭氧与水的混合接触，提高传质效果和臭氧利用率，改善运行效果。导流隔板顶部和底部设置通气孔和流水孔。臭氧接触池采用全密闭结构。臭氧接触池总停留时间为30min。

臭氧输送及投加管道采用316L不锈钢管。

3.3 次氯酸钠投加系统

根据《GB50014-2006 室外排水设计规范》，加

氯消毒量建议为6~15mg/L，设计中采用15mg/L。次氯酸钠为外购配置好的溶液，浓度为12.5%。通过加药管投加至臭氧接触池进水管。在臭氧接触池内进行混合辅助消毒。

4 消毒效果

经水质分析，进出水总大肠菌群变化情况见表3。

可见，“臭氧+次氯酸钠”联用的消毒方式取得了较好的效果，满足中水回用中微生物指标的要求。

表3 进出水总大肠菌群对比表

取样点	进水			出水		
	进水1	进水2	进水3	出水1	出水2	出水3
总大肠菌群 (MPN/100mL)	160000	>160000	24000	<2	<2	<2

5 结论

氯、二氧化氯、臭氧、紫外线等常规消毒经济有效，但具有在消毒过程中产生有害副产物等缺点。联合消毒剂能有效灭活水体中的致病微生物，有效控制消毒副产物的生成，可延长或保证管网水中的消毒作用^[2]。不同项目的消毒可以不拘泥于单一的消毒方式，本项目中采用“臭氧+次氯酸钠”联用的消毒方式取得了较好的处理效果，同时为工业企业的中水消毒提供了一种具有较高参考价值的实例。

参考文献:

- [1] 胡洪营, 王丽莎, 魏东斌. 污水消毒面临的技术挑战及其对策 [J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27 (6): 36-41.
- [2] 赵风云, 孙根行. 城市污水消毒技术的研究进展 [J]. 北京联合大学学报 (自然科学版), 2010, 24 (1): 8-11.
- [3] 蔡憬. 臭氧工艺在再生水处理中的应用 [J]. 中国农村水利水电, 2011 (9): 46-47.
- [4] 李志琦, 李银磊, 于静洁, 等. 臭氧投加量对臭氧-生物活性炭组合工艺影响的研究 [J]. 工业用水与废水, 2011, 4 (1): 8-11.
- [5] 李夏青, 赵新华. 臭氧氧化法用于再生水回用的研究 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (22): 13681-13682.

Application of “Ozone + Sodium Hypochlorite” in Water Disinfection in Industrial Enterprises

LI Rong¹, YU Zhong-xun²

(1. Yunnan Aluminum Co., Ltd., Kunming Yunnan 650502, China)

Abstract: The frequently used disinfection techniques were compared with the example in the project, the “ozone + sodium hypochlorite” method was proposed for the greywater disinfection of industrial enterprises on the basis of the actual conditions. The design idea and parameter selection were introduced, and the water quality at the inlet and outlet were tested. The results showed that the combined disinfection method had a good effect on the control of the total coliform flora.

Key words: disinfection; ozone; sodium hypochlorite; greywater