

# ClO<sub>2</sub> 和 Cl<sub>2</sub> 对城市污水再生水消毒效果的比较

梁光<sup>1</sup>, 文李敏<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电第三工程局有限公司, 陕西 西安 710016; 2. 西安市环境保护局, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 采用 ClO<sub>2</sub> 和 Cl<sub>2</sub> 对西安市的城市污水再生水进行消毒, 中试结果表明: 当 ClO<sub>2</sub> 投加量 > 7.67 mg/L 时, 经 30 min 接触消毒后, 出水中未检出总大肠菌群, 以氯代有机物为代表的消毒副产物 (DBPs) 较进水没有明显增加, 出水的 COD 和浊度分别平均降低了 13.2% 和 17.9%, 色度平均减少了 5 倍; 当 Cl<sub>2</sub> 投加量 > 6 mg/L 时, 经 30 min 接触消毒后, 出水中未检出总大肠菌群, 出水中的二氯甲烷和三氯甲烷浓度是进水中的 2~3 倍, 三卤甲烷含量则达到进水的 4~6 倍, 同时生成少量的二氯一溴甲烷, 出水的 COD 和浊度分别平均降低了 17.8% 和 8.75%, 色度减少了 5~10 倍。

**关键词:** 城市污水再生水; ClO<sub>2</sub>; Cl<sub>2</sub>; 消毒

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2009)05-0103-03

## Disinfection of Reclaimed Water of Urban Sewage with ClO<sub>2</sub> and Cl<sub>2</sub>

LIANG Guang<sup>1</sup>, WEN Li-min<sup>2</sup>

(1. Sinohydro Bureau 3 Co. Ltd., Xi'an 710016, China; 2. Xi'an Environmental Protection Bureau, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** ClO<sub>2</sub> and Cl<sub>2</sub> were used to disinfect the reclaimed water of Xi'an urban sewage. When the dosage of ClO<sub>2</sub> is more than 7.67 mg/L, the total coliform bacteria may not be detected in the effluent after 30 min; the disinfection by-products represented by chlorinated organic compounds in the effluent do not increase obviously, compared with the influent, COD and turbidity of the effluent decrease averagely by 13.2% and 17.9% respectively, and the chromaticity reduces by 5 times. When the dosage of Cl<sub>2</sub> is more than 6 mg/L, the total coliform bacteria may not be detected in the effluent after 30 min; the dichloromethane and chloroform concentration in the effluent is 2 to 3 times of that in the influent, the trihalomethanes concentration in the effluent is 4 to 6 times of that in the influent, and bromodichloromethane is found; COD and turbidity of the effluent decrease averagely by 17.8% and 8.75% respectively, and the chromaticity reduces by 5 to 10 times.

**Key words:** reclaimed water of urban sewage; ClO<sub>2</sub>; Cl<sub>2</sub>; disinfection

城市污水再生利用是解决水资源短缺的途径之一。消毒作为再生水处理工艺的最后环节,对保障再生水的水质安全具有至关重要的作用。现阶段国内外大多数再生水厂都采用 Cl<sub>2</sub> 作为消毒剂,因为 Cl<sub>2</sub> 具有消毒效果好、价格低廉等优点,但 Cl<sub>2</sub> 会与

水中的有机物发生反应而产生三卤甲烷等具有“三致”作用的消毒副产物 (DBPs),给再生水的使用带来潜在威胁。因此,要彻底控制再生水中 DBPs 的生成,就必须采用新型的消毒剂。笔者以西安市北石桥污水净化中心再生水处理系统的出水为研究对

象,采用  $\text{ClO}_2$  和  $\text{Cl}_2$  进行消毒试验,对比了两者的消毒效果。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验流程

西安市北石桥污水净化中心的再生水处理流程:城市污水首先经 DE 氧化沟进行二级处理,然后经过混凝、沉淀、过滤,最后采用液氯进行消毒。液氯消毒试验即直接测定该中心的出水。

$\text{ClO}_2$  的消毒试验采用自制的中试设备进行,系统规模为  $1.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 。将过滤后的再生水用泵提升至  $\text{ClO}_2$  消毒试验系统,计量后与投加的  $\text{ClO}_2$  溶液一起进入孔板混合器,使  $\text{ClO}_2$  和再生水完全混合,最后进入接触池(有效容积为  $0.56 \text{ m}^3$ )。试验用  $\text{ClO}_2$  现场活化(活化时间为  $5 \text{ min}$ ), $\text{ClO}_2$  有效浓度在  $15\ 000 \text{ mg/L}$  左右。

### 1.2 试验方法

$\text{ClO}_2$  消毒试验:改变  $\text{ClO}_2$  的投量,投量范围为  $5.07 \sim 10.2 \text{ mg/L}$ 。系统先运行  $4 \text{ h}$ ,待完全稳定后,每隔  $10 \text{ min}$  取样(每次取两组平行样),连续取  $3$  次,以  $6$  个水样的平均值作为最终结果。

$\text{Cl}_2$  消毒试验:改变再生水处理系统的加氯量, $\text{Cl}_2$  投量范围为  $5 \sim 10 \text{ mg/L}$ ,取样方法同上。

对所取水样进行理化指标(COD、浊度、色度)、微生物指标(总大肠菌群)及毒理学指标(三卤甲烷、四氯化碳等  $29$  种 DBPs)的测定,分析方法均为国家标准方法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微生物指标

消毒前再生水的总大肠菌群为  $10^4 \sim 10^5$  个/L。采用  $\text{ClO}_2$  作为消毒剂,当其投加量为  $5.07 \text{ mg/L}$  时,经  $30 \text{ min}$  消毒后,出水的总大肠菌群降至  $40$  个/L,去除率为  $99.5\%$ ;当其投加量为  $7.67 \text{ mg/L}$  时,出水中未检出总大肠菌群,去除率达到  $100\%$ ,出水的总大肠菌群已经满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)的要求(总大肠菌群  $\leq 3$  个/L)。采用  $\text{Cl}_2$  作为消毒剂,当其投加量为  $5 \text{ mg/L}$  时,经  $30 \text{ min}$  消毒后,出水的总大肠菌群为  $5$  个/L;当其投加量为  $6 \text{ mg/L}$  时,出水中未检出总大肠菌群。

由上述结果可知,当达到同样的消毒效果时, $\text{Cl}_2$  的用量低于  $\text{ClO}_2$ ,而且  $\text{Cl}_2$  的价格较  $\text{ClO}_2$  低,使

用方便,不需要活化。因此, $\text{Cl}_2$  在再生水消毒领域仍然具有一定的竞争力,实际上,目前国内外大多数的城市污水再生水消毒使用的仍是液氯。

### 2.2 理化指标

在  $\text{ClO}_2$  消毒前后,城市污水再生水的 COD、浊度、色度的变化如表 1 所示。

表 1 不同  $\text{ClO}_2$  投量下进、出水的 COD、浊度和色度  
Tab.1 COD,turbidity and color of influent and effluent under different dosages of  $\text{ClO}_2$

投量/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )		浊度/ NTU		色度/倍		余氯/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	
5.07	58.8	43.68	1.92	1.79	40	35	0.05
7.12	32.7	31.4	1.04	0.84	40	35	0.12
7.67	34.09	31.4	1.6	1.01	40	35	0.14
8.27	36.16	32.27	1.22	1.12	35	30	0.15
8.79	73.13	62.6	2.9	2.1	50	45	0.17
8.86	61	48	1.48	1.19	35	30	0.18
9.15	58.8	51.2	1.31	1.17	30	25	0.22
10.2	37.5	34.2	1.1	0.94	30	25	0.29

由表 1 可知,再生水经不同浓度的  $\text{ClO}_2$  消毒后,其 COD、浊度和色度均有所降低,其中 COD 平均降低了  $13.2\%$ ,且 COD 浓度越高则降低幅度越大;浊度平均降低了  $17.9\%$ ,色度平均减少了  $5$  倍。这主要是因为  $\text{ClO}_2$  是强氧化剂,在水中可发生水解反应而生成原子态的氧,不仅可以杀灭再生水中的微生物,还可以氧化水中构成 COD 和色度的还原性物质,从而降低出水的 COD、浊度和色度。

从理论上计算, $1 \text{ mg/L}$  的  $\text{ClO}_2$  可以使水中的 COD 下降  $0.593 \text{ mg/L}$ ,但实测结果与理论值存在一定差异,这是因为  $\text{ClO}_2$  加入到再生水中后,不仅可以与有机物、还原性无机物发生反应,还可以与铁、锰离子等其他物质进行反应<sup>[1]</sup>。此外,目前工业应用的  $\text{ClO}_2$  均为  $\text{ClO}_2$  和  $\text{Cl}_2$  的混合物,而  $\text{Cl}_2$  在浓度较低时,可与有机物发生取代反应,但体系的氧当量并不发生变化。因此,在采用  $\text{ClO}_2$  消毒时,COD、色度和浊度等的变化规律不十分明显,但总的趋势是各理化指标均有不同程度的下降,即  $\text{ClO}_2$  消毒对常规理化指标的改善具有正效应。

在  $\text{Cl}_2$  消毒前后,城市污水再生水的 COD、浊度和色度的变化如表 2 所示。

由表 2 可知,当  $\text{Cl}_2$  的投加量为  $5 \sim 10 \text{ mg/L}$  时,COD、浊度分别平均降低了  $17.8\%$  和  $8.75\%$ ,色

度降低了5~10倍。

表2 不同Cl<sub>2</sub>投量下进、出水的COD、浊度和色度

Tab.2 COD, turbidity and color of influent and effluent under different dosages of Cl<sub>2</sub>

投量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )		浊度/NTU		色度/倍	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水
5	35.4	30.3	1.37	1.32	50	40
6	37.9	31.9	1.35	1.28	40	35
7	58.7	50.3	1.36	1.12	40	35
8	32.9	24.3	1.32	1.27	40	35
9	66.2	54.6	1.6	1.37	45	35
10	77.5	62.9	1.27	1.17	35	30

1 mg/L的Cl<sub>2</sub>被完全还原时,理论上可以使水中的COD下降0.222 mg/L,该值仅为ClO<sub>2</sub>的40%,即单位质量的Cl<sub>2</sub>的氧化值低于ClO<sub>2</sub>。但是,实测结果显示两者对COD、浊度、色度的去除效果相近,这是因为该试验采用的再生水取自实际生产系统,水质不稳定所致<sup>[2]</sup>。

### 2.3 毒理学指标

试验中对Cl<sub>2</sub>和ClO<sub>2</sub>消毒前后水中的DBPs进行了测定,结果见图1,其中A~H分别代表二氯甲烷、三氯甲烷、1,2-二氯甲烷、三氯乙烷、二氯一溴甲烷、甲苯、三卤甲烷。

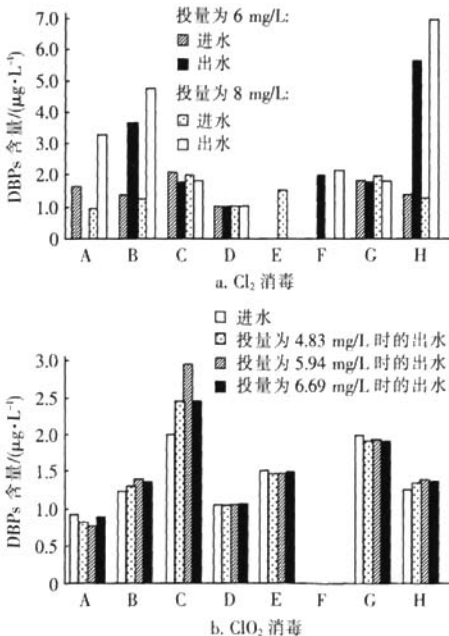


图1 Cl<sub>2</sub>和ClO<sub>2</sub>消毒前后水中DBPs的变化

Fig.1 Variation of DBPs before and after disinfection by Cl<sub>2</sub> and ClO<sub>2</sub>

由图1可见,城市污水再生水在消毒前即含有一定浓度的DBPs,该部分DBPs主要来自于城市污水中混入的工业废水。再生水经Cl<sub>2</sub>消毒后,原有的二氯甲烷和三氯甲烷的浓度均大幅度增加,且Cl<sub>2</sub>投加量越大,其增加的幅度则越大;对再生水水质安全影响最大的三氯甲烷等三卤甲烷(THMs)的含量约为消毒前的4~6倍;同时,消毒后还产生了新的氯代有机物——二氯一溴甲烷。检测结果表明,消毒后再生水中的三卤甲烷含量为8~10 µg/L,该值低于Matamoros等对西班牙三个城市污水再生水厂进行的为期2年的调查结果(THMs含量为2~30 µg/L)<sup>[3]</sup>。再生水经ClO<sub>2</sub>消毒后,THMs含量没有显著增加,且没有发现新的氯代有机物,这与饮用水的ClO<sub>2</sub>消毒试验结果一致,即ClO<sub>2</sub>与水中的有机物发生的是氧化还原反应,而不是取代反应。

毒理学测试结果表明,城市污水再生水采用ClO<sub>2</sub>消毒,可以大大降低使用再生水的生态安全风险。

### 3 结论

① 对城市污水再生水分别采用ClO<sub>2</sub>和液氯进行消毒处理,当其投加量分别为7.67和6 mg/L时,出水的总大肠菌群满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)的要求。

② ClO<sub>2</sub>和液氯均为强氧化剂,在对再生水消毒的同时,对水中的COD、浊度和色度等均有一定的去除效果。

③ 与液氯消毒相比,采用ClO<sub>2</sub>对城市污水再生水进行消毒,可以显著减少氯代有机物的生成,其对生成三卤甲烷的控制最为显著。

### 参考文献:


- [1] 黄君礼. 新型水处理剂——二氧化氯技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [2] Gagnon G A, Rand J L, O'Leary K C, et al. Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms[J]. Water Res, 2005, 39(9): 1809-1817.
- [3] Matamoros V, Mujeriego R, Bayona J M. Trihalomethane occurrence in chlorinated reclaimed water at full-scale wastewater treatment plants in NE Spain[J]. Water Res, 2007, 41(15): 3337-3344.

电话:13772010754

E-mail:jason830420@163.com

收稿日期:2008-09-09

## C102和C12对城市污水再生水消毒效果的比较

作者: 梁光, 文李敏, LIANG Guang, WEN Li-min  
作者单位: 梁光, LIANG Guang(中国水利水电第三工程局有限公司, 陕西, 西安, 710016), 文李敏, WEN Li-min(西安市环境保护局, 陕西, 西安, 710068)  
刊名: 中国给水排水   
英文刊名: CHINA WATER & WASTEWATER  
年, 卷(期): 2009, 25(5)

### 参考文献(3条)

1. Matamoros V;Mujeriego R;Bayona J M Trihalomethane occurrence in chlorinated reclaimed water at full-scale wastewater treatment plants in NE Spain[外文期刊] 2007(15)
2. Gagnon G A;Rand J L;O'Leary K C Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms[外文期刊] 2005(09)
3. 黄君礼 新型水处理剂, 二氧化氯技术及其应用 2002

### 本文读者也读过(10条)

1. 张辰, 张欣, 吕东明, 肖卫星 污水消毒标准及紫外线消毒技术应用[会议论文]-2003
2. 陈新梅, 倪星舟 污水紫外线消毒工艺浅谈[期刊论文]-中国科技博览2011(24)
3. 谢小青 紫外线消毒在城市污水处理中的应用[会议论文]-2004
4. 王占东, 宋扬, 赵铭伟, WANG Zhan-dong, SONG Yang, ZHAO Ming-wei 谈污水处理中的紫外线消毒[期刊论文]-山西建筑2011, 37(10)
5. 沈元, 张敬平, 林玉娣, 马玉林 城市综合污水消毒技术和效果研究进展[期刊论文]-医学动物防制2005, 21(7)
6. 张辰, 张欣, 吕东明, 肖卫星 污水消毒标准及紫外线消毒技术应用[会议论文]-2006
7. 杨基成, 曾抗美, 梁宏, 罗旌生 臭氧法在城市污水消毒中的应用[期刊论文]-环境科学与技术2004, 27(1)
8. 魏杰, 宁大亮, 王丽莎, 魏东斌, 胡洪营 氯化/脱氯消毒对污水发光细菌毒性的影响[会议论文]-2003
9. 杭世珺, 甘一萍, 史骏, 周军 城市污水紫外线消毒技术现状和前景分析[会议论文]-2003
10. 张宁, 曲翔滨, 李亚峰, ZHANG Ning, QU Xiang-bin, LI Ya-feng 加氯系统的设计及其在污水处理厂中的应用[期刊论文]-辽宁化工2002, 31(12)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zgjsps200905027.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgjsps200905027.aspx)