

基于流式细胞仪方法评价饮用水紫外/氯消毒效果

黄慧婷¹, 曹新垵¹, 王敏¹, 顾军农¹, 刘超然²

(1. 北京市自来水集团有限责任公司技术研究院 北京市供水水质工程技术研究中心, 北京 100012; 2. 北京市自来水集团有限责任公司, 北京 100012)

摘要: 近几年, 紫外消毒逐渐在给水厂得到应用, 紫外/氯联合消毒有效保障了供水水质的微生物安全性。为了考察单独氯消毒与紫外/氯联合消毒的灭菌效果, 设计了一套低压紫外消毒系统, 并置于水厂炭池出水后。同时, 为了更全面评估不同类型紫外灯的消毒效果, 对水厂的中压紫外消毒系统一并进行考察, 应用流式细胞仪对各种消毒方式的灭菌效能进行了研究。结果显示, 采用单独氯消毒时, 微生物量随停留时间的增长速率仅与加入的消毒剂浓度有关; 采用低压紫外/氯消毒工艺时, 随着氯消毒剂投量的增加, 水中的微生物衰减速率提高。将两种不同方式的余氯衰减情况与除菌效果结合来看, 紫外/氯消毒方式可在仅有少量余氯存在的情况下, 就能充分保证对微生物的灭活效果。因此, 当采用低压紫外/氯消毒工艺时, 可适当降低消毒剂的投加量。另外, 中压紫外/氯消毒方式对微生物的灭活效果在加入浓度相对较高的氯消毒剂时要明显优于低压紫外/氯消毒方式。

关键词: 饮用水; 氯消毒; 紫外/氯消毒; 流式细胞仪

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2017)09-0022-05

Evaluation of Effect of UV/Chlorine Disinfection for Drinking Water Treatment by Flow Cytometry

HUANG Hui-ting¹, CAO Xin-kai¹, WANG Min¹, GU Jun-nong¹, LIU Chao-ran²

(1. Beijing Engineering Research Center for Drinking Water Quality, Institute of Technology of Beijing Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100012, China; 2. Beijing Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: In recent years, the technology of UV disinfection is gradually applied in drinking water processing. The method of UV/chlorine disinfection has been utilized to effectively guarantee the microbial safety of water supply. The experiment designs a low-pressure UV disinfection system following the granular activated carbon tank in order to research the effects of chlorine disinfection and UV/chlorine disinfection on drinking water. Meanwhile, the medium pressure UV disinfection system in water plant need to be investigated in order to evaluate the effect of UV disinfection which applied in different types of UV lights more comprehensively. The sterilization efficiency of various disinfection methods were studied by flow cytometry. The results showed that the total number of microbes increased over time associated solely with the concentration of disinfectant as the process of chlorine disinfection was adopted. While the process of low-pressure UV/chlorine was utilized, the decay rate of microbes in water rose with the dosage

of chlorine disinfectant increasing. According to the effects of the two different manners, the method of UV/chlorine disinfection was capable to guarantee the inactivation of microbes with only a lower amount of residual chlorine in drinking water. Therefore, the dosage of disinfectant could be reduced appropriately when the process of low-pressure UV/chlorine was applied in drinking water treatment process. In addition, the inactivation effect of medium pressure UV/chlorine disinfection methods with a relatively high concentration of chlorine disinfectant was much better than that of low-pressure UV/chlorine disinfection.

Key words: drinking water; chlorine disinfection; UV/chlorine disinfection; flow cytometry

近年来,紫外线消毒由于高效、广谱性好、无消毒副产物等优点^[1~3],逐渐成为一种具有一定推广前景的消毒工艺^[4]。与传统氯消毒相比,紫外线消毒对部分耐氯性病原微生物的灭活表现出明显的优势,可更加有效地保证水中微生物安全性^[5]。评价消毒效果的最重要的指标是对微生物去除或灭活的程度。目前,国际通用的检测饮用水中微生物的方法是平板计数法,但 Siebel 等^[6]发现待测自来水中的微生物仅有 0.001%~2% 可以通过平板培养得到。同时,传统平板培养计数法检测时间较长,一般需要 2~7 d。因此本研究采用流式细胞仪评价消毒效果。将流式细胞仪应用于水环境微生物的快速检测可有效避免传统微生物检测法存在的弊端^[7],其检测时间较短,通常仅需要 10 min,且检测结果与平板培养计数法相比高约 2 个数量级^[6]。

笔者以某水厂炭池出水作为研究对象,采用流式细胞仪研究了氯、紫外及氯/紫外三种消毒方式对细菌的灭活效果,分析了在相同投氯量下小型低压紫外消毒系统和水厂中压紫外消毒系统对微生物的灭活效果和灭活程度,同时考察其余氯衰减情况,以期紫外线消毒后氯的合理投加提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 消毒工艺流程

中试及水厂消毒工艺流程见图 1。

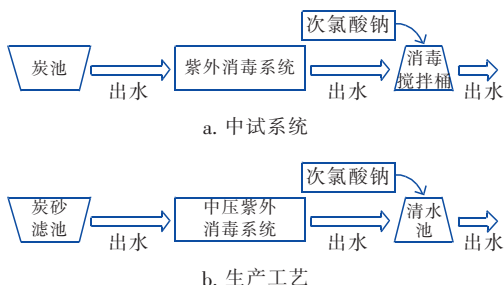


图1 中试及某水厂紫外/氯消毒工艺流程

Fig. 1 Flow chart of UV/chlorine disinfection in pilot and production process

中试中由手动控制系统开关、进水蠕动泵开度及紫外设备的启停,紫外设备连接在某水厂的炭池出水后,该紫外设备选用的是 PRO10 低压汞灯,采集的样品为炭池出水和紫外系统的进出水。

为对比低压紫外设备与中压紫外设备对微生物的灭活效果,将某水厂的紫外消毒系统作为试验对象,采集消毒系统的进出水水样进行微生物分析。

1.2 荧光染色

荧光染色用到的材料包括:cell viability kit 染料套装、C6 流式细胞仪、1.5 mL 离心管、涡旋振荡仪、移液枪、生物安全柜。试验方法如下:①将样品用涡旋振荡仪振荡 1 min 使之混匀;②在生物安全柜中取 200 μ L 水样至灭菌后的 1.5 mL 离心管中;③在生物安全柜中避光状态下分别加入 cell viability kit 染料套装中的 TO 和 PI 各 5 μ L;④轻轻振荡混匀;⑤避光状态下 37 $^{\circ}$ C 反应 5 min;⑥上机检测。

1.3 流式细胞仪(FCM)测定

流式细胞仪通过染料(PI/TO)与微生物 DNA 的特异性结合,将其与水中非生物颗粒进行区分,从而检测水中微生物含量与状态,其检测范围是 1 000~200 000 cells/mL,当浓度高于或低于这个范围时,则需进行稀释或浓缩,使用 PI/TO 染色套装进行染色,通过检测 FL1 和 FL3 荧光对微生物计数。上机时设置进样量为 100 μ L,检测速度为 SLOW。

1.4 消毒剂的选择和浓度设定

据统计,国内 99.5% 的水厂中采用氯消毒方式,一般出厂水的余氯浓度在 0.6~1.0 mg/L^[8]。国家《生活饮用水卫生标准》规定城市管网末梢的余氯浓度不应低于 0.05 mg/L,因此本试验中设定消毒剂浓度范围为 0~1.0 mg/L,即次氯酸钠投加量依次为 0、0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 mg/L。

2 结果与讨论

2.1 单独氯消毒的除菌效果

使用 500 mL 无菌瓶采集炭池出水水样,投加次

氯酸钠并接触反应 30 min 后,将水样转移到一次性细菌瓶中作为待测水样,待测水样共放置 48 h,其间对待测水样中的微生物进行了 7 次检测,检测时间分别为 0、2、4、6、8、24、48 h。每次吸取 200 μL 水样进行荧光染色,再利用流式细胞仪检测微生物含量,结果如图 2 所示。

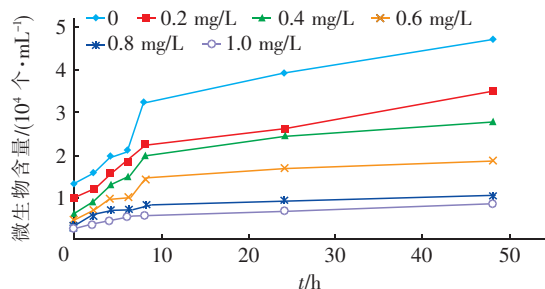


图2 氯消毒除菌效果

Fig. 2 Effect of alone chlorine disinfection

从图 2 可知,传统氯消毒技术对微生物具有很好的杀灭作用,但是在不同的加氯量下,随着加氯水龄的延长,微生物含量均有不同程度的增长。在低投加量下,微生物数量随着接触时间的延长而显著增加,原因是水中的余氯随着接触时间的增加而衰减,低余氯不能有效控制微生物的生长;而在较高投加量时,水中余氯可维持较高的浓度,对微生物的生长具有较好的控制作用。针对试验用水为了有效控制微生物数量在较低的水平,投氯量需在 1.0 mg/L 以上。

2.2 紫外/氯联合消毒的除菌效果

为了模拟紫外/氯联合消毒,分别采集水厂紫外消毒后水样 500 mL 于 6 个瓶中,依次加入次氯酸钠消毒剂使其浓度分别为 0、0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 mg/L,接触反应 30 min 后,将水样转移到一次性无菌瓶中作为待测水样。待测水样共放置 48 h,其间对待测水样中微生物共检测 7 次,检测时间分别为 0、2、4、6、8、24、48 h。每次每个样品吸取 200 μL 水样进行荧光染色,再利用流式细胞仪检测微生物含量,结果如图 3 所示。

从图 3 可以看出,单独紫外消毒后的水在停留 24 h 内,随放置时间的延长,水中存活的微生物数量逐渐降低,待停留 48 h 后,存活的微生物数量仅有少量的增长。若采用紫外/氯联合消毒工艺,不论消毒剂的投加量高低,在 24 h 内,水中存活的微生物量均不随着停留时间的延长而增加,仍旧保持着降低的趋势。当消毒剂的投加量 ≥ 0.8 mg/L 时,水

中存活的微生物数量在 48 h 内均维持在同一水平。另外,随着消毒剂投量的增加,微生物的衰减速率也有所加快。

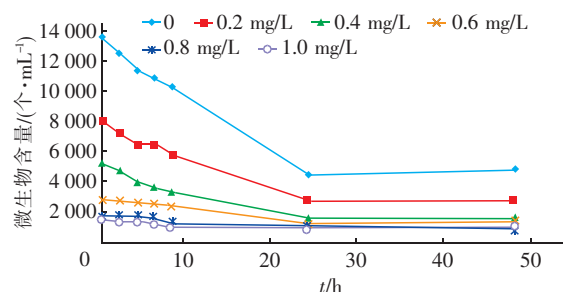
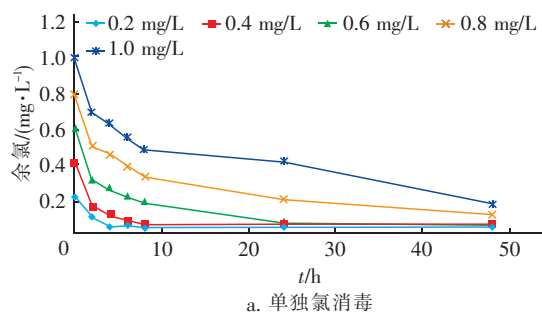


图3 紫外/氯消毒除菌效果

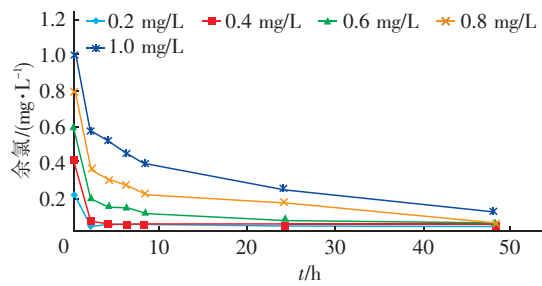
Fig. 3 Effect of UV/chlorine disinfection

2.3 两种消毒方式的余氯衰减情况

氯消毒与紫外/氯消毒在不同加氯量下的余氯衰减规律如图 4 所示。



a. 单独氯消毒



b. 紫外/氯消毒

图4 不同消毒方式的氯耗曲线

Fig. 4 Curve of chlorine residual of chlorine and UV/chlorine disinfection

由图 4 可知,紫外/氯消毒没有改变水体的氯衰减特性。但在不同的次氯酸钠投加量下,紫外/氯消毒和单独氯消毒相比,其氯衰减速率更快。当初始加氯量不高于 0.4 mg/L 时,2 h 后紫外/氯消毒的余氯值在 0.05 mg/L 以内,而在单独氯消毒的情况下,余氯值可以维持在 0.10 mg/L 左右。当加氯量提高到 0.8 和 1.0 mg/L 时,2 h 后紫外/氯消毒的余氯分别为 0.35 和 0.56 mg/L,而单独氯消毒的余氯则分

别为0.49和0.68 mg/L。尽管紫外/氯消毒方式下的余氯衰减相对较快,但结合两种消毒方式的除菌效果来看,单独氯消毒的投加量要高于1.0 mg/L才能保证水中的微生物数量在48 h内基本维持在同一水平;而采用紫外/氯消毒时,氯消毒剂的投加量不低于0.8 mg/L时,即可保证48 h内细菌数量不增长。另外,在紫外/氯联合消毒中,在仅有少量余氯存在的情况下,微生物的灭活效果就能得以保证。因此,在采用紫外/氯消毒工艺时,可以适当降低消毒剂的投加量。

2.4 中压和低压紫外灯/氯消毒效果的比较

本试验的紫外消毒系统采用的是低压(LP)紫外灯,低压紫外灯发射的是单一波段的波谱(253.7 nm),而水厂的紫外消毒系统采用的是中压(MP)紫外灯,中压汞灯发射多波段的波谱(200~300 nm)。分析了不同种类紫外灯的消毒设备与氯联合消毒时对微生物的灭活效果,结果如图5所示。

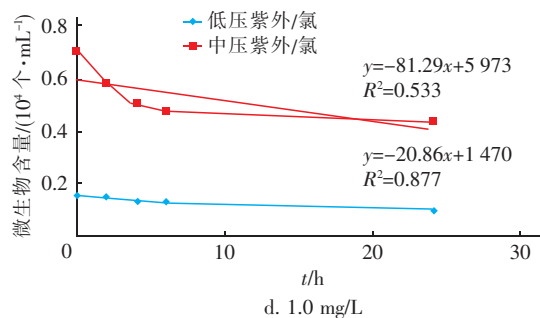
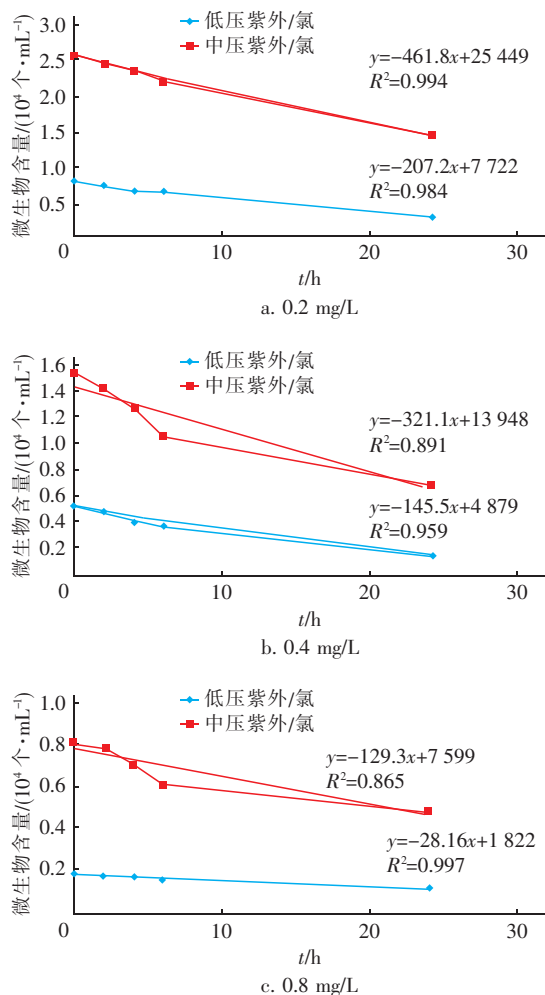


图5 不同加氯量下微生物数量的变化

Fig. 5 Changes of microbial biomass at different chlorine dosage

由于两套紫外消毒系统的原水水质存在差异,致使微生物量存在较大的不同。首先,当投加较低剂量(0.2 mg/L)的氯时,两种消毒方式下微生物量均随停留时间的延长而不断减少,并且微生物量的减少与停留时间具有很好的线性关系。随着投氯量的增加,采用低压紫外/氯消毒时微生物含量的降低依旧与停留时间的延长呈线性关系。而采用中压紫外/氯消毒的方式,随着消毒剂投量的增加,微生物数量的降低速率明显比低压紫外/氯消毒方式的快,由此可知中压紫外/氯消毒方式对微生物的灭活效果明显优于低压紫外/氯消毒方式。

3 结论

① 采用氯消毒时,随着接触时间的延长,微生物量呈现增长趋势,但是随着消毒剂投量的增加,微生物的增长速率变缓,微生物的数量随停留时间的增长速率与加入的消毒剂的浓度有关。

② 当采用单独紫外消毒时,随着停留时间的延长,水中的微生物数量先逐渐减少,当停留时间延长到48 h后水中微生物量又有小幅度的增加;当采用紫外/氯消毒工艺时,可加速水中的微生物灭亡。

③ 在相同停留时间内,紫外/氯联合消毒方式在仅有少量余氯存在的情况下,即可有效控制微生物的增长。因此,在采用紫外/氯消毒工艺时,可适当降低消毒剂的投加量。在加入浓度相对较高的氯消毒剂时,中压紫外/氯对微生物的灭活效果要明显优于低压紫外/氯消毒方式。

参考文献:

- [1] 张永吉,刘文君. 紫外线对自来水中微生物的灭活作用[J]. 中国给水排水,2005,21(9):1-4.

(下转第30页)