

UV 消毒用于楼宇水箱水质控制研究

张琳¹ 刘文君¹ 梁佳慧² 吴伟健² 范晓军²

(1 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2 澳门自来水股份有限公司, 澳门)

摘要 结合实验室和现场的试验研究,探讨了 UV 消毒用于控制入户端——楼宇水箱水质的前景和问题。实验室研究结果表明,剂量为 $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的 UV 照射,对 HPC 和 *E. coli* 能达到 3 log (99.9%) 左右的灭活率。实际应用中 UV 消毒适用于微生物学指标较差、余氯很低的水箱,同时也出现了 UV 光强明显下降、紫外线照射促进余氯衰减等问题。

关键词 UV 消毒 光强 余氯衰减 楼宇水箱水质

Study on building roof tank water quality control using UV technology

Zhang Lin¹, Liu Wen-jun¹, Liang Jia Hui², Wu Wei-jian², Fan Xiao-jun²

(1. Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. The Macao Water Supply Co., Ltd., Macao)

Abstract: Through both bench-scale and field experiments, potential and problems of roof tank water quality control by ultraviolet disinfection were discussed. It was showed in lab experiments that $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ UV irradiation caused about 3 log (99.9%) inactivation of HPC and *E. coli*. Practical application of UV disinfection is suitable to building roof tank water quality control with bad microorganism index and little chlorine residue. In the mean time, there arise problems such as UV lamp intensity decrease sharply, and decay of chlorine residual was promoted by UV irradiation.

Keywords: UV; Disinfection; Intensity; Decay of chlorine residual; Roof tank water quality

近十几年的调查发现楼宇水箱水质下降问题普遍存在,保证楼宇水箱水质的技术和管理措施引起广泛关注^[1~3]。楼宇水箱水质问题主要是微生物学指标不合格,其原因有两个方面,一是管理问题,二是技术问题。管理问题主要是水箱的定时清洗、安全防护和水质的严格监测等。技术问题指:

出厂水在管网输送中由于二次污染,生物稳定性和化学稳定性差,导致管网水质下降,从而使楼宇水箱水质下降;消毒剂余量(一般是余氯)消耗过快,导致水箱中没有足够消毒剂存在,引起微生物生长;

楼宇水箱中存在死水区,水的停留时间过长,有利于微生物的生长,尤其是南方城市,气温高,日照条件好,更有利于细菌的再生和繁殖。

由于楼宇水箱水质存在上述问题,因此,应加强

对楼宇水箱的管理,并采取适当的技术措施保证对水箱存水的消毒效果,以控制楼宇水箱供水的微生物学安全性。紫外消毒方便、高效、有广谱性,是目前国内外研究和应用的热点^[4]。本文结合实验室和现场的试验研究结果,探讨了 UV 消毒用于楼宇水箱水质控制的前景和问题。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

实验室装置准平行光束仪见图 1,该装置是将紫外灯管安装在一个封闭的圆柱体内,在筒体的底部中央开口,下方接一段长 60 cm,直径为 8.8 cm 的圆管,其作用是产生平行紫外线,使得紫外线能够垂直到达样品的表面。紫外灯管的功率 40 W,其中输出 254 nm 波长紫外线的功率为 13.8 W。

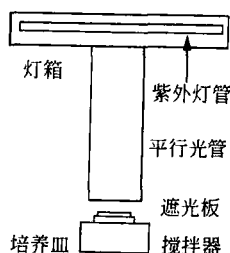


图1 紫外线试验装置准平行光束仪

实验室装置紫外线照射剂量按式(1)计算：

$$Dose = \bar{I} t \quad (1)$$

式中 $Dose$ ——紫外线剂量, mJ/cm^2 ;

$\bar{I}$ ——平均紫外强度, mW/cm^2 ;

t ——照射时间, s 。

低压/中压 UV 消毒器现场装置见图2。低压紫外消毒器型号 V GUV - 25T39 - 9, 单根灯管功率 39 W, 其中输出 254 nm 波长紫外线的功率为 15 W, 共 9 根灯管。中压紫外消毒器型号 V GUV - 25T270 - 1, 单根灯管功率 270 W, 其中输出 254 nm 波长紫外线的功率为 78 W, 共 1 根灯管。

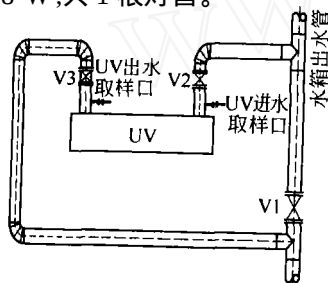


图2 UV 消毒器现场装置

低压/中压 UV 消毒器现场装置是将紫外灯放在石英套管内, 石英套管均匀分布在一个不锈钢圆筒内, 水流由不锈钢套筒和石英套管间的腔体通过, 经紫外灯照射而得到消毒。本试验的低压/中压紫外消毒器接在楼宇水箱向用户供水的管线上, 以水箱出水作消毒器进水, 消毒器出水经入户管向用户供水。消毒器配有在线光强计, 可随时读出光强计传感器所在点(消毒器中央, 靠近不锈钢套筒内壁)处的光强, 以之代替消毒器通过的水流所受到的平均光强。消毒器运行时, 阀 V1 关, V2、V3 开, 水箱出水经 UV 照射消毒后进入用户管; 进行消毒器检修或石英套管清洗时, 阀 V1 开, V2、V3 关, 水箱出水不经消毒直接进入入户管。

UV 消毒器现场装置紫外线照射剂量按式(2)

计算：

$$Dose = I \times \frac{V}{Q} \quad (2)$$

式中 V ——紫外线消毒器腔体体积, L ;

Q ——采样时的短时平均流量, L/s 。

1.2 试验水样

大肠杆菌 (*E. coli* ATCC 1.3373) 由中科院微生物所提供, 使用时将大肠杆菌的营养肉汤培养液经 6 000 r/min 的速度离心 10 min, 弃去上清液, 将沉淀物重新溶解于一定量的无菌生理盐水中, 配制成一定浓度的细菌溶液备用。异养平皿计数细菌 (HPC) 取自清华大学河水, 用营养肉汤培养后置于 4℃ 保存, 使用时取若干营养肉汤培养液到无菌水中活化, 配制成一定浓度的细菌溶液备用。试验用水的 HPC 控制在 $10^5 \sim 10^7$ CFU/mL。

1.3 试验方案

1.3.1 实验室试验

在 $\varnothing 90$ mm 的培养皿中放入 40 mL 试验水样, 放在准平行光束仪辐照窗下的磁力搅拌器上进行搅拌, 打开遮光板照射一定时间后关闭遮光板, 然后进行微生物检测, 以未辐射的样品作为对照计算微生物的灭活率, 按式(3)计算：

$$\text{灭活率} = \lg(N_0/N) \quad (3)$$

式中 N_0 ——消毒前水样中对照微生物个数;

N ——紫外线照射一定时间后等量水样中剩余微生物个数。

E. coli 采用品红亚硫酸钠滤膜法, 在 37℃ 恒温培养箱中培养 24 h 后计数。

HPC 采用营养琼脂平板计数法, 在 37℃ 恒温培养箱中培养 24 h 后计数。

紫外线强度用 UV-B 型紫外辐照计测定。

1.3.2 现场试验

消毒设备常开, 采样频率为每月两次, 分别为同一天的早上和晚上。采样点为: 水箱进水—UV 进水—UV 出水—用户水, 其中用户水为连接消毒器管路的用户家庭水龙头的水。各项水质指标的检测由澳门自来水公司进行。

2 结果与分析

2.1 实验室试验结果与分析

由图3和图4可以看出, 低压紫外线照射对

HPC 和 *E. coli* 均具有良好的灭活效果,灭活率随紫外照射剂量的增加而增加。当紫外照射剂量为 10 mJ/cm^2 时能达到 $2.9 \sim 4.7 \log$ 的灭活率,即细菌浓度下降至 $0 \sim 2 \text{ CFU/mL}$ 。

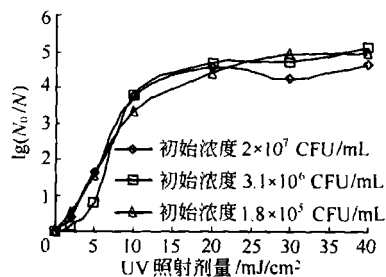


图3 低压UV照射灭活HPC的剂量反应关系

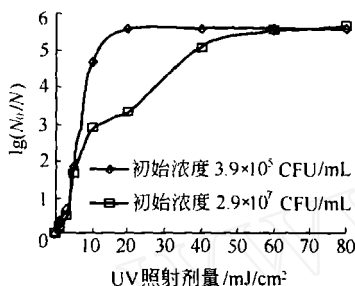


图4 低压UV照射灭活*E. coli*的剂量反应关系

图3中,对于3种初始浓度的HPC悬浊液,低压紫外灭菌的剂量-反应曲线相差不大,只是在 20 mJ/cm^2 之后,初始浓度高的比初始浓度低的灭活率低。这是因为,一方面初始浓度高导致浊度大,影响了紫外光在悬浊液中的透射,降低杀菌效果;另一方面,初始浓度高意味着更多的细菌以菌胶团的形式存在,达到一定的紫外照射剂量后,单个、松散的以及菌胶团表面的细菌大部分被灭活,剩下的主要是菌胶团内部难于灭活的细菌,导致灭活率低。这在图4中表现得更为明显,紫外照射剂量达到 10 mJ/cm^2 之后,对低初始浓度 *E. coli* 悬浊液的灭活率明显高于高初始浓度 *E. coli* 悬浊液,剂量为 60 mJ/cm^2 时二者灭活率基本相同,这是因为此时低初始浓度悬浊液中, *E. coli* 浓度已降至0,无法体现更高的灭活率。

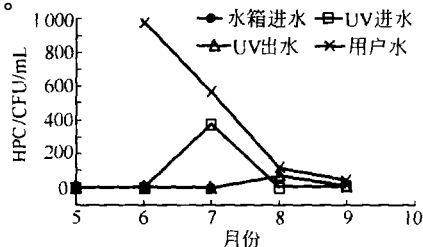
2.2 楼宇水箱的紫外线消毒效果

2.2.1 紫外线照射对HPC的灭活效果

5~9月连续5个月的采样监测中,所有样品,包括低压和中压两套消毒装置所在试验点的水箱进水、UV进水、UV出水以及用户水,均未发现大肠

菌群的存在。因此,这里仅讨论HPC在消毒装置流程中的变化。

图5是低压紫外消毒过程中HPC浓度的变化。用户水的HPC浓度由6月开始检测。水箱进水质较好,HPC不超过 10 CFU/mL 。除了个别点之外,水箱出水HPC也在 10 CFU/mL 以内,因而看不出明显的紫外消毒效果。7月份早上的采样结果中,水箱出水中HPC高达 380 CFU/mL ,经紫外线消毒后降至0,此时的紫外照射剂量计算值为 12.1 mJ/cm^2 。紫外线消毒出水的HPC均在 100 CFU/mL 以内,但是经过入户管到达用户后,HPC明显上升。这是因为经紫外线照射,水中原有的余氯大大降低,残留浓度接近0,无法控制入户管中受到的二次污染。一般认为在给水管中,入户管的管壁生物膜生长最为严重,本研究也证实了入户管中的微生物再污染问题不容忽视。另外,经紫外线灭活的微生物可能存在复活的情况^[6]。值得注意的是,随着时间的增长,用户水中HPC明显下降,这可能是由于管壁微生物的附着和脱落逐渐达到了一个平衡。



5~9月的UV剂量分别为 16.99 mJ/cm^2 、 40.5 mJ/cm^2 、 12.1 mJ/cm^2 、 10.23 mJ/cm^2 、 10.09 mJ/cm^2

图5 低压紫外消毒的现场检测结果(早上采样)

表1是中压紫外消毒过程中HPC浓度的变化。水箱进水中几乎检测不到细菌。5月份的数据显示,经过在水箱中的停留,水箱出水(UV进水)HPC大大增加,这是因为水箱中水的停留时间较长,余氯消耗较多,且水箱中还可能死水区,因而细菌容易滋生。与低压紫外消毒试验点相比,5月中压紫外消毒试验点处水箱出水的HPC多得多,这是因为两个水箱内壁有明显差别,前者内贴瓷砖,后者内壁涂料有明显脱落现象,水质较差。6月取样前,对中压紫外消毒点处的水箱进行了清洗消毒,水箱出水HPC降为0。但是一段时间以后,水箱出水中又

出现细菌。8、9月的数据表明,经过紫外线消毒后,水中 HPC 几乎没有减少甚至有增加的情况。这是因为,与 5 月份相比,紫外灯的光强有较大的下降,从而平均紫外照射剂量有较大的下降;另外,消毒器腔体内也可能存在水流死角,导致细菌滋生;不锈钢套筒内壁和石英管外壁上还可能长有生物膜。表 1 中的紫外线照射剂量基本随月份递增而降低,有个别例外,是因为紫外照射剂量计算过程中流量计量采用的是采样时的短时平均流量,有较大的波动范围。中压紫外消毒过程中,同样出现了消毒器出水 HPC 低,但经入户管到达用户后 HPC 增加的情况,原因与低压紫外线消毒时相同。

表 1 中压紫外线消毒的现场检测结果(早上采样)

月份	UV 剂量 / mJ/cm^2	HPC/CFU/mL			
		水箱进水	水箱出水 (UV 进水)	UV 出水	用户水
5	493.9	0	430	0	
6	596.2	80	0	0	100
7	629.7	0	0	0	90
8	397.7	0	24	20	30
9	203.6	0	30	570	27

水箱水质较差时,紫外消毒设备能较好地控制微生物学指标,但由于没有持续消毒作用,消毒后的水到达用户后 HPC 又有上升。然而从现场试验结果看来,在用户端 HPC 是达标的(对中压紫外),或者经一段时间的稳定后是达标的(对低压紫外)。所以,虽然紫外消毒没有持续消毒作用,但在将紫外设备用于入户端(楼宇水箱)饮用水的消毒中似乎不成问题,这一点还有待进一步的验证。

消毒器运行过程中,紫外线照射剂量不断下降。根据实验室试验结果,现场的紫外照射剂量应该能取得满意的消毒效果,但实际消毒效果欠佳,一是现场试验中紫外照射剂量计算不准,实际剂量可能低于计算剂量;二是水流通过消毒器时流态不稳,混合不均匀,因而单元流体受到的紫外照射剂量不一样,照射剂量低的流体难以保证消毒效果,这些都是紫外线消毒的应用中普遍存在的问题^[7]。

2.2.2 紫外线照射对余氯的影响

由现场试验可知经紫外线照射,余氯急剧下降,至用户端,余氯接近 0,说明紫外线照射促进了余氯

的衰减,其原因是光照和温度的升高^[8]。消毒器运行过程中,中压紫外灯管的表面温度高达几百摄氏度,低压紫外灯管的表面温度也有三、四十摄氏度。

2.3 UV 装置运行过程中光强的变化

从图 6、图 7 中可知,不论中压紫外灯还是低压紫外灯,紫外灯的光强几乎随时间呈线性下降,主要原因是石英套管的结垢和紫外灯在使用过程中其输出存在自然衰减^[9],这是无法避免的。

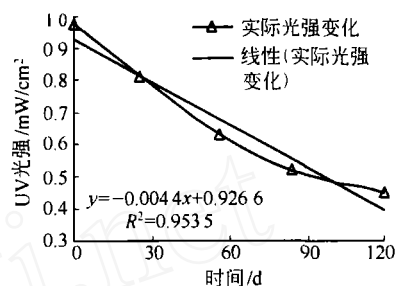


图 6 低压紫外灯光强随时间的变化

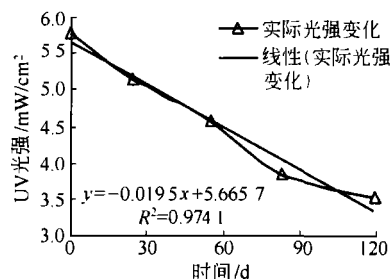


图 7 中压紫外灯光强随时间的变化

3 结论

(1) 实验室研究表明,低压紫外线照射对 HPC 和 *E. coli* 均具有良好的灭活效果,灭活率随紫外照射剂量的增加而增加。当紫外照射剂量为 $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时能达到 2.9 ~ 4.7 log 的灭活率。

(2) 消毒器刚安装,水箱出水水质较差时,紫外消毒有明显效果;使用一段时间后,消毒效果变差,经消毒器后 HPC 没有降低甚至有增加。

(3) 消毒器出水经入户管到达用户后, HPC 有较大增长。但是用户水 HPC 呈现明显的随时间递减的趋势,这似乎使得 UV 消毒没有持续消毒作用的缺点不成为问题,这一点还有待进一步的验证。

(4) 紫外线照射对余氯衰减有促进作用。当存在一定量余氯时,UV 反而抵消了余氯控制微生物学指标的作用。

(5) 5 个月的运行过程中,不论中压紫外灯还是

多层旧厂房改造为经济型酒店的给排水设计

李 朝

(上海同泰建筑规划设计有限公司,上海 200092)

摘要 多层旧厂房改造为经济型酒店的给排水设计工程的特殊性带来诸如楼板留洞、通风管道、热水系统等设计上的困难。针对这类问题,以实际情况,提出了采用设置垫层同层排水,排水“同层通气”,热水系统布置左右两组进出口,充分利用原有消防系统等解决方案。

关键词 多层旧厂房 经济型酒店 改造 同层排水 “同层通气” 热水接入口

近年来随着旅游业的发展,市场上出现了越来越多的经济型酒店,因其价格低廉,方便实用,运行和投资成本较低,受到开发商和旅客的普遍欢迎,入住率很高。上海多家连锁经济型酒店利用旧厂房改造,其主要原因是旧厂房开间较大及层高较高,管道布置及空间利用比较灵活,但旧房改造与新楼设计存在较大的不同。以下为一栋轻工业旧厂房改造的案例:每层层高为 4.2 m,共 5 层,总建筑面积约为 4 000 m²,计划改造成约 200 床的经济型商务酒店。该酒店每套均设有独立卫生间,污废分流,并分别设置冷热水系统。现将改造中的问题分述如下。

1 排水管道楼板的穿越问题

这栋楼的楼板很多是预制板,只有少数公共卫

生间处是现浇板。通常设计时预制板上应预留孔洞,现场打洞会有安全和尺寸的限制。改造时给排水系统应如何设计才能保证既安全又合理成为难题。

对于给水及热水系统来说,因为管径较小,对照结构图纸可以在不打断钢筋的情况下,用钻孔机在楼板上打出较小的洞,施工情况与楼房加装暖气时一样,不会影响结构的安全。主要问题出现在污水排水系统,因为酒店每套均设置卫生间,卫生器具排水管管径大,数量较多,不可能全在楼板上打洞,因此设计采用了同层排水系统。

该酒店卫生间的布置与常规设计的酒店相似,为紧靠走道两侧对称布置。考虑到该楼层高较高,结合建筑及装修方案,确定了以下方案:在各层地坪

低压紫外灯,不经清洗维护,紫外灯的光强都随时间快速下降。

总之,从目前的试验结果来看,对于微生物学指标较差,余氯很低甚至没有的水箱,适宜采用 UV 消毒控制水箱水质。紫外线消毒在实验室得到了满意的消毒效果,但在现场试验中出现了种种问题,说明 UV 技术用于饮用水消毒时,定时清洗维护是必要的。消毒器设计时还要考虑到水流状况等问题。关于 UV 消毒没有持续消毒作用的缺点,还有待进一步的研究。

参考文献

- 1 童英,张留喜,江志勤,等. 合肥市二次供水卫生 10 年监测结果与分析. 安徽预防医学杂志,2001,7(3):170~172
- 2 徐立. 海曙区 1995~1999 年二次供水卫生监测结果分析. 中国公共卫生管理,2001,17(2):154~155

- 3 汤波. 解决南京市多层住宅屋顶水箱二次污染的对策. 给水排水,2003,29(3):38~40
- 4 Letterman R. Water quality and treatment. 5th ed. AWWA. Mc Graw Hill Inc, 1999
- 5 EPA, Ultraviolet Disinfection Guidance Manual. 2003
- 6 Cleaver J E. Photoreactivation. DNA Repair,2003,(2):629~638
- 7 Iranpour R, Garnas G, Dghaddam D, et al. Hydraulic effects on ultraviolet disinfection: modification of reactor design. Water Environment Research, 1999,71(1):114~118
- 8 唐峰,鲁巍,张晓健. 给水管网水相中余氯衰减研究进展. 见:钱易,郝吉明,陈杏宁主编. 环境科学与工程——王继明教授 90 寿辰庆贺文集,北京:中国建筑工业出版社,2005.55~61
- 9 Hofmann R. Introduction to UV. IUVA/OWWA Joint Conference, 2003

E-mail:Lin-zhang03@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期:2005-11-21

修回日期:2006-02-09