

紫外线消毒反应器的生物验证试验研究

李张卿^{1,2}, 刘文君¹, 孙文俊¹, 朱晓辉²

(1. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京市市政工程设计研究总院, 北京 100084)

摘要: 紫外线消毒技术存在无持续消毒效应、不能在线监测等缺点, 因此为了保证紫外线消毒的安全可靠, 必须对所设计的紫外反应器进行生物验证试验, 以确保反应器的消毒效果和剂量。通过对加拿大紫外消毒反应器在不同透光率下的消毒效果和剂量进行研究, 建立了该反应器所对应的紫外线剂量—灭活率曲线。结果表明, 该反应器对 MS-2 噬菌体具有良好的灭活效果。

关键词: 紫外线消毒反应器; MS-2 噬菌体; 生物验证; 准平行光设备

中图分类号: TU991.25 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2008)01-0048-03

Research on Bioassay of Ultraviolet Disinfection Reactor

LI Zhang-qing^{1,2}, LU Wen-jun¹, SUN Wen-jun¹, ZHU Xiao-hui²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

Abstract: The ultraviolet (UV) disinfection technique has disadvantages of not having persistent disinfection effect and without online monitoring. Therefore, in order to ensure the safety and reliability of UV disinfection, the bioassay of designed UV reactor must be conducted to confirm disinfection effect and dosage of the reactor. The disinfection effect and dosage of a Canadian UV disinfection reactor under different transmittance rates was studied, and the response curve of UV dosage to inactivation rate was established. The results show that the reactor has better disinfection effect of MS-2 phage.

Key words: ultraviolet disinfection reactor; MS-2 phage; bioassay; collimated beam device

由于紫外线消毒技术具有消毒效率高、不产生副产物、占地面积小、安全可靠等优点而在水处理消毒中得到广泛应用, 特别是在饮用水处理中对具有抗氯性的隐孢子虫和贾第虫的消毒效果较好。但是, 紫外线消毒技术最大的缺点就是没有持续的消毒能力, 而且不能实现在线监测, 这为确保消毒效果带来了困难。因此紫外消毒反应器的设计必须十分可靠, 以确保消毒效果能达到要求并保证消毒后水质的微生物安全性^[1]。目前紫外线剂量的精确计算还十分困难, 尽管有不同的经验公式, 但是计算结

果与实际效果往往相差很大。因此, 一般要求采用生物验证的方法来确定反应器剂量。目前许多发达国家如加拿大、美国、奥地利、德国、荷兰等都要求对紫外线消毒设备进行独立的(第三方)生物验证。我国刚刚颁布的《城市给排水紫外线消毒设备》(GB/T 19837—2005)也规定紫外线消毒设备在工程设计和应用之前, 应提供有资质的独立的生物验证报告, 以确保其消毒效果^[2]。因此笔者对加拿大特洁安技术公司的某紫外线消毒反应器在不同透光率、不同流量下的消毒效果和剂量进行了研究。

基金项目: 建设部 2006 年科学技术项目 (06-K4-18)

1 试验材料和方法

1.1 试验装置

试验装置如图 1所示。

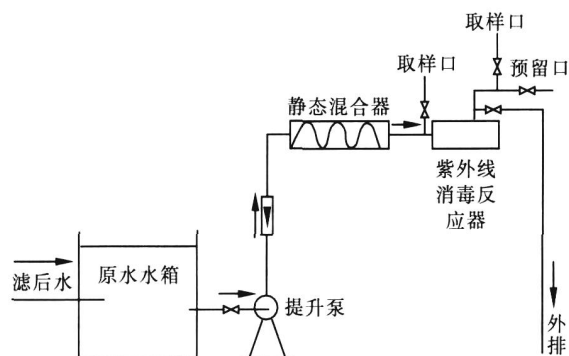


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental setup

准平行光束仪(见图 2)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,下方接一段长度为 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。

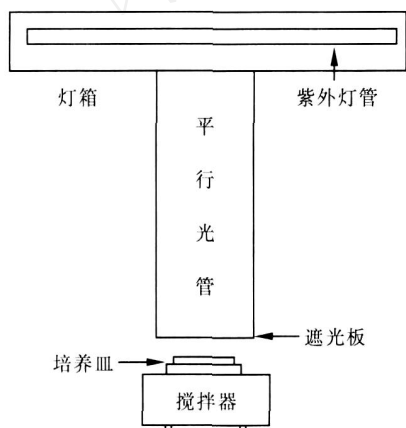


图 2 紫外线试验装置准平行光束仪

Fig 2 Collimated beam device for UV experiments

1.2 试验菌种

MS-2噬菌体(15597-B1)及其宿主菌(*E. coli* ATCC 15597)由加拿大的特洁安技术公司提供。MS-2噬菌体溶液:将噬菌体原液按试验要求稀释到 10^7 PFU/mL 左右。通过投加由雀巢咖啡和无菌生理盐水配制成的咖啡溶液来调节透光率。

1.3 试验方法

1.3.1 静态试验

在 $\varnothing 60$ mm 的培养皿中放入 20 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,以未经辐射的样品作为对照,计算微生物的灭活率^[3],其计算公式为:

$$\text{灭活率} = \lg(N_0/N) \quad (1)$$

式中 N_0 ——未经消毒的对照水样中的微生物个数

N ——经紫外线照射一定时间后等量水样中的剩余微生物个数

1.3.2 现场试验

在滤后水水箱中投加一定量的咖啡溶液,开启回流泵使咖啡溶液与水箱中的水混合均匀,通过投加咖啡溶液来改变水的透光率(UVT),使其分别达到 80%、85%、90%和 95%。然后再向水箱中投加配制好的细菌溶液,开启回流泵混匀后通过调节阀门使流量达到设计值后取样,在紫外线消毒设备进水取样口和出水取样口各取 3组平行样,研究紫外线消毒设备在不同流量、不同透光率下对细菌的灭活效果。

1.4 测定和分析方法

通过计算噬菌斑的数目而得到噬菌体的数目,通常用 PFU/mL 来表示。紫外线强度用 UV-B 型紫外辐照计测定;紫外线的透光率采用 752型分光光度计测定。

2 结果与讨论

图 3是现场紫外线消毒设备对 MS-2噬菌体的灭活情况。

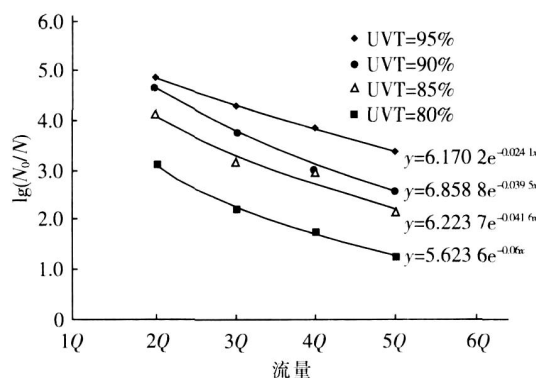


图 3 MS-2噬菌体的流量-灭活率曲线

Fig 3 Response curve of flow rate to MS-2 inactivation rate

从图 3可知,该设备对 MS-2噬菌体具有较好的灭活效果。在 UVT一定的条件下,随着流量的增加,紫外线消毒设备对 MS-2噬菌体的灭活率不断降低,如在 UVT=95%、2个流量单位时,对 MS-2

噬菌体的灭活率为 4.93-lg,当达到 5 个流量单位时则降到 3.54-lg。而在流量一定的条件下,透光率对紫外线消毒也有一定的影响,随着透光率的降低,灭活率也在不断下降。尽管如此,当 UVT = 80%、流量为 2 个流量单位时,对 MS - 2 噬菌体的灭活率仍为 3.14-lg,当流量为 5 个流量单位时灭活率降为 1.23-lg。因此可见,紫外线消毒的影响因素是多方面的,不同阶段影响紫外线消毒效果的因素也不相同。在相同条件下,当流量较小时,透光率对紫外线消毒效果的影响较大,当流量较大时,透光率对其影响就不是主要因素了,相反,流量就变成其主要影响因素了。

图 4 是静态试验中不同透光率下紫外线剂量与灭活效果的关系。

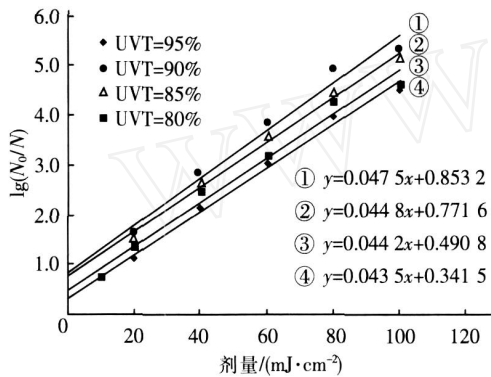


图 4 紫外线剂量—灭活率曲线

Fig 4 Response curve of UV dosage to inactivation rate

从图 4 可知,紫外线对 MS - 2 噬菌体具有较好的灭活效果,如紫外线剂量为 20 mJ/cm²、UVT = 85% 时,对 MS - 2 噬菌体的灭活率为 1.41-lg,当紫外线剂量为 40 mJ/cm² 时,灭活率为 2.52-lg。

图 5 是经生物验证后,不同透光率和流量下有效紫外线剂量曲线。

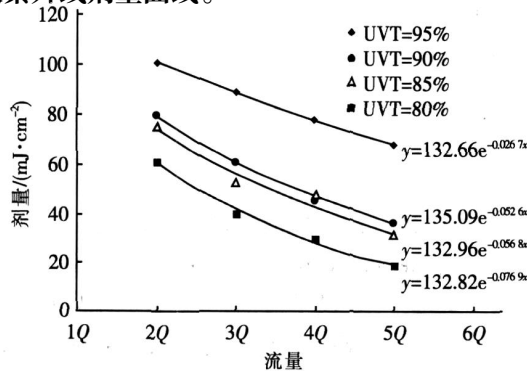


图 5 紫外线剂量—流量曲线

Fig 5 Response curve of UV dosage to flow rate

从图 5 可以得到在不同透光率、不同流量下紫外线消毒反应器的有效剂量。如在 UVT = 95%、流量为 2 个流量单位时,有效剂量为 101.05 mJ/cm²;当流量为 5 个流量单位时,有效剂量为 67.39 mJ/cm²。从图 5 还可以看出,随着透光率的降低,有效紫外线剂量也在下降,这是由于透光率降低后,紫外线传递的剂量相应减少,所以紫外线的有效剂量就会相应下降。这对紫外线在实际工程中的应用具有指导意义,在实际应用中应根据每天的水质情况来调节灯管的输出功率,从而降低运行成本。

分析以上数据,可以得到一个拟合公式,拟合出紫外线透光率、流量以及紫外线生物验证剂量之间的关系,其关系可由下式表示:

生物验证剂量 = $a \times e^{bQ + cUVT}$ (2)

式中 Q——流量, m³/h

UVT——紫外线透光率, %

a、b、c——参数,经计算 $a = 136.64$, $b = -0.0246$, $c = -0.07957$

3 结论

① 该紫外线消毒设备对 MS - 2 噬菌体具有良好的灭活效果,在 5 个流量单位、UVT = 95% 的条件下,对 MS - 2 噬菌体可达到 3.54-lg 的灭活率。

② 流量对该紫外线消毒设备有一定的影响,在相同条件下,流量越大则紫外线消毒效果越差。透光率对该紫外线消毒设备也有一定的影响,在相同条件下,透光率越低则紫外线消毒效果越差。

③ 在紫外线消毒的实际工程应用中,应根据每天的水质情况来调节紫外灯管的输出功率,从而降低处理成本。

参考文献:

[1] Liu Wenjun Forecast on advanced water disinfection[J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 31 (1): 2 - 5

[2] GB/T 19837—2005,城市给排水紫外线消毒设备[S].

[3] 张永吉,刘文君. 浊度对紫外线灭活大肠杆菌和 MS - 2 噬菌体的影响[J]. 中国给水排水, 2006, 22 (1): 27 - 31.

电话: 15989653334

E - mail: lzx_2000@sohu.com

收稿日期: 2007 - 08 - 09