

# RO-UV 组合工艺在末端直饮水系统的应用研究

卯俊祥 朱超超 廖海辉

(深圳市法兰尼净水设备有限公司 广东深圳 518000)

**摘要:** 水是人体的重要组成部分之一, 饮用水的质量直接关系到人们的身体健康。鉴于当前我国城镇供水存在的问题和末端直饮水的现状, 为寻求一种净化效果明显、消毒速度快、并且没有毒性副产品的末端直饮水系统组合工艺, 将其与末端直饮水系统设计、安装和运营的实际工作相联系, 文章对末端直饮水系统进行了分析, 得出对末端直饮水进行净化效果最好的单元工艺是 RO-UV 组合工艺, 其具备了适用水源水质范围广、滤膜孔径小等优势。

**关键词:** 水处理; 直饮水; 组合工艺; 反渗透

## 前言:

本文是根据某中学自来水水质特点, 新组装了一套末端直饮水设备系统, 以 RO-UV 联合处理为例, 探讨了 RO 纯化装置中各个单位的纯化及紫外线灭菌作用。实验结果表明, RO 净化技术对精密过滤器之后水质浑浊度、电导率、COD 和细菌总数的去除率分别达到 82%、98%、36% 和 95%, 而对水源浑浊度、电导率、COD 和细菌总数的去除率分别达到 97%、98%、75% 和 99%。另外, UV 杀菌器在一定的流量下, 它对直接饮用水中的微生物进行杀菌, 它对直接饮用水中微生物的影响是呈线性的, 而对进入水中的微生物的数目则没有明显的影响。UV-80W 在供水管和回水管中, 对直接饮用水中微生物的清除率是 99%, 对回水管中微生物的清除率是 98%。最终的各项指标测试表明, 经过 RO 过滤和 UV 杀菌后, 即使是低于国家标准的水, 也能够满足《饮用净水水质标准》CJ2005 的要求, 从而验证了 RO-UV 联合技术的可行性, 为我国水处理工业的发展和运用, 以及其它相关技术的发展, 奠定了良好的基础。

## 1. UVC 杀菌消毒技术概述

UVC 相较于 UVA、UVB 对人体影响很小, UVA 具有很高的穿透性, 可以进入肌肤的真皮, 它可以将肌肤中的前一种色素转变成新的色素, 从而导致肌肤迅速变黑。另外, UVA 还会引起皮肤产生活性氧基团, 如果时间过长, 就会对皮肤造成很大的氧化应激, 造成皮肤胶原蛋白、弹性蛋白以及 DNA 的破坏, 进而引起皮肤衰老, 失去弹性, 出现皱纹<sup>[1]</sup>。UVB 对皮肤的影响主要集中在皮肤表面, UVB 会活化皮肤上的黑色素细胞内的酪氨酸酶, 将黑色素转化为黑色素, 然后慢慢向最外面移动, 导致皮肤黑化, 出现红斑, 或者晒伤。总的来说, UVA 和 UVB 都会对人类的皮肤造成损伤, 但是与 UVA 和 UVB 相比, UVC 的损伤要小得多, 这是由于 UVC 的波长很短, 穿透性很弱, 无法穿透到皮肤表层。通常, 人们通过晒太阳的方法来杀灭食品中的细菌, 从而达到消毒保质的目的, 并在日照消毒的作用原则的基础上, 逐步发展出人工紫外线技术。紫外光作为一种突变物质, 可以对细菌造成放射性伤害, 并对其核酸进行破坏, 最终导致细菌死亡。在一定的波长范围 (主要是 UVC) 和一定的浓度下, 紫外光可以导致细菌和病毒等微生物细胞中的 DNA 或 RNA 相邻啮啮分子间形成异常的化学键, 阻止 DNA 或 RNA 的复制, 进而导致微生物细胞死亡。该产品可发射具有 UVC 波段的深紫外光, 起到杀菌和灭菌作用。相对于化学灭菌, 紫外光灭菌的优点在于高效, 灭菌时间短, 无任何化学物质<sup>[2]</sup>。

## 2. RO-UV 组合工艺在末端直饮水系统的应用

### 2.1 RO 净化实验器材

本文的主要实验器材是根据惠州市某开发区中学自来水水质特点和饮水人数, 根据管道安装结构等各种情况, 新拼装出了一台 RO 直饮水净化装置, 它的型号是 FRO-6000GPD, 它的产生水质的速率是 1000 L/小时, 电源是 220 V, 总功率是 4 KW, 它包括了石英砂过滤器、活性炭过滤器、软化过滤器、精密过滤器、净水箱和 RO 制水主机等<sup>[3]</sup>。

### 2.2 RO 净化实验方法

流程的设计思路是原水在增压泵的推动下先经过砂滤, 把体积较大的藻类、胶体等悬浮物滤除, 再通过炭滤流程滤除自来水中的残留农药和余氯等化学污染物以及其他有机污染物, 从而使得进入软化流程的自

来水中的悬浮物和污染物变得更少, 从而降低了对离子交换过程顺利进行的干扰因素。在流入 RO 膜前, 经过精滤, 尽量减少水中的悬浮物、浑浊度、SDI 等, 避免使 RO 膜的脱盐功能无法正常发挥。生产出来的纯净水储存在净水池中, 经过滤菌器过滤去除被 UV 灭活的细菌尸体后, 可以随时按照使用者的需求, 通过输送设备将水供应到饮水机或饮水龙头。然后, 在规定的时段内, 将储存在管道中的直接饮用水消毒后, 重新倒回干净的水池中, 这样的循环往复, 保证了饮用水的新鲜和合格。在不同的情况下, 得出的结论也是不一样的。而且, 这种方法也不能得到一个客观的试验结果。所以, 要想让该试验可以成功地将所需要的检测项目进行, 并且降低与该试验有关的数据出现的错误, 在试验刚开始的时候, 要将该试验在一定的条件下展开, 并且要遵循一个总体的实验计划, 使其有序地进行。

### 2.3 UV 消毒实验器材

4 套具有 UV-40W 的过流式紫外线消毒装置, 它们的直径为 75 mm, 长度为 1000 mm, 每一套消毒装置包含了 40 W 紫外线灯管 1 根, 镇流器电源 1 根, 石英玻璃管 1 根, 不锈钢套管 1 根。将两个 UV-40W 通过水流的 UV-80W 通过紫外线杀菌装置进行串联, 构成一个 UV-80W 杀菌装置, 该装置的电源为 80 W。本产品适用于直接从流式 UV 消毒设备中直接饮用水中的细菌和病毒。3 台 UV-14W 的浸泡式 UV 杀菌设备, 每个设备 14 W 的 UV 灯管装在 3 个干净的水槽中。本发是在净水罐顶端挖一个圆形的孔洞, 并直接插入到净水罐中。4 台 UV-40 W 通过水流的 UV-2 型 UV-80 W 通过水流杀菌装置, 可构成 UV1 型和 UV2 型两种 UV-1 型 UV2 型光杀菌装置。1 号, 2 号, 3 号三个净水罐, 其上盖子装有空气净化系统。运输装置 1 台, 包括电控箱, 恒压箱, 南钢多级离心式水泵等, 总动力 0.85 kW, 给水速率 0.5-3 吨/时。1 台 PMMA 流动计量器, 每小时 0-4 吨。进水速度由调整泵出水口上的球形阀门来控制<sup>[4]</sup>。

### 2.4 UV 消毒实验方法

因为反渗透膜的滤光孔为 0.1 nm, 大部分的细菌和病毒都会通过反渗透膜被滤掉, 所以反渗透膜出水口处的细菌数量很小, 使用 UV 杀菌没有任何实用价值, 所以反渗透膜的出水口并没有设置 UV 杀菌装置。在该试验中, UV1 过流式消毒器被安装在 3 号净水箱的出口, UV2 过流式消毒器被安装在 2 号净水箱的唯一进口, 而 UV-14W 浸没式消毒器被设置在了净水箱的顶盖上, 并且被设置成了一个圆形的孔洞, 并且将其安装到了水箱的顶盖中。将 UV1 消毒机设在 3 号净水罐的出口处, 并在 UV1 消毒机的入口和出口各设一个采样阀门, 以进水口为采样点, 出水口为采样点, 取水口为采样点。将一台 UV2 消毒机装在 2 号净水罐上的上水口前方, 并将采样阀门装在 UV2 消毒机的进出口, 采样点设在 C 入口, 采样点设在 C 入口, 采样点设在 D 入口, 采样点设在 D 入口。每一台紫外消毒机都是两个串联的不锈钢管, 采样点 A、B、C 和 D 的具体位置在图 1 中给出。

### 3. 试验结果和分析

由于某开发区中学自来水的来源为水库水源, 在蓄水池周边 2km 范围内无任何工业企业, 周边居民寥寥无几, 而在蓄水池建设之前, 已有的水厂水质监测数据中也没有发现任何重金属超标现象, 故在反渗透

(下转第 86 页)

(上接第 84 页)

法处理试验中,选取浊度、电导率、COD(以 O<sub>2</sub> 为单位)、微生物数量等 4 个指标进行处理。

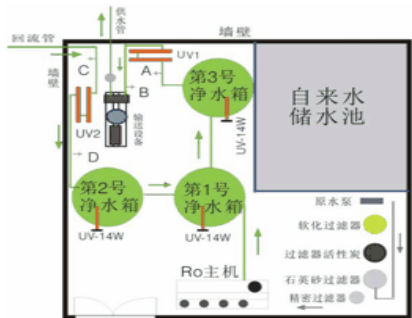


图 1 末端直饮水取样位置图

表 1 RO 系统各级净化后的浊度变化

实验时间	原水水质	砂滤出水	砂滤去除率(%)	碳滤出水	碳滤去除率(%)	软化出水	软化去除率(%)	精滤出水	精滤去除率(%)
8-1	2.15	1.15	47	0.41	64	0.4	2	0.28	30
8-5	2.03	1.2	41	0.48	60	0.42	13	0.30	29
8-9	2.05	1.28	38	0.59	54	0.43	27	0.35	19
8-13	1.94	1.05	46	0.41	61	0.38	7	0.25	34
8-17	1.89	1.09	42	0.45	59	0.4	11	0.28	30
8-21	1.96	1.13	42	0.4	65	0.37	8	0.33	11
8-25	2.01	1.33	34	0.43	68	0.45	-5	0.33	27
8-29	1.82	1.06	42	0.39	63	0.42	-8	0.37	12
均值	1.98	1.16	41	0.45	62	0.41	7	0.31	24

我国现行《生活饮用水卫生标准》中规定的浊度限为 1 NTU, 但由

于其长期运行,出水质量往往低于相关国家标准,尤其在多雨天气,浊度会显著超出正常范围<sup>[5]</sup>。从上表 1 的资料可以发现,砂滤对浊度的去除效果显著,平均去除率为 41%,这说明砂滤能对水中胶体颗粒、淤泥、红虫等体积较大的悬浮物进行有效的拦截除去,从而达到降低水的浊度的目的。而对于浑浊的处理,活性炭的处理效果就更好了,它的平均去除率几乎可以达到 62%,作者觉得这是由于颗粒活性炭拥有较大的比表面积,以及较高的吸附能力,这是由于其物理吸附和化学吸附共同作用的原因。

**结束语**

虽然 RO-UV 组合工艺适用于末端直饮水系统,但仍存在一些不足之处。目前,由于其存在的膜污染、高能耗等问题,限制了其推广使用。现在,防止膜污染的两种方式分别是:预处理和膜清洗。然而,如果强化了预处理的过滤作用,则会提高其费用,而清洁剂的洗膜会对膜元件造成损伤,从而造成产水量和水质的降低。因此,更多的应当关注于研发具有廉价、抗污染、高效、低能耗、高寿命和智能化等优点的理想反渗透膜。尽管当前大规模反渗透系统能源利用率越来越高,然而其运行费用中仍有近半数受到能源消费的制约,因此,如何有效地减少能源消费,从而有效地控制运行费用具有十分重要的意义。

**参考文献:**

[1]高玉婷.给水处理用纳滤/反渗透膜元件性能评估研究[D]. 山东:山东建筑大学,2021.  
 [2]杨开亮.多孔弹性滤料应用于管道直饮水预处理工艺的可行性研究[D]. 上海:上海大学,2008.  
 [3]任婕灵.基于 BIPV 的梯级净水系统在农村水污染地区的应用研究[D]. 广西:广西大学,2021.  
 [4]武传龙,赵媛媛,朱青,等. UVC LED 的专利分析与技术构成研究[J]. 中国新技术新产品,2022(12):27-30.  
 [5]宋昌斌,郭亚楠,闫建昌,等. 紫外发光二极管在水产养殖杀菌消毒中的应用与展望[J]. 渔业现代化,2021,48(1):1-8.

作者简介: 卯俊祥(1984年4月),男,汉族,安徽阜阳,本科,企业 CEO,研究方向:末端直饮水系统