

扫频脉冲电磁场对污水的杀菌性能

李梅¹, 曲久辉², 彭永臻¹, 雷鹏举²(1. 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 将直流脉冲与变频扫频技术相结合开发研制出扫频直流脉冲装置, 利用其产生的脉冲电磁场对生活污水进行了电磁杀菌试验研究, 探讨了影响杀菌效果的相关因素. 试验结果表明, 在扫频范围 400Hz~60kHz, 输出功率 20W、电流 1~2A 条件下, 脉冲电磁场对生活污水具有一定的灭菌作用, 其杀菌性能随作用时间、pH 值、温度、原水菌数的升高而升高. 当温度为 25℃, pH 为 7.47 时, 原水经电磁处理 4h 后, 细菌总数从 7.2×10^6 个·mL⁻¹ 下降到 2.2×10^4 个·mL⁻¹, 去除率为 99.7%; 大肠杆菌数从 9.2×10^5 个·mL⁻¹ 下降到 3.5×10^4 个·mL⁻¹, 去除率为 96.2%.

关键词: 扫频脉冲电磁场; 去除率; 细菌; 大肠杆菌

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)05-04-0102

Experimental Study on the Disinfection of Wastewater by Swept Pulsed Electromagnetic Field

Li Mei¹, Qu Jiuhui², Peng Yongzhen¹, Lei Pengju²(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. SKLEAC, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract In this paper, an applicable swept pulsed equipment was developed to treat the domestic wastewater and the effect of swept pulsed electromagnetic field on disinfection was studied. It was found that the effect was obvious and the disinfection performance of electromagnetic field was increased with the increasing of the pH, the temperature, the treatment time and the bactericidal concentration. The experimental results showed that the amounts of total bacterium and coliform per milliliter were decreased from 7.2×10^6 to 2.2×10^4 and from 9.2×10^5 to 3.5×10^4 respectively after the treatment period of 4h when the temperature was 25℃ and pH 9.0. Corresponding, the removal efficiency of total bacterium were 99.7% and 96.2%.

Keywords: swept pulsed electromagnetic field; removal efficiency; bacteria; coliform

水经过磁场处理后会产生一系列物理、化学性质的变化, 对水中离子的结晶过程产生影响, 起到防垢、除垢作用, 同时还会对水中的生物产生影响, 即磁水的生物效应^[1]. 磁场水处理技术作为一种高效节能, 绿色环保型水处理新技术, 具有设备简单, 易于管理等优点, 应用前景十分广阔^[2]. 目前电磁水处理器形式分为 2 种, 一种是采用非接触式传感器, 即电极与水是通过绝缘层进行保护的, 如高静电压, 高频交流电磁式, 永磁式等水处理器, 这一类处理器由于结构受到束缚, 传送到水中的电压较小, 同时接受能量的大小还与水流有关; 另一种是采用接触式传感器, 即电极与水直接接触, 这种方法除

电极容易受腐蚀, 寿命短外, 安装也比较复杂. 采用变频直流脉冲发生器与缠绕在过水管外壁的电感线圈相连, 利用直流脉冲电磁场产生瞬间反冲高压, 提高了电磁场能量的传递效率; 这种直流脉冲电磁场即具有交流感应性能, 又具有直流电场的电离作用, 还具有脉冲特性, 因此与以往电子除垢器相比, 其消毒灭菌作用更为显著; 加之采用变频模糊控制可自动实现水

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目资助 (KZCX2-409); 国家自然科学基金重点资助项目 (59838300)

作者简介: 李梅(1972~), 女, 博士研究生, 主要从事水质净化方面的研究. 现在哈尔滨工业大学市政与环境工程学院工作.

收稿日期: 2002-09-04; 修订日期: 2002-10-24

处理过程中的扫频、移频、选频功能,大大提高了设备的水处理效果.对于电磁水处理灭菌机理解释有多种,并没有统一完善的认识,对于电磁灭菌作用的各个影响因素的研究也很少见.

本研究采用扫频直流脉冲电磁场对生活污水进行处理,考察细菌的去除效果及相应因素对杀菌效果的影响.

1 实验部分

1.1 实验装置

自行研制的直流脉冲发生器采用变频模糊控制,通过微电脑控制可自动实现 3 种变频形式:扫频、移频、选频,因此针对特定的水体性质可选择适当的工作频率.在本研究中,选择杀菌的扫频工作范围为 $400\text{Hz} \sim 60\text{kHz}$,扫频周期 1.0s ,功率 20W ,电压 12V ,电流 $1 \sim 2\text{A}$,其工作原理简图如图 1 所示.

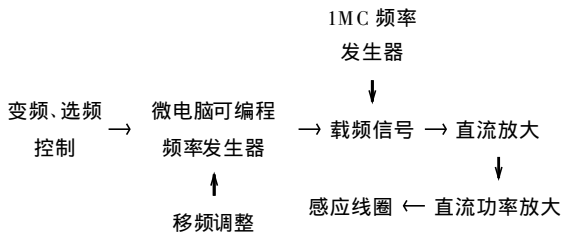


图1 直流脉冲发生器的原理简图

Fig. 1 Diagram of direct current pulse generator

生活污水的磁处理装置如图 2 所示.过水管路直径为 20mm ,绕线的管路长度为 10cm ,绕线为外皮绝缘的七芯金属导线,长度为 1.5m .

1.2 实验及测试方法

按图 2 所示的试验过程,将不同条件下的生活污水水样处理一定时间后,取样测试.

生活污水取自中科院生态中心家属区污水井,取水期间 pH 值 $7.5 \sim 8.2$; COD_{Cr} $168 \sim 236.2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; TOC $51.2 \sim 63.4\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 细菌总数为 $1.4 \times 10^5 \sim 2.9 \times 10^7$ 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$; 大肠杆菌数 $1.6 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^6$ 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$. 细菌总数测定采用平皿计数法; 大肠杆菌数采用多管发酵法; COD_{Cr} 采用 CTL-12 型化学需氧量速测仪测定; TOC 采用 Tekmar Dohrmann Applo 9000 TOC 仪测定; pH 采用 828 型 pH 测试仪测定.

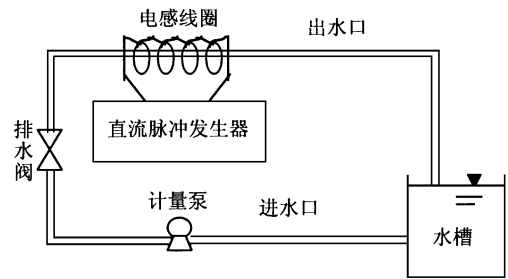


图2 磁处理装置示意图

Fig. 2 Sketch map of magnetic field treatment configuration

2 结果与讨论

2.1 电磁场的杀菌作用原理

利用电磁场能量进行水处理是一个相当复杂的过程,在整个处理过程中伴随着各种物理反应,化学反应和生物反应.实验证明,各种在水中产生的反应和作用都不是在同一磁场驱动下产生,而是分别对应于某种频率的磁场进行的有效反应.研究表明,脉冲磁场与恒定磁场相比,产生的生物效应更为明显^{3,4}.现行的电磁水处理器多是利用交变电流在固定频率下进行工作的装置,由于其频率固定,主要用于过水管道的除垢和防垢,杀菌除藻效能较差.将直流脉冲和变频扫频原理进行有机结合,采用直流脉冲方法,使强大的直流脉冲电流在高电平转入低电平的瞬间,在线圈两端反冲高压,导致水管中感应的电压瞬间猛增,产生了一个很大的瞬间电流,从而使细菌灭活或杀死;采用变频式工作方式,实现了自动周期性、有规律性地产生各种频率的强大的直流脉冲电磁场.在这种脉动的电磁场作用下,水中产生各种极性离子的微弱电能,在反抗外加脉冲电场的过程中相互碰撞,从而得以消耗,各种离子的运动强度和运动方向因此被束缚.由于金属管壁接阴极,管内水体为阳极,水体中的各个质点与管壁形成一个脉冲电场.在这个脉冲电场作用下,水中各种离子分别组合成脉动的正负离子集团,使之产生电极反应,形成易排除物质.同时,水体的 pH 值、二氧化碳、活性氧及 OH^- 等的含量也发生变化,水在直流脉冲电场作用下,迅速发生微弱的氧化还原反应,在阳极区附近产生一定量的

氧化性物质,这些氧化性物质与细菌作用,破坏其正常的生理功能,使细胞膜过氧化而死亡,达到灭菌的目的。

2.2 不同水质条件下的杀菌效果

不同的水质,水样中含菌的数量不一样,电磁处理对其杀菌的效果也不同,将不同水质的水样进行电磁处理杀菌,结果如表 1 所示。可见,对于含菌量高的水,电磁场的杀菌效果要明

表 1 不同水质条件下的杀菌效果($t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v=0.2\text{ m/s}$, $\text{pH}=7.5$, $t=2\text{ h}$)

Table 1 Inactivation of bacteria under different water quality conditions

| 水样编号 | 原水细菌总数 / $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ | 处理后的细菌总数 / $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ | 去除率 /% | 原水大肠杆菌数 / $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ | 处理后的大肠杆菌数 / $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ | 去除率 /% |
|------|---|---|-----------|--|--|-----------|
| 1 | 1.4×10^5 | 3.2×10^4 | 77.1 | 1.6×10^4 | 5.4×10^3 | 66.3 |
| 2 | 5.5×10^6 | 7.5×10^4 | 86.4 | 3.5×10^4 | 7.9×10^3 | 77.4 |
| 3 | 2.5×10^6 | 1.9×10^5 | 92.4 | 1.1×10^5 | 2.5×10^4 | 85.3 |
| 4 | 7.2×10^6 | 3.9×10^5 | 94.6 | 1.7×10^5 | 2.6×10^4 | 84.7 |
| 5 | 2.9×10^7 | 1.1×10^5 | 96.2 | 2.2×10^6 | 1.1×10^5 | 95.0 |

水样在电磁场中的停留时间越长,杀菌效果也就越明显。表 2 所示结果表明,电磁对污水杀菌率随停留时间的增加而升高,随着杀菌时间的延长,细菌数目明显下降。经 1h 处理后总细菌去除率达到 92.4%,大肠杆菌的去除率为 77.2%,此后这种趋势变得平缓,到 4h 时达到最大,此时总细菌去除率达到 99.7%,大肠杆菌去除率为 96.2%。值得注意的是处理过程中污水的 pH 值有微小的变化,这可能是由于水是极性分子,在电磁场的作用下,缔合状态发生变化,水中带电离子和自由基团增多,水的物理化学性质也随之改变。从上述结果也可以看出,

表 2 作用时间对杀菌效果的影响($t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v=0.2\text{ m/s}$, $\text{pH}=7.47$)

Table 2 The effects of treatment time on bacterial removal efficiency

| 时间 /h | COD_{Cr} / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | TOC / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ | pH | 细菌总数 / $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ | 细菌去除率 /% | 大肠菌群数 / $\text{个}\cdot\text{mL}^{-1}$ | 大肠菌群去除率 /% |
|----------|---|--|------|---|-------------|--|---------------|
| 0 | 236.2 | 51.2 | 7.47 | 7.2×10^6 | — | 9.2×10^5 | — |
| 0.25 | 224.7 | 47.9 | 7.43 | 2.4×10^6 | 66.7 | 6.3×10^5 | 31.5 |
| 0.5 | 235.2 | 50.3 | 7.35 | 1.2×10^6 | 83.3 | 2.8×10^5 | 69.5 |
| 1 | 228.6 | 48.8 | 7.23 | 5.5×10^5 | 92.4 | 2.1×10^5 | 77.2 |
| 2 | 218.9 | 43.1 | 7.16 | 3.9×10^5 | 94.6 | 1.2×10^5 | 87.0 |
| 3 | 223.6 | 49.3 | 7.12 | 1.1×10^5 | 98.5 | 7.9×10^4 | 91.4 |
| 4 | 225.7 | 48.6 | 7.11 | 2.2×10^4 | 99.7 | 3.5×10^4 | 96.2 |

2.4 不同 pH 条件下的杀菌效果

pH 值是影响细菌生长的重要因素之一,细菌最适宜的 pH 范围在 7.0~8.0 之间,一般生活污水的 pH 值在 6~9 之间,将不同 pH 条件下的生活污水电磁处理后取样,考察其对电磁场杀菌

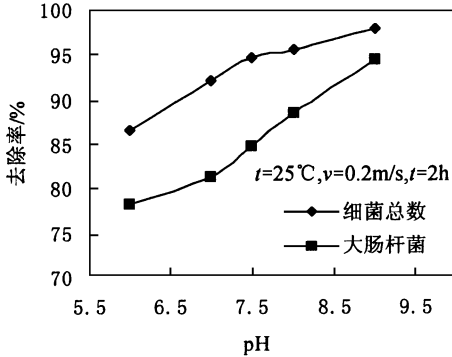
显好于含菌量低的水样。当水中细菌总数为 $1.4\times 10^5\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$;大肠杆菌数为 $1.6\times 10^4\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,经电磁处理 2h 后,其去除率分别为 77.1%及 66.3%。随着水样含菌数目的增加,细菌的去除率不断升高,当原水细菌总数达到 $2.9\times 10^7\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$,大肠杆菌数为 $2.2\times 10^6\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,去除率分别为 96.2%及 95.0%。

2.3 电磁场作用时间对杀菌效果的影响

细菌数量的减少是电磁场能量直接作用的结果,并不是由于电磁作用下异氧微生物体外营养物质的减少而产生的间接作用。在脉冲电磁场作用下,激发感应电流使细胞破坏,或改变离子通过细胞膜的途径,使蛋白质变性或破坏酶的活性,造成大部分细菌不能适应而发生死亡现象^[5];同时在脉冲电场下电极反应产生的活性物质也可使细胞膜氧化,破坏其正常的生理功能,起到灭菌效果。电磁处理对水中有机物指标没有太大的影响, COD_{Cr} 、TOC 值并不随处理时间增加而改变,这说明在本实验条件下,电磁处理并没有使有机物矿化分解。

效果的影响。由图 3 可知,脉冲电磁场水处理的杀菌效率随 pH 值上升而提高,当 pH 为 6.0 时,原水的细菌总数从 $7.5\times 10^6\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$ 下降到 $1.0\times 10^6\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$,去除率为 86.7%;大肠杆菌数从 $6.3\times 10^5\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$ 降为 $1.4\times 10^5\text{ 个}\cdot\text{mL}^{-1}$,

去除率为 77.8%。当 pH 值提高到 7.5 时,细菌总数去除率为 94.6%,大肠杆菌去除率为 84.7%。进一步提高 pH 值到 9.0,此时的杀菌效果达到最好,细菌总数降至 9.5×10^4 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,去除率为 98.7%;大肠杆菌数降至 3.4×10^4 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,去除率为 94.6%。pH 值对电磁场杀菌作用的影响原因还需进一步研究。

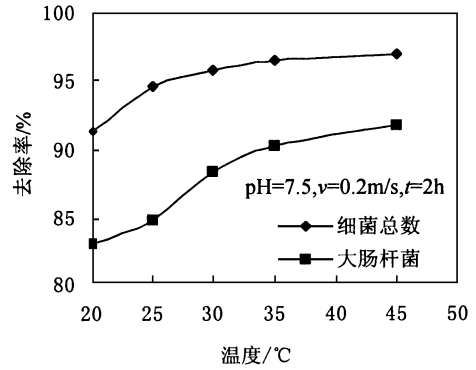


$t = 25^\circ\text{C}$, $v = 0.2\text{m/s}$, $t = 2\text{h}$
图3 pH 值对杀菌效果的影响

Fig. 3 The effects of pH on bacterial removal efficiency

2.5 水的温度与电磁场杀菌效果的关系

温度是影响细菌及其存活的主要环境因素之一,在一定的范围内升高温度可增加细菌的生长和代谢功能.将不同温度条件下的水样电磁处理后取样,考察其对杀菌效果的影响.由图 4 可知,杀菌效果随温度的升高而升高,当温度在 20°C 时,细菌总数从 2.4×10^6 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$ 下降为 2.1×10^5 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,去除率为 91.2%;大肠杆菌数从 5.4×10^5 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$ 下降为 9.2×10^4 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,去除率 82.9%。当温度上升至 35°C 时,细菌总数的去除率为 96.5%,大肠杆菌的去除率为 90.2%。当温度继续升高,这种上升的趋势趋于平缓, 45°C 时细菌总数的去除率为 96.9%,大肠杆菌的去除率为 91.5%,处理后细菌总数为 7.4×10^4 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$,大肠杆菌数为 4.6×10^4 个 $\cdot\text{mL}^{-1}$ 。这表明,在本实验条件下,温度升高有利于电磁处理杀菌作用,电磁场的灭菌作用是物理反应、化学反应、生物反应等多种反应综合作用的结果,一般来说升高温度会有利于各种反应的进行,所以在一定范围内升高温度有利于灭菌作用。



$\text{pH} = 7.5$, $v = 0.2\text{m/s}$, $t = 2\text{h}$

图4 温度对杀菌效果的影响

Fig. 4 The effects of temperature on bacterial removal efficiency

3 结论

目前对于电磁水处理的研究多是集中在其防垢、除垢作用上,对于杀菌性能的研究较少,本研究将直流脉冲与变频扫频技术相结合开发出扫频脉冲电磁场,考察其对生活污水的杀菌作用,并对影响处理效果的相关因素做了深入的研究.研究表明,电磁处理杀菌效率随作用时间、pH 值、温度、含菌量的增加而增加,当作用时间从 0.25h 增加 4h 时,细菌总数的去除率由 66.7% 升高到 99.7%,大肠杆菌的去除率由 31.5% 升高到 96.2%; pH 值从 6.0 上升到 9.0 时,细菌总数的去除率由 86.7% 升高到 98.7%,大肠杆菌的去除率由 77.8% 升高到 94.6%; 温度从 20°C 升高到 45°C 时,细菌总数的去除率由 91.2% 升高到 96.9%,大肠杆菌的去除率由 82.9% 升高到 91.5%。电磁处理对于含菌量高的水样的杀菌率优于含菌量低的水样,但处理后残留的细菌数量较多,应进一步研究提高杀菌效果,此外对于电磁场的灭菌机理,还需进一步研究探讨。

参考文献:

- 王祥三, 王平. 磁化处理污水的生物效应试验. 环境科学与技术, 2000, (2): 33~36.
- 周蔚红, 张钧. 电磁脉冲灭菌研究. 微波学报, 2000, 16(3): 320~321.
- 郭银松. 城市污水磁化处理的试验研究. 上海环境科学, 1996, 15(7): 33~35.
- 徐生辉. 磁化水生物效应及机理研究进展. 中国医学物理学杂志, 1997, 14(2): 129~130.
- 崔凤磊. 高频电场磁化水垢、杀菌方面的研究. 工业水处理, 1997, 17(6): 20~21.