



微电解消毒工艺的影响因素研究

傅金祥¹, 赵玉华¹, 范茂军¹, 张杰²

(1.沈阳建筑工程学院市政与环境工程系, 辽宁沈阳 110015;

2.哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江哈尔滨 150090)

摘要: 研究和探讨了微电解消毒饮用水工艺中 Cl⁻浓度和电解时间对消毒效果的影响规律和机理, 认为微电解消毒的灭菌率与 Cl⁻浓度和电解时间的关系符合经验公式: $e=1.0-\exp(-1.2\times10^4c^{0.5871}\times t^{1.6865})$, 而电解产生的余氯具有持续消毒能力。为取得可靠的消毒效果, 必须使待处理水中的氯离子浓度 $\geq 15\text{ mg/L}$ 、所需电解时间 $\geq 60\text{ s}$ 。

关键词: 饮用水消毒; 微电解; 余氯

Study on the Factors Affecting Micro-electrolytic Disinfection Process

FU Jin-xiang¹, ZHAO Yu-hua¹, FAN Mao-jun¹, ZHANG Jie²

(1.Department of Municipal & Environmental Engineering, Shenyang Institute of Construction Engineering, Shenyang 110015, China; 2.Department of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The effect of Cl⁻ concentration and electrolytic period on the disinfection efficiency in the process of micro-electrolytic disinfection of drinking water and relevant mechanism were discussed. It is believed that the sterilizing rate related to Cl⁻ concentration and electrolytic period accords with the empirical formula: $e=1.0-\exp(-1.2\times10^4c^{0.5871}\times t^{1.6865})$, and the residual chlorine produced by electrolytic process has the capability of sustained disinfection. In order to achieve reliable disinfection efficiency, Cl⁻ concentration in the water to be treated should be $\geq 15\text{ mg/L}$ and the electrolytic period $\geq 60\text{ s}$.

Keywords: drinking water disinfection; micro-electrolysis; residual chlorine

国内外学者对微电解消毒工艺进行了一定的研究, 但对其消毒机理尚缺少深入系统的认识, 至今尚未见到对其影响因素的研究报道^[1~4]。因此, 拟从Cl⁻浓度和电解时间两方面探讨其对微电解消毒效果的影响, 为微电解消毒工艺的开发与应用提供依据。

1 试验装置与方法

1.1 配水及菌种

试验用水依据沈阳市第三水厂7号井的水质进行配制(与实际水样相比, 仅有Cl⁻浓度不同), 即在二次蒸馏水中加入Fe₂(SO₄)₃、KNO₃、MgSO₄、Ca(HCO₃)₂、Na₂SO₄调节水质, 然后用NaCl溶液配制不同氯离子浓度的水样。

菌种取自沈阳市第三水厂未经处理的地下水、经培养获得的混合菌, 其中主要有枯草菌、黄葡萄球菌、霉菌、大肠杆菌等。试验用水的细菌总数控制在2500个/mL左右。

1.2 试验装置

试验装置见图1。阴极采用0Cr18Ni9Ti卫生级不锈钢材料, 阳极为钎—钛活性复合材料制成, 极板间距和直流电源的电压、电流均可调。

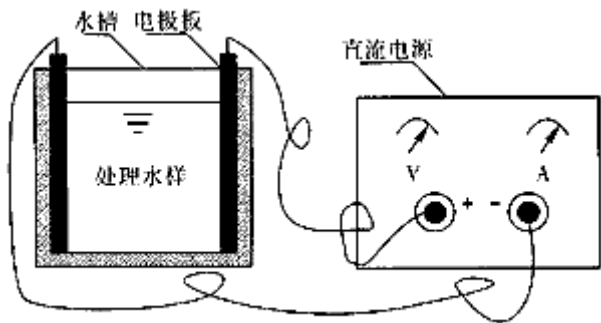


图 1 试验装置图

1.3 试验方案

试验目的在于通过改变水中Cl⁻浓度和电解时间，研究其对微电解灭菌效果的影响规律。

试验用水中Cl⁻浓度见表 1。其他试验条件为：

电流密度*i*=4.0mA/cm²；

极板间距*d*=2.0 cm；

微电解时间为 0~480 s；取样间隔为 30 s。

细菌总数采用标准平板记数法测定，水样中余氯采用比色法测定。

表 1 试验水质

试验序号	pH 值	电导率(mS/cm)	Cl ⁻ (mg/L)
1	6.90	0.680	0
2	6.90	0.695	4.5
3	6.90	0.705	9.0
4	6.90	0.730	15.0
5	6.90	0.745	22.0
6	6.90	0.770	34.0

2 结果与分析

2.1 试验结果

①各种电解时间下的水中细菌总数和灭菌率与 Cl⁻浓度的关系见图 2、3。

②各种 Cl⁻浓度下的水中细菌总数和灭菌率与电解时间的关系见图 4、5。

③电解时水中产生的余氯见表 2。

表 2 电解时水中余氯的变化

Cl ⁻ 浓度 (mg/L)	电解时间(s)						
	30	60	120	180	240	360	480
	余氯量(mg/L)						
4.5	0	0.01	0.03	0.07	0.1	0.1	0.1
9.0	0	0.01	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
15	0	0.03	0.1	0.2	0.2	0.2	0.25
22	0.05	0.1	0.25	0.4	0.6	1.5	3.0



34	0.07	0.1	0.4	0.6	1.0	2.0	3.5
----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

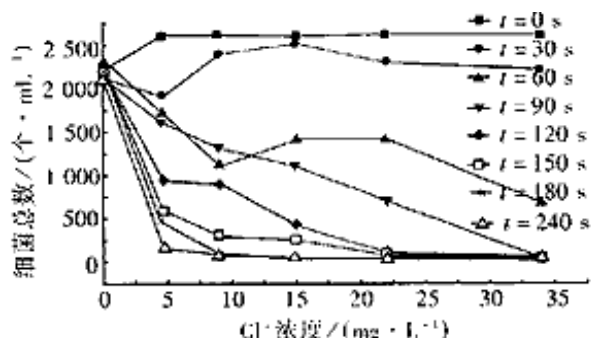


图2 细菌总数与 Cl^- 浓度的关系

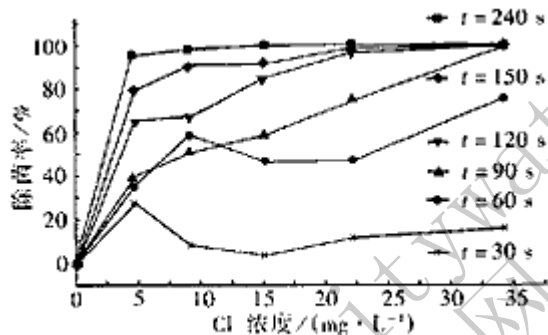


图3 灭菌率与 Cl^- 浓度的关系

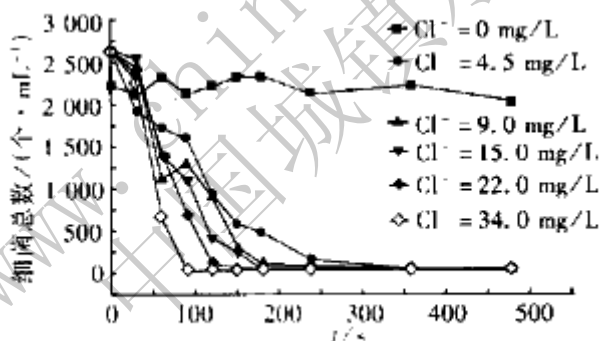


图4 细菌总数与电解时间的关系

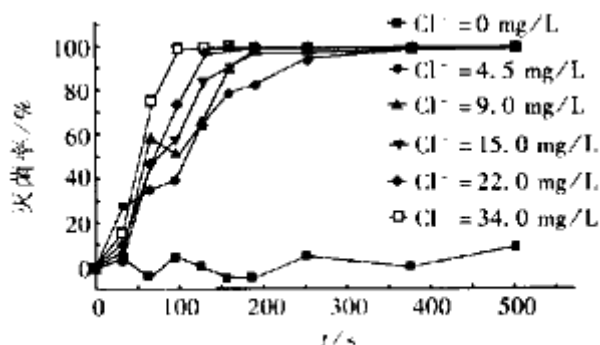


图5 灭菌率与电解时间的关系

2.2 分析与讨论

① Cl^- 浓度对灭菌效果的影响



从图 2、3 可以看出, 电解时间在一定范围($60\text{ s} < t < 180\text{ s}$)时, 随着原水中 Cl^- 浓度的增加, 处理后水中的活菌数量减少, 提高了细菌去除率。但当处理时间 $t > 180\text{ s}$ 时, 随着氯离子浓度的增加, 去除率增加并不明显。

在本试验条件下, 若要灭菌效果达到细菌总数 < 100 个/mL的生活饮用水卫生标准, 则要求水中 Cl^- 浓度 $> 15\text{ mg/L}$ 。

由图 4 可见, 当水中 Cl^- 浓度为零时, 细菌总数随电解时间的变化是一条趋势向下的波动曲线, 说明在水的电解过程中同时也产生了其他具有灭菌性能的物质。因此, 水的微电解消毒是多种电解产物共同作用的结果, 但以 Cl^- 的消毒效果最为明显。

②电解时间对灭菌效果的影响

从图 4、5 可以看出, 在 Cl^- 浓度一定的条件下, 随着电解时间增加, 灭菌效果增大。

在本试验条件下, 当水中 Cl^- 浓度 $> 15\text{ mg/L}$ 时, 若灭菌效果达到细菌总数 < 100 个/mL的生活饮用水卫生标准, 则所需电解时间 $\geq 60\text{ s}$ 。

③ Cl^- 浓度影响灭菌效果的化学原理

由电化学原理可知, 当外加电压大于物质的分解电势时, 就会在电极板上发生电极反应。

当 $[\text{Cl}^-] > 0\text{ mg/L}$ 时, 由于 Cl_2/Cl^- 的析出电势小于 O_2/OH^- 的析出电势, 外加电压是在 15.0 V 左右, 由Nernst方程可知, 水中氯离子的浓度越高, 产生的氯气量越大, 即相应的 HClO 量会越大, 因此消毒效果会越好。由于产生的氯气扩散需要一定的时间, 这会导致水样中的活菌数分布不均匀, 致使 $0 \sim 60\text{ s}$ 之内的数据可比性较小。

④经验公式

经整理得出微电解消毒时灭菌率的经验公式:

$$e = 1.0 - \exp(-k \times c^m \times t^n) \quad (1)$$

式中 e ——灭菌率, %

c ——氯离子浓度, mg/L

t ——处理时间, s

k 、 m 、 n 为经验参数, 均与水质(Cl^- 浓度除外)、极板间距、供电方式、电极材料等因素有关。

用试验数据进行拟合, 灭菌率经验公式可表示如下:

$$e = 1.0 - \exp(-1.2 \times 10^4 c^{0.5871} \times t^{1.6865})$$

所得的相关系数 $r = 0.99595$, 可见试验数据与经验公式具有较好的吻合性。在后续的试验中对该公式进行了验证, 结果表明其具有较高的可靠性。

2.3 存在的问题

①以上仅仅探讨了水中氯离子浓度对消毒效果的影响, 水中其他离子如氧离子、各种阴离子的影响尚需进一步研究。

②微电解消毒过程中产生氯气, 在此条件下是否也会产生卤代烷等消毒副产物, 有待进一步研究。

3 结论

①影响微电解消毒效果的因素较复杂, 但水中电解产物的氯离子是微电解消毒法具有消毒效果的主要原因。

②采用电子法消毒, 若灭菌效果达到细菌总数 < 100 个/mL的生活饮用水卫生标准, 则水中 Cl^- 浓度 $\geq 15\text{ mg/L}$, 电解时间 $\geq 60\text{ s}$ 。

③微电解消毒灭菌率与主要影响因素的关系可用如下经验公式描述:

$$e = 1.0 - \exp(-1.2 \times 10^4 c^{0.5871} \times t^{1.6865})$$

④微电解消毒过程中会产生余氯, 使微电解消毒具有持续灭菌能力。

参考文献:



[1] 傅金祥, 等.居住区生活饮用水二次污染及防治对策研究 [J] .给水排水, 1998,24(7):55-59.

[2] 张得胜, 高廷耀, 李国建, 等.微电解水处理的实验研究 [J] .中国给水排水, 1998,14(3): 5-7.

[3]

G Patemarakes, E Fountoukdis. Disinfection of water by electrochemical treatment [J] .Water Research, 1989, 24(12): 119-124.

[4] 曾抗美, 史建福, 刘桂华.电化学法进行饮用水消毒研究 [J] .中国给水排水, 1999, 15(8): 16-18.

http://www.chinacitywater.org
中国城镇水网