

2005-11-28

Electrochemical Disinfection Method to Treat Wastewater from Hospitals

LIZhi-fu LIZhi-fu

Recommended Citation

LIZhi-fu LIZhi-fu. Electrochemical Disinfection Method to Treat Wastewater from Hospitals[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2005 , 11(4): 420-424.

DOI: 10.61558/2993-074X.1680

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol11/iss4/13>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

医院污水的电化学法消毒试验研究

李志富^{*1}, 谭亚东², 许宁¹, 任少红¹, 赵宇¹

(1. 泰山医学院化学与化学工程学院, 山东 泰安 271000; 2. 泰安市环境保护局, 山东 泰安 271000)

摘要: 应用电化学方法消毒处理医院污水, 比较不同阳极材料消毒效果, 并探讨消毒机理. 试验表明, 以涂有贵金属 (钌、铂、铱) 氧化物的钛板作阳极, 不锈钢板作阴极, 在电流密度 6 mA/cm^2 、水力停留时间 15 min 、空气流量为 40 L/h 、极水比为 1.0 的试验条件下, 消毒后污水的总大肠菌群数 $< 500 \text{ CFU/L}$, 达到国家一级排放标准 (GB 8978—1996).

关键词: 医院污水; 电化学消毒; 电极材料; 总大肠菌群数

中图分类号: O 646, R123.6

文献标识码: A

医院污水是医院或其它医疗机构在诊治、预防疾病过程中产生的一类废水, 具有潜在传染性和急性传染性. 医院污水含有多种微生物和传染病原, 如艾滋病、乙肝、丙肝、伤寒、痢疾、结核杆菌等病毒, 被列为国家 HW01 号危险污染物, 如不经消毒处理直接排入水体, 对公众和环境健康会造成严重的危害^[1]. 世界各国十分重视医院污水的消毒处理, 我国于 1996 年修订的《水污染防治法》明确指出: “排放含病菌、病毒和病原体的污水, 必须经过消毒处理, 符合国家有关卫生标准后才准排放”^[2].

目前, 医院污水的消毒处理方法主要有紫外线辐照消毒法、过氧化物消毒剂 (过氧化氢、过氧乙酸、臭氧和二氧化氯) 消毒法、氯化物消毒剂 (液氯、次氯酸盐) 消毒法等^[3]. 其中紫外线辐照消毒虽操作简单, 不加化学药剂, 不产生二次污染, 但紫外光源寿命短, 杀菌效率不高, 无后续作用而不能大规模应用; 过氧化物消毒剂杀菌高效、快速, 杀菌后水体不留残余毒性物质, 但这类消毒剂性质不稳定, 制备、储运困难, 操作管理要求高, 使用不方便; 氯化物消毒剂杀菌率高, 有后续作用, 制备简单, 使用方便, 但易与污水中的有机物生成氯仿、氯代衍生物等致癌、致突变的物质, 造成水体的二次污染^[4]. 对此, 急需开发一种技术工艺成熟, 成本效

益较高, 在水中不产生二次污染的新型消毒技术用于医院污水的治理. 电化学法在环境治理方面由于无需添加化学药剂、没有二次污染、设备体积小、自动化程度高、易与其他治理技术联用等优点越来越受到人们重视^[5]. 电化学法已广泛用于印染废水中生物难降解的有机物治理^[6-9], 但有关其污水消毒方面报道还很少见. 本文对预先经过沉降、生物活性碳过滤处理后的医院污水作电化学消毒试验研究, 以总大肠菌群数的去除率作为消毒效果的主要控制指标, 探讨阳极材料、电流密度、水力停留时间、空气流量、极水比等因素对消毒效果的影响, 确定了在不加化学药剂、不影响水质和低耗能条件下电化学消毒试验的最佳使用条件.

1 试验部分

1.1 试验装置

电化学污水处理试验装置见图 1, 主要由电化学消毒器, 直流稳压电源, 进气系统, 进液系统组成. 消毒器为矩形, 用有机玻璃制成, 规格为 $20 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, 有效容积为 1000 mL , 内置 3 块平行排列的自制网状平板电极 (两阴极板, 一阳极板), 网状平板电极的有效工作面积为 120 cm^2 , 板厚为 1 mm , 电极间距为 2 cm . 进气系统由消毒器下端进入, 进液系统由消毒器上端进入.

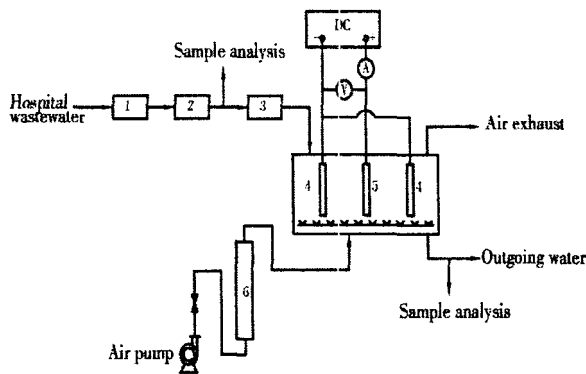


图 1 电化学消毒试验装置流程图

Fig 1 The schematic diagram of experimental equipment for electrochemical disinfection

- 1) settling, 2) filtrating, 3) measuring, 4) cathode,
- 5) anode, 6) air flow meter

1.2 试验方法

采用静态间歇方式操作,从现场提取的污水,经沉降、生物活性碳过滤后,取样分析污水的总大肠菌群数,然后控制污水流量让其进入消毒器,保持消毒器内污水体积 1 000 mL 左右.空气按设定流量由气泵经微孔布气装置送入消毒器,搅动溶液使混合均匀,插入不同组合类型的平板电极,开启电源控制试验条件作消毒处理,取消毒后澄清水样由滤膜法测定总大肠菌群数^[10].

1.3 试验水样及组分含量

试验水样取自泰安某综合性医院排污口末端的废水,该废水经沉降、生物活性碳过滤后,测得其总大肠菌群数为 3.5×10^4 CFU/L.

2 结果与分析

2.1 阳极材料对消毒效果的影响

分别采用铁、铝、石墨和表面涂有钌、铱、铂等贵金属氧化物的钛板作阳极,不锈钢板作阴极,控制电压 30 V、电流密度 6 mA/cm^2 、水力停留时间为 15 min、空气流量为 40 L/h、极水比 1.0 作电学消毒试验,结果见表 1.

由表 1 可知,在同一试验条件下,表面涂有贵金属氧化物的钛板杀菌效果最好,而铁、铝电极杀菌效果较差,这是因为不同电极材料杀菌的机理不同.铁、铝电极属于溶解性电极,在电化学消毒过程中会自身溶解,析出 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 离子最终形成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (白色带黄)和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ (白色)胶体^[11],

因胶体颗粒表面带正电荷,能够吸附表面带负电荷的病菌、病毒或其它杂质,并通过粒间搭桥及卷扫作用形成电中性的絮状悬浮物^[12],破坏了胶体原本的稳定状态,从而使胶粒迅速凝聚成较大的颗粒沉降与水体分离.检测发现,通电时阳极电位比活性氧的析出电位低,水体中无剩余的活性氯,因此推断,使用溶解性电极,其消毒的机制主要是电絮凝,而氧化还原反应则属次要作用.

石墨和表面涂有贵金属氧化物的钛板属于不溶性电极,其于消毒过程阳极不仅产生氧气,而且还会生成具有强杀菌能力的初生态氧、羟基自由基、 H_2O_2 、 O_3 等活性氧^[13],同时水中存在的氯离子也能被激活成 CD_2 、 HCD 、 CD^- 等活性氯,活性氧和活性氯的存在对污水中的病菌和病毒起到了协同杀菌作用,杀菌效果好.特别是钛板上涂覆贵金属氧化物,更对活性氧和活性氯的产生起到催化作用,使钛板的杀菌能力大大提高.因此,以此类阳极用于电化学消毒,其杀菌机制主要是电解产生的杀菌活性物质的氧化还原性.

表 1 阳极材料对消毒效果的影响

Electrode material	Count of total coliform bacteria in ingoing water	Count of total coliform bacteria in outgoing water	Removal rates /%
	(CFU/L)	(CFU/L)	
Fe	3.5×10^4	1.9×10^4	45.7
Al	3.5×10^4	0.9×10^4	73.4
C (graphite)	3.5×10^4	0.5×10^4	86.6
Ti	3.5×10^4	0.4×10^4	98.9

2.2 电流密度和水力停留时间对消毒效果的影响

图 2 示出以涂有贵金属氧化物的钛板作阳极,不锈钢板作阴极,保持污水体积为 1 000 mL,控制两极电压为 30 V,空气流量 40 L/h,极水比为 1.0,在不同的水力停留时间下总大肠菌群去除率随电流密度变化曲线.

由图 2 可见,在给定的电流密度下,总大肠菌群去除率随水力停留时间的增加而增加.当水力停留时间为 5 min 时;于试验的电流密度范围内,电化学消毒器出水中总大肠菌群数均 $> 4\ 200$ CFU/L;而当水力停留时间为 10 min;电流密度 $> 8 \text{ mA/}$

cm²;水力停留时间为 15 min;电流密度 > 6 mA/cm²时,电化学消毒器出水中总大肠菌群数均小于 500 CFU/L. 根据法拉第定律,电极表面反应的物质的量与通过电极的电量成正比^[14],由于电化学消毒过程中,随着电流密度和水力停留时间的延长,其于阳极产生的氧化性极强的活性物质的量也随之增多,它通过直接和间接的氧化还原作用使污水中更多的病菌和病毒被氧化而除去. 同时,电流密度增大、水力停留时间的延长还会增加单位大肠菌群数去除的电耗,而且较大的电流密度也很容易引起水体中其他成分发生电解反应,从节能角度看,在达到大肠菌群去除率要求前提下,选择电流密度 6 mA/cm²、水力停留时间 15 min 为电化学消毒工艺条件最适宜.

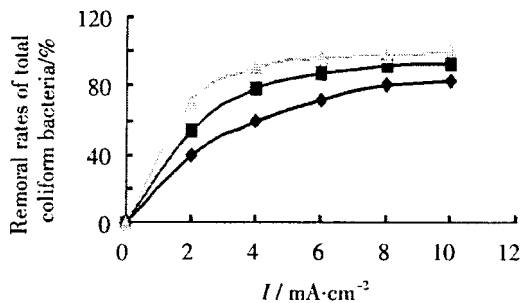


图 2 电流密度和水力停留时间对消毒效果的影响
Fig 2 Influence of current density and hydraulic retention time on the removal rates
hydraulic retention time/min: 5, 10, 15

2 3 空气流量对消毒效果的影响

保持污水体积为 1 000 mL,控制两极电压为 30 V,电流密度为 6 mA/cm²、水力停留时间为 15 min,极水比为 1.0,测得在不同气体流量下,出水中总大肠菌群去除率随气体流量的变化关系,如图 3 所示.

图 3 表明,总大肠菌群去除率随气体流量的增大而增大,但当气体流量增大至 40 L/h 后,去除率则增幅趋于平缓. 这是因为初始气体流量的增大,不仅可明显提高污水中反应物的传质速率,加速污水中的病菌和病毒向阳极上扩散,同时,还伴随增加污水中溶解氧是活性氧的含量,从而使病菌和病毒能被污水中的活性杀菌物质快速杀灭. 但当气体流量增大到一定程度后,反应由动力学控制转化为

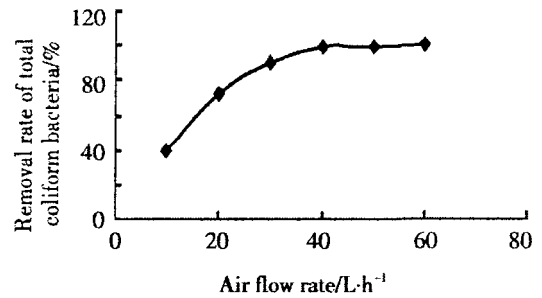


图 3 空气流量对消毒效果的影响
Fig 3 The influence of air flow rate on the removal rates

热力学控制,并且溶解氧的含量也趋于恒定,故继续增大空气流量,总大肠菌群去除率变化不明显,因此,试验中控制气体流量为 40 L/h 较为合适.

2 4 极水比对消毒效果的影响

控制两极电压为 30 V、电流密度为 6 mA/cm²、水力停留时间为 15 min、空气流量为 40 L/h,改变消毒器内污水的体积从而形成不同的极水比(阳极工作面积与污水体积之比 cm²/cm³),分析极水比对消毒效果影响,试验结果见图 4.

由图 4 可知,极水比 < 0.7 时杀菌率比较低,而且随着极水比的减少杀菌率下降很快;当极水比 0.7,杀菌率稳定在 85% 以上,这是因为极水比增加后,水从极板间流过的比例增大,侧流量减少,活性物质与病菌和病毒的接触时间增加,同时,极水比增大后,阳极产生的活性物质与污水中病菌和病毒的接触面积增大,使得污水中的病菌和病毒进入处理器后能够被尽快地杀灭,提高了杀菌效率. 但是增大极水比会增大电极板间的电阻,这时须要提高电压才能保持电流密度不变,不但会增加电能的消耗,而且还会加大消毒器的设计难度. 因此,本

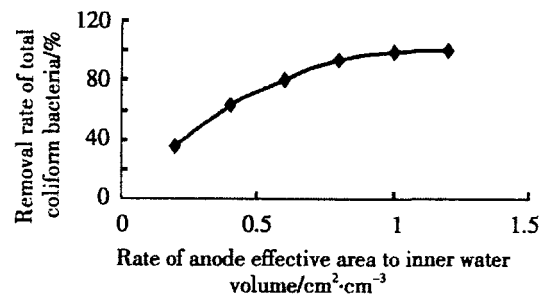


图 4 极水比对消毒效果的影响
Fig 4 The influence of the rate of anode effective area to the inner water volume on the removal rates

文优选极水比为 1.0 的消毒装置作电化学消毒试验,其耗电量为 $0.35 \text{ kWh/m}^3 (\text{H}_2\text{O})$,出水后总大肠菌群数小于 500 CFU/L 。

3 结 论

1) 选用表面涂有钨、铌、铂等贵金属氧化物的网状钛板作阳极,不锈钢板作阴极,控制电压 30 V、电流密度 6 mA/cm^2 、水力停留时间为 15 min、空气流量为 40 L/h 、极水比为 1.0 的试验条件对经过二级处理、生物活性碳过滤的医院污水(总大肠菌群数小于 $50\,000 \text{ CFU/L}$)进行电化学消毒,消毒后污水中的总大肠菌群数 $< 500 \text{ CFU/L}$,达到国家一级排放标准(GB8978—1996)。消毒过程的耗电量为 $0.35 \text{ kWh/m}^3 (\text{H}_2\text{O})$ 。

2) 电化学消毒方法在处理医院污水时不需添加化学药剂,不影响水质,研制的网状型电极容易吸附污水中的病菌和病毒,便于用后清洗。在经过多次实际运行证明,该消毒方法简单有效、切实可行、投资运行费用低,无二次污染。

参考文献 (References):

- [1] Ma Shihao (马世豪), Ling Bo (凌波). Hospital Wastewater and Pollutant Treatment [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2000. 160 ~ 177.
- [2] Li Zhifu (李志富), Xu Ning (许宁). Study on the property parameters of ClO_2 for treating sewage from hospitals [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control (in Chinese), 2003, 5: 23 ~ 26.
- [3] Tang Shouyin (唐受印), Dai Youzhi (戴友芝). Engineering Handbook of Water [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2000. 184 ~ 197.
- [4] Stucki S, Kotz R, Carcer, et al. Electrochemical wastewater treatment using high overvoltage anodes Part 2: Anode performance and applications [J]. J. Appl Electrochem., 1991, 21 (2): 99 ~ 104.
- [5] Rajeshwar K, Ibanez J G, Swain G M. Electrochemistry and the environment [J]. J. Appl Electrochem., 1994, 24: 1 077 ~ 1 091.
- [6] Yu Qiongwei (余琼卫), Zhou Yuanquan (周元全). Study on dye wastewater treatment using the direct electrolysis [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control (in Chinese), 2004, 5 (7): 64 ~ 69.
- [7] Liang Hong (梁宏), Zeng Kangmei (曾抗美), Yang Jicheng (杨基成). Analysis on influencing factor in treating high-colority reactive dyes wastewater by multi-electrodes method [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control (in Chinese), 2004, 5 (4): 27 ~ 31.
- [8] Yang Song (杨松), Li Yuming (李玉明), Zhou Jiti (周集体). Treatment of aniline using Three - dimensional three - phase fluidized bed electrode [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control (in Chinese), 2004, 5 (6): 43 ~ 47.
- [9] Jia Chengzhi (贾成志), Luo Ping (罗平), Zou Jaqing (邹家庆). Reactive dye wastewater treatment by electrolysis [J]. Environmental Engineering (in Chinese), 2004, 22 (2): 27 ~ 29.
- [10] Liu Desheng (刘德生), Li Zhifu (李志富). Environmental Monitor [M]. Beijing: Chemical Industrial Press, 2000. 55 ~ 59.
- [11] Beijing Normal University (北京师范大学), Hua Zhong Normal University (华中师范大学). Inorganic Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 1987. 673 ~ 827.
- [12] Fu Xiancai (傅献彩), Chen Ruihua (陈瑞华). Physical Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 1989. 477 ~ 496.
- [13] Wang Amin (王爱民), Qu Jiuhui (曲久辉), Ge Jiantuan (葛建团). The advances on the mechanisms of electrochemical treatment of organic pollutants [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control (in Chinese), 2002, 3 (10): 10 ~ 13.
- [14] Dalian University of Technology (大连理工大学). Inorganic Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. 186 ~ 187.

Electrochemical Disinfection Method to Treat Wastewater from Hospitals

LI Zhi-fu^{*1}, TAN Ya-dong², XU Ning¹, REN Shao-hong¹, ZHAO Yu¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Tai Shan Medical College, Taian 271000, China)

(2. Environmental Protection Bureau of Taian, Taian 271000, China)

Abstract: Electrochemical disinfection method was used to treat wastewater from hospitals. The mechanism of electrochemical disinfection was researched by using the different anode materials. The results showed that when the titanium coated with noble metal (Ru, Pt, Ir) oxide was used as an anode and stainless steel as a cathode, the current density was 6 mA/cm^2 , hydraulic retention time was 15 min, air flow rate was 40 L/h, the rate of anode effective area to the inner water volume was 1.0, the amount of total colibacillus was below 500 CFU/L after electrochemical disinfection, All these meet the first order of Effluent Discharge Standard (GB8978-98).

Key words: Hospital's wastewater, Electrochemical disinfection, Electrode material, Amount of total colibacillus