

文章编号:1000-582X(2007)03-0116-04

湖泊水体富营养化的治理*

陈德淑,廖振方,刘晖霞,刘宁

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

摘要:提出利用电液脉冲技术治理湖泊水体的富营养化的新方法.介绍了电液脉冲技术的工作原理,电液脉冲技术治理湖泊水体富营养化的净化机理并进行了相关的实验室实验.从研究所取得的大量实验数据表明:采用电液脉冲技术治理湖泊水体的富营养化是可行的,也是一项很有效的措施.

关键词:电液脉冲技术;湖泊治理;水体富营养化

中图分类号:X522;X524

文献标识码:A

中国是一个湖泊众多的国家,湖泊总面积为70 988 km²,大约占全国陆地总面积的0.8%,湖泊总储水量为7 077 多亿 m³.随着城市和工业的不断发展,农业化肥和含磷洗涤剂的大量使用,大量未经处理的城市生活污水和工业废水流入江河和湖泊中,导致江河和湖泊的水体富营养化日趋严重,一些河流的部分河段由于富营养化已变成“臭”水沟.它们已成为影响该地经济发展和人民生活水平提高的重大障碍.三峡工程蓄水后,如何保证库区水体的综合功能和水的净化能力(除黑臭、防止富营养化及藻类的滋生),已成为各级政府和国内外学者高度重视和研究的重要问题.目前,治理江河、湖泊水体的方法有:

1)控制污染来源的截污方法(点污染源的截污),将入湖、入江的污染物尽量控制在最小量,以减轻入湖、江的负荷.

2)采取在水面种植高等植物的方法,让植物在水中生长,吸收氮、磷等营养盐,同时植物的根系对水中悬浮物的吸附发挥净化作用.

3)采取清淤挖泥的方法,希望通过对底部污泥的清掏,减少水体沉积物的营养盐含量,从而减轻可能发生的内源污染.

4)采取引水冲污的方法稀释水体中氮、磷营养盐和藻类的浓度.

这些方法各有优缺点,对水体的治理效果并不是

十分理想.笔者通过多年对电液脉冲的实验研究,认为采用电液脉冲技术完全能达到预期的目的.

1 电液脉冲工作原理

电液脉冲是将电能直接转换为液动力扰动而作用于水体的机械能,其工作原理如图1所示.该装置由脉冲电流发生器A和反应室B组成.脉冲电流发生器A包括高压变压器1、高压硅堆2、隔离开关3、限流电阻4、脉冲电容器5、空气开关6;反应室B则由电极7和9组成的反应室8.正电极常做成尖状电极,负电极根据工作特点的不同,可以做成尖状电极或板状电极.

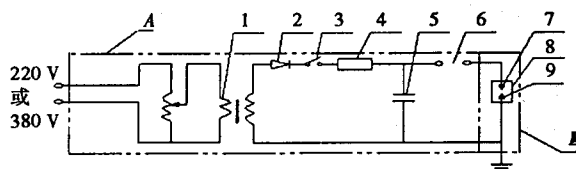


图1 电液脉冲的工作原理图

当开关3闭合时,就向电容器5充电到给定电压,贮存在电容器上的能量在接通时就在放电间隙释放,释放出的能量(约 $10^3 \sim 10^6$ J)使通道内的物质被加热到200 00 ~ 30 000 K,通道内的能量密度提高到 10^9 J/m³,从而形成等离子通道并以每秒数十到数百米的速度向外迅速膨胀.在图1的电路中,采用了带辅助间隙击穿方式,这种方式有两个优点:

* 收稿日期:2006-11-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59979029)

作者简介:陈德淑(1963-),女,重庆大学讲师,主要从事特种加工工艺(高压水射流技术和电液脉冲技术)研究,

电话(Tel.):023-65103535;E-mail:chends0917@126.com.

1) 主间隙不变,调整辅助间隙可以控制电源电压或放电电流;

2) 消除了放电前主间隙(反应室内两电极之间的距离)因预放电所造成的电能损耗.

电容器5上的电压升高时,由于辅助间隙的电阻比液中间隙的电阻大得多,所以作用在液中间隙上的电压非常小,根本不会发生预放电.这样,就能大大地增加主间隙放电时产生的机械效应的强度.

2 电液脉冲净化水的机理及实验研究

实验表明:电液脉冲的杀菌效果与其作用次数 n 呈指数关系,见式(1)

$$\frac{dN}{dn} = -bn, \quad (1)$$

式中, N 为液体中的微生物浓度; b 为系数,用以表示每放电一次杀菌效果的一个系数,该系数与液体的特性,微生物的型式和放电参数等有关,一般可用 b 来评价电液脉冲的杀菌和消毒效果.

$$b = f(E, U, C, l, V), \quad (2)$$

式中: E 为次放电所产生的能量, J ; U 为放电电压, V ; l 为两电极间的距离, cm ; V 为反应室的体积, m^3 ; C 为电容器的电容量, μF .

理论分析和实验证明:电液脉冲对液体具有强大的综合作用.

1) 放电产生的电磁场、等离子体、强烈的离化作用和放电区域内所发生的复合作用,使电液脉冲对液体的作用具有与辐射化学过程相类似的特点,它能促使在液体中产生复杂的化合物.

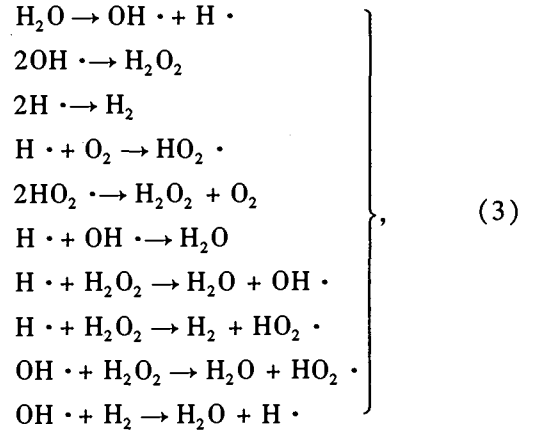
2) 电液脉冲能在水中产生活性很强的自由基、原子氧、原子氢,能形成氮的化合物甚至产生简单的氨基酸,溶解在水中的空气和其他气体则将促使这些过程的实现.

3) 电液脉冲能产生强大的超声波,频率为 $10 \sim 40 \text{ kHz}$,电液脉冲设备工作时,在距离声源 1 m 处的声压为 $2 \times 10^6 \text{ Pa}$.

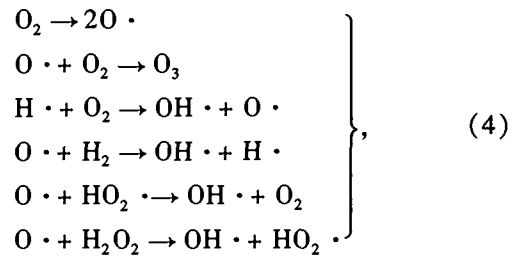
4) 电液脉冲产生的紫外线、原子氧等,它们的氧化作用也非常强,凡是与它相接触的所有生物全部被杀死.

2.1 水的离解反应

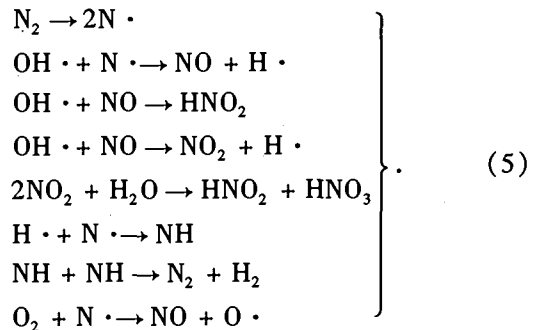
在 $OH \cdot$ 和 $H \cdot$ 自由基等的作用下,水离解有下列反应发生:



下列反应:



当有氮气存在时:



2.2 自由基的氧化

如前所述,由于电液脉冲的作用,在水溶液中产生了局部的高浓度的氧化剂(如 $OH \cdot$ 、 $H \cdot$ 、 $O \cdot$ 和 H_2O_2 等),它们能直接氧化水中化学污染物.在含有聚合物的多相体系中,电液脉冲产生的强大压力和紊动,可使大分子主链上的碳键断裂,产生自由基.自由基含有未配对电子,化学性质活泼,很容易进一步反应变成稳定分子,从而使常规条件下难处理的污染物降解.

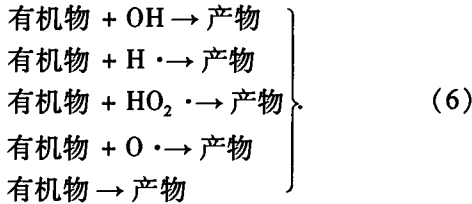
表1是几种氧化剂的标准还原电位及相对氧化能力的比较.

表1 氧化剂的标准还原电位及相对氧化能力

氧化剂	还原反应	标准还原电位/V	相对氧化能力
过氧化氢	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e = 2H_2O$	1.77	1.30
臭氧	$O_3 + 2H^+ + 2e = H_2O + O_2$	2.07	1.52
羟自由基	$OH \cdot + H^+ + e = H_2O$	2.80	2.05
氟	$F_2 + 2e = 2F^-$	3.06	2.24

由表 1 可知,OH· 和 F₂ 的标准还原电位均很高, OH· 是常用氧化剂中最强的氧化剂. OH· 的电子亲和能力为 569.3 kJ, 容易攻击高电子云密度的有机分子部位, 形成易氧化的中间产物; OH· 容易加成有机分子碳的双键上, OH· 能脱去有机分子上的一个氢, 形成 R· 自由基, R· 能被水中溶解氧进一步氧化成 ROO·, ROO· 也是强氧化剂, 这样自由基不断产生不断氧化, 大大增强了它的氧化效率.

在有机物存在时:



2.3 超临界水氧化

电液脉冲产生的高温、高压超过了水的临界点 ($T_c = 647 \text{ K}, P_c = 221 \text{ bar}$) 时, 水体中存在着局部的超临界水, 超临界状态下水的物理、化学性质 (如粘性、离子积、密度、热容量等) 发生了很大的变化, 这种变化均有利于大幅度增加大多数化学反应的反应速度.

超临界水对有机物和氧具有很高的溶解性, 因此, 在化学反应状态下能存在含有均相混合物的单相态, 这就消除了通常高温、高压下化学反应的相间转移, 从而大大加速了氧化速度. 然而, 大规模应用超临界水氧化技术的障碍恰好正是超临界水的强氧化性所带来的强腐蚀性, 大大减小了它的应用的经济性和可行性. 电液脉冲产生的超临界水是局部性的, 液体是在常温常压下进行反应, 避免了超临界水对反应容器的腐蚀. 因此, 通过电液脉冲利用超临界水的强氧化能力是一种很有前途的处理有害有机化合物的新方法.

2.4 实验研究

通过实验得出以下关系: 图 2 表示在不同放电电

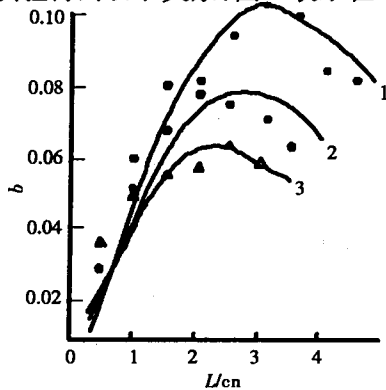
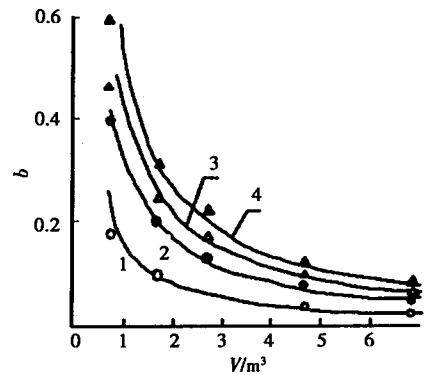


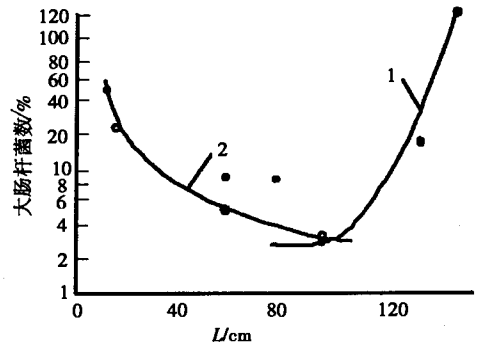
图 2 不同放电电压(kV)下, 系数 b 与电极的极间距离的关系
1. 40 kV, 2. 35 kV, 3. 30 kV.

压下, 系数 b 与两电极间的距离 (极间距离) 的关系. 图 3 是在不同的放电能量下, 系数 b 与反应室体积大小的关系, 图 4 表示电压与电容的大小对杀灭大肠杆菌的效果的影响. 图 5 表示脉冲次数对杀灭大肠杆菌的影响.



1. 56.25; 2. 112.5; 3. 156.25; 4. 225

图 3 不同的放电能量下(kJ/ml), 系数 b 与反应室体积大小的关系



1. $C=0.5 \mu\text{F}, U=35 \text{ kV}, n=100$; 2. $C=2 \mu\text{F}, U=20 \text{ kV}, n=100$.

图 4 极间的距离对大肠杆菌杀灭效果的影响

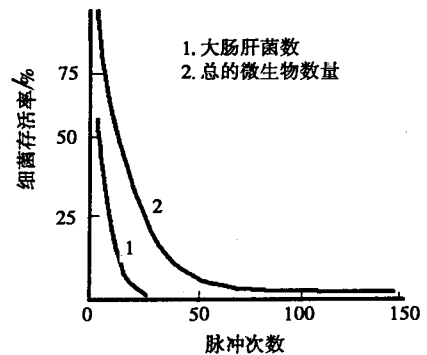


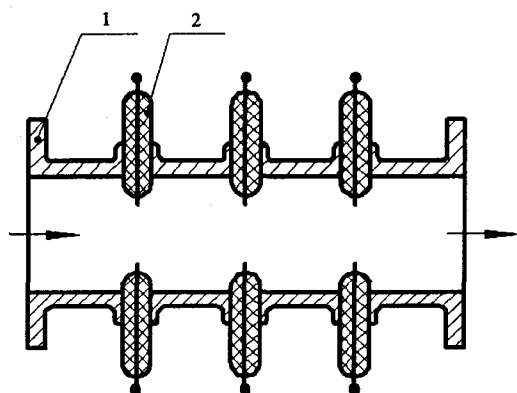
图 5 电液脉冲杀菌效果

必须指出: 对图 1 系统进行改造, 电极采用杆—平板电极, 使空气或者氧气从一个具有特殊几何形状喷嘴的杆状空心电极喷出. 如果在最佳电压和最佳电极距离范围内喷射入气体, 将大大增加臭氧的发生量, 实验测得的臭氧发生量为 5.01 mg/min (一对电极). 喷射氧气时的能耗为 $9 \text{ kW} \cdot \text{h/kgO}_3$, 喷射空气时为

13 kW·h/kgO₃,它比目前国内外现有的臭氧发生器所需要的能耗都低(大约低50%~80%)。另一方面,臭氧在紫外线的配合下,杀菌和脱色效果明显增强。从而将电液脉冲和臭氧处理组成为一套高效、切实可行治理水污染的新方法。

3 工艺流程

利用水泵抽取湖中的水,经电液脉冲产生的冲击力和高温,如上所述就可实现杀菌、杀灭浮游生物,从而达到净化水的目的。



1—反应器 2—电极

图6 电液脉冲处理湖泊水的装置

具体实施方案如下:

被清洗的水如图6的箭头所示,进入反应器内,在反应器内安设多对电极(根据水量和水的污染程度而定,可高达数百对),水体经过反应室后,藻类就经被杀死了,再通过固、液分离装置将固体物去除后返回湖泊,如此循环,就使湖泊完成一个新陈代谢的作用,进

而完成整个湖泊水的处理。电液脉冲装置由于处理水量大(小时处理量从几立方米到上万立方米),经过一段时间后,就可完成整个湖水(或某个确定范围内)的净化。实验室实验表明:采用这种方法处理富营养化的湖泊水(如小型湖泊、池塘,工业区和观赏区小池的富营养化),能耗大约为0.5 kW·h/m³。

4 结 语

理论分析和实验室实验表明:电液脉冲装置集高温、高压、强磁场、强电场、自由基、紫外线、空化流等作用于一体,它们瞬间同时对水体发生作用,是治理水体富营养化的一项切实可行的方法。

参考文献:

- [1] 陈水勇. 水体富营养化的形成、危害和影响环[J]. 环境科学与技术,1999(2):11-15.
- [2] 廖振方. 电液脉冲工业废水处理装置. 中国, CN1046317A [P]. 1990-12-24.
- [3] 廖振方,陈德淑. 净化和消毒用电液脉冲处理装置的参数选择[J]. 医疗卫生装备,2004,25(1):15-17.
- [4] 廖振方,陈德淑. 电液脉冲处理装置中电极材料对处理效果的影响[J]. 医疗卫生装备,2004,25(2):16-17.
- [5] 陈德淑,廖振方. 电液脉冲反应室对杀菌效果的影响[J]. 医疗卫生装备,2005,26(9):50-52.
- [6] 廖振方. 利用空化射流清洗湖泊[J]. 清洗世界,2004,20(4):1-6.
- [7] СОКОЛОВА М В. ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОЗОНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ [J]. УДК, 1983, 537.521.7(021):99-107.

Harness of Eutrophication for Lake Water Body

CHEN De-shu, LIAO Zhen-fang, LIU Hui-xia, LIU Ning

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The treatment of eutrophication for lake water body by electro-hydraulic power pulsed technology is presented. The operating principle of electro-hydraulic power pulsed technology, mechanism of purifying eutrophication for lake water body and some experimental results are briefly introduced. A lot of experimental data obtained from experimental study show that electro-hydraulic power pulsed technology is feasible for the treatment of eutrophication for lake water body, and is a very effective method.

Key words: electro-hydraulic power pulsed technology; water treatment of lake; eutrophication for water body

(编辑 张小强)