



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111889049 A

(43) 申请公布日 2020.11.06

(21) 申请号 202010945273.9

(22) 申请日 2020.09.10

(71) 申请人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路  
1037号

(72) 发明人 何孟兵

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

代理人 刘奇

(51) Int. Cl.

B01J 19/08 (2006.01)

C02F 1/32 (2006.01)

C02F 1/72 (2006.01)

C02F 101/30 (2006.01)

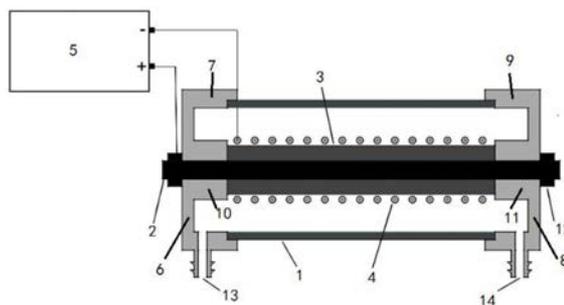
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种脉冲放电等离子体反应器和有机废水的处理装置以及处理方法

(57) 摘要

本发明涉及工业废水处理技术领域,具体涉及一种脉冲放电等离子体反应器和有机废水的处理装置以及处理方法。本发明提供的脉冲放电等离子体反应器,包括高压电极、弹簧低压电极、石英玻璃套管、微秒级高压脉冲电源和密封框架。在本发明中,高压电极与微秒级高压脉冲电源的高压端相连接,弹簧低压电极与微秒级高压脉冲电源的低压端相连接,陶瓷套管作为介质阻挡放电的介质层,微秒级高压脉冲能够使弹簧低压电极与陶瓷套管之间产生介质阻挡放电等离子体和紫外光;放电等离子体在石英玻璃套管内进行一系列反应后产生臭氧;臭氧通入有机废水中,降解有机污染物。本发明提供的脉冲放电等离子体反应器运行温度升高小,能够连续长时间运行。



1. 一种脉冲放电等离子体反应器,其特征在于,包括石英玻璃套管(1)、微秒级高压脉冲电源(5)和密封框架;所述石英玻璃套管(1)的内部设置有高压电极(2)、包覆在所述高压电极(2)外表面的陶瓷套管(3)以及缠绕在所述陶瓷套管(3)外表面的弹簧低压电极(4);所述高压电极(2)与所述微秒级高压脉冲电源(5)的高压端电连接,所述弹簧低压电极(4)与所述微秒级高压脉冲电源(5)的低压端电连接;

所述密封框架包括第一密封框架和第二密封框架,所述第一密封框架包括第一盖板(6)和设置在所述第一盖板(6)上的第一筒体(7),所述第二密封框架包括第二盖板(8)和设置在所述第二盖板(8)上的第二筒体(9);所述第一筒体(7)和第二筒体(9)的内径与所述石英玻璃套管(1)的内径相同;所述第一筒体(7)和第二筒体(9)的中轴线与所述石英玻璃套管(1)的中轴线重合;

所述石英玻璃套管(1)的一端与所述第一筒体(7)的开口端密封连接,另一端与所述第二筒体(9)的开口端密封连接;

所述高压电极(2)的两端分别穿出第一密封框架和第二密封框架,所述高压电极(2)的一端与所述第一盖板(6)密封连接,另一端与所述第二盖板(8)密封连接;

所述第一筒体(7)的筒壁上设置有进气口(13);所述第二筒体(9)的筒壁上设置有出气口(14)。

2. 根据权利要求1所述的脉冲放电等离子体反应器,其特征在于,所述高压电极(2)为双头螺栓高压电极。

3. 根据权利要求2所述的脉冲放电等离子体反应器,其特征在于,还包括固定螺母(12),所述双头螺栓高压电极(2)与所述第一盖板(6)和第二盖板(8)分别通过固定螺母(12)密封连接。

4. 根据权利要求1所述的脉冲放电等离子体反应器,其特征在于,所述第一盖板(6)上还设置有第一凸起(10),所述第二盖板(8)上还设置有第二凸起(11),所述陶瓷套管(3)的两端分别固定在所述第一凸起(10)和第二凸起(11)上;所述弹簧低压电极(4)的两端分别固定在所述第一凸起(10)和第二凸起(11)上;所述高压电极(2)的两端贯穿所述第一凸起(10)和第二凸起(11)分别与第一盖板(6)和第二盖板(8)密封连接。

5. 一种有机废水的处理装置,其特征在于,包括风机(15)、权利要求1~4任一项所述的脉冲放电等离子体反应器(16)、流体接触塔(17)和污水静置装置(19);所述风机(15)的出口与所述脉冲放电等离子体反应器的进气口相连通;所述脉冲放电等离子体反应器的出气口与所述流体接触塔的进气口相连通;所述流体接触塔的进水口与所述污水静置装置的出水口相连通。

6. 根据权利要求5所述的处理装置,其特征在于,所述流体接触塔(17)的内部还设置有光催化剂。

7. 根据权利要求6所述的处理装置,其特征在于,所述脉冲放电等离子体反应器(16)设置于所述流体接触塔(17)的内部,所述光催化剂分布在所述脉冲放电等离子体反应器(16)的周围。

8. 根据权利要求5所述的处理装置,其特征在于,还包括设置于所述流体接触塔(17)和污水静置装置(19)之间的水泵(20)。

9. 基于权利要求5~8任一项所述处理装置的有机废水处理方法,包括以下步骤:

利用风机将空气通入所述脉冲放电等离子体反应器中,产生臭氧和紫外光;  
将待处理有机废水输送至污水静置装置中,进行静置,得到上层清液和下层固液混合物;

将所述臭氧和上层清液通入流体接触塔中进行混合,降解有机污染物,得到出水。

10. 根据权利要求9所述的有机废水处理方法,其特征在于,所述臭氧的流量为4500~5500mg/h,所述上层清液的流量为800~1500kg/h。

## 一种脉冲放电等离子体反应器和有机废水的处理装置以及处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及工业废水处理技术领域,具体涉及一种脉冲放电等离子体反应器和有机废水的处理装置以及处理方法。

### 背景技术

[0002] 焦化废水是一种公认的难以降解的工业废水,废水中污染物种类多,浓度高,废水的成分复杂,主要有酚、氰化物、氨氮、有机盐、芳烃、有机油及硫化物等,特别是酚类物及氰化物对人体及生物体具有毒害作用,这些成分如果未经处理或处理不当排出,将对水体产生严重污染。近年来我国围绕焦化废水的处理开展了大量研究工作,焦化企业也采取了多种处理工艺,如生物处理法、物理处理法、化学处理法、生物-化学联合法等,但目前采用的处理技术尚有很大的局限性,处理效果仍不理想,处理成本较高。

[0003] 等离子体技术是一种兼具快速处理和绿色处理的水处理技术,被认为是最具有前景的高级氧化技术之一。等离子体放电可以产生不同形式的物理和化学反应,能够产生一些氧化性粒子,包括活性自由基(氢自由基、氧自由基、羟基自由基等),氧化性分子(过氧化氢、臭氧等)以及紫外光等。等离子体水处理技术,包括了高级氧化技术中的各种类型的氧化作用,如臭氧氧化作用,紫外光协同催化的氧化作用和热解作用等,是一种综合性的实用性强的环境友好型水处理技术。目前,国内外关于运用放电等离子体处理有机废水的研究非常多,但大部分研究只局限于实验室范围内,反应器容量和污水处理量达不到工业化的要求。如:普通的高频交流电源会使放电等离子体反应器发热严重,电源的能量效率低,电源的带载能力不强,无法驱动大容量的负载。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种脉冲放电等离子体反应器和有机废水的处理装置以及处理方法,本发明提供的脉冲放电等离子体反应器热损耗低,发热量小,反应器的运行温度升高小,能在实际污水处理过程中,连续长时间运行,能够满足工业化污水处理需求。

[0005] 为了实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0006] 本发明提供了一种脉冲放电等离子体反应器,包括石英玻璃套管1、微秒级高压脉冲电源5和密封框架;所述石英玻璃套管1的内部设置有高压电极2、包覆在所述高压电极2外表面的陶瓷套管3以及缠绕在所述陶瓷套管3外表面的弹簧低压电极4;所述高压电极2与所述微秒级高压脉冲电源5的高压端电连接,所述弹簧低压电极4与所述微秒级高压脉冲电源5的低压端电连接;

[0007] 所述密封框架包括第一密封框架和第二密封框架,所述第一密封框架包括第一盖板6和设置在所述第一盖板6上的第一筒体7,所述第二密封框架包括第二盖板8和设置在所述第二盖板8上的第二筒体9;所述第一筒体7和第二筒体9的内径与所述石英玻璃套管1的内径相同;所述第一筒体7和第二筒体9的中轴线与所述石英玻璃套管1的中轴线重合;

[0008] 所述石英玻璃套管1的一端与所述第一筒体7的开口端密封连接,另一端与所述第二筒体9的开口端密封连接;

[0009] 所述高压电极2的两端分别穿出第一密封框架和第二密封框架,所述高压电极2的一端与所述第一盖板6密封连接,另一端与所述第二盖板8密封连接;

[0010] 所述第一筒体7的筒壁上设置有进气口13;所述第二筒体9的筒壁上设置有出气口14。

[0011] 优选地,所述高压电极2为双头螺栓高压电极2。

[0012] 优选地,所述脉冲放电等离子体反应器还包括固定螺母12,所述双头螺栓高压电极2与所述第一盖板6和第二盖板8分别通过固定螺母12密封连接。

[0013] 优选地,所述第一盖板6上还设置有第一凸起10,所述第二盖板8上还设置有第二凸起11,所述陶瓷套管3的两端分别固定在所述第一凸起10和第二凸起11上;所述弹簧低压电极4的两端分别固定在所述第一凸起10和第二凸起11上;所述高压电极2的两端贯穿所述第一凸起10和第二凸起11分别与第一盖板6和第二盖板8密封连接。

[0014] 本发明提供了一种有机废水的处理装置,包括风机15、上述技术方案所述的脉冲放电等离子体反应器16、流体接触塔17和污水静置装置19;所述风机15的出口与所述脉冲放电等离子体反应器的进气口相连通;所述脉冲放电等离子体反应器的出气口与所述流体接触塔的进气口相连通;所述流体接触塔的进水口与所述污水静置装置的出水口相连通。

[0015] 优选地,所述流体接触塔17的内部还设置有光催化剂。

[0016] 优选地,所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的内部,所述光催化剂分布在所述脉冲放电等离子体反应器16的周围。

[0017] 优选地,所述处理装置还包括设置于所述流体接触塔17和污水静置装置19之间的水泵20。

[0018] 本发明还提供了基于上述技术方案所述处理装置的有机废水处理方法,包括以下步骤:

[0019] 利用风机将空气通入所述脉冲放电等离子体反应器中,产生臭氧和紫外光;

[0020] 将待处理有机废水输送至污水静置装置中,进行静置,得到上层清液和下层固液混合物;

[0021] 将所述臭氧和上层清液通入流体接触塔中进行混合,降解有机污染物,得到出水。

[0022] 优选地,所述臭氧的流量为4500~5500mg/h,所述上层清液的流量为800~1500kg/h。

[0023] 本发明提供的脉冲放电等离子体反应器,包括石英玻璃套管、微秒级高压脉冲电源和密封框架。在本发明中,高压电极与微秒级高压脉冲电源的高压端相连接,弹簧低压电极与微秒级高压脉冲电源的低压端相连接,陶瓷套管作为介质阻挡放电的介质层,微秒级高压脉冲电源提供的微秒级高压脉冲能够使弹簧低压电极与陶瓷套管之间产生介质阻挡放电等离子体和紫外光;放电等离子体能够产生大量的活性微粒,包括:电子,正离子 $O^+$ 、 $O^2+$ ,负离子 $O^-$ 、 $O^{2-}$ 、 $O^{3-}$ ,基态微粒和激发态微粒等,这些活性微粒在石英玻璃套管内进行一系列反应后产生臭氧;将放电等离子体产生的臭氧通入有机废水中,臭氧能够与水分子反应产生羟基自由基,羟基自由基具有极强氧化性,在有机污染物处理过程中起关键性的作用,如羟基自由基作用在烯烃和芳香烃类有机化合物上时,会破坏C-C键,形成C-OH键,使得有

机物结构被破坏,使污染物分子随之被氧化降解。本发明采用微秒级高压脉冲电源,电源能量效率高,热损耗低,发热量小,反应器的运行温度升高小,能在实际的污水处理场景下,连续长时间运行。另外,本发明利用密封框架,使得反应器中除进气口和出气口之外的部位密封良好,反应器可以浸入废水之中,由于石英玻璃套管能够让紫外光透过,紫外光可以作用于光催化剂来催化有机污染物降解,提高废水处理效率。

[0024] 根据本发明的以上特点,本发明提供的脉冲放电等离子体反应器可多级并联组成臭氧发生阵列,可以扩大单位时间内臭氧的生产量,从而提高污水的处理量,进而满足工业上有机污水的处理需求。

### 附图说明

[0025] 图1为本发明实施例1采用的脉冲放电等离子体反应器的结构示意图;

[0026] 图2为本发明实施例2采用的有机废水处理装置的结构示意图;

[0027] 图3为本发明实施例3采用的有机废水处理装置的结构示意图;

[0028] 图4为本发明实施例3甲基橙去除效果图;

[0029] 其中,1为石英玻璃套管,2为高压电极,3为陶瓷套管,4为弹簧低压电极,5为微秒级高压脉冲电源,6为第一盖板,7为第一筒体,8为第二盖板,9为第二筒体,10为第一凸起,11为第二凸起,12为固定螺母,13为进气口,14为出气口;

[0030] 15为风机,16为脉冲放电等离子体反应器,17为流体接触塔,18为出水口,19为污水静置装置,20为水泵。

### 具体实施方式

[0031] 本发明提供了一种脉冲放电等离子体反应器,包括石英玻璃套管1、微秒级高压脉冲电源5和密封框架;所述石英玻璃套管1的内部设置有高压电极2、包覆在所述高压电极2外表面的陶瓷套管3以及缠绕在所述陶瓷套管3外表面的弹簧低压电极4;所述高压电极2与所述微秒级高压脉冲电源5的高压端电连接,所述弹簧低压电极4与所述微秒级高压脉冲电源5的低压端电连接;所述密封框架包括第一密封框架和第二密封框架,所述第一密封框架包括第一盖板6和设置在所述第一盖板6上的第一筒体7,所述第二密封框架包括第二盖板8和设置在所述第二盖板8上的第二筒体9;所述第一筒体7和第二筒体9的内径与所述石英玻璃套管1的内径相同;所述第一筒体7和第二筒体9的中轴线与所述石英玻璃套管1的中轴线重合;所述石英玻璃套管1的一端与所述第一筒体7的开口端密封连接,另一端与所述第二筒体9的开口端密封连接;所述高压电极2的两端分别穿出第一密封框架和第二密封框架,所述高压电极2的一端与所述第一盖板6密封连接,另一端与所述第二盖板8密封连接;所述第一筒体7的筒壁上设置有进气口13;所述第二筒体9的筒壁上设置有出气口14。

[0032] 本发明提供的脉冲放电等离子体反应器包括石英玻璃套管1和微秒级高压脉冲电源5,所述石英玻璃套管1的两端开口,所述石英玻璃套管1的内部设置有高压电极2、包覆在所述高压电极2外表面的陶瓷套管3以及缠绕在所述陶瓷套管3外表面的弹簧低压电极4;所述高压电极2与所述微秒级高压脉冲电源5的高压端相连接,所述弹簧低压电极4与所述微秒级高压脉冲电源5的低压端相连接。本发明利用石英玻璃套管1和微秒级高压脉冲电源5产生臭氧和紫外光。

[0033] 本发明对所述石英玻璃套管1,以及设置于所述石英玻璃套管1内的高压电极2、陶瓷套管3和弹簧低压电极4的具体尺寸没有特殊要求,采用本领域技术人员所熟知的产品且能够满足上述位置关系即可。在本发明的具体实施例中,所述石英玻璃套管1的内径为20mm,外径为24mm,长度为560mm;所述高压电极2的直径为5mm;所述陶瓷套管3的内径为5mm,外径为10mm,长度为500mm。

[0034] 在本发明中,所述高压电极2优选为双头螺栓高压电极。在本发明中,所述高压电极2的直径与所述陶瓷套管3的内径相匹配,能够使得高压电极2与陶瓷套管3紧密配合。作为本发明的一个实施例,所述弹簧低压电极4用绝缘导线螺旋缠绕在所述陶瓷套管3的外表面;所述绝缘导线的直径优选为1mm;所述螺旋缠绕的螺距优选为5mm。本发明采用弹簧电极作为低压电极,相比于常规的同轴电极更容易产生微放电,又能增加微放电的有效面积,使整个被弹簧电极缠绕的陶瓷套管3外壁都能产生微放电。

[0035] 在本发明中,所述微秒级高压脉冲电源5的充电电压优选为3~3.5kV,频率优选为100~500Hz,更优选为200Hz。

[0036] 作为本发明的一个实施例,本发明使用双头螺栓做高压电极,高压电极2外层覆盖陶瓷套管3做介质阻挡放电的介质层,陶瓷套管3外缠绕弹簧电极做低压电极,利用微秒级高压脉冲电源5在弹簧电极上施加微秒级高压脉冲可以使弹簧低压电极4与陶瓷套管3之间产生微放电通道,从而在外层石英玻璃套管1内产生臭氧等活性自由基和紫外光。

[0037] 本发明提供的脉冲放电等离子体反应器还包括密封框架,用于密封石英玻璃套管1的两端,并在所述石英玻璃套管1和陶瓷套管3之间形成气路通路。在本发明中,所述密封框架包括第一密封框架和第二密封框架,所述第一密封框架包括第一盖板6和设置在所述第一盖板6上的第一筒体7,所述第二密封框架包括第二盖板8和设置在所述第二盖板8上的第二筒体9;所述第一筒体7和第二筒体9的内径与所述石英玻璃套管1的内径相同;所述第一筒体7和第二筒体9的中轴线与所述石英玻璃套管1的中轴线重合;所述石英玻璃套管1的一端与所述第一筒体7的开口端密封连接,另一端与所述第二筒体9的开口端密封连接;所述高压电极2的两端分别穿出第一密封框架和第二密封框架,所述高压电极2的一端与所述第一盖板6密封连接,另一端与所述第二盖板8密封连接;所述第一筒体7的筒壁上设置有进气口13;所述第二筒体9的筒壁上设置有出气口14。本发明利用进气口13通入空气,利用出气口14输出石英玻璃套管1内产生的臭氧。

[0038] 在本发明中,所述石英玻璃套管1与所述第一筒体7和第二筒体9的连接方式优选为密封胶连接。在本发明中,所述第一筒体7和第二筒体9的高度优选为30mm。在本发明中,所述密封框架的材质优选为聚氯乙烯。

[0039] 作为本发明的一个实施例,当所述高压电极2为双头螺栓高压电极时,所述脉冲放电等离子体反应器16还包括固定螺母12,所述双头螺栓高压电极2与所述第一盖板6和第二盖板8分别通过固定螺母12密封连接。

[0040] 作为本发明的一个实施例,所述第一盖板6上还设置有第一凸起10,所述第二盖板8上还设置有第二凸起11,所述陶瓷套管3的两端分别固定在所述第一凸起10和第二凸起11上;所述弹簧低压电极4的两端分别固定在所述第一凸起10和第二凸起11上;所述高压电极2的两端贯穿所述第一凸起10和第二凸起11分别与第一盖板6和第二盖板8密封连接。作为本发明的一个实施例,所述陶瓷套管3与所述第一凸起10和第二凸起11的固定方式为密封

胶固定;所述弹簧低压电极4与所述第一凸起10和第二凸起11的固定方式为密封胶固定。

[0041] 本发明还提供了一种有机废水的处理装置,包括风机15、上述技术方案所述的脉冲放电等离子体反应器16、流体接触塔17和污水静置装置19;所述风机15的出口与所述脉冲放电等离子体反应器的进气口相连通;所述脉冲放电等离子体反应器的出气口与所述流体接触塔的进气口相连通;所述流体接触塔的进水口与所述污水静置装置的出水口相连通。在本发明中,所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的外部或设置于所述流体接触塔17的内部。

[0042] 本发明提供的有机废水处理装置包括风机15,用于向脉冲放电等离子体反应器16中通入空气,将脉冲放电等离子体反应器16产生的臭氧输送至流体接触塔17的废水中。本发明对所述风机的具体结构和性能参数没有特殊的要求,采用本领域技术人员所熟知的风机即可。

[0043] 本发明提供的有机废水处理装置包括进气口与所述风机15的出口相连通的上述技术方案所述的脉冲放电等离子体反应器16,用于产生臭氧和紫外光,所述脉冲放电等离子体反应器16的具体结构见前文所述。

[0044] 本发明提供的有机废水处理装置包括进气口与所述脉冲放电等离子体反应器的出气口相连通的流体接触塔17,为降解有机废水提供反应场所。

[0045] 作为本发明的一个实施例,所述有机废水处理装置包括若干个所述脉冲放电等离子体反应器,多个脉冲放电等离子体反应器优选通过并联连接,组成臭氧发生阵列,可以扩大单位时间内臭氧的生产量,从而提高污水的处理量,进而满足工业上有机污水的处理需求。

[0046] 作为本发明的一个实施例,所述流体接触塔17的内部还设置有光催化剂,利用紫外光在光催化剂表面产生的光致空穴的强氧化性,提高有机污染物的降解效率。本发明对所述光催化剂的具体组成和结构没有特殊要求,采用本领域常规的用于降解有机污染物的光催化剂即可。

[0047] 作为本发明的一个实施例,所述流体接触塔17还设置有出水口18,所述出水口18优选设置于所述流体接触塔17的下部侧壁上,用于排出净化后的水。

[0048] 在本发明中,所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的外部或设置于所述流体接触塔17的内部。作为本发明的一个实施例,当所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的外部时,所述脉冲放电等离子体反应器的出气口14与所述流体接触塔17的底部相连通,由所述流体接触塔17的底部通入臭氧,由所述流体接触塔17的顶部通入有机废水,能够提高臭氧与有机废水的接触面积,提高降解效率。

[0049] 作为本发明的一个实施例,当所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的内部时,所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的底部;所述光催化剂分布在所述脉冲放电等离子体反应器16的周围,能够充分利用脉冲放电等离子体反应器16产生的紫外光提高光催化剂的催化效果。

[0050] 本发明提供的有机废水处理装置还包括污水静置装置19,用于盛装有机废水,通过静置能够将有机废水颗粒物沉淀,从而得到待处理的上层清液。在本发明中,所述污水静置装置的出水口与所述流体接触塔17的进水口相连通。作为本发明的一个实施例,所述污水静置装置的出水口设置于所述污水静置装置的顶部;所述流体接触塔的进水口设置于所

述流体接触塔的顶部。

[0051] 作为本发明的一个实施例,所述有机废水处理装置还包括设置于所述流体接触塔17和污水静置装置19之间的水泵20,用于将有机废水由污水静置装置19输送至流体接触塔17内。

[0052] 本发明还提供了基于上述技术方案所述处理装置的有机废水处理方法,包括以下步骤:

[0053] 利用风机将空气通入所述脉冲放电等离子体反应器中,产生臭氧和紫外光;

[0054] 将待处理有机废水输送至污水静置装置中,进行静置,得到上层清液和下层固液混合物;

[0055] 将所述臭氧和上层清液通入流体接触塔中进行混合,降解有机污染物,得到出水。

[0056] 本发明利用风机将空气通入所述脉冲放电等离子体反应器中,产生臭氧和紫外光。在本发明中,所述空气的流量优选为30~40L/min,更优选为38L/min;所述臭氧的浓度优选为2~3mg/L,更优选为2.2mg/L。

[0057] 本发明将待处理有机废水输送至污水静置装置中,进行静置,得到上层清液和下层固液混合物。在本发明中,所述有机废水具体指甲基橙水溶液或焦化厂废水。在本发明中,所述待处理有机废水的浓度优选在1000mg/L以上。在本发明中,所述静置的时间优选为0.5~1.5h,更优选为1h。在本发明中,通过静置得到的下层固液混合物的处理方式优选为过滤,将过滤得到的上清液继续进行降解。

[0058] 得到臭氧和上层清液后,本发明将所述臭氧和上层清液通入流体接触塔中进行混合,降解有机污染物,得到出水。

[0059] 在本发明中,所述臭氧的流量优选为4500~5500mg/h,更优选为5000mg/h;所述上层清液的流量优选为800~1500kg/h,更优选为1000kg/h。

[0060] 在本发明中,当所述脉冲放电等离子体反应器设置于所述流体接触塔的外部时,所述臭氧和上层清液的混合方式优选为:将所述臭氧由流体接触塔的底部通入,所述上层清液由所述流体接触塔的顶部通入,所述臭氧和上层清液对流充分混合。在本发明的具体实施例中,所述曝气板放置在流体接触塔的底部或上部,当所述曝气板放置在底部时为充分曝气条件,当所述曝气板设置在流体接触塔的上部时为表面曝气条件。

[0061] 当所述脉冲放电等离子体反应器设置于所述流体接触塔的内部时,所述臭氧和上层清液的混合方式优选为曝气,具体优选为将得到的臭氧通过曝气板与上层清液混合。

[0062] 作为本发明的一个实施例,当所述脉冲放电等离子体反应器设置于所述流体接触塔的内部,所述流体接触塔的内部还设置有光催化剂时,在臭氧降解有机污染物的同时,紫外光协同光催化剂降解有机污染物能够进一步提升有机污染物的降解速率。在本发明中,所述降解的时间优选为0.5~1.5h,更优选为1h。

[0063] 在本发明中,所述出水能够达到《城市污水再生利用工业用水水质》(GB/T19923—2005)的回用水标准,具体为化学需氧量(COD)  $\leq$  50mg/L。

[0064] 本发明利用脉冲放电等离子体反应器产生的臭氧和紫外光对有机废水中的有机污染物进行降解,提高了有机污染物的降解速率,降低了高浓度有机废水的处理成本。

[0065] 下面将结合本发明中的实施例,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实

施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

#### [0066] 实施例1

[0067] 本实施例采用如图1所示的脉冲放电等离子体反应器,由石英玻璃套管1、微秒级高压脉冲电源5和密封框架组成;所述石英玻璃套管1的内部设置有双头螺栓高压电极2、包覆在所述双头螺栓高压电极2外表面的陶瓷套管3以及缠绕在所述陶瓷套管3外表面的弹簧低压电极4;所述双头螺栓高压电极2与所述微秒级高压脉冲电源5的高压端相连接,所述弹簧低压电极4与所述微秒级高压脉冲电源5的低压端相连接;所述密封框架由第一密封框架和第二密封框架组成,所述第一密封框架由第一盖板6、设置在所述第一盖板6上的第一筒体7和第一凸起10组成,所述第二密封框架由第二盖板8、设置在所述第二盖板8上的第二筒体9和第二凸起11组成;所述第一筒体7和第二筒体9的内径与所述石英玻璃套管1的内径相同;所述第一筒体7和第二筒体9的中轴线与所述石英玻璃套管1的中轴线重合;所述石英玻璃套管1的一端与所述第一筒体7的开口端密封连接,另一端与所述第二筒体9的开口端密封连接;所述双头螺栓高压电极2的两端贯穿所述第一凸起10和第二凸起11分别与第一盖板6和第二盖板8通过固定螺母12密封连接;所述陶瓷套管3的两端分别固定在所述第一凸起10和第二凸起11上;所述弹簧低压电极4的两端分别固定在所述第一凸起10和第二凸起11上;所述第一筒体7的筒壁上设置有进气口13;所述第二筒体9的筒壁上设置有出气口14;

[0068] 所述石英玻璃套管1的内径为20mm,外径为24mm,长度为560mm;所述双头螺栓高压电极2的直径为5mm;所述陶瓷套管3的内径为5mm,外径为10mm,长度为500mm;所述弹簧低压电极4用直径为1mm的绝缘导线螺旋缠绕在所述陶瓷套管3的外表面,螺距为5mm。

#### [0069] 实施例2

[0070] 本实施例采用的有机废水处理装置如图2所示,由风机15、实施例1的脉冲放电等离子体反应器16、流体接触塔17、水泵20和污水静置装置19组成,所述风机15的出口与所述脉冲放电等离子体反应器16的进气口相连通;所述脉冲放电等离子体反应器16的出气口与所述流体接触塔17的进气口相连通;所述流体接触塔17的进水口与所述污水静置装置19的出水口相连通;所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的外部;所述水泵20设置于所述流体接触塔17和污水静置装置19之间,用于将污水静置装置19内的上层清液输送至所述流体接触塔17内;所述流体接触塔17内设置有光催化剂 $TiO_2$ ;所述流体接触塔的下部侧壁设置有出水口18;

[0071] 设置微秒级高压脉冲电源5的充电电压为3kV或3.5kV,频率为200Hz,风机15将空气由进气口13通入脉冲放电等离子体反应器16中,微秒级高压脉冲电源5使弹簧低压电极4与陶瓷套管3之间产生介质阻挡放电等离子体和紫外光,产生臭氧;产生的臭氧经出气口14进入所述流体接触塔17内的曝气板;曝气板分别放置在流体接触塔17的底部和上部,曝气板放置在底部时为充分曝气条件,放置在上部时为表面曝气条件;

[0072] 浓度为1000mg/L的甲基橙水溶液先在污水静置装置19中静置1h,得到上层清液和下层固液混合物;利用水泵20将所述上层清液输送至所述流体接触塔17内,由流体接触塔17的顶部进入,与底部通入的臭氧充分接触,臭氧对甲基橙水溶液中的甲基橙进行降解50min,对处理的水样每隔10min取样,测定甲基橙去除率,所得结果见图4。

[0073] 由图4可以看出,在充分曝气,充电电压3.5kV,重复频率200Hz的情况下,甲基橙的

降解效果最好;36mg/L的甲基橙溶液处理10min后,去除率为97.17%;3.5kV的充电电压比3kV的充电电压的降解效果好,但是并没有有明显的提升;10min的降解率都在90%以上;曝气的充分程度对甲基橙的降解效果影响很大;要达到97%的降解效率,充分曝气只需要10min,而表面曝气需要至少30min。

#### [0074] 实施例3

[0075] 本实施例采用的有机废水处理装置如图3所示,由风机15、实施例1的脉冲放电等离子体反应器16、流体接触塔17、水泵20和污水静置装置19组成,所述风机15的出口与所述脉冲放电等离子体反应器16的进气口13相连通;所述脉冲放电等离子体反应器16设置于所述流体接触塔17的内部,光催化剂TiO<sub>2</sub>分布在所述脉冲放电等离子体反应器16的周围;所述流体接触塔17的进水口与所述污水静置装置19的出水口相连通;所述水泵20设置于所述流体接触塔17和污水静置装置19之间,用于将污水静置装置19内的上层清液输送至所述流体接触塔17内;所述流体接触塔的下部侧壁设置有出水口18;

[0076] 设置微秒级高压脉冲电源5的充电电压为3kV或3.5kV,频率为200Hz,风机15将空气由进气口13通入脉冲放电等离子体反应器16中,微秒级高压脉冲电源5使弹簧低压电极4与陶瓷套管3之间产生介质阻挡放电等离子体和紫外光,产生臭氧;

[0077] 浓度为1000mg/L的甲基橙水溶液先在污水静置装置19中静置1h,得到上层清液和下层固液混合物;利用水泵20将所述上层清液输送至所述流体接触塔17内,由流体接触塔17的顶部进入;所述脉冲放电等离子体反应器16产生的臭氧经曝气板进入流体接触塔17,与上层清液充分接触,臭氧对甲基橙水溶液中的甲基橙进行降解,同时紫外光协同光催化剂降解甲基橙。

[0078] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

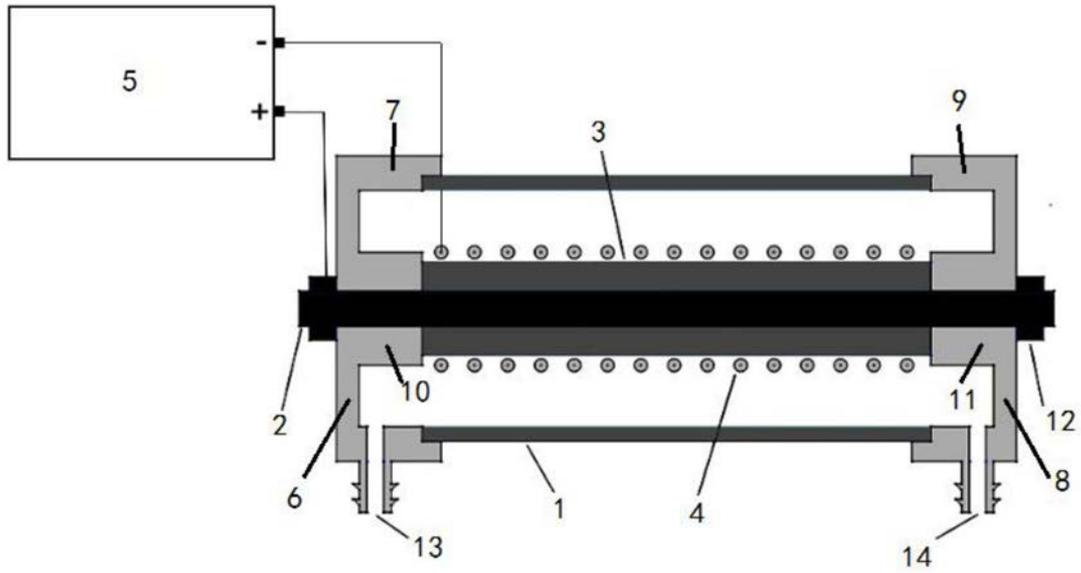


图1

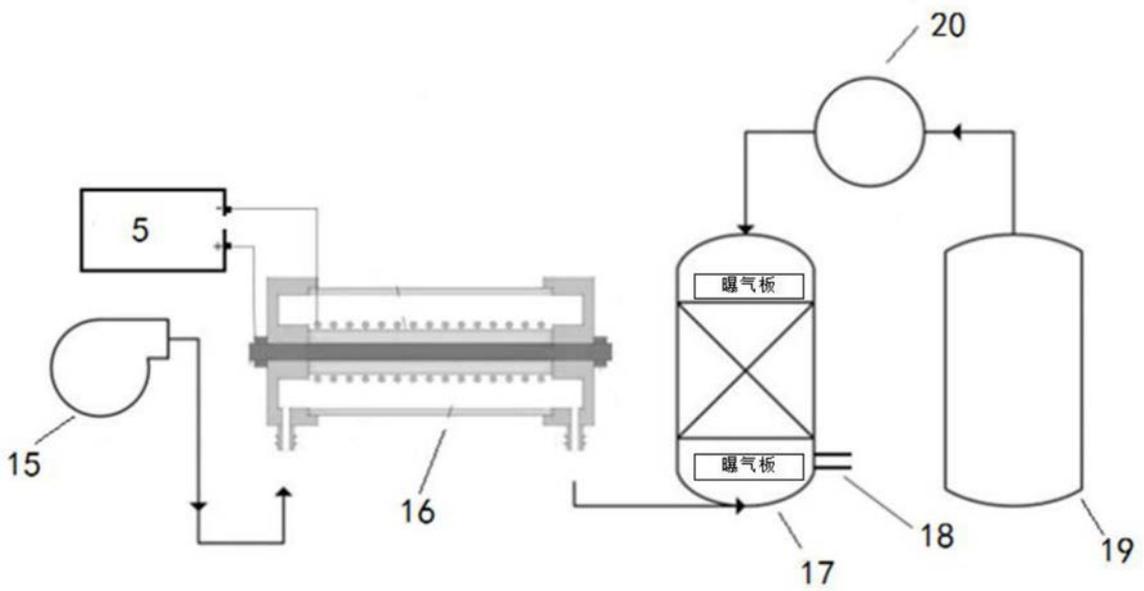


图2

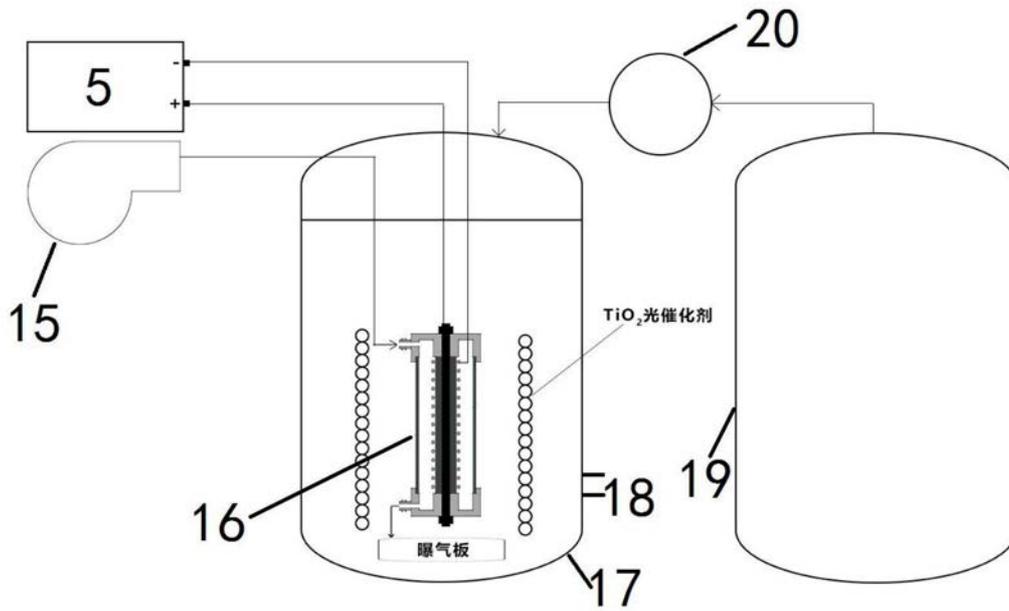


图3

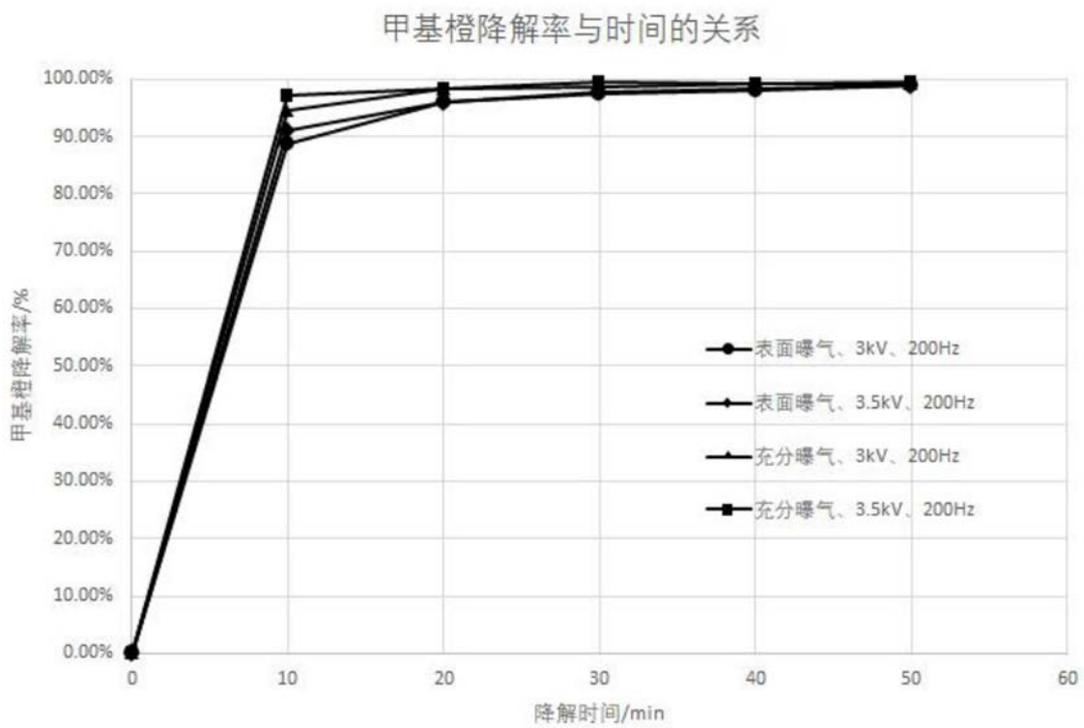


图4