



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103304038 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 04

(21) 申请号 201310177710. 7

(22) 申请日 2013. 05. 14

(73) 专利权人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路  
22 号

(72) 发明人 李正魁 叶忠香 张万广 刘丹丹  
华蓉 王晶晶 赵琳 周涛

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207  
代理人 胡锡瑜

(51) Int. Cl.

C02F 3/34(2006. 01)

C02F 1/467(2006. 01)

审查员 祁明亮

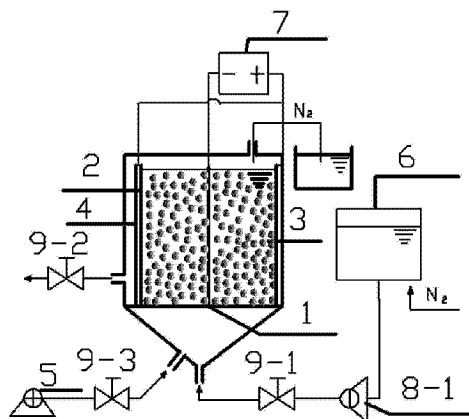
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

电化学-生物膜协同作用反应器及在含氮有机废水中的应用

(57) 摘要

本发明属于污水处理技术领域,具体涉及一种电化学-生物膜协同作用反应器及在含氮有机废水中的应用。反应器的主电极由一个石墨碳板负载金属铜钼阴极和两个钛铌钉稳态阳极组成,主电极间填充活性炭和相同粒径磁铁粒子的混合物,磁铁粒子和导电活性炭颗粒之间的比例在1:6—1:1之间,本发明是一种电流效率高,操作简单,兼具高效脱除硝氮,氨氮和COD的能力,且能耗维持在可接受水平的废水脱氮装置,该装置可有效降解含氮有机废水,并在含氮有机废水处理中得到应用。



1. 一种电化学-生物膜协同作用反应器,其特征是采用缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钯作为阴极,此电极板中钯占的质量分数为 30%~50%,金属铜钯用料比例 Cu: Pd = 7:3,铜钯涂层厚度为 2mm;采用稳态 DSA 类电极—Ti/IrO<sub>2</sub>-RuO<sub>2</sub> 电极作为阳极,构成反应器的主电极对;在两个主电极对中间填充活性炭和相同粒径的磁铁粒子,磁铁粒子与导电活性炭的比例范围为 1:6~1:1;向反应器中接种自养反硝化菌-脱氮副球菌,菌种负载在阴极电板的活性炭纤维上和填料中。

2. 根据权利要求 1 所述电化学-生物膜协同作用反应器的使用方法,其特征是由以下步骤构成:

1) 预处理活性炭,去除活性炭中的杂质,确保其在运行时不会产生“三氮”和有机物;

2) 组装反应器系统,插入主电极对,用导线将其分别与直流稳压电源的正负极相连,装填混合好的活性炭和磁铁粒子;

3) 微生物的驯化,将脱氮副球菌接种至反应器,开始模拟废水 C/N 比为 5,接通电源,初始电流大小为 5mA,三天换一次废水,C/N 比逐渐降低,电流大小逐渐升高,最终 C/N 比为 1,电流大小为 30mA;

4) 运行电化学-生物膜协同作用反应器系统,打开直流稳压电源,调节电压,使两个主电极获得所需的电极电势,并设置继电器,控制反应间歇时间;打开进水控制阀(9-1)和出水控制阀(9-2),开启蠕动泵(8-1),装置进水;进水是实验模拟废水或生活污水或工业废水,废水中硝氮含量范围在 20~100mg/L,氨氮含量范围在 10~60mg/L;当进水污染物浓度升高,导致处理后出水不达标时,则关闭进水控制阀(9-1)、出水控制阀(9-2)和蠕动泵(8-1),调节反应器相关操作参数,直至出水达标后恢复正常处理流程;

5) 填料的反冲洗,当反应器反应一段时间后,关闭进水控制阀(9-1),打开反冲洗控制阀(9-3),由空压机往反应器通入空气进行反冲洗,废液由出水控制阀(9-2)流出,待反冲洗完全后,恢复正常运行。

3. 权利要求 1 所述电化学-生物膜协同作用反应器在含氮有机废水处理或生活污水处理或工业废水处理中的应用。

## 电化学-生物膜协同作用反应器及在含氮有机废水中的应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于污水处理技术领域,具体涉及一种电化学-生物膜协同作用反应器及在含氮有机废水中的应用。

### 背景技术

[0002] 随着我国工农业的发展和居民生活水平的提高,含氮废水排放及农药化肥地表径流逐年增加,硝酸盐氮已成为水体的一种主要污染物。研究表明,使用高硝酸盐含量的饮用水,可导致婴儿血红蛋白增高,也可以引起成年人与此相关的癌病发生。目前,水体硝酸盐脱除的方法和工艺有膜技术、离子交换、生物膜技术、电化学脱氮等。

[0003] 电化学脱氮由于其脱氮效果好,没有二次污染,受到较多研究者的关注。电化学脱氮技术的研究主要有两个方向:(1)开发新的电极材料:具有较强氧化能力、尺寸和形状稳定的氧化物涂层电极(DSA)如Ti/IrO<sub>2</sub>, Ti/RuO<sub>2</sub>, Ti/PbO<sub>2</sub>, Ti/B DD等和还原硝氮能力的阴极如铜钨电极,铜锡电极,铜锌电极等(J. Trawczynski, 2011, Applied Catalysis A:Engracia Lacasa, 2012, Chemical Engineering Journal;张娜, 2012, 环境工程技术学报;王海燕, 2007, 环境科学学报;, 柳栋升, 2012, 环境工程学报;Yan henjing, 2013, Biotechnology and bioengineering;Fan nianwen, 2013, Chemical Engineering Journal;Mousavi, 2012, Bioresource technology. ),) (2)电化学反应器的开发:研究者对于电极材料的研究已经较为成熟,为了得到更好的处理效果,研究者对三维电极电化学反应器的研究和开发已经成为现在的研究重点。通过新的电极材料在新三维电极电化学反应器中的使用,填料的筛选,以及反应器的构型和运行方式的研究,最终开发出一系列的具有实际应用潜力的三维电极电化学反应器(徐丽娜, 2007, 应用基础与工程科学学报;张书廷, 2004, 天津大学学报;赖波, 2011, 发光学报;赵立功, 2010, 中国给水排水;张垒, 2012, 生态环境学报;薛松宇, 2005, 天津工业大学学报;Yingxin Zhao, 2011, Journal of Hazardous Materials;Qinghong Wang, 2009, Bioresource Technology. Peter Clauwaert, 2009, Biotechnology.) 范念文等人开发了一种复三维电极反应器,采用铜锌电极与Ti/IrO<sub>2</sub>-Pt电极构成反应器主电极对,主电极对之间填充活性炭,构成复三维电极反应器,取得了一定的去除COD和硝氮的效果(授权专利号,ZL201110007347.5)。

[0004] 另外,微生物法脱氮,由于其脱氮效果好,能耗低,并对COD有一定的脱除效果,也受到了较多研究者的关注。微生物脱氮技术的研究主要有两个方向:(1)异养反硝化:利用可生物降解的有机物(如甲醇、乙酸等)作为反硝化菌的碳源,利用硝酸根离子作为电子受体,将硝酸根离子还原为氮气,达到去除水体硝酸盐的目的。2011年清华大学王建龙、王旭明等人公开了一种同时去除地下水中硝酸盐与农药的反应器及方法。该发明以水不溶性的可生物降解聚合物同时作为反硝化微生物的碳源和生物膜载体,在反硝化脱氮的同时,依靠固体碳源的吸附浓缩作用,以及生物膜中微生物的降解作用,实现农药的去除。(专利名称:一种同时去除地下水中硝酸盐与农药的反应器及方法、专利申请号:

CN201110189336.3; ) 在微生物异养反硝化方面,南京农业大学的傅利剑等研究者进行了研究,(2005,农村生态环境;杨洋,2006,环境科学;罗国芝,2011,渔业现代化;罗启芳,2003,安全与环境学报;周海红,2006,清华大学学报;李魏,2008,环境科学;王旭明,2009,环境科学;徐金兰,2010,环境工程学报)。(2)自养反硝化:研究者利用二氧化碳、氢气和硫等等作为自养反硝化菌的无机碳源,自养反硝化菌利用氧化碳、氢气和硫等等作为电子供体,硝酸根作为电子受体,还原硝酸根为氮气。2010年,中山大学孟凡刚、周忠波等人发明公开了一种用于脱氮的膜生物反应器及其污水脱氮方法。该工艺在不额外投加碳源的情况下,利用高污泥浓度强化内源反硝化作用,实现深度脱氮处理过滤出水水质良好。(专利名称:一种用于脱氮的膜生物反应器及其污水脱氮方法,专利申请号:CN201010191422.3)。此类反应器脱氮速率较一般,异养反硝化方法产生较多的剩余污泥,产生二次污染,自养反硝化方法则对无机碳源(二氧化碳、氢气等)的存储有难度。研究者们利用自养反硝化方法不产生剩余污泥、不存在有机碳源投加量的问题等等优点,针对其无机碳源难以存储的缺陷进行了较多的改进。在自养反硝化脱氮方面,上海海洋大学的阮贇杰,(2009,农业工程学报;张少辉,2004,中国环境科学;张丽,2013,环境污染与防治;王海燕,2002,环境科学学报;范彬,2001,环境科学学报。)然而,微生物法脱氮的反应周期长,微生物负荷低,剩余污泥难以处理等缺陷限制了其进一步的发展以及实际应用的可能性,为了减少其反应周期和剩余污泥的排放,研究者开始改进微生物脱氮技术。

[0005] 目前,研究者通常将自养反硝化菌和三维电化学反应器结合组成 BER 反应系统,反应器中通常用石墨板作为主电极,活性炭作为填料,微生物负载在阴极和活性炭上,利用反应器的阴极产生的氢气、阳极产生的二氧化碳作为自养反硝化菌的电子供体,还原硝酸根为氮气,从而达到去除水体硝酸盐的目的。2011年,天津大学王灿季民等人设计了一种用于处理难降解化工废水的三维电极-生物膜反应器,利用此反应器进行污水处理时,对化工生产中不达标的二级出水进行深度处理,达到国家排放标准。(专利名称:一种用于处理难降解化工废水的三维电极-生物膜反应器,专利申请号:CN201120553397.9)。2011年,重庆大学陈猷鹏、方芳等人公开了一种三维电极生物膜反应器,该反应器阳极区域底部设有进水管,阴极区域设有出水管,出水管设于反应器本体上端外壁。同一电极生物膜反应器中,利用电化学反应作用创造微生物适宜的环境,并提供电子受体和电子供体分别进行硝化和反硝化作用,达到有效处理氨氮废水的目的,能耗低、效率高、结构简单,操作容易。(专利名称:一种三维电极生物膜反应器,专利申请号:CN201120466790.4),在这类反应器中,阳极的作用主要为产  $\text{CO}_2$ ,阴极作用主要为  $\text{H}_2$ ,以此为反应器中负载在填料上的自养反硝化细菌提供无机碳源和氢源。(姚静华,2012,中国给排水;姚静华,2012,环境科学学报;胡传侠,2008,环境科学与技术;郭劲松,2012,环境科学学报)然而,此类反应器单一利用了阴极、阳极的产氢产二氧化碳的能力,对三维电极-生物膜反应器中电极的氧化还原能力的利用和研究较少;并且,此类反应器用活性污泥筛选微生物,在反应器中容易引入其他菌种,对反应器的运行有消极影响

## 发明内容

[0006] 1. 本发明需要解决的问题

[0007] 本发明提供了一种电化学-生物膜协同作用反应器及在含氮有机废水中的应用,

针对传统三维电极-生物膜反应器仅仅利用电极产生  $H_2$  和  $CO_2$ , 而没有充分利用电极的直接氧化还原能力脱氮的缺陷, 在三维电极氧化反应器研究基础上, 通过引入新的电极对, 以缠绕了活性炭纤维的石墨碳板上负载金属铜钯电极为阴极, 钛铱钉稳态电极为阳极, 将脱氮副球菌负载在活性炭上, 制得生物活性炭, 然后将其作为此三维电极反应器的填料, 同时加入粒径大小类似的磁铁离子做绝缘颗粒, 反应器间歇式运行, 开发形成一种电流效率高、能耗低、氧化能力强、脱氮性能佳, 传质效果好、且操作简便、应用范围广的废水处理装置和工艺, 对含氮有机废水脱氮具有积极意义。

## [0008] 2. 本发明的技术方案

[0009] 本发明所述电化学-生物膜协同作用反应器由主电极对, 石墨板负载金属铜钯电极, 钛铱钉阳极, 活性炭填料和磁铁粒子, 溢流板, 空压机, 废水储罐, 直流稳压电源, 蠕动泵, 阀门构成。采用缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钯作为阴极, 此电极板中钯占的质量分数为 30% ~ 50%; 稳态 DSA 类电极-Ti/IrO<sub>2</sub>-RuO<sub>2</sub> 电极作为阳极, 构成反应器的主电极对, 在两个主电极对中间填充活性炭和相同粒径的磁铁粒子, 磁铁粒子与导电活性炭的比例范围为 1:6 ~ 1:1, 向反应器中接种自养反硝化菌-脱氮副球菌, 菌种负载在阴极电极的活性炭纤维上和填料中。

[0010] 本发明所述反应器池体为长方体, 尺寸为 12cm×10cm×11cm。一块缠绕活性炭纤维的铜钯阴极板置于池体中间, 两块钛铱钉阳极板分别置于池体两端, 与阳极间距均为 4cm, 阴阳极电极板尺寸均为 10cm×8cm×0.3cm, 通过导线分别与直流稳压电源 7 (电压: 0.0 ~ 30.0V; 电流: 0.00 ~ 5.00A) 的正负极相连, 主电极中间填充活性炭和磁铁粒子, 活性炭颗粒和磁铁粒子粒径为 2 ~ 3mm, 构成复三维电极电化学反应器的主体部分。反应器中设置溢流板, 溢流板高度低于池体 1cm, 当废水在池体主反应区反应后, 由溢流板溢出, 由出水口流入废水储罐。采用活性炭作为填料, 其中磁铁粒子和导电活性炭的比例范围为 1:6 ~ 1:1, 当反应器运行较长时间, 填料被堵塞时, 采用空压机压入空气反冲洗填料。反应器顶盖可揭开, 反应器运行前将顶盖揭开有利于反应器的组装及反应器组建如主电极, 填料的更换。顶盖上开孔, 反应器运行时, 顶盖固定, 有利于反应器生成气体如 N<sub>2</sub> 等的排出, 反冲洗时保证空气能顺利排出的同时又能保证一定的气体冲刷力。

[0011] 本发明所述电化学-生物膜协同作用反应器采用对废水脱氮转化率高、电流效率高、还原能力强的石墨碳板上负载金属铜钯电极(pd:cu=2), 阳极采用对 COD 氧化能力强、对氨氮选择性氧化高的 DSA 类电极-Ti/IrO<sub>2</sub>-RuO<sub>2</sub> 电极, 在阴极电板上缠绕活性炭纤维, 构成反应器的主电极对; 在两个电极板之间填充椰壳活性炭颗粒作为导电颗粒和粒径相当的磁铁粒子作为绝缘颗粒, 构造成复三维电极反应器。再将脱氮副球菌负载在活性炭上, 制得生物活性炭, 然后将其作为此三维电极反应器的填料, 同时加入粒径大小类似的磁铁粒子做绝缘颗粒最终构成三维电极-生物膜反应器。对反应器施加一定电压, 主电极阴极发生硝氮还原反应和产氢气反应, 将硝氮转化为氮气及少量的副产物氨氮; 阳极产生 OH· 等强氧化性物质; 负载在活性炭颗粒上的脱氮副球菌利用主电极阴极产生的 H<sub>2</sub>、活性炭颗粒氧化产生的 CO<sub>2</sub> 电子供体同步还原硝氮, 达到去除含氮有机废水的目的。

## [0012] 3. 本发明与现有技术相比, 其有益效果:

[0013] 1) 采用新的电极对。以石墨碳板负载金属铜钯电极为阴极, 钛铱钉稳态电极为阳极, 再与活性炭和磁铁粒子构造成三维电极反应器, 使反应器除了产生氢气和二氧化碳

为反应器中的自养反硝化菌提供电子供体,还充分利用了阴极高选择性地将硝氮还原为氮气、阳极将反应器中的氨氮氧化为氮气的能力,因而能显著增加反应器对硝酸盐氮等污染物质的联合处理能力。

[0014] 2) 运行方式采用间歇运行。(1)防止反应区出现离子浓度极化现象,使阴极板附近存在较多的硝酸根离子进行电化学还原和微生物还原,同时使氨根离子能够顺利地到达阳极被氧化为氮气,以此可以发挥电极板的阴极还原硝氮和阳极直接氧化氨氮的作用。(2)在反应器间歇期,微生物能够利用电解产生的氢气和二氧化碳作为电子供体进行脱氮作用。充分利用电极板的氧化还原能力,提高了脱氮效率,大大节约了能源。

[0015] 3) 反应器采用从下进水,上面出水的方式,废水在反应器内成上升流,与电极板以及负载在活性炭上的生物膜充分接触,待处理废水经反应区充分反应后,经溢流板溢流出反应区,经出水管流出,保证进入反应器的废水都经过全程充分处理得到排放。

[0016] 4) 选用脱氮副球菌能避免现有技术中杂菌的干扰,充分吸收反应器中产生的氢气用于硝氮的还原。

[0017] 5) 用磁铁粒子做为绝缘粒子。磁铁粒子产生磁场,对反应器中的离子的迁移有很大促进,并对微生物的活性有益,增强反应器的反应效果。

[0018] 6) 本发明所述电化学-生物膜反应器在含氮有机废水处理或生活污水处理或工业废水处理中得到广泛应用。

#### 附图说明

[0019] 图 1 电化学-生物膜反应器系统装置图

[0020] 1 主电极对(缠绕活性炭纤维铜钼阴极),2 钛铌钎阳极,3 活性炭填料和磁铁粒子,4 溢流板,5 空压机,6 废水储罐,7 直流稳压电源,8-1 蠕动泵,9-1,9-2,9-3。阀门

[0021] 图 2 实施例 1 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

[0022] 图 3 实施例 2 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

[0023] 图 4 实施例 3 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

[0024] 图 5 实施例 4 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

[0025] 图 6 实施例 5 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

[0026] 图 7 实施例 6 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

[0027] 图 8 实施例 7 实验室小试试验出水硝氮、氨氮、COD 随时间变化趋势图;

#### 具体实施方式:

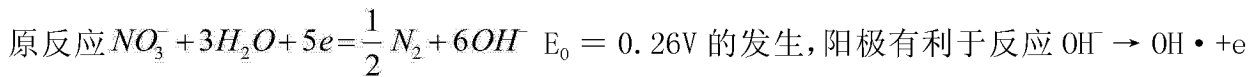
[0028] 1、本发明的使用方法:

[0029] 1) 预处理活性炭,去除活性炭中的杂质,尤其是确保其在运行时不会产生“三氮”和有机物。

[0030] 2) 组装反应器系统。步骤主要如下:插入主电极对,用导线将其分别与直流稳压电源的正负极相连,装填混合好的活性炭和磁铁粒子。

[0031] 3) 微生物的驯化。将脱氮副球菌接种至反应器,开始模拟废水 C/N 比为 5,接通电源,初始电流大小为 5mA,三天换一次废水,C/N 比逐渐降低,电流大小逐渐升高。最终 C/N 比为 1,电流大小为 30mA。

[0032] 4) 运行复三维电极反应器系统。打开直流稳压电源,调节电压,使两个主电极获得所需的电极电势,并设置继电器,控制反应间歇时间。阴极的电极电势有利于硝态氮还原反应



的发生,阳极有利于反应  $OH^- \rightarrow OH \cdot + e$  ( $OH \cdot$ 标准还原电极电势为 2.8v VS 甘汞电极(SHE))的发生。打开阀门 9-1,阀门 9-2 开启蠕动泵 8-1,进水,进水可以是实验模拟废水,生活污水和工业废水。废水中硝氮含量范围在 20 ~ 100mg/L,氨氮含量范围在 10 ~ 60mg/L。当进水污染物质浓度升高,导致处理后出水不达标时,则关闭阀门 1,2 和蠕动泵 8-1,调节反应器相关操作参数,直至出水达标后恢复正常处理流程。

[0033] 5) 填料的反冲洗。当反应器反应一段时间后,关闭阀门 9-1,打开阀门 9-3,由空压机 5 向反应器通入空气进行反冲洗,废液由阀门 9-2 流出,待反冲洗完全后,恢复正常使用。

[0034] 2、实施例:

[0035] 实施例 1

[0036] 以缠绕了活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,然后将比例为 1:6 的磁铁粒子与之混合均匀,再将含有硝氮浓度为 90mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为  $30mA/cm^2$ ,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处理效果如附图 2 所示,7 小时后出水硝氮浓度为 15mg/L,去除率为 83.3%。

[0037] 实施例 2

[0038] 以缠绕了活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,将比例为 1:5 的磁铁粒子与之混合均匀,将含有硝氮浓度为 60mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为  $30mA/cm^2$ ,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处理效果如附图 3 所示,7 小时后出水硝氮浓度为 10.5mg/L,去除率为 82.5%。

[0039] 实施例 3

[0040] 以缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,将比例为 1:4 的磁铁粒子与之混合均匀,将含有氨氮浓度为 30mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为  $30mA/cm^2$ ,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处理效果如附图 4 所示,7 小时后出水硝氮浓度为 7.5mg/L,去除率为 75%。

[0041] 实际例 4

[0042] 以缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,将比例为 1:3 的磁铁粒子与之混合均匀,将含有氨氮浓度为 60mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为  $30mA/cm^2$ ,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处

理效果如附图 5 所示,7 小时后出水硝氮浓度为 11.8mg/L,去除率为 80%。

[0043] 实际例 5

[0044] 以缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,将比例为 1:2 的磁铁粒子与之混合均匀,加入苯酚,COD 值为 120mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为 30mA/cm<sup>2</sup>,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处理效果如附图 6 所示,7 小时后出水硝氮浓度为 46.4mg/L,去除率为 63.5%。

[0045] 实际例 6

[0046] 以缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,将比例为 1:1 的磁铁粒子与之混合均匀,加入苯酚,COD 为 600mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为 30mA/cm<sup>2</sup>,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处理效果如附图 7 所示,7 小时后出水硝氮浓度为 90mg/L,去除率为 85%。

[0047] 实施例 7

[0048] 以缠绕活性炭纤维的石墨碳板负载金属铜钼电极为阴极,钛铌钉稳态电极为阳极,电极间距 3cm,以负载有脱氮副球菌的活性炭颗粒为填料,将比例为 1:1 的磁铁粒子与之混合均匀,加入苯酚,COD 值为 400mg/L,硝氮 50mg/L,氨氮浓度 20mg/L,pH 为 7.5 的模拟废水通过蠕动泵 10-1 由进水口进入反应器中,调节进水流量,使得水力停留时间为 7h,施加电流密度为 30mA/cm<sup>2</sup>,反应间歇时间 20 分钟,间歇时间和反应时间 1:1,按此循环处理,每隔 1h 取样测定出水硝氮浓度。处理效果如附图 8 所示,7 小时后出水 COD 浓度为 59.5mg/L,去除率为 85.1%,氨氮浓度为 1.9mg/L,去除率为 90%,硝氮浓度为 2.6mg/L,去除率为 94.8%。

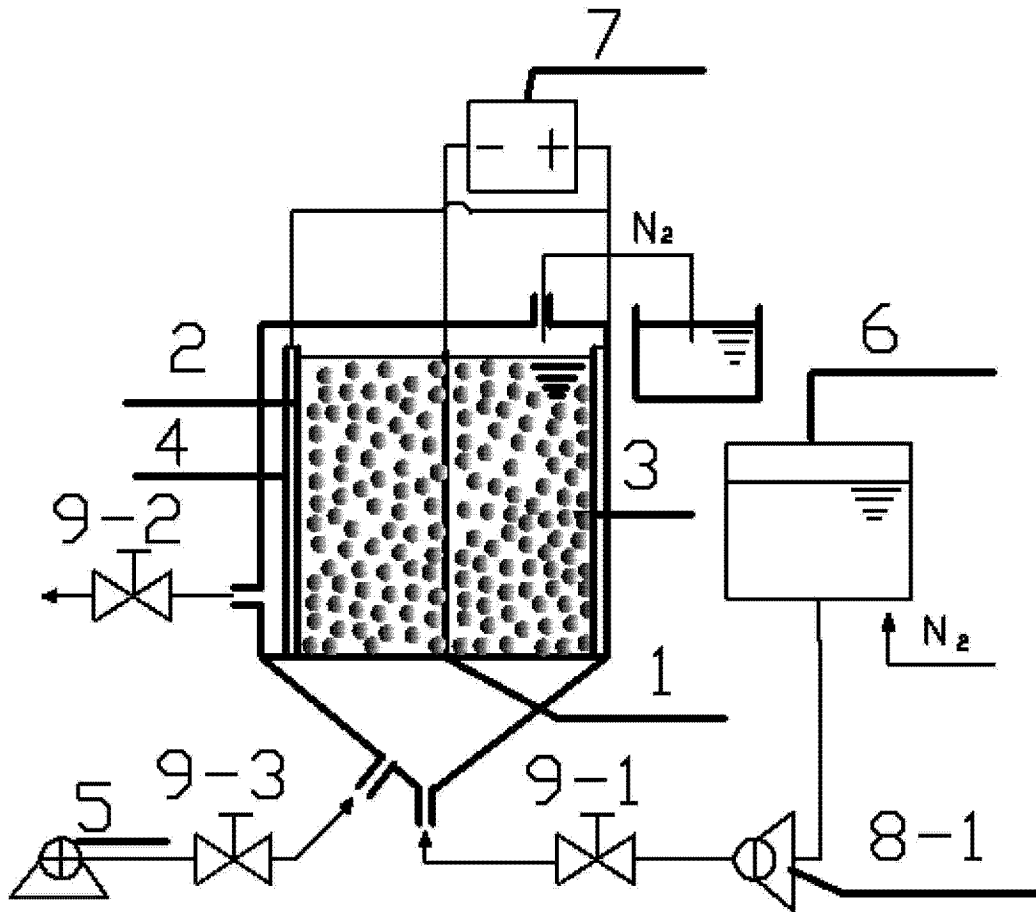


图 1

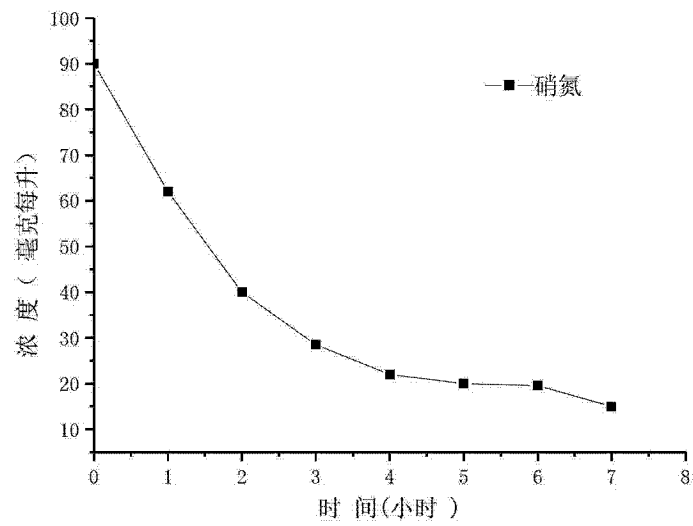


图 2

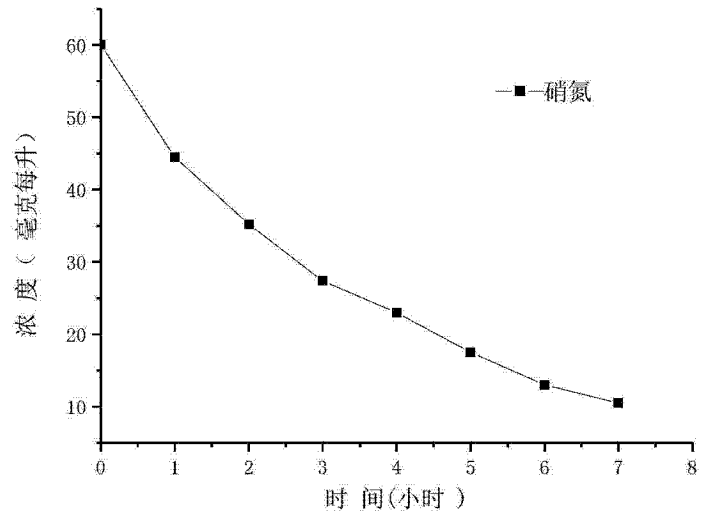


图 3

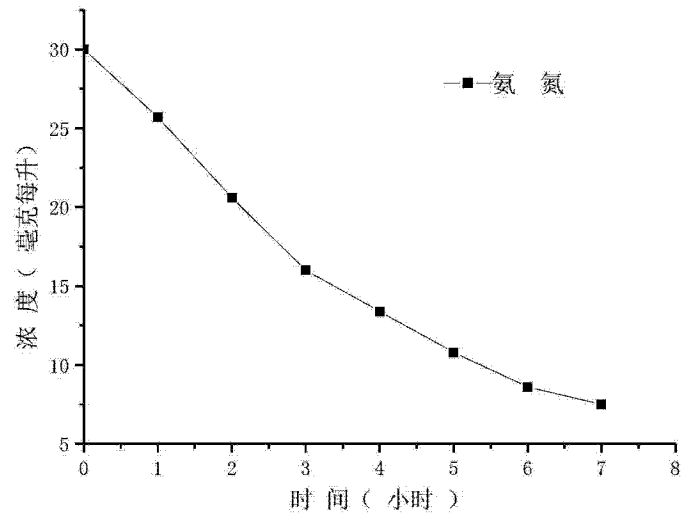


图 4

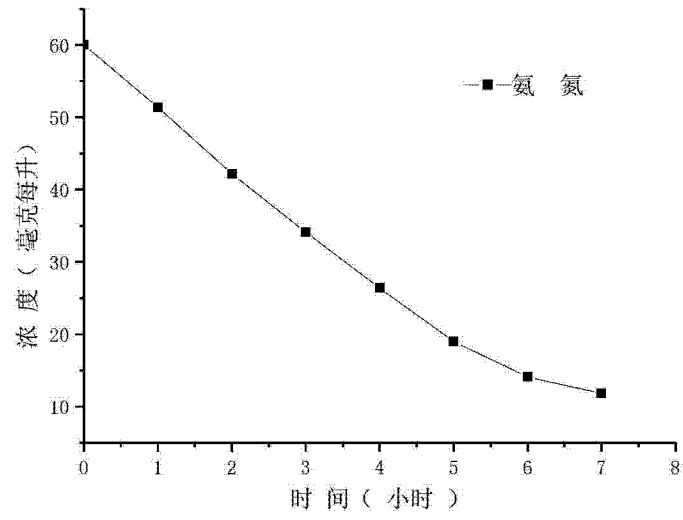


图 5

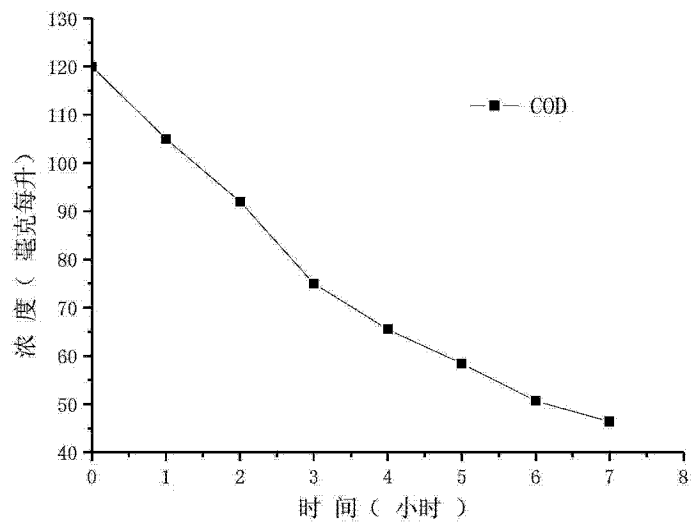


图 6

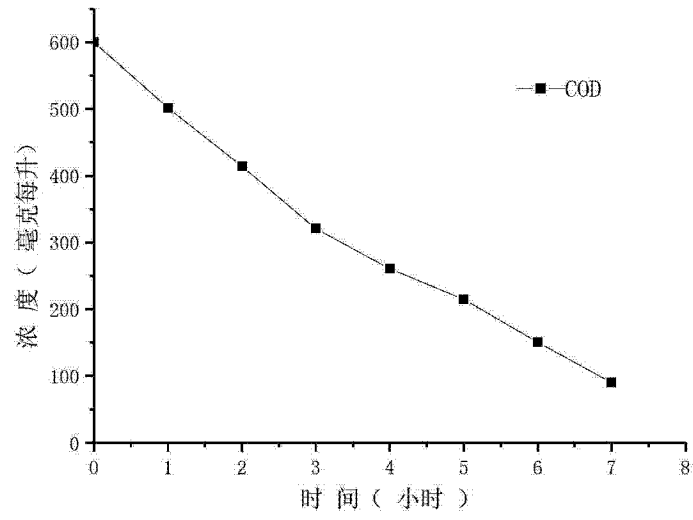


图 7

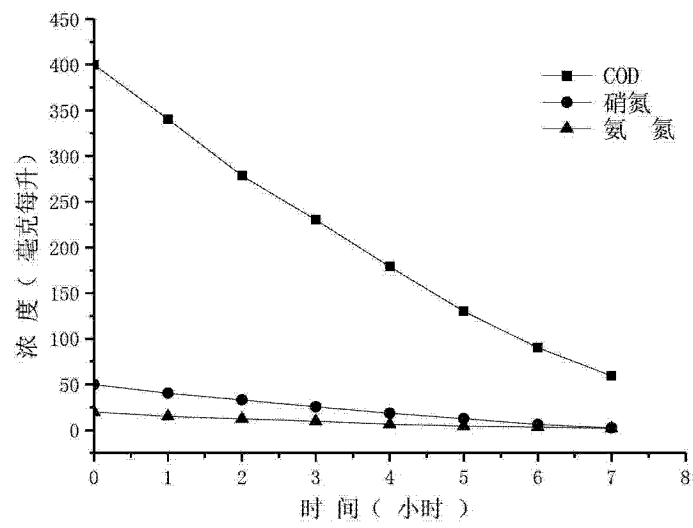


图 8