



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115677128 A

(43) 申请公布日 2023. 02. 03

(21) 申请号 202211418363.8

(22) 申请日 2022.11.14

(71) 申请人 中国科学院地球化学研究所
地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72) 发明人 廖鹏 谢世伟 李畅

(74) 专利代理机构 北京盛广信合知识产权代理有限公司 16117
专利代理师 刘化帅

(51) Int. Cl.

C02F 9/00 (2023.01)

C02F 1/463 (2006.01)

C02F 1/66 (2006.01)

C02F 1/72 (2006.01)

C02F 101/30 (2006.01)

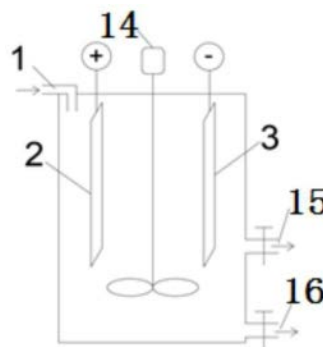
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种处理废水中Cu-EDTA的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种处理废水中Cu-EDTA的方法,属于废水处理技术领域。该方法包括以下步骤:将Cu-EDTA待处理废水进行电解,静置沉淀,分离上清液与悬浊液,调节上清液的pH,使Fe沉淀后即可得到EDTA溶液;向絮凝体悬浊液中加入氧化剂,使铁离子氧化沉淀,同时悬浊液pH降低,使大部分铜离子重新释放至溶液中,静置,进行固液分离,对溶液中铜离子进行回收。本发明利用高电流在铁电絮凝体系中创造缺氧环境,加快重金属络合物中重金属离子与络合剂分离,后续通过加入绿色氧化剂实现重金属和络合剂的回收。该方法具有pH要求低、适用范围广、去除效率高、反应时间短且能够进行资源回收等特点。



1. 一种处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将Cu-EDTA待处理废水进行电解;

(2) 电解结束后的Cu-EDTA待处理废水静置沉淀,待上清液与絮凝体悬浊液分层后将二者分离;

(3) 调节上清液的pH,去除沉淀,即可得到EDTA溶液;

(4) 向絮凝体悬浊液中加入氧化剂,静置,固液分离回收铜离子。

2. 根据权利要求1所述的处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,所述Cu-EDTA待处理废水的电导率 $\geq 2\text{mS/cm}$ 。

3. 根据权利要求1所述的处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,步骤(1)具体包括以下步骤:

将铁阳极与铁阴极置于Cu-EDTA待处理废水中,施加电流,当电解体系中溶解氧含量小于 0.5mg/L 时停止电解。

4. 根据权利要求3所述的处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,施加的电流 $\geq 0.1\text{A}$ 。

5. 根据权利要求1所述的处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,步骤(3)中,用氢氧化钠调节上清液的 $\text{pH} > 10$ 。

6. 根据权利要求1所述的处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,步骤(4)中,所述氧化剂包括 H_2O_2 、 HClO 和过硫酸盐中的一种或多种。

7. 根据权利要求6所述的处理废水中Cu-EDTA的方法,其特征在于,所述氧化剂的加入量为 $0.1\text{-}10\text{mmol/L}$ 。

一种处理废水中Cu-EDTA的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种处理废水中Cu-EDTA的方法,属于废水处理技术领域。

背景技术

[0002] 近年来,电镀、印染、制革和有色金属冶炼等现代工业的飞速发展导致重金属废水的排放量日益增加。此类废水中除了含有铜、铬、镍等重金属离子外,还存在多种有机添加剂和络合剂,如乙二胺四乙酸、柠檬酸、酒石酸等,这使得大量重金属处于络合态、移动性增强且难以加碱沉淀处理。

[0003] 重金属废水若不经处理直接排放,不仅会通过食物链富集进入人体,从而对人体健康造成危害,同时也会对生态环境造成严重污染。但是,废水中重金属具有较高的经济价值,有机络合剂也能回用于其他生产工艺中,若对重金属以及络合剂物质进行回收处理,可以有效降低后期处理成本,促进资源的循环利用。

[0004] 目前重金属废水处理方法主要包括吸附法、膜分离法、离子交换法、化学沉淀法等。其中吸附法、膜分离法、离子交换法由于处理成本高、效率低等问题限制了其在工业上的应用。化学沉淀法是工业上应用较广的工艺,但是由于重金属废水的pH较低,在处理过程中需要加入大量的化学药剂,并且有时可能会产生二次污染。

[0005] 中国发明专利(CN1041108819A)提供了一种处理重金属络合废水的组合工艺,其步骤主要是:向重金属络合废水中加入三价铁盐置换目标重金属离子,继而将置换后的废水进行紫外光降解水中络合物,最后将水中重金属离子加碱沉淀,并通过固液分离完成废水的处理过程。但是该方法在废水的pH>3时,会因为三价铁盐的沉淀而导致其置换效率较低。

[0006] 中国发明专利(CN104071932A)则提供了一种Cu-EDTA络合废水的处理方法及电絮凝装置,其主要步骤包括:将Cu-EDTA络合废水调节pH为酸性,然后以所述电絮凝装置的铝电极为阳极,所述电絮凝装置的铁电极为阴极,在Cu-EDTA络合废水中进行电絮凝反应30-50min;然后改变电流方向,以铁电极为阳极,铝电极为阴极进行电絮凝反应30-50min,完成对Cu-EDTA络合废水的处理。该方法不仅需要调节废水pH,处理时间较长,周期大于60min,并且上述方法没有实现重金属及络合剂的回收,造成了资源的浪费。

发明内容

[0007] 针对现有技术中存在的pH要求高且适用范围窄、处理周期长、重金属回收难、缺乏对络合剂的回收利用等问题,本发明提出了一种处理废水中Cu-EDTA的方法,利用高电流在铁电絮凝体系中创造缺氧环境,加快重金属络合物中重金属离子与络合剂分离,后续通过加入绿色氧化剂实现重金属和络合剂的回收。该方法具有pH要求低、适用范围广、去除效率高、反应时间短且能够进行资源回收等特点。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0009] 本发明提出了一种处理废水中Cu-EDTA的方法,包括以下步骤:

[0010] (1) 将Cu-EDTA待处理废水进行电解；

[0011] (2) 电解结束后的Cu-EDTA待处理废水静置沉淀，待上清液与絮凝体悬浊液分层后将二者分离；

[0012] (3) 上清液为含有Fe-EDTA的溶液，调节上清液的pH，使Fe沉淀后，去除沉淀，即可得到EDTA溶液，可回用于含重金属废渣中重金属的提取；

[0013] (4) 向絮凝体悬浊液中加入氧化剂，使铁离子氧化沉淀，同时悬浊液pH降低，使大部分铜离子重新释放至溶液中，静置，进行固液分离，对溶液中铜离子进行回收。

[0014] 进一步地，所述Cu-EDTA待处理废水的电导率 $\geq 2\text{mS/cm}$ 。

[0015] 进一步地，步骤(1)具体包括以下步骤：将铁阳极与铁阴极置于Cu-EDTA待处理废水中，施加电流，当电解体系中溶解氧含量小于 0.5mg/L 时停止电解，步骤(1)发生的反应为：

[0016] 阳极： $\text{Fe}-2\text{e}^{-}\rightarrow\text{Fe}^{2+}$

[0017] 阴极： $2\text{H}_2\text{O}+2\text{e}^{-}\rightarrow\text{H}_2\uparrow+2\text{OH}^{-}$

[0018] 溶液： $\text{Fe}^{2+}+\text{Cu(II)EDTA}\rightarrow\text{Fe(III)EDTA}+\text{Cu}^{+}$

[0019] $2\text{Cu}^{+}+\text{OH}^{-}\rightarrow\text{Cu}_2\text{O}\downarrow+\text{H}^{+}$ 。

[0020] 进一步地，施加电流的过程中，形成缺氧铁电絮凝体系，快速提升二价铁的浓度，促进Cu-EDTA的还原脱络，释放出铜离子，另外溶液的pH会随着电解逐渐升高，达到一定数值后，铜离子会通过吸附、共沉淀作用与铁絮凝体一起从水中分离。

[0021] 进一步地，施加的电流 $\geq 0.1\text{A}$ 。

[0022] 进一步地，步骤(3)中，用氢氧化钠调节上清液的 $\text{pH}>10$ 。

[0023] 进一步地，步骤(3)发生的反应为：

[0024] $\text{Fe(III)EDTA}+3\text{OH}^{-}\rightarrow\text{Fe(OH)}_3\downarrow+\text{EDTA}^{3-}$ 。

[0025] 进一步地，步骤(4)中，所述氧化剂包括 H_2O_2 、 HClO 和过硫酸盐中的一种或多种。

[0026] 进一步地，所述氧化剂的加入量为 $0.1-10\text{mmol/L}$ 。

[0027] 进一步地，步骤(4)中，铜离子的回收方式为加碱沉淀回收或电沉积回收。

[0028] 进一步地，步骤(4)中发生的反应为：

[0029] $\text{Fe}^{2+}+\text{氧化剂}\rightarrow\text{Fe(OH)}_3\downarrow$

[0030] $\text{Cu}_2\text{O}+\text{H}^{+}\rightarrow2\text{Cu}^{+}+\text{OH}^{-}$ 。

[0031] 本发明公开了以下技术效果：

[0032] (1) 本发明处理废水中Cu-EDTA的方法不仅可以实现Cu和EDTA的回收，与现有技术相比，不用通过通氮气除氧等外加条件实现厌氧，而是直接利用大电流实现缺氧环境，加快提升溶液中二价铁的浓度，在30min内就可去除溶液中99%的络合态铜。

[0033] (2) 本发明的处理处理废水中Cu-EDTA的方法适用pH范围广(pH在1-12)，且具有自动调节pH功能。

[0034] (3) 本发明的方法不破坏络合剂结构，经过处理后可以对络合剂进行回收，并通过氧化法，可实现沉淀中铜的高效回收，反应速度快，副产物少，保护环境的同时也获得额外的经济效益。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0036] 图1为序批式缺氧铁电絮凝反应器结构示意图,其中,1-进水口,2-铁阳极,3-铁阴极,14-启动搅拌器,15-上清液排放口,16-悬浊液排放口;

[0037] 图2为连续流式缺氧铁电絮凝反应器结构示意图,其中,1-进水口,2-铁阳极,3-铁阴极,4-圆孔,5-挡板,6-排气口,7-溢流口,8-出水池,9-排放口;

[0038] 图3为连续流式缺氧铁电絮凝反应器出水孔横断面结构示意图其中,1-进水口,6-排气口,7-溢流口,8-出水池;

[0039] 图4为对比例1曝气氧化过程中铜的回收率随时间的变化结果。

具体实施方式

[0040] 现详细说明本发明的多种示例性实施方式,该详细说明不应认为是对本发明的限制,而应理解为是对本发明的某些方面、特性和实施方案的更详细的描述。

[0041] 应理解本发明中所述的术语仅仅是为描述特别的实施方式,并非用于限制本发明。另外,对于本发明中的数值范围,应理解为还具体公开了该范围的上限和下限之间的每个中间值。在任何陈述值或陈述范围内的中间值以及任何其他陈述值或在所述范围内的中间值之间的每个较小的范围也包括在本发明内。这些较小范围的上限和下限可独立地包括或排除在范围内。

[0042] 除非另有说明,否则本文使用的所有技术和科学术语具有本发明所述领域的常规技术人员通常理解的含义。虽然本发明仅描述了优选的方法和材料,但是在本发明的实施或测试中也可以使用与本文所述相似或等同的任何方法和材料。本说明书中提到的所有文献通过引用并入,用以公开和描述与本文所述文献相关的方法和/或材料。在与任何并入的文献冲突时,以本说明书的内容为准。

[0043] 在不背离本发明的范围或精神的情况下,可对本发明说明书的具体实施方式做多种改进和变化,这对本领域技术人员而言是显而易见的。由本发明的说明书得到的其他实施方式对技术人员而言是显而易见的。本发明说明书和实施例仅是示例性的。

[0044] 关于本文中所使用的“包含”、“包括”、“具有”、“含有”等等,均为开放性的用语,即意指包含但不限于。

[0045] 本发明实施例提出了一种处理废水中Cu-EDTA的方法,包括以下步骤:

[0046] (1) 将Cu-EDTA待处理废水进行电解;

[0047] (2) 电解结束后的Cu-EDTA待处理废水静置沉淀,待上清液与絮凝体悬浊液分层后将二者分离;

[0048] (3) 上清液为含有Fe-EDTA的溶液,调节上清液的pH,使Fe沉淀后,去除沉淀,即可得到EDTA溶液,可回用于含重金属废渣中重金属的提取;

[0049] (4) 向絮凝体悬浊液中加入氧化剂,使铁离子氧化沉淀,同时悬浊液pH降低,使大部分铜离子重新释放至溶液中,静置,进行固液分离,对溶液中铜离子进行回收。

[0050] 在本发明实施例中,所述Cu-EDTA待处理废水的电导率 $\geq 2\text{mS/cm}$ 。

[0051] 在本发明实施例中,步骤(1)具体包括以下步骤:将铁阳极与铁阴极置于Cu-EDTA待处理废水中,施加电流,当电解体系中溶解氧含量小于 0.5mg/L 时停止电解。

[0052] 在本发明实施例中,施加电流的过程中,形成缺氧铁电絮凝体系,快速提升二价铁的浓度,促进Cu-EDTA的还原脱络,释放出铜离子,另外溶液的pH会随着电解逐渐升高,达到一定数值后,铜离子会通过吸附、共沉淀作用与铁絮凝体一起从水中分离,步骤(1)发生的反应为:

[0053] 阳极: $\text{Fe}-2\text{e}^{-}\rightarrow\text{Fe}^{2+}$

[0054] 阴极: $2\text{H}_2\text{O}+2\text{e}^{-}\rightarrow\text{H}_2\uparrow+2\text{OH}^{-}$

[0055] 溶液: $\text{Fe}^{2+}+\text{Cu(II)EDTA}\rightarrow\text{Fe(III)EDTA}+\text{Cu}^{+}$

[0056] $2\text{Cu}^{+}+\text{OH}^{-}\rightarrow\text{Cu}_2\text{O}\downarrow+\text{H}^{+}$ 。

[0057] 在本发明实施例中,施加的电流 $\geq 0.1\text{A}$ 。

[0058] 在本发明实施例中,步骤(3)中,用氢氧化钠调节上清液的 $\text{pH}>10$ 。

[0059] 在本发明实施例中,步骤(3)发生的反应为:

[0060] $\text{Fe(III)EDTA}+3\text{OH}^{-}\rightarrow\text{Fe(OH)}_3\downarrow+\text{EDTA}^{3-}$ 。

[0061] 在本发明实施例中,步骤(4)中,所述氧化剂包括 H_2O_2 、 HClO 和过硫酸盐中的一种或多种。

[0062] 在本发明实施例中,所述氧化剂的加入量为 $0.1-10\text{mmol/L}$ 。

[0063] 在本发明实施例中,步骤(4)中,铜离子的回收方式为加碱沉淀回收或电沉积回收,此回收过程为本领域的常规技术手段。

[0064] 在本发明实施例中,步骤(4)中发生的反应为:

[0065] $\text{Fe}^{2+}+\text{氧化剂}\rightarrow\text{Fe(OH)}_3\downarrow$

[0066] $\text{Cu}_2\text{O}+\text{H}^{+}\rightarrow2\text{Cu}^{+}+\text{OH}^{-}$ 。

[0067] 在本发明实施例中,处理废水中Cu-EDTA的过程中所用反应器为半封闭或全封闭。

[0068] 本发明实施例所处理的含有Cu-EDTA的废水来自电镀及集成电路板制备工艺等行业。

[0069] 以下通过实施例对本发明的技术方案做进一步说明。

[0070] 实施例1

[0071] 本实施例处理含Cu-EDTA废水的过程中所用反应器为序批式缺氧铁电絮凝反应器,结构示意图见图1,其中,1-进水口,2-铁阳极,3-铁阴极,14-启动搅拌器,15-上清液排放口,16-悬浊液排放口,处理含Cu-EDTA废水的步骤如下:

[0072] (1)通过进水口1向序批式缺氧铁电絮凝反应器(密封反应器)中加入 $\text{pH}=3$ 、电导率为 5mS/cm 、含 0.3mM Cu-EDTA的废水溶液,使废水溶液与铁阳极2和铁阴极3接触,启动搅拌器14,使反应器中的废水混合均匀;

[0073] (2)将铁阳极2与电源正极相连接,铁阴极3与电源负极相连,对两个铁电极施加 200mA 的电流,电解会产生大量二价铁离子,二价铁离子会氧化成三价铁离子消耗水中溶解氧,使溶液中的溶解氧下降到 0.2mg/L 以下,达到缺氧状态,电解 30min 后停止电解,利用高效液相色谱法检测废水中的Cu-EDTA,发现此时废水中Cu-EDTA的处理效率达到 99% ,用浓硝酸对阴极进行淋洗,再利用分光光度法分别检测淋洗溶液和处理后废水溶液中的铜离

子,结果发现14%的络合态铜离子直接还原在阴极表面,85%的络合态铜离子被还原沉淀;

[0074] (4) 停止电解后,对电解后的溶液进行静置沉淀30min,将上清液通过上清液排放口15进行排放收集,收集的上清液加入氢氧化钠溶液调节上清液使其pH>10,此时铁离子沉淀,得到Na-EDTA的溶液,实现EDTA的回收,可回用于含铜废渣中铜的提取;

[0075] (5) 对剩余含有铁沉淀物的悬浊液通过悬浊液排放口16排出,再加入H₂O₂对溶液进行氧化,H₂O₂的加入量为10mmol/L,1min内悬浊液的pH降低至3.7,二价铁离子氧化成三价铁离子形成絮凝体沉淀,铜重新释放至溶液中,静置15min固液分离后,对水相中的重金属离子进行回收,回收率达90%。

[0076] 实施例2

[0077] 本实施例处理含Cu-EDTA废水的过程中所用反应器同实施例1,均为序批式缺氧铁电絮凝反应器,处理含Cu-EDTA废水的步骤如下:

[0078] (1) 通过进水口向序批式缺氧铁电絮凝反应器(密封反应器)中加入pH=1、电导率为2mS/cm、含0.1mM Cu-EDTA的废水溶液,使废水溶液与铁阳极和铁阴极接触,启动搅拌器,使反应器中的废水混合均匀;

[0079] (2) 将铁阳极与电源正极相连接,铁阴极与电源负极相连,对两个铁电极施加100mA的电流,电解会产生大量二价铁离子,二价铁离子会氧化成三价铁离子消耗水中溶解氧,使溶液中的溶解氧下降到0.2mg/L以下,达到缺氧状态,电解30min后停止电解,利用高效液相色谱法检测废水中的Cu-EDTA,利用分光光度法分别检测淋洗溶液和处理后废水溶液中的铜离子,结果发现此时废水中Cu-EDTA的处理效率达到70%,有12%的络合态铜离子直接还原在阴极表面,58%的络合态铜离子被还原沉淀;

[0080] (4) 停止电解后,对电解后的溶液进行静置沉淀30min,将上清液通过上清液排放口进行排放收集,收集的上清液加入氢氧化钠溶液调节上清液使其pH>10,此时铁离子沉淀,得到Na-EDTA的溶液,实现EDTA的回收,可回用于含铜废渣中铜的提取;

[0081] (5) 对剩余含有铁沉淀物的悬浊液通过悬浊液排放口排出,再加入过硫酸钠对溶液进行氧化,过硫酸钠的加入量为0.1mmol/L,1min内悬浊液的pH降低至4.2,二价铁离子氧化成三价铁离子形成絮凝体沉淀,铜重新释放至溶液中,静置15min固液分离后,对水相中的重金属离子进行回收,回收率达80%。

[0082] 实施例3

[0083] 本实施例处理含Cu-EDTA废水的过程中所用反应器为连续流式缺氧铁电絮凝反应器,结构示意图见图2,其中,1-进水口,2-铁阳极,3-铁阴极,4-圆孔,5-挡板,6-排气口,7-溢流口,8-出水池,9-排放口,出水孔横断面结构示意图见图3,其中,1-进水口,6-排气口,7-溢流口,8-出水池,处理含Cu-EDTA废水的步骤如下:

[0084] (1) 通过进水口1向连续流式缺氧铁电絮凝反应器中连续加入pH=3、电导率为10mS/cm,含0.5mM的Cu-EDTA废水溶液,使溶液通过铁阳极2和铁阴极3上的圆孔4充满整个反应器;

[0085] (2) 将铁阳极2与电源正极相连接,铁阴极3与电源负极相连,对两个铁电极施加6A的电流,电解会产生大量二价铁离子,二价铁离子会氧化成三价铁离子消耗水中溶解氧,使溶液中的溶解氧下降到0.2mg/L以下,达到缺氧状态;

[0086] (3) 在缺氧条件下继续电解,生成的二价铁离子将溶液中的Cu-EDTA置换为游离态

铜离子,电解30min后停止电解,利用高效液相色谱法和分光光度法进行检测,结果发现Cu-EDTA的处理效率达到90%,其中10%的络合态铜离子直接还原在阴极表面,80%的络合态铜离子被还原沉淀;

[0087] (4) 电解过程中生成大量铁絮凝体,使游离态铜离子还原沉淀,在水流和气体的带动下,絮凝体会上升,在接触到挡板5后会又下沉,达到固液分离的目的;

[0088] (5) 铁阴极3电解产生的气体通过排气口6排放,挡板5以上的澄清水溶液通过溢流口7收集到出水池8中,出水收集之后加入氢氧化钠溶液调节溶液 $\text{pH}>10$,使铁离子沉淀,得到Na-EDTA的溶液,实现EDTA的回收,可回用于含铜废渣中铜的提取;

[0089] (6) 反应器底部含有铁沉淀物的悬浊液通过排放口9排出,再加入HClO对溶液进行氧化,HClO的加入量为 5mmol/L ,悬浊液的 pH 降低至3.5,二价铁离子氧化成三价铁离子形成絮凝体沉淀,铜重新释放至溶液中,静置15min固液分离后对水相中的铜离子进行回收,回收率达80%。

[0090] 实施例4

[0091] 本实施例处理含Cu-EDTA废水的过程中所用反应器同实施例3,均为连续流式缺氧铁电絮凝反应器,处理含Cu-EDTA废水的步骤如下:

[0092] (1) 通过进水口向连续流式缺氧铁电絮凝反应器中连续加入 $\text{pH}=12$ 、电导率为 20mS/cm ,含 1mM 的Cu-EDTA废水溶液,使溶液通过铁阳极和铁阴极上的圆孔充满整个反应器;

[0093] (2) 将铁阳极与电源正极相连接,铁阴极与电源负极相连,对两个铁电极施加3A的电流,电解会产生大量二价铁离子,二价铁离子会氧化成三价铁离子消耗水中溶解氧,使溶液中的溶解氧下降到 0.2mg/L 以下,达到缺氧状态;

[0094] (3) 在缺氧条件下继续电解,生成的二价铁离子将溶液中的Cu-EDTA置换为游离态铜离子,电解30min后停止电解,利用高效液相色谱法和分光光度法进行检测,结果发现Cu-EDTA的处理效率达到75%,其中15%的络合态铜离子直接还原在阴极表面,60%的络合态铜离子被还原沉淀;

[0095] (4) 电解过程中生成大量铁絮凝体,使游离态铜离子还原沉淀,在水流和气体的带动下,絮凝体会上升,在接触到挡板后会又下沉,达到固液分离的目的;

[0096] (5) 铁阴极电解产生的气体通过排气口排放,挡板以上的澄清水溶液通过溢流口收集到出水池中,出水收集之后加入氢氧化钠溶液调节溶液 $\text{pH}>10$,使铁离子沉淀,得到Na-EDTA的溶液,实现EDTA的回收,可回用于含铜废渣中铜的提取;

[0097] (6) 反应器底部含有铁沉淀物的悬浊液通过排放口排出,再加入 H_2O_2 对溶液进行氧化, H_2O_2 的加入量为 3mmol/L ,悬浊液的 pH 降低至3.7,二价铁离子氧化成三价铁离子形成絮凝体沉淀,铜重新释放至溶液中,静置15min固液分离后对水相中的铜离子进行回收,回收率达80%。

[0098] 对比例1

[0099] 同实施例1,区别仅在于,步骤(5)中,对剩余含有铁沉淀物的悬浊液通过悬浊液排放口16排出,对悬浊液进行曝气氧化,曝气氧化过程中铜的回收率随时间的变化结果见图4,由图4可以看出,曝气30min后,溶液中铜的回收率维持在48%左右,比实施例1使用双氧水处理所需时间更长,但是回收率却没有实施例1高。

[0100] 以上所述的实施例仅是对本发明的优选方式进行描述,并非对本发明的范围进行限定,在不脱离本发明设计精神的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种变形和改进,均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

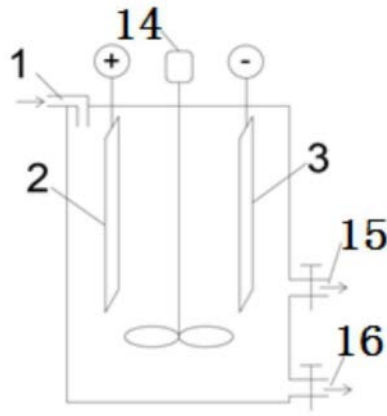


图1

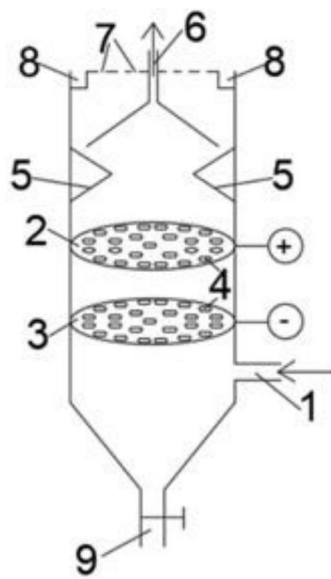


图2

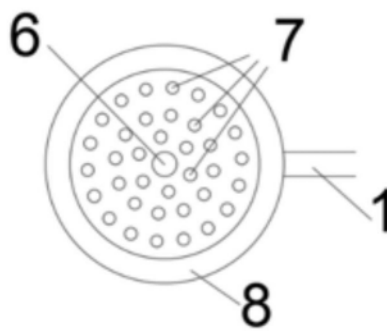


图3

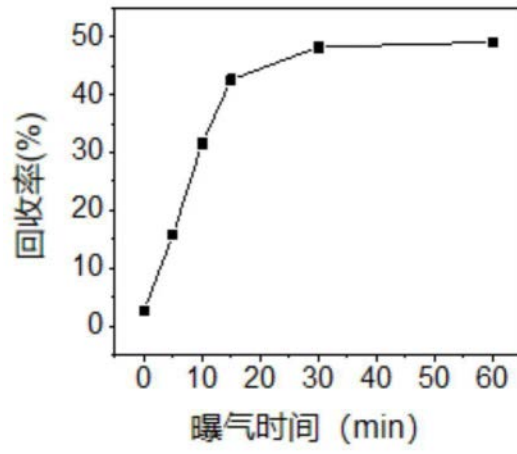


图4