



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110862127 A

(43)申请公布日 2020.03.06

(21)申请号 201911292401.8

(22)申请日 2019.12.16

(71)申请人 兰州大学

地址 730000 甘肃省兰州市城关区天水南路222号

(72)发明人 程修文 朱桂娴 高英杰 魏艳丽
苟剑锋 李波

(74)专利代理机构 北京超凡宏宇专利代理事务所(特殊普通合伙) 11463

代理人 黄燕

(51)Int.Cl.

C02F 1/461(2006.01)

C02F 1/72(2006.01)

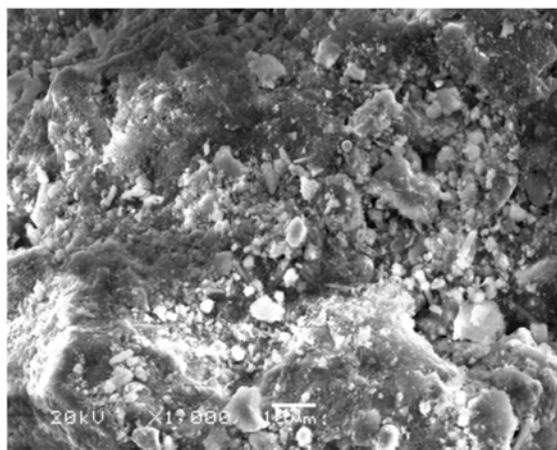
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种三维电化学装置和利用三维电极处理工业废水的方法

(57)摘要

本发明公开了一种三维电化学装置和利用三维电极处理工业废水的方法,涉及废水处理技术领域。该三维电化学装置包括电解槽、阳极、阴极以及钢渣,阳极和阴极分别插设于电解槽内,钢渣填充于阴极和阳极之间且分别与阴极和阳极接触,阳极和阴极并联;阴极为钉铈电极。该三维电化学装置不但增加了对COD、总氮等的降解效率,同时减少了反应时间,大幅度降低反应成本,并且可以有效的实现工业钢渣的废物利用。此外,本申请提供的方法包括:将工业废水注入上述三维电化学装置的所述电解槽内,通电进行处理。该方法处理方式简单,能够有效促进COD等物质的降解。



1. 一种三维电化学装置,其特征在于,其包括电解槽、阳极、阴极和钢渣,所述阳极和所述阴极分别插设于所述电解槽内,所述钢渣填充于所述阴极和所述阳极之间且分别与所述阴极和所述阳极接触,所述阳极和所述阴极并联;所述阴极为钨铌电极。

2. 根据权利要求1所述的三维电化学装置,其特征在于,所述阳极和所述阴极相对设置且两者的表面积均为 $8-12\text{cm} \times 0.5-1.5\text{cm}$;所述阳极和所述阴极的插入所述电解槽内液面下的面积为所述阳极和所述阴极总的表面积的70-80%;

优选地,所述阳极和所述阴极之间的间距为15-20cm。

3. 根据权利要求1所述的三维电化学装置,其特征在于,所述阳极为碳基电极、金属电极,金属复合负载电极或陶瓷电极;

优选地,所述阳极为金属电极;

优选地,所述金属电极为钛电极。

4. 根据权利要求1所述的三维电化学装置,其特征在于,所述钢渣的成分包括赤铁矿、 Fe_2O_3 、 FeO 、钙钛矿、 Fe_3O_4 、 SiO_2 和 MgO ;

优选地,所述 Fe_2O_3 为磁赤铁矿C晶体相;

优选地,所述钙钛矿为晶体相;

优选地,所述 Fe_3O_4 为立方晶体相;

优选地,所述 SiO_2 为石英形式。

5. 一种利用三维电极处理工业废水的方法,其特征在于,其包括:

将工业废水注入如权利要求1-4任一项所述的三维电化学装置的所述电解槽内,通电进行处理。

6. 根据权利要求5所述的利用三维电极处理工业废水的方法,其特征在于,在将所述阴极插入所述电解槽之前,还包括将所述阴极浸泡至酸溶液中以进行清洗;

优选地,所述酸溶液包括的盐酸和硫酸中的一种或两种的混合物;

优选地,所述酸溶液的体积浓度为8-12%;

优选地,浸泡时间为8-12min。

7. 根据权利要求5所述的利用三维电极处理工业废水的方法,其特征在于,所述电解槽内具有电解质,所述电解质为过硫酸盐;

优选地,所述过硫酸盐包括 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 中的一种或两种的混合物;

优选地,所述电解槽内的待电解溶液中,所述过硫酸盐的浓度为1000-3000mg/L。

8. 根据权利要求5所述的利用三维电极处理工业废水的方法,其特征在于,通电时的反应电流为0.001-0.003A;

优选地,通电时的直流电源施加的电压为6-10V;优选地,电压为8-10V;

优选地,通电时间为100-140min;

优选地,在通电前将所述电解槽中的溶液的pH调节至6-8。

9. 根据权利要求5所述的利用三维电极处理工业废水的方法,其特征在于,在填充所述钢渣之前,还包括对所述钢渣进行预处理:将所述钢渣置于乙醇溶液中,利用超声波进行水洗后烘干;

优选地,所述超声波的功率为80-100瓦;

优选地,所述水洗的时间为12-15min;

优选地,所述烘干的温度为58-62℃,时间为30-35min。

10. 根据权利要求5所述的利用三维电极处理工业废水的方法,其特征在于,每升所述工业废水中加入所述钢渣的量为25-35g。

一种三维电化学装置和利用三维电极处理工业废水的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及废水处理技术领域,具体而言,涉及一种三维电化学装置和利用三维电极处理工业废水的方法。

背景技术

[0002] 随着经济和城镇化的快速发展,在人们生活水平不断提高的同时,环境也遭到了破坏。如今,全球正面临着两大不容忽视的水问题:水资源短缺与水环境污染。这与我们人类的发展息息相关。保护水环境不受污染是当前人类广泛关注的社会问题。随着现代工业的发展,工业废水的排放造成了地表水环境的污染,工业废水的产生对水资源造成了严重的威胁,特别是直接排入水中对生物体产生的毒性非常大,对整个生态环境平衡和人体健康造成严重威胁。

[0003] 电化学法作为一种环境友好型技术,在环境污染治理等方面越来越受人们的重视。虽然电化学技术在我国污水处理方面起步较晚,但发展较为迅速。目前,电化学在污水中的应用大体可以分为电化学阳极催化氧化、电化学阴极还原、电絮凝、电芬顿、电迁移、电渗析、电吸附,电磁化技术等,大多数学者认为电化学法降解污染物的一个重要原因是电解过程中产生了具有强氧化性作用的羟基自由基。污水中的吸附氧能够较容易地被还原为 H_2O_2 ,进而分解为 $\cdot OH$ 。因此,换言之, $\cdot OH$ 的存在促使了COD等物质的降解。

[0004] 电解过程产生的 $\cdot OH$ 可以无选择地直接与废水中的有机污染物反应,电子转移只在电极及废水组份间进行,不需要额外添加氧化剂,最终降解为二氧化碳、水或简单有机物,没有或很少产生二次污染;能量效率高,反应条件温和,一般在常温常压下即可进行;反应器设备占地面积小、操作简单;既可单独处理,又可与其它处理相结合,所以很灵活;可以提高废水的可生物降解性;兼具气浮絮凝、消毒等作用,可以通过去除水中悬浮物;选用特殊电极来达到杀菌的效果。因此,在环境质量要求比较高、处理水量较小的地区,电化学水处理技术是最佳的选择。

[0005] 如今的发展趋势是,从二维电极逐渐趋向三维电极的研究。相似于电催化氧化作用机理,三维电极法可分为直接氧化、间接氧化以及填料表面的电吸附催化氧化。三维电极因其电流效率高及时空产率高而备受关注,然而其复杂程度远远高于二维系统,因此有待进一步研究。

[0006] 鉴于此,特提出本发明。

发明内容

[0007] 本发明的第一目的在于提供一种三维电化学装置,其可作为工业废水的处理设备,显著降低工业废水中的COD、总氮等物质,成本低,更加经济高效。

[0008] 本发明的第二目的在于提供一种利用三维电极处理工业废水的方法,其可显著降低工业废水中的COD、总氮等物质。

[0009] 本发明是这样实现的:

- [0010] 第一方面,实施例提供一种三维电化学装置,其包括电解槽、阳极、阴极以及钢渣,所述阳极和所述阴极分别插设于所述电解槽内,所述钢渣填充于所述阴极和所述阳极之间且分别与所述阴极和所述阳极接触,所述阳极和所述阴极并联;所述阴极为钨铌电极。
- [0011] 在可选的实施方式中,所述阳极和所述阴极相对设置且两者的表面积均为 $8-12\text{cm} \times 0.5-1.5\text{cm}$;所述阳极和所述阴极的插入所述电解槽内液面下的面积为所述阳极和所述阴极总的表面积的70-80%;
- [0012] 优选地,所述阳极和所述阴极之间的间距为15-20cm。
- [0013] 在可选的实施方式中,所述阳极为碳基电极、金属电极,金属复合负载电极或陶瓷电极;
- [0014] 优选地,所述阳极为金属电极;
- [0015] 优选地,所述金属电极为钛电极。
- [0016] 在可选的实施方式中,所述钢渣的成分包括赤铁矿、 Fe_2O_3 、 FeO 、钙钛矿、 Fe_3O_4 、 SiO_2 和 MgO ;
- [0017] 优选地,所述 Fe_2O_3 为磁赤铁矿C晶体相;
- [0018] 优选地,所述钙钛矿为晶体相;
- [0019] 优选地,所述 Fe_3O_4 为立方晶体相;
- [0020] 优选地,所述 SiO_2 为石英形式。
- [0021] 第二方面,实施例提供一种利用三维电极处理工业废水的方法,其包括:
- [0022] 将工业废水注入如前述实施方式所述的三维电化学装置的所述电解槽内,通电进行处理。
- [0023] 在可选的实施方式中,在将所述阴极插入所述电解槽之前,还包括将所述阴极浸泡至酸溶液中以进行清洗;
- [0024] 优选地,所述酸溶液包括的盐酸和硫酸中的一种或两种的混合物;
- [0025] 优选地,所述酸溶液的体积浓度为8-12%;
- [0026] 优选地,浸泡时间为8-12min。
- [0027] 在可选的实施方式中,所述电解槽内具有电解质,所述电解质为过硫酸盐;
- [0028] 优选地,所述过硫酸盐包括 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 和 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 中的一种或两种的混合物;
- [0029] 优选地,所述电解槽内的待电解溶液中,所述过硫酸盐的浓度为1000-3000mg/L。
- [0030] 在可选的实施方式中,通电时的反应电流为0.001-0.003A;
- [0031] 优选地,通电时的直流电源施加的电压为6-10V;优选地,电压为8-10V;
- [0032] 优选地,通电时间为100-140min;
- [0033] 优选地,在通电前将所述电解槽中的溶液的pH调节至6-8。
- [0034] 在可选的实施方式中,在填充所述钢渣之前,还包括对所述钢渣进行预处理:将所述钢渣置于乙醇溶液中,利用超声波进行水洗后烘干;
- [0035] 优选地,所述超声波的频率为功率为80-100瓦;
- [0036] 优选地,所述水洗的时间为12-15min;
- [0037] 优选地,所述烘干的温度为58-62 $^{\circ}\text{C}$,时间为30-35min。
- [0038] 在可选的实施方式中,每升所述工业废水中加入所述钢渣的量为25-35g。
- [0039] 本发明具有以下有益效果:

[0040] 本申请利用钌铱电极作为阴极,其自身具有优异的导电性,使用寿命长,成本非常低,本申请中通过阳极、阴极以及填充于阳极和阴极之间的钢渣构成三维电极,本申请中,钢渣不仅活化过硫酸盐,还增加电流密度,促进电极更好的起作用,导电,还有利于电化学反应耦合。钌铱电极属于环境友好的绿色电极,不存在污染,寿命长。两电极在电解过程中可以产生强氧化作用的羟基自由基($\cdot\text{OH}$),使得污水中吸附氧可以较容易的被还原成 H_2O_2 ,从而分解 $\cdot\text{OH}$ 来促进污水中COD、总氮等物质的降解。本申请提供的三维电化学装置不但增加了对COD、总氮等的降解效率,同时减少了反应时间,大幅度降低反应成本,并且可以有效的实现工业钢渣的废物利用。而本申请提供的利用三维电极处理工业废水的方法,即采用上述三维电化学装置进行注入工业废水后通电处理,处理方式简单,能够有效促进COD等物质的降解。

附图说明

[0041] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本发明的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0042] 图1为实施例1中所用工业废弃钢渣的SEM图;

[0043] 图2为实施例1中所用工业废弃钢渣的EDS图;

[0044] 图3为实施例1中所用工业废弃钢渣的XRD图;

[0045] 图4为实施例1中对工业废水二级出水进行二维电解和三维电解时COD降解速率图;

[0046] 图5为实施例1中对工业废水二级出水进行二维电解和三维电解时TN降解速率图;

[0047] 图6为实施例1中工业废水二级出水中电解质浓度对二维电解和三维电解中COD降解影响的去除图;

[0048] 图7为实施例1中工业废水二级出水中电解质浓度对二维电解和三维电解中总氮降解影响的去除图;

[0049] 图8为实施例1中工业废水二级出水中电压对二维电解和三维电解中COD降解影响的去除图;

[0050] 图9为实施例1中工业废水二级出水中电压对二维电解和三维电解中总氮降解影响的去除图;

[0051] 图10为实施例1中对工业废水二级出水水质与国标、实验最终出水的对比图。

具体实施方式

[0052] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。实施例中未注明具体条件者,按照常规条件或制造商建议的条件进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者,均为可以通过市售购买获得的常规产品。

[0053] 本申请提供了一种三维电化学装置,其包括电解槽、阳极、阴极以及钢渣,阳极和阴极分别插设于电解槽内,钢渣填充于阴极和阳极之间且分别与阴极和阳极接触,阳极和

阴极并联;阴极为钨铈电极。

[0054] 本申请选用过渡金属钨铈电极作为电化学反应电极,再利用工业废弃的钢渣组成并联的三维电极来工业废水进行深度的处理,更高效的降低水中COD、总氮等物质。由于本申请中钨铈电极在反应过程中不会损耗,可反复进行使用,极大的降低了工业废水的处理成本,使得该三维电化学装置更佳经济,能够普遍适用。

[0055] 本申请中选用钢渣,是利用其成分中包含赤铁矿(JCPDS,33-0664)、磁赤铁矿C(JCPDS,39-1346)晶体相的 Fe_2O_3 、少量的FeO和钙钛矿的晶体相(JCPDS,46-1312)和 Fe_3O_4 的立方晶体相(JCPDS,65-3107),石英形式的 SiO_2 (JCPDS,46-1045)和MgO,其包含的单质成分请参阅图2,其中铁能够有效对电解质(过硫酸盐)进行活化,同时进行电化学耦合,很好的加强了污染物的降解。

[0056] 为了便于更清晰的理解图2,本申请中提供了图2中单质成分对应的表,具体请参阅下表。

[0057]

元素	wt%	wt%Sigma	原子百分比
C	13.48	1.41	21.63
O	48.02	0.89	57.84
Mg	5.44	0.16	4.31
Al	1.88	0.09	1.34
Si	4.93	0.13	3.39
P	0.22	0.05	0.14
S	0.63	0.06	0.38
K	0.15	0.04	0.07
Ca	16.03	0.32	7.71
V	0.18	0.06	0.07
Mn	0.54	0.09	0.19
Fe	8.50	0.24	2.93
总量	100.00		100.00

[0058] 阳极和阴极相对设置且两者的表面积为 $8-12cm \times 0.5-1.5cm$;阳极和阴极的插入电解槽内液面下的面积为阳极和阴极总的表面积的70-80%;也即是,阳极和阴极的有效面积占其总面积的大约70-80%,这样能保证反应的顺利进行,有效电解本申请中电解槽内的溶液。优选地,阳极和阴极之间的间距为15-20cm。该间距能够保证钢渣的有效填充且保证合理的电场强度。

[0059] 本申请中主要限定阴极为钨铈电极,而对于阳极可以有多种选择,典型但非限制性示例中,阳极可以为碳基电极、金属电极,金属复合负载电极或陶瓷电极;优选地,阳极为金属电极;优选地,金属电极为钛电极。钛电极是常见的反应电极,其在反应过程中有损耗,但是由于本申请中,阴极无损耗,因此本发明满足经济、高效、普遍适用的标准。

[0060] 此外,本申请还提供了一种利用三维电极处理工业废水的方法,其包括:

[0061] 将工业废水注入如前述实施方式的三维电化学装置的电解槽内,将电解槽中的溶液的pH调节至6-8,通电进行处理;通电时的反应电流为0.001-0.003A;直流电源施加的电压为6-10V;优选地,电压为8-10V;通电时间为100-140min。

[0062] 本申请中,电解槽内具有电解质,电解质为过硫酸盐,过硫酸盐包括 $K_2S_2O_8$ 和 $Na_2S_2O_8$ 中的一种或两种的混合物;优选地,电解槽内的待电解溶液中,过硫酸盐的浓度为1000-3000mg/L。本申请中,通过选用过硫酸盐作为电解质,其能够在阴极和阳极的共同激发下产生硫酸根自由基和强氧化作用的羟基自由基,使得污水中吸附氧可以较容易的被还原成 H_2O_2 从而分解 $\cdot OH$ 来促进污水中COD、总氮等物质的降解。

[0063] 进一步地,在将阴极插入电解槽之前,还包括将阴极浸泡至酸溶液中以进行清洗;优选地,酸溶液包括的盐酸和硫酸中的一种或两种的混合物;优选地,酸溶液的体积浓度为8-12%;优选地,浸泡时间为8-12min。由于阴极在反应过程中可能会有部分电解物附着于阴极的表面,本申请中,通过酸溶液对阴极进行清洗,有利于阴极的下次使用。

[0064] 进一步地,在填充钢渣之前,还包括对钢渣进行预处理:将钢渣置于乙醇溶液中,利用超声波进行水洗后烘干;优选地,超声波的功率为80-100瓦;水洗的时间为12-15min;烘干的温度为58-62 $^{\circ}C$,时间为30-35min。进一步优选地,超声波的功率为100瓦;水洗的时间为15min;烘干的温度为60 $^{\circ}C$,时间为30min。

[0065] 本申请中,为了提升钢渣的利用率,通过对钢渣进行预处理,以去除钢渣表面的杂质或氧化物,从而使得钢渣能够与阴极、阳极以及电解质形成三维氧化还原的电化学反应装置,有利于对工业废水进行深度处理。其中,钢渣为消耗品,每升工业废水中需要加入钢渣的量为25-35g。

[0066] 本申请中采用钎铍电极板并结合工业废弃钢渣的作用形成三维电极系统,此外,钢渣还起到活化电解质(过硫酸盐)的作用和电化学耦合的作用,本申请提供的利用三维电极处理工业废水的方法不但增加了对COD、总氮等的降解效率,同时减少了反应时间,大幅度降低反应成本,并且可以有效的实现工业钢渣的废物利用。

[0067] 以下结合实施例对本发明的特征和性能作进一步的详细描述。

[0068] 实施例1

[0069] 本申请提供了一种利用三维电极处理工业废水的方法,其包括如下步骤:

[0070] (1) 选取5L的电化学反应器,加入经过二级处理之后的工业废水2L。

[0071] (2) 在废水中加入2000mg/L的 $K_2S_2O_8$,搅拌均匀,调节pH在6-8之间。

[0072] (3) 电极的选择与预处理:选取1mm*1cm*10cm(宽*长*高)的钛极板与钎铍电极板。将钛极板作为阳极,钎铍电极板作为阴极。将钎铍电极板在体积浓度为10%的稀盐酸中浸泡10min。

[0073] (4) 将钛极板与钎铍电极板分别连接电源的阳极与阴极,保持电极板之间的间距为17cm。将钢渣置于乙醇溶液中,于超声波的功率为100瓦的条件下水洗15min,随后于60 $^{\circ}C$ 温度下烘干30min,获得处理后的钢渣(其SEM图、EDS图和XRD图可分别参阅图1、图2和图3),称取钢渣30g填充于两电极板之间。取两电极板的有效面积为7.5cm*1cm。

[0074] (5) 接通电源,电化学反应电流保持在0.001-0.003A之间,直流电源施加电压为8V。通电时间为120min。

[0075] (6) 结束后立马进行COD、总氮的测量。COD的降解率最高达到93.4%,总氮的降解率最高达到40.3%。

[0076] (7) 本实验所采用的阳极材料为钛板,阴极为钎铍电极板。其中阴极不算耗材,钛阳极在电解过程中会有损耗,单价为2元左右。主要处理的污水为2L,为保证体系对污水的

处理效果,可以考虑增加电极组。 $K_2S_2O_8$ 处理一次污水使用2000mg/L,每升污水加0.5g $K_2S_2O_8$,市场规格500g的 $K_2S_2O_8$ 单价9.5元。实验处理电压为8V,根据耗能公式,该体系处理1L水耗电 2.4×10^{-3} 度电。由于全国各地工业电价不同,因此以大中城市平时段的电价为依据0.725元/度。因此处理一吨水需要花费1.74元,结果符合低能耗要求。因此本发明满足经济、高效、普遍适用的标准。

[0077] 实施例2-3

[0078] 实施例2-3与实施例1基本相同,区别在于:

[0079] 实施例2中,直流电源施加电压为6V。结束后立马进行COD、总氮的测量。COD的降解率最高达到90%,总氮的降解率最高达到29.4%。

[0080] 实验处理电压为6V,根据耗能公式,该体系处理1L水耗电 1.8×10^{-3} 度电。由于全国各地工业电价不同,因此以大中城市平时段的电价为依据0.725元/度。因此处理一吨水需要花费1.305元,结果符合低能耗要求。因此本发明满足经济、高效、普遍适用的标准。

[0081] 实施例3中,直流电源施加电压为10V。结束后立马进行COD、总氮的测量。COD的降解率最高达到94%,总氮的降解率最高达到32%。实验处理电压为10V,根据耗能公式,该体系处理1L水耗电 3.0×10^{-3} 度电。由于全国各地工业电价不同,因此以大中城市平时段的电价为依据0.725元/度。因此处理一吨水需要花费2.1750元,结果符合低能耗要求。因此本发明满足经济、高效、普遍适用的标准。

[0082] 实施例4

[0083] (1) 选取5L的电化学反应器,加入经过二级处理之后的工业废水2L。

[0084] (2) 在废水中加入1000mg/L的 $K_2S_2O_8$,搅拌均匀,调节pH在6-8之间。

[0085] (3) 电极的选择与预处理:选取1.5mm*1.5cm*12cm(宽*长*高)的钛极板与钌铱电极板。将钛极板作为阳极,钌铱电极板作为阴极。将钌铱电极板在体积浓度为8%的稀盐酸中浸泡12min。

[0086] (4) 将钛极板与钌铱电极板分别连接电源的阳极与阴极,保持电极板之间的间距为15cm。将钢渣置于乙醇溶液中,于超声波的功率为80瓦的条件下水洗15min,随后于60℃温度下烘干30min,获得处理后的钢渣,称取钢渣25g填充于两电极板之间。取两电极板的有效面积为9.6cm*1.5cm。

[0087] (5) 接通电源,电化学反应电流保持在0.001-0.003A之间,直流电源施加电压经为8V。通电时间为120min。

[0088] 实施例5

[0089] (1) 选取5L的电化学反应器,加入经过二级处理之后的工业废水2L。

[0090] (2) 在废水中加入3000mg/L的 $K_2S_2O_8$,搅拌均匀,调节pH在6-8之间。

[0091] (3) 电极的选择与预处理:选取0.5mm*0.5cm*8cm(宽*长*高)的钛极板与钌铱电极板。将钛极板作为阳极,钌铱电极板作为阴极。将钌铱电极板在体积浓度为12%的稀盐酸中浸泡8min。

[0092] (4) 将钛极板与钌铱电极板分别连接电源的阳极与阴极,保持电极板之间的间距为17cm。将钢渣置于乙醇溶液中,于超声波的功率为90瓦的条件下水洗15min,随后于60℃温度下烘干30min,获得处理后的钢渣,称取钢渣30g填充于两电极板之间。取两电极板的有效面积为6cm*0.5cm。

[0093] (5) 接通电源,电化学反应电流保持在0.001-0.003A之间,直流电源施加电压经为8V。通电时间为120min。

[0094] 对比例1

[0095] 将实施例1中的钢渣省略变为二维电极,并按照实施例1中的操作方式进行通电处理。

[0096] 实验例1

[0097] 将实施例1提供的利用三维电极处理工业废水的方法和对比例1提供的利用二维电极处理工业废水的方法进行对比。

[0098] 请参阅图4,图4表明:反应120min,COD的降解达到了很高的效果,而3D反应比2D反应能达到更高的降解效率,3D反应的降解效率可以达到95%以上;

[0099] 请参阅图5,图5表明:反应120min,2D反应中TN的降解效率达到24.2%,3D反应中TN降解效率高达37.9%,说明三维反应比二维反应更能高效的降解TN;

[0100] 请参阅图6,图6表明:添加不同含量的 $K_2S_2O_8$,COD的降解有增长趋势,虽然在2000mg/L之后降解效率有少量的下降,但是降解的程度依旧很好,并且可以看出三维反应比二维反应更能高效的降解COD;

[0101] 请参阅图7,图7表明:添加不同含量的 $K_2S_2O_8$,TN的降解效率持续增长,三维反应中TN的降解效率可达到37%以上,明显高于二级反应;

[0102] 请参阅图8,图8表明:在不同压力条件下,三维反应中TN的降解效率明显高于二维的降解效率;

[0103] 请参阅图9,图9表明:在不同压力条件下,三维反应中COD的降解效率明显高于二维的降解效率;

[0104] 请参阅图10,图10表明:三维与二维反应结果与原水结果和国家排放污水的一级标准进行的比较的,发现结果非常的理想。

[0105] 对比例2

[0106] 将实施例1中的阴极(钉铍电极)替换为碳纤维电极。

[0107] 对比例3

[0108] 将实施例1中的电解质 $K_2S_2O_8$ 替换为硫酸钾;

[0109] 对比例4

[0110] 将实施例1中的30g钢渣替换为含量为20g的钢渣。

[0111] 对比例5

[0112] 将实施例1中的30g钢渣替换为含量为40g的钢渣。

[0113] 对工业废水采用上述实施例1-5和对比例2-4的方法分别进行处理,处理结果如下:

	COD			TN		
	初始含量	最终含量	降解率	初始含量	最终含量	降解率
[0114] 实施例 1	78mg/L	3.56mg/L	95.4%	29.8mg/L	18.52mg/L	37.9%
实施例 2	78mg/L	10.67mg/L	81.6%	29.8mg/L	21.73mg/L	26.3%
实施例 3	78mg/L	3.93mg/L	93.2%	29.8mg/L	18.73mg/L	36.5%
实施例 4	78mg/L	9.72mg/L	87.54%	29.8mg/L	21.62mg/L	27.45%
实施例 5	78mg/L	5.89mg/L	92.45mg/L	29.8mg/L	17.98mg/L	39.6%
对比例 2	78mg/L	9.53mg/L	87.78%	29.8mg/L	21.28mg/L	28.6%
[0115] 对比例 3	78mg/L	10.45mg/L	86.6%	29.8mg/L	20.27mg/L	31.0%
实施例 4	78mg/L	7.76mg/L	90.0%	29.8mg/L	20.65mg/L	30.7%
实施例 5	78mg/L	6.79 mg/L	91.3%	29.8mg/L	20.37mg/L	31.6%

[0116] 从上表可以看出：从实施例2可以看出，直流电源的施加电压会对COD与TN的降解率产生明显的影响，同时从实施例4可以看出 $K_2S_2O_8$ 的浓度较低时，也会影响COD与TN的降解率。从对比例2的数据可以看出，本申请中的钌铱电极相较于其他常规电极（碳纤维电极）能够与钢渣具有更好的配合作用，钢渣有利于促进钌铱电极起到更佳的导电作用，而从对比例3可以看出，选用其他电解质，无法起到钢渣活化的作用，因而其COD与TN的降解率明显低于实施例1，此外，钢渣的添加量过低会导致其COD与TN的降解率明显降低，而当钢渣的添加量过高时，依然会导致COD与TN的降解率明显降低，这证明本申请中合适的钢渣添加量能够显著提高COD与TN的降解率。综合来看，采用本申请提供的电化学方式耦合钢渣活化过硫酸盐的方法对污水中COD与TN的降解有很高的成效。

[0117] 综上所述，本申请利用钌铱电极作为阴极，其自身具有优异的导电性，使用寿命长，成本非常低，阳极、阴极以及填充于阳极和阴极之间的钢渣构成三维电极，同时利用过硫酸盐作为电解质，钢渣内含有的金属成分（例如铁）可以对过硫酸盐进行活化，同时还有利于电化学耦合，两电极在电解过程中可以产生强氧化作用的羟基自由基（ $\cdot OH$ ），使得污水中吸附氧可以较容易的被还原成 H_2O_2 从而分解 $\cdot OH$ 来促进污水中COD、总氮等物质的降解。本申请提供的三维电化学装置不但增加了对COD、总氮等的降解效率，同时减少了反应时间，大幅度降低反应成本，并且可以有效的实现工业钢渣的废物利用。而本申请提供的利用三维电极处理工业废水的方法，即采用上述三维电化学装置进行注入工业废水后通电处理，处理方式简单，能够有效促进COD等物质的降解。

[0118] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

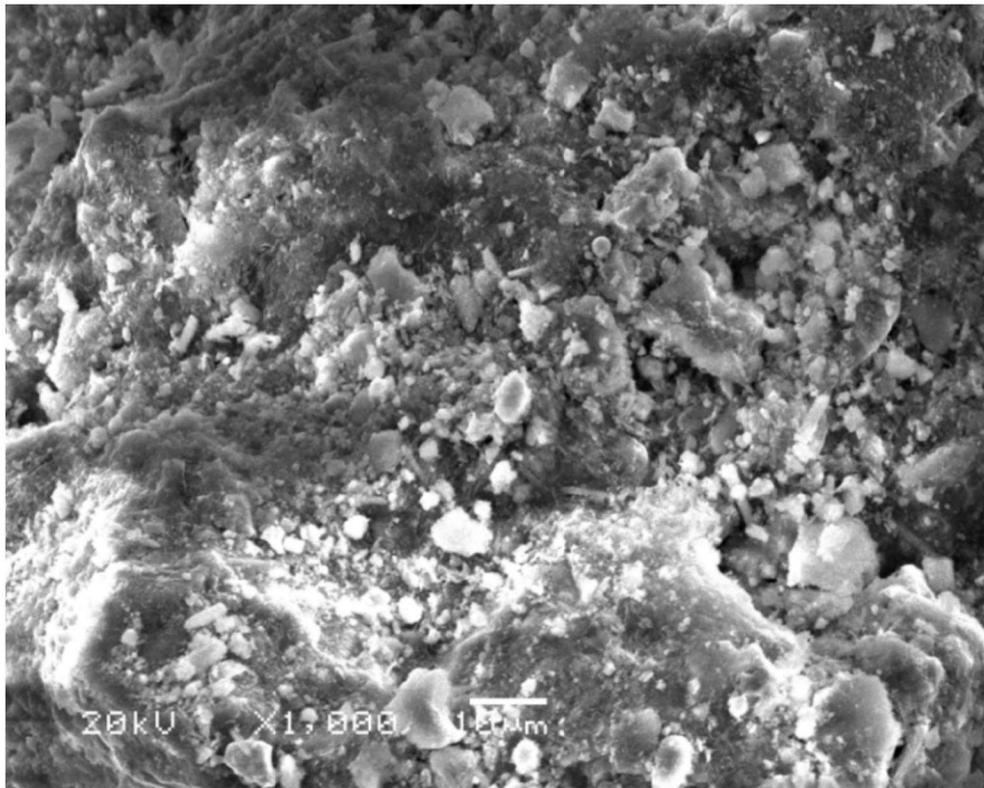


图1

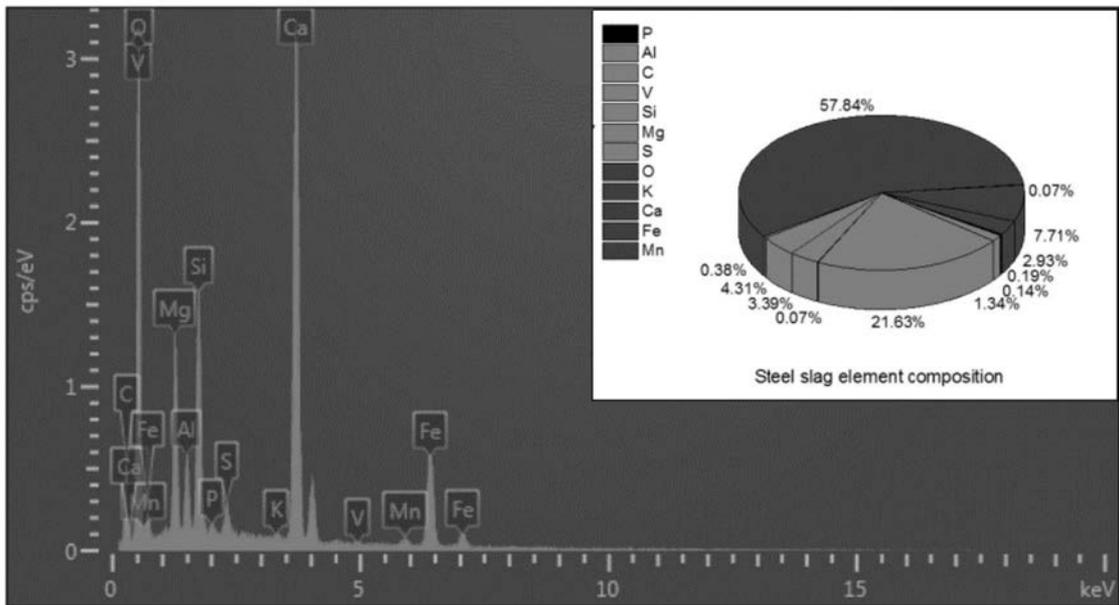


图2

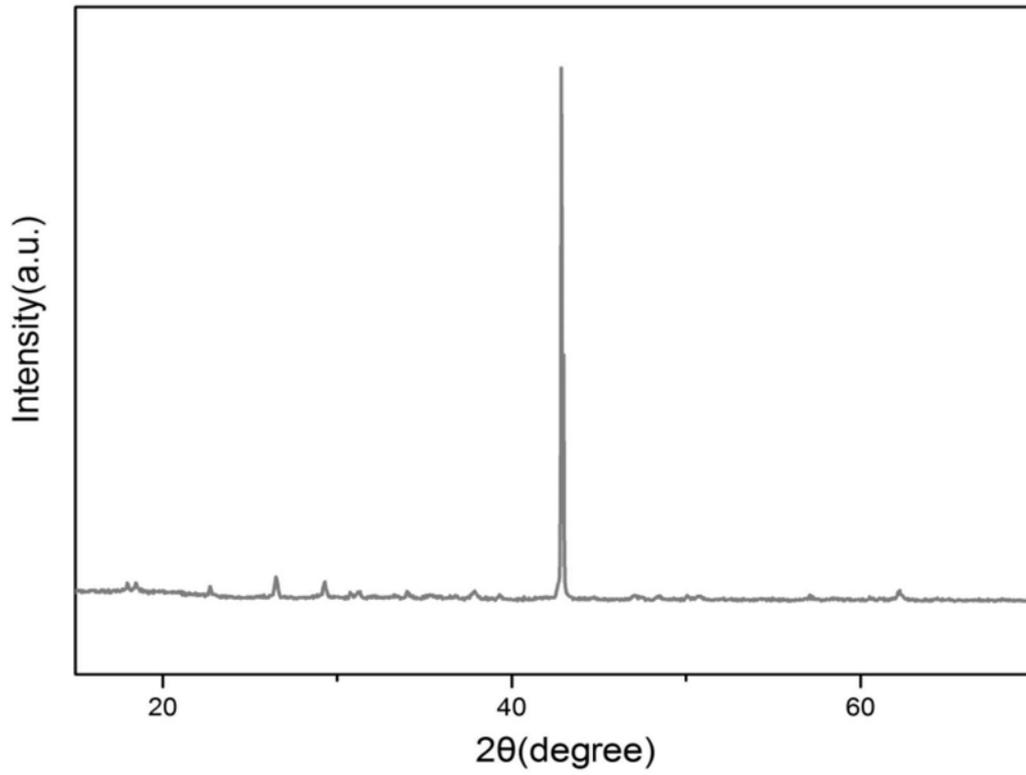


图3

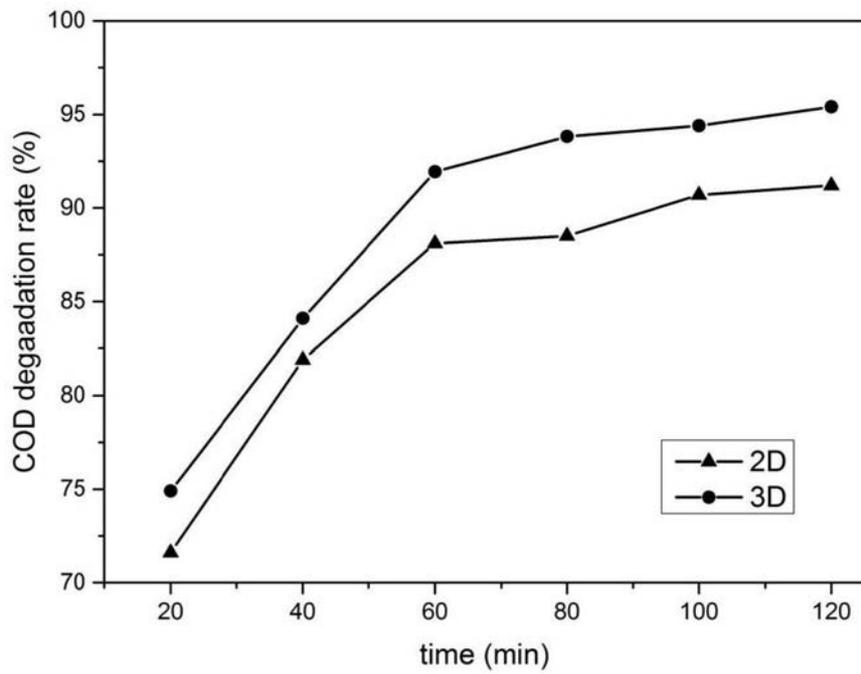


图4

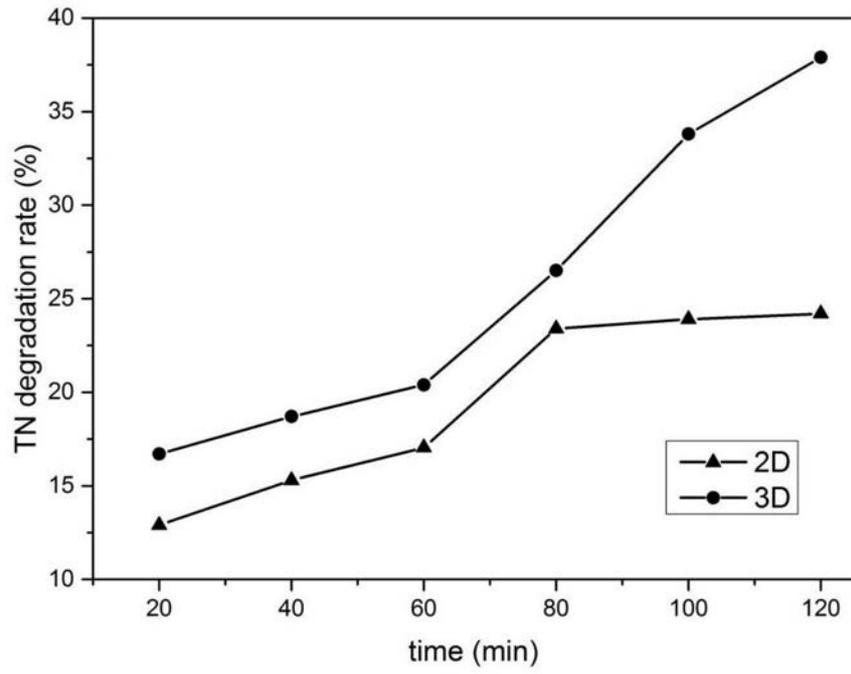


图5

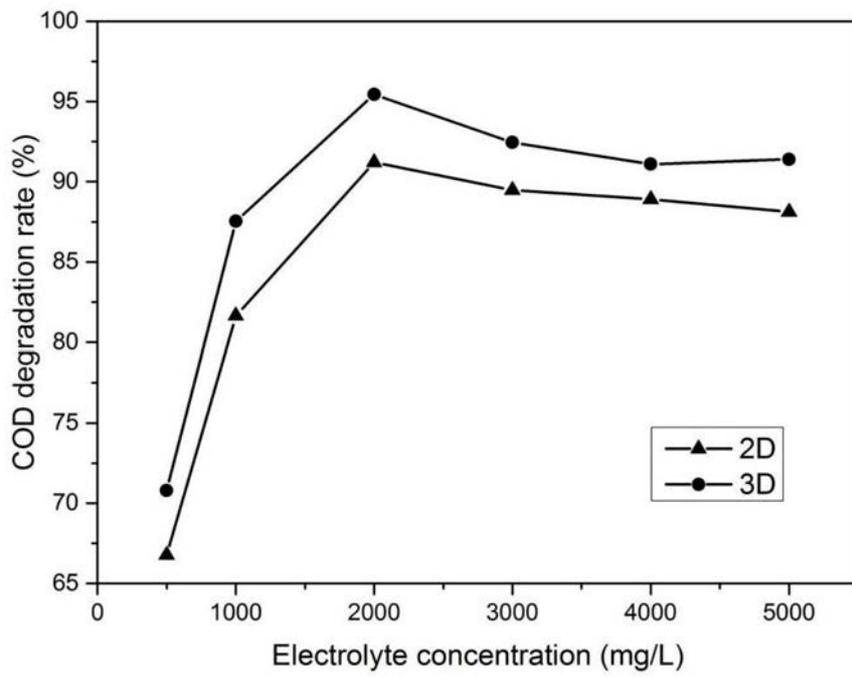


图6

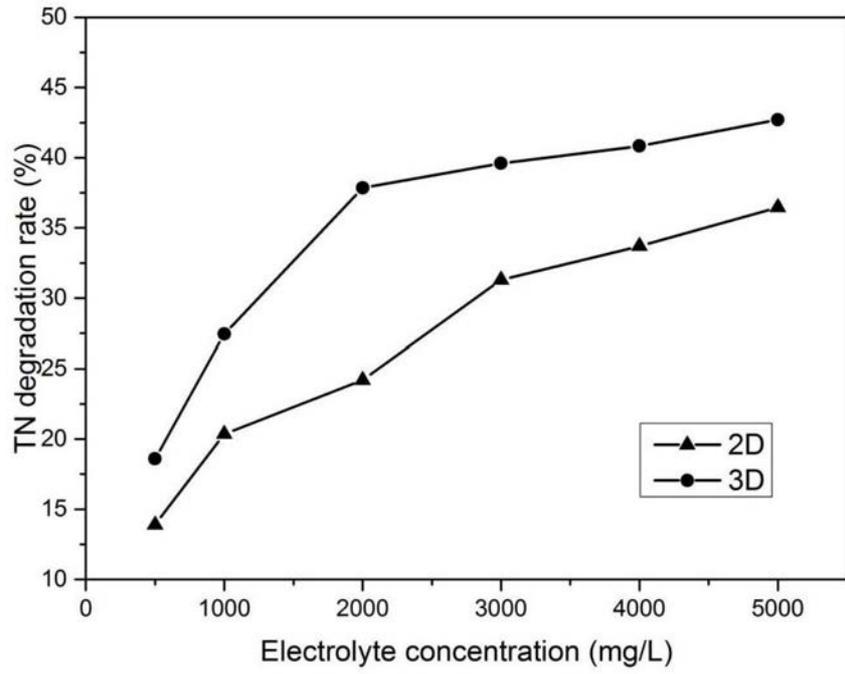


图7

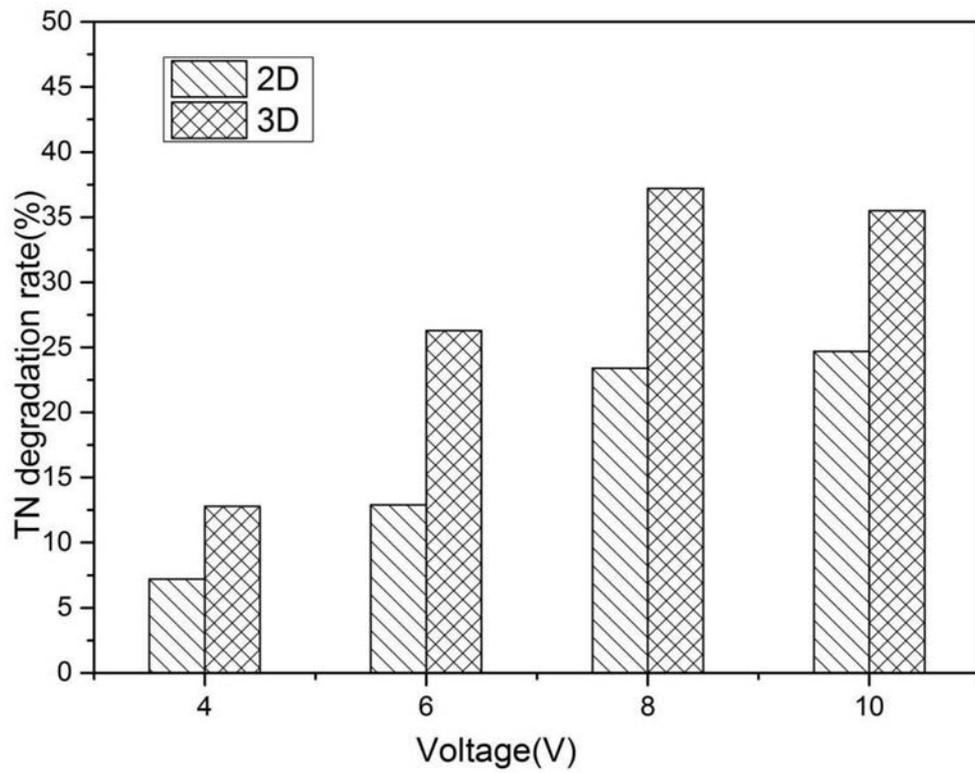


图8

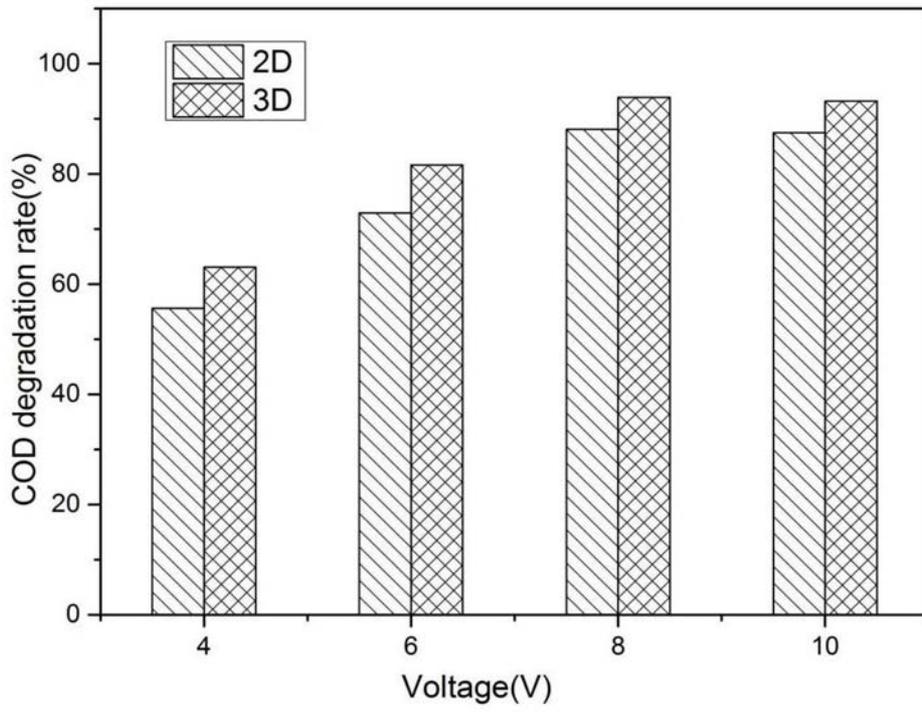


图9

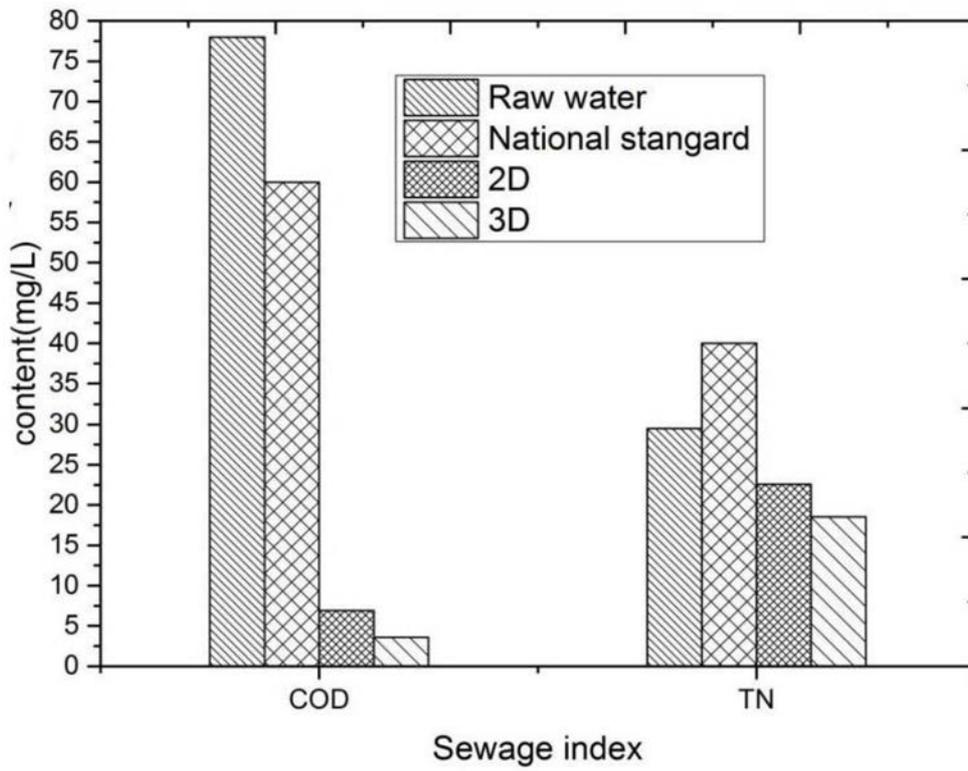


图10