



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105977514 A

(43)申请公布日 2016.09.28

(21)申请号 201610369745.4

(22)申请日 2016.05.30

(71)申请人 国电新能源技术研究院

地址 102209 北京市昌平区北七家镇未来科技城北二街

(72)发明人 郭桦 邓渝林 刘聪敏 张喆
刘伟 徐冬

(74)专利代理机构 北京大成律师事务所 11352
代理人 陈福

(51) Int. Cl.

H01M 8/10(2016.01)

H01M 8/16(2006.01)

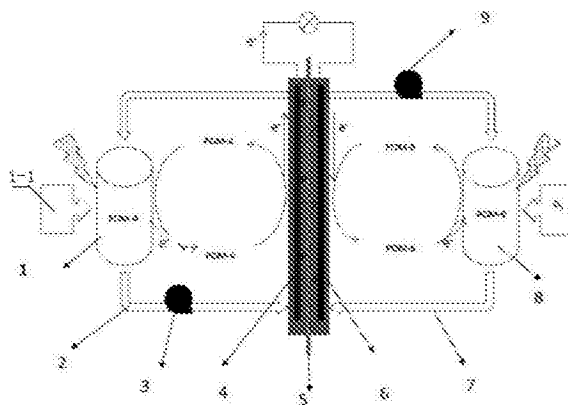
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种污泥燃料电池

(57)摘要

本发明涉及一种污泥燃料电池,其特征在于,包括阳极侧组成物质、阳极循环系统、质子交换膜、阴极侧组成物质、阴极循环系统。其中质子交换膜置于阴极循环系统和阳极循环系统之间,阳极侧组成物质储存于阳极循环系统内,阴极侧组成物质储存于阴极循环系统内,两侧物质被质子交换膜隔离开,阳极侧组成物质通过阳极循环系统将携带的电子传递到外部电路中,质子通过质子交换膜与通过阴极循环系统泵入阴极侧组成物质、外电路电子结合生成水。本发明提供的污泥燃料电池,污泥首先被杂多酸-A(POM-A)溶液氧化,被还原的POM将所获得的电子输送至燃料电池的阳极。这些电子通过外部电路,最终被阴极的杂多酸-B(POM-B)所捕获,可以将污泥中有机质的化学能转化为电能而不造成任何环境污染问题。



1. 一种污泥燃料电池,其特征在于,包括阳极侧组成物质、阳极循环系统、质子交换膜、阴极侧组成物质、阴极循环系统,所述质子交换膜置于阴极循环系统和阳极循环系统之间,阳极侧组成物质储存于阳极循环系统内,阴极侧组成物质储存于阴极循环系统内。

2. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述质子交换膜具有第一侧和第二侧,阳极电极及溶液置于质子交换膜的第一侧,阴极电极及溶液置于质子交换膜的第二侧。

3. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述阳极循环系统包括阳极液体蠕动泵、连接阳极电极板与阳极反应池的阳极管路。

4. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述阴极循环系统包括阴极液体蠕动泵、连接阴极电极板与阴极反应池的阴极管路。

5. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述阳极侧组成物质包括污泥、液体氧化剂、水、促进剂、污泥降解过程中所生成的中间产物。

6. 根据权利要求5所述污泥燃料电池,其特征在于,所述污泥是指城市污水处理过程中产生的活性污泥,含水量在0-90%之间,基于脱水后污泥干基固体的挥发性固体含量30-95%。

7. 根据权利要求5所述污泥燃料电池,其特征在于,所述污泥固体总有机碳含量为50g/kg-500g/kg。

8. 根据权利要求5所述污泥燃料电池,其特征在于,所述污泥的平均颗粒物直径为15nm-100cm。

9. 根据权利要求5所述污泥燃料电池,其特征在于,所述污泥的质量浓度为0.5%至70%,所述污泥质量浓度以污泥干基为标准。

10. 根据权利要求5所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述污泥与氧化剂之间的氧化还原反应由光照或者加热或者光照和加热同时作用引发。

11. 根据权利要求10所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述光照为太阳光或者人造光源或者太阳光与人造光组合。

12. 根据权利要求10所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述光照强度范围为1-100mW/cm²。

13. 根据权利要求10所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述光照的波长范围为10-750nm。

14. 根据权利要求10所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述加热的温度范围为25-350℃。

15. 根据权利要求5所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述氧化剂包括以下一项或任意两项或两项以上组合:磷钼酸($\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$)、磷钨酸($\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$)、钒取代的磷钼酸 $\text{H}_5[\text{PMo}_{10}\text{V}_2\text{O}_{40}]$ 、 $\text{H}_5[\text{PMo}_9\text{V}_3\text{O}_{40}]$ 、多金属氧酸盐的组合物($\text{H}_3\text{PW}_{11}\text{MoO}_{40}$)。

16. 根据权利要求5所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述氧化剂的所占阳极溶液的质量分数为0.5-50%。

17. 根据权利要求5所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述促进剂为增强污泥与氧化剂反应程度的组合物,包括以下一项或任意两项或两项以上的组合:路易斯酸、布朗斯台德酸、路易斯碱。

18. 根据权利要求5所述污泥燃料电池,其特征在于,所述促进剂浓度为2ppm-2%。
19. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述阴极侧组成物质包括催化剂、水和氧化剂。
20. 根据权利要求19所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述催化剂包括以下一项或任意两项或者两项以上的组合:磷钼酸($\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$)及其盐类,磷钨酸($\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$)及其盐类,钒取代的磷钼酸($\text{PMo}_9\text{V}_3\text{O}_{40}$, $\text{P}_3\text{Mo}_{18}\text{V}_7\text{O}_{85}$)及其盐类,多金属氧酸盐的组合物($\text{H}_3\text{PW}_{11}\text{MoO}_{40}$)。
21. 根据权利要求19所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述催化剂的质量分数为0.1-70%。
22. 根据权利要求19所述的污泥燃料电池,其特征在于,所述氧化剂为氧气或者空气。
23. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,燃料流体连通的阳极电极的部分的温度 22°C 至 350°C 。
24. 根据权利要求1所述的污泥燃料电池,其特征在于,阳极溶液体积与阴极溶液体积比为1:0.5~1:20。

一种污泥燃料电池

技术领域

[0001] 本发明属于直接液体催化燃料电池领域,具体涉及一种污泥燃料电池,在低温下直接将污泥转化为电能,燃料不需要进行任何预处理。

背景技术

[0002] 污泥(sludge)是污水处理过程所产生的介于液体和固体之间的粘稠物,由有机残渣、细菌菌体、无机杂质和胶体等组成的极其复杂非均质体。随着城市化进程的加快和水处理程度的加深,城市污水污泥的产量也急剧增加,预计到2020年,污泥产量将突破6000万吨。此外,污泥中还含有Cd、Pb、As、Cu和Zn等对环境和人类健康有严重危害的重金属元素及较多的病原微生物、寄生虫卵和毒性有机物。污泥导致的环境污染问题日益突出,已造成极大的安全隐患、环境压力和经济负担。如何合理地处置城市污水污泥,使其达到“减量化、无害化及资源化”的目的,已成为我国城市生态环境可持续发展的关键问题。

[0003] 另一方面,从能源角度出发,城市污水污泥中日益提高的有机物含量和热值也使其极具能源回收价值,利用先进的处理技术,提高城市污水污泥的能源回收率,并用于替代部分化石燃料,对于解决全球变暖、促进能源结构调整,实现能源的可持续多元化发展,具有十分重要的意义。

[0004] 污泥发电不但可以实现污泥的安全处理,同时还可以实现污泥资源化利用,是污泥合理利用的发展趋势。燃料电池具有能量转化效率和绿色环保的优点,被认为是一项非常具有前景的技术。以污泥为底物的微生物燃料电池技术(MFC),可以实现污泥降解和发电同步,功率输出密度为 $40\sim 250\text{mW}/\text{m}^2$ 。然而,该技术也存在具有诸多不足,如输出功率密度低、稳定性差、污泥降解效率低、电极材料催化剂价格昂贵等。直接液体催化燃料电池技术是一种全新的燃料电池技术,该技术可以将如淀粉、纤维素、木质素等生物质在室温下直接转换为电能。污泥中含有一定量的有机质,理论上污泥中的有机质部分也可以与液体直接燃料电池中的阳极电解质发生氧化还原反应,产生电子和质子,电子经过外电路,对外做功从而实现污泥中的有机质能转化为电能。以污泥为燃料的液体直接燃料电池技术可以实现污泥的高效、清洁利用,是一项极有前景的新型燃料电池技术。

发明内容

[0005] 本发明涉及到一种污泥燃料电池,可以在低温下直接将污泥转化为电能,燃料不需要进行任何预处理。该污泥燃料电池的阴极和阳极分别采用不同类型的杂多酸(POMs)为催化剂和电荷载体,代替原来燃料电池中的贵金属催化剂,最终实现了无贵金属的直接污泥-电能液体催化燃料电池技术(LCFC)。由于采用杂多酸作为催化剂,其性能稳定、对燃料中杂质,如硫元素、氮元素等不敏感,因此污泥不需要进行任何预处理。

[0006] 该燃料电池包含两个反应池,分别是阳极的杂多酸催化剂(POM-A)和污泥燃料以及阴极的杂多酸催化剂(POM-B)和氧气。阳极反应器内POM-A首先被污泥还原,同时,POM-B在阴极被还原,被还原的POM-B可以被氧气氧化再生。实际上,POM-A和POM-B均作为催化剂

而不是反应剂,因为两种多酸溶液可以完全被再生,没有任何质量损失。因此,该燃料电池的净反应仅涉及到了污泥的有机质成分和氧气。具体反应过程可以分为四个步骤:

[0007] 第一步,POM-A溶液首先在加热条件下在阳极内被污泥里有机质成分还原,有机质上的电子由有机质转移至POM-A;

[0008] 第二步,通过蠕动泵使还原态POM-A溶液循环至石墨电极板上,此时,POM-A分子上所携带的电子通过石墨电极传递到外部电路,最终转移到阴极的POM-B。与此同时,质子通过膜由POM-A转移到POM-B。通过整个过程,储存在的污泥有机质内的化学能转化为电能,对外做功。

[0009] 第三步,氧化态的POM-B接受外电路电子,被还原为相对低价态,电极电势降低。

[0010] 第四步,还原态的POM-B被氧气氧化,失去电子,化合价升高,从而得到再生。与此同时,穿过质子膜的氢离子与氧离子结合生成水。

[0011] 为了解决上述技术问题,本发明采取如下技术方案:

[0012] (1)一种污泥燃料电池,包括阳极侧组成物质、阳极循环系统、质子交换膜、阴极侧组成物质、阴极循环系统,所述质子交换膜置于阴极循环系统和阳极循环系统之间,阳极侧组成物质储存于阳极循环系统内,阴极侧组成物质储存于阴极循环系统内,两侧物质被质子交换膜隔离开,阳极侧组成物质通过阳极循环系统将携带的电子传递到外部电路中,质子通过质子交换膜与通过阴极循环系统泵入阴极侧组成物质、外电路电子结合生成水。

[0013] (2)根据(1)所述的污泥燃料电池,所述质子交换膜具有第一侧和第二侧,阳极电极及溶液置于质子交换膜的第一侧,阴极电极及溶液置于质子交换膜的第二侧。

[0014] (3)根据(1)或(2)所述的污泥燃料电池,所述阳极循环系统包括阳极液体蠕动泵、连接阳极电极板与阳极反应池的阳极管路。

[0015] (4)根据(1)-(3)任一项所述的污泥燃料电池,所述阴极循环系统包括阴极蠕动泵、连接阴极电极板与阴极反应池的阴极管路。

[0016] (5)根据(1)-(4)任一项所述的污泥燃料电池,所述阳极侧组成物质包括污泥、液体氧化剂、水、促进剂、污泥降解过程中所生成的中间产物。

[0017] (6)根据(1)-(5)任一项所述的污泥燃料电池,所述污泥是指城市污水处理过程中产生的活性污泥,含水量在0-90%之间,基于脱水后污泥干基固体的挥发性固体含量30-95%。

[0018] (7)根据(1)-(6)任一项所述的污泥燃料电池,所述污泥干基的固体总有机碳含量为50g/kg-500g/kg。

[0019] (8)根据(1)-(7)任一项所述的污泥燃料电池,所述污泥的平均颗粒物直径为15nm-100cm。

[0020] (9)根据(1)-(8)任一项所述的污泥燃料电池,所述污泥的质量浓度为0.5%至70%,所述污泥质量浓度以污泥干基为标准。

[0021] (10)根据(1)-(9)任一项所述的污泥燃料电池,所述污泥与氧化剂之间的氧化还原反应由光照或者加热或者光照和加热同时作用引发。

[0022] (11)根据(1)-(10)任一项所述的污泥燃料电池,所述光照为太阳光或者人造光源或者太阳光与人造光组合。

[0023] (12)根据(1)-(11)任一项所述的污泥燃料电池,所述光照强度范围为1-100mW/

cm²。

[0024] (13)根据(1)-(12)任一项所述的污泥燃料电池,所述光照的波长范围为10-750nm。

[0025] (14)根据(1)-(13)任一项所述的污泥燃料电池,所述加热的温度范围为25-350℃。

[0026] (15)根据(1)-(14)任一项所述的污泥燃料电池,所述氧化剂包括以下一项或任意两项或两项以上组合:磷钼酸(PMo₁₂O₄₀)、磷钨酸(PW₁₂O₄₀)、钒取代的磷钼酸H₅[PMo₁₀V₂O₄₀]、H₅[PMo₉V₃O₄₀]、多金属氧酸盐的组合物(H₃PW₁₁MoO₄₀)。

[0027] (16)根据(1)-(15)任一项所述的污泥燃料电池,所述氧化剂的所占阳极溶液的质量分数为0.5-50%。

[0028] (17)根据(1)-(16)任一项所述的污泥燃料电池,所述促进剂为增强污泥与氧化剂反应程度的组合物,包括以下一项或任意两项或两项以上的组合:路易斯酸、布朗斯台德酸、路易斯碱。

[0029] (18)根据(1)-(17)任一项所述的污泥燃料电池,所述促进剂浓度为2ppm-2%。

[0030] (19)根据(1)-(18)任一项所述的污泥燃料电池,所述阴极侧组成物质包括催化剂、水和氧化剂。

[0031] (20)根据(1)-(19)任一项所述的污泥燃料电池,所述催化剂包括以下一项或任意两项或者两项以上的组合:磷钼酸(PMo₁₂O₄₀)及其盐类,磷钨酸(PW₁₂O₄₀)及其盐类,钒取代的磷钼酸(PMo₉V₃O₄₀, P₃Mo₁₈V₇O₈₅)及其盐类,多金属氧酸盐的组合物(H₃PW₁₁MoO₄₀)。

[0032] (21)根据(1)-(20)任一项所述的污泥燃料电池,所述催化剂的质量分数为0.1-70%。

[0033] (22)根据(1)-(21)任一项所述的污泥燃料电池,所述氧化剂为氧气或者空气。

[0034] (23)根据(1)-(22)任一项所述的污泥燃料电池,燃料流体连通的阳极电极的部分的温度22℃至350℃。

[0035] (24)根据(1)-(23)任一项所述的污泥燃料电池,阳极溶液体积与阴极溶液体积比为1:0.5~1:20。

[0036] 本发明提供了一种污泥燃料电池,污泥首先被杂多酸-A(POM-A)溶液氧化,反应温度为25~350℃,被还原的POM将所获得的电子输送至燃料电池的阳极。这些电子通过外部电路,最终被阴极的杂多酸-B(POM-B)所捕获。在该燃料电池体系中,POM-B的电极电势比被还原的POM-A电极电势高,比氧气的电极电势低。因此,在该污泥燃料电池中,处于还原状态的POM-A作为阳极,POM-B作为阴极。阴极中的还原状态的POM-B溶液可以被氧气再次氧化,回到初始状态。直接污泥燃料电池的能量密度可以达到100mW/cm²,表明本发明中所涉及的低温直接燃料电池技术是一项非常有前景的新型燃料电池技术,可以将污泥中有机质的化学能转化为电能而不造成任何环境污染问题。

附图说明

[0037] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0038] 图1为本发明的污泥燃料电池的结构示意图;

[0039] 图中1为阳极反应池,1-1为污泥,2为阳极管路,3为阳极液体蠕动泵,4为阳极电极

板,5为质子交换膜,6为阴极电极板,7为阴极管路,8为阴极反应池,9为阴极液体蠕动泵。

[0040] 图2为电压-电流密度和功率-电流密度曲线图。反应条件为:污泥(干基,2.5g)和磷钼酸($H_3[PMO_{12}O_{40}]$)(50ml,0.3M)在80℃预加热条件下,阳极溶液与阴极溶液体积比为:1:1。

[0041] 图3为电压-电流密度和功率-电流密度曲线图。反应条件为:污泥(干基,2.5g)和磷钼酸($H_3[PMO_{12}O_{40}]$)(50ml,0.3M)在100℃预加热条件下,阳极溶液与阴极溶液体积比为:1:1。

[0042] 图4为为电压-电流密度和功率-电流密度曲线图。反应条件为:污泥(干基,2.5g)和磷钼酸($H_3[PMO_{12}O_{40}]$)(50ml,0.3M)在150℃预加热条件下,阳极溶液与阴极溶液体积比为:1:1。

[0043] 图5为不同反应温度相同反应时间下,功率-电流密度曲线对比图。

[0044] 图6为在恒定电流(220mA)条件下,燃料电池连续放电性能测试结果图。

[0045] 图7为污泥固体总碳含量测试图。

[0046]

[0047]

具体实施方式

[0048] 以下给出本发明方法的具体实施方式:

[0049] 如图1所示,一种污泥燃料电池,包括阳极侧组成物质、阳极循环系统、质子交换膜5、阴极侧组成物质、阴极循环系统,所述质子交换膜置5于阴极循环系统和阳极循环系统之间,阳极侧组成物质储存于阳极循环系统内,阴极侧组成物质储存于阴极循环系统内,两侧物质被质子交换膜隔离开,阳极侧组成物质通过阳极循环系统将携带的电子传递到外部电路中,质子通过质子交换膜与通过阴极循环系统泵入阴极侧组成物质、外电路电子结合生成水。其中阳极循环系统包括阳极反应池1、阳极液体蠕动泵3、连接阳极电极板4与阳极反应池1的阳极管路2,阴极循环系统包括阴极反应池8、阴极液体蠕动泵9、连接阴极电极板6与阴极反应池8的阴极管路7。这种燃料电池使用不同氧化还原电位的两种杂多酸溶液:在阳极反应池中储存的是一种杂多酸(简写为POM-A)溶液和低质煤,在光照或加热条件下发生污泥中的有机物质发氧化反应,然后还原态POM-A溶液在液体蠕动泵的作用下,经过管路进入阳极石墨电极板内,还原态POM-A溶液将所携带的电子转移到外电路,并在溶液中放出氢离子后恢复到初始态,此时氧化态的POM-A溶液再次循环回到阳极反应池内。另外一种电极电势相对较高的杂多酸溶液(简写为POM-B)存储在阴极反应池中,经过氧气氧化后的POM-B溶液被泵入阴极石墨电极板内,与经过外电路到达阴极的电子以及穿过Nafion115膜的氢离子结合后,恢复到初始状态,进入下一循环。

[0050] 实施例1:

[0051] 1. 配制阳极电解液(POM-A)

[0052] 取一定量的磷钼酸 $H_3[PMO_{12}O_{40}]$ 配制成0.3mol/L溶液。

[0053] 2. 阳极电解液(POM-A)与污泥氧化还原反应

[0054] 将POM-A溶液(0.3mol/L,50mL)与污泥2.5g(干基)在磷酸(85%,0.45ml)环境下,采用冷凝管回流方式,在80℃持续加热反应,结束后冷却过滤。

[0055] 3. 配制阴极电解液(POM-B)

[0056] 钒钼酸 $H_{12}[P_3Mo_{18}V_7O_{85}]$ 作为阴极电解液,溶液浓度为 $0.3mol/L$,阴极溶液的体积 $50mL$,阳极和阴极溶液体积比为 $1:1$ 。

[0057] 4. 直接低质污泥燃料电池组装和测试方法

[0058] 污泥直接燃料电池系统,包括高密度的石墨电极板、石墨毡和质子交换膜。双极板上有一条蛇形的流道,有效的几何投影面积为 $1cm^2$ (流道长 $5cm$,宽 $2mm$,深 $10mm$)。石墨毡需要经过预处理,预处理条件为:首先将石墨毡浸入体积比为 $3:1$ 的浓硫酸和浓硝酸混合物中, $50^\circ C$ 下 30 分钟,然后用去离子水冲洗干净。将预修饰过的石墨毡填入到双极板的蛇形流道内,将Nafion膜置于两片电极板之间。两片丙烯酸塑料板作为端板将石墨双极板和聚四氟垫片固定好,以防电解液泄漏。使用聚四氟管将蠕动泵和单电池连接起来,从而实现电解液外部循环。

[0059] 5. POM-B再生反应

[0060] 还原态的 $H_{12}[P_3Mo_{18}V_7O_{85}]$ 溶液在氧气混合容器(玻璃容器直径为 $1.5cm$,长 $20cm$,内填充碳纤维)内,与氧气反应实现再生。还原态的 $H_{12}[P_3Mo_{18}V_7O_{85}]$ 溶液以 $30ml/min$ 流速进入到气液混合器内,与氧气混合, O_2 由钢瓶器供给,流速为 $12ml/min$,压力为 $1.0atm$ 。气液混合器的反应温度为 $80^\circ C$ 。

[0061] 6. 低温下直接污泥燃料电池连续放电测试

[0062] 将还原态的 $H_3[PMo_{12}O_{40}]$ 溶液放入阳极反应器内,然后通过蠕动泵输送至燃料电池的阳极板进行放电实验。同样的,将 $H_{12}[P_3Mo_{18}V_7O_{85}]$ 溶液,置于阴极反应器内,然后通过蠕动泵输送至燃料电池的阴极板。两个反应器的温度均维持在 $80^\circ C$,流速分别为 $30ml/min$,液体进入阳极板流道前需要经过 $0.2\mu m$ 过滤头,防止污泥中无法溶解的固体杂质堵塞管路。本实施例的电化学性能测试数据如图2所示。

[0063] 实施例2:

[0064] 本实施例的燃料电池阳极催化剂和阴极催化剂以及燃料电池系统与实施例1相同,仅污泥与阳极催化剂预加热的处理温度及方式不同。本实施例中,污泥与阳极催化剂的持续预加热温度为 $100^\circ C$,采用聚四氟内衬的高压反应釜,将反应釜置于恒温烘箱中一定的时间。本实施例的电化学性能测试数据如图3所示。

[0065] 实施例3:

[0066] 本实施例的燃料电池阳极催化剂和阴极催化剂以及燃料电池系统与实施例2相同,仅污泥与阳极催化剂预加热的处理温度不同。本实施例中,污泥与阳极催化剂的持续预加热温度为 $150^\circ C$,采用聚四氟内衬的高压反应釜,将反应釜置于恒温烘箱中一定的时间。本实施例的电化学性能测试数据如图4所示。

[0067] 实施例4:

[0068] 本实施例的燃料电池阳极催化剂和阴极催化剂以及燃料电池系统与实施例2相同,仅污泥与阳极催化剂的用量不同。本实施例的电化学性能测试数据如图6所示。

[0069] 1. 将POM-A溶液($0.3mol/L$, $200mL$)与污泥 $10g$ (干基)在磷酸(85% , $0.45ml$)环境下,采用冷凝管回流方式,在 $100^\circ C$ 持续加热反应,结束后冷却过滤。

[0070] 2. 钒钼酸 $H_{12}[P_3Mo_{18}V_7O_{85}]$ 作为阴极电解液,溶液浓度为 $0.3mol/L$,阴极溶液的体积 $1000mL$,阳极和阴极溶液体积比为 $1:5$ 。

[0071] 结果分析

[0072] 图2-图4是80℃、100℃和150℃三个不同温度下,磷钼酸与污泥随反应时间的电化学性能变化曲线,从图上可以看出,随着反应时间的延长,污泥与多酸的反应程度逐渐增加,从24小时延长到36小时变化不大,说明开始阶段随着时间变化较快,当达到一定的反应程度后,速率逐渐减慢。

[0073] 图5是80℃、100℃和150℃三个不同温度下,经过同样的反应时间12小时,功率-电流密度曲线,综合以上数据可以说明温度对污泥与杂多酸的反应程度影响较大,相同的反应时间下,温度越高,反应程度越高,最大功率密度可达63mW/cm²。

[0074] 图6在恒定电流(220mA)条件下,测定了燃料电池连续放电性能。将10g的褐污泥与0.3mol/L 200ml磷钼酸在100℃下反应24小时,将反应液过滤后,置于燃料电池阳极反应池内,反应温度为80℃,持续放电电流密度为100mA cm⁻²,初始功率密度为45mW cm⁻²,持续放电12小时后,功率密度降低到30mW cm⁻²,全部放电时间持续23小时,将过滤后的固体进行再次放电实验,初始功率密度降低到30mW/cm²,全部放电过程仅持续了4.5个小时。随后,再次将剩余固体进行加热反应,然后放电,初始功率约为20mW/cm²,放电时间不足三小时。以上数据说明经过第一轮反应,大部分的有机质已经全部溶解到了溶液中,剩余固体中的有机质部分较少。

[0075] 图7是将10g的褐污泥与0.3mol/L 200ml磷钼酸在100℃下反应24小时,将反应的固体剩余物经过多次冲洗、过滤后,在105℃下干燥12小时后,进行称量,并进行固体TOC测试。测试结果表明,第一轮反应大约有60%的固体物质溶解到溶液中,第二轮质量一共减少了大约80%,到第三轮反应结束后,固体质量总体降低了90%。固体的总碳含量随着反应的进行呈现先降后升的规律,这是由于开始阶段大量的有机物质溶于溶液中,随着反应的进行无机物也开始大量溶解,碳含量相对提高。

[0076] 上述实施例并非具体实施方式的穷举,还可有其他的实施例,上述实施例目的在于说明本发明,而非限制本发明的保护范围,所有由本发明简单变化而来的应用均落在本发明的保护范围内。

[0077] 此专利说明书使用实例去展示本发明,其中包括最佳模式,并且使熟悉本领域的技术人员制造和使用此项发明。此发明可授权的范围包括权利要求书的内容和说明书内的具体实施方式和其它实施例的内容。这些其它实例也应该属于本发明专利权利要求的范围,只要它们含有权利要求相同书面语言所描述的技术特征,或者它们包含有与权利要求无实质差异的类似字面语言所描述的技术特征。

[0078] 所有专利,专利申请和其它参考文献的全部内容应通过引用并入本申请文件。但是如果本申请中的一个术语和已纳入参考文献的术语相冲突,以本申请的术语优先。

[0079] 本文中公开的所有范围都包括端点,并且端点之间是彼此独立地组合。

[0080] 需要注意的是,“第一”,“第二”或者类似词汇并不表示任何顺序,质量或重要性,只是用来区分不同的技术特征。结合数量使用的修饰词“大约”包含所述值和内容上下文指定的含义(例如:它包含有测量特定数量时的误差)。

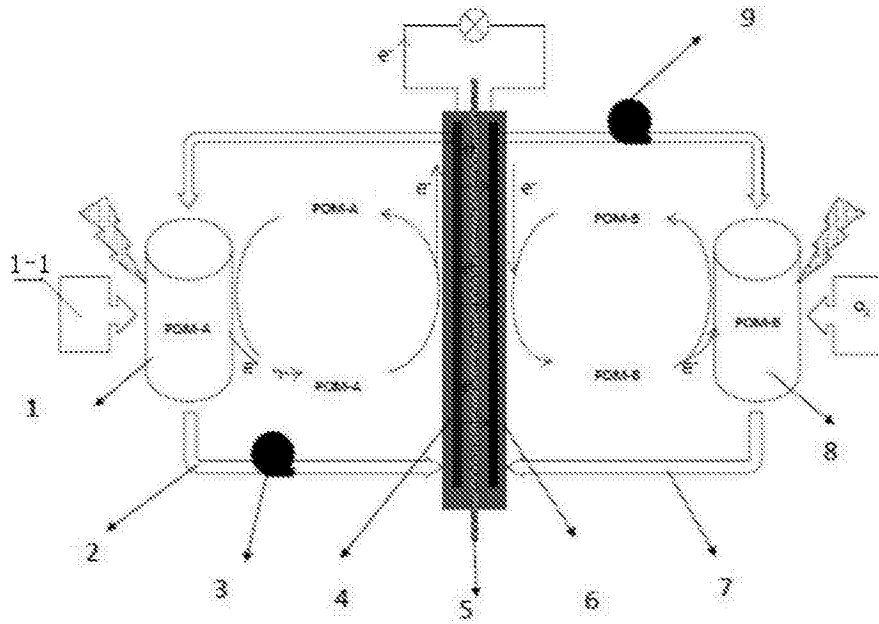


图1

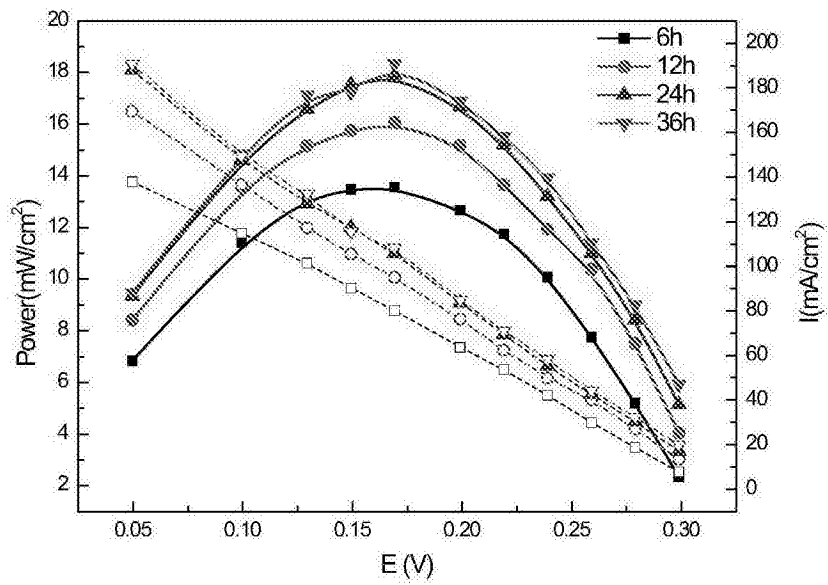


图2

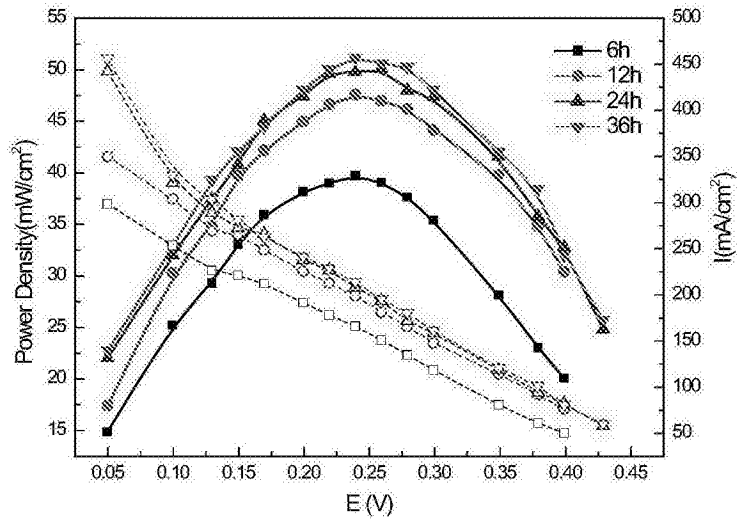


图3

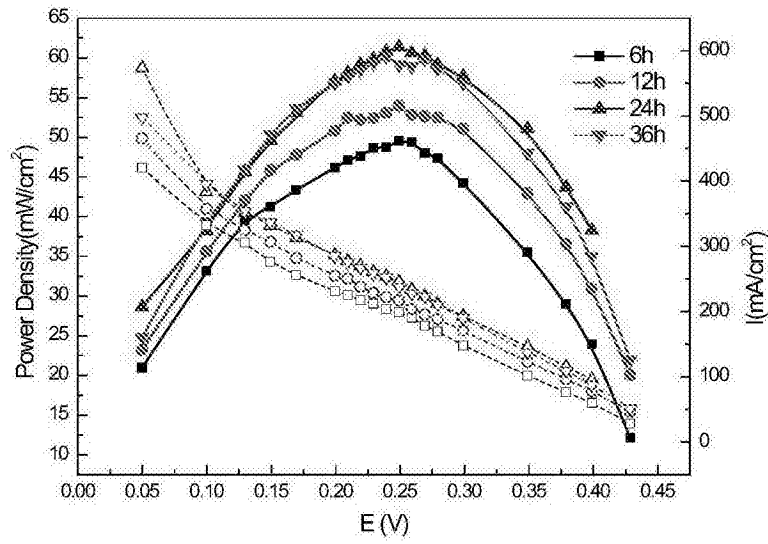


图4

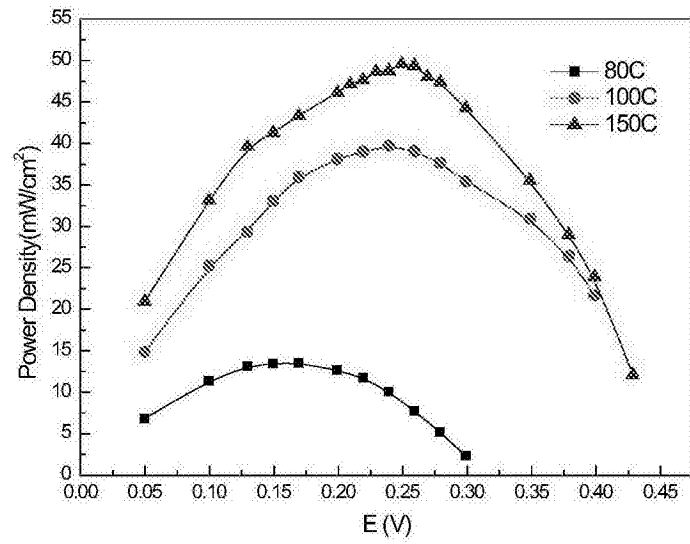


图5

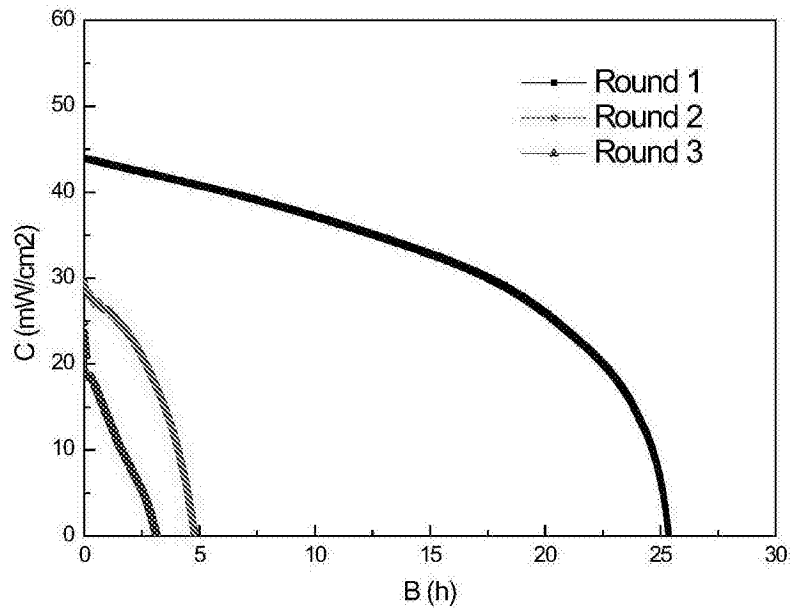


图6

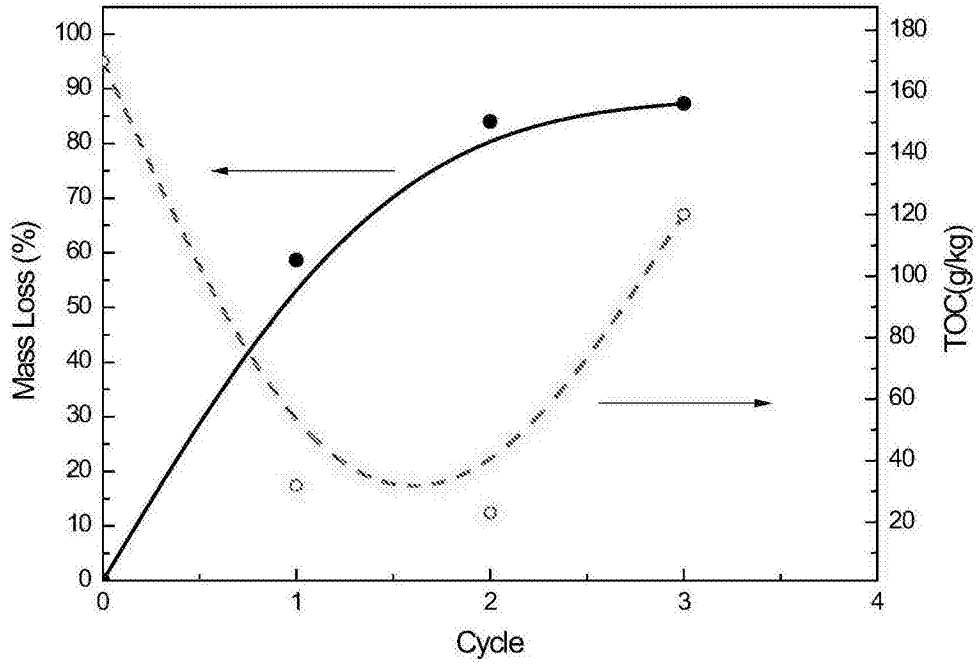


图7