



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102703155 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 28

(21) 申请号 201210215416. 6

(22) 申请日 2012. 06. 27

(73) 专利权人 环境保护部南京环境科学研究所  
地址 210042 江苏省南京市玄武区蒋王庙街 8 号

(72) 发明人 高吉喜 张后虎 李国庆 李维新  
刘波 高常纯 梁斌 庄巍  
张洪玲

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207  
代理人 蒋海军

(51) Int. Cl.

C10L 5/44 (2006. 01)

C10L 5/46 (2006. 01)

C02F 1/58 (2006. 01)

C02F 3/32 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101318748 A, 2008. 12. 10,

CN 101376856 A, 2009. 03. 04,

WO 2012/068640 A1, 2012. 05. 31,

CN 101712503 A, 2010. 05. 26,

US 2011/0100273 A1, 2011. 05. 05,

审查员 孙雅雯

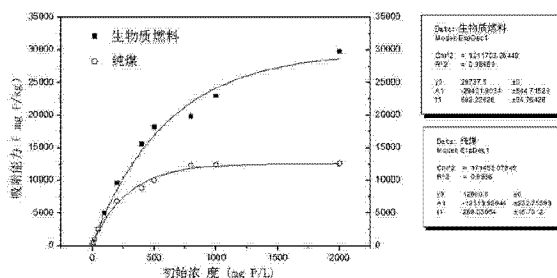
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料及其制备方法和燃料炉渣的应用

(57) 摘要

本发明公开了基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料及其制备方法和燃料炉渣的应用,属于固体废弃物的资源化利用领域。本发明以污泥、秸秆和原煤混合压制成型,污泥、秸秆、原煤的质量比为 1~3 : 1~3 : 3。其步骤为:向采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥中添加生石灰石,其中生石灰石占污泥的质量百分比为 1~3%;将污泥和秸秆混合,进行好氧堆肥;将原煤与污泥 - 秸秆混合物进行混合,经压制成型,即得到生物质燃料。本发明焚烧后炉渣最大吸附量超过 25g/kg,可作为人工湿地等填料的替代品。本发明对原料可以快速脱水,并可钝化重金属,且可降低原煤燃烧 SO<sub>2</sub>的释放,生物质燃料焚烧炉渣具有高 Ca、Al 和 Fe 含量对磷强吸附性能,可作为污水处理过程中的除磷剂使用。



1. 基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料,其特征在于:所述的生物质燃料以污泥、秸秆和原煤为骨料混合压制成型,其污泥、秸秆、原煤的质量比为  $1\sim 3:1\sim 3:3$ ,其中,所述的污泥是采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥,其中铝的氧化物以  $Al_2O_3$  计质量百分含量不低于 5%,污泥的含水率低于 70%,上述的污泥中是通过添加生石灰预处理过的,其中生石灰占污泥的质量百分比为  $1\sim 3\%$ ;所述的秸秆的含水率低于 60%,且其粒度粉碎为小于 2.00 cm;所述的原煤燃烧热值不低于 25000 千焦/公斤;生物质燃料的炉渣对污水中磷的最大吸附量为  $27.5\sim 29.5$  g P /Kg。

2. 根据权利要求 1 所述的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料,其特征在于:所述的污泥、秸秆、原煤的质量比为  $1:1:1$ 。

3. 基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,其步骤为:

(1)原料预处理:向采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥中添加生石灰作为预处理,其中生石灰占污泥的质量百分比为  $1\sim 3\%$ ,预处理后的污泥中铝的氧化物以  $Al_2O_3$  计质量含量不低于 5%,且含水率低于 70%;将秸秆切割粉碎成粒度小于 2.00cm,且秸秆的含水率低于 60%备用;准备燃烧热值不低于 25000 千焦/公斤的原煤;

(2)好氧堆肥脱水:按污泥、秸秆、原煤的质量比  $1\sim 3:1\sim 3:3$ ,称取步骤(1)中的污泥、秸秆和原煤,并将污泥和秸秆混合,进行好氧通风堆肥 15~50 天,每 5 天进行一次翻堆,使污泥-秸秆混合物的含水率低于 50%;

(3)污泥-秸秆混合物与原煤混合:将步骤(2)称取的原煤与步骤(2)的污泥-秸秆混合物进行混合,得到污泥-秸秆-原煤混合物;

(4)压制成型:步骤(3)的污泥-秸秆-原煤混合物,经压制成型,即得生物质燃料,生物质燃料的炉渣对污水中磷的最大吸附量为  $27.5\sim 29.5$  g P /Kg,其成型压力不低于 300 t,生物质燃料外形尺寸为:高度低于 15cm,直径小于 18cm。

4. 根据权利要求 3 所述的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,其特征在于:步骤(2)中污泥、秸秆、原煤的质量比为  $1:1:1$ 。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的燃料炉渣在污水处理过程中作为除磷剂应用或者作为人工湿地填料应用。

## 基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料及其制备方法和燃料 炉渣的应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于环境保护类固体废弃物资源化利用技术领域,更具体地说,涉及一种基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料及其制备方法,以及该生物质燃料燃烧后炉渣的应用。

### 背景技术

[0002] 现代化城市的市政设施服务水平的日益提高以及城市人口的增加,使得城市生活污水的排放量也日益增多,导致在城市污水的处理过程中产生大量的污泥。污水污泥是一种由有机残片、微生物、无机颗粒、胶体等组成的非均质体,污泥含有有毒有机物、致病微生物和重金属,会对环境产生严重危害,随着污泥产量的急剧增加,污泥的处置越来越受到人们的重视。

[0003] 环境和能源的迫切要求使研究者开始重视对污泥的处理,常采用燃烧和热解来对其进行处理。由于纯泥的热值较低,直接将其作为燃料既不易稳定燃烧,燃烧产生的热量也难以满足工业锅炉供热和发电的需求。通过将泥和煤混合以此作为一种燃料,既可以达到保护环境的目的,同时又开辟了一条节约能源、提高经济效益的合理途径。

[0004] 污泥焚烧与堆肥等其他方法相比具有突出的优点:焚烧可以大大减少污泥的体积和重量(焚烧后体积可减少 90% 以上),因而最终需要处理的物质很少不存在重金属离子的问题,有时焚烧灰可制成有用的产品,是相对比较安全的一种污泥处置方式;污泥处理的速度快,占地面积小,不需要长期储存;污泥可就地焚烧,不需要长距离运输;可以回收能量用于供热或发电;采用先进的焚烧设备可实现很低的二次污染等等。污泥焚烧是最“彻底”的污泥处理方式,在欧洲、美国、日本等发达国家应用较多,它以处理速度快,减量化程度高,能源再利用等突出特点而著称。

[0005] 由于污泥中含有丰富的有机物,本身就有一定的热值,因此将污泥与煤混合进行混合燃烧用于发电是污泥焚烧研究的一个热点。污泥混合燃烧是指将污泥与其它可燃物混合进行燃烧,既充分利用了污泥的热值,又达到了节省能源的目的。污泥的混合对象主要为燃煤、可燃固体废弃物秸秆等。

[0006] 中国专利申请号 CN 201010169094.7,申请日为 2010 年 5 月 14 日,发明创造名称为:秸秆复合燃料制造方法及秸秆复合燃料,该申请案将处理所得的秸秆原料、煤粉原料和造纸污泥原料按照重量比为 7:1.5:1.5 进行混合及搅拌,以形成原料混合物,压制成型即得秸秆复合燃料。该申请案的混合比例不尽合理,且采用的是造纸污泥,其燃烧炉渣无法形成高吸附能力的水处理磷聚填料。

[0007] 此外,中国专利申请号 CN 201010270995.5,申请日为 2010 年 9 月 3 日,发明创造名称为:一种污泥秸秆生物质燃料的制备方法,该申请案将污泥和煤粒先混合脱水,再与秸秆混合造粒成型。该申请案的混合脱水需要过滤,操作复杂,成本过高,且不能稳定污泥中的重金属离子,不便于室外堆存,易产生二次污染。

## 发明内容

[0008] 发明要解决的技术问题

[0009] 本发明针对现有污泥-秸秆-原煤混合燃烧技术中原料脱水时间长,运输过程中可能存在的重金属浸出,且其炉渣不能资源化利用的问题,提供了一种基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料及其制备方法,本发明筛选特定的污泥,并通过添加少量生石灰石杀菌脱水,利用秸秆和污泥混合堆肥的初步降低含水率,秸秆降解腐殖质钝化和生石灰石遇水产生OH<sup>-</sup>均可固化污泥中重金属含量,利于污泥-秸秆混合物的储存与运输;污泥-秸秆混合物再与原煤混合压制成型,添加生石灰石后协同污泥中CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和NaCl含量高的特性,可固化削减混合燃料焚烧过程中SO<sub>2</sub>的释放,而燃烧后炉渣中因Ca、Al和Fe含量高,提升对污水中的磷吸附能力,使得燃料炉渣可在污水处理过程中作为除磷剂应用或者作为人工湿地填料应用。

[0010] 技术方案

[0011] 为达到上述目的,本发明提供的技术方案为:

[0012] 本发明的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料,所述的生物质燃料以污泥、秸秆和原煤为骨料混合压制成型,其污泥、秸秆、原煤的质量比为1~3:1~3:3,其中,所述的污泥是采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥,其中铝的氧化物以Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>计质量百分含量不低于5%,污泥的含水率低于70%,上述的污泥中是通过添加生石灰石预处理过的,其中生石灰石占污泥的质量百分比为1~3%;所述的秸秆的含水率低于60%,且其粒度粉碎为小于2.00cm;所述的原煤燃烧热值不低于25000千焦/公斤。

[0013] 优选地,所述的污泥、秸秆、原煤的质量比为1:1:1。

[0014] 本发明的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,其步骤为:

[0015] (1) 原料预处理:向采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥中添加生石灰石作为预处理,其中生石灰石占污泥的质量百分比为1~3%,预处理后的污泥中铝的氧化物以Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>计质量含量不低于5%,且含水率低于70%;将秸秆切割粉碎成粒度小于2.00cm,且秸秆的含水率低于60%备用;准备燃烧热值不低于25000千焦/公斤的原煤;

[0016] (2) 好氧堆肥脱水:按污泥、秸秆、原煤的质量比1~3:1~3:3,称取步骤(1)中的污泥、秸秆和原煤,并将污泥和秸秆混合,进行好氧通风堆肥15~50天,每5天进行一次翻堆,使污泥-秸秆混合物的含水率低于50%;本发明中将污泥与秸秆堆肥,可进行快速脱水,同时堆肥处理会产生大量腐殖质,能大量吸附Zn和Cu,降低其生物有效性和迁移性,可以达到钝化重金属的作用,且污泥中CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和NaCl含量丰富,与煤混合后燃烧具有固硫作用;

[0017] (3) 污泥-秸秆混合物与原煤混合:将步骤(2)称取的原煤与步骤(2)的污泥-秸秆混合物进行混合,得到污泥-秸秆-原煤混合物;

[0018] (4) 压制成型:步骤(3)的污泥-秸秆-原煤混合物,经压制成型,即得生物质燃料,其成型压力不低于300t,生物质燃料外形尺寸为:高度低于15cm,直径小于18cm。

[0019] 优选地,步骤(2)中污泥、秸秆、原煤的质量比为1:1:1。

[0020] 本发明基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的燃料炉渣在污水处理过程中作为除磷剂应用或者作为人工湿地填料应用。

[0021] 有益效果

[0022] 采用本发明提供的技术方案,与已有的公知技术相比,具有如下显著效果:

[0023] (1)本发明的综合考虑了污泥-秸秆-原煤混合制备生物质燃料的处理、环境污染问题和后续资源化利用,通过添加少量生石灰石(CaO)达到一剂三效:CaO与污泥混合作为杀菌脱水固化重金属化学药剂,CaO与原煤混合后作为固硫剂,且在煤渣中形成CaO矿物相的磷吸附剂;本发明借助污泥中的盐分降低原煤燃烧SO<sub>2</sub>的释放,同时利用污泥中Al含量高,原煤中Ca、Fe含量高的基本特征,形成生物质燃料焚烧炉渣中高Ca、Al和Fe含量对磷强吸附性能,并能利用秸秆与污泥进行堆肥快速脱水,且固化了污泥中可能存在的重金属,便于室外堆存,降低淋雨产生的二次污染;

[0024] (2)本发明生物质燃料焚烧炉渣最大吸附量超过25 g/kg,为纯煤炉渣的2~3倍,为矿物填料沸石的10~20倍,可作为人工湿地等填料的替代品,实现固体废弃物制作填料的资源化利用的同时,极大地延长了人工湿地的使用寿命,也节省了矿产资源,从而具备广泛的应用前景;

[0025] (3)本发明的污泥是采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥,其中铝的氧化物以Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>计质量含量不低于5%,从而利用原煤中高Ca和Fe等含量,组合燃烧后生成以SiO<sub>2</sub>为主要晶核,Ca、Al和Fe氧化物为主要晶相,形成高吸附能力的水处理磷聚填料;

[0026] (4)本发明中的污泥、秸秆、原煤质量比为1:1:1时,制备得到的生物质燃料性能最优,其燃烧热值达22400千焦/公斤以上,且焚烧的炉气中每小时二氧化硫排放测定值的下限在90 mg/m<sup>3</sup>左右,固硫效果最好,且每小时氮氧化物的排放量在132 mg/m<sup>3</sup>左右;

[0027] (5)本发明提高了生物质燃料焚烧炉渣的经济附加值,采用的原料主要为污泥、秸秆等废弃物,降低合成后生物质燃料的制作成本。

#### 附图说明

[0028] 图1是实施例1的生物质燃料焚烧后炉渣电镜扫描图;

[0029] 图2是实施例2的生物质燃料焚烧后炉渣电镜扫描图;

[0030] 图3是实施例1的生物质燃料炉渣与纯煤煤渣对污水中磷吸附的Langmuir等温线;

[0031] 图4是实施例2的生物质燃料炉渣与纯煤煤渣对污水中磷吸附的Langmuir等温线;

[0032] 图5是实施例1~2的生物质燃料炉渣与纯煤煤渣矿物(XRD)晶相分析结果。

#### 具体实施方式

[0033] 为进一步了解本发明的内容,结合附图和实施例对本发明作详细描述。

[0034] 实施例1

[0035] 本实施例的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,具体的步骤如下:

[0036] (1)原料预处理:向采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥中添加生石灰石作为预处理,本实施例中生石灰石的添加重量为污泥重量的1%,并将生石灰石与污泥混合均匀,混合过程即为预处理过程,预处理后的污泥中铝的氧化物以Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>计质量含量为7%,含水率为68%;将秸秆切割粉碎成粒度小于2.00cm,秸秆的含水率为57%备用,本实施例中的秸秆采用玉米秸秆,玉米秸秆物料中含有一定的纤维素和木质素,其木质素是物料中的结构单体,

具有增强细胞壁、粘合纤维素的作用；并准备燃烧热值不低于 25000 千焦 / 公斤的原煤；

[0037] (2)好氧堆肥脱水：按污泥、秸秆、原煤的质量比 1:1:1, 称取步骤(1)中的污泥、秸秆和原煤, 并将污泥和秸秆混合, 进行好氧通风堆肥 20 天, 每 5 天进行一次翻堆, 堆肥 20 天后污泥 - 秸秆混合物的含水率为 40%；

[0038] (3)污泥 - 秸秆混合物与原煤混合：将步骤(2)称取的原煤与步骤(2)的污泥 - 秸秆混合物进行混合, 得到污泥 - 秸秆 - 原煤混合物；

[0039] (4)压制成型：将步骤(3)的污泥 - 秸秆 - 原煤混合物均匀送到成型机上方料口内压制成型后即是生物质燃料成品, 其成型压力不低于 300 t, 生物质燃料外形主体为圆柱体, 尺寸为：高度为 12cm, 直径为 17cm。成型后生物质燃料燃烧热值为：22405 千焦 / 公斤, 标准煤热值为 29306 千焦 / 公斤。生物质燃料焚烧后烟气污染物排放见下表 1-1, 本实施例中, 若污泥中不进行添加生石灰石, 则  $\text{SO}_2$  的释放量为 200~220  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 所以本发明在污泥中添加生石灰石的效果是显著的, 固硫效果明显。

[0040] 表 1-1 实施例 1 中生物质燃料焚烧的大气污染物排放

[0041]

序号	控制项目	单位	数值含义	测定值	限值
1	烟尘	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	15.4~21.5	80
2	烟气黑度	格林曼黑度, 级	测定值	<1	1
3	一氧化碳 (CO)	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	<150	150
4	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	132	400
5	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	94~187	260
6	氯化氢 (HCl)	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	22.2~22.8	75
7	汞	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	$3.22\sim 6.25 \times 10^{-4}$	0.2
8	镉	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	$3.00 \times 10^{-6}$	0.1
9	铅	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	0.05	1.6
10	二噁英类	Ng TEQ/m <sup>3</sup>	测定均值	<1.0	1.0

[0042] 采集上述生物质燃料焚烧后炉渣进行重金属浸出研究, 重金属浸出实验表明, Cd、Zn、Cr、Cu、Pb、Ni 的浸出浓度低于 ICP-MS 的检测下限: 0.5、1.0、0.5、1.0、1.0、1.0、1.0  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。其中 As 的浸出浓度为  $12.5 \pm 2.3 \mu\text{g}/\text{L}$ , 低于中华人民共和国国家地下水水质标准 (GB14848-93)- I 类 2 个数量级。本实施例的生物质燃料焚烧后炉渣的其他理化性能如表 1-2 所示, 其主要化学成分如表 1-3 所示, 图 1 为本实施例中生物质燃料焚烧后炉渣电镜扫描图。

[0043] 表 1-2 实施例 1 生物质燃料炉渣各项物理性能测试平均参数

[0044]

性能指标	单位	检测结果	性能指标	单位	检测结果
容重	Kg/m <sup>3</sup>	850-1350	比表面积	m <sup>2</sup> /g	11.37
真密度	g/cm <sup>3</sup>	3.15	抗压强度	Mpa	17.00
堆积密度	Kg/m <sup>3</sup>	740	盐酸可溶率	%	<0.05
孔隙率	%	> 60	溶出物	不含对人体有害元素	

[0045] 表 1-3 实施例 1 生物质燃料炉渣的主要化学成份

[0046]

化学成分	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	SO <sub>3</sub>	LOI	Σ
含量	13.63	10.70	34.26	2.56	6.96	1.16	5.99	0.876	0.375	0.163	3.06		
%	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	18.64	98.37
	0.17	0.24	0.53	0.08	0.13	0.05	0.12	0.044	0.019	0.008	0.09		

[0047] 生物质燃料炉渣与纯煤焚烧炉渣最大吸附量的比较：将本实施例的生物质燃料炉渣和纯煤焚烧炉渣磨过 100 目，准确称量吸附剂 0.50 克，投加入溶液 25mL 中，吸附时间 24h，摇床转速 200rpm 的条件下。通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出(图 3 为本实施例生物质燃料炉渣和纯煤焚烧炉渣的 Langmuir 吸附等温线图)，生物质燃料炉渣的最大吸附量为 28.9 g P /Kg，而纯煤焚烧炉渣的最大吸附量均低于 12.6 g P /Kg，可见生物质燃料炉渣对污水中磷的吸附能力显著。本实施例的生物质燃料炉渣在污水处理过程中可作为除磷剂应用或者作为人工湿地填料应用。

[0048] 实施例 2

[0049] 本实施例的基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料的制备方法，具体的步骤如下：

[0050] (1) 原料预处理：向采用铝盐混凝剂应用后的脱水污泥中添加生石灰石作为预处理，本实施例中生石灰石的添加重量为污泥重量的 3%，并将生石灰石与污泥混合均匀，预处理后的污泥中铝的氧化物以 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 计质量含量为 6%，含水率为 65%；将秸秆切割粉碎成粒度小于 2.00cm，秸秆的含水率为 58% 备用，本实施例中的秸秆采用玉米秸秆，玉米秸秆物料中含有一定的纤维素和木质素，其木质素是物料中的结构单体，具有增强细胞壁、粘合纤维素的作用；并准备燃烧热值不低于 25000 千焦 / 公斤的原煤；

[0051] (2) 好氧堆肥脱水：按污泥、秸秆、原煤的质量比 1 : 1 : 3，称取步骤(1)中的污泥、秸秆和原煤，并将污泥和秸秆混合，进行好氧通风堆肥 25 天，每 5 天进行一次翻堆，堆肥 25 天后污泥 - 秸秆混合物的含水率为 41%；

[0052] (3) 污泥 - 秸秆混合物与原煤混合：将步骤(2)称取的原煤与步骤(2)的污泥 - 秸秆混合物进行混合，得到污泥 - 秸秆 - 原煤混合物；

[0053] (4) 压制成型：将步骤(3)的污泥 - 秸秆 - 原煤混合物均匀送到成型机上方料口内压制成型后即是生物质燃料成品，其成型压力不低于 300 t，生物质燃料外形主体为圆柱体，尺寸为：高度为 13cm，直径为 15cm。成型后生物质燃料燃烧热值为：21321 千焦 / 公斤，标准煤热值为 29306 千焦 / 公斤。焚烧后烟气污染物排放见下表 2-1，本实施例中，若污泥

不进行添加生石灰石,则  $\text{SO}_2$  的释放量为 210-230  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,所以本发明在污泥中添加生石灰石的效果是显著的,固硫效果明显。

[0054] 表 2-1 实施例 2 中生物质燃料焚烧的大气污染物排放

[0055]

序号	控制项目	单位	数值含义	测定值	限值
1	烟尘	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	15.4~21.5	80
2	烟气黑度	格林曼黑度, 级	测定值	<1	1
3	一氧化碳 (CO)	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	<150	150
4	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	165	400
5	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	139~189	260
6	氯化氢 (HCl)	$\text{mg}/\text{m}^3$	小时均值	22.2~22.8	75
7	汞	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	$3.22\sim 6.25\times 10^{-4}$	0.2
8	镉	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	$3.00\times 10^{-6}$	0.1
9	铅	$\text{mg}/\text{m}^3$	测定均值	0.05	1.6
10	二噁英类	Ng TEQ/m <sup>3</sup>	测定均值	<1.0	1.0

[0056] 采集上述生物质燃料焚烧后炉渣进行重金属浸出研究,重金属浸出实验表明, Cd、Zn、Cr、Cu、Pb、Ni 的浸出浓度低于 ICP-MS 的检测下限:0.5、1.0、0.5、1.0、1.0、1.0、1.0  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。其中 As 的浸出浓度为  $13.7 \pm 3.3 \mu\text{g}/\text{L}$ ,低于中华人民共和国国家地下水水质标准 (GB14848-93)-I 类 2 个数量级。本实施例的生物质燃料焚烧后炉渣的其他理化性能如表 2-2 所示,其主要化学成分如表 2-3 所示,图 2 为本实施例中生物质燃料焚烧后炉渣电镜扫描图。

[0057] 表 2-2 实施例 2 生物质燃料炉渣各项物理性能测试平均参数

[0058]

性能指标	单位	检测结果	性能指标	单位	检测结果
容重	$\text{Kg}/\text{m}^3$	1050-1400	比表面积	$\text{m}^2/\text{g}$	13.89
真密度	$\text{g}/\text{cm}^3$	3.50	抗压强度	Mpa	21.00
堆积密度	$\text{Kg}/\text{m}^3$	950	盐酸可溶率	%	<0.10
孔隙率	%	>85	溶出物	不含对人体有害元素	

[0059] 表 2-3 实施例 2 生物质燃料炉渣的主要化学成份

[0060]



化学成分	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	SO <sub>2</sub>	LOI	Σ
含量%	14.61	12.01	39.31	3.35	6.38	1.23	4.58	0.915	0.472	0.211	2.79		
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	12.95	98.81
	0.18	0.26	0.54	0.09	0.12	0.06	0.10	0.046	0.024	0.011	0.08		

[0061] 生物质燃料炉渣与纯煤焚烧炉渣最大吸附量的比较：将本实施例的生物质燃料炉渣和纯煤焚烧炉渣磨过 100 目，准确称量吸附剂 0.50 克，投加入溶液 25mL 中，吸附时间 24h，摇床转速 200rpm 的条件。通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出(图 4 为本实施例生物质燃料炉渣和纯煤焚烧炉渣的 Langmuir 吸附等温线图)，生物质燃料炉渣的最大吸附量为 29.5 g P /Kg，而纯煤焚烧炉渣的最大吸附量均低于 12.6 g P /Kg，可见生物质燃料炉渣填料对污水中磷的吸附能力显著。本实施例的生物质燃料炉渣在污水处理过程中可作为除磷剂应用或者作为人工湿地填料应用。

[0062] 实施例 1~2 中，生物质燃料炉渣和纯煤焚烧炉渣对磷吸附能力差异的主要原因是其矿物晶相的差异，生物质燃料掺入污泥后，高温焚烧后炉渣中形成了霞石 ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)_2 \cdot \text{SiO}_2$ )、橄榄石 ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ )、顽辉石 ( $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ )、倍长石 ( $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ ) 以及  $(\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2)$  透辉石等矿物成分，而上述矿物晶体，前人大量研究表明，高 Ca、Fe 和 Al 含量的矿物对磷吸附能力强 [Vohla, C., Köv, M., Bavor, J., Chazarenc, F., Ülo, M., 2011. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands-A review. Ecological Engineering, 37, 70-89]。与之对应的是，纯煤中矿物晶相主要为：正长石 ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )、倍长石 ( $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ ) 和石膏 ( $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，形成的矿物晶相相对单一，从而对水体中磷素的吸附作用弱，图 5 为生物质燃料炉渣与纯煤煤渣矿物 (XRD) 晶相分析结果。

[0063] 实施例 3

[0064] 本实施例的基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料的制备方法，其制备方法基本同实施例 2，不同之处在于：污泥、秸秆、原煤的质量比为 2 : 1 : 3，制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2，其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著，通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出，磷的最大吸附量为 27.8 g P /Kg。

[0065] 实施例 4

[0066] 本实施例的基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料的制备方法，其制备方法基本同实施例 2，不同之处在于：污泥、秸秆、原煤的质量比为 2 : 2 : 3，制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2，其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著，通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出，磷的最大吸附量为 28.1 g P /Kg。

[0067] 实施例 5

[0068] 本实施例的基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料的制备方法，其制备方法基本同实施例 2，不同之处在于：污泥、秸秆、原煤的质量比为 1 : 2 : 3，制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2，其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著，通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出，磷的最大吸附量为 27.5 g P /Kg。

[0069] 实施例 6

[0070] 本实施例的基于污泥 - 秸秆 - 原煤的生物质燃料的制备方法，其制备方法基本同

实施例 2,不同之处在于:污泥、秸秆、原煤的质量比为 3:1:3,制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2,其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著,通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出,磷的最大吸附量为 28.0 g P /Kg。

[0071] 实施例 7

[0072] 本实施例的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,其制备方法基本同实施例 2,不同之处在于:污泥、秸秆、原煤的质量比为 2:3:3,制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2,其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著,通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出,磷的最大吸附量为 28.1 g P /Kg。

[0073] 实施例 8

[0074] 本实施例的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,其制备方法基本同实施例 2,不同之处在于:污泥、秸秆、原煤的质量比为 3:2:3,制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2,其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著,通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出,磷的最大吸附量为 27.9 g P /Kg。

[0075] 实施例 9

[0076] 本实施例的基于污泥-秸秆-原煤的生物质燃料的制备方法,其制备方法基本同实施例 2,不同之处在于:污泥、秸秆、原煤的质量比为 1:3:3,制得的生物质燃料基本性能大致同实施例 2,其炉渣的对污水中磷的吸附能力显著,通过 Langmuir 吸附等温线模拟计算得出,磷的最大吸附量为 28.3 g P /Kg。

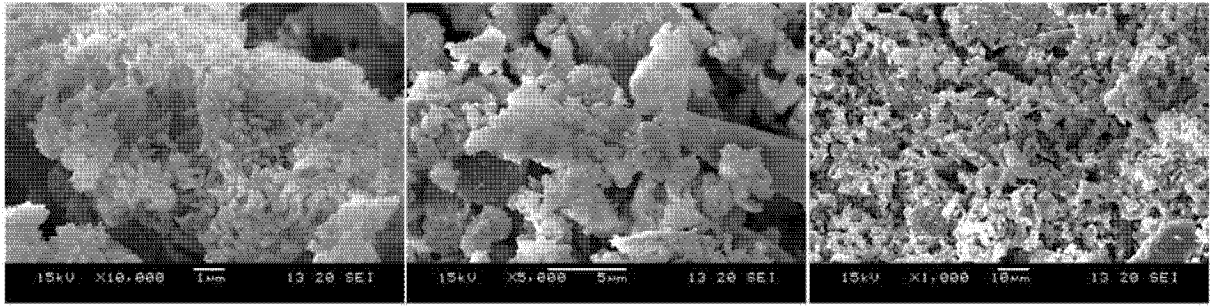


图 1

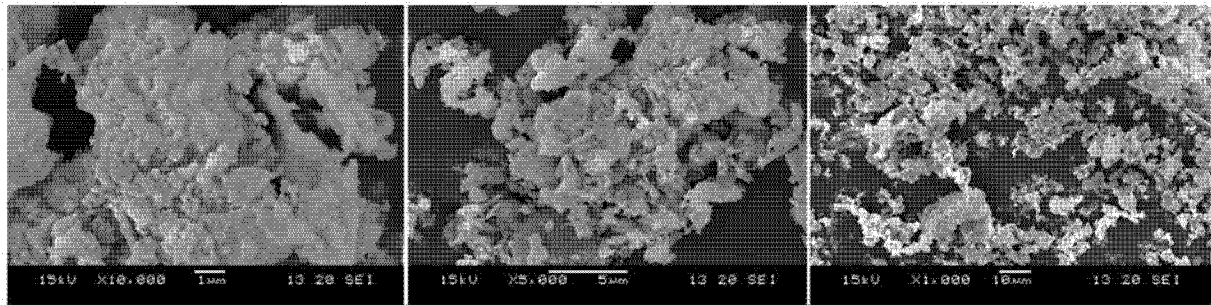


图 2

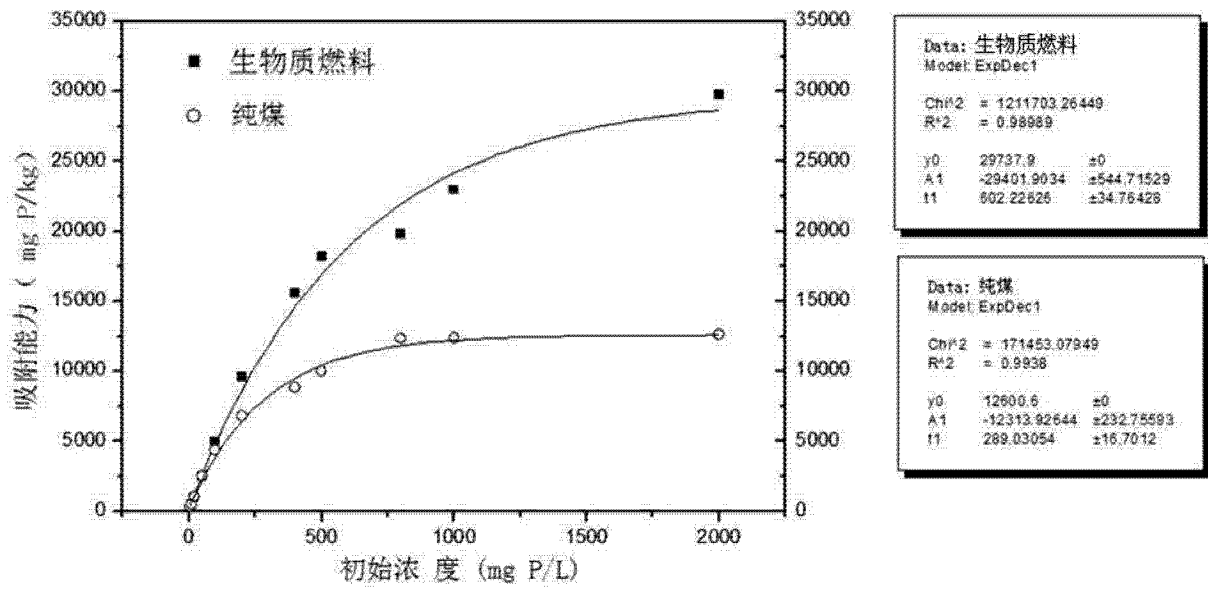


图 3

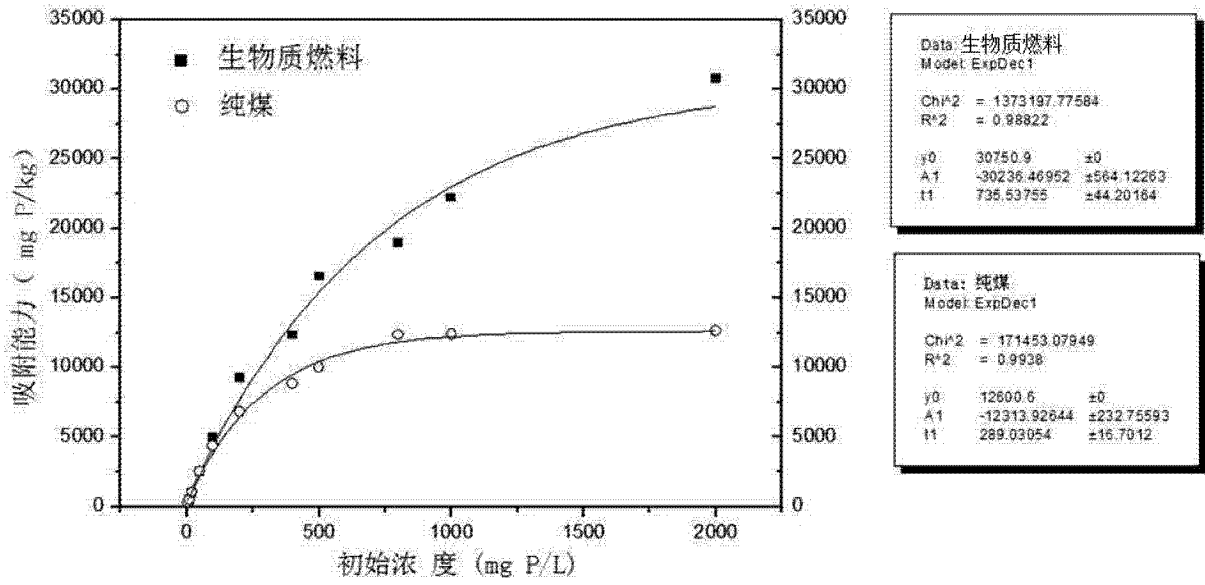


图 4

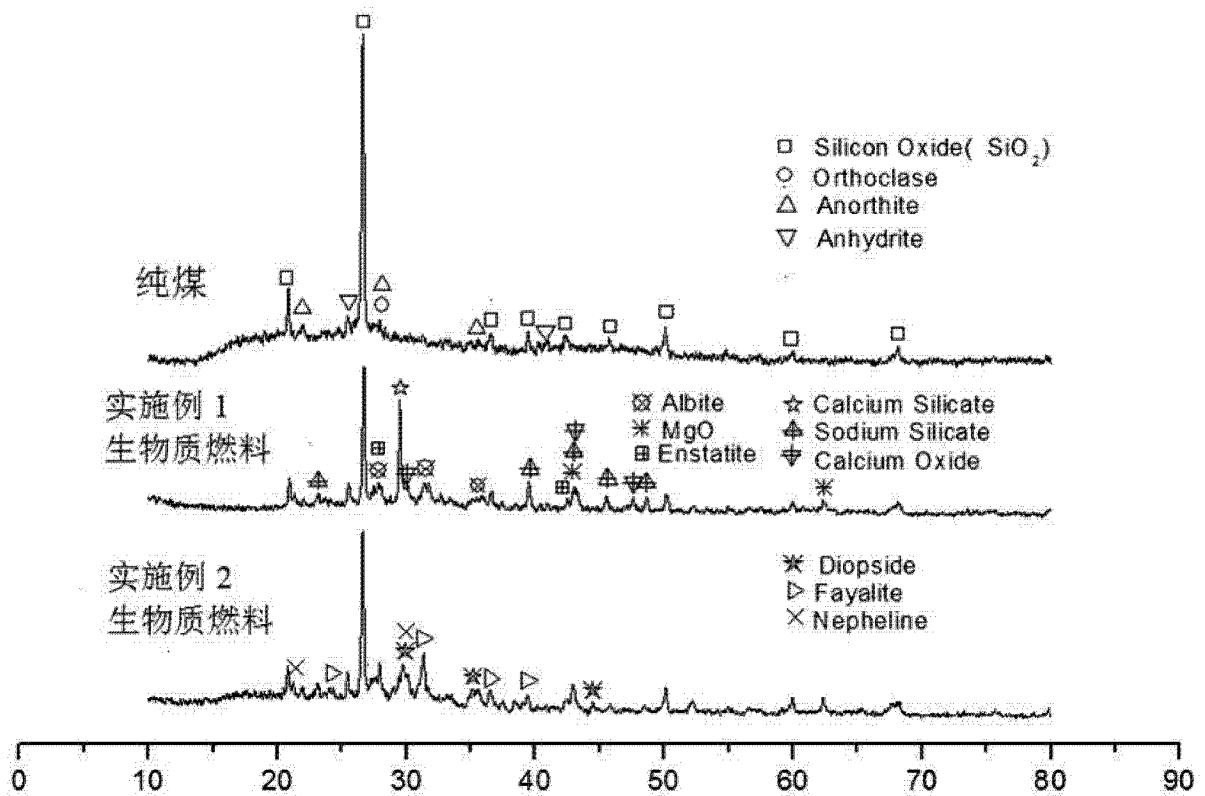


图 5