



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114632495 A

(43) 申请公布日 2022.06.17

(21) 申请号 202210399368.4

C02F 101/10 (2006.01)

(22) 申请日 2022.04.15

C02F 101/16 (2006.01)

(71) 申请人 徐州工程学院

地址 221000 江苏省徐州市云龙区丽水路2号

(72) 发明人 范秀磊 张炜亮 徐德志 任文畅 姜万 戴青松 林俊雄

(74) 专利代理机构 安徽顺超知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 34120

专利代理师 李悝

(51) Int. Cl.

B01J 20/20 (2006.01)

B01J 20/28 (2006.01)

C02F 1/28 (2006.01)

B01J 20/30 (2006.01)

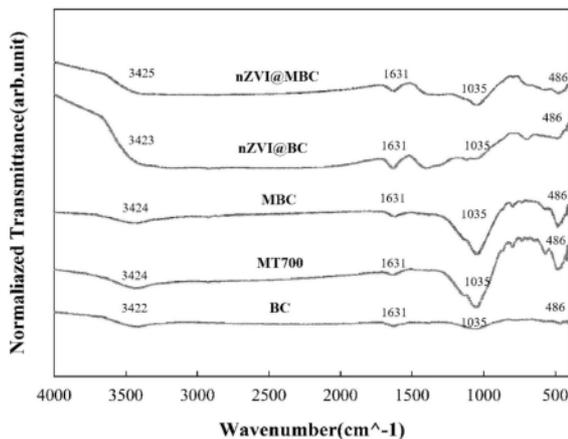
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用

(57) 摘要

本发明涉及污泥热解炭化技术领域,且公开了一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,该方法包括以下步骤:将脱水后的剩余污泥置于生物-物理干燥反应器中,得到的剩余污泥粉碎后与蒙脱石按比例混合后置于马弗炉中缺氧条件下700℃烧制2小时,取出后洗涤干燥,置于FeSO4·7H2O溶液中,加入NaBH4并持续通入氮气,连续搅拌1小时后洗涤干燥,得到改性完成的复合改性污泥基生物炭。以固废剩余污泥为原料,制备出蒙脱石/纳米零价铁-污泥基生物炭,解决了剩余污泥的处理问题,极大地增加了生物炭的比表面积、孔隙结构和官能团的丰富程度,从而大大增强了生物炭的吸附能力,对于水体中氮磷等污染物的去除提供了一种十分高效的方法。



1. 一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,其特征在于:包括以下步骤:

第一步:剩余污泥的预处理,将污水厂取回的新鲜剩余污泥置于生物物理干化反应器中,与树皮按比例混合进行生物-物理干燥,干燥至恒重后,研磨粉碎,经过100目尼龙筛后,得到预处理完成的剩余污泥;

第二步:生物炭的初步烧制,将预处理完成的剩余污泥粉末与蒙脱石按比例混合后,置于马弗炉中,在缺氧环境下进行热解,得到的样品置于稀释后的盐酸中浸泡12小时除去杂质,然后用蒸馏水洗涤至中性,85℃烘干后研磨粉碎,经过100目筛后,得到初步样品蒙脱石-污泥基生物炭。

第三步:生物炭的改性,将初步烧制的蒙脱石-污泥基生物炭浸泡于一定浓度 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液中,并将混合溶液的pH调至 5 ± 0.2 ,同时不断向溶液中通入 N_2 ,以去除溶液中溶有的氧气以防Fe被氧化,然后在磁力搅拌条件下,缓慢加入 NaBH_4 ,使其在室温下充分反应30分钟,将生成的物质沉淀过滤后,用已被 N_2 预脱气1小时的乙醇洗涤3次,最后,将样品置于真空干燥箱中95℃烘干后,研磨粉碎,得到改性完成的蒙脱石/纳米零价铁-污泥基生物炭。

2. 根据权利要求1所述的一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,其特征在于:所述第一步:剩余污泥的预处理中生物物理干化反应器由滚筒干燥反应器、通风系统、排气管路和监测装置组成。

3. 根据权利要求1所述的一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,其特征在于:所述第一步:剩余污泥的预处理中生物-物理干燥过程中,将脱水污泥和树皮辅料按2:1比例混匀后,通过螺旋进料机将物料送入滚筒干燥反应器,物料容积率为75%左右,进料结束后,空气泵连续向反应器通入空气,流量为30L (kgVS.h) (树皮在马弗炉中600℃灼烧至恒重),通过温度控制器将筒壁控温在40℃,干燥过程中生物物理干燥反应器每12h旋转18min (3r/min),以翻转堆体,干化污泥通过筛分,与松树皮分离,风干至恒重(含水率 $(2.33 \pm 0.09\%)$,干基灰分含量 $(48.02 \pm 0.46\%)$)。

4. 根据权利要求1所述的一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,其特征在于:所述第二步:生物炭的初步烧制中预处理完成的剩余污泥粉末置于马弗炉中烧制,炭化温度由室温(约为25℃)升温至700℃,升温速率为5℃/min,并在峰值保持2小时,以保证生物炭烧制完全。

5. 根据权利要求1所述的一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,其特征在于:所述第二步:生物炭的初步烧制中用于浸泡洗涤样品的盐酸,所采用的浓度为1mol/L (1g样品:100ml盐酸),以保证杂质能被完全洗涤除去。

6. 根据权利要求1所述的一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭的制备方法,其特征在于:所述第三步:生物炭的改性中所采用的溶液浓度为0.054mol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液,0.108mol/L NaBH_4 ,调节pH采用的是NaOH和HCl,其中磁力搅拌速率为500rpm。

一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及污泥热解炭化技术领域,具体为一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用。

背景技术

[0002] 随着工业化和城市化的不断推进,全国各地污水处理厂的污泥产量不断增加。据统计,截至2021年,我国污泥年产量约为8000万吨。污泥是一种稳定的胶体,具有微生物含量高、含水率高、多孔分形和凝胶状网络结构等特点。此外,污泥中含有大量的有害物质,包括各种病原体、有机污染物和重金属,如果处理不当,很容易造成二次污染。由于污泥含水率高,焚烧处理需要大量的热能,而堆肥、填埋等对环境有着巨大影响。因此,考虑到经济效益和环境压力,当务之急是提出一种满足各方面需求、安全高效的污泥处理方法。

[0003] 水体富营养化是由水中氮和磷的富集引起的,水体中过多的氮含量会导致诸如缺氧、淡水生态系统酸化、地下水污染以及底栖生物和鱼类毒性增加等严重问题;而高浓度磷酸盐会刺激生物体生长,特别是藻类和浮游植物,导致水溶氧含量下降,从而恶化水生生态系统的质量。

[0004] 目前,以污泥为原料,在缺氧条件下热分解生产生物炭是一种新型的经济、环保的污泥处理方法,污泥基生物炭作为一种不错的吸附剂,可以吸附重金属、有机污染物、氨和磷酸盐等多种污染物。然而,与传统的生物炭相比,污泥热解制备的生物炭由于污泥中含碳量有限,导致其比表面积低,孔隙结构不发达,对污染物的吸附能力较弱。因此,需要一种改性方法来提高污泥基生物炭的吸附能力。近年来,纳米零价铁具有较小尺寸、高比表面积和反应活性、低成本、环保等已得到广泛应用。然而,纳米零价铁在复杂的水环境中容易聚集。为了防止其集聚,改善其可分散性,介绍了各种材料修饰纳米零价铁,包括生物炭,蒙脱石,粘土,络合剂、羧甲基纤维素琼脂、淀粉。由于生物炭具有良好的导电性,可以增强纳米零价铁的电子转移能力,从而提高纳米零价铁的反应活性。此外,蒙脱石是一种2:1层状的铝硅酸盐粘土矿物,广泛分布于土壤、底土、沉积物和史前粘土沉积物中。蒙脱石由于具有非常大的表面积,可以作为许多污染物的有效吸附剂,包括氮、磷、硝基芳香族化合物和四环素等。更有趣的是,蒙脱石的独特结构诱导了自由基阳离子的聚集,并随后将这些自由基定位在层间区域。因此,蒙脱石改性配合纳米零价铁可以大大提高污泥基生物炭的吸附能力。

发明内容

[0005] (一)解决的技术问题

[0006] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用。

[0007] (二)技术方案

[0008] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种高效去除水中氮磷的复合改性

污泥基生物炭的制备方法,包括以下步骤:

[0009] 第一步:剩余污泥的预处理,将污水厂取回的新鲜剩余污泥置于生物物理干化反应器中,与树皮按比例混合进行生物-物理干燥,干燥至恒重后,研磨粉碎,经过100目尼龙筛后,得到预处理完成的剩余污泥;

[0010] 第二步:生物炭的初步烧制,将预处理完成的剩余污泥粉末与蒙脱石按比例混合后,置于马弗炉中,在缺氧环境下进行热解,得到的样品置于稀释后的盐酸中浸泡12小时除去杂质,然后用蒸馏水洗涤至中性,85℃烘干后研磨粉碎,经过100目筛后,得到初步样品蒙脱石-污泥基生物炭。

[0011] 第三步:生物炭的改性,将初步烧制的蒙脱石-污泥基生物炭浸泡于一定浓度 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液中,并将混合溶液的pH调至 5 ± 0.2 ,同时不断向溶液中通入 N_2 ,以去除溶液中溶有的氧气以防Fe被氧化,然后在磁力搅拌条件下,缓慢加入 NaBH_4 ,使其在室温下充分反应30分钟,将生成的物质沉淀过滤后,用已被 N_2 预脱气1小时的乙醇洗涤3次,最后,将样品置于真空干燥箱中95℃烘干后,研磨粉碎,得到改性完成的蒙脱石/纳米零价铁-污泥基生物炭。

[0012] 优选的,所述第一步:剩余污泥的预处理中生物物理干化反应器由滚筒干燥反应器、通风系统、排气管路和监测装置组成。

[0013] 优选的,所述第一步:剩余污泥的预处理中生物-物理干燥过程中,将脱水污泥和树皮辅料按2:1比例混匀后,通过螺旋进料机将物料送入滚筒干燥反应器,物料容积率为75%左右,进料结束后,空气泵连续向反应器通入空气,流量为30L(kgVS.h)(树皮在马弗炉中600℃灼烧至恒重),通过温度控制器将筒壁控温在40℃,干燥过程中生物物理干燥反应器每12h旋转18min(3r/min),以翻转堆体,干化污泥通过筛分,与松树皮分离,风干至恒重(含水率(2.33+-0.09%),干基灰分含量(48.02+-0.46%))。

[0014] 优选的,所述第二步:生物炭的初步烧制中预处理完成的剩余污泥粉末置于马弗炉中烧制,炭化温度由室温(约为25℃)升温至700℃,升温速率为5℃/min,并在峰值保持2小时,以保证生物炭烧制完全。

[0015] 优选的,所述第二步:生物炭的初步烧制中用于浸泡洗涤样品的盐酸,所采用的浓度为1mol/L(1g样品:100ml盐酸),以保证杂质能被完全洗涤除去。

[0016] 优选的,所述第三步:生物炭的改性中所采用的溶液浓度为0.054mol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液,0.108mol/L NaBH_4 ,调节pH采用的是 NaOH 和 HCl ,其中磁力搅拌速率为500rpm。

[0017] (三)有益效果

[0018] 与现有技术相比,本发明提供了一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用,具备以下有益效果:

[0019] 1、该高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用,本发明理念先进、技术新颖,以剩余污泥为原料,不仅解决了城市污水厂中剩余污泥难以处理的难题,而且实现了工业化城市化进程中固废的资源化利用,也为其他领域的资源化利用提供了一种新思路。

[0020] 2、该高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用,本发明制备出的生物炭与传统生物炭大为不同,污泥热解制备的生物炭由于污泥中含碳量有限,导致其比表面积低,孔隙结构不发达,对污染物的吸附能力较弱。本发明中,由于纳米零价铁

具有较小尺寸、高比表面积和反应活性、低成本、环保等特点,而且生物炭具有良好的导电性,可以增强纳米零价铁的电子转移能力,从而提高纳米零价铁的反应活性;加上蒙脱石具有非常大的比表面积,可以作为许多污染物的有效吸附剂,而且蒙脱石的独特结构诱导了自由基阳离子的聚集和这些自由基在层间区域的定位。因此本发明将两者结合,基于对传统生物炭的简单改性,制备出的一种复合改性污泥基生物炭,极大地增加了生物炭的比表面积、孔隙结构和官能团的丰富程度,从而大大增强了生物炭的吸附能力。

[0021] 3、该高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭、制备方法及其应用,本发明制备出的生物炭,由于较强的吸附能力,对于水体中氮磷的高效去除和富营养化的解决,也提供了一种十分有效的方法,大大提高了水体资源的净化效率,对水生生态系统质量的提升起到关键作用。另外本发明在污泥基生物炭制备的过程中不会造成二次污染。

附图说明

[0022] 图1是本发明制得的生物炭及对比样品的傅里叶图;

[0023] 图2是本发明制得的生物炭及对比样品的比表面积数据图;

[0024] 图3是本发明制得的生物炭及对比样品的XRD图;

[0025] 图4是本发明制得的生物炭吸附污染物前后对比的XPS图;

[0026] 图5是本发明制得的生物炭及对比样品对于不同污染物(NH_4^+ (a) 和 PO_4^{3-} (b))的吸附曲线;

[0027] 图6为本发明5种样品材料对于不同污染物(NH_4^+ (a) 和 PO_4^{3-} (b))的吸附曲线表格图;

[0028] 图7为本发明吸附动力学拟合出的5种样品材料对 NH_4^+ 或 PO_4^{3-} 的内部扩散模型参数表格图;

[0029] 图8为本发明5种样品材料对 NH_4^+ 或 PO_4^{3-} 的吸附等温线模型参数表格图。

具体实施方式

[0030] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0031] 请参阅图1-8,一种高效去除水中氮磷的复合改性污泥基生物炭和制备方法,第一步:余污泥的预处理,将污水厂取回的新鲜剩余污泥置于生物物理干化反应器中,热解前对剩余污泥进行生物-物理干燥。该生物物理干燥反应器由转筒干燥反应器、通风系统、排气管和监测装置组成。将脱水污泥和树皮辅料按2:1比例混匀后,通过螺旋进料机将物料送入滚筒干燥反应器,物料容积率为75%左右。

[0032] 进料结束后,空气泵连续向反应器通入空气,流量为30L(kgVS.h)(树皮在马弗炉中600℃灼烧至恒重)。通过温度控制器将筒壁控温在40℃,干燥过程中生物物理干燥反应器每12h旋转18min(3r/min),以翻转堆体,干化污泥通过筛分,与松树皮分离,风干至恒重(含水率(2.33±0.09%),干基灰分含量(48.02±0.46%)),研磨粉碎,经过100目尼龙筛后,得到预处理完成的剩余污泥。

[0033] 第二步:生物炭的初步烧制,将预处理完成的剩余污泥粉末与蒙脱石按1:1混合后,置于马弗炉中,在缺氧环境下进行热解,炭化温度由室温(约为25℃)升温至700℃,升温速率为5℃/min,并在峰值保持2小时,得到的样品置于稀释后的盐酸中浸泡12小时除去杂质,所采用的盐酸浓度为1mol/L(1g样品:100ml盐酸),然后用蒸馏水洗涤至中性,85℃烘干后研磨粉碎,经过100目筛后,得到初步样品蒙脱石-污泥基生物炭。

[0034] 将0.756g初步烧制的蒙脱石-污泥基生物炭浸泡于250ml 0.054mol/LFeSO₄·7H₂O溶液中,并将混合溶液的pH调至5±0.2,同时不断向溶液中通入N₂,以去除溶液中溶有的氧气以防Fe被氧化。然后在磁力搅拌条件(转速500rpm)下,缓慢加入250ml 0.108mol/L NaBH₄(8ml/min),使其在室温下充分反应30分钟。将生成的物质沉淀过滤后,用已被N₂预脱气1小时的乙醇洗涤3次。最后,将样品置于真空干燥箱中95℃烘干后,研磨粉碎,得到改性完成的蒙脱石/纳米零价铁-污泥基生物炭。

[0035] 将制得的样品材料的表征检测,利用扫描电子显微镜(SEM, JEOL, JSM-7001F)和傅里叶变换红外光谱仪(FTIR, Bruker, Tensor 27)分析吸附材料的形貌和表面官能团特征。利用自动吸附分析仪(ASAP2020, micromeritics, USA)进行N₂吸附解吸测定不同样品总孔体积、平均孔径和比表面积。采用x射线衍射(XRD, PANalytical Empyren)分析了吸附材料的晶体相结构。采用x射线光电子能谱(XPS, Thermo ESCALAB 250XI)测定了吸附材料的元素组成。

[0036] 性能检测

[0037] 将传统污泥基生物炭、蒙脱石、蒙脱石-生物炭、纳米零价铁-生物炭、蒙脱石/纳米零价铁-生物炭等五种不同样品分别命名为BC、MT700、MBC、nZVI@BC、nZVI@MBC,便于区分。

[0038] 吸附动力学实验:

[0039] 将20mg BC、MT700、MBC、nZVI@BC、nZVI@MBC等5种不同的样品分别装入100ml的离心管中,向其中分别加入50ml事先配置好的NH₄⁺溶液,在室温下(25℃)置于气浴恒温振荡器(转速120rpm)中充分反应。在5-1440分钟的时间节点,从离心管中提取上清液,通过0.45 μm的滤膜,分别获得反应过后的NH₄⁺溶液样品。用奈斯勒试剂比色法和钼酸铵分光光度法分别测定滤液中NH₄⁺的残留浓度(对于PO₄³⁻溶液采用同样的实验方法),具体结果如图6-7所示。

[0040] 吸附等温线实验:

[0041] 将20mg BC、MT700、MBC、nZVI@BC、nZVI@MBC等5种不同的样品分别装入100ml的离心管中,向其中分别加入50ml事先配置好的不同浓度的NH₄⁺溶液,在室温下(25℃)置于气浴恒温振荡器(转速120rpm)中充分反应24小时后,从离心管中提取上清液,通过0.45 μm的滤膜,分别获得反应过后的NH₄⁺溶液样品。用奈斯勒试剂比色法和钼酸铵分光光度法分别测定滤液中NH₄⁺的残留浓度(对于PO₄³⁻溶液采用同样的实验方法),具体结果如图8所示。

[0042] 上述实验结果所示,不同材料对于NH₄⁺或PO₄³⁻的吸附量不同,但吸附趋势差几乎相同。对于NH₄⁺的吸附,吸附平衡时MT700<BC<nZVI@BC<MBC<nZVI@MBC, nZVI@MBC复合生物炭对NH₄⁺平衡时的吸附量为24.21mg/g,是BC的2.11倍, nZVI@BC的1.62倍, MBC的1.2倍。结果表明,纳米零价铁的负载大大提升了污泥基生物炭对于NH₄⁺的吸附,而蒙脱石的添加则进一步地增强了污泥基生物炭的吸附能力。

[0043] 而针对PO₄³⁻的吸附,吸附平衡时MT700<BC<MBC<nZVI@BC<nZVI@MBC,其中nZVI@

MBC的吸附量最大,为172.41mg/g。此外,nZVI耦合Mt对BC的改性大大提高了污泥基生物炭的比表面积,改善了污泥基生物炭的孔隙结构,从而提高了对 PO_4^{3-} 的吸附能力。综上所述,nZVI@MBC对 NH_4^+ 或 PO_4^{3-} 具有良好的吸附能力。

[0044] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

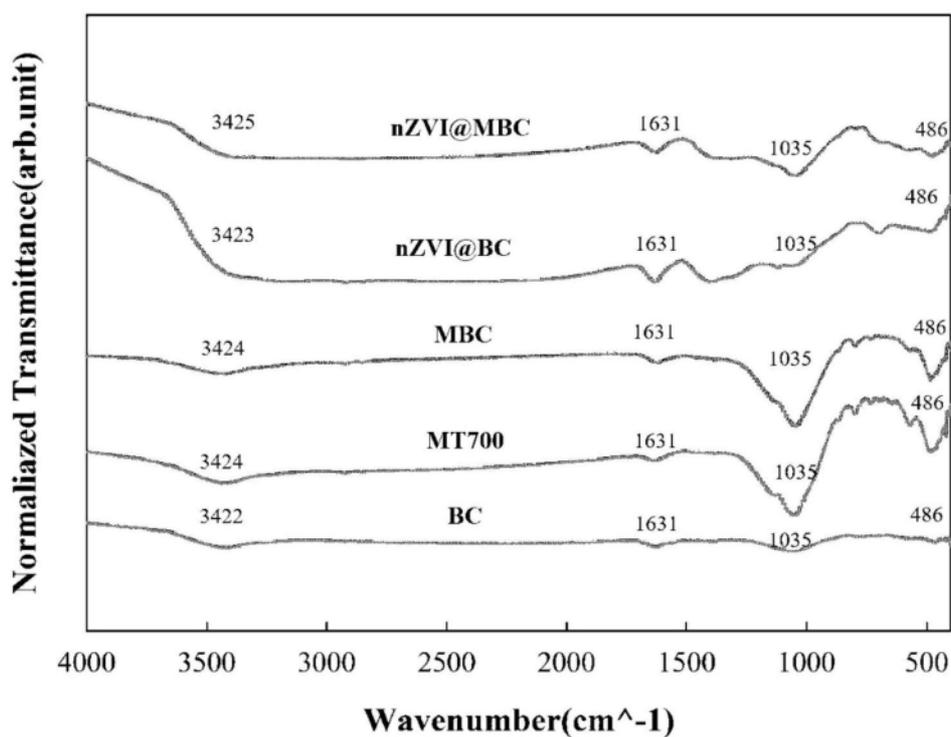


图1

样品名称	比表面积 ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	总孔体积($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	微孔体积($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	平均孔径(nm)
BC	22.94	0.1756	0.0107	15.31
MT700	23.94	0.2480	0.0110	20.72
MBC	51.62	0.3330	0.0108	12.90
nZVI@BC	89.50	0.5241	0.0312	11.71
nZVI@MBC	159.35	0.5472	0.0690	6.87

图2

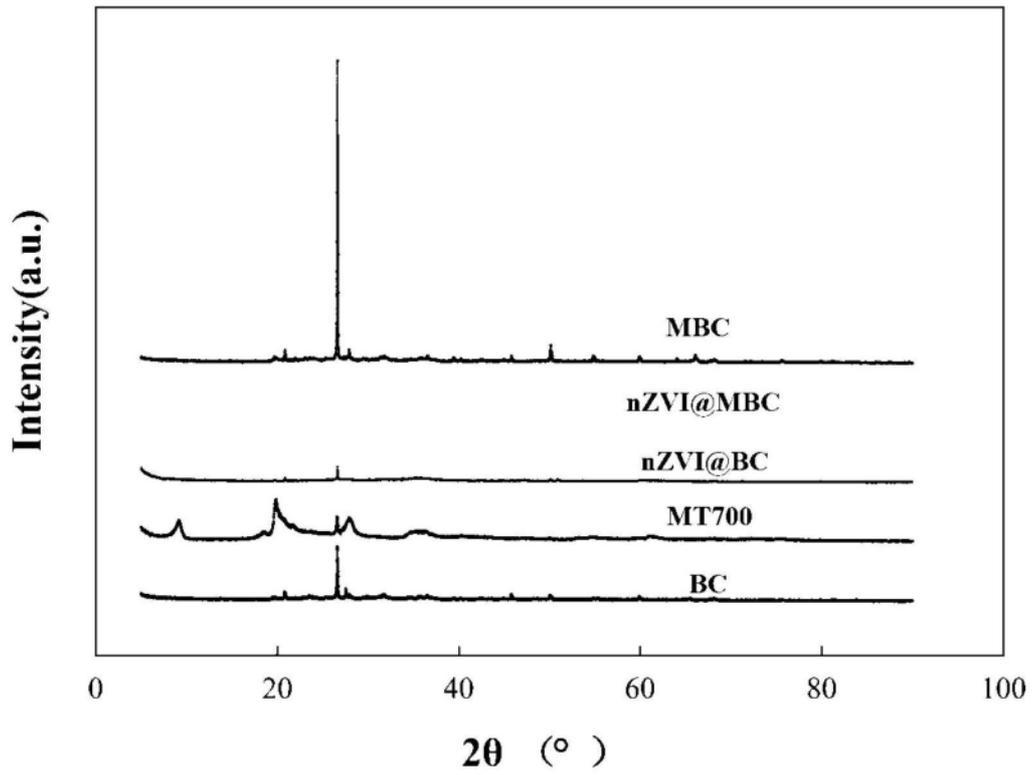


图3

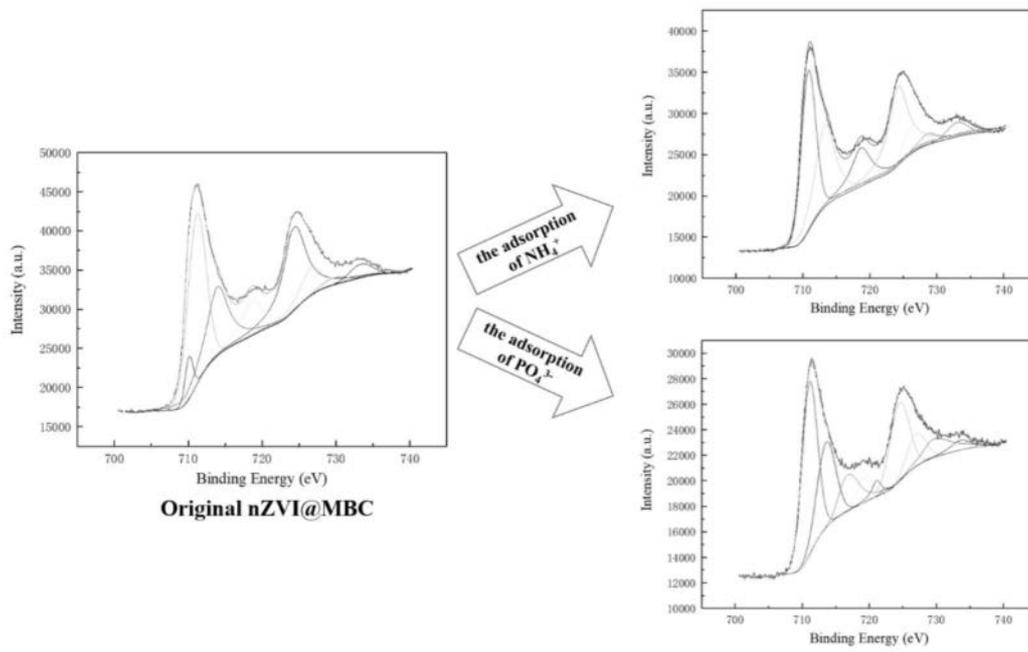


图4

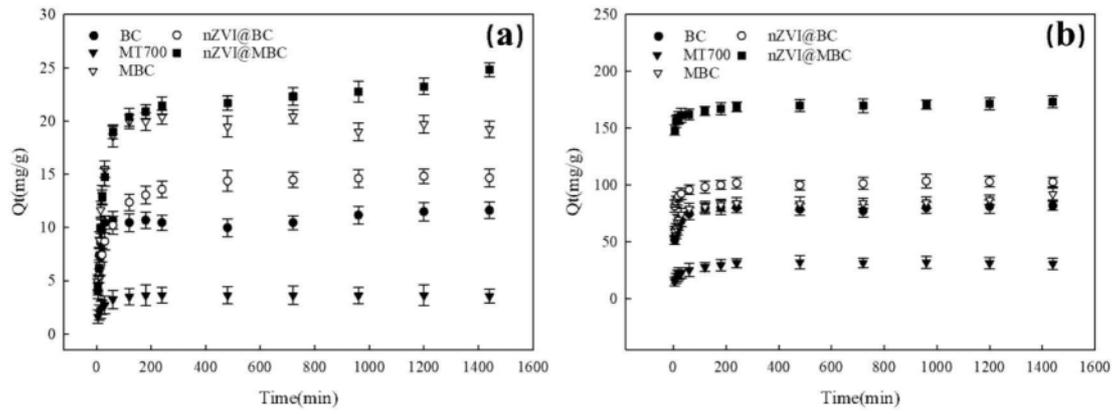


图5

被吸附物质	吸附剂	准一级动力学模型			准二级动力学模型		
		Q_e (mg/g)	K_1 (1/min)	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (g/(mg min))	R^2
NH_4^+	BC	2.0140	0.0014	0.4641	11.4942	0.0065	0.9989
	MT700	0.4746	0.0023	0.3476	3.6231	0.0513	0.9999
	MBC	3.3135	0.0021	0.4745	20.2429	0.0058	0.9999
	nZVI@BC	4.9833	0.0026	0.7392	14.9477	0.0032	0.9999
	nZVI@MBC	9.6979	0.0017	0.7676	24.2131	0.0014	0.9975
PO_4^{3-}	BC	9.5735	0.0022	0.6299	81.3008	0.0027	1.0000
	MT700	8.2161	0.0024	0.8259	31.7460	0.0026	0.9999
	MBC	63.5292	0.0081	0.4535	89.2857	0.0008	0.9979
	nZVI@BC	10.9847	0.0054	0.2639	103.0928	0.0021	0.9999
	nZVI@MBC	33.2947	0.0075	0.5219	172.4140	0.0015	0.9999

图6

被吸附物质	吸附剂	阶段 I			阶段 II			阶段 III		
		C_1	K_{P1}	R_1^2	C_2	K_{P2}	R_2^2	C_3	K_{P3}	R_3^2
NH_4^+	BC	-1.1789	2.5047	0.966	8.7691	0.2584	0.7699	10.091	0.0352	0.7313
	MT700	1.1179	0.2860	0.9753	2.7565	0.0653	0.9870	3.6443	-0.0012	0.7735
	MBC	-3.7945	3.8755	0.9837	6.1086	1.6264	0.9778	19.863	0.0059	0.7607
	nZVI@BC	3.1682	0.8781	0.9732	9.4085	0.2701	0.9996	13.105	0.0469	0.8042
	nZVI@MBC	-3.1726	3.2570	0.9138	2.3527	2.1838	0.9666	18.962	0.1348	0.9209
PO_4^{3-}	BC	44.4730	4.1035	0.9662	70.030	0.7145	0.8031	79.384	0.0406	0.7285
	MT700	9.9247	2.4828	0.9511	19.711	0.6658	0.9440	28.75	0.0796	0.8100
	MBC	-6.4132	7.4920	0.9757	24.811	1.7776	0.9587	77.366	0.3093	0.8047
	nZVI@BC	73.1290	3.8217	0.9893	85.051	1.2670	0.9492	97.409	0.1595	0.7550
	nZVI@MBC	135.8500	5.8410	0.9351	154.27	1.1058	0.8218	162.53	0.2803	0.8506

$K_p(\text{mg}/(\text{g min}^{0.5}))$

图7

被吸附物质	吸附剂	Langmuir			Freundlich		
		Q_{max} (mg/g)	k_l (L/mg)	R^2	n_F	K_F	R^2
NH_4^+	BC	12.9702	0.0485	0.9574	2.1142	1.5442	0.9867
	MT700	4.3668	0.0331	0.9235	1.8560	0.3451	0.9963
	MBC	30.1205	0.0579	0.9829	2.1173	3.0183	0.9832
	nZVI@BC	16.1031	0.0461	0.9198	2.1395	1.9056	0.9844
	nZVI@MBC	34.8432	0.0367	0.9313	1.7194	2.4784	0.9862
PO_4^{3-}	BC	87.7193	0.0090	0.9251	1.1581	1.1202	0.9949
	MT700	29.0698	0.0074	0.9640	1.1437	0.2928	0.9953
	MBC	111.1111	0.0079	0.8508	1.1658	1.3034	0.9992
	nZVI@BC	151.5152	0.0062	0.9380	1.1018	1.1732	0.9975
	nZVI@MBC	294.1176	0.0065	0.9414	1.0727	2.1845	0.9967

图8