



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113399448 A

(43) 申请公布日 2021.09.17

(21) 申请号 202110872613.4

(22) 申请日 2021.07.30

(71) 申请人 广东工业大学

地址 510006 广东省广州市番禺区大学城
外环西路100号

申请人 汕头广工大协同创新研究院

(72) 发明人 杨彦 陈浩佳 马建锋 林佳鑫

(74) 专利代理机构 杭州星河慧专利代理事务所
(普通合伙) 33410

代理人 周丽娟

(51) Int.Cl.

B09C 1/08 (2006.01)

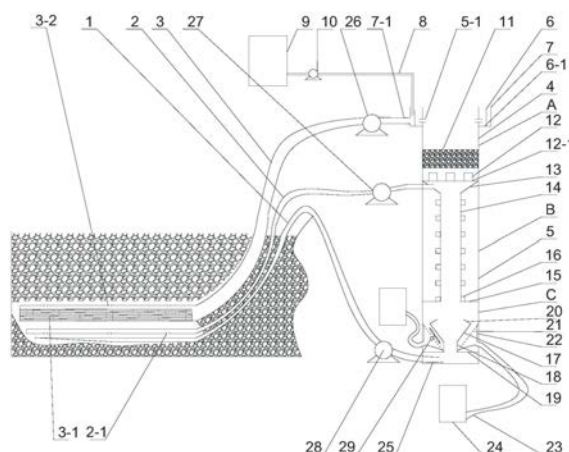
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种有机污染土壤的修复装置

(57) 摘要

本发明公开了一种有机污染土壤的修复装置,设有喷水管、抽水管和回填管分别直接输送氧化剂、泥水混合物以及回填土壤,利用过硫酸盐与填料反应生成硫酸根自由基,对污染土壤进行喷射冲击时降解污染物,冲击落下的泥水混合物被抽至处理器主体内,在超声波发生装置和超声波振动柱的共同作用以及臭氧小气泡的持续供给下,有机污染物被加速降解,土壤颗粒加速沉降进入回填管。本发明装置将固体污染的处理过程流质化,对污染土壤进行持续有效的深度修复,无需向地下注入大量氧化剂,大大减少了氧化剂的浪费和对土壤、地下水的污染,既克服了传统的原位修复的缺点,又无需使用异位修复的重大工程机械挖土,操作简单,经济有效。



1. 一种有机污染土壤的修复装置,其特征在于,包括:处理器、回填管、抽水管和喷水管;所述处理器包括中空圆柱形的主体及其外壳,所述主体内设有上层溢流区、中层处理区和下层沉淀区;

在所述上层溢流区,靠近所述主体的顶端处,在所述外壳的外部依次套设有第一挡水壁和第二挡水壁,所述第一挡水壁和第二挡水壁均为与所述外壳同轴的圆筒,所述第一挡水壁的顶端低于所述外壳的顶端,所述第二挡水壁的顶端高于所述外壳的顶端,所述第一挡水壁的底端和所述第二挡水壁的底端齐平,且所述第一挡水壁的底端、所述第二挡水壁的底端和所述外壳的外壁之间通过水平的环形底板连接,使得所述外壳的外壁与所述第一挡水壁之间、以及所述第一挡水壁与所述第二挡水壁之间均形成底部封闭、顶部开口的空间;在所述外壳上设有若干个第一开口,所述若干个第一开口均位于同一水平面上且在所述环形底板所在水平面的上方;所述第二挡水壁的下部设有第二开口,与所述喷水管连接;在所述第一挡水壁与所述第二挡水壁之间设置有加药管的出口端,所述加药管的入口端与加药罐连接,在所述加药管上设有计量泵,通过所述计量泵将所述加药罐内的过硫酸盐经过所述加药管打入到所述第一挡水壁与第二挡水壁之间;

在所述中层处理区,在所述主体内部从上到下依次设有填料层、超声波发生装置、筛板、第一倒置空心圆台槽、超声波振动柱和第一环形隔板;其中,所述填料层中填充有第一填料,第一填料包括锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒的混合物,所述填料层位于所述环形底板所在水平面的下方,所述超声波发生装置安置在所述筛板上,所述筛板与所述第一倒置空心圆台槽的上端大开口套接,所述第一倒置空心圆台槽的下端小开口与所述超声波振动柱的顶端开口联接,所述超声波振动柱是与所述外壳同轴的中空圆柱体,所述超声波振动柱的底端开口联接所述第一环形隔板,所述第一环形隔板的中空部分与所述超声波振动柱的底端开口重合,所述第一环形隔板的外缘与所述外壳的内壁联接,使得所述第一环形隔板、所述第一倒置空心圆台槽的外表面、所述超声波振动柱的外壁与所述外壳的内壁之间形成第一空腔,在所述第一空腔内设置有若干超声波振子;在所述第一倒置空心圆台槽的中部或上部设置有第一接口,延伸至所述外壳之外并与所述抽水管连接;

在所述下层沉淀区,在所述主体内部依次设置有第一空心圆台槽、第二倒置空心圆台槽、中空竖直管和第二环形隔板,所述第一空心圆台槽位于所述第一环形隔板的下方,所述第一空心圆台槽的上端小开口与所述超声波振动柱的底端开口相对设置,且所述第一空心圆台槽的上端小开口的直径不小于所述超声波振动柱的底端开口的直径,所述第一空心圆台槽的下端大开口与所述第二倒置空心圆台槽的上端大开口连接,所述第二倒置空心圆台槽的下端小开口与所述中空竖直管的顶端连接,所述中空竖直管的底端与所述第二环形隔板连接,所述第二环形隔板的中空部分与所述中空竖直管的底端管口重合,所述第二环形隔板的外缘与所述外壳的内壁联接,使得所述第二环形隔板与所述主体的底部以及所述外壳的内壁之间形成第二空腔;所述外壳位于所述第二空腔段的侧壁上设有第二接口,所述第二接口与所述回填管连接;

在所述外壳的侧壁上还设有若干个臭氧通入口,所述臭氧通入口位于所述第二环形隔板的上方且位于所述第一空心圆台槽的下端大开口所在水平面的下方,每个所述臭氧通入口均有连接管穿过,所述连接管的一端设在所述外壳的外部,与臭氧发生器连接,所述连接管的另一端设在所述主体内部,与所述臭氧分散器连接,所述连接管上还设置有止回阀;所

述臭氧分散器为喇叭口形状,其小口端接所述连接管,其大口端上罩设有筛网,在所述筛网上方设置有搅拌刀头;

所述喷水管、抽水管和回填管分别设置有第一水平段、第二水平段和第三水平段,且所述第一水平段、第二水平段和第三水平段均埋设在地面以下,所述第一水平段内填充有第二填料且在上侧管壁设有若干小孔,所述第二填料包括锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒的混合物,所述第二水平段的下侧管壁设有若干开孔,所述第三水平段的出口为斜开口且斜面向下;所述喷水管上接有高压泵,所述抽水管上接有水泵,所述回填管上接有污泥泵。

2.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述喷水管为扁平管,所述抽水管为圆管,所述回填管为圆管。

3.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述超声波振子均匀分布在所述超声波振动柱的外壁上。

4.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述超声波振动柱的直径为所述主体的直径的 $1/3 \sim 1/2$ 。

5.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述中空竖直管的直径为所述主体的直径的 $1/4 \sim 1/3$ 。

6.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述筛网的筛孔为20~50目。

7.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述第二倒置空心圆台槽的大口端直径为所述主体的直径的 $4/5 \sim 7/8$ 。

8.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,在所述第二倒置空心圆台槽的外侧壁表面覆盖有疏水材料。

9.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,所述臭氧分散器倾斜设置,其喇叭口的大口端面与所述第二倒置空心圆台槽的外侧壁相对设置。

10.如权利要求1所述有机污染土壤的修复装置,其特征在于,位于同一水平面上的所述若干个第一开口均在所述环形底板所在水平面的上方2~3cm处。

一种有机污染土壤的修复装置

技术领域

[0001] 本发明涉及环境工程领域,尤其涉及一种有机污染土壤的修复装置。

背景技术

[0002] 随着社会经济的快速发展,土壤污染问题日趋严重,尤其是现有的化工企业搬离城市,大多会出现化工废弃用地土壤污染。化工废弃用地土壤中含有大量复合有机污染物,会改变土壤的理化性质,破坏局部生态系统,对区域的动植物产生间接和直接毒性作用,并通过食物链的富集和放大效应对人体健康造成严重的危害,对土地资源的可持续利用构成威胁,进而严重影响土地的使用功能。在化工废弃用地转用和二次开发之前,必须合理、有效地对有机污染土壤进行治理和修复,将土壤中的有机污染物消除、降解或清理,使得土壤中的有机污染物浓度达到国家制定的相关标准限值要求,使环境风险降低到可以接受的水平。

[0003] 有机污染土壤中有机物种类繁多,包括石油类、多环芳烃、农药、有机氯等,其中苯系物和多环芳烃等有机物是最重要的污染物。目前,对有机污染土壤中污染源修复,可分为原位修复和异位修复。异位修复涉及挖土和运土,破坏了原土壤的结构,难以修复污染较深的区域,而且操作成本高,同时,在挖土、运土的过程中导致土壤中大量的挥发/半挥发性有机物转移到空气中,造成二次污染,因此逐渐被原位修复所取代。

[0004] 常用的原位修复包括物理修复法、化学修复法和生物修复法。针对污染面积较大,污染物浓度高的情况,采用物理修复需要消耗的工程量较大,修复不彻底,相应的成本也较高。生物修复一般不会带来二次污染的问题,但是生物修复有机物污染场地的周期太长,而且在重污染的工业场地植物成活率低,不适合直接作为化工厂场地土壤修复的措施,可作为后续的稳定修复措施使用。相对于前两者而言,化学修复具有明显的优势,包括:对污染物不敏感,反应迅速,修复时间短,降解彻底,修复效率高,因而被越来越多地应用于有机污染土壤的修复。

[0005] 化学修复多采用强氧化方法,常用的氧化剂为过氧化氢、Fenton试剂或过硫酸盐。

[0006] 过氧化氢的氧化还原电位是1.77V,对有机污染物的氧化效果好,反应产物主要为水和氧气,不会造成二次污染,且容易获得,处理过程简单。但是过氧化氢极不稳定,半衰期短,有效距离短,进入土壤后会立即分解成水和氧气,所以需要采取少量多次的方式加入,才能增加氧化剂的利用效率。而且,过氧化氢具有极易发生无效分解、持续时间短、大量放热等特点,需维持土壤较低的pH来保证反应的进行,导致利用率低、不易控制等问题,限制了其广泛应用。

[0007] Fenton试剂是在 H_2O_2 的基础上发展而成的一种更为有效的氧化剂,主要通过 Fe^{2+} 与 H_2O_2 反应生成 $OH\cdot$ 来降解有机污染物。 $OH\cdot$ 的氧化还原电位为2.8V,氧化能力强,具有体系原料来源广泛、反应时间短、对难降解有机物有良好去除效果的优点。但是传统的芬顿试剂也存在着 H_2O_2 利用率低、有机物降解不完全等缺点,主要缺陷为:(1)反应体系pH低,中性条件下,反应形成的 Fe^{3+} 易形成 $Fe(OH)_3$ 沉淀,反应效率大幅降低,因此需对待处理土壤及地

下水进行预酸化；(2) 传统芬顿体系中产生的 Fe^{3+} 使出水色度增加，调节pH为碱性后产生大量含铁污泥难以处理，造成二次污染；(3) 催化剂分离困难，难以重复使用。

[0008] 过硫酸盐及其自由基的氧化还原电位分别为2.01V和2.5~2.6V，适用范围广，对于处理有机质含量较高的污染土壤很有效，用量也相对较少，且其在环境中存在时间长。但是， Fe^{2+} 活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 后被氧化成为了 Fe^{3+} ，而 Fe^{3+} 不能活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ；而且，溶液中快速生成的 $\text{SO}_4^{\cdot -}$ 会与 Fe^{2+} 发生反应，部分 $\text{SO}_4^{\cdot -}$ 被猝灭。因此， $\text{Fe}^{2+}/\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 体系不能持续地降解有机污染物，这成为制约其应用的因素。此外， $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 的加入，会在环境介质中残留高浓度的 SO_4^{2-} ，且在还原性条件下， SO_4^{2-} 还能被还原成 HS^- ，这两种阴离子在地下水都具备高水溶性及流动性，积累到一定程度会超过饮用水二级标准要求。

[0009] 同时，上述传统的化学氧化修复过程都是液相注入方式，由于土壤具有良好的吸附能力且氧化剂具有流动性，使得土壤的受污染部分和土壤未受污染部分均会受到氧化剂的氧化，大量的流体氧化剂被未污染土壤部分浪费掉，同时，这些氧化剂在降解土壤中的有机污染物时会破坏土壤结构及成分，导致土壤质量恶化，使得后续的土地复垦非常困难。

发明内容

[0010] 有鉴于此，本发明的目的在于提供一种有机污染土壤的修复装置，能够对污染土壤进行持续修复且修复效果好，无需向地下注入大量氧化剂，大大减少了氧化剂的浪费和对土壤、地下水的污染，既克服了传统的原位修复的缺点，又无需使用异位修复的重大工程机械挖土，操作简单，经济有效。

[0011] 一种有机污染土壤的修复装置，包括：处理器和回填管、抽水管、喷水管；所述处理器包括中空圆柱形的主体及其外壳，所述主体内设有上层溢流区、中层处理区和下层沉淀区；

[0012] 在所述上层溢流区，靠近所述主体的顶端处，在所述外壳的外部依次套设有第一挡水壁和第二挡水壁，所述第一挡水壁和第二挡水壁均为与所述外壳同轴的圆筒，所述第一挡水壁的顶端低于所述外壳的顶端，所述第二挡水壁的顶端高于所述外壳的顶端，所述第一挡水壁的底端和所述第二挡水壁的底端齐平，且所述第一挡水壁的底端、所述第二挡水壁的底端和所述外壳的外壁之间通过水平的环形底板连接，使得所述外壳的外壁与所述第一挡水壁之间、以及所述第一挡水壁与所述第二挡水壁之间均形成底部封闭、顶部开口的空间；在所述外壳上设有若干个第一开口，所述若干个第一开口均位于同一水平面上且在所述环形底板所在水平面的上方；所述第二挡水壁的下部设有第二开口，与所述喷水管连接；在所述第一挡水壁与所述第二挡水壁之间设置有加药管的出口端，所述加药管的入口端与加药罐连接，在所述加药管上设有计量泵，通过所述计量泵将所述加药罐内的过硫酸盐经过所述加药管打入到所述第一挡水壁与第二挡水壁之间；

[0013] 在所述中层处理区，在所述主体内部从上到下依次设有填料层、超声波发生装置、筛板、第一倒置空心圆台槽、超声波振动柱和第一环形隔板；其中，所述填料层中填充有第一填料，第一填料包括锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒的混合物，所述填料层位于所述环形底板所在水平面的下方，所述超声波发生装置安置在所述筛板上，所述筛板与所述第一倒置空心圆台槽的上端大开口套接，所述第一倒置空心圆台槽的下端小开口与所述超声波振动柱的顶端开口联接，所述超声波振动柱是与所述外壳同轴的中空圆柱体，所述超声波振动

柱的底端开口联接所述第一环形隔板,所述第一环形隔板的中空部分与所述超声波振动柱的底端开口重合,所述第一环形隔板的外缘与所述外壳的内壁联接,使得所述第一环形隔板、所述第一倒置空心圆台槽的外表面、所述超声波振动柱的外壁与所述外壳的内壁之间形成第一空腔,在所述第一空腔内设置有若干超声波振子;在所述第一倒置空心圆台槽的中部或上部设置有第一接口,延伸至所述外壳之外并与所述抽水管连接;

[0014] 在所述下层沉淀区,在所述主体内部依次设置有第一空心圆台槽、第二倒置空心圆台槽、中空竖直管和第二环形隔板,所述第一空心圆台槽位于所述第一环形隔板的下方,所述第一空心圆台槽的上端小开口与所述超声波振动柱的底端开口相对设置,且所述第一空心圆台槽的上端小开口的直径不小于所述超声波振动柱的底端开口的直径,所述第一空心圆台槽的下端大开口与所述第二倒置空心圆台槽的上端大开口连接,所述第二倒置空心圆台槽的下端小开口与所述中空竖直管的顶端连接,所述中空竖直管的底端与所述第二环形隔板连接,所述第二环形隔板的中空部分与所述中空竖直管的底端管口重合,所述第二环形隔板的外缘与所述外壳的内壁联接,使得所述第二环形隔板与所述主体的底部以及所述外壳的内壁之间形成第二空腔;所述外壳位于所述第二空腔段的侧壁上设有第二接口,所述第二接口与所述回填管连接;

[0015] 在所述外壳的侧壁上还设有若干个臭氧通入口,所述臭氧通入口位于所述第二环形隔板的上方且位于所述第一空心圆台槽的下端大开口所在水平面的下方,每个所述臭氧通入口均有连接管穿过,所述连接管的一端设在所述外壳的外部,与臭氧发生器连接,所述连接管的另一端设在所述主体内部,与所述臭氧分散器连接,所述连接管上还设置有止回阀;所述臭氧分散器为喇叭口形状,其小口端接所述连接管,其大口端上罩设有筛网,在所述筛网上方设置有搅拌刀头;

[0016] 所述喷水管、抽水管和回填管分别设置有第一水平段、第二水平段和第三水平段,且所述第一水平段、第二水平段和第三水平段均埋设在地面以下,所述第一水平段内填充有第二填料且在上侧管壁设有若干小孔,所述第二填料包括锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒的混合物,所述第二水平段的下侧管壁设有若干开孔,所述第三水平段的出口为斜开口且斜面向下;所述喷水管上接有高压泵,所述抽水管上接有水泵,所述回填管上接有污泥泵。

[0017] 在本发明的一具体实例中,所述过硫酸盐为过硫酸钾或过硫酸钠。

[0018] 在本发明的一具体实例中,在所述外壳上设置的第一开口的数量为6~8个。

[0019] 在本发明的一具体实例中,位于同一水平面上的所述若干个第一开口均在所述环形底板所在水平面的上方2~3cm处

[0020] 在本发明的一具体实例中,所述第一填料由质量比为1:1:0.5的锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒组成。

[0021] 在本发明的一具体实例中,所述超声波振子均匀分布在所述超声波振动柱的外壁上。

[0022] 在本发明的一具体实例中,所述超声波振动柱的直径为所述主体的直径的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 。

[0023] 在本发明的一具体实例中,所述第二倒置空心圆台槽的大口端直径为所述主体的直径的 $\frac{4}{5}$ ~ $\frac{7}{8}$ 。

[0024] 在本发明的一具体实例中,在所述第二倒置空心圆台槽的外侧壁表面覆盖有疏水

材料,例如特氟龙,气泡在其表面可以迅速滚动。

[0025] 在本发明的一具体实例中,所述中空竖直管的直径为所述主体的直径的 $1/4 \sim 1/3$ 。

[0026] 在本发明的一具体实例中,所述臭氧分散器倾斜设置,其喇叭口的大口端面与所述第二倒置空心圆台槽的外侧壁相对设置。

[0027] 在本发明的一具体实例中,所述筛网的筛孔为20~50目。

[0028] 在本发明的一具体实例中,所述第二填料由质量比为1:1:0.5的锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒组成。

[0029] 在本发明的一具体实例中,所述喷水管为扁平管。

[0030] 在本发明的一具体实例中,所述抽水管为圆管。

[0031] 在本发明的一具体实例中,所述回填管为圆管。

[0032] 在本发明的一具体实例中,所述填料层和所述超声波发生装置之间设有一定的间隔,例如,所述填料层的底部与所述超声波发生装置的顶部之间相距5~10cm。

[0033] 本发明的有机污染土壤的修复装置的运行原理如下:

[0034] 利用穿管机将三组管子的水平段分别设置到待处理土壤的表层下方2~5米处,其中,处在最下方的是回填管,中间为抽水管,处在最上方的是喷水管,将三组管子的另一端分别连接到主体的下层沉淀区、中层处理区和上层溢流区。

[0035] 持续向主体的内部注水,直至水从主体的上层溢流区溢出,并自第一开口进入到第一挡水壁与第二挡水壁之间;

[0036] 向加药罐中加入过硫酸盐溶液,启动计量泵,将过硫酸盐溶液从加药罐中打入到第一挡水壁与第二挡水壁之间;启动喷水管上的高压泵、抽水管上的水泵和回填管上的污泥泵;

[0037] 混合有过硫酸盐的水自第二开口进入喷水管,并经由高压泵流经第一水平段的第二填料,水中过硫酸盐被第二填料激活并生成硫酸根自由基,自喷水管的小孔喷射而出,冲击污染土壤并与有机污染物发生反应,土壤掉落后,泥水被水泵经由抽水管抽回主体内部:泥水由第一接口进入第一倒置空心圆台槽并向下流,在超声波发生装置和超声波振动柱的共同作用下,土壤颗粒表面吸附的有机污染受振动而发生分离,硫酸根自由基加速对有机污染物的降解,土壤加速沉降,掉落入第二倒置空心圆台槽中并沉降到主体底部的第二空腔内。

[0038] 此外,臭氧发生器持续提供臭氧,在搅拌刀头的剪切作用下,从筛网逸出分散的臭氧小气泡,这些臭氧小气泡沿着第二倒置空心圆台槽的外侧壁向上运动,随着进入主体内部的泥水的增多,臭氧小气泡与进入主体下部的泥水相遇,臭氧小气泡粘附在土壤颗粒上,臭氧小气泡和土壤颗粒表面的有机污染物发生反应的同时,臭氧小气泡携带着土壤颗粒上浮;当进入超声波振动柱内部,在超声波发生装置和超声波振动柱的共同作用下,土壤颗粒与臭氧小气泡受振动而分离,土壤颗粒向下沉降;随着水位的上升,泥水经过筛板后与填料层接触,填料层中第一填料继续激活残存的过硫酸盐,形成硫酸根自由基,对泥水中有机污染物继续降解;随着抽水管抽入的泥水越来越多,当水位上升到上层溢流区时,水又会自第一出口溢出,进入到第一挡水壁与第二挡水壁之间,重复循环上述流程。沉淀在底部的第二空腔内的干净土壤在积累到一定量后,也由污泥泵抽入到回填管中并原地回填。随着回填

量的增加,三组管子持续向上移动,直到上方待处理土壤完全处理完成。在整个处理过程中,水是可以重复循环利用的,如因水量减少不足以溢流用于冲洗,可以随时额外补充水。

[0039] 可见,本发明装置中,利用过硫酸盐与填料反应生成硫酸根自由基,在对污染土壤进行喷射冲击时与土壤中有机污染物发生反应,土壤掉落后,再将其泥水混合物抽至装置主体内,在超声波发生装置和超声波振动柱的共同作用下,土壤颗粒表面吸附的有机污染受振动而发生分离,硫酸根自由基加速对有机污染物的降解,土壤加速沉降至主体底部的第二空腔内。此外,通过向装置内持续供给臭氧小气泡,不但可减缓土壤颗粒向下运动的速度,延长在装置内降解反应的时间;而且,臭氧小气泡参与氧化作用,在超声波的作用下臭氧和污染物充分接触并反应,增加了有机污染物的氧化途径,提高了氧化效果。

[0040] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0041] (1) 本发明装置中,利用管道直接输送氧化剂、强水流冲击待处理土壤得到泥水混合物、流化处理以及回填土壤,将固体污染的处理过程流质化,无需向地下注入大量氧化剂,大大减少了氧化剂的浪费和土壤的过度氧化,既克服了传统的原位修复的缺点,又无需使用异位修复的重大工程机械挖土,具有操作简单的显著优势。

[0042] (2) 本发明装置中,喷水管在喷头处(喷射段)设置有填料,与过硫酸盐反应形成硫酸根自由基溶解在水中,经由喷头喷射形成高压冲击污染土壤的同时,直接和土壤表面的污染物接触并发生降解作用,提高了对氧化剂的利用率。

[0043] (3) 本发明装置中,在处理器主体和喷水管内部均设置有填料,用于与过硫酸盐反应形成硫酸根自由基,对有机污染物进行降解:在处理器主体上层的填料可以使有机污染物(大部分有机物密度较小)长时间与填料接触,充分降解有机物;并且,在处理器主体内部尚未充分反应的污染物进入喷水管后,仍可在喷水管内进一步降解反应;反之亦然,在喷水管内未被充分降解的污染物,进入处理器主体内部仍可继续降解;如此经过二次降解,能够使有机污染物的降解更加彻底。

[0044] (4) 本发明装置中,还设置了竖直的超声波振动柱,在柱形结构内,超声波来回反射,得到充分的利用。超声波和振动的作用,既可以使污染物从颗粒表面脱离,又可以促进过硫酸盐活化产生硫酸根自由基,大大促进有机物降解;同时,还设置了臭氧发生器和分散器产生臭氧小气泡,并在处理器主体内部向上运动;在臭氧小气泡的上升过程中,臭氧与土壤颗粒充分接触反应;进入超声波振动柱内后,在超声波的空化作用下产生更多的活性物质;进入填料层后,在填料的催化作用下,继续对污染物进行氧化降解。因此,这些设置更好地促进了有机污染物的降解,除去土壤中的有机污染物,并能促进处理后土壤颗粒的自动分离并在重力作用下掉落到第二空腔,并经由回填管回填,得到修复后的土壤。

[0045] (5) 本发明装置中,填料中二氧化锰、氧化铈分别和过硫酸盐发生氧化反应产生硫酸根自由基,接着,填料中铁屑与反应后的锰、铈进行还原反应,重新生成二氧化锰、氧化铈,因此,对于持续补充加入的过硫酸盐,填料可以持续与之反应生成硫酸根自由基,从而使得有机污染物降解得以持续进行;而且,由于本发明的流体物质均通过管道进行输送,可以最大程度地减少氧化剂对于地下水和土壤的破坏和污染。

[0046] (6) 本发明装置中,所用试剂绿色无污染,没有废水和其他废物产生,安全环保;操作简单,处理速度快,效果好;比原位修复效果好、速度快,比异位修复要节省挖掘和运输费用,经济有效。

附图说明

[0047] 图1为本发明的有机污染土壤的修复装置的第一种具体实例的结构示意图。

[0048] 图2为图1的有机污染土壤的修复装置中局部结构示意图。

具体实施方式

[0049] 下面结合附图和具体实施例对本发明的实施方案进行详细描述。应理解,这些实施例仅用于说明本发明,而不应视为限定本发明的范围。

[0050] 如图1和图2所示的一种有机污染土壤的修复装置,包括:处理器和回填管1、抽水管2、喷水管3。

[0051] 处理器包括中空圆柱形的主体4和圆柱形的外壳5,主体4内设有上层溢流区A、中层处理区B和下层沉淀区C。

[0052] 在上层溢流区A,靠近主体4的顶端处,在外壳5的外部套设有第一挡水壁6和第二挡水壁7。第一挡水壁6、第二挡水壁7均为与外壳5同轴的圆筒,且第一挡水壁6比第二挡水壁7更靠近外壳5的中心轴线。第一挡水壁6的底端和第二挡水壁7的底端齐平,第一挡水壁6的顶端低于外壳5的顶端,第二挡水壁7的顶端高于外壳5的顶端。第一挡水壁6的底端、第二挡水壁7的底端和外壳5的外壁之间通过水平的环形底板6-1连接,使得外壳5与第一挡水壁6之间、以及第一挡水壁6与第二挡水壁7之间均形成底部封闭、顶部开口的空间。

[0053] 在外壳5上设有若干个第一开口5-1,若干个第一开口5-1均在同一水平面上且位于第一挡水壁6(或第二挡水壁7)的底端的上方。第二挡水壁7的下部设有第二开口7-1,与喷水管3连接。

[0054] 在第一挡水壁6与第二挡水壁7之间设置有加药管8的出口端(即,加药管8的出口端延伸至第一挡水壁6与第二挡水壁7之间),加药管8的入口端与加药罐9连接,在加药管8上设有计量泵10,通过计量泵10将加药罐9内的过硫酸盐经过加药管8打入到第一挡水壁6与第二挡水壁7之间的空间。

[0055] 在中层处理区B,在主体4内部从上到下依次设有填料层11、超声波发生装置12、筛板12-1、第一倒置空心圆台槽13、超声波振动柱14和第一环形隔板15。其中,填料层11位于环形底板(或第一挡水壁6的底端)所在水平面的下方,填料层11中填充有第一填料,第一填料采用包含有锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒的混合填料。超声波发生装置12安置在筛板12-1上,超声波发生装置12与填料层11之间有一定的间隔,筛板12-1与第一倒置空心圆台槽13的上端大开口套接,第一倒置空心圆台槽13的下端小开口与超声波振动柱14的顶端开口联接,超声波振动柱14是与外壳5同轴的中空圆柱体,超声波振动柱14的底端开口联接第一环形隔板15,第一环形隔板15的中空部分与超声波振动柱14的底端开口重合,第一环形隔板15的外缘直径与主体4的内径相同,且第一环形隔板15的外边沿与外壳5的内壁接触,从而使得超声波振动柱14内部呈上下贯通,并在第一环形隔板15、第一倒置空心圆台槽13的外表面、超声波振动柱14的外壁与外壳5的内壁之间形成第一空腔,第一空腔内设置有若干超声波振子16;在第一倒置空心圆台槽13中部或上部设置有第一接口,延伸至外壳5之外并与抽水管2连接;

[0056] 在下层沉淀区C,在主体4内部依次设置有第一空心圆台槽20、第二倒置空心圆台槽17、中空竖直管18和第二环形隔板19,第一空心圆台槽20位于第一环形隔板15的下方,第

一空心圆台槽20的上端小开口与超声波振动柱14的底端开口相对设置,且第一空心圆台槽20的上端小开口的直径与超声波振动柱14的底端开口的直径相同,第一空心圆台槽20的下端大开口与第二倒置空心圆台槽17的上端大开口连接,第二倒置空心圆台槽17的下端小开口与中空竖直管18的顶端连接,中空竖直管18的底端与第二环形隔板19连接,第二环形隔板19的中空部分与竖直管18的底端管口重合,第二环形隔板19的外缘直径与外壳5的内径相同,且第二环形隔板19的外沿与外壳5的内壁接触,第二环形隔板19与主体4的底部以及外壳5的内壁所围成的空间为第二空腔25;外壳5在第二空腔25的这一段侧壁上设有第二接口,第二接口与回填管1连接;

[0057] 在外壳5的侧壁上设有若干个臭氧通入口22-1,臭氧通入口22-1位于第二环形隔板19的上方且位于第一空心圆台槽20的下端大开口所在水平面的下方,每个臭氧通入口22-1均有连接管23穿过,连接管23的一端接臭氧发生器24,臭氧发生器24置于外壳5外部,连接管23的另一端接喇叭口形状的臭氧分散器22的小口端,臭氧分散器22置于主体4内部,在臭氧分散器22的大口端上罩设有筛网21,在筛网21上方设置有搅拌刀头29。在图1中,臭氧分散器22倾斜设置,其喇叭口的大口端面与第二倒置空心圆台槽17的外侧壁相对设置,使得臭氧可以更好的分散到水中。

[0058] 在连接管23上还设置有止回阀(图中未示出),阻止水向臭氧发生器24方向的流动。

[0059] 喷水管3为扁平管,喷水管3上接有高压泵26,喷水管3设有第一水平段3-1,第一水平段3-1埋设在地面以下,第一水平段3-1填充有第二填料,第一水平段3-1的上侧管壁开有若干小孔3-2;第二填料采用包含有锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒的混合填料。

[0060] 抽水管2为圆管,抽水管2上接有水泵27,抽水管2设有第二水平段2-1,第二水平段2-1埋设在地面以下,第二水平段2-1的下侧管壁设有若干开孔2-2。

[0061] 回填管1为圆管,回填管1上接有污泥泵28,回填管1设有第三水平段1-1,第三水平段1-1的出口为斜开口且斜面向下,以防止回填的泥沙被抽水管2吸入。

[0062] 使用的时候,利用穿管机将三组管子的水平段分别设置到待处理地块下方2~5米处,其中,最下方为回填管1,中间为抽水管2,最上方为喷水管3,将三组管子的另一端分别连接到主体4的下层沉淀区C、中层处理区B和上层溢流区A。

[0063] 说明:填料层11上方的空间为上层溢流区A,填料层11至第一环形隔板15的空间为中层处理区,第一环形隔板15至主体4的底部为下层沉淀区C。

[0064] 持续向主体4的内部注水,直至水从主体4的上层溢流区A溢出,并自第一开口5-1进入到第一挡水壁6与第二挡水壁7之间;

[0065] 向加药罐9中加入过硫酸盐溶液,启动计量泵10,将过硫酸盐溶液从加药罐9中打入到第一挡水壁6与第二挡水壁7之间;启动喷水管3上的高压泵26、抽水管2上的水泵27和回填管1上的污泥泵28;

[0066] 混合有过硫酸盐的水自第二开口7-1进入喷水管3,并经由高压泵26流经第一水平段3-1的第二填料,水中过硫酸盐被第二填料激活并生成硫酸根自由基,自喷水管3的小孔3-2喷射而出,冲击污染土壤并与有机污染物发生反应,土壤掉落后,泥水被抽水管2经水泵27抽回主体4内部,经由第一接口进入第一倒置空心圆台槽13并下落,在超声波发生装置12和超声波振动柱14的共同作用下,土壤颗粒表面吸附的有机污染受振动而发生分离,硫酸

根自由基加速对有机污染物的降解,土壤加速沉降,掉落入第二倒置空心圆台槽17中并沉降到主体4底部的第二空腔25内。

[0067] 此外,臭氧发生器24持续提供臭氧,在搅拌刀头29的剪切作用下,从筛网21逸出分散的臭氧小气泡,这些臭氧小气泡沿着第二倒置空心圆台槽17的外侧壁向上运动,随着进入主体4内部的泥水的增多,臭氧小气泡与进入主体4下部的泥水相遇,臭氧小气泡粘附在土壤颗粒上,臭氧小气泡和土壤颗粒表面的有机污染物发生反应的同时,臭氧小气泡携带着土壤颗粒上浮;当进入超声波振动柱14内部,在超声波发生装置12和超声波振动柱14的共同作用下,土壤颗粒与臭氧小气泡受振动而分离,土壤颗粒向下沉降;随着水位的上升,泥水经过筛板12-1与填料层11接触,填料层11中第一填料继续激活残存的过硫酸盐,形成硫酸根自由基,对泥水中有机污染物继续降解;随着抽水管2抽入的泥水越来越多,当水位上升到上层溢流区A时,水又会自第一出口5-1(也是溢出口)溢出,进入到第一挡水壁6与第二挡水壁7之间,重复循环上述流程。沉淀在底部空腔25内的干净土壤在积累到一定量后,也由污泥泵28抽入到回填管1中并回填至处理地块的下方。可见,一方面,臭氧小气泡减缓了土壤颗粒向下运动的速度,延长了降解反应的时间;另一方面,臭氧小气泡参与氧化作用,在超声波的作用下臭氧和污染物充分接触并反应,增加了有机污染物的氧化途径,提高了氧化效果。

[0068] 在整个处理过程中,水是可以重复循环利用的,在水量减少不足以溢流用于冲洗,可以随时额外补充水。

[0069] 可见,本发明装置中,利用过硫酸盐与填料反应生成硫酸根自由基,并对污染土壤进行喷射冲击而与土壤中有有机污染物发生反应,土壤掉落后,再将其泥水混合物抽至装置主体内,在超声波发生装置和超声波振动柱的共同作用下,土壤颗粒表面吸附的有机污染受振动而发生分离,硫酸根自由基加速对有机污染物的降解,土壤加速沉降至主体底部的第二空腔内。此外,通过向装置内持续供给臭氧小气泡,不但可减缓土壤颗粒向下运动的速度,延长降解反应的时间;而且,臭氧小气泡参与氧化作用,在超声波的作用下臭氧和污染物充分接触并反应,增加了有机污染物的氧化途径,提高了氧化效果。

[0070] 当然,本领域技术人员可以理解,本发明的有机污染土壤的修复装置,除了图1和图2所示的具体实例之外,也可以有不背离其原理的各种优选、变形或替代等方案。以下将略举几例,以作说明:

[0071] 本领域技术人员可以理解,可以选择过硫酸钾作为过硫酸盐,也可以选择其他可溶性无毒过硫酸盐,例如,过硫酸钠。

[0072] 本领域技术人员可以理解,位于同一水平面上的若干个第一开口5-1均在所述环形底板6-1所在水平面(也是第一挡水壁6的底端或者第二挡水壁7的底端所在水平面)的上方2~3cm处。

[0073] 本领域技术人员可以理解,填料层11的底部与超声波发生装置12的顶部之间相距5~10cm。

[0074] 本领域技术人员可以理解,超声波振子16均匀分布在超声波振动柱14的外壁上。

[0075] 本领域技术人员可以理解,超声波振动柱14的直径为主体4的直径的 $1/3 \sim 1/2$ 。

[0076] 本领域技术人员可以理解,竖直管18的直径为主体4的直径的 $1/4 \sim 1/3$ 。

[0077] 本领域技术人员可以理解,筛网21的筛孔为20~50目,使得分割的臭氧气泡尽可

能小。

[0078] 本领域技术人员可以理解,第二倒置空心圆台槽17的大口端直径为主体4的直径的 $\frac{4}{5} \sim \frac{7}{8}$ 。

[0079] 本领域技术人员可以理解,在外壳5上设置的第一开口5-1的数量为6~8个。

[0080] 本领域技术人员可以理解,第一空心圆台槽20的上端小开口的直径可以大于,例如略大于,超声波振动柱14的底端开口的直径。

[0081] 本领域技术人员可以理解,在第二倒置空心圆台槽的外侧壁表面覆盖有疏水材料,例如,特氟龙,气泡在该表面可以迅速滚动。

[0082] 本领域技术人员可以理解,第二水平段2-1的开孔2-2的尺寸为0.5~1.5cm,防止石子颗粒堵塞。

[0083] 本领域技术人员可以理解,第一填料采用的混合填料由质量比为1:1:0.5的锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒组成。第二填料采用的混合填料也是由质量比为1:1:0.5的锰砂颗粒、铁屑和氧化铈颗粒组成。其中,锰砂颗粒主要成分是二氧化锰。

[0084] 以模拟的石油污染土壤(有机碳含量约为85.1mg/g)为修复对象,采用本发明有机污染土壤的修复装置,按照前述使用方法进行修复处理5小时后,取回填土壤进行检测,显示土壤中的有机碳含量为6.8mg/g。可见,修复后的污染土壤中的有机碳含量大大降低。

[0085] 修复装置的参数设置如下:计量泵10的流速为0.2~0.5L/min,第一倒置空心圆台槽13的高度为20~30cm,第二倒置空心圆台槽17的高度为20~40cm;第一空心圆台槽20的高度为5~10cm,第一空心圆台槽20的上底与第一环形隔板15的距离为20~50cm,第二空腔25的高度为5~10cm,填料层11的高度为40~80cm,超声波振动柱14的高度为80~120cm。

[0086] 由此可见,本发明的目的已经完整并有效的予以实现。本发明的功能及结构原理已在实施例中予以展示和说明,在不背离原理的情况下,实施方式可作任意修改。所以,本发明包括了基于权利要求精神及权利要求范围的所有变形实施方式。此外,应当理解,虽然本说明书按照实施方式加以描述,但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案,说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见,本领域技术人员应当将说明书作为一个整体,各实施例中的技术方案也可以经适当组合,形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

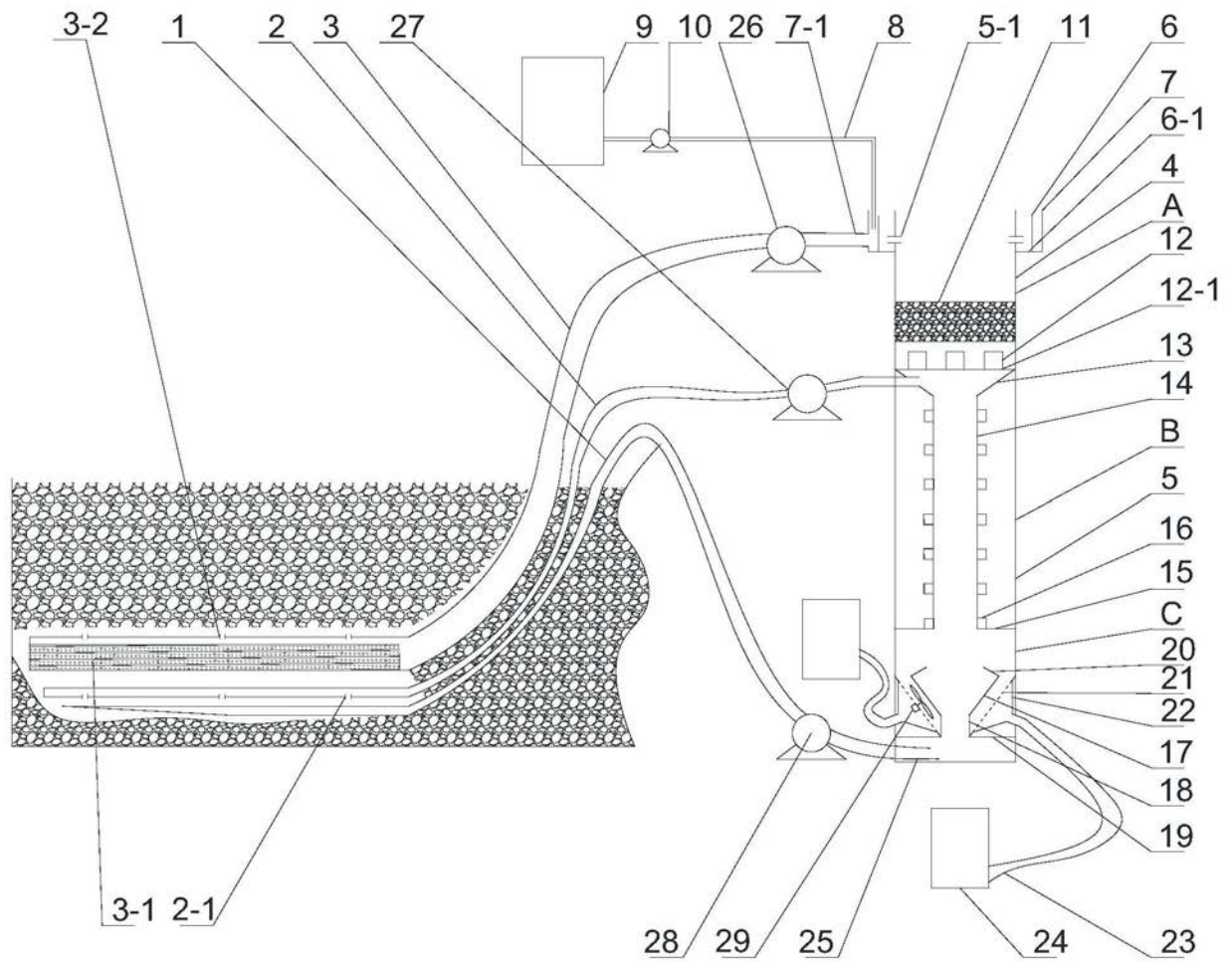


图1

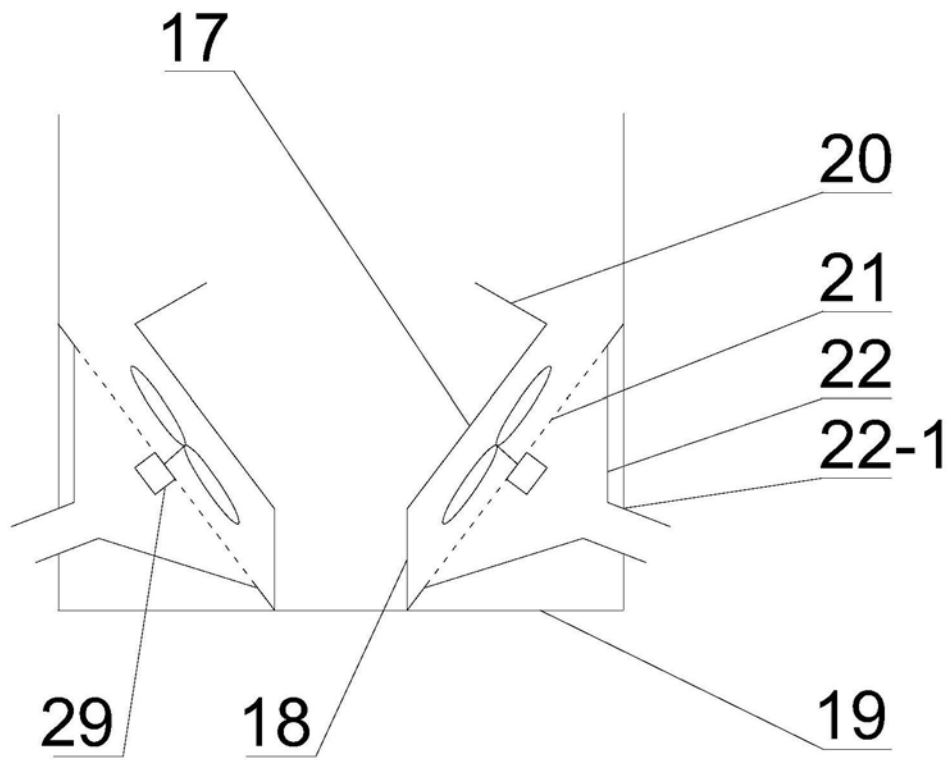


图2