



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103230933 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 31

(21) 申请号 201310124490. 1

(22) 申请日 2013. 04. 11

(73) 专利权人 华北电力大学

地址 102206 北京市昌平区朱辛庄北农路 2  
号

(72) 发明人 卢宏玮 史斌 任丽霞 杜鹏  
何理

(74) 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理  
有限公司 11246

代理人 薄观玖

(51) Int. Cl.

B09C 1/06 (2006. 01)

B09C 1/08 (2006. 01)

审查员 冯勋伟

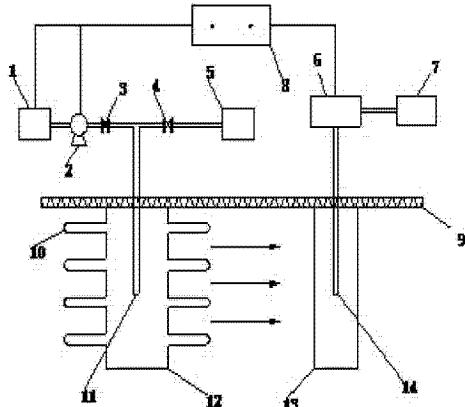
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装  
置及修复方法

(57) 摘要

本发明属于环境保护技术领域，特别涉及一  
种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装  
置及修复方法。本发明装置由空气加热器、空气压  
缩机、空气阀门、加药阀门、加药箱、真空抽吸泵、  
输送泵、电动力控制装置、保温层、横向管道、注射  
器、注射井、气体收集井和真空抽吸管道组成。本  
发明通过原位热脱附及添加氧化剂处理的方法，  
有效处理了挥发性有机物污染的土壤。该技术适  
用范围比较广，能够在不同的气候条件、地质条  
件、土壤性质、及地表条件下进行原位的挥发性有  
机污染物的污染修复。本发明加热设备能够将产  
生的更多热量注入到土壤中，这样节省了燃料和  
燃烧时间。



1. 一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置,其特征在于:在污染土壤区域地表设置保温层(9),用以防止热量散失;在保温层(9)下方的污染土壤区域中分别设置至少1个注射井(12)和至少1个气体收集井(13);所述注射井(12)的深度均穿过污染区域1~2m,达到未被污染的土壤;所述每个注射井(12)井壁上均设置多个横向管道(10),用以增大其作用半径;所述注射井(12)内设置至少1个注射器(11),所述每个注射器(11)均通过空气阀门(3)与空气压缩机(2)相连,所述每个注射器(11)均通过加药阀门(4)与加药箱(5)相连;所述空气压缩机(2)与空气加热器(1)相连,空气加热器(1)、空气压缩机(2)和真空抽吸泵(6)分别与电动力控制装置(8)相连;所述真空抽吸泵(6)分别与输送泵(7)和至少1条真空抽吸管道(14)相连,所述每条真空抽吸管道(14)的下端管口均设置于气体收集井(13)内;

所述保温层(9)的材质为PCB铝基板;

所述保温层(9)分别与每个注射井(12)和每个气体收集井(13)直接焊接相连,实现无缝连接。

2. 一种使用如权利要求1所述的热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置的修复方法,其特征在于,具体步骤如下:

(1) 对待处理的污染场地进行场地调查,获取污染场地的面积、水文地质条件,污染物种类、物理化学性质数据,从而确定污染情况;

(2) 在已经确定的污染区域上方,架设至少一口注射井;开启空气加热器和空气压缩机,打开空气阀门,通过连续的注射高温高压空气去除土壤中高浓度的挥发性有机物和土壤中存在的碳氢化合物;通过注射高温高压空气,来震散密实的土壤结构,增加土壤孔隙度,高温高压空气从注射器末端的喷嘴喷出;连续使用热空气进行脱附,随时监测土壤中有机物的变化情况,当土壤中的有机物浓度不再明显降低时,关闭空气阀门,停止热脱附过程;

(3) 打开加药阀门,通过加药箱加入高锰酸盐氧化剂,将氧化剂混入土壤中;处理上述热脱附不完全的有机污染物质,根据监测到的污染物的浓度不同,选择加入适当量的氧化剂;进一步去除残留的污染物使其浓度降低至目标水平;

(4) 加入氧化剂2~3h后,开始运行气体收集井,开启真空抽吸泵,气体污染物在负压作用下向收集井方向移动,经由气体收集井被抽吸到地表,并经输送泵传送给外部处理装置;

(5) 为了避免热量的损失和土壤大气之间的气体交换,在污染区域上方设置有保温层;用以切断整个污染区域与空气的直接连接,形成一个半封闭的系统,减少热量的损失;

所述步骤(3)中所使用高锰酸盐的摩尔量与需要氧化的污染物的摩尔量相同;

当所要加热的区域深度不小于5m,其地表温度与不加热区域地表温度差值不大于5℃时,则不安装保温层,以节省成本。

## 热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置及修复方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于环境保护技术领域,特别涉及一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置及修复方法。

### 背景技术

[0002] 改革开放以来,随着我国工业化的迅速发展,城市规模逐渐扩大,从而使城市化进程取得了前所未有的发展。在城市不断向外围扩展的过程中,原来大量处于外围且存在污染的工业企业也逐渐成了城市中心区域的一部分;而城市中心区域的人口往往高度集中,这些存在污染风险的工业企业对人体健康和环境安全造成了极大的威胁。为了适应改善城市环境质量、优化城市功能结构的要求,我国对城市中心区域的改造实行了“退二进三”的政策。由此,20世纪90年代以来,我国较发达城市首先出现了大规模工业企业搬迁的现象。

[0003] 因污染企业搬迁遗留了大量的污染场地,搬迁后引起的环境污染事故和对人体健康的危害事件时有发生。另外,由于石油工业的发展,引起的汽油、柴油等挥发性(VOCs)有机污染物带来的污染事故。如输油管道破裂,储油槽渗漏,加油站搬迁等引发的土壤环境问题。

[0004] 根据对我国目前大多数有机污染土壤的检测,其中主要污染物有总石油烃类,含量可达 $1786 \sim 40167 \text{ mg/kg}$ ;多环芳烃,含量达 $26.10 \text{ mg/kg}$ ,超过国标《土壤环境质量标准》第三级标准值。

[0005] 过去几十年,受历史时期经济技术条件及人们认识水平等多种因素的制约,石油企业在为国家做出重大贡献的同时,也带来了一系列的环境问题:油气开采过程中的废水、废气、落地原油、废气钻井液等污染物排入环境会对水体、大气、土壤和生态环境造成影响。随着石油资源的广泛应用,环境中的石油污染越来越严重。在石油生产、贮运、炼制加工及使用过程中,也会有石油烃类的溢出和排放,造成油田和石化工厂周围水体和土壤严重的石油污染。当今世界上石油的总产量每年约有22亿t,其中17.5亿t是由陆地油田生产的。全世界每年有800万t进入环境,我国每年有近60万t进入环境,污染土壤、地下水、河流和海洋,每年新增污染土壤 $1 \times 10^5 \text{ t}$ 。

[0006] 到目前为止,受石油类污染物污染的土壤和地下水分为异位修复和原位修复。异位修复是将污染的土壤和地下水转移到地面以上进行处理,包括现场处理、堆制处理、热解处理、土壤淋洗、生物反应器等。原位修复指受污染的土壤地下水在原位处理,处理期间基本不被搅动包括土壤淋洗、原位生物修复和原位化学修复等。原位修复因其费用相对较低,对环境扰动小、二次污染小等优势成为土壤修复技术的研究和实践主流。

[0007] 本发明采用的是新型的热脱附处理和化学氧化剂联合处理污染土壤的技术。热脱附处理技术,一般是指通过直接或间接的热交换,将污染土壤中的有机污染物自身分解、蒸发、氧化,并与受污染的土壤分离。对热脱附处理不完全的污染物采用化学氧化剂处理。目前已有很多使用强氧化剂(如臭氧、过氧化氢和高锰酸盐)来处理有机物污染的土壤和地下水的方法(如表面处理、渗流、过滤、脱附)。其中,高锰酸盐是一种处理有机物的强氧化剂,

能够处理的有机物包括：乙苯，甲苯，二甲苯，二氯甲烷，1,2-二氯乙烷，1,1,1-三氯乙烷，四氯化碳，三氯甲烷，氯苯，二溴化乙烯，叔丁基醚，四氯乙烯，三氯乙烯，二氯乙烯，氯乙烯等。

[0008] 在原位修复高浓度有机物污染的土壤过程中，为了使有机物浓度达到安全的范围，若直接使用高锰酸盐进行氧化，会生成大量的二氧化锰沉淀。虽然一般来讲，二氧化锰是一种天然存在的无害矿物质。但在含有大量有机污染物的土壤中，去除有机物所需的高锰酸盐氧化剂的量是很大的，反应后产生的二氧化锰的量就会超过安全浓度，所以一般情况下不能直接使用高锰酸盐进行修复。

## 发明内容

[0009] 针对现有技术不足，本发明提供了一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置及修复方法。

[0010] 一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置，在污染土壤区域地表设置保温层，用以防止热量散失；在保温层下方的污染土壤区域中分别设置至少1个注射井和至少1个气体收集井；所述注射井的深度均穿过污染区域1~2 m，达到未被污染的土壤；所述注每个射井井壁上均设置多个横向管道，用以增大其作用半径；所述注射井内设置至少1个注射器，所述每个注射器均通过空气阀门与空气压缩机相连，所述每个注射器均通过加药阀门与加药箱相连；所述空气压缩机与空气加热器相连，空气加热器、空气压缩机和真空抽吸泵分别与电动力控制装置相连；所述真空抽吸泵分别与输送泵和至少1条真空抽吸管道相连，所述每条真空抽吸管道的下端管口均设置于气体收集井内。

[0011] 所述保温层的材质为PCB铝基板。

[0012] 所述保温层分别与每个注射井和每个气体收集井直接焊接相连，实现无缝连接。

[0013] 一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置的修复方法，其具体步骤如下：

[0014] (1) 对待处理的污染场地进行场地调查，获取污染场地的面积、水文地质条件，污染物种类、物理化学性质数据，从而确定污染情况；

[0015] (2) 在已经确定的污染区域上方，架设至少一口注射井；开启空气加热器和空气压缩机，打开空气阀门，通过连续的注射高温高压空气去除土壤中高浓度的挥发性有机物和土壤中存在的碳氢化合物；通过注射高温高压空气，来震散密实的土壤结构，增加土壤孔隙度，高温高压空气从注射器末端的喷嘴喷出；连续使用热空气进行脱附，随时监测土壤中有机物的变化情况，当土壤中的有机物浓度不再明显降低时，关闭空气阀门，停止热脱附过程；

[0016] (3) 打开加药阀门，通过加药箱加入高锰酸盐氧化剂，将氧化剂混入土壤中；处理上述热脱附不完全的有机污染物质，根据监测到的污染物的浓度不同，选择加入适当量的氧化剂；进一步去除残留的污染物使其浓度降低至目标水平；

[0017] (4) 加入氧化剂2~3 h后，开始运行气体收集井，开启真空抽吸泵，气体污染物在负压作用下向气体收集井方向移动，经由气体收集井被抽吸到地表，并经输送泵传送给外部处理装置；

[0018] (5) 为了避免热量的损失和土壤大气之间的气体交换，在污染区域上方设置有保

温层 ;用以切断整个污染区域与空气的直接连接,形成一个半封闭的系统,减少热量的损失。

[0019] 所述步骤(3)中所使用高锰酸盐的摩尔量与需要氧化的污染物的摩尔量相同。

[0020] 当所要加热的区域深度不小于 5 m,其地表温度与不加热区域地表温度差值不大于 5 °C 时,则不安装保温层,以节省成本。

[0021] 本发明的有益效果为 :

[0022] 该技术适用范围比较广,能够在不同地质条件、土壤性质、及地表条件下进行原位的挥发性有机污染物的污染修复。而且,这种方法也适用于在寒冷的天气,将高锰酸盐引入之前对土壤进行预热,尤其在含水量较高的粘土中。起初的热脱附过程不需要预热,因为注射的热空气能够产生局部的热量。然后,引入高锰酸盐,受热的土壤对这一过程会有帮助,尤其是在土壤受冷的时候,预热能够融解凝固的土壤,降低土壤的水分,提高土壤的温度,进而加快氧化的速率。地面加热系统能够对土壤预热,这种设备有绝缘层和一个蒸汽罩,这样能够阻止热量排放到空气中。与先前的加热设备相比,这种加热设备能够将产生的更多热量注入到土壤中,这样节省了燃料和燃烧时间,这种方法已在实际实验中得到证实。

## 附图说明

[0023] 图 1 为本发明装置结构示意图 ;

[0024] 图中标号 :1- 空气加热器、2- 空气压缩机、3- 空气阀门、4- 加药阀门、5- 加药箱、6- 真空抽吸泵、7- 输送泵、8- 电动力控制装置、9- 保温层、10- 横向管道、11- 注射器、12- 注射井、13- 气体收集井、14- 真空抽吸管道。

## 具体实施方式

[0025] 本发明提供了一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置及修复方法,下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步说明。

[0026] 一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置,在污染土壤区域地表设置保温层 9,用以防止热量散失 ;在保温层 9 下方的污染土壤区域中分别设置至少 1 个注射井 12 和至少 1 个气体收集井 13 ;所述注射井 12 的深度均穿过污染区域 1~2 m,达到未被污染的土壤 ;所述每个射井 12 井壁上均设置多个横向管道 10,用以增大其作用半径 ;所述注射井 12 内设置至少 1 个注射器 11,所述每个注射器 11 均通过空气阀门 3 与空气压缩机 2 相连,所述每个注射器 11 均通过加药阀门 4 与加药箱 5 相连 ;所述空气压缩机 2 与空气加热器 1 相连,空气加热器 1、空气压缩机 2 和真空抽吸泵 6 分别与电动力控制装置 8 相连 ;所述真空抽吸泵 6 分别与输送泵 7 和至少 1 条真空抽吸管道 14 相连,所述每条真空抽吸管道 14 的下端管口均设置于气体收集井 13 内。

[0027] 所述保温层 9 的材质为 PCB 铝基板。

[0028] 所述保温层 9 分别与每个注射井 12 和每个气体收集井 13 直接焊接相连,实现无缝连接。

[0029] 一种热脱附联合氧化剂修复有机物污染土壤的装置的修复方法,其具体步骤如下 :

[0030] (1) 对待处理的污染场地进行场地调查,获取污染场地的面积、水文地质条件,污

染物种类、物理化学性质数据,从而确定污染情况;

[0031] (2)在已经确定的污染区域上方,架设至少一口注射井 11;开启空气加热器 1 和空气压缩机 2,打开空气阀门 3,通过连续的注射高温高压空气去除土壤中高浓度的挥发性有机物和土壤中存在的碳氢化合物;通过注射高温高压空气,来震散密实的土壤结构,增加土壤孔隙度,高温高压空气从注射器末端的喷嘴喷出;连续使用热空气进行脱附,随时监测土壤中有机物的变化情况,当土壤中的有机物浓度不再明显降低时,关闭空气阀门 3,停止热脱附过程;

[0032] (3)打开加药阀门 4,通过加药箱 5 加入高锰酸盐氧化剂,将氧化剂混入土壤中;处理上述热脱附不完全的有机污染物质,根据监测到的污染物的浓度不同,选择加入适当量的氧化剂;进一步去除残留的污染物使其浓度降低至目标水平;

[0033] (4)加入氧化剂 2~3 h 后,开始运行气体收集井 13,开启真空抽吸泵 6,气体污染物在负压作用下向气体收集井 13 方向移动,经由气体收集井 13 被抽吸到地表,并经输送泵 7 传送给外部处理装置;

[0034] (5)为了避免热量的损失和土壤大气之间的气体交换,在污染区域上方设置有保温层 9;用以切断整个污染区域与空气的直接连接,形成一个半封闭的系统,减少热量的损失。

[0035] 所述步骤(3)中所使用高锰酸盐的摩尔量与需要氧化的污染物的摩尔量相同。

[0036] 当所要加热的区域深度不小于 5 m,其地表温度与不加热区域地表温度差值不大于 5 °C 时,则不安装保温层 9,以节省成本。

[0037] 实施例 1

[0038] 利用该方法进行四氯乙烯的原位修复试验研究:

[0039] 试验研究的地块的土壤为粘土土壤,用这种方法进行原位污染修复研究,热脱附的目标是使土壤中的四氯乙烯的浓度降低到 20 ppm 以下。起初,通过注射井将高温高压空气注射到土壤中。在使用热脱附方法之前,土壤中的四氯乙烯浓度为 25000 ppm,经过一段时间的连续注入热空气使土壤中的四氯乙烯的浓度降低到 120 ppm 时,继续热脱附其浓度不再降低,则停止热脱附。虽然这一阶段可以去除大量的四氯乙烯,但是残留的四氯乙烯的浓度仍然超过了拟定的浓度。

[0040] 第一阶段是在寒冷的条件下进行的,平均温度接近或低于零摄氏度。加入热空气的过程中,土壤温度升高,基本维持在 90°C 左右,随后在试验区域加入高锰酸钾。

[0041] 并用土壤振动棒搅拌。通过样品测定,四氯乙烯的浓度在 24 h 后降低到 68 ppm,48 h 后的浓度降低至 38 ppm,最后结果表明达到了预期的效果。

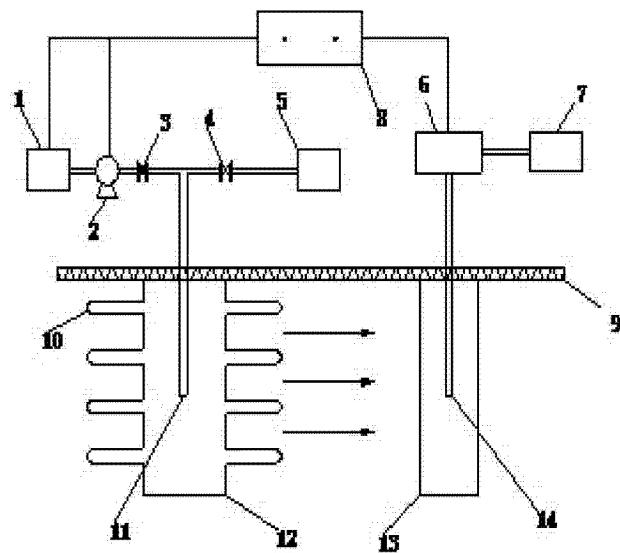


图 1