



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103272838 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201310202121. X

(22) 申请日 2013. 05. 27

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路  
866 号

(72) 发明人 李晓东 陆胜勇 马增益 严建华  
陈彤 祁志福 刘洁

(74) 专利代理机构 杭州中成专利事务所有限公  
司 33212

代理人 周世骏

(51) Int. Cl.

B09C 1/06 (2006. 01)

审查员 栾德琴

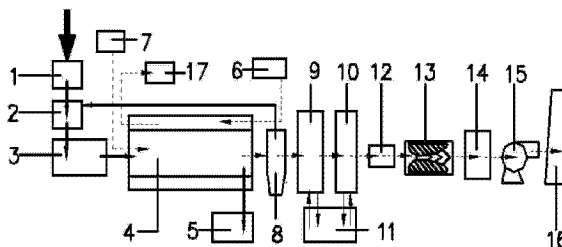
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及污染土壤修复方法,旨在提供一种持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置。该装置包括依次连接的分选机、料斗、给料机和间接加热热脱附器,土壤排放装置接于加热热脱附器的底部;燃烧系统、余热利用装置和惰性气体发生器分别连接间接加热热脱附器;燃烧系统与外筒相连,惰性气体发生器与内筒相连;所述尾气处理部件包括依次连接的旋风除尘器、一级喷淋塔、二级调节式喷淋塔、除湿器、等离子反应器、空气过滤器、引风机和排气筒。本发明的持久性有机污染物污染土壤修复方法和装置,其需处理烟气量少、水耗低、持久性有机污染物去除彻底、运行成本低 30 ~ 60%,能经济有效的处理持久性有机污染物污染土壤。



1. 用于持久性有机污染物污染土壤修复的装置,包括依次连接的分选机、料斗、给料机和间接加热热脱附器,土壤排放装置接于加热热脱附器的底部;其特征在于,所述间接加热热脱附器为夹套式回转窑,包括内筒和外筒,内筒壁上布置肋片以促进传热;该装置还包括:燃烧系统、余热利用装置、惰性气体发生器和尾气处理部件;所述燃烧系统、余热利用装置和惰性气体发生器分别连接间接加热热脱附器;燃烧系统与外筒相连,所产生的热烟气排入外筒并与土壤运动方向异向;惰性气体发生器与内筒相连,所产生的惰性气体进入内筒内并与土壤同向运动;所述尾气处理部件包括依次连接的旋风除尘器、一级喷淋塔、二级调节式喷淋塔、除湿器、等离子反应器、空气过滤器、引风机和排气筒,其中一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔还分别与废液净化循环装置连接。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述给料机为桨叶式给料机,桨叶内设有加热部件;所述余热利用装置为全模式壁换热装置。

3. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述旋风除尘器设有外部加热装置;所述一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔均为填料塔;所述除湿器为加热除湿器。

4. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述等离子反应器由2~8级刀型电极滑动弧放电发生器串联构成。

5. 一种持久性有机污染物污染土壤修复的方法,其特征在于,包括以下步骤:

分选机对持久性有机污染物污染土壤进行分选,粒径大于20mm的土壤颗粒被截留,粒径小于20mm的土壤颗粒进入料斗;然后土壤以固定速率进入设有加热部件的桨叶式给料机,土壤在前进的同时被加热到120~140℃;土壤所含水分被蒸发后,进入间接加热热脱附器;间接加热热脱附器即夹套式回转窑,其内筒的壁上布置有肋片以促进传热;燃烧系统产生的1100~1300℃的高温烟气从夹套式回转窑的外筒流过,且和土壤运动方向相反;惰性气体发生器产生惰性气体进入夹套式回转窑的内筒,且和土壤运动方向相同;土壤在夹套式回转窑内被加热至300~600℃,所含持久性有机污染物被脱附出来并由惰性气体携带;经热脱附处理后,99.9%以上的持久性有机污染物被脱附出来,清洁的土壤由土壤排放装置排出;燃烧系统产生的高温烟气离开夹套式回转窑的外筒后,进入余热利用装置回收余热;携带着持久性有机污染物的惰性气体先经被加热至300℃以上的旋风除尘器除尘,防止持久性有机污染物在除尘过程中冷凝;经旋风除尘后,烟气中90%以上的颗粒被捕集,捕集的颗粒被回送至料斗;除尘后的烟气进入一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔,并被喷淋降温;经喷淋处理后,烟气温度降至50~70℃,烟气中95%以上的持久性有机污染物被冷凝并随喷淋液进入废液净化循环装置,未被旋风除尘器捕集的细颗粒也随喷淋液进入废液净化循环装置;在废液净化循环装置中经沉淀过滤后,废液中的颗粒物和油性持久性有机物污染物被分离并被制成滤饼,过滤后的清液返回到一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔内循环利用;经喷淋处理后的烟气进入除湿器,并被加热到110~130℃以除去水蒸气;除湿后的烟气进入刀型电极滑动弧放电发生器串联构成的等离子反应器,与放电产生的高能电子和活性基团发生反应,实现持久性有机污染物的降解;经等离子反应器处理后,烟气中99.5%以上的持久性有机污染物被降分解为无害的小分子,处理后的烟气经空气过滤器过滤后由引风机送至排气筒排放。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述等离子反应器两端的电压为10KV,刀型电极滑动弧放电发生器的级数为6级。

7. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述燃烧系统中燃料用量与土壤量之间的关系用下述公式表示:

$$M_{\text{燃料}}(\text{Kg/h}) = \frac{M_{\pm}(\text{Kg/h}) \times C_{\pm}(\text{KJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\pm}(^{\circ}\text{C})}{Q_{\text{燃料}}(\text{KJ/Kg}) \times \eta_{\text{热}}}$$

其中,  $M_{\text{燃料}}$  为每小时燃烧系统燃料消耗量,  $M_{\pm}$  为每小时间接加热热脱附器处理土壤量,  $C_{\pm}$  为土壤比热容,  $\Delta T_{\pm}$  为土壤在间接加热热脱附器内升高的温度值,  $Q_{\text{燃料}}$  为每千克燃料热值,  $\eta_{\text{热}}$  为燃烧系统热效率。

8. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔的淋液用量与烟气量之间的关系用下述公式表示:

$$Q_{\text{喷淋液}}(\text{Kg/h}) = \frac{Q_{\text{烟气体积}}(\text{m}^3/\text{h}) \times C_{\text{烟气体积}}(\text{KJ/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\text{烟气体积}}(^{\circ}\text{C})}{C_{\text{喷淋液}}(\text{KJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\text{喷淋液}}(^{\circ}\text{C})}$$

其中,  $Q_{\text{喷淋液}}$  为每小时一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔喷淋液消耗量,  $Q_{\text{烟气体积}}$  为每小时进入一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔烟气体积,  $C_{\text{烟气体积}}$  为烟气体积比热容,  $\Delta T_{\text{烟气体积}}$  为烟气在一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔内降低的温度值;  $C_{\text{喷淋液}}$  为喷淋液比热容,  $\Delta T_{\text{喷淋液}}$  为喷淋液在一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔内升高的温度值。

9. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述引风机的功率匹配用下述公式表示:

$$P_{\text{引风机}}(\text{Kw}) = \frac{Q_{\text{风量}}(\text{m}^3/\text{h}) \times \Delta P(\text{Pa})}{3600 \times \eta_{\text{风机}} \times \eta_{\text{传动}} \times 1000}$$

其中,  $P_{\text{引风机}}$  为引风机功率,  $Q_{\text{风量}}$  为每小时引风机引风量,  $\Delta P$  为引风机的全风压,  $\eta_{\text{风机}}$  为引风机的内效率,  $\eta_{\text{传动}}$  为机械传动效率。

## 持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一套持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置,通过间接加热热脱附系统,将土壤中持久性有机污染物脱附出来,并通过旋风除尘器、两级喷淋塔、等离子反应器等尾气处理部件将持久性有机污染物捕集或降解,属环保领域。

### 背景技术

[0002] 持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants,简称 POPs)具有高毒性、持久性,易于在生物体内聚集和进行长距离的迁移和沉积等特点,部分 POPs 还具有致癌性和致畸性。主要的 POPs 有二恶英、多氯联苯、有机氯农药、六氯苯等。我国有大量土壤遭受了持久性有机污染物污染,如电力行业使用的多氯联苯、农业生产使用的杀虫剂等。随着公众对其对环境和健康危害的逐步认识,更加迫切的需要经济而有效方法处理这些毒性物质。

[0003] 主要的持久性有机污染物污染土壤的修复技术有生物修复、化学修复、物理修复等。生物修复多为原位修复,其投资小、运行成本低、操作条件温和、对环境干扰小,但生物修复周期长,且受限于植物或微生物种类,仅能处理某些特定种类的持久性有机污染物,且只能应用于较低浓度条件下;物理修复或化学修复多为异位修复,初始投资大、运行成本高,但修复周期短,且适用于各种类型的持久性有机污染物以及高浓度污染场地。物理修复或化学修复有着更广泛的适用性,特别适用于高浓度、多组分持久性有机污染污染场地。

[0004] 在众多的物理修复或化学修复技术中,热脱附是公认处理高 PCBs 污染土壤的成熟可靠技术,是最广泛的应用于 POPs 污染场地修复技术。当前处理持久性有机污染物的主要方法是焚烧法。焚烧法的主要缺陷有二:一是焚烧设备结构复杂,建设成本高,运行成本高,在当前能源价格较高情况下不具备良好的经济性;二是部分工艺存在净化效率不高,易产生二次污染的问题;这些都限制了焚烧法的使用范围和大规模推广。

[0005] 根据持久性有机污染物的性质,本专利提出了一套持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置。

### 发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是,克服现有技术中的不足,提供一种持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置。

[0007] 为解决技术问题,本发明的解决方案是:

[0008] 提供一种用于持久性有机污染物污染土壤修复的装置,包括依次连接的分选机、料斗、给料机和间接加热热脱附器,土壤排放装置接于加热热脱附器的底部;所述间接加热热脱附器为夹套式回转窑,包括内筒和外筒,内筒壁上布置肋片以促进传热;该装置还包括:燃烧系统、余热利用装置、惰性气体发生器和尾气处理部件;所述燃烧系统、余热利用装置和惰性气体发生器分别连接间接加热热脱附器;燃烧系统与外筒相连,所产生的热烟气排入外筒并与土壤运动方向异向;惰性气体发生器与内筒相连,所产生的惰性气体进入内筒内并与土壤同向运动;所述尾气处理部件包括依次连接的旋风除尘器、一级喷淋塔、二

级调节式喷淋塔、除湿器、等离子反应器、空气过滤器、引风机和排气筒,其中一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔还分别与废液净化循环装置连接。

[0009] 本发明中,所述给料机为桨叶式给料机,桨叶内设有加热部件。

[0010] 本发明中,所述余热利用装置为全膜式壁换热装置。

[0011] 本发明中,所述旋风除尘器设有外部加热装置。

[0012] 本发明中,所述一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔均为填料塔。

[0013] 本发明中,所述除湿器为加热除湿器。

[0014] 本发明中,所述等离子反应器由 2 ~ 8 级刀型电极滑动弧放电发生器串联构成。

[0015] 本发明还提供了一种持久性有机污染物污染土壤修复的方法,包括以下步骤:

[0016] 分选机对持久性有机污染物污染土壤进行分选,粒径大于 20mm 的土壤颗粒被截留,粒径小于 20mm 的土壤颗粒进入料斗;然后土壤以固定速率进入设有加热部件的桨叶式给料机,土壤在前进的同时被加热到 120 ~ 140℃;土壤所含水分被蒸发后,进入间接加热热脱附器;间接加热热脱附器即夹套式回转窑,其内筒的壁上布置有肋片以促进传热;燃烧系统产生的 1100 ~ 1300℃ 的高温烟气从夹套式回转窑的外筒流过,且和土壤运动方向相反;惰性气体发生器产生惰性气体进入夹套式回转窑的内筒,且和土壤运动方向相同;土壤在夹套式回转窑内被加热至 300 ~ 600℃,所含持久性有机污染物被脱附出来并由惰性气体携带;经热脱附处理后,99.9% 以上的持久性有机污染物被脱附出来,清洁的土壤由土壤排放装置排出;燃烧系统产生的高温烟气离开夹套式回转窑的外筒后,进入余热利用装置换热,烟气温度降至 50 ~ 100℃;携带着持久性有机污染物的惰性气体先经被加热至 300℃ 以上的旋风除尘器除尘,防止持久性有机污染物在除尘过程中冷凝;经旋风除尘器后,烟气中 90% 以上的颗粒被捕集,捕集的颗粒被回送至料斗;除尘后的烟气进入一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔,并被喷淋降温;经喷淋处理后,烟气温度降至 50 ~ 70℃,烟气中 95% 以上的持久性有机污染物被冷凝并随喷淋液进入废液净化循环装置,未被旋风除尘器捕集的细颗粒也随喷淋液进入废液净化循环装置;在废液净化循环装置中经沉淀过滤后,废液中的颗粒物和油性持久性有机物污染物被分离并被制成滤饼,过滤后的清液返回到一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔内循环利用;经喷淋处理后的烟气进入除湿器,并被加热到 110 ~ 130℃ 以除去水蒸气;除湿后的烟气进入刀型电极滑动弧放电发生器串联构成的等离子反应器,与放电产生的高能电子和活性基团发生反应,实现持久性有机污染物的降解;经等离子反应器处理后,烟气中 99.5% 以上的持久性有机污染物被降分解为无害的小分子,处理后的烟气经空气过滤器过滤后由引风机送至排气筒排放。

[0017] 该方法中,所述等离子反应器两端的电压为 10KV,刀型电极滑动弧放电发生器的级数为 6 级。

[0018] 本发明中,所述燃烧系统中燃料用量与土壤量之间的关系用下述公式表示:

[0019]

$$M_{\text{燃料}}(\text{Kg/h}) = \frac{M_{\pm}(\text{Kg/h}) \times C_{\pm}(\text{KJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\pm} (^{\circ}\text{C})}{Q_{\text{燃料}}(\text{KJ/Kg}) \times \eta_{\text{热}}}$$

[0020] 其中,  $M_{\text{燃料}}$  为每小时燃烧系统燃料消耗量,  $M_{\pm}$  为每小时间接加热热脱附器处理土壤量,  $C_{\pm}$  为土壤比热容,  $\Delta T_{\pm}$  为土壤在间接加热热脱附器内升高的温度值,  $Q_{\text{燃料}}$  为每千克燃料热值,  $\eta_{\text{热}}$  为燃烧系统热效率。

[0021] 本发明中,所述一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔的淋液用量与烟气体量之间的关系用下述公式表示:

[0022]

$$Q_{\text{喷淋液}}(\text{Kg/h}) = \frac{Q_{\text{烟气}}(\text{m}^3/\text{h}) \times C_{\text{烟气}}(\text{KJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}) \times \Delta T_{\text{烟气}}(^{\circ}\text{C})}{C_{\text{喷淋液}}(\text{KJ}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times \Delta T_{\text{喷淋液}}(^{\circ}\text{C})}$$

[0023] 其中,  $Q_{\text{喷淋液}}$  为每小时一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔喷淋液消耗量,  $Q_{\text{烟气}}$  为每小时进入一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔烟气体积,  $C_{\text{烟气}}$  为烟气比热容,  $\Delta T_{\text{烟气}}$  为烟气在一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔内降低的温度值;  $C_{\text{喷淋液}}$  为喷淋液比热容,  $\Delta T_{\text{喷淋液}}$  为喷淋液在一级喷淋塔或二级调节式喷淋塔内升高的温度值。

[0024] 本发明中,所述引风机的功率匹配用下述公式表示:

[0025]

$$P_{\text{引风机}}(\text{Kw}) = \frac{Q_{\text{风量}}(\text{m}^3/\text{h}) \times \Delta P(\text{Pa})}{3600 \times \eta_{\text{风机}} \times \eta_{\text{传动}} \times 1000}$$

[0026] 其中,  $P_{\text{引风机}}$  为引风机功率,  $Q_{\text{风量}}$  为每小时引风机引风量,  $\Delta P$  为引风机的全风压,  $\eta_{\text{风机}}$  为引风机的内效率,  $\eta_{\text{传动}}$  为机械传动效率。

[0027] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0028] 本发明的持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置,其由热脱附本体和尾气处理部件组成,集间接加热热脱附、旋风除尘、两级喷淋、等离子反应技术为一体,可对持久性有机污染物污染土壤进行有效处理,特别适用于高浓度、多组分持久性有机污染物污染土壤场地修复;采用间接加热热脱附装置,减少了需处理的烟气体量;采用具有内肋片的内筒结构设计,同时燃烧系统产生的热烟气与土壤异向运动,促进了烟气和土壤的换热,增加了传热效率;采用余热利用装置,充分利用燃烧系统烟气余热,提高了整体的热效率;采用带有外部加热装置的旋风除尘器,防止持久性有机污染物的冷凝,去除烟气中粗颗粒,并将旋风除尘器捕集的尘土送回至料斗再一次经过间接加热热脱附系统;一级喷淋塔和二级调节式喷淋塔所需要的水大部分循环使用,降低了系统水耗;采用了多级等离子体反应器,可充分降解喷淋后尾气中的持久性有机污染物。对于持久性有机污染物污染土壤,本装置可实现 99.5% 以上的持久性有机污染物去除效率,同时处理后烟气中持久性有机污染物含量远低于国家标准,可直接排放。本发明的持久性有机污染物污染土壤修复方法和装置,其需处理烟气体量少、水耗低、持久性有机污染物去除彻底、运行成本低 30 ~ 60%,能经济有效的处理持久性有机污染物污染土壤。

## 附图说明

[0029] 图 1 是本发明的工艺流程示意图。

[0030] 图中附图标记:1 分选机,2 料斗,3 给料机,4 间接加热热脱附器,5 土壤排放装置,6 燃烧系统,7 惰性气体发生器,8 旋风除尘器,9 一级喷淋塔,10 二级调节式喷淋塔,11 废液净化循环装置,12 除湿器,13 等离子反应器,14 空气过滤器,15 引风机,16 排气筒,17 余热利用装置。

## 具体实施方式

[0031] 参照上述附图,对本发明的技术内容做一详细说明。图中粗实线示意土壤运动方向,细实线示意喷淋液运动方向,虚线示意气体运动方向。

[0032] 图 1 给出一套持久性有机污染物污染土壤修复方法及装置,由热脱附本体和尾气处理部件组成,热脱附本体包括分选机 1、料斗 2、给料机 3、间接加热热脱附器 4、土壤排放装置 5、惰性气体发生器 7、燃烧系统 6;尾气处理部件包括旋风除尘器 8、一级喷淋塔 9、二级调节式喷淋塔 10、废液净化循环装置 11、除湿器 12、等离子反应器 13、空气过滤器 14、引风机 15、排气筒 16;料斗 2 连接给料机 3,给料机 3 连接间接加热热脱附器 4,惰性气体发生器 6 连接间接加热热脱附器 4,燃烧系统 7 连接间接加热热脱附器 4;燃烧系统 6 连接余热利用装置 17;间接加热热脱附器 4 连接旋风分离器 8,旋风分离器 8 连接一级喷淋塔 9,一级喷淋塔 9 连接二级调节式喷淋塔 10,一级喷淋塔 9 和二级调节式喷淋塔 10 连接废液净化循环装置 11,二级调节式喷淋塔 11 连接除湿器 12,除湿器 12 连接等离子体反应器 13,等离子体反应器 13 连接空气过滤器 14,高效空气过滤器 14 连接引风机 15,引风机 15 连接排气筒 16。

[0033] 持久性有机污染物污染土壤经分选机 1 后,粒径大于 20mm 的土壤颗粒被截留,粒径小于 20mm 的土壤颗粒进入料斗 2,而后土壤以固定速率进入桨叶式给料机 3,桨叶内部有热源,土壤随桨叶前进,并被加热到 120 ~ 140℃,土壤中水分被蒸发,土壤中持久性有机物在此温度脱附极少;蒸发水分后,土壤进入间接加热热脱附器 4,即夹套式回转窑的内筒,燃烧系统 6 产生的 1100 ~ 1300℃ 的高温烟气在夹套式回转窑的外筒流过,且和土壤运动方向相反,惰性气体发生器 7 产生惰性气体在夹套式回转窑的内筒运动,且和土壤运动方向相同,夹套式回转窑内筒内壁布置有肋片以促进传热。土壤在夹套式回转窑内筒运动并被加热 300 ~ 600℃,土壤中持久性有机污染物被脱附出来,并被惰性气体发生器 7 产生的惰性气体携带。经热脱附处理后,99.9% 以上的持久性有机污染物被脱附出来,清洁的土壤由土壤排放装置 5 排出,携带着持久性有机污染物的惰性气体则进入尾气处理部件。燃烧系统 6 产生的高温烟气离开夹套式回转窑的外筒后,进入余热利用装置 17 回收余热。携带着持久性有机污染物的尾气首先经过带有外部加热装置的旋风除尘器 8 除尘,旋风除尘器 8 被加热至 300℃ 以上,以防止持久性有机污染物在除尘过程中冷凝。经旋风除尘器 8 后,烟气中 90% 以上的颗粒被捕集,捕集的颗粒被回送至料斗 2,除尘后的烟气进入其后的一级喷淋塔 9 和二级调节式喷淋塔 10,并被喷淋降温。经喷淋处理后,烟气温度降至 50 ~ 70℃,烟气中 95% 以上的持久性有机污染物被冷凝并随喷淋液进入废液净化循环装置 11,烟气中未被旋风除尘器 8 捕集的细颗粒也随喷淋液进入废液净化循环装置 11。在废液净化循环装置 11,经沉淀过滤后,废液中的颗粒物和油性持久性有机物污染物被分离并被制成滤饼,过滤后清液回到一级喷淋塔 9 和二级调节式喷淋塔 10 内循环利用。喷淋后的烟气进入除湿器 12,并被加热到 110 ~ 130℃ 以出去烟气中的水蒸气。除湿后的烟气进入多级刀型电极滑动弧放电发生器串联构成的等离子反应器 13,并与放电产生的大量高能电子和活性基团发生反应,实现持久性有机污染物的降解。根据实际需要,等离子反应器 13 两端电压为 10KV,刀型电极滑动弧放电发生器级数为 6 级,经等离子反应器处理 13 后,烟气中 99.5% 以上的持久性有机污染物被降分解为无害的小分子,处理后的烟气经空气过滤器 14 过滤后,由引风机 15 送至排气筒 16 排放。

[0034] 燃烧系统 6 中燃料用量与土壤量之间的关系用下述公式表示:

[0035]

$$M_{\text{燃料}}(\text{Kg/h}) = \frac{M_{\pm}(\text{Kg/h}) \times C_{\pm}(\text{KJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\pm} (^{\circ}\text{C})}{Q_{\text{燃料}}(\text{KJ/Kg}) \times \eta_{\text{热}}}$$

[0036] 其中,  $M_{\text{燃料}}$  为每小时燃烧系统燃料消耗量,  $M_{\pm}$  为每小时间接加热热脱附器处理土壤量,  $C_{\pm}$  为土壤比热容,  $\Delta T_{\pm}$  为土壤在间接加热热脱附器内升高的温度值,  $Q_{\text{燃料}}$  为每千克燃料热值,  $\eta_{\text{热}}$  为燃烧系统热效率。

[0037] 本发明中, 所述一级喷淋塔 9 或二级调节式喷淋塔 10 的淋液用量与烟气量之间的关系用下述公式表示:

[0038]

$$Q_{\text{喷淋液}}(\text{Kg/h}) = \frac{Q_{\text{烟气}}(\text{m}^3/\text{h}) \times C_{\text{烟气}}(\text{KJ/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\text{烟气}} (^{\circ}\text{C})}{C_{\text{喷淋液}}(\text{KJ/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times \Delta T_{\text{喷淋液}} (^{\circ}\text{C})}$$

[0039] 其中,  $Q_{\text{喷淋液}}$  为每小时一级喷淋塔 9 或二级调节式喷淋塔 10 喷淋液消耗量,  $Q_{\text{烟气}}$  为每小时进入一级喷淋塔 9 或二级调节式喷淋塔 10 烟气体积,  $C_{\text{烟气}}$  为烟气比热容,  $\Delta T_{\text{烟气}}$  为烟气在一级喷淋塔 9 或二级调节式喷淋塔 10 内降低的温度值;  $C_{\text{喷淋液}}$  为喷淋液比热容,  $\Delta T_{\text{喷淋液}}$  为喷淋液在一级喷淋塔 9 或二级调节式喷淋塔 10 内升高的温度值。

[0040] 本发明中, 所述引风机 15 的功率匹配用下述公式表示:

[0041]

$$P_{\text{引风机}}(\text{Kw}) = \frac{Q_{\text{风量}}(\text{m}^3/\text{h}) \times \Delta P(\text{Pa})}{3600 \times \eta_{\text{风机}} \times \eta_{\text{传动}} \times 1000}$$

[0042] 其中,  $P_{\text{引风机}}$  为引风机功率,  $Q_{\text{风量}}$  为每小时引风机引风量,  $\Delta P$  为引风机的全风压,  $\eta_{\text{风机}}$  为引风机的内效率,  $\eta_{\text{传动}}$  为机械传动效率。

[0043] 经以上过程后, 土壤和烟气中的持久性有机污染物均得到有效控制, 达到良好的土壤修复效果。

[0044] 最后, 还需注意的是, 以上列举的仅是本发明的一个具体实施例。显然, 本明不限于以上实施例, 还可以有很多变形。本领域的普通技术人员能从本发明公开的内容直接导出或联想出的所有变形, 均应认为是本发明的保护范围。



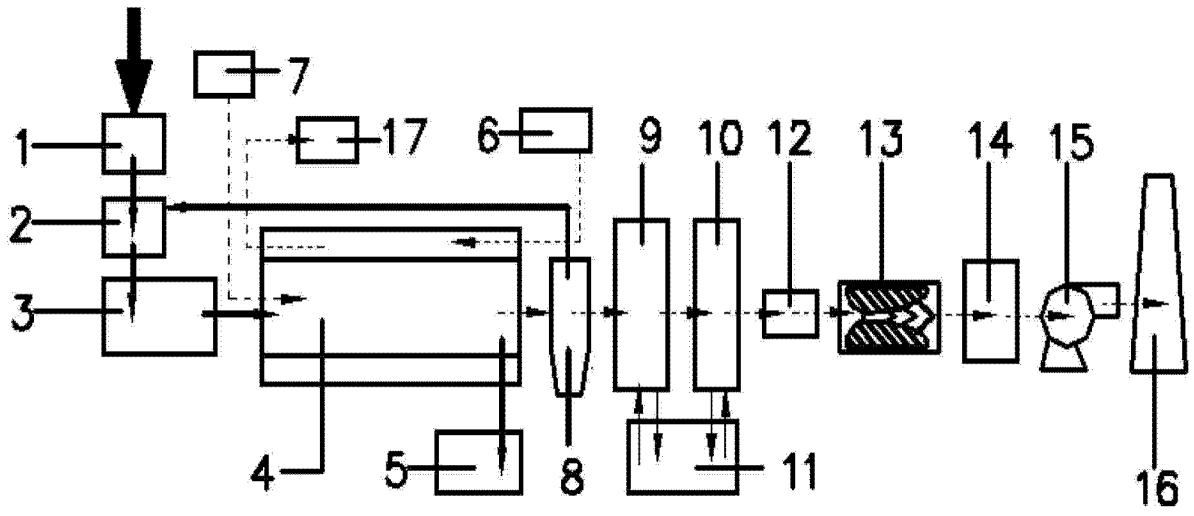


图 1