



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116593604 A

(43) 申请公布日 2023.08.15

(21) 申请号 202310459999.5

G01N 1/22 (2006.01)

(22) 申请日 2023.04.26

(71) 申请人 北京市生态环境保护科学研究院
地址 100037 北京市西城区北营房中街59号

申请人 北京北投生态环境有限公司

(72) 发明人 钟茂生 姜林 魏国 康日峰
庞宏伟 韩丹

(74) 专利代理机构 北京中建联合知识产权代理
事务所(普通合伙) 11004
专利代理师 晁璐松

(51) Int. Cl.

G01N 30/02 (2006.01)

G01N 30/06 (2006.01)

G01N 30/72 (2006.01)

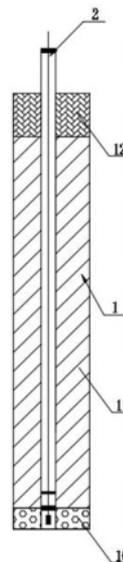
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统及其使用方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统及其使用方法,该被动检测系统包括检测井和插装在检测井内的一根或多根长度不等的被动式土壤气检测组件;所述检测井包括井孔,井孔内铺设有多层清洁石英砂滤料导气层,在各层所述清洁石英砂滤料导气层间均间隔铺设一层清洁膨润土阻隔层,井孔顶部设置一层井口密封层;所述被动式土壤气检测组件包括检测管和取样器,所述取样器可拆卸安装在所述检测管中心位置处,整体结构简单、使用方便,降低了采样成本、提高了采样效率;该使用方法基于平衡原理提供了VOCs浓度的计算方法及各参数的获得方式,避免了传统土壤气被动检测技术因吸附速率无法准确获取导致难以实现准确定量检测的问题。



1. 一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:包括检测井(1)和插装在检测井(1)内的一根或多根长度不等的被动式土壤气检测组件(2),当在检测井(1)内插装一根被动式土壤气检测组件(2)时形成单孔单管检测工艺,当在在检测井(1)内插装多根长度不等的被动式土壤气检测组件(2)时形成单孔多管检测工艺;

所述检测井(1)包括井孔,当采用单孔单管检测工艺进行土壤气定量检测时,井孔内在所述被动式土壤气检测组件(2)底部位置处铺设有一层清洁石英砂滤料导气层(10),在所述清洁石英砂滤料导气层(10)顶部设置清洁膨润土阻隔层(11)至井孔的井口处,而清洁膨润土阻隔层(11)顶部还设置有井口密封层(12);当采用单孔多管检测工艺进行土壤气定量检测时,井孔内在多根所述长度不等的被动式土壤气检测组件(2)底部位置处均铺设有一层清洁石英砂滤料导气层(10),在井孔内的其它位置处均设置清洁膨润土阻隔层(11)至井孔的井口处,而井孔的井口至地面处设置有井口密封层(12);

所述被动式土壤气检测组件(2)包括检测管(20)和取样器(21),所述取样器(21)可拆卸安装在所述检测管(20)中心位置处;

所述检测管(20)包括实管(200)、管道连接器(201)、进气筛管(202)和管道密封器(203),所述进气筛管(202)为顶端敞口而管身均匀间隔分布有进气孔的容器、其顶端通过管道连接器(201)与所述实管(200)底端固定连通,所述实管(200)为管状结构、其顶端通过管道密封器(203)密封;

所述取样器(21)包括T型手柄(210)、推动杆(211)、第一连接件(212)、被动式取样探头(213)和管道至中器(214),所述推动杆(211)通过至少两个管道至中器(214)固定安装在所述检测管(20)中心位置处、其底部穿出所述管道连接器(201),推动杆(211)底端通过第一连接件(212)连接有被动式取样探头(213)、顶端与所述T型手柄(210)可拆卸连接,通过施拧T型手柄(210)带动所述推动杆(211)旋转进而助推所述第一连接件(212)使其与所述管道连接器(201)密闭连接,从而将所述被动式取样探头(213)固定放置于所述进气筛管(202)内进行土壤气的测量;待所述取样器(21)安装到位后拆卸掉所述T型手柄(210),在所述实管(200)顶端固定安装所述管道密封器(203)。

2. 根据权利要求1所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述管道连接器(201)的主体结构为中心位置处设置有带下沉槽的螺纹通孔的圆盘状结构,在其主体结构上、下两面均一体化设置有圆环,在该圆环外侧设置有螺纹连接区,所述进气筛管(202)顶部以及所述实管(200)底部均通过该螺纹连接区与管道连接器(201)连接。

3. 根据权利要求1所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述管道密封器(203)为圆盘盖状结构,在其下方侧壁上设置有螺纹。

4. 根据权利要求1所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述被动式取样探头(213)包括采样探头(2130)、多孔支撑板(2131)、被动采样膜(2132)和第二连接件(2133),所述采样探头(2130)为多孔网状框架结构、其顶部通过所述第二连接件(2133)与所述第一连接件(212)底部固定连接,在采样探头(2130)底部倾斜放置有多孔支撑板(2131),在所述多孔支撑板(2131)上设置有被动采样膜(2132)。

5. 根据权利要求4所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述第二连接件(2133)为圆筒状结构、在其顶端设置有内螺纹连接区,所述采样探头(2130)固定夹紧在第二连接件(2133)底端。

6. 根据权利要求5所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述第一连接件(212)为盖状结构,在盖状结构底侧设置有橡胶密封圈,该盖状结构顶部贴合安入所述管道连接器(201)的下沉槽处,第一连接件(212)底部从上至下依次设置有包括第一螺纹区和第二螺纹区,所述第一螺纹区与所述管道连接器(201)的螺纹连接区固定连接,所述第二螺纹连接区与所述第二连接件(2133)的内螺纹连接区固定连接。

7. 根据权利要求4所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述被动采样膜(2132)需满足平衡分配系数不大于 $700\text{ cm}^3/\text{g}$ 、有效扩散系数不小于 $10^{-7}\text{ cm}^2/\text{s}$,被动采样膜(2132)材质选用有机聚合物。

8. 根据权利要求4或7所述的基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,其特征在于:所述被动采样膜(2132)需满足长度范围为 $50\sim 100\text{ mm}$ 、宽度范围为 $3\sim 5\text{ mm}$ 、厚度不大于 1.5 mm 。

9. 根据权利要求1~8任意一项所述的一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统的使用方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,钻探井孔,在设计检测点位进行钻探,形成井孔;

步骤二,布置检测管(20),当选用单孔单管检测工艺时,首先对井孔进行钻探,待井孔深度达到设计深度后停止钻探,清理井孔内的碎屑渣土后提出钻具;向井孔内装填5cm厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋一根检测管(20),之后再继续向填埋在井孔内的检测管(20)周边装填清洁石英砂滤料至设计高度,形成清洁石英砂滤料导气层(10);再在清洁石英砂滤料导气层(10)顶部每装填30cm厚的清洁干膨润土后添加清洁水,使清洁干膨润土吸水膨胀,直至清洁膨润土层至井孔的井口处,形成清洁膨润土阻隔层(11),最后往井孔内装填水泥砂浆至地面后形成井口密封层(12);当选用单孔多管检测工艺时,首先对井孔进行钻探,待井孔深度达到设计深度后停止钻探,清理井孔内的碎屑渣土后提出钻具;向井孔内装填5cm厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋最长的检测管(20),之后再继续向填埋在井孔内最长的检测管(20)周边装填清洁石英砂滤料至设计高度,形成清洁石英砂滤料导气层(10);再在清洁石英砂滤料导气层(10)顶部每装填30 cm清洁干膨润土后添加清洁水,使清洁干膨润土吸水膨胀,直至第二长的检测管(20)所在深度处,形成清洁膨润土阻隔层(11)之后在其上方装填5cm厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋第二长的检测管(20),重复最长检测管(20)的后续步骤,直至填埋完所有的检测管(20),依次铺设清洁石英砂滤料导气层(10)和清洁膨润土阻隔层(11)至井孔的井口处,最后往井孔内装填水泥砂浆至地面后形成井口密封层(12);

步骤三,连接取样器(21),将推动杆(211)底端与第一连接件(212)固定连接,推动杆(211)顶端与T型手柄(210)固定连接,将管道至中器(214)固定在推动杆(211)中的相应位置,随后将被动采样膜(2132)放置在倾斜设置于采样探头(2130)底部的有多孔支撑板(2131)上,再迅速将被动式取样探头(213)与第一连接件(212)的第二螺纹区固定连接;

步骤四,组装被动式土壤气检测组件(2),将连接好的取样器(21)安装在检测管(20)中心位置处,确保被动式取样探头(213)在推动杆(211)的助推下穿过设置在管道连接器(201)的主体结构中心位置处的螺纹通孔进入进气筛管(202)内,随后旋转T型手柄(210)将第一连接件(212)中的第一螺纹区与管道连接器(201)的螺纹连接区固定连接,并且第一连接件(212)顶部贴合安入管道连接器(201)的下沉槽处;再反向旋动T型手柄(210)将其从推

动杆(211)上取下,将管道密封器(203)旋入实管(200)的顶端对其进行密闭;

步骤五,取样,平衡72 h后将管道密封器(203)旋开,将T型手柄(210)安装至推动杆(211)上,旋动T型手柄(210)将第一连接件(212)与管道连接器(201)松开后,迅速提升推动杆(211)将被动式取样探头(213)提升至地面后将被动式取样探头(213)取下,用清洁工具将被动采样膜(2132)从被动式取样探头(213)取出后迅速转移至内设有吸附管(32)的密封玻璃瓶(31)内,并保持低温环境送至实验室;

步骤六,计算土壤气中目标污染物浓度,将吸附管(32)安装至热脱附装置中,检测吸附管(32)中吸附的目标污染物的质量,采用下式计算被动式取样探头(213)安装位置处的土壤气中目标污染物浓度:

$$C_{sg} = \frac{Mc}{M_p \times K_{pg}} \times 10^6$$

式中, C_{sg} 为对应被动式取样探头(213)安装位置处土壤气中目标污染物浓度, mg/m^3 ;Mc为吸附管(32)中吸附的目标污染物的质量, mg ; M_p 为被动采样膜(2132)的质量, g ; K_{pg} 为土壤气中目标污染物在被动采样膜(2132)中的平衡分配系数, cm^3/g 。

10. 根据权利要求9所述的一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统的使用方法,其特征在于:所述步骤五和所述步骤六中的吸附管(32)内填充有吸附剂,所述吸附剂的平衡吸附分配常数不小于 $10^4 \text{ cm}^3/\text{g}$,有效扩散系数不大于 $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统及使用方法

技术领域

[0001] 本发明涉及场地污染调查与风险评估技术领域,具体涉及一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统及使用方法。

背景技术

[0002] 在污染场地中普遍存在挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs),检出率可达60%~80%,VOCs可通过扩散或对流经建筑物地板裂隙等通道进入室内进而对人体健康造成危害,即蒸气入侵暴露风险。因VOCs易挥发及场地非均质性等特征,场地中VOCs污染刻画和风险评估存在较大的不确定性。例如,很多场地在现场钻探采样过程中异味显著,便携式光离子检测器读数高达1000 ppm,但是送至试验室的土样样品中各种VOCs均未被检出或检出浓度较低,此情景下仅依据土壤样品检测结果进行管理决策,易低估VOCs的健康风险,无法保证场地安全利用。此外,仅检测土壤时通常需采用线性平衡分配模型基于土壤中污染物浓度预测对应位置土壤气中污染物浓度,再借助迁移和暴露模型预测人群健康风险。但是,实际应用发现这种方式的评估结果过于保守,容易导致场地过度修复,造成资金浪费。

[0003] 检测土壤气中VOCs浓度能够较好的解决上述问题。目前对于土壤气的检测主要分为主动式检测与被动式检测,其中主动式土壤气检测技术相对成熟,但一般仅适用于低粘性低含水率的场地,采样过程比较复杂,需基于土壤气中污染物浓度、地层结构、选择的采样管中吸附剂类型等众多因素控制精确的采样流速和采样体积,采样结果的变异性较大。目前采用的被动式土壤气检测技术,主要基于线性动态吸附原理,该原理认为被动采样器在现场安装初期吸附的污染物质量与采样器安装时间成线性关系,通常将被动式采样器安装在现场7天或14天后,将其取回实验室分析采样器中吸附的污染物质量,依据采样器的吸附速率进一步计算采样点土壤气中污染物浓度。因土壤是一个多相多组分体系,污染物在土壤气-液-固相间分配处于动态平衡状态,因此土壤气被动检测技术的关键是需要选择低吸附速率的被动采样器,确保吸附速率不高于污染物从土壤固相或液相向土壤气中转移并迁移至被动采样器中的速率,以免造成“饥饿”效应,进而导致最终的检测结果失真。实际场地中污染物浓度、污染物组分、土壤湿度、温度等因素空间变异性较大,即使用具体场地中的土壤气开展被动式采样器吸附速率校正,也很保证被动式采样器定量检测浓度的准确性。因此,目前基于线性动态吸附原理的土壤气被动采样技术通常用于对场地污染程度半定量的刻画,通过安装相同时间采样器中吸附的污染物质量,筛选出潜在污染重的区域,以指导主动式土壤气等其它调查点位的布置。

发明内容

[0004] 本发明目的是提供一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统及使用方法,该系统结合VOCs在场地中多相多界面动态分布特征,在72 h内完成土壤气定量被动检测,解决了现有技术中安全性、经济性问题以及时长较长的问题;该使用方法基于平衡原理提供

了VOCs浓度的计算方法及各参数的获得方式,避免了传统土壤气被动检测技术因吸附速率无法准确获取导致难以实现准确定量检测的问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:

一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统,包括检测井和插装在检测井内的一根或多根长度不等的被动式土壤气检测组件,当在检测井内插装一根被动式土壤气检测组件时形成单孔单管检测工艺,当在在检测井内插装多根长度不等的被动式土壤气检测组件时形成单孔多管检测工艺;

所述检测井包括井孔,当采用单孔单管检测工艺进行土壤气定量检测时,井孔内在所述被动式土壤气检测组件底部位置处铺设有一层清洁石英砂滤料导气层,在所述清洁石英砂滤料导气层顶部设置清洁膨润土阻隔层至井孔的井口处,而清洁膨润土阻隔层顶部还设置有井口密封层;当采用单孔多管检测工艺进行土壤气定量检测时,井孔内在多根所述长度不等的被动式土壤气检测组件底部位置处均铺设有一层清洁石英砂滤料导气层,在井孔内的其它位置处均设置清洁膨润土阻隔层至井孔的井口处,而井孔的井口至地面处设置有井口密封层;

所述被动式土壤气检测组件包括检测管和取样器,所述取样器可拆卸安装在所述检测管中心位置处;

所述检测管包括实管、管道连接器、进气筛管和管道密封器,所述进气筛管为顶端敞口而管身均匀间隔分布有进气孔的容器、其顶端通过管道连接器与所述实管底端固定连通,所述实管为管状结构、其顶端通过管道密封器密封;

所述取样器包括T型手柄、推动杆、第一连接件、被动式取样探头和管道至中器,所述推动杆通过至少两个管道至中器固定安装在所述检测管中心位置处、其底部穿出所述管道连接器,推动杆底端通过第一连接件连接有被动式取样探头、顶端与所述T型手柄可拆卸连接,通过施拧T型手柄带动所述推动杆旋转进而助推所述第一连接件使其与所述管道连接器密闭连接,从而将所述被动式取样探头固定放置于所述进气筛管内进行土壤气的测量;待所述取样器安装到位后拆卸掉所述T型手柄,在所述实管顶端固定安装所述管道密封器。

[0006] 优选的,所述管道连接器的主体结构为中心位置处设置有带下沉槽的螺纹通孔的圆盘状结构,在其主体结构上、下两面均一体化设置有圆环,在该圆环外侧设置有螺纹连接区,所述进气筛管顶部以及所述实管底部均通过该螺纹连接区与所述管道连接器连接。

[0007] 优选的,所述管道密封器为圆盘盖状结构,在其下方侧壁上设置有螺纹。

[0008] 优选的,所述被动式取样探头包括采样探头、多孔支撑板、被动采样膜和第二连接件,所述采样探头为多孔网状框架结构、其顶部通过所述第二连接件与所述第一连接件底部固定连接,在采样探头底部倾斜放置有多孔支撑板,在所述多孔支撑板上设置有被动采样膜。

[0009] 优选的,所述第二连接件为圆筒状结构、在其顶端设置有内螺纹连接区,所述采样探头固定夹紧在第二连接件底端。

[0010] 优选的,所述第一连接件为盖状结构,在盖状结构底侧设置有橡胶密封圈,该盖状结构顶部贴合安入所述管道连接器的下沉槽处,第一连接件底部从上至下依次设置有包括第一螺纹区和第二螺纹区,所述第一螺纹区与所述管道连接器的螺纹连接区固定连接,所

述第二螺纹连接区与所述第二连接件的内螺纹连接区固定连接。

[0011] 优选的,所述被动采样膜需满足平衡分配系数不大于不大于 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ 、有效扩散系数不小于 $10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$,被动采样膜材质选用有机聚合物。

[0012] 优选的,所述被动采样膜需满足长度范围为 $50\sim 100 \text{ mm}$ 、宽度范围为 $3\sim 5 \text{ mm}$ 、厚度不大于 1.5 mm 。

[0013] 一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统的使用方法,包括以下步骤:

步骤一,钻探井孔,在设计检测点位进行钻探,形成井孔;

步骤二,布置检测管,当选用单孔单管检测工艺时,首先对井孔进行钻探,待井孔深度达到设计深度后停止钻探,清理井孔内的碎屑渣土后提出钻具;向井孔内装填 5cm 厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋一根检测管,之后再继续向填埋在井孔内的检测管周边装填清洁石英砂滤料至设计高度,形成清洁石英砂滤料导气层;再在清洁石英砂滤料导气层顶部每装填 30cm 厚的清洁干膨润土后添加清洁水,使清洁干膨润土吸水膨胀,直至清洁膨润土层至井孔的井口处,形成清洁膨润土阻隔层,最后往井孔内装填水泥砂浆至地面后形成井口密封层;当选用单孔多管检测工艺时,首先对井孔进行钻探,待井孔深度达到设计深度后停止钻探,清理井孔内的碎屑渣土后提出钻具;向井孔内装填 5cm 厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋最长的检测管,之后再继续向填埋在井孔内最长的检测管周边装填清洁石英砂滤料至设计高度,形成清洁石英砂滤料导气层;再在清洁石英砂滤料导气层顶部每装填 30 cm 清洁干膨润土后添加清洁水,使清洁干膨润土吸水膨胀,直至第二长的检测管所在深度处,形成清洁膨润土阻隔层之后在其上方装填 5cm 厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋第二长的检测管,重复最长检测管的后续步骤,直至填埋完所有的检测管,依次铺设清洁石英砂滤料导气层和清洁膨润土阻隔层至井孔的井口处,最后往井孔内装填水泥砂浆至地面后形成井口密封层;

步骤三,连接取样器,将推动杆底端与第一连接件固定连接,推动杆顶端与T型手柄固定连接,将管道至中器固定在推动杆中的相应位置,随后将被动采样膜放置在倾斜设置于采样探头底部的有多孔支撑板上,再迅速将被动式取样探头与第一连接件的第二螺纹区固定连接;

步骤四,组装被动式土壤气检测组件,将连接好的取样器安装在检测管中心位置处,确保被动式取样探头在推动杆的助推下穿过设置在管道连接器的主体结构中心位置处的螺纹通孔进入进气筛管内,随后旋转T型手柄将第一连接件中的第一螺纹区与管道连接器的螺纹连接区固定连接,并且第一连接件顶部贴合安入管道连接器的下沉槽处;再反向旋转T型手柄将其从推动杆上取下,将管道密封器旋入实管的顶端对其进行密闭;

步骤五,取样,平衡 72 h 后将管道密封器旋开,将T型手柄安装至推动杆上,旋转T型手柄将第一连接件与管道连接器松开后,迅速提升推动杆将被动式取样探头提升至地面后将被动式取样探头取下,用清洁工具将被动采样膜从被动式取样探头取出后迅速转移至内设有吸附管的密封玻璃瓶内,并保持低温环境送至实验室。

[0014] 步骤六,计算土壤气中目标污染物浓度,将吸附管安装至热脱附装置中,检测吸附管中吸附的目标污染物的质量,采用下式计算被动式取样探头安装位置处的土壤气中目标污染物浓度:

$$C_{sg} = \frac{M_c}{M_p \times K_{pg}} \times 10^6$$

式中, C_{sg} 为对应被动式取样探头安装位置处土壤气中目标污染物浓度, mg/m^3 ; M_c 为吸附管中吸附的目标污染物的质量, mg ; M_p 为被动采样膜的质量, g ; K_{pg} 为土壤气中目标污染物在被动采样膜中的平衡分配系数, cm^3/g 。

[0015] 优选的, 所述步骤五和所述步骤六中的吸附管内填充有吸附剂, 所述吸附剂的平衡吸附分配常数不小于 $10^4 \text{cm}^3/\text{g}$, 有效扩散系数不大于 $10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ 。

[0016] 本发明中, 检测井内插一根或多根长度不等的被动式土壤气检测组件, 以采取单孔多管检测工艺或单孔多管检测工艺, 以适应场地中 VOCs 的多相多界面动态分布特征, 提高检测的准确性; 不需要利用采样泵将土壤气探头周边的土壤气样品抽吸至装填了吸附剂的采样管, 因此无需为采样泵提供电源, 无需控制精确的采样流速和采样体积, 也无需担心土壤气中湿度太高导致水汽与污染物竞争采样管中吸附剂吸附点位导致采样管穿透, 避免了检测浓度偏低的问题; 无需在土壤气采样前开展洗井以确保采集到的土壤气样品能够代表自然地层中土壤气, 因此所需采样人员强调低, 采样效率高, 采样成本低;

取样器通过 T 型手柄可拆卸安装在检测管中心位置处, 检测管底部为有进气筛管, 取样器的被动式取样探头放置在进气筛管内, 可以进行检测井内的 VOCs 测量, 整体结构简单、使用方便, 降低了采样成本、提高了采样效率;

被动式取样探头是在多孔网状框架结构内设置一个被动采样膜, 被动采样膜平衡分配系数通常不大于 $400 \text{cm}^3/\text{g}$, 有效扩散系数通常不小于 $10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$, 能够在 72 h 内实现对土壤气的定量被动检测, 以有效缩短平衡时间, 提高测量效率;

基于平衡原理检测和计算 VOCs 浓度, 无需使用受环境因素影响显著的参数即吸附速率进行土壤气中 VOCs 浓度计算, 解决了传统基于动态线性吸附理论的半定量土壤气被动检测技术无法准确定量测定检测点土壤气中目标污染物浓度的问题;

在被动采样膜在无法做到无限薄的客观条件限制下, 为实现土壤气快速定量检测, 需选择对 VOCs 具有较高的吸附容量, 即 VOCs 在被动式样膜中的分配系数需要高于一定值, 而被动采样膜中的有效扩散系数要足够大, 应不低于 $10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$, 但是这种为实现快速平衡检测对被动采样膜特性的需求导致吸附在被动采样膜上的 VOCs 在将采样膜运输至试验进行污染物检测的过程中容易解吸并逃逸, 会导致最终检测结果偏低; 在本发明中吸附管中装填的吸附剂, 污染物的分配系数高出被动采样膜不低于 2 个数量级, 但有效扩散系数较被动采样膜低不小于 1 个数量级, 在样品运输至实验室的过程中可将被动采样膜上吸附的污染物转移并固定在吸附管中, 且吸附管的尺寸与标准的热脱附设备匹配, 样品到实验室后可立即进行采用热脱附-气相色谱/质谱技术进行污染物检测, 有效解决了污染物在被动采样膜运输过程中解吸逃逸的问题。

附图说明

- [0017] 图1为本发明单孔单管检测工艺结构示意图;
图2为本发明单孔多管检测工艺结构示意图;
图3为本发明被动式土壤气检测组件结构示意图;
图4为本发明被动式土壤气检测组件结构爆炸示意图;
图5为本发明管道连接器结构示意图;
图6为本发明取样器结构示意图;

图7为本发明被动式取样探头结构示意图；

图8为本发明部分结构示意图；

图中：1、检测井；2、被动式土壤气检测组件；10、清洁石英砂滤料导气层；11、清洁膨润土阻隔层；12、井口密封层；20、检测管；21、取样器；31、玻璃瓶；32、吸附管；200、实管；201、管道连接器；202、进气筛管；203、管道密封器；210、T型手柄；211、推动杆；212、第一连接件；213、被动式取样探头；214、管道至中器；2130、采样探头；2131、多孔支撑板；2132、被动采样膜；2133、第二连接件。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图，对本发明做进一步说明：

如图1和图2所示的一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统，包括检测井1和插装在检测井1内的一根或多根长度不等的被动式土壤气检测组件2，当在检测井1内插装一根被动式土壤气检测组件2时形成单孔单管检测工艺，当在检测井1内插装多根长度不等的被动式土壤气检测组件2时形成单孔多管检测工艺。

[0019] 检测井1包括井孔，当采用单孔单管检测工艺进行土壤气定量检测时，井孔内在被动式土壤气检测组件2底部位置处铺设有一层清洁石英砂滤料导气层10，在清洁石英砂滤料导气层10顶部设置清洁膨润土阻隔层11至井孔的井口处，而清洁膨润土阻隔层11顶部还设置有井口密封层12；当采用单孔多管检测工艺进行土壤气定量检测时，井孔内在多根长度不等的被动式土壤气检测组件2底部位置处均铺设有一层清洁石英砂滤料导气层10，在井孔内的其它位置处均设置清洁膨润土阻隔层11至井孔的井口处，而井孔的井口至地面处设置有井口密封层12。

[0020] 井孔内铺设有多层清洁石英砂滤料导气层10，在各层清洁石英砂滤料导气层10间均间隔铺设一层清洁膨润土阻隔层11，井孔顶部设置一层井口密封层12。

[0021] 如图所示3和图4被动式土壤气检测组件2包括检测管20和取样器21，取样器21可拆卸安装在检测管20中心位置处。检测管20包括实管200、管道连接器201、进气筛管202和管道密封器203，进气筛管202为顶端敞口而管身均匀间隔分布有进气孔的容器，在一个实施例中，进气筛管202底端与其侧壁间通过螺纹连接，在进气筛管202顶端通过管道连接器201与实管200底端固定连通，实管200为管状结构、其顶端通过管道密封器203密封，管道密封器203为圆盘盖状结构。在本例中，如图5所示，管道连接器201的主体结构为中心位置处设置有带下沉槽的螺纹通孔的圆盘状结构，在其主体结构上、下两面均一体化设置有圆环，在该圆环外侧设置有螺纹连接区，进气筛管202顶部以及实管200底部均通过该螺纹连接区与管道连接器201螺纹连接。在管道密封器203下方侧壁上设置有螺纹，实管200顶端与管道密封器203螺纹连接。

[0022] 如图6所示，取样器21包括T型手柄210、推动杆211、第一连接件212、被动式取样探头213和管道至中器214，推动杆211通过至少两个管道至中器214固定安装在检测管20中心位置处、其底部穿出管道连接器201，推动杆211底端通过第一连接件212连接有被动式取样探头213，推动杆211底端与第一连接件212顶端通过焊接方式固定连接，推动杆211顶端与T型手柄210通过螺纹连接的形式可拆卸连接，通过施拧T型手柄210带动推动杆211旋转进而助推第一连接件212使其与管道连接器201密闭连接，从而将被动式取样探头213固定放置

于进气筛管202内进行土壤气的测量；待取样器21安装到位后拆卸掉T型手柄210，在实管200顶端固定安装管道密封器203。

[0023] 如图7所示，被动式取样探头213包括采样探头2130、多孔支撑板2131、被动采样膜2132和第二连接件2133，采样探头2130为多孔网状框架结构，孔径不大于100目。采样探头2130顶部通过第二连接件2133与第一连接件212底部固定连接，在采样探头2130底部倾斜放置有多孔支撑板2131，在多孔支撑板2131上设置有被动采样膜2132，被动采样膜2132材质选用有机聚合物，在任意土质中进行检测时，被动采样膜2132需满足长度范围为50~100 mm、宽度范围为3~5 mm、厚度不大于1.5 mm。被动采样膜2132还需满足平衡分配系数通常不大于 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ ，有效扩散系数通常不小于 $10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。经试验发现，被动采样膜2132的长度和宽度范围的限定是依据热脱附装置对其尺寸的要求确定的，而被动采样膜的厚度、平衡分配系数和有效扩散系数是影响被动式取样探头213能否在72h内完成检测的影响因素，并且这三个因素需要满足：在任何土质情况下，厚度不大于1.5 mm、平衡分配系数通常不大于 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ 以及有效扩散系数通常不小于 $10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ 时，可实现72h完成检测的目的。但是也有其它特殊情况，当被动采样膜2132平衡分配系数通常大于 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ 时，只要不在砂土中使用即可实现72h完成检测的目的。

[0024] 表1为平衡分配系数和有效扩散系数满足条件，验证厚度对采样膜平衡时间的影响。

土质	厚度 /mm	$K_{pea} (cm^3/g)$	$D_{pe} (cm^2/s)$	采样膜平衡时间(d)	是否满足 72h 完成 检测
粘土	1.5	700	10^{-7}	2.943	是
粉粘				2.943	是
粉土				2.943	是
粘粉				2.943	是
粉砂				2.943	是
砂土				2.943	是
粘土	2	700	10^{-7}	5.231	否
粉粘				5.231	否
粉土				5.231	否
粘粉				5.231	否
粉砂				5.231	否
砂土				5.231	否

[0025] 由表1的试验数据可知,当平衡分配系数即 K_{pea} 和有效扩散系数即 D_{pe} 满足条件,厚度为1.5mm时膜平衡时间在72h内,厚度为2mm时膜平衡时间不在72h内。这表明本发明在任何土质情况下进行检测时,当平衡分配系数即 K_{pea} 和有效扩散系数即 D_{pe} 满足条件时,被动采样膜2132的厚度应不大于1.5 mm即可实现72h完成检测的目的。

[0026] 表2,有效扩散系数和厚度满足条件,验证平衡分配系数对采样膜平衡时间的影响。

土质	厚度/mm	K_{pea} (cm^3/g)	D_{pe} (cm^2/s)	采样膜平衡时间(d)	是否满足 72h 完成检测
粘土	1.5	200	10^{-7}	2.943	是
粉粘				2.943	是
粉土				2.943	是
粘粉				2.943	是
粉砂				2.943	是
砂土				2.943	是
粘土	1.5	700	10^{-7}	2.943	是
粉粘				2.943	是
粉土				2.943	是
粘粉				2.943	是
粉砂				2.943	是
砂土				2.943	是
粘土	1.5	800	10^{-7}	2.943	是
粉粘				2.943	是
粉土				2.943	是
粘粉				2.943	是
粉砂				2.943	是
砂土				3.807	否

[0027] 由表2的试验数据可知,当有效扩散系数即 D_{pe} 和厚度满足条件时,平衡分配系数即 K_{pea} 不大于 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ 的情况下,在任何土质中进行检测均可实现72h完成检测的目的;平衡分配系数即 K_{pea} 超过 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ 的情况下,在砂土中不能实现72h完成检测的目的。这表明本发明在任何土质情况下进行检测时,被动采样膜2132的平衡分配系数即 K_{pea} 不大于 $700 \text{ cm}^3/\text{g}$ 即可实现72h完成检测的目的。

[0028] 表3,厚度和平衡分配系数满足条件,验证有效扩散系数对采样膜平衡时间的影响。

土质	厚度/mm	K_{pea} (cm^3/g)	D_{pe} (cm^2/s)	采样膜平衡时间(d)	是否满足72h完成检测
粘土	1.5	700	10^{-5}	0.294	是
粉粘				0.294	是
粉土				0.294	是
粘粉				0.294	是
粉砂				0.294	是
砂土				0.294	是
粘土	1.5	700	10^{-7}	2.943	是
粉粘				2.943	是
粉土				2.943	是
粘粉				2.943	是
粉砂				2.943	是
砂土				2.943	是
粘土	1.5	700	10^{-8}	29.427	否
粉粘				29.427	否
粉土				29.427	否
粘粉				29.427	否
粉砂				29.427	否
砂土				29.427	否

[0029] 由表3的试验数据可知,当厚度和平衡分配系数即 K_{pea} 满足条件时,有效扩散系数即 D_{pe} 不小于 $10^{-7}\text{cm}^2/\text{s}$ 的情况下,在任何土质中均可实现72h完成检测的目的。

[0030] 第二连接件2133为圆筒状结构、在其顶端设置有内螺纹连接区,采样探头2130通过焊接固定在第二连接件2133底端。在本例中,采样探头2130、多孔支撑板2131和第二连接件2133均为不锈钢材质,被动式取样探头213整体高度约为15cm。

[0031] 第一连接件212为盖状结构,在盖状结构底侧设置有橡胶密封圈,该盖状结构顶部

贴合安入管道连接器201的下沉槽处,第一连接件212底部从上至下依次设置有包括第一螺纹区和第二螺纹区,第一螺纹区与管道连接器201的螺纹连接区固定连接,第二螺纹连接区与第二连接件2133的内螺纹连接区固定连接。

[0032] 一种基于平衡原理的土壤气定量被动检测系统的使用方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,钻探井孔,依据《地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则》(HJ1019-2019)等技术规范中的要求,在设计检测点位进行钻探,形成井孔;

步骤二,布置检测管20,当选用单孔单管检测工艺时,首先对井孔进行钻探,待井孔深度达到设计深度后停止钻探,清理井孔内的碎屑渣土后提出钻具;向井孔内装填5cm厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋一根检测管20,之后再继续向填埋在井孔内的检测管20周边装填清洁石英砂滤料至设计高度,形成清洁石英砂滤料导气层10;再在清洁石英砂滤料导气层10顶部每装填30cm厚的清洁干膨润土后添加清洁水,使清洁干膨润土吸水膨胀,直至清洁膨润土层至井孔的井口处,形成清洁膨润土阻隔层11,最后往井孔内装填水泥砂浆至地面后形成井口密封层12;当选用单孔多管检测工艺时,首先对井孔进行钻探,待井孔深度达到设计深度后停止钻探,清理井孔内的碎屑渣土后提出钻具;向井孔内装填5cm厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋最长的检测管20,之后再继续向填埋在井孔内最长的检测管20周边装填清洁石英砂滤料至设计高度,形成清洁石英砂滤料导气层10;再在清洁石英砂滤料导气层10顶部每装填30 cm清洁干膨润土后添加清洁水,使清洁干膨润土吸水膨胀,直至第二长的检测管20所在深度处,形成清洁膨润土阻隔层11之后在其上方装填5cm厚的清洁石英砂滤料,接着竖向填埋第二长的检测管20,重复最长检测管20的后续步骤,直至填埋完所有的检测管20,依次铺设清洁石英砂滤料导气层10和清洁膨润土阻隔层11至井孔的井口处,最后往井孔内装填水泥砂浆至地面后形成井口密封层12,当采用单孔多管检测工艺时,不同检测管20中被动式取样探头213之间的垂直距离不少于1.5 m;

步骤三,连接取样器21,将推动杆211底端与第一连接件212固定连接,推动杆211顶端与T型手柄210固定连接,将管道至中器214固定在推动杆211中的相应位置,在本例中,管道至中器214设置两个,位于底端的管道至中器214与第一连接件212之间的距离不大于20 cm,位于顶端的管道至中器214至推动杆211顶端的距离不小于30 cm,管道至中器214与推动杆211的连接可采用插销或紧固圈等方式固定,随后将清洁的被动采样膜2132放置在倾斜设置于采样探头2130底部的有多孔支撑板2131上,再迅速将被动式取样探头213与第一连接件212的第二螺纹区固定连接;

步骤四,组装被动式土壤气检测组件2,将连接好的取样器21安装在检测管20中心位置处,确保被动式取样探头213在推动杆211的助推下穿过设置在管道连接器201的主体结构中心位置处的螺纹通孔进入进气筛管202内,随后旋转T型手柄210将第一连接件212中的第一螺纹区与管道连接器201的螺纹连接区固定连接,并且第一连接件212顶部贴合安入管道连接器201的下沉槽处;再反向旋动T型手柄210将其从推动杆211上取下,将管道密封器203旋入实管200的顶端对其进行密闭;

步骤五,取样,平衡72 h后将管道密封器203旋开,将T型手柄210安装至推动杆211上,旋动T型手柄210将第一连接件212与管道连接器201松开后,迅速提升推动杆211将被动式取样探头213提升至地面后将被动式取样探头213取下,用清洁工具将被动采样膜2132从

被动式取样探头213取出后迅速转移至内设有吸附管32的密封玻璃瓶31内,如图8所示,吸附管32内填充有吸附剂,并保持低温环境送至实验室,在本例中,玻璃瓶31内径为10mm,高度为100 mm;吸附管32直径为4.8 mm,长度为60 mm;吸附剂为高分子有机聚合物,常见挥发性有机物在吸附剂中的平衡吸附分配常数不小于 $10^4\text{cm}^3/\text{g}$,有效扩散系数不大于 $10^{-8}\text{cm}^2/\text{s}$;

步骤六,计算土壤气中目标污染物浓度,将吸附管32安装至热脱附装置中,检测吸附管32中吸附的目标污染物的质量,采用热脱附-气相色谱/质谱联用技术检测吸附管32中吸附的目标污染物的质量,采用如下式计算对应被动式取样探头安装位置处土壤气中目标污染物浓度:

$$C_{sg} = \frac{M_c}{M_p \times K_{pg}} \times 10^6$$

式中, C_{sg} 为对应被动式取样探头安装位置处土壤气中目标污染物浓度, mg/m^3 ; M_c 为吸附管中吸附的目标污染物的质量, mg ; M_p 为被动采样膜2132的质量, g ; K_{pg} 为土壤气中目标污染物在被动采样膜2132中的平衡分配系数, cm^3/g ,可通过试验测定或产品说明书查询。

[0033] 上述实施例只是对本发明构思和实现的若干说明,并非对其进行限制,在本发明构思下,未经实质变换的技术方案仍然在保护范围内。

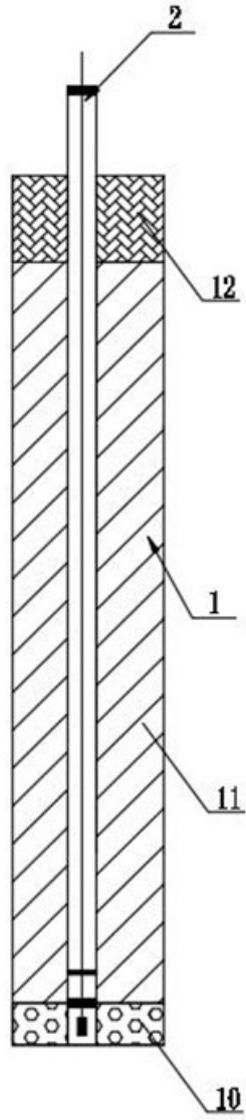


图1

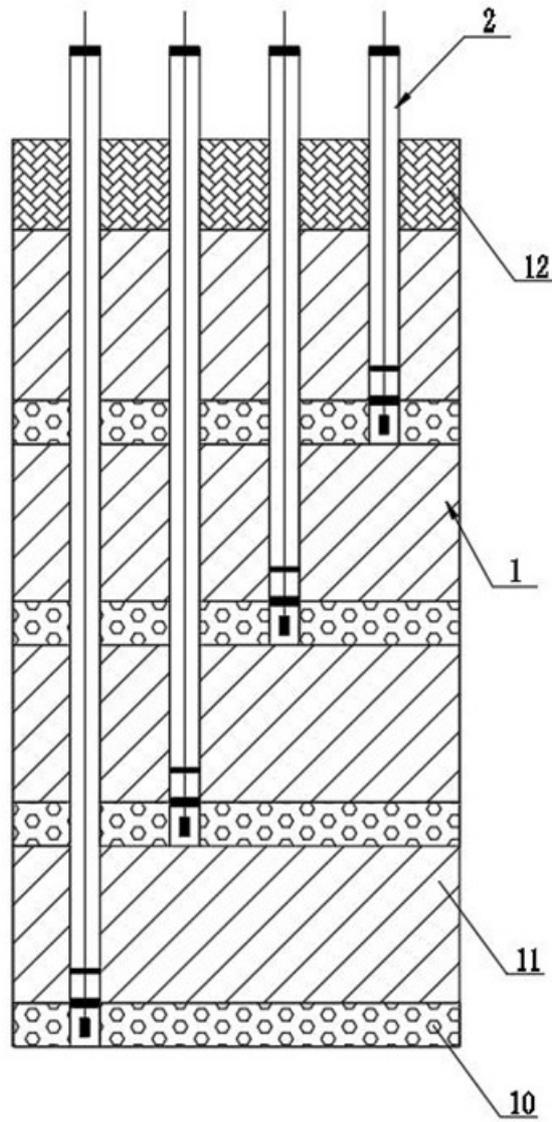


图2

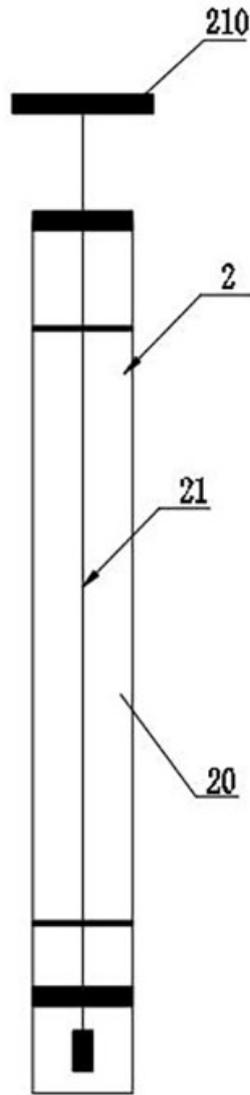


图3

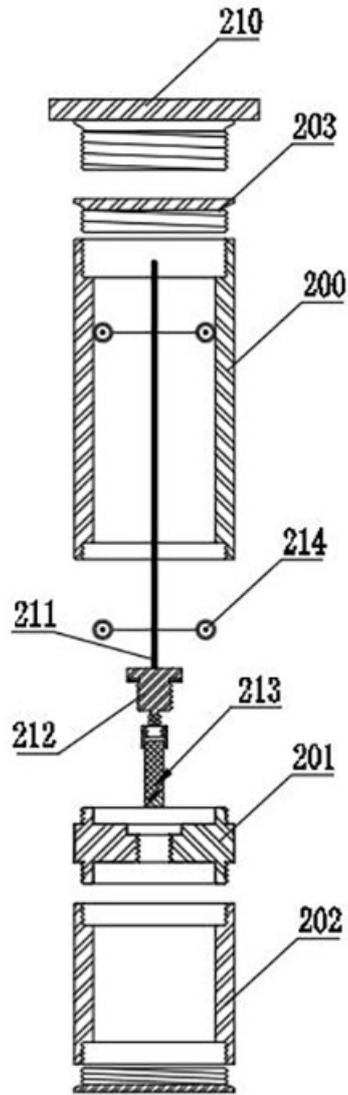


图4

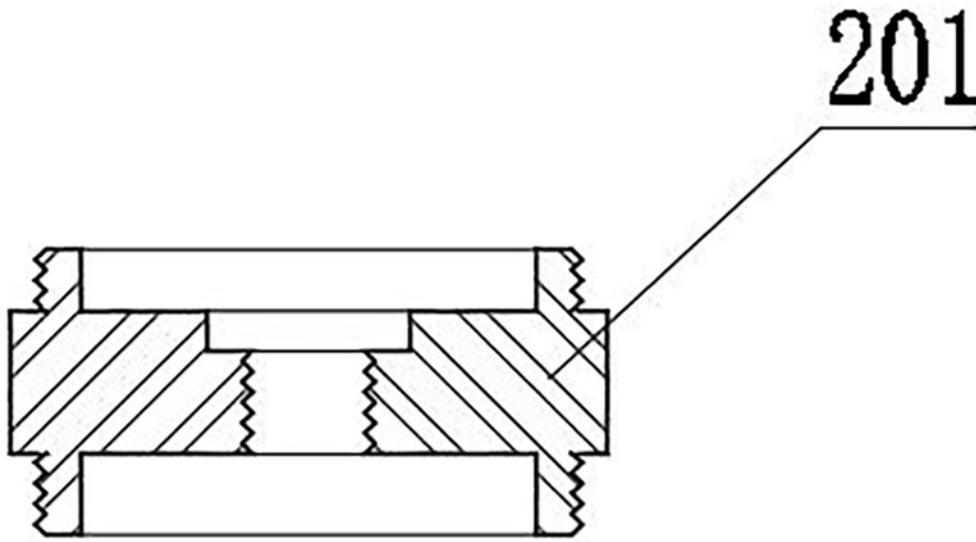


图5

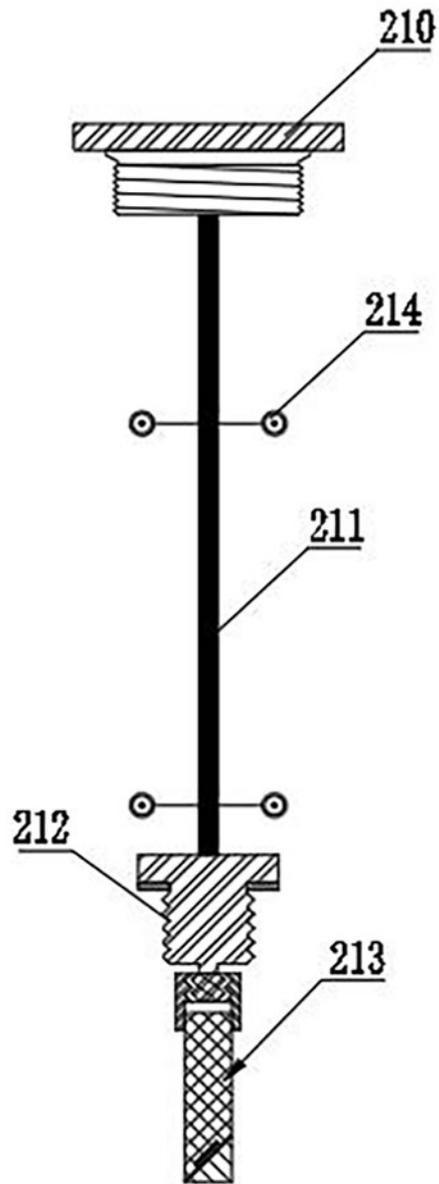


图6

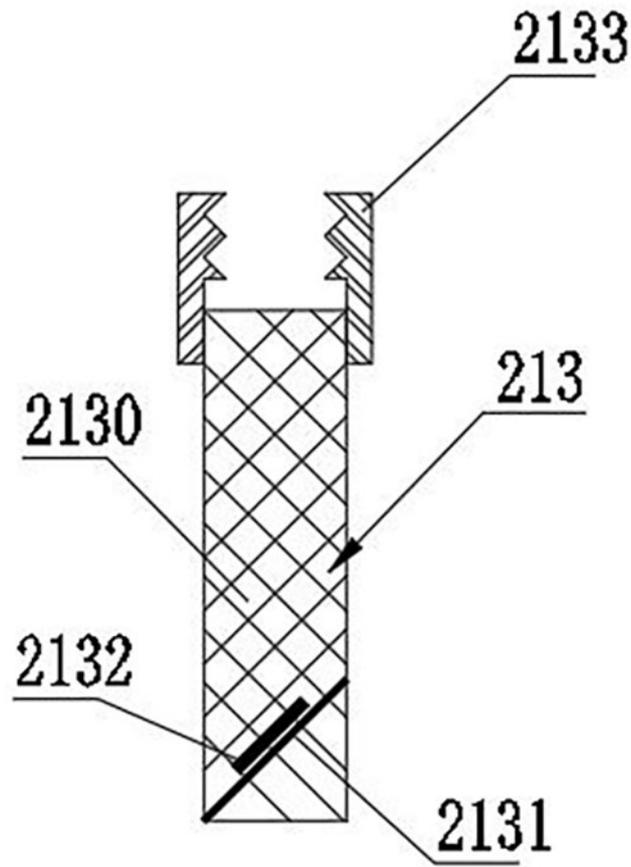


图7

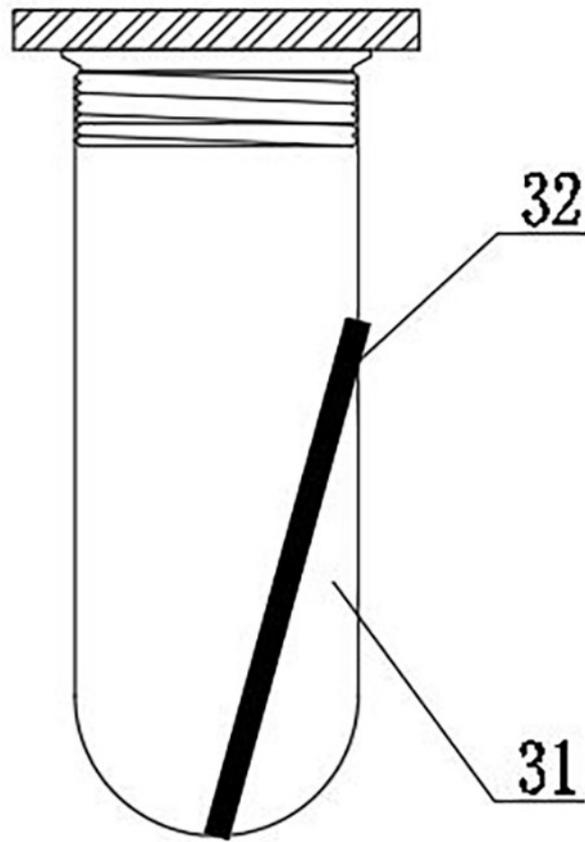


图8