



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111855374 A

(43) 申请公布日 2020. 10. 30

(21) 申请号 202010727119.4

(22) 申请日 2020.07.26

(71) 申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72) 发明人 陈建民 尚晓娜 孙剑峰 李凌

朱超 康慧慧

(74) 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

31200

代理人 陆飞 陆尤

(51) Int. Cl.

G01N 1/40 (2006.01)

G01N 15/02 (2006.01)

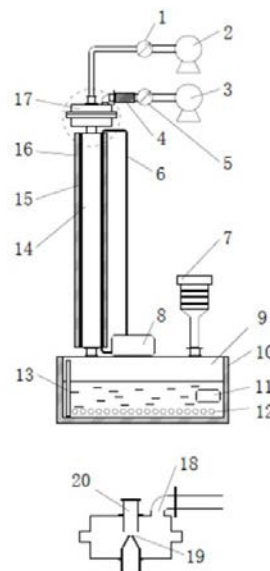
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种中流量大气细颗粒物浓缩装置和方法

(57) 摘要

本发明属于环保技术领域,具体为一种中流量大气细颗粒物浓缩装置及方法。本发明装置包括碰撞式PM_{2.5}切割头、水箱系统、虚拟切割系统、冷凝循环系统;水箱系统包括水箱、电加热棒、温控数显装置,PM_{2.5}切割头与水箱联通;虚拟切割系统包括虚拟切割器、浓缩气流真空泵、主气流真空泵;冷凝循环系统包括冷凝剂循环管、冷凝机;冷凝循环系统用以循环流通冷凝液对饱和颗粒物进行冷凝长大;水箱的气流出口与冷凝循环系统中的冷凝内管始端同轴设置,冷凝内管终端与虚拟切割系统中喷嘴连接。本装置可将实际大气细颗粒物浓缩7到10倍,且浓缩效率高,达到75%-99%,浓缩性能稳定;本装置操作简便,可靠稳定,且易于维护,成本低。



1. 一种中流量大气细颗粒物浓缩装置,其特征在于,包括:碰撞式PM_{2.5}切割头(7)、水箱加热系统、虚拟切割系统、冷凝循环系统;其中:

所述碰撞式PM_{2.5}切割头,包括PM₁₀、PM₅、PM_{2.5}三级,每级由一个冲击孔板和一个冲击分离收集板组成,其中,三级冲击分离收集板的结构相同,由于不同粒径颗粒的冲击惯性不同,三级冲击板的孔数和孔径各不相同;

所述水箱加热系统,包括一水箱(9),用于盛放去离子水,水箱(9)内壁设有隔温层(10),用于对水箱(9)内去离子水保温;水箱(9)一侧设有可视窗口(11),用于观察箱体内水面高度;水箱(9)内设有带有温度传感器的电加热棒(12),用于对去离子水进行加热;水箱(9)内设有温控数显装置(13),用于控制去离子水温度;所述PM_{2.5}切割头(7)与水箱(9)联通;

所述虚拟切割系统,包括虚拟切割器(17)、浓缩气流真空泵(2)、主气流真空泵(3);其中,所述虚拟切割器(17)包括一个喷嘴(19)、一个喷嘴接管(20),以及两条气路:主气路和浓缩气路;喷嘴(19)与喷嘴接管(20)同轴设置,喷嘴接管(20)在喷嘴(19)上方,两者间隔一定空隙,喷嘴接管(20)用于接收喷嘴(19)喷出的颗粒物;所述浓缩气流真空泵(2)通过管道与虚拟切割器(17)上部的浓缩气路联通,在该联通管道上设置有浮子流量计(1),用于计量管路流量;所述主气流真空泵(3)通过管道与虚拟切割器(17)上部主气流出口(18)联通,该联通管道上设置有干燥管(4)和大流量质量流量控制器(5),干燥管(4)用于对气流加以干燥,以避免系统水汽过大损伤泵体,大流量质量流量控制器(5)用于精确控制管道流量;

所述冷凝循环系统,包括冷凝剂循环管(6)、冷凝机(8);所述冷凝剂循环管(6)包括冷凝内管(14),冷凝内管(14)外紧密缠绕软铜制螺旋管(15),螺旋管(15)始末两端分别连接冷凝机(8)的出口和进口;在螺旋管(15)外包裹有一隔温层(16),使冷凝管温度不受外界温度影响,冷凝循环系统用以循环流通冷凝液对饱和颗粒物进行冷凝长大;

水箱(9)的气流出口与冷凝循环系统中的冷凝内管(14)始端同轴设置,由快接法兰(含密封圈)连接;冷凝内管(14)终端与虚拟切割系统中喷嘴(19)连接。

2. 根据权利要求1所述的中流量大气细颗粒物浓缩装置,其特征在于,冷凝机中的冷凝剂采用酒精,其浓度可调,达到制冷和降低挥发量的效果即可。

3. 根据权利要求1所述的中流量大气细颗粒物浓缩装置,其特征在于,冷凝内管(14)直径为2.5厘米,长度为80厘米。

4. 根据权利要求1所述的中流量大气细颗粒物浓缩装置,其特征在于,喷嘴直径为0.37厘米,喷嘴(9)与喷嘴接管(20)的间隔空隙为0.45厘米,喷嘴接管直径为2.5厘米。

5. 一种基于权利要求1、2或3所述装置的中流量大气细颗粒物浓缩方法,其特征在于,具体步骤为:

(1) 将PM_{2.5}切割头(7)置于实际大气环境中,原始大气样品通过PM_{2.5}切割头(7)将PM_{2.5}空气动力学当量直径小于或等于2.5微米的大气细颗粒物筛选出来,依靠系统抽力进入水箱(9);

(2) 在可视窗口(11)下,将去离子水加至水箱高度的三分之二处,并使用带有温度传感器的电加热棒(12)对去离子水进行加热,通过温控数显装置(13)控制温度为45±2摄氏度,使产生的水蒸气使颗粒物达到饱和状态;

(3) 达到饱和状态的颗粒物,流经冷凝循环系统的冷凝内管(14);冷凝机的外部循环控

温模式将温度控制在 $-19\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，使循环流通冷凝液对饱和颗粒物进行冷凝长大，其中绝大部分 $\text{PM}_{2.5}$ 的空气动力学直径可增长至3-4微米；

(4) 冷凝长大的 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物进入虚拟切割器(17)，在喷嘴(19)处获得加速；其加速的动力来自两条气路，即主气路和浓缩气路；主气路中，由大流量质量流量控制器(5)精确控制主流量为 50 ± 1 升/分钟；浓缩气路中，经喷嘴(19)加速后的颗粒物由同轴设置的喷嘴上方喷嘴接管(20)接收，控制浓缩气流的流量为5升/分钟；理论上，在颗粒物浓度相同的情况下，气体流量变为原始气体流量的十分之一，样品中颗粒物的浓度随之变为原始浓度的十倍，从而达到浓缩效果。

6. 根据权利要求5所述的中流量大气细颗粒物浓缩方法，其特征在于，浓缩完毕后，最后对浓缩因子和浓缩效率进行评估；其中，浓缩因子是指：浓缩后大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度/数浓度/化学组分浓度与浓缩前大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的质量浓度/数浓度/化学组分浓度的比值；浓缩效率是指：实际浓缩后浓度占理论浓缩浓度的百分比。

一种中流量大气细颗粒物浓缩装置和方法

技术领域

[0001] 本发明属于环保技术领域,具体涉及一种颗粒物浓缩装置及方法,尤其涉及一种中流量大气细颗粒物浓缩装置及方法。

技术背景

[0002] PM_{2.5}是指大气中空气动力学直径小于或等于2.5微米的颗粒物,也称为大气细颗粒物。虽然PM_{2.5}只是地球大气成分中含量很少的组分,但其对空气质量和能见度等有重要的影响。大气PM_{2.5}粒径小、比表面积大,含有大量的有毒、有害物质,且在大气中的悬浮时间长、传输距离远,因而对人体健康和大气环境质量的负面影响不容忽视。

[0003] 近年来,我国大气PM_{2.5}污染严重,经常发生雾霾污染,导致就诊率急剧上升及易感人群过早死亡。尤其是雾霾下气溶胶粒子携带的有毒有害化学成分,危及人群健康,引起全社会的高度关注。已经有大量流行病学证据表明,PM_{2.5}有急性与慢性健康效应。高浓度PM_{2.5}暴露会增加患急性呼吸道疾病与心脑血管疾病的风险,同时PM_{2.5}可能诱发肺癌、慢性阻塞型肺炎(COPD)、心脑血管疾病等慢性疾病,影响人体免疫系统、神经系统等。因此,雾霾气溶胶粒子毒性的研究也成为热点和前沿方向之一。然而,对大气细颗粒物毒性的测定因受到检测技术和仪器的制约(如较高的检测限),目前仍停留在离线检测阶段,且需要在重污染及较长持续采样时间的条件下进行,无法满足实时监测大气细颗粒物浓度及有毒化学成分的要求。

[0004] 为填补上述技术空白,本发明所研制的中流量大气细颗粒物浓缩装置可将大气细颗粒物在不改变其任何理化特性的前提下,浓缩富集到足以明显检出其毒性的水平。同时,该装置可与在线毒性检测装置联用,使得日后人工智能化大气细颗粒物在线毒性检测的实现成为可能,并可广泛应用于环境监测及健康风险评估。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种可靠稳定,能够高效浓缩的中流量大气细颗粒物浓缩装置和方法。这里所述中流量为50±1升/分钟。

[0006] 本发明提供的中流量大气细颗粒物浓缩装置,其结构参见图1所示;装置包括:碰撞式PM_{2.5}切割头、水箱加热系统、虚拟切割系统、冷凝循环系统;其中:

所述碰撞式PM_{2.5}切割头,包括PM₁₀、PM₅、PM_{2.5}三级,每级由一个冲击孔板和一个冲击分离收集板组成,其中,三级冲击分离收集板的结构相同,由于不同粒径颗粒的冲击惯性不同,三级冲击板的孔数和孔径各不相同;

所述水箱加热系统,包括一水箱(9),用于盛放去离子水,水箱(9)内壁设有隔温层(10),用于对水箱(9)内去离子水保温;水箱(9)一侧设有可视窗口(11),用于观察箱体内水面高度;水箱(9)内设有带有温度传感器的电加热棒(12),用于对去离子水进行加热;水箱(9)内设有温控数显装置(13),用于控制去离子水温度;碰撞式PM_{2.5}切割头(7)与水箱(9)联通;

所述虚拟切割系统,包括虚拟切割器(17)、浓缩气流真空泵(2)、主气流真空泵(3);其中,所述虚拟切割器(17)包括一个喷嘴(19)、一个喷嘴接管(20),以及两条气路:主气路和浓缩气路;喷嘴(19)与喷嘴接管(20)同轴设置,喷嘴接管(20)在喷嘴(19)上方,两者间隔一定空隙,喷嘴接管(20)用于接收喷嘴(19)喷出的颗粒物;所述浓缩气流真空泵(2)通过管道与虚拟切割器(17)上部的浓缩气路联通,在该联通管道上设置有浮子流量计(1),用于计量管路流量;所述主气流真空泵(3)通过管道与虚拟切割器(17)上部主气路出口(18)联通,该联通管道上设置有干燥管(4)和大流量质量流量控制器(5),干燥管(4)用于对气流加以干燥,以避免系统水汽过大损伤泵体,大流量质量流量控制器(5)用于精确控制管道流量;

所述冷凝循环系统,包括冷凝剂循环管(6)、冷凝机(8);所述冷凝剂循环管(6)包括冷凝内管(14),冷凝内管(14)外紧密缠绕软铜制螺旋管(15),螺旋管(15)始末两端分别连接冷凝机(8)的出口和进口;在螺旋管(15)外包裹有一隔温层(16),使冷凝管温度不受外界温度影响,冷凝循环系统用以循环流通冷凝液对饱和颗粒物进行冷凝长大;

水箱(9)的气流出口与冷凝循环系统中的冷凝内管(14)始端同轴设置,由快接法兰(含密封圈)连接;冷凝内管(14)终端与虚拟切割系统中喷嘴(19)连接。

[0007] 本发明提供的大气细颗粒物浓缩装置,其工作流程如下:

(1)将碰撞式PM_{2.5}切割头(7)置于实际大气环境中,原始大气样品通过碰撞式PM_{2.5}切割头(7)将PM_{2.5}空气动力学当量直径小于或等于2.5微米的大气细颗粒物筛选出来,依靠系统抽力进入水箱(9);

(2)在可视窗口(11)下,将去离子水加至水箱高度的三分之二处,并使用带有温度传感器的电加热棒(12)对去离子水进行加热,通过温控数显装置(13)控制温度为45±2摄氏度,使产生的水蒸气使颗粒物达到饱和状态;

(3)达到饱和状态的颗粒物,流经冷凝循环系统的冷凝内管(14);冷凝机的外部循环控温模式将温度控制在-19±1℃,使循环流通冷凝液对饱和颗粒物进行冷凝长大,其中绝大部分PM_{2.5}的空气动力学直径可增长至3-4微米;

(4)冷凝长大的PM_{2.5}颗粒物进入虚拟切割器(17),在喷嘴(19)处获得加速;其加速的动力来自两条气路,即主气路和浓缩气路;主气路中,由大流量质量流量控制器(5)精确控制主流量为50±1升/分钟;浓缩气路中,经喷嘴(19)加速后的颗粒物由同轴设置的喷嘴上方喷嘴接管(20)接收,控制浓缩气流的流量为5升/分钟;理论上,在颗粒物浓度相同的情况下,气体流量变为原始气体流量的十分之一,样品中颗粒物的浓度随之变为原始浓度的十倍,从而达到浓缩效果。

[0008] 浓缩完毕后,最后通过浓缩因子(浓缩后大气中PM_{2.5}的质量浓度/数浓度/化学组分浓度与浓缩前大气中PM_{2.5}的质量浓度/数浓度/化学组分浓度的比值)和浓缩效率(实际浓缩后浓度占理论浓缩浓度的百分比)进行评估。

[0009] 本装置中,冷凝机中的冷凝剂采用酒精,其浓度可调,仅需达到制冷和降低挥发量的效果即可;

冷凝内管(14)直径为2.5厘米,长度为80厘米;

流量控制器(5)的控制范围为0-200升/分钟;

喷嘴直径为0.37厘米,喷嘴(9)与喷嘴接管(20)的间隔空隙为0.45厘米,喷嘴接管直径为2.5厘米。

[0010] 本发明的有益效果在于：

(1) 本装置可将实际大气细颗粒物浓缩7到10倍(颗粒物尺寸相关),且浓缩效率高,可达到75 %-99 %(颗粒物尺寸相关),浓缩性能稳定;

(2) 本装置对采样进气流量要求不高,中流量50升/分钟即可对实际大气细颗粒物进行高效浓缩;

(3) 本装置操作简便,可靠稳定,且易于维护,成本低。

附图说明

[0011] 图1是中流量大气细颗粒物浓缩装置的结构示意图。其中,下图为虚拟切割器结构图式。

[0012] 图中标号:1为浮子流量计,2为浓缩气流真空泵,3为主气流真空泵,4为干燥管,5为大流量质量流量控制器,6为冷凝剂循环管,7为碰撞式PM_{2.5}切割头,8为冷凝机,9为水箱,10为水箱隔温层,11为可视窗口,12为带有温度传感器的电加热棒,13为温控数显装置,14为冷凝内管,15为冷凝外螺旋管,16为隔温层,17为虚拟切割器,18为主气流出口,19为喷嘴,20喷嘴接管。

具体实施方式

[0013] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0014] 实施例1

(1) 将碰撞式PM_{2.5}切割头(7)置于复旦大学环境楼6楼窗外,在碰撞式PM_{2.5}切割头(7)的作用下,PM_{2.5}空气动力学当量直径小于或等于2.5微米的大气细颗粒物被筛选出来,依靠主气路和浓缩气路提供的抽力进入水箱(9);

(2) 在可视窗口(11)下,将去离子水加至水箱高度的三分之二处,并使用带有温度传感器的电加热棒(12)对去离子水进行加热,通过温控数显装置(13)控制温度为45±2摄氏度,产生的水蒸气使颗粒物达到饱和状态,外场实验中环境温度不超过24摄氏度,低温气流的注入使得水箱(9)中的过饱和和环境温度实际降至31摄氏度或更低,这种与实际环境温度相差较小的参数设置可大大降低颗粒物中易挥发或半挥发组分的损失;

(3) 达到饱和状态的PM_{2.5}颗粒,流经冷凝循环系统的冷凝内管(14);冷凝机的外部循环控温模式将温度控制在-19±1℃,使循环流通冷凝液对饱和颗粒物进行冷凝长大,其中绝大部分PM_{2.5}的空气动力学直径可增长至3-4微米;

(4) 冷凝长大的PM_{2.5}颗粒物进入虚拟切割器(17),在喷嘴(19)处获得加速;其加速的动力来自两条气路,即主气路和浓缩气路;主气路中,由大流量质量流量控制器(5)精确控制主流量为50±1升/分钟;浓缩气路中,经喷嘴(19)加速后的颗粒物由同轴设置的喷嘴上方喷嘴接管(20)接收,控制浓缩气流的流量为5升/分钟;理论上,在颗粒物浓度相同的情况下,气体流量变为原始气体流量的十分之一,样品中颗粒物的浓度随之变为原始浓度的十倍,从而达到浓缩效果。

[0015] 浓缩过程中,两台扫描电迁移率颗粒物粒径谱仪的进样口分别连接富集系统的浓缩气路和实际大气,并连续监测系统中和实际大气中各粒径范围内(10到1000纳米)颗粒物的数浓度和质量浓度,以此计算浓缩因子(浓缩后大气中PM_{2.5}的质量浓度/数浓度与浓缩前

大气中PM_{2.5}的质量浓度/数浓度的比值)和浓缩效率(实际浓缩后浓度占理论浓缩浓度的百分比),详细数据见表1。两台扫描电迁移率颗粒物粒径谱仪的流速设为0.3升/分钟,因此,连于富集系统时,浓缩气路中0.3升/分钟的气流进入扫描电迁移率颗粒物粒径谱仪,剩余4.7升/分钟的气流可用于后续颗粒物采样或实时监测。此外,由于系统水汽过大,不易直接进入扫描电迁移率颗粒物粒径谱仪,需在前段加入干燥管去除水汽以及还原颗粒物粒径。

[0016] 表1真实大气环境不同粒径颗粒物的富集效率

颗粒物粒径	冷凝度 (-19 ± 1 ° C)	饱和度 (-45 ± 2 ° C)	主气流流量 (50 ± 1 L min ⁻¹)	浓缩流量效率 (1/10)	总富集效率
30 - 50 nm	99 %	85 %	97 %	97 %	98 %
50 - 100 nm	100 %	85 %	99 %	99 %	91 %
100 - 200 nm	85 %	82 %	78 %	80 %	79 %
200 - 1000 nm	NA	NA	NA	NA	75 %
				平均值	86 %
				标准偏差	7 %

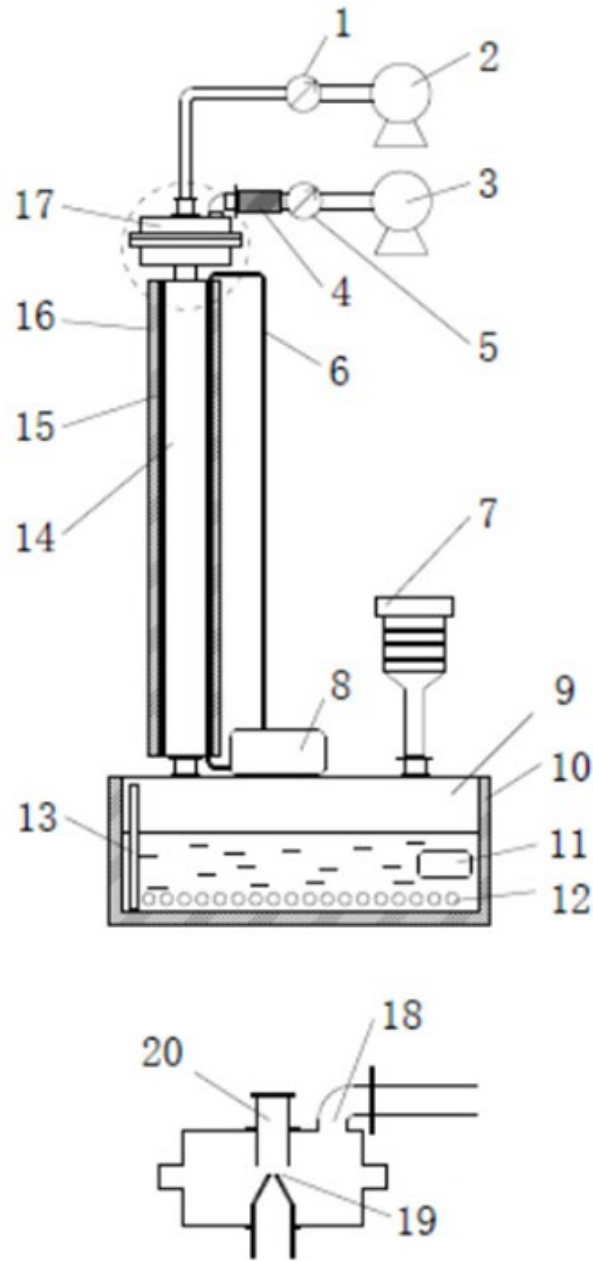


图1