



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102203584 B

(45)授权公告日 2016. 11. 30

(21)申请号 200980143357.2

(72)发明人 J. 马拉

(22)申请日 2009.10.26

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 102203584 A

代理人 李亚非 刘鹏

(43)申请公布日 2011.09.28

(51)Int. Cl.

(30)优先权数据

G01N 15/02(2006.01)

08168053.0 2008.10.31 EP

(56)对比文件

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2011.04.29

CN 101208592 A, 2008.06.25, 摘要、说明书  
第1页第1段, 第6页第2行-第13页倒数第1行、权  
利要求1-17、附图1-6.

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2009/054716 2009.10.26

CN 2769849 Y, 2006.04.05, 全文.

CN 1969178 A, 2007.05.23, 全文.

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02010/049870 EN 2010.05.06

审查员 关键

(73)专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬

权利要求书1页 说明书14页 附图2页

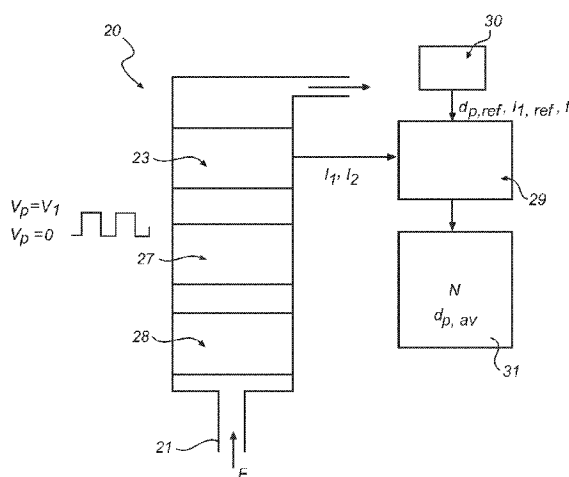
## (54)发明名称

用于表征空气流中带电大气颗粒的尺寸分布随着时间的演变的设备

## (57)摘要

提供了一种能够记录空气流中带电大气颗粒的尺寸分布的特性随着时间的演变的设备。该设备包括空气入口、颗粒充电单元、浓度变化部分、颗粒感测部分和数据求值单元。特别地,设备的颗粒感测部分产生至少两个顺次获得的测量信号  $I_1$  和  $I_2$ , 数据求值单元根据这些测量信号可以推断带电大气颗粒的尺寸分布的平均颗粒直径  $d_{p,av}$  和数量浓度  $N$  的值。由于推断的平均颗粒直径  $d_{p,av}$  相对于参考颗粒直径  $d_{p,ref}$  的变化由设定的最大变化限界这一条件,可以在关于颗粒尺寸分布的特性的平稳条件和瞬态条件下获得  $N$  和  $d_{p,av}$  的可靠值。该施加的条件显著地降低了作为时间函数的  $d_{p,av}$  和  $N$  的推断值的分散性,同时仍然允许关于  $N$  和  $d_{p,av}$  的瞬态特性随着时间的推移变得可见,而不必依赖于平均过程和/或设备硬件适应性。

CN 102203584 B



1. 一种用于表征空气流中带电大气颗粒的尺寸分布随着时间的演变的设备,包括:
  - 空气入口,其用于空气流中的大气颗粒进入,
  - 颗粒充电单元,其被设置成通过对进入设备的大气颗粒充电而创建带电大气颗粒的尺寸分布,
    - 浓度变化部分,其能够造成在至少一个时间间隔期间带电颗粒的浓度在至少第一浓度水平和第二浓度水平之间变化,
    - 颗粒感测部分,其能够产生与第一浓度水平相应的第一测量信号 $I_1$ 以及与第二浓度水平相应的第二测量信号 $I_2$ ,以及
    - 数据求值单元,其被设置成根据第一测量信号 $I_1$ 和第二测量信号 $I_2$ 以及参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 推断带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ ,其中推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 相对于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 的变化由设定的最大变化限界。
2. 依照权利要求1的设备,其中基于第一测量信号 $I_1$ 、第二测量信号 $I_2$ 以及带电大气颗粒的尺寸分布的推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 推断颗粒数浓度 $N$ 。
3. 依照权利要求1的设备,其中所述浓度变化部分是能够在至少一个时间间隔期间电沉淀带电大气颗粒的尺寸分布的至少一部分的电沉淀单元。
4. 依照权利要求1的设备,其中第一浓度水平与带电大气颗粒的创建的尺寸分布的浓度水平基本上相同。
5. 依照权利要求1的设备,其中参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 。
6. 依照权利要求5的设备,其中预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 优选地设置为20-100nm尺寸范围内的值。
7. 依照权利要求1的设备,其中参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是先前推断的平均颗粒直径。
8. 依照前面的权利要求中任何一项的设备,其中当第一测量信号 $I_1$  小于或等于第二测量信号 $I_2$ 时,推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 被取为等于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 。
9. 依照前面的权利要求1-7中任何一项的设备,其中当第一测量信号 $I_1$ 小于或等于预定义的参考信号 $I_{1,ref}$ 时,推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 被取为等于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 。
10. 依照权利要求1的设备,其中将推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 与推断的颗粒数浓度 $N$ 的数学乘积 $N*d_{p,av}$ 设置成与第一测量信号 $I_1$ 成比例。
11. 依照权利要求1的设备,其中所述设定的最大变化分别依赖于所述两个测量信号 $I_1$ 和 $I_2$ 中的至少一个的幅度。
12. 依照权利要求1的设备,其中顺次地在连续时刻 $t_k, t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ 产生一系列第一测量信号 $I_1(t_k), I_1(t_{k+2}), I_1(t_{k+4}), \dots$ 和一系列第二测量信号 $I_2(t_{k+1}), I_2(t_{k+3}), I_2(t_{k+5}), \dots$ , $k$ 代表整数,并且其中数据求值单元被设置成在产生了第一测量信号 $I_1$ 或第二测量信号 $I_2$ 时的每个时刻 $t_k, t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ 推断带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 。
13. 依照前面的权利要求1-7和10-12中任何一项的设备,其中该设备被设置用于测量带电大气颗粒的尺寸分布的特性随着时间的演变,这些带电大气颗粒包括直径在5-500nm尺寸范围内的带电超微颗粒。
14. 依照权利要求13的设备,其中所述这些带电大气颗粒是直径在10-300nm尺寸范围内带电超微颗粒。

## 用于表征空气流中带电大气颗粒的尺寸分布随着时间的演变的设备

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及一种用于表征空气流中带电大气颗粒(airborne particle)的尺寸分布随着时间的演变的设备。

### 背景技术

[0002] 我们周围的空气包含不同尺寸和形状的颗粒,这些颗粒与废气和其他污染物一起造成一定区域内的总的空气污染。一些颗粒是人为的,并且可能来源于例如车辆中化石燃料的燃烧。其他颗粒则自然出现,并且可能来源于火山、尘暴、森林火灾等等。5-500nm尺寸范围内的颗粒被分类为超微颗粒(UFP)。像例如煤烟颗粒一样,已知UFP对人类而言是特别有害健康的。已经证明,大气UFP的吸入由于其在肺中的沉积而可能导致严重的肺损伤。

[0003] 鉴于以上所述,测量我们周围的空气中UFP的特性是非常重要的。可以通过使用UFP测量设备来收集关于大气超微颗粒(UFP)的特性的信息,所述UFP测量设备允许实现大气颗粒的局部检测并且涉及测量空气中的颗粒数浓度 $N$ 、数量平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 以及颗粒尺寸分布 $dN(d_p)/d\ln(d_p)$ 。特别地,引起的与向UFP空气污染的暴露关联的健康危害据信与UFP长度浓度 $L = N * d_{p,av}$ 有关。后一推论的原因来自以下考虑(参见例如H. Fissan et.al., Journal of Nanoparticle Research(2007), Vol. 9, pp. 53 - 59):吸入的大气颗粒的相对健康危害很可能与吸入之后沉积在呼吸道中的每单位体积吸入空气的颗粒表面面积关联。此外,当正确考虑了吸入大气颗粒的沉积效率与其在呼吸道不同区域中的直径的函数关系时,该沉积颗粒表面面积浓度可以被证明与吸入空气中的颗粒长度浓度 $L$ 成比例(国际辐射防护委员会ICRP,1994)。

[0004] 图1a中示出了W02007/000710 A2中公开的一种现有技术UFP传感器。测量设备10包括可选地设有颗粒预滤器12的空气入口部分11。该UFP传感器进一步包括颗粒充电部分18,其能够在采样的空气流中的大气颗粒进入设备10中之后对这些大气颗粒充电。此外,UFP传感器10包括包含法拉第笼装置(Faraday cage arrangement)16的颗粒感测部分13,该法拉第笼装置与UFP传感器10的其余部分电绝缘并且经由灵敏电流计15连接到地电位。进入法拉第笼装置16的空气流中的带电颗粒与其电荷一起被法拉第笼内部的空气可渗透过滤介质捕获,从而产生电流 $I_s$ ,该电流可以由电流计15测量,其等于法拉第笼装置16内部每单位时间沉积的电荷。电流 $I_s$ 的幅度与进入法拉第笼装置16的空气流中大气带电UFP的浓度水平成比例,该比例因子由大气颗粒上的平均电荷确定。如果充电部分18中的颗粒充电通过扩散充电完成,那么 $I_s$ 与颗粒长度浓度 $L = N * d_{p,av}$ 成比例(M. Adachi et.al., Journal of Aerosol Sci. 16(2), pp. 109-123,1985)。

[0005] 图1a中的UFP传感器进一步设置有颗粒浓度变化部分17,其设置在颗粒充电部分18的下游,能够造成带电UFP的浓度在第一浓度水平与第二浓度水平之间变化。在图1a中,浓度变化部分17被实施为平行板部分(也称为“板部分”),包括由平行板电极表面形成的空气导管19,在所述平行板电极表面之间可以施加电位差 $V_p$ 。电极板之间的电位差创建了跨

导管19的电场。如果跨导管没有施加电场,那么离开板部分的大气带电颗粒的浓度水平(第一浓度水平)将与进入板部分的大气带电颗粒的浓度水平基本上相同。如果跨导管在板之间施加了非零电场,那么进入板部分的大气带电颗粒的至少一部分将静电沉淀(precipitate)到电极表面之一上,从而将离开板部分的大气带电颗粒的浓度水平降低到更小的第二浓度水平。离开板部分的带电颗粒的浓度水平随后由法拉第笼装置16接收,引起由电流计15测量的传感器电流 $I_s$ 。

[0006] 如上所述,测量的电流信号 $I_s$ 的幅度与由法拉第笼装置16接收的空气流中带电UFP的浓度水平成比例,并且在带电UFP的浓度水平变化时变化。响应于随着时间的推移所施加的颗粒浓度的变化,所述已知传感器10在连续的时间间隔期间以串行的方式确定与变化的颗粒浓度水平关联的测量信号。包括至少两个测量信号的与至少两个变化的颗粒浓度水平的组相应的组是所需要的,并且对于确定总颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 是足够的。可以连续地确定不同的测量信号组以便跟踪随着时间的推移总颗粒数浓度和平均颗粒直径的演变。

[0007] 为了精确地确定大气颗粒的总颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ ,已知传感器10需要这样的环境,其中大气颗粒的总浓度和颗粒尺寸分布(即颗粒浓度与颗粒尺寸的函数关系)应当仅仅只是时间的缓慢变化函数,优选地基本上是时间平稳的(stationary in time)。在测量两个顺次获得的测量信号的单个组所需的时间间隔期间,所述单个组是单次确定总颗粒数浓度和平均颗粒直径所需的,总颗粒数浓度和平均颗粒直径应当保持基本上恒定。

[0008] 由于通常使至少最小时间段期间的信号平均成为必要的对于测量准确度的最小所要求的原因,不可能使得该时间间隔任意小。对于非平稳瞬态环境中的精确操作而言,需要可以也在高度瞬态的条件下确定总颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 的设备,在所述高度瞬态的条件中,颗粒浓度水平在时间的推移期间可能快速地变化。这样的情况例如可能出现在存在机动车辆的位置处或附近。

[0009] 在现有技术中且如上所述,根据2个连续记录的传感器信号 $I_s$ 的系列测量,推断大气颗粒的颗粒数浓度 $N$ 和平均直径 $d_{p,av}$ ,一个信号 $I_s=I_1$ 在板部分中的沉淀电压 $V_p=0$ 处测量,另一个信号 $I_s=I_2$ 在沉淀电压 $V_p=V_1$ 处测量(参见图1b)。由于施加的非零 $V_p=V_1$ 从穿过板部分17的空气流中移除带电颗粒的至少一部分,通常有 $I_2 < I_1$ 。

[0010] 有启发性的是简要地描述这样的相对准确度, $N$ 和 $d_{p,av}$ 可以在其中带电大气颗粒的尺寸分布的特性随着时间的推移基本上保持恒定的平稳条件下利用设备10根据测量的信号 $I_1$ 和 $I_2$ 以该相对准确度推断。在相对于通过尺寸成比例地不同的传感器的参考空气流 $\phi^*$ 的通过所述传感器的空气流 $\phi$  ( $m^3/s$ )下(传感器尺寸和空气流 $\phi$ 彼此相关,使得传感器内部的空气速度保持基本上恒定且与 $\phi$ 无关), $N$ 依照方程1与 $I_1$ 和 $I_2$ 有关:

$$[0011] \quad N = S_N \frac{\phi^*}{\phi} (I_1 - I_2) \quad (\text{颗粒}/\text{cm}^3) \quad \text{方程1}$$

[0012]  $S_N$ 为第一比例常数。 $d_{p,av}$ 依照方程2与 $I_1$ 和 $I_2$ 有关:

$$[0013] \quad d_{p,av} = S_{dp} \frac{I_1}{I_1 - I_2} \quad (\text{nm}) \quad \text{方程2}$$

[0014]  $S_{dp}$ 为第二比例常数。最后,颗粒长度浓度 $L$ 依照方程3仅仅与 $I_1$ 有关:

$$[0015] \quad L = Nd_{p,av} = S_N S_{dp} I_1 \quad (\text{颗粒}/\text{cm}^3) \cdot \text{nm} \quad \text{方程3。}$$

[0016] 在关于 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的平稳条件下,可以证明相对不准确度 $\Delta N/N$ 和 $\Delta d_{p,av}/d_{p,av}$ 依照方程4和方程5分别与传感器信号 $I_s$ 的测量不准确度 $\Delta I_s$ 有关:

$$[0017] \quad \frac{\Delta N}{N} = \frac{2S_N \phi^*}{N \phi} \Delta I_s \quad \text{方程4}$$

$$[0018] \quad \frac{\Delta d_{p,av}}{d_{p,av}} = \frac{\Delta I_s}{I_1} + \frac{2\Delta I_s}{I_1 - I_2}$$

$$[0019] \quad = \frac{\phi^* \Delta I_s}{\phi N} \left( \frac{S_N S_{dp}}{d_{p,av}} + 2S_N \right)$$

[0020]  $\Delta I_s$ 对于当前市场上的最佳运算放大器而言大约为 $1 \times 10^{-15} \text{A}$  ( $=1 \text{ fA}$ ),并且由于电子噪声的原因不能容易地使得其更小。这种情况对于 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的单次确定的可达到的准确度设置了极限。此外,相对不准确度 $\Delta N/N$ 和 $\Delta d_{p,av}/d_{p,av}$ 在 $N$ 和/或 $\phi$ 的较小值下增大。可以增大空气流 $\phi$ 以降低相对不准确度/不准确度,但是这通常不可能在不增大传感器尺寸的情况下完成。这种增大是不希望的,因为人们通常希望传感器尺寸保持尽可能小,从成本和轻便性的观点来看也是这样。类似地,传感器尺寸的减小将减小 $\phi$ ,从而增大相对不准确度 $\Delta N/N$ 和 $\Delta d_{p,av}/d_{p,av}$ 。这增大了作为时间函数的 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断值的分散性(scatter)。只要就 $N$ 和 $d_{p,av}$ 而言的空气污染特性保持基本上时间恒定的,那么可以通过平均随着时间的推移连续获得的测量的结果而同样在 $\phi$ 的相对较小的值下实现改善的准确度以及因而可靠性。该平均可以针对测量的 $I_1$ 和 $I_2$ 信号进行,或者针对根据这些信号推断的值 $N$ 和 $d_{p,av}$ 进行。

[0021] 当就 $N$ 和 $d_{p,av}$ 而言的空气污染特性随着时间的推移改变时(即当它们变成瞬态时),不能使用平均若干顺次获得的测量结果的方法。当使用图1a中所绘的设置时,尤其如此,因为传感器信号 $I_1$ 和 $I_2$ 是在时间上顺次获得的。当发生空气污染特性的快速变化时,连续获得的信号 $I_1$ 和 $I_2$ 在不同的空气污染条件下记录并且因而不能可靠地在方程1-3中结合在一起以便推断 $N$ 和 $d_{p,av}$ ,从而大大地增大了相对不准确度 $\Delta N/N$ 和 $\Delta d_{p,av}/d_{p,av}$ 。

[0022] 很可能的是,在某个阶段 $I_1 < I_2$ ,这在使用方程1-3时给出关于 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的毫无意义的结果。特定时间段上顺次测量的电流 $I_1$ 和 $I_2$ 的单独的平均没有提供改善该情形的解决方案,因为这仅仅倾向于抑制人们正想测量的观察的空气污染瞬变量(transient)。严格说来,当在关于微粒空气污染特性的不同(瞬态)条件下获得顺次测量的传感器信号 $I_1$ 和 $I_2$ 时,方程1和方程2丧失了其有效性。因而,随着时间的推移不再能获得依照方程1-3从信号 $I_1$ 和 $I_2$ 推断的 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的可靠数据。

## 发明内容

[0023] 鉴于以上所述,希望的是实现一种改进的用于推断随着时间的推移大气超微颗粒

的尺寸分布的特性的设备和方法,其至少减轻现有技术的上述问题。

[0024] 依照本发明的第一方面,提供了一种用于表征空气流中带电大气颗粒的尺寸分布随着时间的演变的设备,该设备包括:

[0025] 空气入口,其用于空气流中的大气颗粒进入,

[0026] 颗粒充电单元,其被设置成通过对进入设备的大气颗粒充电而创建带电大气颗粒的尺寸分布,

[0027] 浓度变化部分,其能够造成在至少一个时间间隔期间带电颗粒的浓度在至少第一浓度水平和第二浓度水平之间变化,

[0028] 颗粒感测部分,其能够产生与第一浓度水平相应的第一测量信号 $I_1$ 以及与第二浓度水平相应的第二测量信号 $I_2$ ,以及数据求值(evaluation)单元,其被设置成根据第一测量信号 $I_1$ 和第二测量信号 $I_2$ 以及参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 推断带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 。推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 相对于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 的变化由设定的最大变化限界。

[0029] 因此,提供了一种被设置成跟踪随着时间的推移空气流中大气颗粒(例如UFP)的尺寸分布的潜在地瞬态的特性 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的设备。该设备被设置成使得当对测量信号 $I_1$ 和 $I_2$ 求值以便推断颗粒浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 时,对推断的平均颗粒直径相对于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 的允许的变化设置限制。更特别地,该变化由设定的最大变化限界。该限制在物理上是合理的,因为对于产生特定空气污染的给定污染源来说,颗粒尺寸分布的特性的瞬变量通常与颗粒数浓度的瞬变量比与平均颗粒直径的瞬变量更加相对有关。允许相对于参考颗粒直径的至多仅仅有限的 $d_{p,av}$ 变化的情况的确允许 $d_{p,av}$ 随着时间的推移而经历变化,然而降低了 $d_{p,av}$ 的推断值相对于 $d_{p,ref}$ 的偏差并且确保了当 $d_{p,ref}$ 为审慎地选择的物理上真实的平均颗粒直径时推断的 $d_{p,av}$ 在各种各样的条件下保持物理上真实的。在涉及 $N$ 的值以及其中的变化的情况下,不施加任何限制。这改善了总体可靠性并且降低了关于 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断值随着时间的分散性,而不必依赖于硬件适应性或平均过程。当 $N$ 和/或 $\phi$ 相对较低时,改善的准确度不仅适用于在瞬态条件下而且适用于在平稳条件下获得的 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断值。依照方程1,小的颗粒数浓度 $N$ 伴随仅仅信号差( $I_1-I_2$ )的小的值以及因而依照方程2伴随 $d_{p,av}$ 的推断值的相对较大的不确定度,在方程2中, ( $I_1-I_2$ ) 出现在分母中。

[0030] 依照所述设备的一个实施例,基于第一测量信号 $I_1$ 、第二测量信号 $I_2$ 以及带电大气颗粒的尺寸分布的推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 推断颗粒数浓度 $N$ 。该过程确保了 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断值相对于测量信号 $I_1$ 和 $I_2$ 的内部一致性,从而不仅对于 $d_{p,av}$ 而且对于 $N$ 得到物理上真实的结果,而不必依赖于平均过程或者关于随着时间的推移 $N$ 的推断值的变化限制。

[0031] 依照所述设备的一个实施例,所述浓度变化部分是能够在至少一个时间间隔期间电沉淀带电大气颗粒的尺寸分布的至少一部分的电沉淀单元。该实施例允许实现借助于跨位于沉淀单元内部的两个平行电极表面之间的流导管施加电场而改变带电大气颗粒的尺寸分布的浓度的方便且可控的方式,如前面针对图1a中的现有技术设备10所描述的。优选地,选择电场以便仅仅沉淀在不可忽略的程度上对总颗粒数浓度 $N$ 产生贡献的任何给定尺寸的带电颗粒的部分。更特别地,跨流导管施加的电场被选择成使得直径大于10nm的带电颗粒仅仅部分地从穿过沉淀单元的空气流中沉淀。

[0032] 依照所述设备的一个实施例,第一浓度水平与带电大气颗粒的创建的尺寸分布的

浓度水平基本上相同。这是有利的,因为它允许在对进入传感器设备的大气颗粒充电之后,测量的信号 $I_1$ 与传感器设备内部带电大气颗粒的创建的尺寸分布的特性相应。优选地,传感器设备的充电部分内部大气颗粒的充电利用扩散充电来完成。随后,可以使得信号 $I_2$ 与带电大气颗粒的尺寸分布的特性相应,其在带电大气颗粒的初始创建的尺寸分布的浓度借助于传感器设备的沉淀部分内部的部分静电颗粒沉淀而降低之后获得。这个过程允许使用方程1-3根据信号 $I_1$ 和 $I_2$ 推断带电大气颗粒的初始创建的尺寸分布的特性。

[0033] 依照所述设备的一个实施例,参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 。该预定义的颗粒直径与颗粒直径的缺省值相应,其可以由设备的用户设置,并且其优选地代表近似期望的平均颗粒直径。特别地,当在接通传感器设备之后立即记录第一信号 $I_1$ 和 $I_2$ 时,将预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 用作参考颗粒直径是有利的。此时,没有 $d_{p,av}$ 的先前推断值是可用的,并且于是优选的是依赖于预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 的值以便确保如果在接通传感器设备之后立即记录第一信号 $I_1$ 和 $I_2$ 时的时间期间,带电大气颗粒的尺寸分布在其特性中表现出瞬态行为,那么没有 $d_{p,av}$ 和 $N$ 的物理上不真实的值从 $I_1$ 和 $I_2$ 推断出来。

[0034] 依照所述设备的一个实施例,预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 优选地设置为20-100nm尺寸范围内的值,该尺寸范围是尺寸在近似10nm与300nm之间的大气超微颗粒的数量平均颗粒直径的典型尺寸范围。

[0035] 依照所述设备的一个实施例,参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是 $d_{p,av}$ 的先前推断的颗粒直径,优选地为 $d_{p,av}$ 的最近推断的先前值。这增大了任何给定时刻下 $d_{p,av}$ 和 $N$ 的推断值的准确度和可靠性,因为通常不期望的是, $d_{p,av}$ 的主要变化出现在信号 $I_1$ 和 $I_2$ 的连续记录之间的短暂时间段内。现在,允许 $d_{p,av}$ 的连续推断值的受控的渐变,涉及关于 $d_{p,av}$ 的先前推断值的仅仅少量的历史,该历史优选地由 $d_{p,ref}$ 的单个数量形成,其被设置为等于 $d_{p,av}$ 的最近推断的先前值。

[0036] 依照所述设备的一个实施例,当 $I_1 \leq I_2$ 时或者当 $I_1$ 小于或等于预定义的参考信号 $I_{1,ref}$ 时,推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 被取为等于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ , $d_{p,ref}$ 的值优选地代表 $d_{p,av}$ 的最近推断的值或者预定义的值 $d_{p,0}$ 。当 $I_1 \leq I_2$ 时, $d_{p,av}$ 不可能根据方程2推断出来,因为这将导致 $d_{p,av}$ 的物理上不真实的负值。在关于大气带电颗粒的尺寸分布的特性的高度瞬态的条件下或者当信号 $I_1$ 和 $I_2$ 的幅度太小而不能以令人满意的准确度记录时,可能出现 $I_1 \leq I_2$ 的情况。在引起太小而不能以令人满意的准确度记录并且因而即使在 $I_1 > I_2$ 时也不适合依照方程2推断 $d_{p,av}$ 的可靠值的信号 $I_1$ 和 $I_2$ 的测量结果的相对较小的颗粒浓度 $N$ 下,可能出现 $I_1 \leq I_{1,ref}$ 的情况,其中 $I_{1,ref}$ 的幅度优选地代表为零的值或者接近零的值(优选地处于0-10fA的范围内)。

[0037] 依照所述设备的一个实施例,将推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 与推断的颗粒数浓度 $N$ 的数学乘积 $N*d_{p,av}$ 设置成与第一测量信号 $I_1$ 成比例。这与方程3一致并且在所有的情况下确保了 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断值以其乘积 $L$ 与 $I_1$ 成比例的方式与彼此有关。根据以下观察,这在物理上是正确的:当颗粒充电借助于扩散充电完成时, $L \propto I_1$ (M. Adachi et al., Journal of Aerosol Sci. 16(2), pp. 109-123, 1985)。

[0038] 反过来,如前面所讨论的,当吸入受污染的具有大气颗粒的尺寸分布的空气时, $L$ 据信与暴露相关健康危害成比例。该过程确保在所有的条件和情况下,可以通过 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的组合的推断值或者甚至更直接地通过 $I_1$ 获得暴露相关健康危害的可靠估计。

[0039] 依照所述设备的一个实施例,使得推断的平均颗粒直径相对于参考颗粒直径的设定的最大变化依赖于所述两个测量信号 $I_1$ 和 $I_2$ 中的至少一个的幅度。这是有利的,因为该条件在比较 $d_{p,av}$ 的连续推断值时允许 $d_{p,av}$ 的允许最大变化的更大的灵活性。在 $I_1$ 和 $I_2$ 的高值下, $I_1$ 和 $I_2$ 的不准确度与记录 $I_1$ 和 $I_2$ 的低值时相比相对更小,从而允许相对较高的值用于设定的最大变化。当存在 $d_{p,av}$ 的相对较快的瞬变量时,这种情况也有助于随着时间记录这些瞬变量。如果遇到了低的大气颗粒浓度,那么将测量 $I_1$ 和 $I_2$ 的小值,这依照方程2增大了 $d_{p,av}$ 的推断值的相对不确定度。后一情形可以通过将设定的最大变化限制为相对较小的值来改善。

[0040] 依照所述设备的一个实施例,顺次地在连续时刻 $t_k, t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ 产生一系列第一测量信号 $I_1(t_k), I_1(t_{k+2}), I_1(t_{k+4}), \dots$ 和一系列第二测量信号 $I_2(t_{k+1}), I_2(t_{k+3}), I_2(t_{k+5}), \dots$ , $k$ 代表整数,并且其中数据求值单元被设置成在产生了第一测量信号 $I_1$ 或第二测量信号 $I_2$ 时的每个时刻 $t_k, t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ 推断带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 。这是有利的,因为这允许在记录信号 $I_1$ 或信号 $I_2$ 时的每个时刻快速地更新 $N$ 和 $d_{p,av}$ 。

[0041] 依照所述设备的一个实施例,该设备特别地被设置成允许检测带电大气颗粒的尺寸分布的特性随着时间的演变,这些带电大气颗粒主要为直径在5-500nm尺寸范围内,更优选地在10-300尺寸范围内的带电超微颗粒。这是有利的,因为这些超微颗粒经常代表全部遇到的具有颗粒和气体的空气污染的最有危害的成分。

[0042] 本发明的上述方面的不同特征可以以任意组合结合。

[0043] 本发明的一个优点在于,公开了一种设备和方法,其在使用W02007000710 A2中所描述的基本传感器(参见图1a)时,在该传感器在关于微粒空气污染特性的静态条件下和瞬态条件下使用时,显著地降低随着时间的推移 $d_{p,av}$ 和 $N$ 的推断数据的分散性。此外,这允许实现传感器尺寸和传感器价格(复杂性)的相对降低,而没有遭受测量结果的额外不可靠性/分散性的麻烦。

[0044] 本发明的其他目的、特征和优点根据以下的详细公开内容、根据所附从属权利要求以及根据附图将显现出来。

[0045] 总的说来,除非本文另有明确定义,权利要求中使用的术语都应当依照其在本技术领域中的普通含义来解释。除非另有明确说明,对“一/一个/该[元件、设备、部件、装置、步骤等等]”的所有引用都应当开放地解释为引用所述元件、设备、部件、装置、步骤等等的至少一个实例。除非有明确说明,本文公开的任何方法的步骤都不必以公开的确切顺序执行。

[0046] 除非另有定义,本文使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有本发明实施例所属领域的技术人员通常理解的含义。还应当理解的是,本文使用的术语应当被解释为具有与其在本说明书的上下文和相关技术领域中的含义一致的含义,并且不应当在理想化的或者过于形式的意义上进行解释,除非本文中这样明确地定义。

## 附图说明

[0047] 现在,将参照附图更详细地描述本发明的实施例,在附图中:

[0048] 图1a和图1b为现有技术超微颗粒传感器的示意图;

[0049] 图2为依照本发明实施例的用于表征带电大气颗粒的尺寸分布随着时间的演变的设备的框图。

[0050] 应当指出的是,这些附图是示意性的并且未按比例绘制。为了清楚和方便起见,尺寸夸大或减小地示出了这些附图的部分的相对维度和比例。

### 具体实施方式

[0051] 现在,将在下文中参照附图更完整地描述本发明的实施例,附图中示出了本发明的特定实施例。然而,本发明可以以许多不同的形式实施并且不应当被视为限于本文阐述的实施例;相反地,这些实施例通过实例而提供,使得本公开内容将是详尽且完整的,并且将本发明的范围完全传递给本领域技术人员。贯穿于详细的说明,相同的附图标记表示相同的元件。

[0052] 本发明基于以下考虑:在几乎所有的外界环境条件下,室内和室外, $d_{p,av}$ 值的大的波动(即在大约10秒的时间跨度内超过大约5-10%)通常不会出现。另一方面,N的显著波动在数秒的时间跨度内当然可能发生并且必须适当地考虑。

[0053] 现在参照图2,一种用于表征空气流中带电大气颗粒的尺寸分布随着时间的演变的设备20的实施例被设置成具有用于空气流F中的大气颗粒进入的空气入口21。穿过设备20的空气流F可以借助于通风器或泵(未示出)来创建。此外,颗粒充电单元28设置在空气入口21的下游以便通过对进入设备20的大气颗粒充电而创建带电大气颗粒的尺寸分布。充电单元28可以包括连接到高压电源的针尖电极(可与图1a中的充电单元18相比),所述针尖电极设置在电位 $V_{cor}$ 处,该电位足够高以便离子化针尖附近的空气,从而产生部分地吸附在穿过充电单元28的大气颗粒上的大气离子,从而在大气颗粒上形成电荷。优选地,针尖电极由设置在屏电压 $V_{scr} \ll V_{cor}$ 处的多孔屏电极包围。这允许充电单元28中适合于实现大气颗粒的扩散充电的条件。可替换地,颗粒充电可以通过使用能够发射包含使大气颗粒离子化的足够能量的光子的辐射的光源(例如UV灯或准分子光源)借助于光离子化来实现。

[0054] 设备20进一步设置有浓度变化部分27,该浓度变化部分设置在颗粒充电单元28的下游。浓度变化部分27被设置成能够造成在至少一个时间间隔期间空气流中带电颗粒的浓度在至少第一浓度水平与第二浓度水平之间变化。浓度变化部分27被设置成通过使包含带电颗粒的空气流经受不同的静电场而实现浓度变化。

[0055] 特别地,在依照本发明的设备的一个实施例中,浓度变化单元27是电沉淀单元(可与如图1a中所示的浓度变化单元17相比)。浓度变化27单元能够在至少一个时间间隔期间电沉淀带电大气颗粒的尺寸分布的至少一部分,并且可以被设置成包括一系列笔直或圆柱形同心平行板(未示出),其中至少一个板能够接收一系列周期的电压脉冲 $V_p=V_1$ ,而其他板连续连接到电压 $V_p=0$ 。然后,一个板连接到交流电压 $V_p=0$ 和 $V_p=V_1$ ,这导致从浓度变化部分分离的带电大气颗粒的分别与施加的电压 $V_p=0$ 和 $V_p=V_1$ 直接关联的第一浓度水平和第二浓度水平。由于当电压 $V_p=V_1$ 施加到所述板之一时带电大气颗粒的至少一部分将沉底在沉淀单元27内部,因而第二浓度水平低于第一水平(其与使两个板连接到 $V_p=0$ 关联)。在依照本发明的设备的这个实施例中,第一浓度水平与创建的离开颗粒充电单元28的带电大气颗粒的尺寸分布的浓度水平基本上相同。

[0056] 颗粒感测部分23位于浓度变化部分27的下游。从浓度变化部分27离开的带电颗粒

由颗粒感测部分23接收,该颗粒感测部分能够产生与第一浓度水平相应的第一测量信号 $I_1$ 以及与第二浓度水平相应的第二测量信号 $I_2$ 。测量信号可以通过利用如图1a所示连接到灵敏电流计的法拉第笼装置来获得。

[0057] 颗粒感测部分23被设置成与数据求值单元29通信。数据求值单元29能够接收来自颗粒感测部分23的测量信号形式的输入数据并且具有存储功能。可选地,其设置有用户接口,该用户接口包括接收允许推断关于大气带电颗粒的尺寸分布的特性数据所需的参数的数据输入单元30以及用于将结果呈现给用户的显示单元31。数据求值单元29进一步被设置成根据第一测量信号 $I_1$ 和第二测量信号 $I_2$ 以及参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 推断带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 。推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 相对于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 的变化由设定的最大变化限界,该最大变化由参数 $f$ 的数值表示。此外,可以限定第一测量信号 $I_1$ 的最小值 $I_{1,ref}$ ,这对于根据 $I_1$ 的数值以及因而根据 $I_1$ 的相对准确度从信号 $I_1$ 和 $I_2$ 进行 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断过程是有利的。

[0058] 在依照本发明的设备的一个实施例中,参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是先前推断的平均颗粒直径,优选地为先前的最近推断的平均颗粒直径。在依照本发明的设备的另一个实施例中,参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 。当在接通该设备之后立即获得第一测量结果 $I_1$ 和 $I_2$ 时,将预定义的颗粒直径 $d_{p,0}$ 用于参考颗粒直径 $d_{p,ref}$ 是特别有利的,因为此时没有先前推断的平均颗粒直径是可用的。

[0059] 在依照本发明的设备的一个实施例中,基于第一测量信号 $I_1$ 、第二测量信号 $I_2$ 以及带电大气颗粒的尺寸分布的推断的平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 推断颗粒数浓度 $N$ 。在基于测量信号 $I_1$ 和 $I_2$ 推断 $d_{p,av}$ 的值之后推断 $N$ 的过程是可能的,因为在扩散充电的条件下,数学乘积 $N*d_{p,av}$ 与 $I_1$ 成比例(参见方程3)。因此,当 $I_1$ 和 $d_{p,av}$ 二者已知时,推断 $N$ 变得可能。

[0060] 根据依照本发明的设备的一个实施例,该设备被设置成表征带电大气颗粒,这些带电大气颗粒主要为直径在5-500nm尺寸范围内,更优选地在10-300尺寸范围内的带电超微颗粒。

[0061] 依照本发明的一个实施例,顺次地在连续时刻 $t_k, t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ 产生一系列第一测量信号 $I_1(t_k), I_1(t_{k+2}), I_1(t_{k+4}), \dots$ 和一系列第二测量信号 $I_2(t_{k+1}), I_2(t_{k+3}), I_2(t_{k+5}), \dots$ , $k$ 代表整数。数据求值单元被设置成在产生了第一测量信号 $I_1$ 或第二测量信号 $I_2$ 时的每个时刻 $t_k, t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ 推断带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 。

[0062] 此外,本发明的一个关键方面在于,在时间 $t=t_k$ 处利用仅仅时间 $t_{k-1}$ 处的先前的最近推断值 $d_{p,av}(t_{k-1})$ 进行检查以便发现依照方程2基于仅仅最后测量的传感器信号组 $I_1$ 和 $I_2$ (即基于组 $(I_1(t_k), I_2(t_{k-1}))$ 或者组 $(I_1(t_{k-1}), I_2(t_k))$ ),这取决于 $t=t_k$ 时测量的是传感器信号 $I_1(t_k)$ 还是传感器信号 $I_2(t_k)$ 的(临时)推断值 $d_{p,av}(t_k)$ 与 $d_{p,av}(t_{k-1})$ 是否按超过预定义的量 $f(f>1)$ 或者 $1/f$ 不同。如果情况不是这样,那么将最终值 $d_{p,av}(t_k)$ 设置为等于依照方程2从测量的信号 $(I_1(t_{k-1}), I_2(t_k))$ 或者从 $(I_2(t_{k-1}), I_1(t_k))$ 推断的临时推断值 $d_{p,av}(t_k)$ ,这对于其中空气污染特性随着时间保持相当恒定的静态情形是有效的。然而,如果情况如此,那么拒绝临时获得的值 $d_{p,av}(t_k)$ 并且最终值 $d_{p,av}(t_k)$ 只允许与 $d_{p,av}(t_{k-1})$ 按有限的量 $f$ 或 $1/f$ 不同,这分别取决于临时确定的 $d_{p,av}(t_k)>d_{p,av}(t_{k-1})$ 还是临时确定的 $d_{p,av}(t_k)<d_{p,av}(t_{k-1})$ 。基于 $d_{p,av}(t_k)$ 的此时确定的最终值,求取值 $N(t_k)$ 。这个过程进一步通过下面的“详细的示例性

实施例”下描述的算法说明。

[0063] 依照本发明的一个可替换的实施例,在不损害推断数据的准确度的情况下,使得特定时间跨度期间推断的数据组( $d_{p,av}$ ,  $N$ )的数量尽可能大。本发明的这个方面通过推断其中获得传感器信号 $I_1(t_k)$ 或传感器信号 $I_2(t_k)$ 的任何时间 $t_k$ 的数据组( $d_{p,av}(t_k)$ ,  $N(t_k)$ )来实现。所述确定依照下面描述的算法来完成。因此,可以从传感器信号组( $I_1(t_{k-1})$ ,  $I_2(t_k)$ )或者从组( $I_2(t_{k-1})$ ,  $I_1(t_k)$ )推断数据组( $d_{p,av}(t_k)$ ,  $N(t_k)$ )。

[0064] 本发明的另一关键方面在于,与向超微颗粒污染的暴露(其与颗粒长度浓度 $L = N * d_{p,av}$ 成比例)关联的相对健康风险也在其中获得传感器信号 $I_1(t_k)$ 或传感器信号 $I_2(t_k)$ 的每个时间 $t_k$ 确定。根据在 $t_k$ 还是在 $t_{k-1}$ 处测量 $I_1$ 的最后值,分别将时间 $t_k$ 的该健康风险设置成与传感器信号 $I_1(t_k)$ 或传感器信号 $I_1(t_{k-1})$ 成比例。因此,在确定任何时刻与向UFP空气污染暴露关联的健康风险中不涉及平均。

[0065] 详细的示例性实施例:

[0066] 在不希望受限于任何特定过程或理论的情况下,下面更详细地解释所述设备的示例性方法和实施例。求值单元29被设置成推断穿过设备的采样的空气流中带电大气颗粒的尺寸分布的颗粒数浓度 $N$ 和平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 。事实上,依照WO W02007/000710 A2中描述的现有技术,图1a中的基本传感器允许依照下式求 $\Phi = \Phi^*$ 时 $N$ 、 $d_{p,av}$ 和 $L$ 的值

$$[0067] \quad N = S_N(I_1 - I_2) \quad \text{方程6}$$

$$[0068] \quad d_{p,av} = S_{dp} \frac{I_1}{I_1 - I_2} \quad \text{方程7}$$

$$[0069] \quad L = N d_{p,av} = S_N S_{dp} I_1 \quad \text{方程8}$$

[0070] 如果在其中测量一对顺次测量的信号 $I_1$ 和 $I_2$ 的时间段期间存在关于带电大气颗粒的尺寸分布的特性的基本上平稳的条件。 $S_N$ 和 $S_{dp}$ 代表校准的或计算的恒定比例因子。

[0071] 在当前实施例中,为了改善存在瞬态条件时给定 $L$ 值(其可以依照方程3从仅仅 $I_1$ 的测量结果获得)处 $N$ 和 $d_{p,av}$ 的推断值的准确度,在其中于时间 $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ 、……处顺次记录一串传感器电流测量结果 $I_1(t_0)$ 、 $I_2(t_1)$ 、 $I_1(t_2)$ 、 $I_2(t_3)$ 、……、 $I_1(t_k)$ 、 $I_2(t_{k+1})$ 、 $I_1(t_{k+2})$ 、 $I_2(t_{k+3})$ 、……的整个测量历史期间,通过求值单元29执行下面的协议。

[0072] 现在,定义下列参数:

[0073]  $d_{p,0}$ ,其是预定义的参考颗粒直径并且其优选地被选择成使得 $20 \text{ nm} \leq d_{p,0} \leq 100 \text{ nm}$ ,

[0074]  $I_{1,ref}$ ,其是预定义的参考测量信号,具有优选地设置为0-10fA范围内的值的数值幅度,

[0075]  $f$ ,其为大于1的预定义参数,优选地 $1.001 \leq f \leq 1.1$ 。

[0076] 现在,可以通过考虑并且明确纠正所有种类的测量不准确度的以下示例性过程获得随着时间的推移多组结果( $d_{p,av}(t_1)$ ,  $N(t_1)$ ,  $L(t_1)$ )、( $d_{p,av}(t_2)$ ,  $N(t_2)$ ,  $L(t_2)$ )、( $d_{p,av}(t_3)$ ,  $N(t_3)$ ,  $L(t_3)$ )、……的有意义的值。

[0077] 传感器仪器接通之后立即获得的第一组测量结果( $I_1(t_0)$ ,  $I_2(t_1)$ )依照以下描述的可以在限制模式下或者在自由模式下执行的方程和条件组得到 $t=t_1$ 时的推断数据组

$(d_{p,av}(t_1), N(t_1), L(t_1))$ 。选取自由模式还是限制模式的选择必须由设备的用户做出。

[0078] 当在 $t=t_0$ 和 $t=t_1$ 处预期存在关于大气带电颗粒的尺寸分布的特性的瞬态条件时, 优选地选择限制模式。

[0079] 在当 $t=t_0$ 和 $t=t_1$ 处预期大气带电颗粒的尺寸分布的特性保持相对恒定时所有其他情况下, 优选地选择自由模式。

[0080] 限制模式

[0081] 如果  $I_1(t_0) \leq I_2(t_1) \rightarrow d_{p,av}(t_1) = d_{p,0}$

$$[0082] \quad N(t_1) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_0)}{d_{p,av}(t_1)}$$

$$[0083] \quad L(t_1) = S_N S_{dp} I_1(t_0)$$

[0084] 如果  $I_1(t_0) \leq I_{1,ref} \rightarrow d_{p,av}(t_1) = d_{p,0}$

$$[0085] \quad N(t_1) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_0)}{d_{p,av}(t_1)}$$

$$[0086] \quad L(t_1) = S_N S_{dp} I_1(t_0)$$

[0087] 否则, 如果  $\frac{1}{f} \leq \frac{S_{dp} I_1(t_0)}{(I_1(t_0) - I_2(t_1)) d_{p,0}} \leq f \rightarrow d_{p,av}(t_1) = \frac{S_{dp} I_1(t_0)}{(I_1(t_0) - I_2(t_1))}$

$$[0088] \quad N(t_1) = S_N (I_1(t_0) - I_2(t_1))$$

$$[0089] \quad L(t_1) = S_N S_{dp} I_1(t_0)$$

[0090] 如果  $\frac{S_{dp} I_1(t_0)}{(I_1(t_0) - I_2(t_1)) d_{p,0}} < \frac{1}{f} \rightarrow d_{p,av}(t_1) = \frac{1}{f} d_{p,0}$

$$[0091] \quad N(t_1) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_0)}{d_{p,av}(t_1)}$$

$$[0092] \quad L(t_1) = S_N S_{dp} I_1(t_0)$$

[0093] 如果  $\frac{S_{dp} I_1(t_0)}{(I_1(t_0) - I_2(t_1)) d_{p,0}} > f \rightarrow d_{p,av}(t_1) = f d_{p,0}$

$$[0094] \quad N(t_1) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_0)}{d_{p,av}(t_1)}$$

$$[0095] \quad L(t_1) = S_N S_{dp} I_1(t_0)$$

[0096] 只要 $I_1(t_0) > 0$  fA, 则用于第一测量的限制模式总是得到第一组结果 $(d_{p,av}(t_1), N_1(t_1), L(t_1))$ 。

[0097] 自由模式

[0098] 如果  $I_1(t_0) \leq I_2(t_0) \rightarrow d_{p,av}(t_1) = d_{p,0}$

$$[0099] \quad N(t_1) = \frac{S_N S_{\Phi} I_1(t_0)}{d_{p,av}(t_1)}$$

$$[0100] \quad L(t_1) = S_N S_{\Phi} I_1(t_0)$$

[0101] 如果  $I_1(t_0) \leq I_{1,ref} \rightarrow d_{p,av}(t_1) = d_{p,0}$

$$[0102] \quad N(t_1) = \frac{S_N S_{\Phi} I_1(t_0)}{d_{p,av}(t_1)}$$

$$[0103] \quad L(t_1) = S_N S_{\Phi} I_1(t_0)$$

$$[0104] \quad \text{否则 } d_{p,av}(t_1) = \frac{S_{\Phi} I_1(t_0)}{(I_1(t_0) - I_2(t_1))}$$

$$[0105] \quad N(t_1) = S_N (I_1(t_0) - I_2(t_1))$$

$$[0106] \quad L(t_1) = S_N S_{\Phi} I_1(t_0)$$

[0107] 只要  $I_1(t_0) > 0$  fA, 则这总是得到第一组结果 ( $d_{p,av}(t_1)$ ,  $N_1(t_1)$ ,  $L(t_1)$ )。

[0108] 对于  $N$ 、 $d_{p,av}$  和  $L$  的第二组和后续组的推断数据, 如下所述依照限制模式实现所述算法。

[0109] 依照所述方程和条件组从传感器信号 ( $I_1(t_2)$ ,  $I_2(t_1)$ ) 获得第二组推断数据 ( $d_{p,av}(t_2)$ ,  $N(t_2)$ ,  $L(t_2)$ ):

[0110] 如果  $I_1(t_2) \leq I_2(t_1) \rightarrow d_{p,av}(t_2) = d_{p,av}(t_1)$

$$[0111] \quad N(t_2) = \frac{S_N S_{\Phi} I_1(t_2)}{d_{p,av}(t_2)}$$

$$[0112] \quad L(t_2) = S_N S_{\Phi} I_1(t_2)$$

[0113] 如果  $I_1(t_2) \leq I_{1,ref} \rightarrow d_{p,av}(t_2) = d_{p,av}(t_1)$

$$[0114] \quad N(t_2) = \frac{S_N S_{\Phi} I_1(t_2)}{d_{p,av}(t_2)}$$

$$[0115] \quad L(t_2) = S_N S_{\Phi} I_1(t_2)$$

$$[0116] \quad \text{否则, 如果 } \frac{1}{f} \leq \frac{S_{\Phi} I_1(t_2)}{(I_1(t_2) - I_2(t_1)) d_{p,av}(t_1)} \leq f \rightarrow d_{p,av}(t_2) = \frac{S_{\Phi} I_1(t_2)}{(I_1(t_2) - I_2(t_1))}$$

$$[0117] \quad N(t_2) = S_N (I_1(t_2) - I_2(t_1))$$

$$[0118] \quad L(t_2) = S_N S_{dp} I_1(t_2)$$

$$[0119] \quad \text{如果} \frac{S_{dp} I_1(t_2)}{(I_1(t_2) - I_2(t_1)) d_{p,av}(t_1)} < \frac{1}{f} \rightarrow d_{p,av}(t_2) = \frac{1}{f} d_{p,av}(t_1)$$

$$[0120] \quad N(t_2) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_2)}{d_{p,av}(t_2)}$$

$$[0121] \quad L(t_2) = S_N S_{dp} I_1(t_2)$$

$$[0122] \quad \text{如果} \frac{S_{dp} I_1(t_2)}{(I_1(t_2) - I_2(t_1)) d_{p,av}(t_1)} > f \rightarrow d_{p,av}(t_2) = f d_{p,av}(t_1)$$

$$[0123] \quad N(t_2) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_2)}{d_{p,av}(t_2)}$$

$$[0124] \quad L(t_2) = S_N S_{dp} I_1(t_2)。$$

[0125] 更一般地, 当在  $t=t_k$  ( $k>1$ ) 处测量传感器信号  $I_1(t_k)$  时, 依照以下所述获得数据  $d_{p,av}(t_k)$ 、 $N(t_k)$  和  $L(t_k)$

$$[0126] \quad \text{如果} I_1(t_k) \leq I_2(t_{k-1}) \rightarrow d_{p,av}(t_k) = d_{p,av}(t_{k-1})$$

$$[0127] \quad N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_k)}{d_{p,av}(t_k)}$$

$$[0128] \quad L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_k)$$

$$[0129] \quad \text{如果} I_1(t_k) \leq I_{1,rct} \rightarrow d_{p,av}(t_k) = d_{p,av}(t_{k-1})$$

$$[0130] \quad N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_k)}{d_{p,av}(t_k)}$$

$$[0131] \quad L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_k)$$

$$[0132] \quad \text{否则, 如果} \frac{1}{f} \leq \frac{S_{dp} I_1(t_k)}{(I_1(t_k) - I_2(t_{k-1})) d_{p,av}(t_{k-1})} \leq f \rightarrow d_{p,av}(t_k) = \frac{S_{dp} I_1(t_k)}{(I_1(t_k) - I_2(t_{k-1}))}$$

$$[0133] \quad N(t_k) = S_N (I_1(t_k) - I_2(t_{k-1}))$$

$$[0134] \quad L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_k)$$

$$[0135] \quad \text{如果} \frac{S_{dp} I_1(t_k)}{(I_1(t_k) - I_2(t_{k-1})) d_{p,av}(t_{k-1})} < \frac{1}{f} \rightarrow d_{p,av}(t_k) = \frac{1}{f} d_{p,av}(t_{k-1})$$

$$[0136] \quad N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_k)}{d_{p,av}(t_k)}$$

[0137]  $L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_k)$

[0138] 如果  $\frac{S_{dp} I_1(t_k)}{(I_1(t_k) - I_2(t_{k-1})) d_{p,av}(t_{k-1})} > f \rightarrow d_{p,av}(t_k) = f d_{p,av}(t_{k-1})$

[0139]  $N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_k)}{d_{p,av}(t_k)}$

[0140]  $L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_k)$ 。

[0141] 可替换地, 当在  $t=t_k$  处测量传感器信号  $I_2(t_k)$  时, 依照以下所述获得数据  $d_{p,av}(t_k)$  和  $N(t_k)$

[0142] 如果  $I_1(t_{k-1}) \leq I_2(t_k) \rightarrow d_{p,av}(t_k) = d_{p,av}(t_{k-1})$

[0143]  $N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})}{d_{p,av}(t_k)}$

[0144]  $L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})$

[0145] 如果  $I_1(t_{k-1}) \leq I_{1,ref} \rightarrow d_{p,av}(t_k) = d_{p,av}(t_{k-1})$

[0146]  $N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})}{d_{p,av}(t_k)}$

[0147]  $L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})$

[0148] 否则, 如果  $\frac{1}{f} \leq \frac{S_{dp} I_1(t_{k-1})}{(I_1(t_{k-1}) - I_2(t_k)) d_{p,av}(t_{k-1})} \leq f \rightarrow d_{p,av}(t_k) = \frac{S_{dp} I_1(t_{k-1})}{(I_1(t_{k-1}) - I_2(t_k))}$

[0149]  $N(t_k) = S_N (I_1(t_{k-1}) - I_2(t_k))$

[0150]  $L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})$

[0151] 如果  $\frac{S_{dp} I_1(t_{k-1})}{(I_1(t_{k-1}) - I_2(t_k)) d_{p,av}(t_{k-1})} < \frac{1}{f} \rightarrow d_{p,av}(t_k) = \frac{1}{f} d_{p,av}(t_{k-1})$

[0152]  $N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})}{d_{p,av}(t_k)}$

[0153]  $L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})$

[0154] 如果  $\frac{S_{dp} I_1(t_{k-1})}{(I_1(t_{k-1}) - I_2(t_k)) d_{p,av}(t_{k-1})} > f \rightarrow d_{p,av}(t_k) = f d_{p,av}(t_{k-1})$

$$[0155] \quad N(t_k) = \frac{S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})}{d_{p,av}(t_k)}$$

$$[0156] \quad L(t_k) = S_N S_{dp} I_1(t_{k-1})。$$

[0157] 上面的过程大大降低了特定时间段期间推断值 $d_{p,av}$ 的随机分散性,并且同时使得N的推断值更加可靠,同时就暴露关联风险L的评估而言保持不造成损害。

[0158] 其中依照本发明的设备的实施例合适的应用的实例是例如环境监控、职业暴露测量、研究仪器和颗粒过滤测试仪器。

[0159] 尽管在所述附图和前面的描述中已经详细地图示和描述了本发明,但是这样的图示和描述应当被认为是说明性或示例性的,而不是限制性的;本发明并不限于所公开的实施例。本领域技术人员在实施要求保护的本发明时,根据对于所述附图、本公开内容以及所附权利要求书的研究,应当能够理解并实现所公开实施例的若干变型。在权利要求书中,措词“包括/包含”并没有排除其他的元件,并且不定冠词“一”并没有排除复数。在相互不同的从属权利要求中列出特定技术措施这一事实并不意味着这些技术措施的组合不可以加以利用。权利要求中的任何附图标记都不应当被视为对范围的限制。

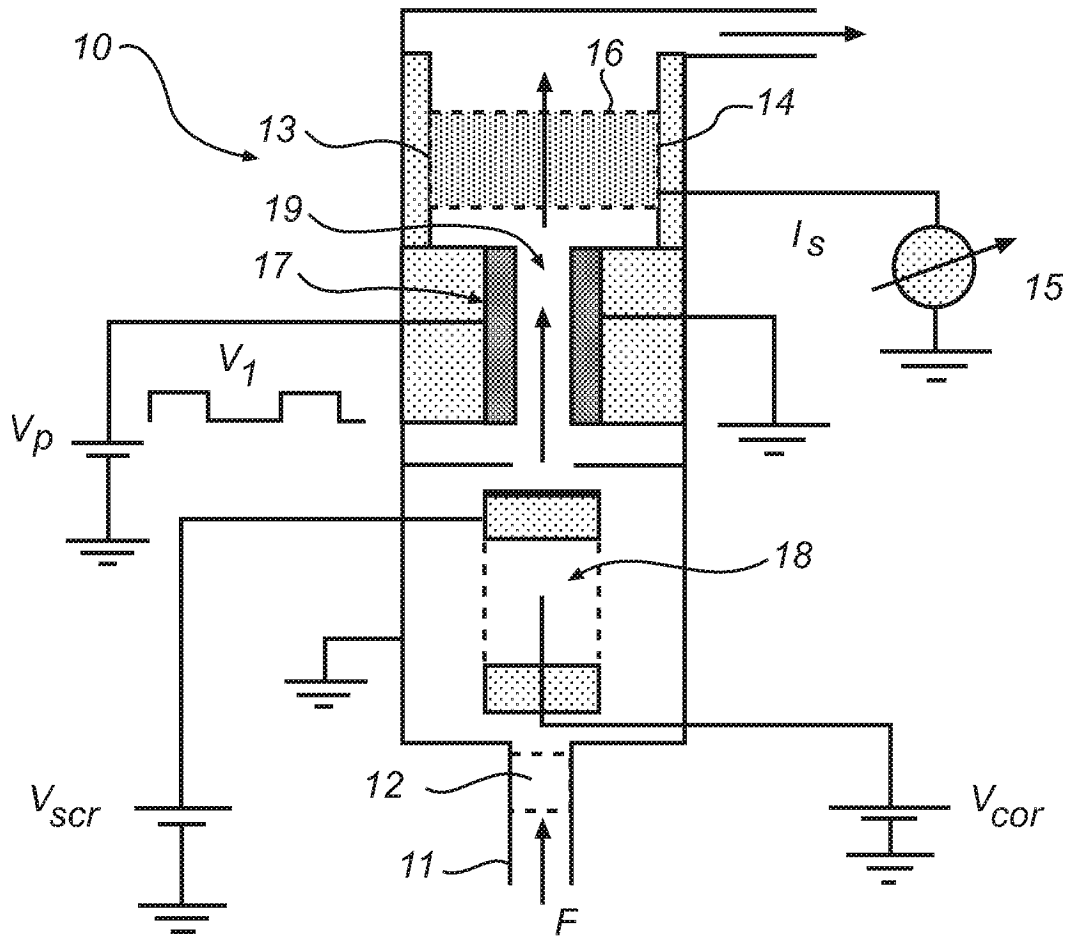


图 1a

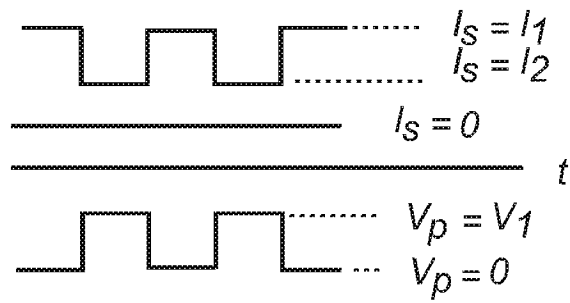


图 1b

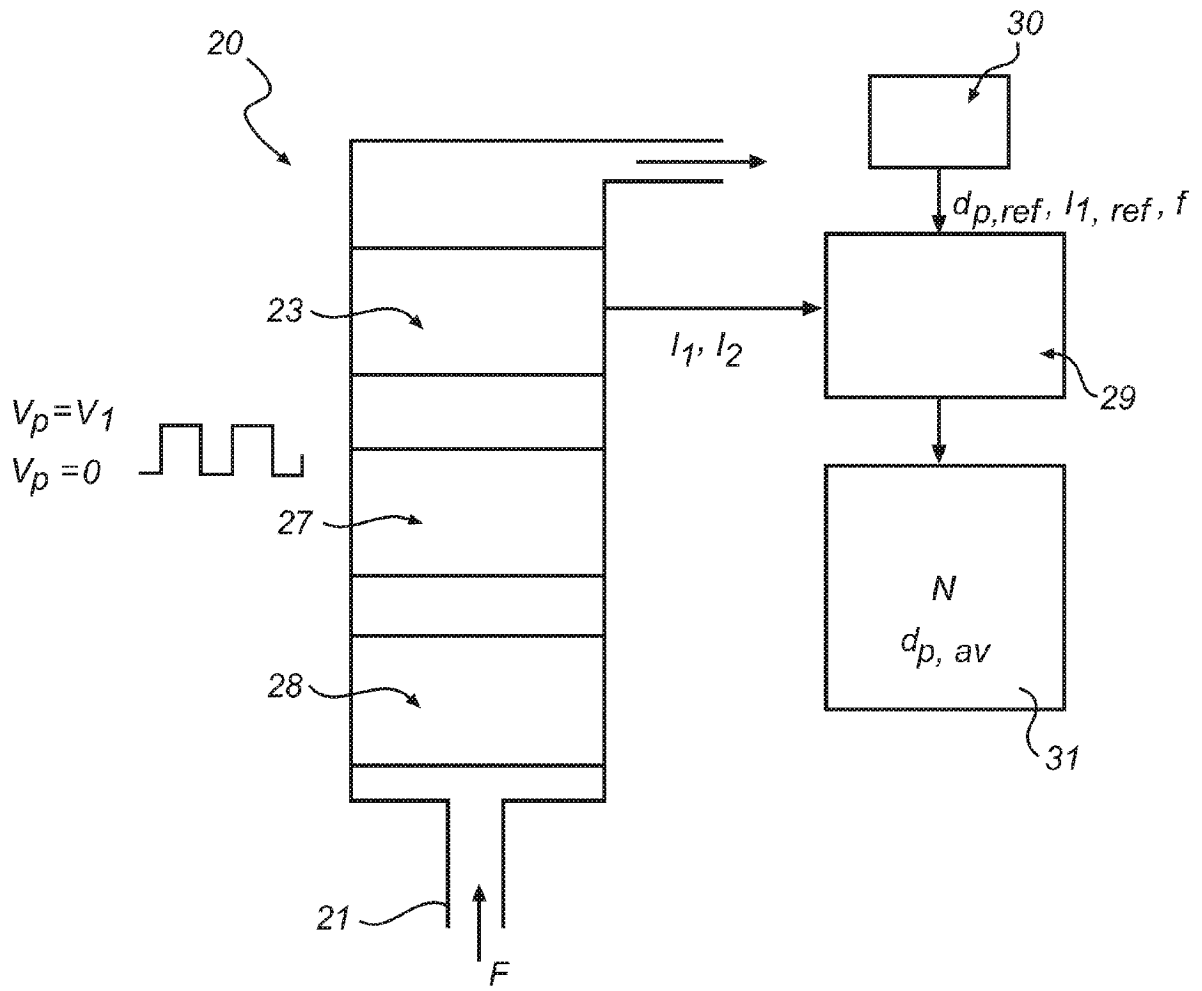


图 2