



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111183344 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 05

(21) 申请号 201880062820.X

(22) 申请日 2018.09.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111183344 A

(43) 申请公布日 2020.05.19

(30) 优先权数据
102017217374.2 2017.09.29 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.03.26

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2018/076401 2018.09.28

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/063761 DE 2019.04.04

(73) 专利权人 英福康有限责任公司
地址 德国科隆

(72) 发明人 丹尼尔·维茨格

(74) 专利代理机构 深圳中一联合知识产权代理有限公司 44414

代理人 王丽

(51) Int.Cl.
G01M 3/20 (2006.01)
G01M 3/22 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2005150274 A1, 2005.07.14
US 2005150274 A1, 2005.07.14
US 5469732 A, 1995.11.28
CN 101040179 A, 2007.09.19
CN 101553720 A, 2009.10.07
CN 106153265 A, 2016.11.23
CN 101622531 A, 2010.01.06
CN 106706216 A, 2017.05.24

审查员 唐松柏

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

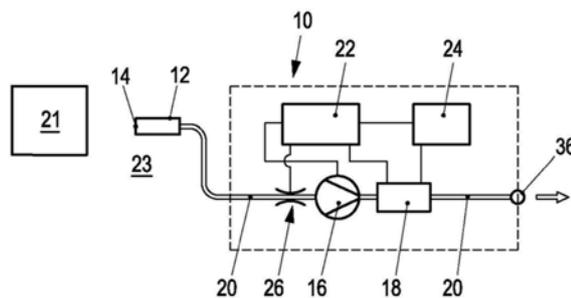
(54) 发明名称

用于区分从泄漏中逸出的测试气体与干扰气体的装置和方法

(57) 摘要

一种用于在嗅探泄漏检测期间从测试对象(21)的环境中的干扰气体中区分出从测试对象(21)泄漏逸出的测试气体的方法,该方法具有以下步骤:通过嗅探尖端在所述测试对象(21)的外表面区域从所述测试对象的环境中吸入气体,其中,所述嗅探尖端具有吸气口(14),所述吸气口与传感器(18)连接以进行气体传导,所述传感器被设计用于确定所吸入气流中所述测试气体的测试气体分压;周期性重复地改变所述吸入气流的气流强度;将所述传感器(18)处的所述吸入气体的总压力设置为所述测试对象(21)周围的大气(23)中气体总压力的至少80%;避免所述传感器(18)处所述吸入气体的所述总压力的波动超过10%;通过所述传感器(18)测量所述吸入气流中所含测试气体的所述测试气体分压;以及如果

测得的测试气体分压具有变化的分量,其平均幅度大于阈值并且遵循所述吸入气流的变化,则表明测试对象(21)有泄漏。



1. 一种用于在嗅探泄漏检测期间从测试对象的环境里的干扰气体中区分出从测试对象中泄漏逸出的测试气体的方法,该方法具有以下步骤:

通过嗅探尖端在所述测试对象的外表面区域从所述测试对象的环境中吸入气体,其中,所述嗅探尖端具有吸气口,所述吸气口与传感器连接以进行气体传导,所述传感器被设计用于确定所吸入气流中所述测试气体的测试气体分压;

周期性重复地改变所述吸入气流的气流强度;

将所述传感器处的所述吸入气体的总压力设置为所述测试对象周围的大气中气体总压力的至少80%;

避免所述传感器处所述吸入气体的所述总压力的波动超过10%;

通过所述传感器测量所述吸入气流中所含测试气体的所述测试气体分压;以及

如果测得的测试气体分压具有变化的分量,所述变化的分量的平均幅度大于阈值并且遵循所述吸入气流的变化,则表明测试对象存在泄漏。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,如果所测量的测试气体成分不具有超过所述阈值的分量,则提供不存在泄漏的指示。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述吸入气流的气流强度的周期性地重复的变化,以具有在1Hz至20Hz范围内的调制频率的调制形式发生。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,将所述传感器处的所述吸入气流的总压力设置为在所述测试对象的大气中的总压力的90%至110%之间的值。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,根据具有限定的频率参考和相位参考的锁相放大器用于调制所述吸入气流的原理,对所述吸入气流的调制的气流强度信号进行解调。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在不改变所述吸入气流的气流强度的情况下,还对所述测试气体分压进行比较测量。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述嗅探尖端的区域中,围绕所述测试对象的大气中的总压力为在900mbar至1100mbar的范围内的大气压。

8. 一种用于执行前述权利要求中任一项所述的方法的嗅漏探测器,具有:

嗅探器,所述嗅探器具有吸气口;

气泵;

传感器,所述传感器确定待检测的测试气体的测试气体分压;

气体管线路径,所述气体管线路径连接所述吸气口、所述传感器和所述气泵;

控制设备,其被设计用于反复地改变吸入气流的气流强度,以将所述传感器(18)处的所述吸入气流的总压力设置为所述测试对象周围大气中气体总压力的至少80%,并避免所述传感器处的气体总压力波动超过10%;以及

评估设备,其被设计用于确定所述吸入气流中包含的所述测试气体的所述测试气体分压是否具有变化的分量,所述变化的分量的平均幅度大于阈值,并且所述分量遵循所述吸入气流的变化。

9. 根据权利要求8所述的嗅漏探测器,其特征在于,所述传感器设置在所述气泵的下游。

10. 根据权利要求8所述的嗅漏探测器,其特征在于,所述气体管线路径在所述吸气口

和所述传感器之间具有节流阀。

11. 根据权利要求10所述的嗅漏探测器, 其特征在于, 所述节流阀是毛细管, 所述毛细管具有2cm至100cm之间的长度以及5毫米的最大直径。

用于区分从泄漏中逸出的测试气体与干扰气体的装置和方法

[0001] 本发明涉及一种用于在嗅探泄漏检测期间将从测试对象的泄漏中逸出的测试气体与在测试对象的环境中的干扰气体区分开的方法。本发明还涉及相应的嗅探泄漏检测器。

[0002] 在嗅探泄漏检测期间,待进行测试泄漏的测试对象充满了测试气体,例如氦气或 CO_2 ,并对其施加压力,该压力大于测试对象周围的外部大气的压力。如果存在泄漏,则测试气体会从测试对象中逸出,并可在测试对象的外部环境中进行测量。为此,用嗅探器测试外部环境,特别是测试对象的外表面。

[0003] 嗅探器具有用于吸入气流的吸气口。吸气口通过气体管线路径连接到传感器以及产生气流的气泵。该传感器被设计用于检测吸入气流中测试气体的测试气体分压。

[0004] 测试气体分压是测试气体压力在吸入和输送的气体混合物的整个压力中的一部分。典型的测试气体分压传感器是气体分析仪,例如质谱仪/质谱仪或红外辐射吸收测量池。

[0005] 当测试测试对象的环境中是否存在测试气体时,存在以下困难:测试对象周围的大气可能具有与测试气体的气体成分相同或者提供与测试气体相同的测量信号的气体成分。这些气体成分在这里称为干扰气体,因为它们会使测量值失真并干扰泄漏检测。例如,待测试的测试对象可以是填充有 CO_2 作为冷却剂的热交换器。 CO_2 充当测试气体。 CO_2 可能以操作嗅探器的人的呼吸气体的形式,也可能以内燃机的废气形式,存在于测试对象的环境中。此外,在使用红外吸收法或质谱检测法检测测试气体的过程中,可能存在对来自测试对象环境的相似或相同气体的交叉敏感性。

[0006] 通常,使用具有两个单独的吸气口的嗅探器,将从泄漏中逸出的测试气体与测试对象环境中的干扰气体区分开。一个吸气口吸入测试气体,另一个吸气口在距吸气口一定距离处提供参考测量。测试对象环境中的气体成分是否存在测试气体。例如在EP1342070B1和EP22384422B1中描述了这种检漏器。由于用于测试气体检测和用于参考测量的两个吸气口之间的距离,用于参考测量的气体不会在测试气体吸入的位置被吸收,这会对测量结果产生负面影响。

[0007] 在这种背景下,本发明的基本目的是在嗅探泄漏检测期间改善从测试对象的泄漏逸出的测试气体与测试对象的环境中的干扰气体之间的区别。

[0008] 在测试气体泄漏指示器中的质谱仪在EP7050738B1和DE4408877A1已知。质谱仪调节通过进气口的气流,以便抑制干扰质谱仪真空泵的因素。所描述的测试气体泄漏指示器是为真空操作而设计的,并不适合作为在大气环境压力下操作的嗅探泄漏检测器。气体检测器处的气体的总压力与输送的气体与吸气的气体流量之比成比例。因此,不可能评估所测得的测试气体分压是源于来自测试对象环境的干扰气体还是源于从测试对象的泄漏中逸出的测试气体。相反,只能消除来自测量系统内部的干扰,例如,由于后备泵吸力的波动所引起的干扰。

[0009] 本发明提供了一种用于在嗅探泄漏检测期间从测试对象的环境里的干扰气体中区分出从测试对象中泄漏逸出的测试气体的方法,该方法具有以下步骤:

[0010] 通过嗅探尖端在所述测试对象的外表面区域从所述测试对象的环境中吸入气体，其中，所述嗅探尖端具有吸气口，所述吸气口与传感器连接以进行气体传导，所述传感器被设计用于确定所吸入气流中所述测试气体的测试气体分压；

[0011] 周期性重复地改变所述吸入气流的气流强度；

[0012] 将所述传感器处的所述吸入气体的总压力设置为所述测试对象周围的大气中气体总压力的至少80%；

[0013] 避免所述传感器处所述吸入气体的所述总压力的波动超过10%；

[0014] 通过所述传感器测量所述吸入气流中所含测试气体的所述测试气体分压；以及

[0015] 如果测得的测试气体分压具有变化的分量，所述变化的分量的平均幅度大于阈值并且遵循所述吸入气流的变化，则表明测试对象存在泄漏。

[0016] 本发明还提供了一种用于执行前述方法的嗅漏探测器，所述嗅漏探测器具有：

[0017] 嗅探器，所述嗅探器具有吸气口；

[0018] 气泵；

[0019] 传感器，所述传感器确定待检测的测试气体的测试气体分压；

[0020] 气体管线路径，所述气体管线路径连接所述吸气口、所述传感器和所述气泵；

[0021] 控制设备，其被设计用于反复地改变吸入气流的气流强度，以将所述传感器(18)处的所述吸入气流的总压力设置为所述测试对象周围大气中气体总压力的至少80%，并避免所述传感器处的气体总压力波动超过10%；以及

[0022] 评估设备，其被设计用于确定所述吸入气流中包含的所述测试气体的所述测试气体分压是否具有变化的分量，所述变化的分量的平均幅度大于阈值，并且所述分量遵循所述吸入气流的变化。

[0023] 本发明基于这样的概念，即，周期性重复地改变通过吸气口吸入到嗅探器中的气流的气流强度，同时保持被嗅探器吸入的气体的总压力在传感器处尽可能恒定。应避免总压力波动超过10%。此外，在嗅探器区域内，测试对象环境中的气体总压力约为大气压，传感器的总压力应当优选地设置为嗅探器区域中测试对象的环境中总压力的至少80%。在该区域中，气流和气压之间的关系近似线性。假设传感器处的总压力的可忽略不计的波动最大为10%，则传感器测量到的测试气体分压与吸入气流中的测试气体浓度之间的关系大致描述如下：

$$[0024] \quad P_{\text{测试气体}} = \left(\frac{Q_{\text{泄漏}}}{Q_{\text{流量}}} + c_0 \right) \cdot P_{\text{总}}$$

[0025] 其中， $P_{\text{测试气体}}$ 是使用传感器测得的测试气体分压， $P_{\text{总}}$ 是传感器处的总压力， $Q_{\text{泄漏}}$ 是通过泄漏的气体流量(泄漏率)， $Q_{\text{流量}}$ 是传感器处的气体流量，并且 c_0 是测试对象周围大气中的测试气体浓度(干扰气体)。

[0026] 当存在小到可以忽略不计的泄漏气体流量时，也就是说，由测试对象泄漏导致的测试气体流量很小，则导致测试气体分压几乎恒定的，其变化可以忽略不计。具体而言，如果没有从泄漏中逸出测试气体，则测试气体分压是由干扰气体的恒定浓度产生的，该干扰气体与测试气体一致，或者至少与测试气体类似(例如在红外吸收过程中)，并且其存在于测试对象周围的大气中。但是，如果用嗅探器抽吸从测试对象的泄漏中逸出的测试气流，则周期性重复地改变所抽吸的气流的强度，会导致在传感器处的测试气体分压的分量的周期

性重复地改变。

[0027] 为了确定测试气体是从测试对象的泄漏中逸出还是来自测试对象周围的大气,对吸入气流进行测试以确定所测的测试气体分压是否具有变化的分量,其中,该变化的分量的平均幅度大于阈值,即不可忽略,并且遵循吸入气流的变化,即,例如,变化的测试气体分压分量的频率对应于吸入的气体流量的变化的气流强度的频率。如果变化的测试气体分压分量大于阈值,则表明测试对象存在泄漏。评估设备然后指示测试对象存在泄漏。如果未发现变化的测试气体分压分量,或者如果变化的测试气体分压分量小于测量阈值,则表明测试对象不存在泄漏,而是测试气体来自围绕测试对象的大气,因此为干扰气体。然后可以指示测试对象不存在泄漏。

[0028] 吸入气流中测试气体的浓度 c 对于泄漏率 $Q_{\text{泄漏}}$ 和流量 $Q_{\text{流量}}$,其中, $Q_{\text{泄漏}} \ll Q_{\text{流量}}$,以及对于存在于测试对象周围大气中的测试气体浓度 c_0 (干扰气体)的关系体现为以下公式:

$$[0029] \quad c = \frac{Q_{\text{泄漏}}}{Q_{\text{流量}}} (1 - C_0) + C_0。$$

[0030] 从该关系可以看出,如果泄漏率可以忽略不计,即测试对象没有泄漏或泄漏很小,则 $c = c_0$ 。然后,吸入气体流中的测试气体浓度就是测试对象周围大气中的测试气体浓度 c_0 (由干扰气体引起)。

[0031] 如果存在泄漏率 $Q_{\text{泄漏}}$,则周期性重复变化的所吸入气体的气流强度,导致周期性重复变化的流量 $Q_{\text{流量}}(t)$ 。然后,产生随流量周期性变化的交替分量和对应于测试对象周围大气中测试气体浓度 c_0 的恒定分量,得出测试气体浓度。

[0032] 考虑到关系式 $p_{\text{测试}} = c \cdot p_{\text{总}}$,确定测试气体的测试气体分压的传感器测量的测试气体分压,该测试气体分压具有恒定的分量 $c_0 \cdot p_{\text{总}}$ 以及变化的分量 $\frac{Q_{\text{泄漏}}}{Q_{\text{流量}}}(t) \cdot p_{\text{总}}$,其随吸入气流的流量而变化。

[0033] 由此可见,传感器处的吸入气流的总压力 $p_{\text{总}}(t)$ 尽可能恒定对于本发明来说具有重要意义,因为几乎恒定的测试气体成分,即测试气体只有在测试对象中没有泄漏或泄漏量很小的情况下,才产生其波动小于预定义阈值的分量。

[0034] 根据要单独执行的校准确定阈值。最小的可检测泄漏应引起分压变化,该变化要大于周围环境中测试气体浓度不可避免的分压波动。

[0035] 传感器处的吸入气流的总压力 $p_{\text{总}}$ 应该优选地在嗅探器区域内围绕测试对象的大气中的总压力的90%至110%之间。这可以是大气压力,也就是说,测试对象暴露于大气中,并且其内部的压力大于大气压,而在嗅探泄漏检测器的传感器处,总压力保持在大气压的90至110%的范围内。其也应具有可以忽略不计的波动,即变化应小于10%。

[0036] 可以利用调制频率和调制相位来调制所吸入气流的气流强度的测量信号。可以根据具有限定的频率参考和相位参考的锁相放大器的原理来对调制后的气流强度信号进行解调。该频率参考和相位参考是对气流强度信号的调制的。频率参考和相位参考意味着解调频率和解调相位是调制频率和相位的倍数。

[0037] 可以进行额外的比较测量,在该比较测量中,所吸入气流的气流强度不是周期性地变化,而是保持恒定,以便能够确定在测试对象周围的大气中的测试气体分压。用于调制吸入气流的气流强度的调制频率优选地在1Hz-20Hz的范围内,并且优选地在3Hz-10Hz的范

围内。

[0038] 在本发明的嗅探泄漏检测器中,气体传导路径可以是气体管线,其连接嗅探器的吸气口、传感器以及气泵。传感器被设计为用于确定在吸入气流中要检测的测试气体的测试气体分压。气泵产生抽吸气体所需的气压。控制设备设计成可反复改变吸入气流的气流强度,并防止在传感器处的气体总压力波动超过10%。设计评估设备,以测量和确定吸入气流中包含的测试气体的测试气体分压是否具有变化的分量,该变化的分量的平均幅度大于上述阈值,并且遵循吸入气流的变化。例如,如果测试气体分压的变化分量的频率对应于变化的气流的频率并且相位与气流调制的相位具有固定的相关性,则可能发生这种情况。

[0039] 控制设备优选地被设计用于将传感器处的吸入气流的总压力设置为测试对象周围的气体的总压力的80%左右,优选为90%至110%之间,的范围内的值。在该范围内,气体流量和气体压力之间的关系近似线性。另外,控制设备应当被设计成根据已知的测试泄漏来确定泄漏气体流量。

[0040] 例如,通过将传感器布置在气泵的下游,可以抑制或减小传感器处的气体总压力的波动。替代地或附加地,在吸气口和传感器之间的气体管线路径可以具有节流阀。为了减少气流的波动,控制设备可以控制气泵的流速或速度和/或改变节流阀的进入准许或流阻。节流阀可以是,例如,具有约2cm到约1m的长度以及约为5mm的最大直径,的毛细管,但是,也可以使用更长的毛细管。

[0041] 下面借助附图详细解释本发明的示例性实施例。

[0042] 图1是第一示例性实施例的示意图;

[0043] 图2是第二示例性实施例的示意图;

[0044] 图3是第三示例性实施例的示意图;

[0045] 图4示出了对于各种直径的气流路径,所吸入气流量与传感器处的压力的关系曲线;

[0046] 图5是图4的细节;

[0047] 图5示出了第四示例性实施例;

[0048] 图7示出了第五示例性实施例;以及

[0049] 图8示出了第六示例性实施例。

[0050] 图1至图3的三个示例性实施例中的嗅探泄漏检测器10中的每一个均以常规方式经由气体管线路径20连接至具有吸气口14的嗅探器12。气泵16沿着气体管线路径20布置,该气泵16产生从围绕测试对象21的大气23中吸入气体所需的气压。

[0051] 此外,以常规气体管线形式的气体管线路径20将泵16连接至紧邻泵16的下游设置的传感器18。传感器18被设计用于测量吸入气流中测试气体的分压。传感器18可以是,例如,红外吸收比色杯。重要的是,传感器18被设计用于确定接近大气压或者大气压的90%至110%的测试对象分压。测试气体分压是测试气体在吸入气流的气体混合物中的分量。因此,不能用压力传感器来测量测试气体的分压。压力传感器仅测量气体混合物的总压力。

[0052] 一旦吸入的气流已经流过传感器18,气体管线路径20就会通过出口36将气流引出到大气中。

[0053] 气体管线路径20可以具有节流阀26。如图1所示,节流阀26可以布置在气泵16的上游。控制设备22与气泵电连接以控制气泵16。例如,控制设备22可以被设计用于控制气泵16

的速度。图1示出了控制设备22也可以被连接到节流阀26,以便改变节流阀26的进入准许。另外,控制设备可以与传感器18电连接。

[0054] 评估设备24与传感器18电连接,以便处理和评估测量信号。评估设备24被设计用于确定所吸入气流中包含的测试气体的测试气体分压是否具有变化的分量。评估设备24尤其可以检验测试气体分压的变化分量是否具有大于阈值的平均幅度。另外,评估设备24可以确定测试气体分压的变化分量是否由吸入气流的变化引起。如果变化的测试气体分压分量的频率对应于变化的气流的频率或该频率的倍数,则为该种情况。

[0055] 为此,评估设备24可以连接至控制设备22。控制设备22例如以改变泵速的方式来改变吸入气流的气流强度。这可以例如根据锁相放大器的原理以调制的形式来实现。评估设备24可以将变化的测试气体分压的频率与吸入气流的调制频率进行比较。

[0056] 评估设备24还被设计成在校准的框架中确定具有已知泄漏率的已知泄漏的泄漏流量。

[0057] 第一示例性实施例中的控制设备22还被设计成将在传感器18的区域中吸入的气流的总压力设置为围绕测试对象21的大气23中的气体总压力的至少约90-110%。如将在下面参考图5解释的那样,在该压力范围内的气体流量和气体压力之间的关系是近似线性的。可以通过控制气泵16的速度和/或通过控制节流阀26的进入准许来设置传感器18处的吸入气流的总压力。

[0058] 示例性实施例涉及直接布置在气泵16下游的传感器。通过这种布置,减小了传感器18处的气体总压力的波动。然而,或者,也可以将传感器18布置在气泵16的上游,即位于嗅探器12和气泵16之间。

[0059] 图2中的示例性实施例与图1中的示例性实施例的区别在于,在气泵16的上游设置有可经由控制设备22控制的可控阀28,以便改变气体管线路径20的管线横截面。可控阀28优选地布置在节流阀26与气泵16之间。通过使用可控阀28改变气管路径20的横截面,能够变化(change),尤其是改变(vary)气体管线20的进入准许。在第二实施例中,以此方式反复改变吸入气流的气流强度。

[0060] 第三示例性实施例与第二示例性实施例的区别在于,旁路管线30桥接在嗅探器12和气泵16之间,尤其是节流阀26,的气体管线路径20。旁路30设有节流阀34,其进入准许比节流阀26的进入准许要大。旁路管线30具有可控阀32,该可控阀32与控制设备22电连接以控制该可控阀32。当阀32的进入准许增大时,被桥接的气体管线路径20中的气流减小。当阀32的进入准许减小时,被桥接的气体管线路径20中的气流增加。以这种方式,可以使用旁路管线30中的控制设备22和可控阀32来改变所吸入气流的气流强度。

[0061] 节流阀26可以是长度为约2cm至约10cm,最大直径约5毫米的毛细管。在图4和5中,对于不同直径的体现为毛细管的节流阀26,相对水平轴(横坐标)上以mbar (mbar) 为单位的压力,在垂直轴(纵坐标)上以sccn(标准立方cm每分钟, cm^3/min) 绘制所得的气体流量。在水平轴线上绘制的压力 P_2 的情况下,压力 P_2 在传感器18的区域中在气泵16下游的气体管线路径20内。测试对象21的环境23中的环境压力为:1013mbar(大气压)。在这种情况下,应将大气压理解为可以在约900mbar至约1100mbar。

[0062] 图4示出了用于节流阀26的毛细管的各种直径d在0mbar与1000mbar之间的范围内的自设定气体流量的曲线。毛细管的长度为5cm。图5示出了根据图4的在950和1015mbar之

间的压力范围内曲线。从图5可以看出,当压力为至少950mbar时,气体流量与气体压力之间的关系近似线性。因此,根据本发明,有利的是,将传感器18处的吸入气流的总压力设置为在测试对象21的环境中的总压力的约90%至110%之间的范围内的值。从根本上讲特别重要地是,总压力的变化可以忽略不计,从而引起流量的重大变化。

[0063] 由于传感器低压的轻微变化,例如长度为5cm、直径为3mm的毛细管的985mbar至1000mbar,因此流量以100sccn到50sccn的因数2发生变化。该方面不同于例如在DE4408877A/EP7050738B1中描述的在真空区域中的应用。如果传感器18处的压力 P_2 非常低,例如真空泄漏检测器的情况,则例如0.1mbar到50mbar的压力变化对气流的影响很小。

[0064] 测试对象21中的典型泄漏会导致 $1 \cdot 10^4$ mbar \cdot l/s的泄漏气体流量。所吸入气流的流量或气流强度在120sccm和12sccm之间的范围内以6Hz的调制频率进行调制。通过调制频率,总压力在1000mbar和950mbar之间波动。环境浓度 c_0 可以是400ppm。50mbar的总压力波动相对较高。然而,由总压力波动引起的分压力波动很小,因此,与由流量调制引起的分压的变化分量相比,可以忽略不计。实际上,总压力的波动甚至远低于50mbar。

[0065] 根据图6的示例性实施例与根据图1的示例性实施例的区别在于,气泵16并未布置在节流阀26与传感器18之间的气体管线路径20上,而是布置在气体中嗅探器12和节流阀26之间(即节流阀26上游)的气体管线路径20上。

[0066] 图7中的示例性实施例与图2中的示例性实施例的区别在于,气泵16并未布置在阀28和传感器18之间,而是,像图6的示例性实施例那样,布置在节流阀26的上游。

[0067] 对于根据图8的示例性实施例也是如此,其中气泵16并未布置在节流阀26和阀32的并联回路和传感器18之间,而是布置在节流阀26和34的并联回路的上游的气体管线路径20上。

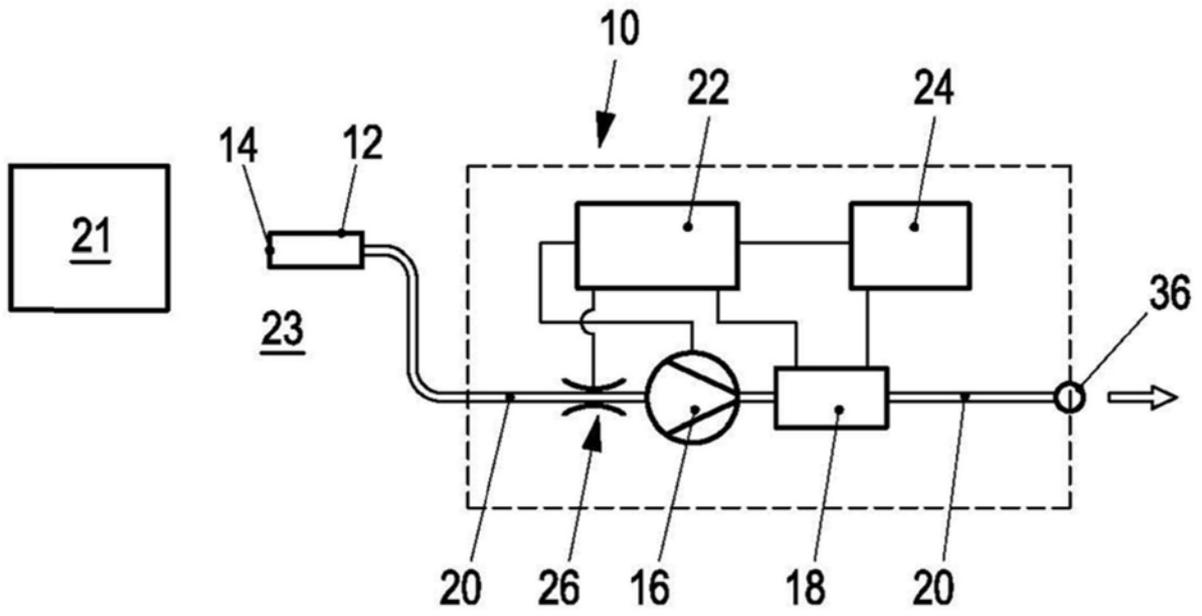


图1

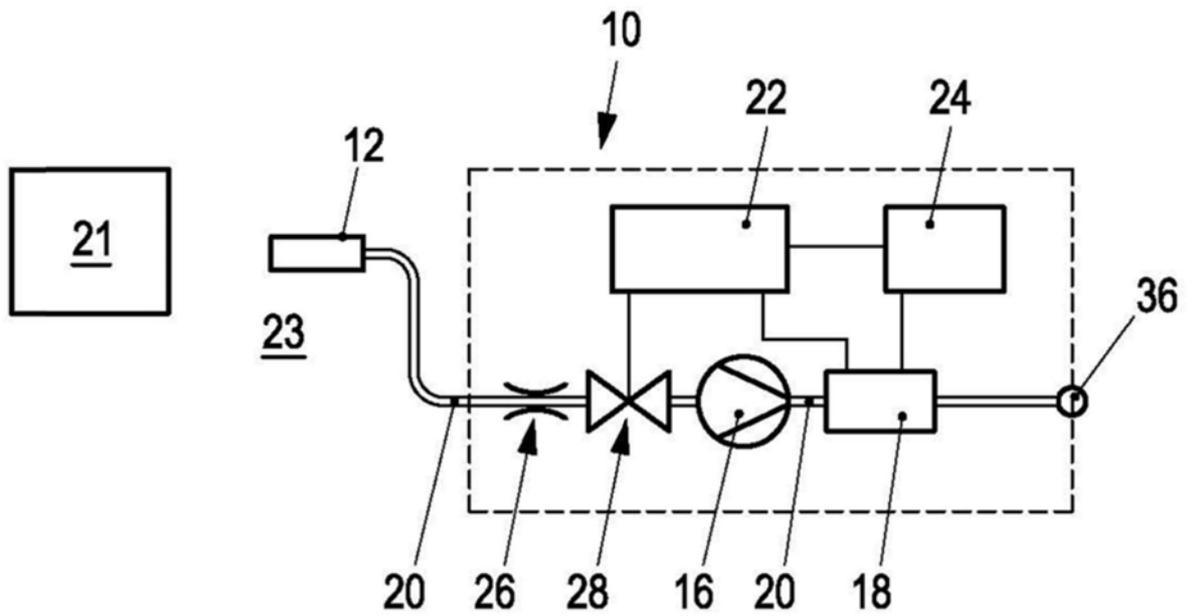


图2

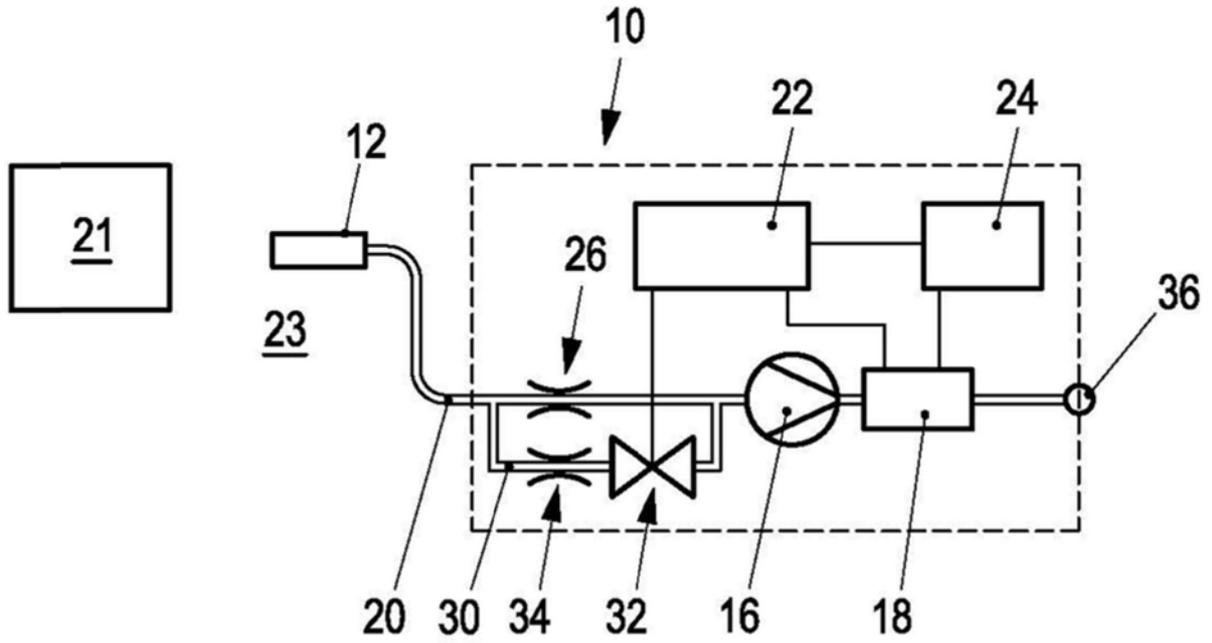


图3

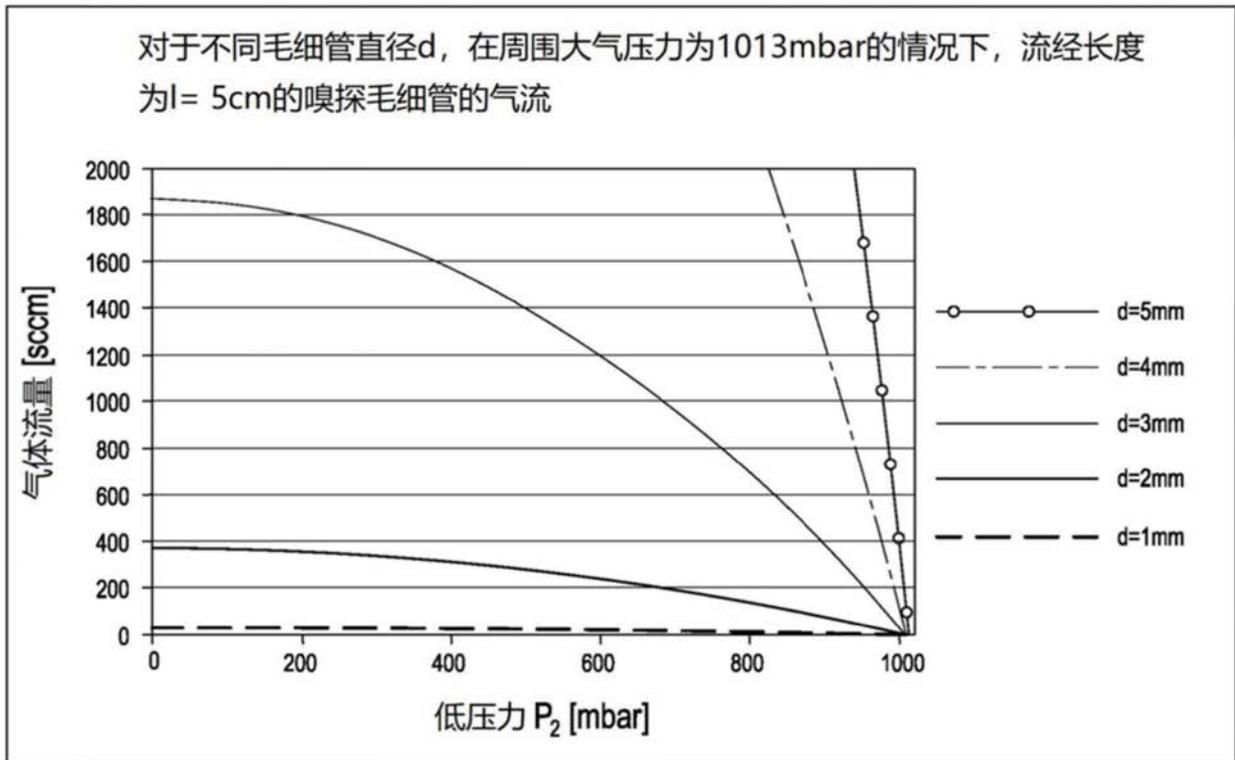


图4

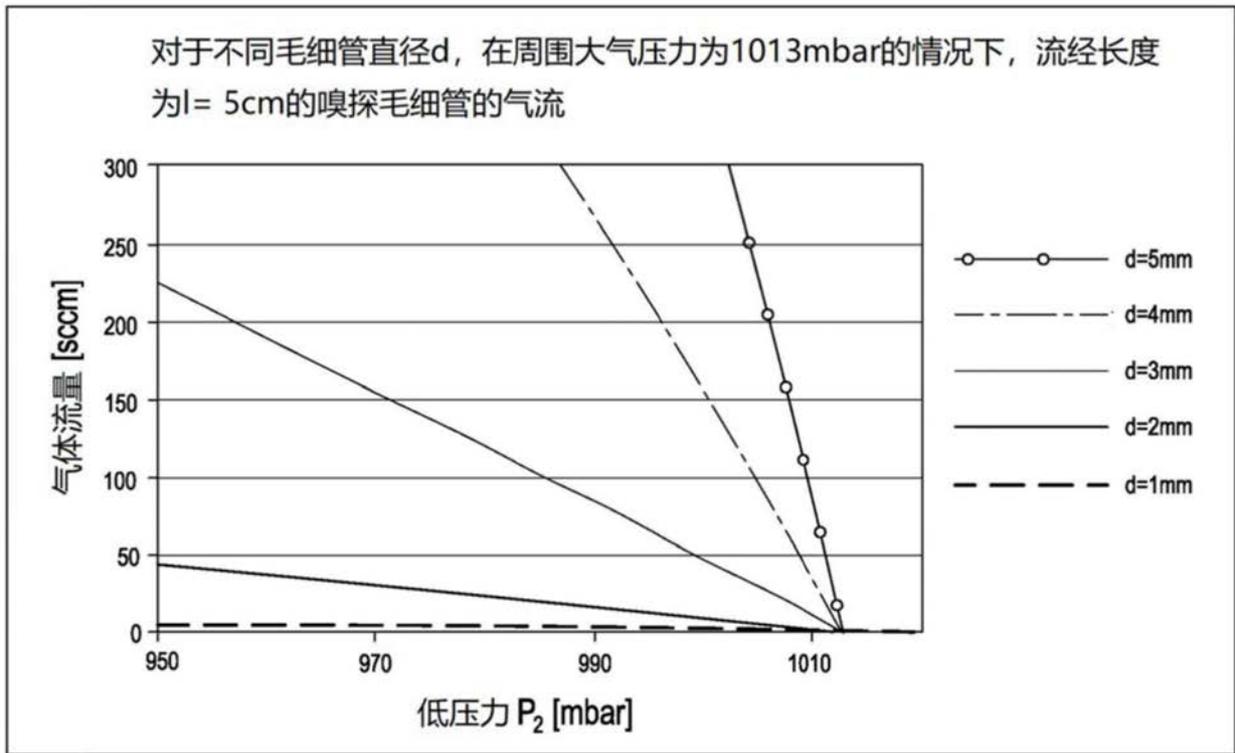


图5

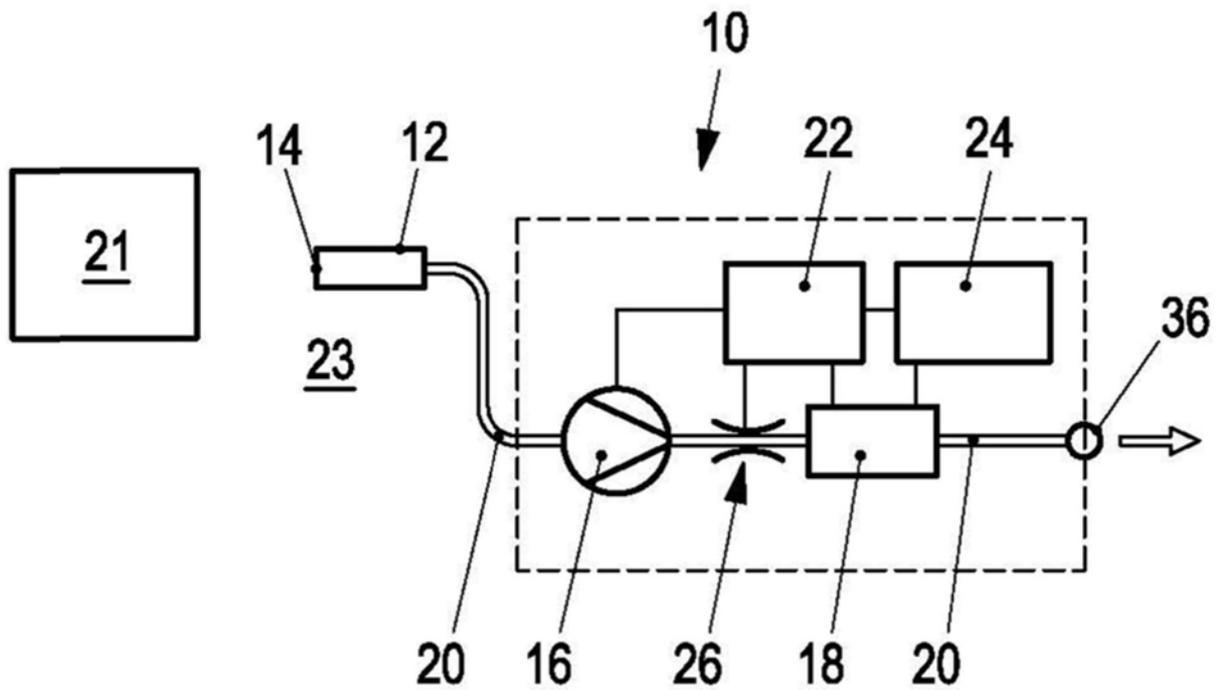


图6

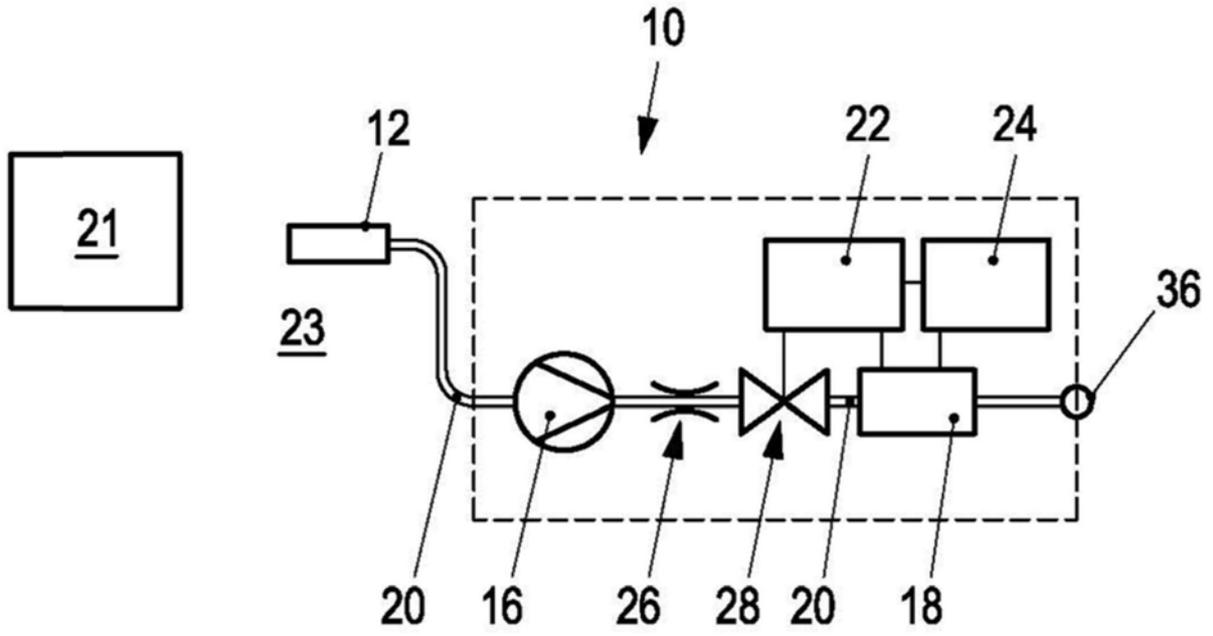


图7

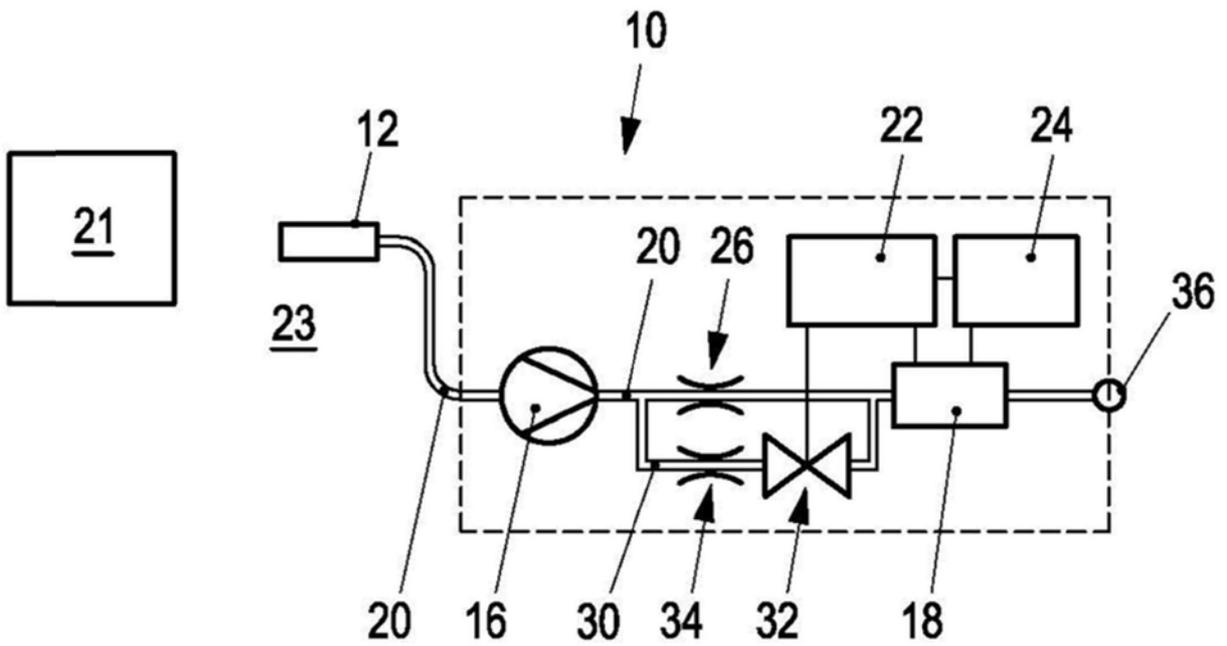


图8