



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115406838 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 29

(21) 申请号 202210984442.9

(22) 申请日 2022.08.17

(71) 申请人 山西大学

地址 030006 山西省太原市坞城路92号

(72) 发明人 武红鹏 冯超凡 董磊

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

专利代理师 韩雪梅

(51) Int. Cl.

G01N 21/17 (2006.01)

G01N 21/01 (2006.01)

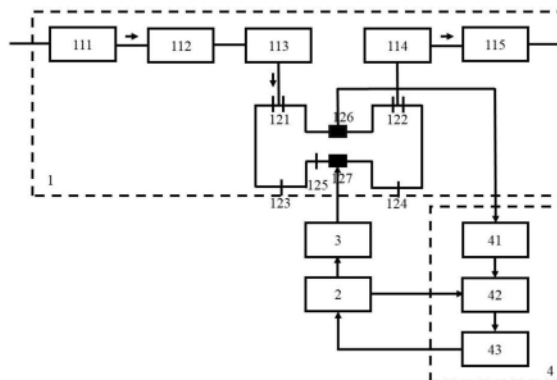
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法,包括:探测模块、声源驱动模块和数据采集及处理模块;探测模块包括共振光声池,共振光声池内腔壁上设有声波信号发生机构、声波信号收集机构、进气口和出气口,进气口连接进气管路,出气口连接出气管路,声源驱动模块包括函数发生器和声波发生驱动器,当共振光声池通入待测气体后,数据采集及处理模块基于采集的声波信号和函数发生器输出的频率信号生成声波-频率响应曲线,确定共振频率,根据共振频率和气体浓度的函数关系计算待测气体浓度。本发明解决基于传统光声光谱技术检测气体浓度时的效率低以及成本高的问题。



1. 一种基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,包括:探测模块、声源驱动模块和数据采集及处理模块;

所述探测模块包括共振光声池;所述共振光声池的内腔壁上设有声波信号发生机构和声波信号收集机构;所述共振光声池还设有进气口和出气口;所述进气口连接进气管路,所述出气口连接出气管路;

所述声源驱动模块包括函数发生器和声波发生驱动器;

所述函数发生器的信号输入端连接所述数据采集及处理模块;所述函数发生器的信号输出端连接所述声波发生驱动器的信号输入端,所述声波发生驱动器的信号输出端连接所述声波信号发生机构的信号输入端;所述声波信号收集机构的信号输出端连接所述数据采集及处理模块的信号输入端;

所述数据采集及处理模块,用于当所述共振光声池通入待测气体后,基于采集的声波信号和所述函数发生器输出的频率信号生成的声波信号-频率响应曲线确定共振频率,并根据共振频率和气体浓度的函数关系计算待测气体浓度。

2. 根据权利要求1所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述进气管路上设有第一针阀、气路压力显示计和气路流量显示计;所述出气管路上设有第二针阀;

所述第一针阀和所述第二针阀,用于调节气体管路内气体的压强和流量。

3. 根据权利要求2所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述出气管路上还设有真空隔膜泵。

4. 根据权利要求1所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述数据采集及处理模块包括前置放大器、锁相放大器和控制器;

所述前置放大器的信号输入端连接所述声波信号收集机构的信号输出端,所述前置放大器的信号输出端连接所述锁相放大器的信号输入端,所述锁相放大器的信号输出端连接所述控制器的信号输入端,所述控制器的信号输出端连接所述函数发生器的信号输入端;所述锁相放大器的同步信号输入端与所述函数发生器的同步信号输出端连接;

所述前置放大器,用于将所述声波信号收集机构输出的声波信号放大;

所述锁相放大器,用于对所述前置放大器输出的放大声波信号进行解调。

5. 根据权利要求1所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述声波信号发生机构设于所述共振光声池的内腔中心位置对应的腔壁上。

6. 根据权利要求1所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述声波信号发生机构和所述声波信号收集机构分别设于所述共振光声池的内腔中心位置对应的腔壁上。

7. 根据权利要求5或6所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述声波信号收集机构与所述声波信号发生机构沿所述共振光声池的轴线对称。

8. 根据权利要求1所述的基于光声池的气体浓度检测装置,其特征在于,所述共振光声池包括一阶纵模共振光声池;

所述一阶纵模共振光声池中包括第一缓冲室、第二缓冲室、声学谐振腔、所述声波信号发生机构、所述声波信号接收机构;

所述第一缓冲室和所述第二缓冲室设于所述声学谐振腔两侧且与所述声学谐振腔连通;所述第一缓冲室上设有所述进气口;所述第二缓冲室上设有所述出气口;

所述声波信号发生机构和所述声波信号接收机构分别设于所述声学谐振腔的中心位置对应的内腔壁上,且所述声波信号发生机构和所述声波信号收集机构沿所述共振光声池的轴线对称。

9. 根据权利要求1-8任一项所述的气体检测装置的气体浓度检测方法,其特征在于,包括:

将待测气体通入共振光声池,利用进气管路上的第一针阀和出气管路上的第二针阀调整所述共振光声池内气体的压强和流速直至保持稳定;

控制函数发生器输出不同频率的方波驱动声波信号发生机构产生不同频率的声波信号;

控制声波信号收集机构收集所述共振光声池内的不同频率的所述声波信号并将所述声波信号转化为电信号;

根据声波电信号和所述函数发生器输出的频率绘制声波电信号-频率曲线图;根据所述声波电信号-频率曲线图获取共振光声池的共振频率并根据共振频率和气体浓度的函数关系计算待测气体浓度。

10. 根据权利要求9所述的气体检测装置的气体浓度检测方法,其特征在于,所述根据声波电信号和所述函数发生器输出的频率绘制声波电信号-频率曲线图,具体包括:

设置扫描频率范围和扫描步进;

基于所述扫描步进扫描所述扫描频率范围内的所述声波电信号并生成所述声波电信号-频率曲线图;

判断所述声波电信号-频率曲线图中的曲线变化趋势是否为持续上升或持续下降;

若是,则增大所述扫描频率范围,并重新扫描所述声波信号收集机构输出的所述声波电信号;

若否,则输出当前所述声波电信号-频率曲线图,其中电信号最大处对应的频率值即为光声池的共振频率。

一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及气体检测技术领域,特别是涉及一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法。

背景技术

[0002] 当今世界在科学技术不断发展前进的同时,也产生了各种毒害气体的排放,这些问题严重困扰了人们的正常生活,因此气体浓度高精度检测技术在各领域有着日趋重要的地位。例如,在大气科学和环境监测领域,由于温室气体排放的日益增加,严重破坏了当前的生态环境,因此需要对大气痕量气体浓度进行实时监测,防止进一步的恶化。对于煤炭化工企业,气体浓度高精度检测的需求更是显而易见,通过对生产过程中产生毒害气体浓度的检测,控制其达到国家安全排放标准。气体浓度高灵敏检测技术目前已广泛应用于工业过程控制、医学诊断、大气科学和环境监测等不同领域。

[0003] 目前市面上有多种气体浓度检测方法,其中包括电化学传感方法、傅里叶红外光谱技术、化学发光法等,然而这些方法存在不能实时检测、需经常校准等问题,相对于这些气体浓度检测方法,当前应用最为广泛的是基于激光光谱技术的痕量气体检测技术,其具有高灵敏度、高选择性、响应时间快等特点。光声光谱技术作为激光光谱技术的一种,通过探测气体基于光声效应产生的声波信号实现气体浓度的检测,其测量原理为:首先测量光声池的共振频率,然后调整激光器的调制频率和锁相放大器的解调频率与共振频率严格一致,然后激光器向光声池中发射激光,激光与待测气体相互作用产生频率等于激光调制频率的光声信号,然后采用声电换能器收集光声池中的声波信号,最后通过构建激光波长和声波信号的强度曲线图进而计算光声池中气体的浓度。传统光声光谱技术存在一大技术难题限制其推广应用:在传统光声光谱技术中,当光声池内气体的组分或浓度变化时,光声池的共振频率会随之改变,如果不及时对激光器的调制频率和锁相放大器的解调频率进行修订,将会使基于这一技术的传感器测量结果失真,从而造成传感器失效。因此,对传统光声光谱技术而言,需要对光声池的共振频率进行实时校准,且需要基于校准获得的光声池实时共振频率反复校准激光器的调制频率和锁相放大器的解调频率。上述校准及调节过程造成传统光声光谱技术测量气体浓度检测过程的复杂繁琐,影响气体浓度检测的效率。并且传统光声光谱技术中面临需要依据探测目标气体选择合适激光器的问题,而激光器成本通常占总成本50%以上,使得气体浓度检测的成本高,限制了传统光声光谱技术在气体浓度高灵敏检测领域的应用与发展。为解决上述科学技术难题,本发明提供一种基于光声池且无需激光器的的气体浓度实时检测装置及方法。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法,解决基于传统光声光谱技术检测气体浓度时的效率低以及成本高的问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

- [0006] 一种基于光声池的气体浓度检测装置,包括:
- [0007] 探测模块、声源驱动模块和数据采集及处理模块。
- [0008] 所述探测模块包括共振光声池;所述共振光声池的内腔壁上设有声波信号发生机构和声波信号收集机构;所述共振光声池还设有进气口和出气口;所述进气口连接进气管路,所述出气口连接出气管路。
- [0009] 所述声源驱动模块包括函数发生器和声波发生驱动器。
- [0010] 所述函数发生器的信号输入端连接所述数据采集及处理模块;所述函数发生器的信号输出端连接所述声波发生驱动器的信号输入端,所述声波发生驱动器的信号输出端连接所述声波信号发生机构的信号输入端;所述声波信号收集机构的信号输出端连接所述数据采集及处理模块的信号输入端。
- [0011] 所述数据采集及处理模块,用于当所述共振光声池通入待测气体后,基于采集的声波信号和所述函数发生器输出的频率信号生成的声波-频率响应曲线确定共振频率,根据所述共振频率计算待测气体浓度。
- [0012] 可选的,所述进气管路上设有第一针阀、气路压力显示计和气路流量显示计;所述出气管路上设有第二针阀;所述第一针阀和所述第二针阀,用于调节气体管路内气体的压强和流量。
- [0013] 可选的,所述出气管路上还设有真空隔膜泵。
- [0014] 可选的,所述数据采集及处理模块包括前置放大器、锁相放大器和控制器;所述前置放大器的信号输入端连接所述声波信号收集机构的信号输出端,所述前置放大器的信号输出端连接所述锁相放大器的信号输入端,所述锁相放大器的信号输出端连接所述控制器的信号输入端,所述控制器的信号输出端连接所述函数发生器的信号输入端;所述锁相放大器的同步信号输入端与所述函数发生器的同步信号输出端连接。
- [0015] 所述前置放大器,用于将所述声波信号收集机构输出的声波信号放大。
- [0016] 所述锁相放大器,用于对所述前置放大器输出的放大声波信号进行解调。
- [0017] 可选的,所述声波信号发生机构设于所述共振光声池的内腔中心位置对应的腔壁上。
- [0018] 可选的,所述声波信号发生机构和所述声波信号收集机构分别设于所述共振光声池的内腔中心位置对应的腔壁上。
- [0019] 可选的,所述声波信号收集机构与所述声波信号发生机构沿所述共振光声池的轴线对称。
- [0020] 可选的,所述共振光声池包括一阶纵模共振光声池。
- [0021] 所述一阶纵模共振光声池中包括第一缓冲室、第二缓冲室、声学谐振腔、所述声波信号发生机构、所述声波信号接收机构。
- [0022] 所述第一缓冲室和所述第二缓冲室设于所述声学谐振腔两侧且与所述声学谐振腔连通;所述第一缓冲室上设有所述进气口;所述第二缓冲室上设有所述出气口。
- [0023] 所述声波信号发生机构和所述声波信号接收机构分别设于所述声学谐振腔的中心位置对应的内腔壁上,且所述声波信号发生机构和所述声波信号收集机构沿所述共振光声池的轴线对称。
- [0024] 本发明还提供了一种基于光声池的气体浓度检测装置的气体浓度检测方法,包

括：

[0025] 将待测气体通入共振光声池，利用进气管路上的第一针阀和出气管路上的第二针阀调整所述共振光声池内气体的压强和流速直至保持稳定。

[0026] 控制函数发生器输出不同频率的方波驱动声波信号发生机构产生不同频率的声波信号。

[0027] 控制声波信号收集机构收集所述共振光声池内的所述声波信号并将所述声波信号转化为电信号。

[0028] 根据声波电信号和所述函数发生器输出的频率绘制声波电信号-频率曲线图；根据所述声波电信号-频率曲线图获取共振光声池的共振频率并根据所述共振频率计算待测气体浓度。

[0029] 可选的，所述根据声波电信号和所述函数发生器输出的频率绘制声波电信号-频率曲线图，具体包括：

[0030] 设置扫描频率范围和扫描步进。

[0031] 基于所述扫描步进扫描所述扫描频率范围内的所述声波电信号并生成所述声波电信号-频率曲线图。

[0032] 判断所述声波电信号-频率曲线图中的曲线变化趋势是否为持续上升或持续下降。

[0033] 若是，则增大所述扫描频率范围，并重新扫描所述声波信号收集机构输出的所述声波电信号。

[0034] 若否，则输出当前所述声波电信号-频率曲线图。

[0035] 根据本发明提供的具体实施例，公开了以下技术效果：

[0036] 本发明提供了一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法，包括：探测模块、声源驱动模块和数据采集及处理模块；探测模块包括共振光声池，共振光声池内腔壁上设有声波信号发生机构、声波信号收集机构、进气口和出气口，进气口连接进气管路，出气口连接出气管路，声源驱动模块包括函数发生器和声波发生驱动器；当共振光声池通入待测气体后，数据采集及处理模块基于采集的声波信号和函数发生器输出的频率信号生成声波-频率响应曲线，确定共振频率，根据共振频率计算待测气体浓度。本发明通过在共振光声池内腔壁上设置声波信号发生机构和声波信号收集机构，从而获取不同声波频率下的频率-声波信号曲线图，基于曲线图能够准确确定光声池的共振频率，进而根据共振频率与气体浓度之间的函数关系准确的确定光声池内气体浓度。气体浓度检测过程中，仅根据共振频率与气体浓度之间的函数关系确定气体浓度，无需传统光声光谱技术中对共振频率进行频繁的实时校准以及激光器调制频率和锁相放大器解调频率的频繁实时校准，大大提高气体浓度检测的效率，同时由于不需要用到激光器，降低气体浓度检测所需的成本，也极大提升了装置长时间运行的稳定性。

附图说明

[0037] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获

得其他的附图。

[0038] 图1为本发明实施例1提供的基于一阶纵模共振光声池的气体检测浓度装置结构示意图；

[0039] 图2为本发明实施例1提供的三种共振模式的光声池示意图；

[0040] 图3为本发明中实施例2提供的输出频率响应曲线图；

[0041] 图4为本发明实施例2提供的实验测量结果与公式计算结果对比图。

[0042] 附图标记：

[0043] 1-探测模块,111-第一针阀,112-气体压力显示计,113-气体流量显示计,114-第二针阀,115-真空隔膜泵,121-进气口,122-出气口,123-第一缓冲室,124-第二缓冲室,125-声学谐振腔,126-声波信号收集机构,127-声波信号发生机构,2-函数发生器,3-声波发生驱动器,4-数据采集及处理模块,41-前置放大器,42-锁相放大器,43-控制器。

具体实施方式

[0044] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0045] 本发明的目的是提供一种基于光声池的气体浓度检测装置及方法,通过在共振光声池内腔壁上设置声波信号发生机构和声波信号收集机构,从而获取不同声波频率下的频率-声波信号曲线图,基于曲线图准确确定光声池的共振频率,进而根据共振频率与气体浓度之间的函数关系准确的确定光声池内气体浓度。气体浓度检测过程中,仅根据共振频率与气体浓度之间的函数关系确定气体浓度,无需传统光声光谱技术中对共振频率进行频繁的实时校准以及激光器调制频率和锁相放大器解调频率的频繁实时校准,大大提高气体浓度检测的效率,同时由于不需要用到激光器,极大提升了装置长时间运行的稳定性,也极大的降低了气体浓度检测所需的成本。

[0046] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明

[0047] 实施例1

[0048] 本实施例提供了一种基于光声池的气体浓度检测装置,参见图1,包括:探测模块1、声源驱动模块和数据采集及处理模块4。

[0049] 其中,探测模块1包括共振光声池;共振光声池的内腔壁上设有声波信号发生机构127和声波信号收集机构126。其中,声波信号收集机构126用于采集声波信号发生机构127输出的声波信号并转化为电信号。声波信号发生机构127在共振光声池中无位置限定,如图2分别示出了三种共振模式下的光声池结构中。

[0050] 在图2中,可以将声波信号发生机构127和声波信号收集机构126设置在黑实框所在位置,也可以根据需求设置了虚线框对应的位置处。声波信号发生机构127和声波信号收集机构126可根据实际需求任意调整,这里不做任何限定。需要说明,每个共振光声池只包括一个声波信号收集机构126和一个声波信号发生机构127。

[0051] 由于谐振腔内声波在谐振腔中心位置最强,因此,可以将共振光声池中的声波信

号收集机构126设置于声学谐振腔中心位置对应的腔壁上,从而能够充分收集谐振腔内的声波信号,对应的声波信号发生机构127也可以设置在声学谐振腔中心位置对应的腔壁上。更为具体的,声波信号发生机构127和声波信号收集机构126还可以设置成沿共振光声池的轴线对称。

[0052] 其中,声波信号发生机构127可以是蜂鸣器,声波信号收集机构126可以是麦克风,麦克风可以是电容式麦克风。这里声波信号发生机构127和声波信号收集机构126的具体结构可以根据实际需求确定,蜂鸣器和麦克风仅是用来举例说明,并不具有任何限定作用。

[0053] 共振光声池还设有进气口121和出气口122;进气口121连接进气管路,出气口122连接出气管路。为了能够便于调节进气和出气时的气体流量和压力,同时还能够直观的获取气体流量值和气体压力值,可以在进气管路上设有第一针阀111、气路压力显示计112和气路流量显示计113;出气管路上设有第二针阀114。通过调节第一针阀111和第二针阀114能够调节气体管路内气体的压强和流量,使气体管路内的压强和流量保持稳定。对于出气管路上还可以设置真空隔膜泵115,能够对光声池中的气体进行抽气处理。

[0054] 本实施例中的共振光声池包括角向、径向、纵向三种共振模式,图2中,(a)为角向模式共振光声池;(b)为纵向模式共振光声池;(c)径向模式共振光声池。

[0055] 声源驱动模块包括函数发生器2和声波发生驱动器3。当声波信号发生机构127选用为蜂鸣器时,声波发生驱动器3可以选用蜂鸣器驱动器。

[0056] 函数发生器的信号输入端连接数据采集及处理模块4;函数发生器2的信号输出端连接声波发生驱动器3的信号输入端,声波发生驱动器3的信号输出端连接声波信号发生机构127的信号输入端;声波信号收集机构126的信号输出端连接数据采集及处理模块4的信号输入端。

[0057] 数据采集及处理模块4包括前置放大器41、锁相放大器42和控制器43;数据采集及处理模块4,用于当共振光声池通入待测气体后,基于采集的声波信号和函数发生器2输出的频率信号生成的声波-频率响应曲线确定共振频率,根据共振频率计算待测气体浓度。

[0058] 其中,前置放大器41,用于将声波信号收集机构126输出的声波信号放大。其中,放大倍数可通过设置合适的跨阻抗前置放大器进行设定,通常设定在 10^6 - 10^8 倍,前置放大器41的信号输入端连接声波信号收集机构126的信号输出端,前置放大器41的信号输出端连接锁相放大器42的信号输入端。

[0059] 锁相放大器42,用于对前置放大器41输出的放大声波信号进行解调。锁相放大器42的信号输出端连接控制器43的信号输入端,控制器43的信号输出端连接函数发生器2的信号输入端;锁相放大器42的同步信号输入端与函数发生器2的同步信号输出端连接,锁相放大器42和函数发生器2的同步信号端连接能够保证锁相放大器解调频率与函数发生器输出频率一致,便于后续生成声波信号-频率曲线图。

[0060] 控制器43可以为计算机,当为计算机时可以在计算机中安装LabView软件,计算机通过串口线与函数发生器连接,并且可通过计算机中的LabView软件控制函数发生器输出端方波信号的频率。

[0061] 共振光声池可以具体为一阶纵模共振光声池。

[0062] 对于一阶纵模共振光声池的结构,可以包括第一缓冲室123、第二缓冲室124、声学谐振腔125、声波信号发生机构127和声波信号收集机构126。

[0063] 第一缓冲室123和第二缓冲室124设于声学谐振腔125两侧且与声学谐振腔125连通;第一缓冲室123和第二缓冲室124能够减少气流噪声。

[0064] 第一缓冲室123上设有进气口121;第二缓冲室124上设有出气口122。

[0065] 在一阶纵模共振光声池,可以要求声波信号发生机构127和声波信号接收机构126分别设于声学谐振腔125的中心位置对应的内腔壁上,且声波信号发生机构127和声波信号收集机构126沿共振光声池125的轴线对称。

[0066] 基于本实施例的检测装置实现气体浓度检测的原理:声波在共振光声池的声学谐振腔中形成驻波,麦克风采集声波信号并将其转化为电信号,经前置放大器放大后传输至锁相放大器,锁相放大器将信号解调并传送至计算机处理,得到共振光声池的频率。当声波频率与声学谐振腔频率相同时,形成共振,此时声波信号最大,因此通过蜂鸣器输出不同频率的声波,得到声波信号-频率的曲线图。在本发明中的气体检测装置中得到的曲线图中信号幅值最高时,对应的声波频率即为共振光声池的共振频率。

[0067] 声速在不同介质内传播速度不同,当混合气体平均摩尔质量改变时,声速会随之改变,从而导致声波信号改变。不同浓度混合气体的平均摩尔质量不同,采用本发明中气体检测装置测得的声波信号也会随之改变,曲线图中信号幅值最高点也随之变化,根据本发明中气体检测装置能够检测出变化的共振频率,基于变化的共振频率即可反演出浓度变化的待测气体的浓度信息。

[0068] 本实施例中,在光声池中设置声波信号发生机构和声波信号收集机构,可实现以下效果:1) 无需昂贵且操作步骤复杂的激光器件及光电探测器件,与目前商业化程度较高的激光吸收光谱相比,极大的降低了相关设备的成本及操作简便度;2) 与采用光声池的传统光声光谱技术相比,无需考虑共振光声池频率漂移(共振频率随光声池中充入气体浓度及组分的变化而变化)的情况,避免了在气体测量过程中对光声池电学参数频繁校准的步骤,避免了校准带来的误差使得测量结果更为精准且测量效率高。3) 与现有技术中传统的光声光谱技术相比,无需进行光学准直,从而在光声池结构设计及制备环节避免了预留光路及通光窗口的限制,简化了检测装置的结构,为紧凑型小体积光声池的制备提供了便利,且节省探测装置成本。4) 通过函数发生器控制声波发生机构发出不同频率的声波信号,并通过预设的频率扫描范围扫描声波信号,生成声波信号-频率曲线图,将曲线图中声波信号幅值最大处对应的声波频率视为共振频率的方法,当光声池中的气体组分和浓度的变化时,声波信号-频率曲线图中的信号幅值最高点也相应的会变化,所以本实施方案中得出的共振光声池的共振频率会随着气体组分和浓度的变化而变化,本实施例的气体浓度检测装置可适用于对不同组合和浓度气体的高效探测,应用前景广阔。

[0069] 实施例2

[0070] 本实施例提供了一种基于光声池的气体检测装置的气体浓度检测方法,包括:

[0071] S1:将待测气体通入共振光声池,利用进气管路上的第一针阀111和出气管路上的第二针阀114调整共振光声池内气体的压强和流速直至保持稳定。

[0072] S2:通过控制器43控制函数发生器2输出不同频率的方波驱动声波信号发生机构127产生不同频率的声波信号。

[0073] S3:控制声波信号收集机构126收集共振光声池内的声波信号并将声波信号转化为电信号。

[0074] S4:根据声波电信号和函数发生器2输出的频率绘制声波电信号-频率曲线图;根据声波电信号-频率曲线图获取共振光声池的共振频率并根据共振频率计算待测气体浓度。

[0075] 在步骤S4中,根据声波电信号和函数发生器2输出的频率绘制声波电信号-频率曲线图,具体包括:

[0076] 设置扫描频率范围和扫描步进。

[0077] 基于扫描步进扫描扫描频率范围内的声波电信号并生成声波电信号-频率曲线图。

[0078] 判断声波电信号-频率曲线图中的曲线变化趋势是否为持续上升或持续下降。

[0079] 若是,则增大扫描频率范围,并重新扫描声波信号收集机构输出的声波电信号。

[0080] 若否,则输出当前声波电信号-频率曲线图。

[0081] 为了便于本领域技术人员理解本实施例的方案,结合图1的具体装置结构说明检测的具体实际操作步骤:

[0082] 1)按照图1所示的装置结构,将检测装置连接完成,打开真空隔膜泵115,使 N_2 连续不断通入共振光声池;手动调节第一针阀111和第二针阀114,使得共振光声池气路部分的压强和流速保持稳定;

[0083] 2)设置函数发生器2的参数,将函数发生器2输出端连接至声波发生驱动器3,驱动声波信号发生机构127产生声波;

[0084] 3)打开控制器43中的LabView程序,设置频率扫描范围和扫描步进。

[0085] 频率扫描范围的确定可在实验前根据所用共振光声池的参数估算出一个共振频率估算值,根据共振频率估算值设置合适的频率扫描范围。

[0086] 4)将收集到的声波信号转化为电信号输出至前置放大器41,前置放大器41将信号放大 10^6 倍后输出至锁相放大器42;

[0087] 5)锁相放大器42将接收到的电信号解调后传输到控制器43,在控制器43中的LabView程序中,解调后的信号展示在LabView频率响应曲线上;

[0088] 6)根据步骤5)中得到的频率响应曲线对步骤3)中频率扫描范围和扫描步进进行调整,并重复步骤3)-步骤5),得到能够体现出共振频率的频率响应曲线图,即声波信号与频率的关系图,如图3所示,图3为共振光声池在纯 N_2 下的频率响应曲线图。

[0089] 其中,调整频率扫描范围可以是增大频率扫描范围,如图3所示,若步骤5)中设置的频率扫描范围设置为1750Hz-1800Hz,则得到频率扫描曲线中不存在所需的共振频率,那么则需要增大频率扫描范围重新获取声波信号,直至得到能够体现出共振频率的频率响应曲线图。当基于调整后的频率扫描范围得出的频率响应曲线中有明显的上升曲线和下降曲线,即能得到完整的频率响应曲线中的最高点,最高点对应的频率即为共振光声池的共振频率。

[0090] 7)声波信号最强处对应的频率即为共振光声池的共振频率 f_{jmq} ,通过以下公式计算获得目标气体浓度。

$$[0091] \quad f_{jmq} = \sqrt{\frac{\kappa R_0 T}{4 \sum_1^n M_n c_n} \left[\left(\frac{\alpha_{jm}}{R} \right)^2 + \left(\frac{q}{L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

[0092] 其中, j, m, q 分别为角向、纵向、径向的振动模式数, κ 为绝热指数, R_0 为摩尔气体常数, T 为温度, n 为混合气体种类, M 为气体的摩尔质量, c_n 为该气体对应浓度, α_{jm} 指 j 阶贝塞尔函数的第 m 个极值点的值 (以 π 为单位), R 为声学谐振腔的半径, L 为声学谐振腔的有效长度。

[0093] 特殊的, 对于一阶纵模共振光声池, $j=m=0, q=1$, 上述公式可推导为:

$$[0094] \quad f = \sqrt{\frac{\kappa R_0 T}{\sum_1^n M_n c_n} \frac{1}{2L}}$$

[0095] 当在共振光声池中通入的气体为纯 N_2 时, 令上述公式中的 $n=1, M=28$, 在得知共振频率的前提下, 通过上述公式可以反演出纯 N_2 的气体浓度。

[0096] 为进一步验证本发明中气体检测装置的可行性, 向共振光声池内分别通入 20% $CH_4:N_2$ 、40% $CH_4:N_2$ 、60% $CH_4:N_2$ 、80% $CH_4:N_2$ 和 100% $CH_4:N_2$ 气体, 在已知气体浓度的情况下重复步骤 1) - 步骤 7), 从而基于 LabView 展示的声波信号-频率曲线图确定共振频率实际测量结果。另外将已知的气体浓度带入到气体浓度与共振频率的关系式计算出的共振频率公式计算结果, 如图 4 示出了共振频率实际测量结果和共振频率公式计算结果的曲线图。其中, 公式中 $n=2, M_1=16, M_2=28$ 。从图 4 中可以看出, 实验所得结果与公式计算结果有着很强的一致性, 证明本发明中的通过函数发生器控制声波发生机构发出不同频率的声波信号, 并通过预设的频率扫描范围扫描声波信号, 生成声波信号-频率曲线图, 将曲线图中声波信号幅值最大处对应的声波频率视为共振频率的方法具备可行性, 从而基于共振频率与气体浓度的函数关系确定气体浓度也具备可行性。

[0097] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述, 每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处, 各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0098] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述, 以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想; 同时, 对于本领域的一般技术人员, 依据本发明的思想, 在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述, 本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

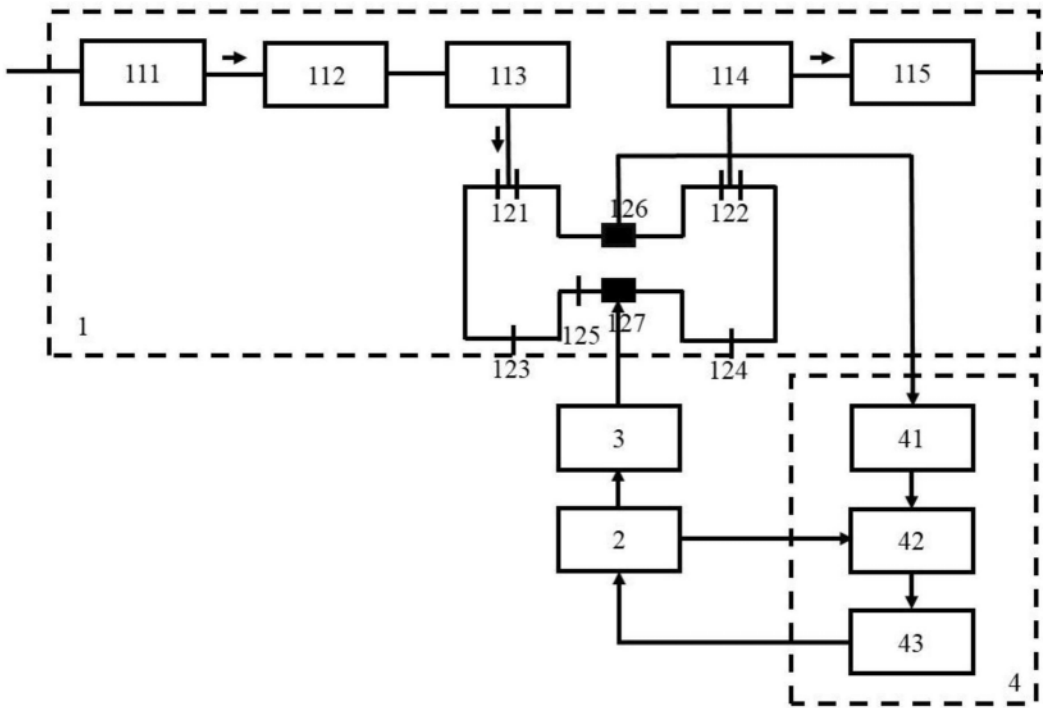


图1

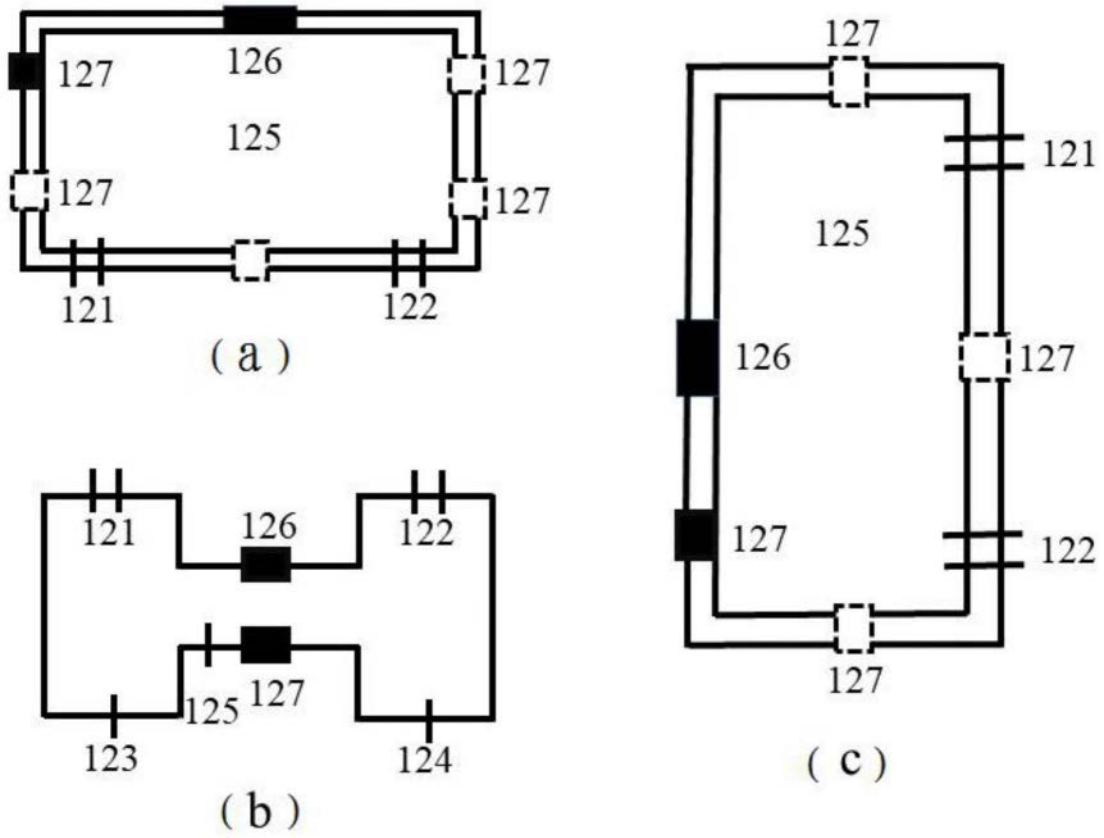


图2

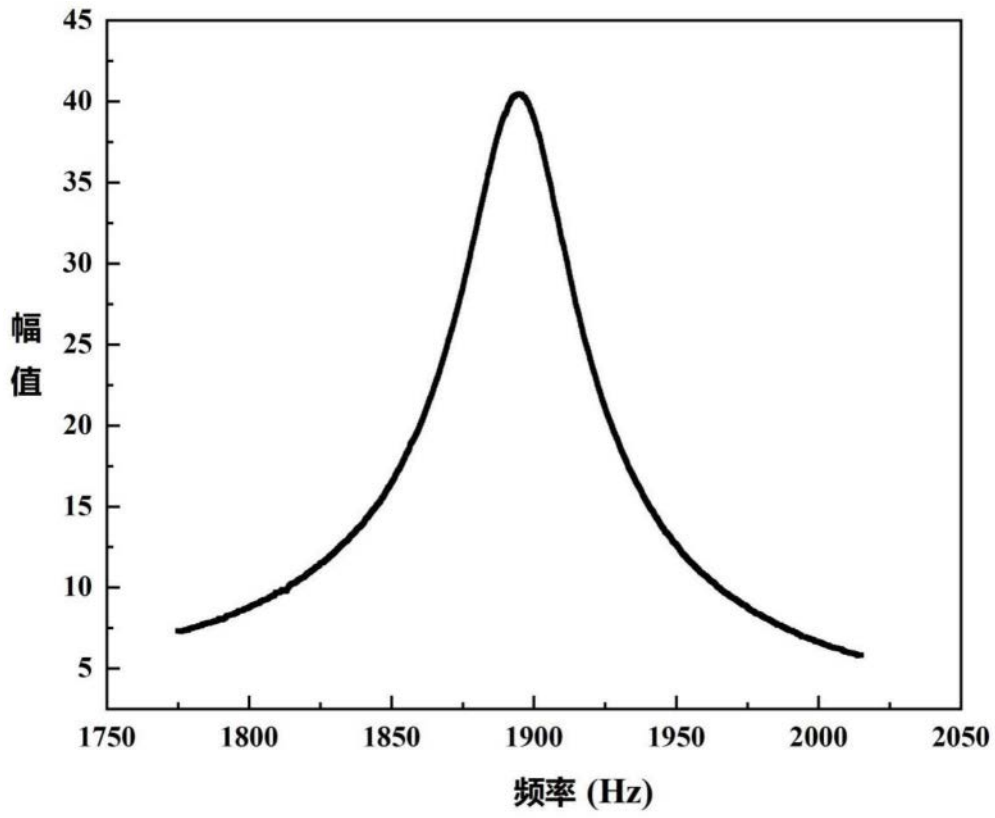


图3

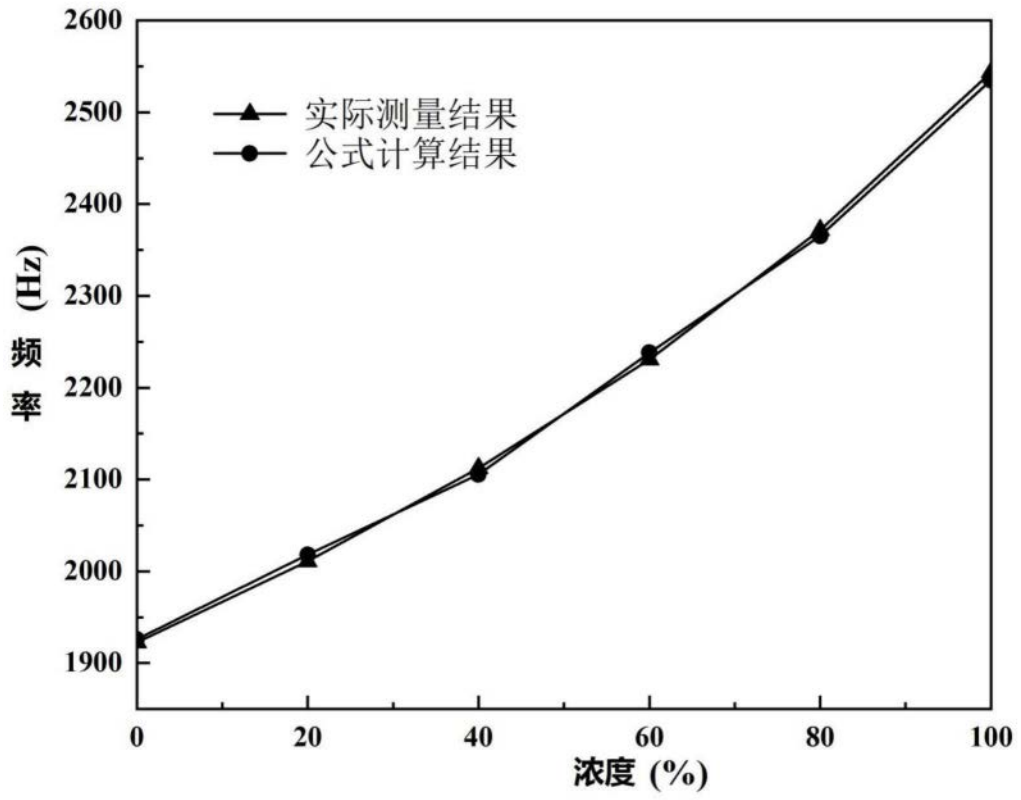


图4