



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105067777 B

(45)授权公告日 2017.03.22

(21)申请号 201510500470.9

(22)申请日 2015.08.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105067777 A

(43)申请公布日 2015.11.18

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所

地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

(72)发明人 刘卫 王广华 钱楠 黄豫 钱渊

郭冰 魏永波 张宁 杜林 王玲 邓珂

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

代理人 邓琪 余中燕

(51)Int.Cl.

G01N 33/00(2006.01)

G01T 1/167(2006.01)

(56)对比文件

CN 203350089 U,2013.12.18,权利要求1、说明书第[0005]、[0009]、[0015]、[0034]、[0036]、[0041]段以及说明书附图图1、图2.

CN 203350089 U,2013.12.18,权利要求1、说明书第[0005]、[0009]、[0015]、[0034]、[0036]、[0041]段以及说明书附图图1、图2.

CN 103063482 A,2013.04.24,全文.

JP S63118682 A,1988.05.23,全文.

JP 2008058137 A,2008.03.13,全文.

JP 2009121939 A,2009.06.04,全文.

JP 2005091334 A,2005.04.07,全文.

JP 4573746 B2,2010.11.04,全文.

CN 103267798 A,2013.08.28,全文.

汪久山 等.基于Nafion膜的氚甄别测量技术.《核化学与放射化学》.2014,第36卷(第2期),第124-128页.

审查员 罗平

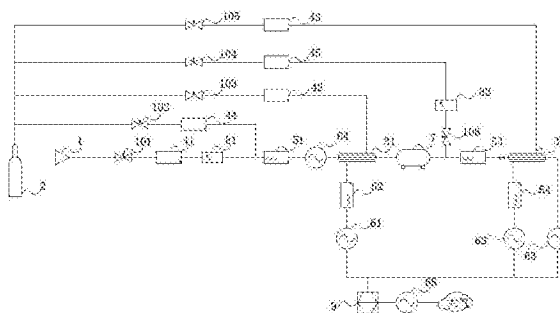
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种复杂环境气体中不同形态氚的浓度监测装置

(57)摘要

本发明提供一种复杂环境气体中不同形态氚的浓度监测系统,其包括一采集环境气体的采样装置,还包括:一连接至所述采样装置的氟化水浓度监测模块,其设置为将所述环境气体中的氟化水和其余气体分离,并测量所述氟化水的浓度;以及一连接至所述氟化水浓度监测模块的还原态氚浓度监测模块,其设置为将所述其余气体中的还原态氚催化氧化为氟化水,并且将氧化成的氟化水从所述其余气体中分离出并测量其浓度,然后根据氧化成的氟化水的浓度获取所述还原态氚的浓度。本发明能够测量包含有不同形态氚及多种放射性核素的复杂环境气体中的氟化水和还原态氚的浓度。



1. 一种复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其包括提供一浓度监测系统,该浓度监测系统包括一采集环境气体的采样装置,其特征在于,还包括:

一连接至所述采样装置的氟化水浓度监测模块,其设置为将所述环境气体中的氟化水和其余气体分离,并测量所述氟化水的浓度;以及

一连接至所述氟化水浓度监测模块的还原态氙浓度监测模块,其设置为将所述其余气体中的还原态氙催化氧化为氟化水,并且将氧化成的氟化水从所述其余气体中分离出并测量其浓度,然后根据氧化成的氟化水的浓度获取所述还原态氙的浓度;

其中,所述氟化水浓度监测模块包括:

一盛装吹扫气体的吹扫气体容器;

一第一气水分离器,其具有第一主气路输入端、第一主气路输出端、第一吹扫气路输入端以及第一吹扫气路输出端;

依次串联在所述采样装置与所述第一主气路输入端之间的第一流量控制器和第一湿度测量装置;

连接在所述吹扫气体容器与所述第一吹扫气路输入端之间的第二流量控制器;

连接在所述吹扫气体容器与所述第一湿度测量装置之间的第四流量控制器,其中,连接在吹扫气体容器与第一湿度测量装置之间的旁路为第一干燥旁路;以及

依次串联至所述第一吹扫气路输出端的第二湿度测量装置和第一浓度测量装置;

该浓度监测方法接下来包括:使环境气体经由第一流量控制器测量其流速 V_1 ,经由第一湿度测量装置测量其湿度 H_1 ;环境气体流经第一气水分离器,同时在第一气水分离器的第一吹扫气路输入端通入干燥的吹扫气体,吹扫气体的流速 V_2 通过第二流量控制器测量;吹扫气体带走环境气体中的水气后,经由第二湿度测量装置测量其湿度 H_2 ,再经由第一浓度测量装置测量HTO形态的氙浓度 C_{HTO-1C} 后,即计算取样环境气体中HTO的浓度 C_{HTO} ,计算原理如下:

$$C_{HTO} = \frac{C_{HTO-1C}}{\eta} \quad (1);$$

其中, η 为第一气水分离器对HTO的分离效率;

当第一干燥旁路中无气体流入时, η 表示为:

$$\eta = \frac{V_2 \cdot H_2}{V_1 \cdot H_1} \quad (2);$$

当第一干燥旁路中有气体流入时,设第四流量控制器测量的流速为 V_3 ,则 η 表示为:

$$\eta = \frac{V_2 \cdot H_2}{(V_1 + V_3) \cdot H_1} \quad (2');$$

将式(2)或式(2')代入式(1),即计算得到取样环境气体中HTO的浓度 C_{HTO} 。

2. 根据权利要求1所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,所述还原态氙浓度监测模块包括:

一第二气水分离器,其具有第二主气路输入端、第二主气路输出端、第二吹扫气路输入端以及第二吹扫气路输出端;

依次串联在所述第一主气路输出端与所述第二主气路输入端之间的催化氧化装置和第三湿度测量装置;

连接在所述吹扫气体容器与所述第二吹扫气路输入端之间的第三流量控制器;以及依次串联至所述第二吹扫气路输出端的第四湿度测量装置和第二浓度测量装置。

3. 根据权利要求1所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,该浓度监测系统还包括一连接在所述第一流量控制器与所述第一湿度测量装置之间的第一湿度控制器。

4. 根据权利要求2所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,该浓度监测系统还包括依次串联在所述吹扫气体容器与所述第三湿度测量装置之间的一第五流量控制器和一第二湿度控制器。

5. 根据权利要求2所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,该浓度监测系统还包括一连接至所述第二主气路输出端的第三浓度测量装置。

6. 根据权利要求4所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,该浓度监测系统还包括一氟化水吸收器,其输入端连接至所述第一浓度测量装置、第二浓度测量装置和第三浓度测量装置,输出端通过一第五浓度测量装置与大气连通。

7. 根据权利要求1所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,该浓度监测系统还包括一连接在所述第一湿度测量装置与所述第一主气路输入端之间的第四浓度测量装置。

8. 根据权利要求2所述的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测方法,其特征在于,所述第一湿度测量装置、第二湿度测量装置、第三湿度测量装置和第四湿度测量装置为温湿度计或湿度计。

一种复杂环境气体中不同形态氚的浓度监测装置

技术领域

[0001] 本发明属于辐射防护与环境保护技术领域,具体涉及一种复杂环境气体中不同形态氚的浓度监测装置。

背景技术

[0002] 氚(T)是氢的放射性同位素,是一种低能 β 辐射体, β 射线的最大能量为18.6KeV,平均值为5.6KeV,半衰期为12.26年。众所周知,核设施会产生大量的氚,这些氚主要以氚化水(HTO)和还原态氚(包括HT、CH₃T)的化学形态存在,并以气态或液态流出物的形式释放到环境中。而氚的化学形态不同将造成对人体危害存在较大差异,具体来说,HT或CH₃T即使进入了人体,在人体内的滞留时间也比较短,对人体危害较小;而氚化水通过呼吸和饮食等方式进入人体后会蓄积在肝、肾、小肠、血液等含水较多的器官,这些器官具有较高的组织权重因子,因而易导致严重的内照射损伤。

[0003] 由于氚被定为核设施放射性核素剂量评价的主要核素之一,为了保证核设施运行人员安全,确保氚的达标排放,必须实时监测不同形态氚的浓度。目前国内对氚浓度的监测主要通过电离室、正比计数器或者液闪计数器测量其 β 放射性实现,然而,该方案只能测量氚的总浓度,而不能对其各种化学形态进行甄别。同时,核设施还存在 γ 辐射及其他气态放射性核素,在这种具有多种射线并存的环境气体中,氚的 β 射线并不能进行区分,因而测量装置无法进行区分测量。

发明内容

[0004] 针对上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种复杂环境气体中不同形态氚的浓度监测装置,以测量包含有不同形态氚及多种放射性核素的复杂环境气体中的氚化水和还原态氚的浓度。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种复杂环境气体中不同形态氚的浓度监测系统,其包括一采集环境气体的采样装置,还包括:

[0007] 一连接至所述采样装置的氚化水浓度监测模块,其设置为将所述环境气体中的氚化水和其余气体分离,并测量所述氚化水的浓度;以及

[0008] 一连接至所述氚化水浓度监测模块的还原态氚浓度监测模块,其设置为将所述其余气体中的还原态氚催化氧化为氚化水,并且将氧化成的氚化水从所述其余气体中分离出并测量其浓度,然后根据氧化成的氚化水的浓度获取所述还原态氚的浓度。

[0009] 进一步地,所述氚化水浓度监测模块包括:

[0010] 一盛装吹扫气体的吹扫气体容器;

[0011] 一第一气水分离器,其具有第一主气路输入端、第一主气路输出端、第一吹扫气路输入端以及第一吹扫气路输出端;

[0012] 依次串联在所述采样装置与所述第一主气路输入端之间的第一流量控制器和第

一湿度测量装置；

[0013] 连接在所述吹扫气体容器与所述第一吹扫气路输入端之间的第二流量控制器；以及

[0014] 依次串联至所述第一吹扫气路输出端的第二湿度测量装置和第一浓度测量装置。

[0015] 进一步地，所述还原态氙浓度监测模块包括：

[0016] 一第二气水分离器，其具有第二主气路输入端、第二主气路输出端、第二吹扫气路输入端以及第二吹扫气路输出端；

[0017] 依次串联在所述第一主气路输出端与所述第二主气路输入端之间的催化氧化装置和第三湿度测量装置；

[0018] 连接在所述吹扫气体容器与所述第二吹扫气路输入端之间的第三流量控制器；以及

[0019] 依次串联至所述第二吹扫气路输出端的第四湿度测量装置和第二浓度测量装置。

[0020] 优选地，该浓度监测系统还包括一连接在所述第一流量控制器与所述第一湿度测量装置之间的第一湿度控制器。

[0021] 优选地，该浓度监测系统还包括一连接在所述吹扫气体容器与所述第一湿度测量装置之间的第四流量控制器。

[0022] 优选地，该浓度监测系统还包括依次串联在所述吹扫气体容器与所述第三湿度测量装置之间的一第五流量控制器和一第二湿度控制器。

[0023] 进一步地，该浓度监测系统还包括一连接至所述第二主气路输出端的第三浓度测量装置。

[0024] 优选地，该浓度监测系统还包括一氟化水吸收器，其输入端连接至所述第一浓度测量装置、第二浓度测量装置和第三浓度测量装置，输出端通过一第五浓度测量装置与大气连通。

[0025] 进一步地，该浓度监测系统还包括一连接在所述第一湿度测量装置与所述第一主气路输入端之间的第四浓度测量装置。

[0026] 进一步地，所述第一湿度测量装置、第二湿度测量装置、第三湿度测量装置和第四湿度测量装置为温湿度计或湿度计。

[0027] 综上所述，本发明可以通过氟化水浓度监测模块将所述环境气体中的氟化水和其余气体分离，并测量所述氟化水的浓度；然后，通过还原态氙浓度监测模块将所述其余气体中的还原态氙催化氧化为氟化水，并且将氧化成的氟化水从所述其余气体中分离出后测量其浓度，最后根据所述氧化成的氟化水的浓度获取所述还原态氙的浓度。可见，本发明能够测量包含有不同形态的氙及多种放射性核素的复杂环境气体中的氟化水和还原态氙的浓度。

附图说明

[0028] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所做的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显：

[0029] 图1为本发明的复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测系统的结构示意图。

具体实施方式

[0030] 为使进一步深入了解本发明的技术手段与特征,谨配合附图再予举例进一步具体说明于后:

[0031] 本发明,即,复杂环境气体中不同形态氙的浓度监测系统如图1所示,包括一采样装置1、一氟化水浓度监测模块和一还原态氙浓度监测模块。其中,采样装置1用于采集待测的环境气体;氟化水浓度监测模块用于将该环境气体中的氟化水(HTO)和其余气体分离,并测量分离出的氟化水的浓度;还原态氙浓度监测模块用于将其余气体中的还原态氙(包括HT和CH₃T)催化氧化为氟化水,并且将氧化成的氟化水从其余气体中分离出并测量其浓度,然后根据氧化成的氟化水的浓度获取还原态氙的浓度。

[0032] 下面详细介绍本发明中氟化水浓度监测模块和还原态氙浓度监测模块的主要结构:

[0033] 氟化水浓度监测模块包括:一盛装吹扫气体(例如干燥氦气)的吹扫气体容器2;一第一气水分离器31,其具有第一主气路输入端、第一主气路输出端、第一吹扫气路输入端以及第一吹扫气路输出端;依次串联在采样装置1与第一主气路输入端之间的第一流量控制器41和第一湿度测量装置51;连接在吹扫气体容器2与第一吹扫气路输入端之间的第二流量控制器42;以及依次串联至第一吹扫气路输出端的第二湿度测量装置52和第一浓度测量装置61。

[0034] 还原态氙浓度监测模块包括:一第二气水分离器32,其具有第二主气路输入端、第二主气路输出端、第二吹扫气路输入端以及第二吹扫气路输出端;依次串联在第一主气路输出端与第二主气路输入端之间的催化氧化装置7和第三湿度测量装置53;连接在吹扫气体容器2与第二吹扫气路输入端之间的第三流量控制器43;以及依次串联至第二吹扫气路输出端的第四湿度测量装置54和第二浓度测量装置62。

[0035] 在本发明中,第一、第二气水分离器31、32具有对水分子的高效选择透过性,均采用若干成捆的、由全氟磺酸膜形成的毛细管实现。其中,毛细管的入口端对应于相应的主气路输入端,出口端对应于相应的主气路输出端;毛细管的一外侧对应于相应的吹扫气路输入端,相对的另一外侧对应于相应的吹扫气路输出端。当含有不同形态氙及多种放射性核素的复杂环境气体自主气路输入端进入毛细管后,由于磺酸基膜对氟化水(呈水分子形式)有极强的吸引力,从而形成水分子向干燥侧壁的转移通道,最后水分子被毛细管外侧的、自吹扫气路输入端进入的吹扫气体载走从吹扫气路输出端输出,从而实现HTO与其它气体的分离。气水分离器31、32对HTO与HT、Ar、NO_x等其余气体的分离比可达到10³-10⁴。

[0036] 其中,上述浓度测量装置61-64优选采用具有高效 γ 补偿功能的测氙电离室实现,以抵御外辐射场的干扰,提高测量精度;湿度测量装置51-54采用湿度计或温湿度计实现,一方面用于确保气体的湿度处于气水分离器的工作湿度以上,另一方面用于确定气水分离器的分离效率。

[0037] 此外,由于气水分离器存在分离极限,室温下对混合气体中氟化水的分离极限在100ppm左右,因此,当主路的环境气体中的水分含量低于该值时,需要对其进行加湿处理。为了给进入第一气水分离器31中的环境气体进行加湿,本系统设置了一连接在第一流量控制器41与第一湿度测量装置51之间的第一湿度控制器81,以使取样气体湿度达到2000ppm

以上;为了给进入第二气水分离器32的环境气体进行加湿,本系统还设置了一连接在吹扫气体容器2与第三湿度测量装置53之间的第二湿度控制器82。同时,为了控制取样环境气体的湿度过高影响电离室的测量,在气体进入两个电离室31、32前,分别设置了第一、第二干燥旁路以通入吹扫气体对主路中环境气体的水分含量进行稀释,其中第一干燥旁路在图中是指连接在吹扫气体容器2与第一湿度测量装置51之间的旁路,该旁路中设置了第四流量控制器44;第二干燥旁路在图中是指连接在吹扫气体容器2与第三湿度测量装置53之间的旁路,即,第二湿度控制器82所在的旁路,该旁路中还设置了一第五流量控制器45。

[0038] 为了能够测量复杂环境气体中其它放射性惰性气体的浓度,本发明的浓度监测系统还包括一连接至第二主气路输出端的第三浓度测量装置63。另外,该系统还包括一氟化水吸收器9,其输入端连接至第一浓度测量装置61、第二浓度测量装置62和第三浓度测量装置63,输出端通过一第五浓度测量装置65与大气连通,从而使废气经氟化水吸收器9去除其中残留的氟化水,并由第五浓度测量装置65进一步检验,确保符合国家排放标准后排入大气。

[0039] 图1的优选实施例中还包括一连接在第一湿度测量装置51与第一主气路输入端之间的第四浓度测量装置64,其用于测量待测环境气体中总的放射性浓度。除此以外,主路以及各支路中还设有控制阀101-105以及止逆阀106。

[0040] 基于上述结构,本发明的工作原理如下:首先将环境气体中的氟化水和其余气体分离,并测量氟化水的浓度;然后,将其余气体中的还原态氟催化氧化为氟化水,并且将氧化成的氟化水从其余气体中分离出并测量其浓度,然后根据氧化成的氟化水的浓度获取还原态氟的浓度,具体来说:

[0041] 首先使含有不同形态氟及多种放射性核素的复杂环境气体经由第一流量控制器41测量其流速 V_1 ,经由第一湿度测量装置51测量其湿度 H_1 ,再利用第四浓度测量装置64测量总的放射性浓度;而后,待测气体流经第一气水分离器31,同时在第一气水分离器31的第一吹扫气路输入端通入干燥的吹扫气体(吹扫气体采用含水1ppm以下的干燥氦气,经测试,主路气体与吹扫气的比例设置为1:2时,具有较好的吹扫效率与经济性),其中,吹扫气体的流速 V_2 通过第二流量控制器42测量;吹扫气体带走取样环境气体中的水气后,经由第二湿度测量装置52测量其湿度 H_2 ,再经由第一浓度测量装置61测量HTO形态的氟浓度 C_{HTO-1C} 后,即可计算取样环境气体中HTO的浓度 C_{HTO} ,计算原理如下:

$$[0042] \quad C_{HTO} = \frac{C_{HTO-1C}}{\eta} \quad (1);$$

[0043] 其中, η 为第一气水分离器31对HTO的分离效率,当第一干燥旁路中无气体流入时, η 可表示为:

$$[0044] \quad \eta = \frac{V_2 \cdot H_2}{V_1 \cdot H_1} \quad (2);$$

[0045] 当第一干燥旁路中有气体流入时,设第四流量控制器44测量的流速为 V_3 ,则 η 可表示为:

$$[0046] \quad \eta = \frac{V_2 \cdot H_2}{(V_1 + V_3) \cdot H_1} \quad (2');$$

[0047] 将式(2)或式(2')代入式1,即可计算得到取样环境气体中HTO的浓度 C_{HTO} 。

[0048] 之后,将第一主气路输出端输出的其余气体通入催化氧化装置7,以将HT和CH₃T转化为HTO;再通过第二气水分离器32将氧华生成的HTO分离出来;然后通过第二浓度测量装置62测量其浓度;最后,根据氧化成的HTO的浓度计算还原态氙的总浓度,计算原理如下:

$$[0049] \quad C_{\text{HTO/CH}_3\text{T}} = \frac{C'_{\text{HTO-IC}}}{\eta' \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

[0050] 其中, ε 为催化氧化装置7的催化氧化效率, $C'_{\text{HTO-IC}}$ 为第二浓度测量装置62测量的HTO的浓度, η' 为第二气水分离器32对HT、CH₃T氧化生成HTO的分离效率,当第二干燥旁路中无气体流入时, η' 可表示为:

$$[0051] \quad \eta' = \frac{V_2' \cdot H_2'}{V_1' \cdot H_1'} \quad (4);$$

[0052] 其中, V_2' 表示第三流量控制器43测量的气体流速, H_2' 表示第四湿度测量装置54测量的气体湿度, $V_1' = V_1$ (当第一干燥旁路中无气体流入时)或者 $V_1' = V_1 + V_3$ (当第一干燥旁路中有气体流入时), H_1' 表示第三湿度测量装置53测量的气体湿度。

[0053] 当第二干燥旁路中有气体流入时,设第五流量控制器45测量的流速为 V_3' ,则 η' 可表示为:

$$[0054] \quad \eta' = \frac{V_2' \cdot H_2'}{(V_1' + V_3') \cdot H_1'} \quad (4');$$

[0055] 将式(4)或式(4')代入式(3),即可计算得到取样环境气体中还原态氙的总浓度 $C_{\text{HTO/CH}_3\text{T}}$ 。

[0056] 经过第二气水分离器32的剩余气体进入第三浓度测量装置63,以确定剩余放射性惰性气体的浓度。最后所有含氙废气经氙化水吸收器9去除其中的氙,再经第五浓度测量装置65确保符合国家排放标准后排入大气。

[0057] 由此可见,本发明排除了杂质放射性气体与外辐射 γ 场的影响,可分别测量氙化水和还原态氙的浓度,拥有比较高的精度,测量精度能够达到 $1\mu\text{Ci}/\text{m}^3$,测量范围覆盖 $1 \sim 10^7 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ 。

[0058] 以上所述的,仅为本发明的较佳实施例,并非用于限定本发明的范围,本发明的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所做的简单的、等效变化与修饰,皆落入本发明专利的权利要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

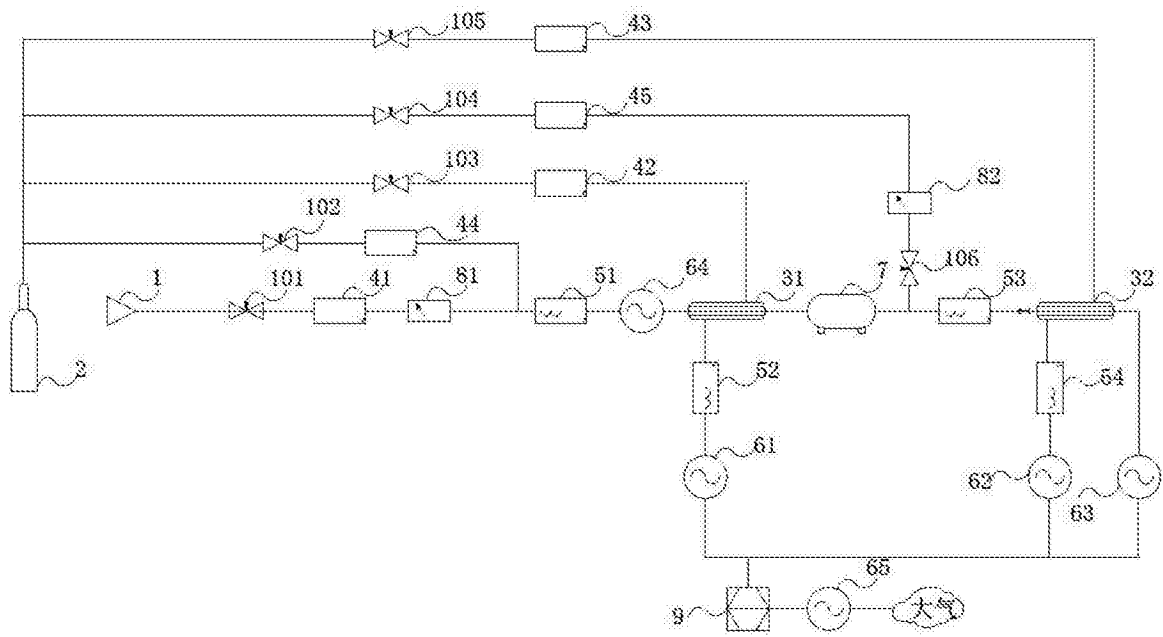


图1