



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105136989 B

(45)授权公告日 2016. 11. 16

(21)申请号 201510500762.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.08.14

G01N 33/00(2006.01)

G01N 1/34(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105136989 A

审查员 郑瑜

(43)申请公布日 2015.12.09

(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 钱楠 王广华 黄豫 钱渊

郭冰 魏永波 张宁 曾友石

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

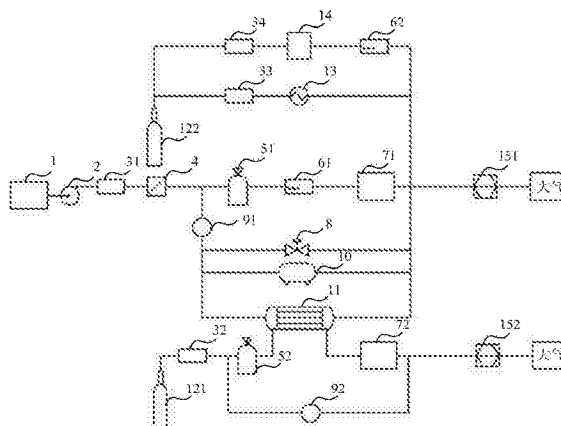
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

## (54)发明名称

一种闭式循环氙浓度监测系统

## (57)摘要

本发明提供一种闭式循环氙浓度监测系统，包括待测气体进气气路；待测气体测量回路，其包括依次串联的第一温度湿度压力测量装置、第一氙浓度测量装置、阀门以及第一循环泵，第一温度湿度压力测量装置与第一循环泵相连至待测气体进气气路的输出端；氧化气路，其包括与阀门并联的氧化炉；气水分离气路，其气水分离主支路与氧化气路并联；吹扫气体进气气路；吹扫气体测量气路，其包括循环泵和第二氙浓度测量装置，循环泵的一端连接在吹扫气体进气气路与气水分离吹扫支路之间，另一端通过第二氙浓度测量装置连接至气水分离吹扫支路的输出端。本发明能够实现待测气体中总氙浓度的准确测量，并能分别测量氙化水及还原态氙的浓度，同时能减少采样气体量。



1. 一种闭式循环氟浓度监测系统,用于监测待测气体中氟的总浓度以及氟化水和还原态氟各自的浓度,其特征在于,包括:

一待测气体进气气路;

一待测气体测量回路,其包括依次串联的一第一温度湿度压力测量装置、一第一氟浓度测量装置、一阀门以及一第一循环泵,所述第一温度湿度压力测量装置与所述第一循环泵相连至所述待测气体进气气路的输出端;

一氧化气路,其包括与所述阀门并联的氧化炉;

一气水分离气路,其包括一具有气水分离主支路和气水分离吹扫支路的气水分离器,所述气水分离主支路与所述氧化气路并联;

一吹扫气体进气气路,其连接至所述气水分离吹扫支路的输入端;以及

一吹扫气体测量气路,其包括一循环泵和一第二氟浓度测量装置,所述循环泵的一端连接在所述吹扫气体进气气路与所述气水分离吹扫支路之间,另一端通过所述第二氟浓度测量装置连接至所述气水分离吹扫支路的输出端。

2. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,所述待测气体进气气路包括依次串联在一盛装所述待测气体的待测气体容器与所述待测气体测量回路之间的一进气泵、一第一流量控制器及一过滤器。

3. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,所述吹扫气体进气气路包括连接在一第一吹扫气体容器与所述吹扫气体测量气路之间的第二流量控制器。

4. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,所述待测气体测量回路还包括一连接在所述待测气体进气气路与所述第一温度湿度压力测量装置之间的第一缓冲瓶。

5. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,所述待测气体测量回路还包括一连接在所述吹扫气体进气气路与所述气水分离吹扫支路之间的第二缓冲瓶。

6. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,该系统还包括一加氢气路,其包括依次串联在一第二吹扫气体容器与所述待测气体测量回路之间的一第三流量控制器和一储氢合金。

7. 根据权利要求6的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,该系统还包括一加湿气路,其包括依次串联在所述第二吹扫气体容器与所述待测气体测量回路之间的一第四流量控制器、一纯水加湿器和一第二温度湿度压力测量装置。

8. 根据权利要求7的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,所述纯水加湿器为鼓风机。

9. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,该系统还包括一待测气体排气气路,其包括一连接至所述待测气体测量回路的第一氟化水吸收器。

10. 根据权利要求1的闭式循环氟浓度监测系统,其特征在于,该系统还包括一吹扫气体排气气路,其包括一连接至所述吹扫气体测量气路的第二氟化水吸收器。

## 一种闭式循环氙浓度监测系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种监测系统,尤其涉及一种闭式循环氙浓度监测系统。

### 背景技术

[0002] 氙是一种发出 $\beta$ 射线的放射性核素,该核素具有半衰期短、射线能量低的特点。若人们仅受到其外照射,由于 $\beta$ 射线射程短,则容易屏蔽;但若该核素被人体吸入后则极易造成内照射, $\beta$ 射线能量将全部沉积于人体,从而对人体造成伤害。在各种类型的核电站中都会产生氙,尤其是重水堆以及熔盐堆更是会产生大量氙。这些反应堆中的氙多以氙化水(H<sub>2</sub>O)以及还原态氙(包括HT、CH<sub>3</sub>T)的化学形态存在。其中氙化水若被人体吸入极难排除体外,会给人体带来严重的内照射。因此,氙在核电站中的监测是一个重要的问题。

### 发明内容

[0003] 针对现有技术中的问题,本发明的目的在于提供一种闭式循环氙浓度监测系统,能够实现待测气体中总氙浓度的准确测量,并实现分别测量氙化水及还原态氙的浓度,同时,能够减少采样气体量,减少氙化水分离时使用的吹扫气体用量,进而减少放射性气体的排放量。

[0004] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0005] 一种闭式循环氙浓度监测系统,用于监测待测气体中氙的总浓度以及氙化水和还原态氙各自的浓度,包括:

[0006] 一待测气体进气气路;

[0007] 一待测气体测量回路,其包括依次串联的一第一温度湿度压力测量装置、一第一氙浓度测量装置、一阀门以及一第一循环泵,所述第一温度湿度压力测量装置与所述第一循环泵相连至所述待测气体进气气路的输出端;

[0008] 一氧化气路,其包括与所述阀门并联的氧化炉;

[0009] 一气水分离气路,其包括一具有气水分离主支路和气水分离吹扫支路的气水分离器,所述气水分离主支路与所述氧化气路并联;

[0010] 一吹扫气体进气气路,其连接至所述气水分离吹扫支路的输入端;以及

[0011] 一吹扫气体测量气路,其包括一循环泵和一第二氙浓度测量装置,所述循环泵的一端连接在所述吹扫气体进气气路与所述气水分离吹扫支路之间,另一端通过所述第二氙浓度测量装置连接至所述气水分离吹扫支路的输出端。

[0012] 进一步地,所述待测气体进气气路包括依次串联在一盛装所述待测气体的待测气体容器与所述待测气体测量回路之间的一进气泵、一第一流量控制器及一过滤器。

[0013] 进一步地,所述吹扫气体进气气路包括连接在一第一吹扫气体容器与所述吹扫气体测量气路之间的第二流量控制器。

[0014] 优选地,所述待测气体测量回路还包括一连接在所述待测气体进气气路与所述第一温度湿度压力测量装置之间的第一缓冲瓶。

[0015] 优选地,所述待测气体测量回路还包括一连接在所述吹扫气体进气气路与所述气水分离吹扫支路之间的第二缓冲瓶。

[0016] 优选地,该系统还包括一加氢气路,其包括依次串联在一第二吹扫气体容器与所述待测气体测量回路之间的一第三流量控制器和一储氢合金。

[0017] 进一步地,该系统还包括一加湿气路,其包括依次串联在所述第二吹扫气体容器与所述待测气体测量回路之间的一第四流量控制器、一纯水加湿器和一第二温度湿度压力测量装置。

[0018] 进一步地,所述纯水加湿器为鼓泡器。

[0019] 进一步地,该系统还包括一待测气体排气气路,其包括一连接至所述待测气体测量回路的第一氟化水吸收器。

[0020] 优选地,该系统还包括一吹扫气体排气气路,其包括一连接至所述吹扫气体测量气路的第二氟化水吸收器。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果如下:

[0022] (1)通过待测气体测量回路的闭式循环回路设计,能够使待测气体在气路内充分均匀,进而提高了氙测量准确度;

[0023] (2)通过气水分离器以及催化氧化炉可以实现多形态氙的分离;

[0024] (3)通过吹扫气体测量气路与气水分离器的闭式回路设计,可以提高气水分离器的干燥效率,提高测量准确度,同时减少吹扫气体用气量,减少放射性气体排放量;

[0025] (4)使用氟化水吸收器吸附气体中残余的氟化水,能够减少放射性气体排放;

[0026] (5)纯水加湿器采用恒定温度的鼓泡器构成,实现了回路精确加湿;

[0027] (6)通过储氢合金释放氢气来调节待测气体内氢气的浓度,能够提高氧化炉催化还原态氙的效率。

## 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为本发明的闭式循环氙浓度监测系统的结构示意图。

## 具体实施方式

[0030] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0031] 本发明,即,一种闭式循环氙浓度监测系统如图1所示,其主要包括一待测气体进气气路、一待测气体测量回路、一氧化气路、一气水分离气路、一吹扫气体进气气路以及一吹扫气体测量气路。

[0032] 下面结合图1详细介绍各气路的具体结构:

[0033] 待测气体进气气路包括依次串联在一盛装待测气体的待测气体容器1与待测气体测量回路之间的一进气泵2、一第一流量控制器31及一过滤器4。

[0034] 待测气体测量回路包括依次串联的一用于使气体均匀混合的第一缓冲瓶51、一第一温度湿度压力测量装置61、一第一氙浓度测量装置71(本发明中为电离室)、一阀门8以及一第一循环泵91。其中,第一缓冲瓶51与第一循环泵91相连至过滤器4。

[0035] 氧化气路包括与阀门8并联的氧化炉10。

[0036] 气水分离气路包括一具有气水分离主支路和气水分离吹扫支路的气水分离器11,气水分离主支路与氧化炉10并联。在本实施例中,气水分离器采用若干成捆的、由全氟磺酸膜形成的毛细管实现,其具有对水分子的高效选择透过性。其中,毛细管内壁所形成的通道为气水分离主支路,毛细管外侧通入吹扫气体后形成吹扫支路。当待测气体进入气水分离主支路后,由于磺酸基膜对水分子(氟化呈水分子形式)有极强的吸引力,从而形成水分子向干燥侧壁的转移通道,最后被吹扫支路中的吹扫气体带走,从而实现HTO与其它气体的分离。

[0037] 吹扫气体进气气路包括连接在一盛装有吹扫气体(例如干燥的氩气、空气等)第一吹扫气体容器121与吹扫气体测量气路之间的第二流量控制器32。

[0038] 吹扫气体测量气路包括依次串联的一第二缓冲瓶52、一第二循环泵92和一第二氙浓度测量装置72(本发明中为电离室),其中,第二缓冲瓶52与第二循环泵92相连的一端连接至第二流量控制器32,其另一端连接至气水分离器11的气水分离吹扫支路的输入端;第二氙浓度测量装置72的远离第二循环泵92的一端连接至气水分离器11的气水分离吹扫支路的输出端,从而形成吹扫气体测量气路。

[0039] 由于在氧化待测气体中的还原态氙时,将氢气含量提升到1%以上能够提高氧化效果;在进行气水分离时,使气体湿度达到5%以上能够实现更好的气水分离效果,因此,本发明还增设了一加氢气路和一加湿气路。其中,加氢气路包括依次串联在一第二吹扫气体容器122与待测气体测量回路之间的一第三流量控制器33和一储氢合金13;加湿气路包括依次串联在第二吹扫气体容器122与待测气体测量回路之间的一第四流量控制器34、一纯水加湿器14(如鼓泡器)和一第二温度湿度压力测量装置62。

[0040] 此外,本发明还包括一待测气体排气气路和一吹扫气体排气气路,其中,待测气体排气气路包括一连接至待测气体测量回路的第一氟化水吸收器151,吹扫气体排气气路包括一连接至吹扫气体测量气路的第二氟化水吸收器152。

[0041] 本发明的闭式循环氙浓度监测系统的工作原理如下:

[0042] 在一次运行前,保持所有气路通畅,开启进气泵2和两个循环泵91、92,并将第一流量控制器31开至最大,使用空气对整个回路中的残余放射性气体进行清洗;之后关闭所有气路、循环泵和进气泵。

[0043] 在一次运行时,首先,调节各流量控制器至设定的流量;开启待测气体进气气路,保持氧化气路、气水分离气路、加氢气路和加湿气路关闭;获取足够待测气体后关闭待测气体进气气路;然后,开启第一循环泵91,使待测气体在待测气体测量回路中循环一段时间达到稳定,使用第一氙浓度测量装置71测量其由还原态氙和氟化水构成的总氙浓度;关闭阀门8,将气水分离气路连入待测气体测量回路;并根据需要将加湿气路连入待测气体测量回路,以为该回路中的气体加湿;使用第一温度湿度压力测量装置61监测待测气体测量回路内的温度、湿度、压力参数;而后,调节第二流量控制器32至设定值,为吹扫气体测量气路增加吹扫气体;当吹扫气路达到一定压力后,关闭第二流量控制器32,开启第二循环泵,使得

吹扫气体在吹扫气体测量气路中循环,从而带走待测气体中的氟化水;当整个系统运行一段时间,氟化水与吹扫气体充分混合后,关闭第二循环泵;然后,使用第二氟浓度测量装置测量吹扫气体测量气路中的氟浓度,使用第二温度湿度压力测量装置62监视吹扫气体测量气路中的气体参数。通过待测气体测量回路和吹扫气体测量气路的体积、温度、湿度、压力可以计算得到待测气体中氟化水的浓度 $C_{HFO}$ ,计算原理如下:

$$[0044] \quad C_{HFO} = \frac{\frac{C_1 V_1}{\eta}}{\frac{T_0 P_2 V_2}{T_2 P_0} - \frac{T_0 P_1 V_2}{T_1 P_0}} \quad (1),$$

[0045] 其中, $C_1$ 表示此时第二氟浓度测量装置所测量到的氟浓度, $V_1$ 表示吹扫气体测量气路的体积, $P_0$ 表示待测气体的进气压力, $V_0$ 表示待测气体的进气体积, $T_0$ 表示待测气体的进气温度, $P_1$ 表示待测气体测量回路在进气前的压力, $V_2$ 表示待测气体测量回路在进气前的体积, $T_1$ 表示待测气体测量回路在进气前的温度, $P_2$ 表示待测气体测量回路在进气前的压力, $T_2$ 表示待测气体测量回路在进气前的温度, $\eta$ 表示气水分离器的效率。

[0046] 得到待测气体中氟化水的浓度之后,将气水分离器从待测气体测量回路中断开,将氧化气路及加氢气路连入待测气体测量回路,并根据情况开启储氢合金13并将第三流量控制器33开启到预定值以加入适量氢气后关闭;而后,开启第一循环泵91及氧化炉10,将待测气体测量回路中的还原态氟及氢气氧化为氟化水及水;然后,从待测气体测量回路中断开氧化气路和加氢气路,将气水分离气路和加湿气路连入待测气体循环回路;待第一循环泵91工作一段时间气路稳定后开启第二循环泵,再次对气水分离器进行吹扫,从而带走待测气体中的氟化水;整个系统工作一段时间后,使用第二氟浓度测量装置测量气路中的氟浓度,当第二氟浓度测量装置示数不再变化后,所测得氟的增加量全部来源于主气路中原来的还原态氟,从而得到待测气体中还原态氟的浓度 $C_{HT/CH_3T}$ ,计算原理如下:

$$[0047] \quad C_{HT/CH_3T} = \frac{\frac{(C_2 - C_1) V_1}{\eta}}{\frac{T_0 P_2 V_2}{T_2 P_0} - \frac{T_0 P_1 V_2}{T_1 P_0}} \quad (2),$$

[0048] 一次运行结束后,开启所有气路,循环泵及流量控制器,对整个回路进行吹扫。当然,对气路中各部件的控制可以通过软件控制实现。

[0049] 应该理解,系统运行前需详细计算管路内气体体积,实验时需详细记录稳定状态下的管路内温湿度及压力情况以及记录流入管路中的各种气体质量。

[0050] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

