



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102520434 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 14

(21) 申请号 201110427408. 3

(22) 申请日 2011. 12. 19

(73) 专利权人 衡阳师范学院
地址 421008 湖南省衡阳市黄白路 165 号

(72) 发明人 谭延亮 袁红志

(74) 专利代理机构 衡阳市科航专利事务所
43101

代理人 邹小强

(51) Int. Cl.
G01T 1/167(2006. 01)

审查员 任晓峰

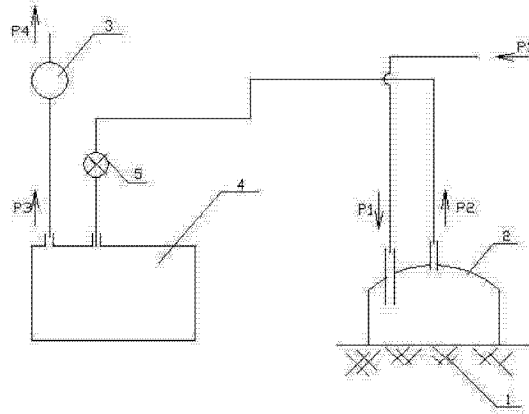
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

开环式快速测量氦析出率的方法

(57) 摘要

开环式快速测量氦析出率的方法,它包括两种测量方式:一、将积氦罩扣在待测介质表面上后测量多个较短周期,其每个周期为 1-20 分钟,得到氦浓度序列,每个周期的测量数据,认为近似是在每个测量周期中点的 218Po 浓度,然后依据式(8)进行非线性数据拟合就可以得到氦析出率;二、将积氦罩扣在待测介质表面上后测量一个较长周期,其周期为 20-200 分钟,据式(14)或(15)就可以利用一个较长测量周期的测量值求得氦的析出率。本发明提供的开环式快速测量氦析出率的方法测量快速,利用积氦罩内达到平衡前的测量数据就可以通过计算得到氦析出率。



1. 一种开环式快速测量氦析出率的方法,其特征是:包括将积氦罩扣在待测介质表面上后测量多个较短周期或者是测量一个较长周期;

测量多个较短周期时,其每个周期为 1-20 分钟,得到氦浓度序列,积氦罩内的氦浓度

按式(3) $C(t) = \frac{JS}{L} - \frac{JS}{L} e^{-\frac{L}{V}t}$ 变化;

其中:J为被测介质表面氦析出率;S为集氦罩的底面积;V为集氦罩空间体积;L为气泵的流量;

当积氦罩的体积远远大于静电收集法测氦仪测量室的体积时,气泵的流率较大,可以近似认为测氦仪测量室内的氦浓度与积氦罩内的氦浓度同步变化;

根据静电收集法测氦仪的原理可知,其测量室内 ^{218}Po 浓度的变化规律为:

$$\frac{dC_{Po}(t)}{dt} = \lambda_{Po}C(t) - \lambda_{Po}C_{Po}(t) \quad (6)$$

式中 $C_{Po}(t)$ 为测氦仪测量室内 ^{218}Po 浓度, λ_{Po} 为 ^{218}Po 衰变常数;

测氦仪测量室内与积氦罩内的氦浓度的初始值都为 0,测量室内 ^{218}Po 浓度的初始值也为 0;

将式(3)带入式(6)得到:

$$\frac{dC_{Po}(t)}{dt} = \lambda_{Po} \left(\frac{JS}{L} - \frac{JS}{L} e^{-\frac{L}{V}t} \right) - \lambda_{Po}C_{Po}(t) \quad (7)$$

式(7)的解为:

$$C_{Po}(t) = \frac{JS}{L} + \frac{JS}{L} \frac{V\lambda_{Po} e^{-\frac{L}{V}t} - Le^{-\lambda_{Po}t}}{L(L - V\lambda_{Po})} \quad (8)$$

静电收集法测氦仪的测量室内 ^{218}Po 浓度的变化规律为式(8);

将 n 个周期的测量数据,认为近似是在每个测量周期中点的 ^{218}Po 浓度,然后依据式(8)进行非线性数据拟合就可以得到氦析出率;

测量一个较长周期时,其周期为 20-200 分钟,积氦罩内的氦浓度按式(3)

$C(t) = \frac{JS}{L} - \frac{JS}{L} e^{-\frac{L}{V}t}$ 变化;

当 $t=T$, T 为测量周期,式(8)变化为:

$$C_{Po}(T) = \frac{JS}{L} + \frac{JS}{L} \frac{V\lambda_{Po} e^{-\frac{L}{V}T} - Le^{-\lambda_{Po}T}}{L(L - V\lambda_{Po})} \quad (9)$$

对式(7)在 (0, T) 区间积分得到:

$$C_{Po}(T) = \lambda_{Po}T \frac{JS}{L} - \lambda_{Po} \frac{JSV}{L^2} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) - \lambda_{Po} \int_0^T C_{Po}(t) dt \quad (10)$$

根据静电收集法测氦仪的原理有:

$$C^n = \frac{1}{T} \int_0^T C_{Po}(t) dt \quad (11)$$

将式(11)代入式(10)得到：

$$C_{Po}(T) = \lambda_{Po} T \frac{JS}{L} - \lambda_{Po} \frac{JSV}{L^2} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) - \lambda_{Po} TC^n \quad (12)$$

式(9)减去式(12)得到：

$$\frac{JS}{L} \left\{ 1 + \frac{V \lambda_{Po} e^{-\frac{L}{V}T} - L e^{-\lambda_{Po}T}}{(L - V \lambda_{Po})} - \lambda_{Po} T + \lambda_{Po} \frac{V}{L} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) \right\} = -\lambda_{Po} TC^n \quad (13)$$

解得：

$$J = -\lambda_{Po} TC^n \frac{L}{S} \left\{ 1 + \frac{V \lambda_{Po} e^{-\frac{L}{V}T} - L e^{-\lambda_{Po}T}}{(L - V \lambda_{Po})} - \lambda_{Po} T + \lambda_{Po} \frac{V}{L} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) \right\} \quad (14)$$

当 T 较大时， $e^{-\frac{L}{V}T}$ ， $e^{-\lambda_{Po}T}$ 的值都非常小，式(14)可以简化为：

$$J = -\lambda_{Po} TC^n \frac{L}{S} \left(1 - \lambda_{Po} T + \lambda_{Po} \frac{V}{L} \right) \quad (15)$$

据式(14)或(15)就可以利用一个较长测量周期的测量值求得氮的析出率。

开环式快速测量氡析出率的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及到核辐射探测技术领域,特别是一种测量氡析出率的方法。

背景技术

[0002] 氡析出率是指在单位时间内穿过单位面积的介质表面析出到空气中的氡的活度。测量介质表面的氡析出率是评价天然辐射水平和评价铀矿山退役治理是否合格的重要手段之一。

[0003] 累积法、开环式和活性炭吸附法是测量氡析出率的常用方法。

[0004] 活性炭吸附法需要较长的测量时间,不能很快得到测量结果。

[0005] 累积法就是在射气介质的表面扣一个集氡罩,周边用不透气的材料密封,被测介质表面析出的氡被集氡罩收集,罩内氡浓度随时间延长而增加,由此得到氡析出率。使用累积法的静电收集式氡析出率仪以其简便迅速、可即时测量给出结果得到了较广泛的应用。累积法测量氡析出率需要考虑泄露和反扩散的影响,还要考虑 ^{218}Po 非平衡修正,计算较为复杂。

[0006] 开环方式测量氡析出率,不需要考虑泄露和反扩散的影响,计算简单,得到的介质表面氡析出率与参考值符合得较好。开环式氡析出率测量系统如图 1 所示,由集氡罩 2、流量计 3、测氡仪 4、气泵 5 组成。集氡罩 2 的出气口通过管道与气泵 5 连接,气泵 5 通过管道与测氡仪 4 的进气口连接,测氡仪 4 的出气口通过管道与流量计 3 连接。所述的气泵 5 可以外置,也可以置于测氡仪 4 的内部。对于静电收集法测氡仪,由于测氡仪的测量值会随着空气中的湿度的提高而降低,因此可以利用温度、湿度曲线来修正不同温度、湿度条件下的测氡仪测量值;或者使用一个干燥管来干燥进入测氡仪的空气,使得测氡仪内测量室的空气湿度低于 10%。

[0007] 开环方式测量氡析出率与积累法最大的不同在于:将集氡罩 2 扣在待测介质表面 1 上后,测量时利用气泵 5 不断从外界泵入干净的空气(一般来说,室外干净空气氡浓度为几个 Bq/m^3 ,可近似为零。)氡析出率测量时特别要注意气泵 5 的流量,高流量可能导致集氡罩 2 内形成负压,会使氡析出率变大。集氡罩 2 中氡浓度的变化可用式 (1) 描述:

$$[0008] \quad \frac{dC(t)}{dt} = \frac{JS - LC(t)}{V} - \lambda C(t) - RC(t) \quad (1)$$

$$[0009] \quad = \frac{JS}{V} - \left(\frac{L}{V} + \lambda + R\right)C(t)$$

[0010] 其中:J 为被测介质表面氡析出率;S 为集氡罩 2 的底面积;V 为集氡罩 2 空间体积;L 为气泵 5 的流量; λC 为集氡罩 2 内氡的衰变引起的氡浓度变化; λ 为氡的衰变常数 ($2.1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$);C 为集氡罩 2 内积累 t 时刻的氡浓度;R 为氡的泄露和反扩散率;t 为集氡的时间。

[0011] 对于比较致密的介质,在密闭良好的情况下,可以忽略泄露和反扩散的影响,因为该效应比开环主动泄露小得多。

[0012] 当 $\frac{L}{V} \gg \lambda + R$, 式 (1) 可简化为 :

$$[0013] \quad \frac{dC(t)}{dt} = \frac{JS}{V} - \frac{L}{V}C(t) \quad (2)$$

[0014] 令集氦罩 2 内氦的初始浓度为零, 解得 :

$$[0015] \quad C(t) = \frac{JS}{L} - \frac{JS}{L}e^{-\frac{L}{V}t} \quad (3)$$

[0016] 当 t 足够大时, 式 (3) 可简化为 :

$$[0017] \quad C(t) = \frac{JS}{L} \quad (4)$$

$$[0018] \quad \text{即} : J = \frac{LC(t)}{S} \quad (5)$$

[0019] 这样利用式 (5) 就可得到氦析出率。

[0020] 这种传统的开环式测量方法, 需要较长的时间等待积氦罩内的氦浓度趋于恒定值。

发明内容

[0021] 本发明的目的是克服现有技术的上述不足而提供一种开环式快速测量氦析出率的方法。

[0022] 本发明的技术方案是 : 一种开环式快速测量氦析出率的方法, 将积氦罩扣在待测介质表面上后测量多个较短周期, 其每个周期为 1-20 分钟, 得到氦浓度序列, 积氦罩内的氦浓度按式 (3) $C(t) = \frac{JS}{L} - \frac{JS}{L}e^{-\frac{L}{V}t}$ 变化。

[0023] 当积氦罩的体积远远大于静电收集法测氦仪测量室的体积时, 气泵的流率较大, 可以近似认为测氦仪测量室内的氦浓度与积氦罩内的氦浓度同步变化。

[0024] 根据静电收集法测氦仪的原理可知, 其测量室内 ^{218}Po 浓度的变化规律为 :

$$[0025] \quad \frac{dC_{Po}(t)}{dt} = \lambda_{Po}C(t) - \lambda_{Po}C_{Po}(t) \quad (6)$$

[0026] 式中 $C_{Po}(t)$ 为测氦仪测量室内 ^{218}Po 浓度, λ_{Po} 为 ^{218}Po 衰变常数。

[0027] 测氦仪测量室内与积氦罩内的氦浓度的初始值都为 0, 测量室内 ^{218}Po 浓度的初始值也为 0。

[0028] 将式 (3) 带入式 (6) 得到 :

$$[0029] \quad \frac{dC_{Po}(t)}{dt} = \lambda_{Po}\left(\frac{JS}{L} - \frac{JS}{L}e^{-\frac{L}{V}t}\right) - \lambda_{Po}C_{Po}(t) \quad (7)$$

[0030] 式 (7) 的解为 :

$$[0031] \quad C_{Po}(t) = \frac{JS}{L} + JS \frac{V\lambda_{Po}e^{-\frac{L}{V}t} - Le^{-\lambda_{Po}t}}{L(L - V\lambda_{Po})} \quad (8)$$

[0032] 静电收集法测氦仪的测量室内 ^{218}Po 浓度的变化规律为式 (8)。

[0033] 将 n 个周期的测量数据, 认为近似是在每个测量周期中点的 ^{218}Po 浓度, 然后依据

式 (8) 进行非线性数据拟合就可以得到氦析出率。

[0034] 本发明进一步的技术方案是：将积氦罩扣在待测介质表面上后测量一个较长周期，其周期为 20-200 分钟，积氦罩内的氦浓度按式 (3) $C(t) = \frac{JS}{L} - \frac{JS}{L} e^{-\frac{L}{V}t}$ 变化。

[0035] 当 $t = T$, T 为测量周期，式 (8) 变化为：

$$[0036] \quad C_{P_o}(T) = \frac{JS}{L} + JS \frac{V \lambda_{P_o} e^{-\frac{L}{V}T} - L e^{-\lambda_{P_o}T}}{L(L - V \lambda_{P_o})} \quad (9)$$

[0037] 对式 (7) 在 $(0, T)$ 区间积分得到：

$$[0038] \quad C_{P_o}(T) = \lambda_{P_o} T \frac{JS}{L} - \lambda_{P_o} \frac{JSV}{L^2} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) - \lambda_{P_o} \int_0^T C_{P_o}(t) dt \quad (10)$$

[0039] 根据静电收集法测氦仪的原理有：

$$[0040] \quad C^n = \frac{1}{T} \int_0^T C_{P_o}(t) dt \quad (11)$$

[0041] 将式 (11) 带入式 (10) 得到：

$$[0042] \quad C_{P_o}(T) = \lambda_{P_o} T \frac{JS}{L} - \lambda_{P_o} \frac{JSV}{L^2} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) - \lambda_{P_o} T C^n \quad (12)$$

[0043] 式 (9) 减去式 (12) 得到：

$$[0044] \quad \frac{JS}{L} \left\{ 1 + \frac{V \lambda_{P_o} e^{-\frac{L}{V}T} - L e^{-\lambda_{P_o}T}}{(L - V \lambda_{P_o})} - \lambda_{P_o} T + \lambda_{P_o} \frac{V}{L} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) \right\} = -\lambda_{P_o} T C^n$$

[0045] (13)

[0046] 解得：

$$[0047] \quad J = -\lambda_{P_o} T C^n \frac{L}{S} / \left\{ 1 + \frac{V \lambda_{P_o} e^{-\frac{L}{V}T} - L e^{-\lambda_{P_o}T}}{(L - V \lambda_{P_o})} - \lambda_{P_o} T + \lambda_{P_o} \frac{V}{L} (1 - e^{-\frac{L}{V}T}) \right\} \quad (14)$$

[0048] 当 T 较大时， $e^{-\frac{L}{V}T}$ ， $e^{-\lambda_{P_o}T}$ 的值都非常小，式 (14) 可以简化为：

$$[0049] \quad J = -\lambda_{P_o} T C^n \frac{L}{S} / (1 - \lambda_{P_o} T + \lambda_{P_o} \frac{V}{L}) \quad (15)$$

[0050] 据式 (14) 或 (15) 就可以利用一个较长测量周期的测量值求得氦的析出率。

[0051] 本发明与现有技术相比具有如下特点：

[0052] 本发明提供的开环式快速测量氦析出率的方法测量快速，利用积氦罩内达到平衡前的测量数据就可以通过计算得到氦析出率。

[0053] 以下结合附图和具体实施方式对本发明的详细结构作进一步描述。

附图说明

[0054] 附图 1 为开环式测量氦析出率装置结构示意图，图中 P1 为进气方向，P2 为集氦罩的出气方向，P3 为测氦仪的出气方向，P4 为流量计 4 的出气方向。

具体实施方式

[0055] 实施例一、利用一台修正因子为 1.12 的 RAD7 在氡析出率参考值为 $1.48\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的参考装置上测量 40 分钟, 积氡罩 2 体积 4 升, 积氡罩 2 底面积 0.043 平方米, RAD7 内的泵的流率 $520\text{ml}/\text{min}$, ^{218}Po 半衰期为 3.1min , λ_{Po} 为 0.2236min^{-1} , 2 次测量值分别为: $5566\text{Bq}/\text{m}^3$, $5180\text{Bq}/\text{m}^3$ 。RAD7 使用一个小干燥管来干燥进入测氡仪的空气, 使得测氡仪内测量室的空气湿度低于 10%。

[0056] 依据式 (15), 求得两次测量得到的氡析出率分别为: $1.58\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $1.47\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。非常接近参考值。

[0057] 本实施例提供的自适应开环式测量氡析出率装置由集氡罩 2、流量计 3、测氡仪 4、气泵 5 组成。集氡罩 2 的出气口通过管道与气泵 5 连接, 气泵 5 通过管道与测氡仪 4 的进气口连接, 测氡仪 4 的出气口通过管道与流量计 3 连接。测氡仪 4 为一台修正因子为 1.12 的 RAD7, 所述的气泵 5 置于测氡仪 4 的内部。

[0058] 实施例二、利用一台修正因子为 1.12 的 RAD7 在氡析出率参考值为 $1.48\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的参考装置上测量 5 次, 测量周期 10 分钟, 积氡罩 2 体积 4 升, 积氡罩 2 底面积 0.043 平方米, RAD7 的泵的流率 $520\text{ml}/\text{min}$, RAD7 使用一个小干燥管来干燥进入测氡仪的空气, 使得测氡仪内测量室的空气湿度低于 10%。

[0059] 式 (8) 带入相关参数后变为:

$$[0060] \quad C_{\text{Po}}(t) = \frac{JS}{L} \left(1 - \frac{0.8944e^{-0.13t} - 0.52e^{-0.2236t}}{0.3744} \right) \quad (16)$$

$$[0061] \quad = 14961.54 \left(1 - \frac{0.8944e^{-0.13t} - 0.52e^{-0.2236t}}{0.3744} \right)$$

[0062] 第一次测量数据:

测量周期	对应时间点 (min)	测量值	修正因子	修正值
1	5	1300	1.12	1456
2	15	5020	1.12	5622
3	25	6480	1.12	7258
4	35	7080	1.12	7930
5	45	7170	1.12	8030

[0064] 第二次测量数据:

测量周期	对应时间点 (min)	测量值	修正因子	修正值
1	5	929	1.12	1040
[0065] 2	15	4230	1.12	4738
3	25	6210	1.12	6955
4	35	7130	1.12	7986
5	45	6610	1.12	7403

[0066] 利用式 (16) 对表 (1), 表 (2) 的数据进行非线性拟合得到:

$$[0067] \quad J = 1.61816 \pm 0.01407 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$$

$$[0068] \quad J = 1.5235 \pm 0.05667 \text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}。$$

[0069] 本实施例提供的自适应开环式测量氡析出率装置由由集氡罩 2、流量计 3、测氡仪 4、气泵 5 组成。集氡罩 2 的出气口通过管道与气泵 5 连接, 气泵 5 通过管道与测氡仪 4 的进气口连接, 测氡仪 4 的出气口通过管道与流量计 3 连接。测氡仪 4 为一台修正因子为 1.12 的 RAD7, 所述的气泵 5 置于测氡仪 4 的内部。

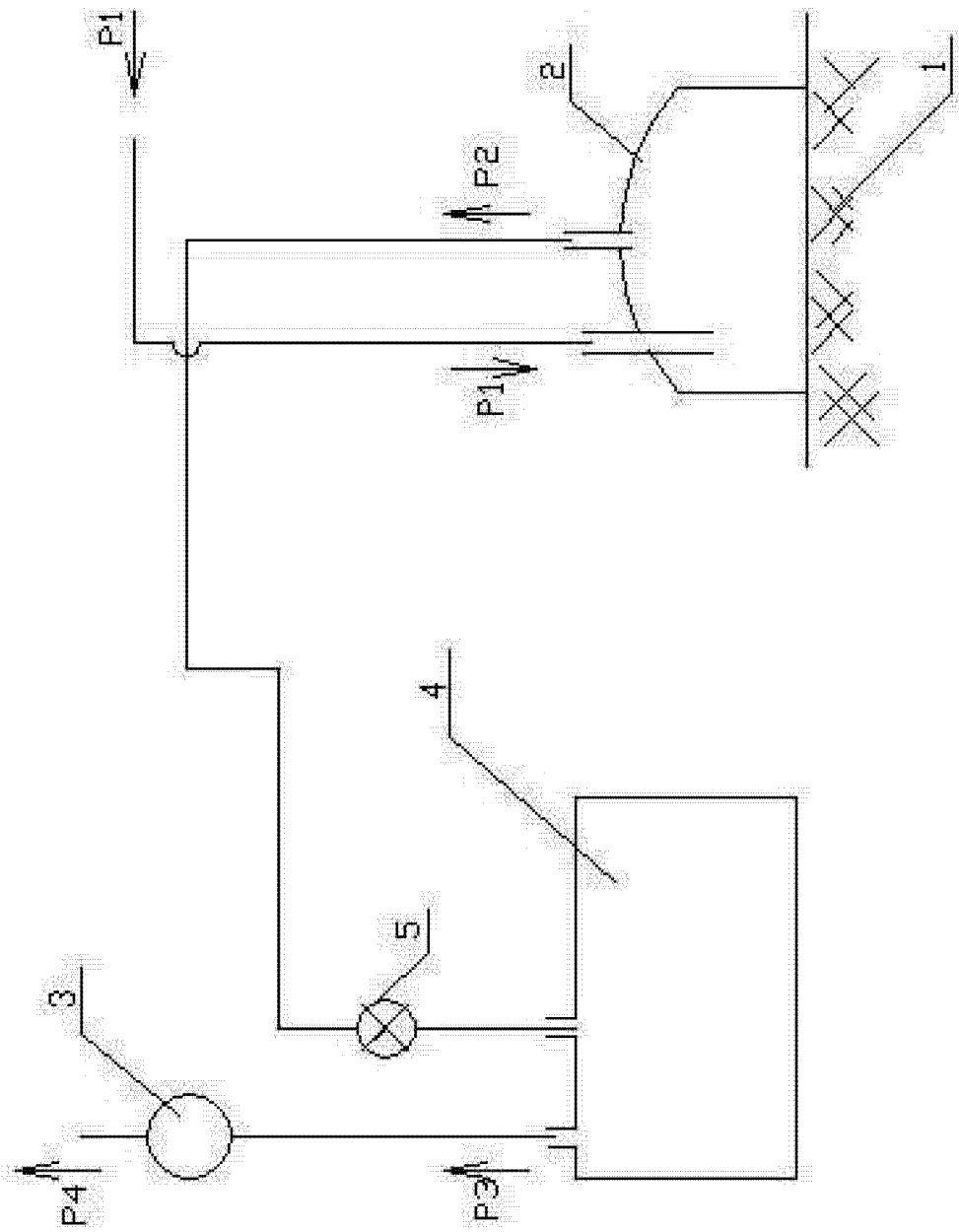


图 1