



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102426379 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 19

(21) 申请号 201110366385. X

CN 101782655 A, 2010. 07. 21,

(22) 申请日 2011. 11. 18

审查员 任晓峰

(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)

(56) 对比文件

CN 102043159 A, 2011. 05. 04,

CN 101609154 A, 2009. 12. 23,

DE 202006004626 U1, 2006. 08. 24,

WO 8808989 A1, 1988. 11. 17,

US 5489780 A, 1996. 02. 06,

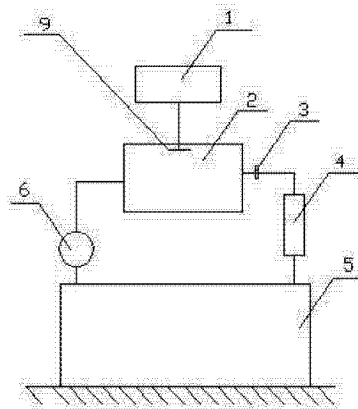
权利要求书4页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

两段法测量氦析出率的方法

(57) 摘要

一种两段法测量氦析出率的方法,用静电收集法测氦仪测量集氦罩内氦浓度的变化来得到氦析出率。它包括测量过程和计算过程,测量集氦罩内两个较长周期的氦浓度,利用式(2)、(3)或者(4)、(5)或者(6)、(7)或者(8)、(9)或者(10)、(11)任一组公式就可以解得氦析出率;测量集氦罩内三个较长周期的氦浓度,第一个测量周期为20分钟,利用第二、第三个测量周期的数据,利用式(13)、(14)或者(15)、(16)或者(17)、(18)或者(19)、(20)或者(21)、(22)或者(23)、(24)、(25)、(26)任一组公式就可以解得氦析出率。该测量和计算方法测量装置简单、操作方便,满足了氦析出率快速测量的需要。



1. 一种两段法测量氦析出率的方法,它包括测量过程和计算过程,测量过程如下:

将一面开口的集氦罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氦罩收集室内,由于介质内的氦原子在扩散与渗流作用下,逸出表面进入集氦罩,导致集氦罩内氦浓度变化;泵一直以恒定流速将集氦罩内的氦通过干燥管和滤膜滤出子体后泵入测量室,流速 0.5-2 升/分钟,使得测量室的氦浓度与集氦罩内的氦浓度平衡;

测量室内有一半导体探测器,半导体探测器与二次仪表连接,探测钋 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数;在测量室底及壁与半导体探测器之间加以 50-300 伏/厘米的电场,使得氦衰变后产生的带正电的钋 218 在电场作用下高速吸附到半导体探测器面上,提高探测效率;

测量采用较长的时间间隔测量,即 5-120 分钟测量一次,设置两个测量周期,从集氦罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氦罩收集室内就开始连续测量,时间为  $T_1$ ;然后再连续测量,时间为  $T_2$ ;通过两个周期的测量数据就可以快速通过简单的计算方法得到的较准确的氦析出率;2 个测量周期的时间可以相等,也可不等;其特征是:计算过程如下:

将集氦罩扣在待测介质表面上,在测氦装置的泵的作用下,积氦罩内的空气与测氦装置内测量室内空气交换,氦浓度很快达到接近相等,测氦装置内测量室内  $^{218}\text{Po}$  浓度变化规律可用式(1)

$$C_{Po}(t) = \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{\lambda_e e^{-\lambda_{Po} t} - \lambda_{Po} e^{-\lambda_e t}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right) \quad (1)$$

式中 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; $\lambda_e$  为有效衰变常数,包括氦的衰变常数,集氦罩内氦的泄漏系数和反扩散系数; $\lambda_{Po}$  为  $^{218}\text{Po}$  的衰变常数;t 为集氦的时间;

两个测量周期分别为  $T_1$  和  $T_2$ ,对式(1)在  $\{0, T_1\}$  和  $\{T_1, T_1+T_2\}$  区间分别积分,再分别除以  $T_1$  和  $T_2$  可以得到:

$$C^1 = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} C_{Po}(t) dt = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 - \frac{\lambda_e (1 - e^{-\lambda_{Po} T_1}) - \lambda_{Po} (1 - e^{-\lambda_e T_1})}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (2)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} \int_{T_1}^{T_1+T_2} C_{Po}(t) dt = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 - \frac{\lambda_e (e^{-\lambda_{Po} T_1} - e^{-\lambda_{Po} (T_1+T_2)}) - \lambda_{Po} (e^{-\lambda_e T_1} - e^{-\lambda_e (T_1+T_2)})}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (3)$$

$C^1, C^2$  分别为测氦仪在两个测量周期的读数;

根据式(2)、(3)可以解得氦析出率 J 和有效衰变常数  $\lambda_e$ ;

当  $\lambda_{Po} \gg \lambda_e$ ,  $T_1$  和  $T_2$  足够大,式(2)、(3)可以简化为:

$$C^1 = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 + \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} (1 - e^{-\lambda_e T_1}) - \frac{\lambda_e}{\lambda_{Po}}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (4)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 + \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} (e^{-\lambda_e T_1} - e^{-\lambda_e (T_1 + T_2)})}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (5)$$

式(4)、(5)可以进一步简化为

$$C^1 = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 - \frac{1}{\lambda_e} (1 - e^{-\lambda_e T_1}) + \frac{\lambda_e}{\lambda_{Po}^2} \right] \quad (6)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 - \frac{1}{\lambda_e} (e^{-\lambda_e T_1} - e^{-\lambda_e (T_1 + T_2)}) \right] \quad (7)$$

式(4)、(5)还可以进一步简化为

$$C^1 = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 + \frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e (\lambda_e - \lambda_{Po})} - \frac{\lambda_e}{\lambda_{Po} (\lambda_e - \lambda_{Po})} \right] \quad (8)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 + \frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e (\lambda_e - \lambda_{Po})} e^{-\lambda_e T_1} \right] \quad (9)$$

式(6)、(7)可以进一步简化为：

$$C^1 = \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_e T_1} + \frac{\lambda_e}{T_1 \lambda_{Po}^2} \right) \quad (10)$$

$$\approx \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_e T_1} \right)$$

$$C^2 = \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_e T_2} e^{-\lambda_e T_1} \right) \quad (11)$$

依据式(2)、(3)或者(4)、(5)或者(6)、(7)或者(8)、(9)或者(10)、(11)任一组公式就可以解得氦析出率J和有效衰变常数 $\lambda_e$ 。

2、根据权利要求1所述的一种两段法测量氦析出率的方法,其特征是:测量采用较长的时间间隔测量,即5-120分钟测量一次,设置三个测量周期,从集氦罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氦罩收集室内就开始连续测量,时间为20分钟;然后再连续测量,时间为 $T_1$ ;然后再连续测量,时间为 $T_2$ ,其中第一个测量周期的数据舍弃不用;

当测量时间大于20分钟后,测氦仪内部测量室内的 $^{218}\text{Po}$ 浓度的变化规律为:

$$C_{Po}(t) = \frac{JS}{V_C \lambda_e} \left( 1 + \frac{\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} - \lambda_{Po}}{LV_C \lambda_e - \lambda_{Po}} \right) \quad (12)$$

式中  $V_C, V_R$  分别为积氦罩和测氦仪内测量室的体积,  $L$  为泵的流速;

舍弃 20 分钟以前的测量数据, 在开始测量 20 分钟后测量两个测量周期分别为  $T_1$  和  $T_2$ , 对式(12)在  $\{20, 20+T_1\}$  和  $\{20+T_1, 20+T_1+T_2\}$  区间分别积分, 再分别除以  $T_1$  和  $T_2$  可以得到:

$$C^1 = \frac{1}{T_1} \int_{1200}^{1200+T_1} C_{Po}(t) dt$$

$$= \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{\frac{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e}{LV_C \lambda_e} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{LV_C \lambda_e (1200+T_1)}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e}} - e^{\frac{1200 LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e}} \right)}{\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} - \lambda_{Po}} \right] \quad (13)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} \int_{1200+T_1}^{1200+T_1+T_2} C_{Po}(t) dt$$

$$= \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\frac{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e}{LV_C \lambda_e} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{LV_C \lambda_e (1200+T_1+T_2)}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e}} - e^{\frac{(1200+T_1) LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e}} \right)}{\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} - \lambda_{Po}} \right] \quad (14)$$

这样在开始测量 20 分钟后, 测量两个测量周期的数据, 就可以依据式(13)、(14) 求得氦析出率:

当  $V_C \gg V_R$  且  $L/V_R \gg \lambda_e$  式(13)、(14) 可以简化为:

$$C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{\frac{(V_C + V_R)}{\lambda_e V_C} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{V_C \lambda_e (1200+T_1)}{V_C + V_R}} - e^{\frac{1200 V_C \lambda_e}{V_C + V_R}} \right)}{\frac{\lambda_e V_C}{(V_C + V_R)} - \lambda_{Po}} \right] \quad (15)$$

$$C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\frac{V_C + V_R}{V_C \lambda_e} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{V_C \lambda_e (1200+T_1+T_2)}{V_C + V_R}} - e^{\frac{(1200+T_1) V_C \lambda_e}{V_C + V_R}} \right)}{\frac{V_C \lambda_e}{V_C + V_R} - \lambda_{Po}} \right] \quad (16)$$

式(15)、(16) 可以进一步简化为:

$$C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} \left( e^{-(1200+T_1)\lambda_e} - e^{-1200\lambda_e} \right)}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (17)$$

$$C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} \left( e^{-\lambda_e(1200+T_1+T_2)} - e^{-(1200+T_1)\lambda_e} \right)}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (18)$$

式(17)、(18)可以进一步简化为：

$$C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left( T_1 - \frac{\lambda_{Po} e^{-1200\lambda_e}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right) \quad (19)$$

$$C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\lambda_{Po} e^{-(1200+\tau)\lambda_e}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (20)$$

式(17)、(18)还可以进一步简化为：

$$C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{(e^{-1200\lambda_e} - e^{-(1200+\tau)\lambda_e})}{\lambda_e} \right] \quad (21)$$

$$C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{(e^{-(1200+\tau)\lambda_e} - e^{-\lambda_e(1200+\tau+\tau_2)})}{\lambda_e} \right] \quad (22)$$

式(13)、(14)可以还可以变化为：

$$C^1 = \frac{1}{T_1} a \left[ T_1 - \frac{\lambda_{Po} (e^{-b(1200+\tau)} - e^{-1200b})}{b - \lambda_{Po}} \right] \quad (23)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} a \left[ T_2 - \frac{\lambda_{Po} (e^{-(1200+\tau+\tau_2)b} - e^{-(1200+\tau)b})}{b - \lambda_{Po}} \right] \quad (24)$$

$$a = \frac{JS}{V_C \lambda_e} \quad (25)$$

$$b = \frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} \approx \frac{V_C \lambda_e}{V_C + V_R} \quad (26)$$

依据式(13)、(14)或者(15)、(16)或者(17)、(18)或者(19)、(20)或者(21)、(22)或者(23)、(24)、(25)、(26)任一组公式就可以解得氡析出率J和有效衰变常数 $\lambda_e$ 。

## 两段法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] 空气环境中氡主要来自于介质表面的析出,测量介质表面氡析出率的主要方法有累积法和活性炭吸附法。活性炭吸附法是利用活性炭对析出氡的吸附,通过对吸附在活性炭中的氡衰变产生的  $\gamma$  谱进行测量求出氡析出率,该方法测量时间长、不易实现自动化;累积法主要是用于测量一段时间内的平均氡析出率,具有重要的统计意义和参考价值。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。当前使用累积法都是采用一个集氡罩收集介质析出的氡,然后测量得到集氡罩内氡浓度的变化规律,对测量数据进行拟合得到氡浓度。中国专利文献公开了一种“测量氡析出率的方法”(申请号:200910043858.5)的发明专利申请,该发明专利申请公开了一种测量氡析出率的方法,由于在快速测量氡浓度过程中,氡浓度一直在上升,氡与其衰变子体钋 218 不可能达到平衡,通过测量钋 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数来反推氡的浓度,得到的氡的浓度偏低,因此采用现有的计算方法得到的氡析出率也偏低,该申请虽然给出了一种修正方法,但是数据拟合计算量较大。

### 发明内容

[0003] 本发明目的是克服现有技术的上述不足而公开一种测量氡析出率的方法,该方法包括测量过程和计算过程,它通过对现有的计算方法进行修正,能够快速通过简单的计算方法得到的较准确的氡析出率。

[0004] 本发明的技术方案是:一种两段法测量氡析出率的方法,它包括测量过程和计算过程。

[0005] 一、测量过程:

[0006] 将一面开口的集氡罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氡罩收集室内,由于介质内的氡原子在扩散与渗流作用下,逸出表面进入集氡罩,导致集氡罩内氡浓度变化。泵一直以恒定流速将集氡罩内的氡通过干燥管和滤膜滤出子体后泵入测量室,流速 0.5-2 升/分钟,使得测量室的氡浓度与集氡罩内的氡浓度平衡。

[0007] 测量室内有一半导体探测器,半导体探测器与二次仪表连接,探测钋 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数。在测量室底及壁与半导体探测器之间加以 50-300 伏/厘米的电场,使得氡衰变后产生的带正电的钋 218 在电场作用下高速吸附到半导体探测器面上,提高探测效率。

[0008] 本方法采用较长的时间间隔测量,即 5-120 分钟测量一次,设置两个测量周期,从集氡罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氡罩收集室内就开始连续测量,时间为  $T_1$ ;然后再连续测量,时间为  $T_2$ 。仅仅通过两个周期的测量数据就可以快速通过简单的计算方法得到较准确的氡析出率。这里 2 个测量周期的时间可以相等,也可不等。

[0009] 二、计算过程：

[0010] 将集氦罩扣在待测介质表面上，在测氦装置的泵的作用下，积氦罩内的空气与测氦装置内测量室内空气交换，氦浓度很快达到接近相等，测氦装置内测量室内  $^{218}\text{Po}$  浓度变化规律可用式(1)

$$[0011] \quad C_{Po}(t) = \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{\lambda_e e^{-\lambda_{Po} t} - \lambda_{Po} e^{-\lambda_e t}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right) \quad (1)$$

[0012] 式中 J 为被测介质表面氦析出率；S 为集氦罩的底面积；V 为集氦罩空间总体积（包括集氦罩体积、管道体积、测氦仪测量室体积、干燥管空隙体积）； $\lambda_e$  为有效衰变常数，包括氦的衰变常数，集氦罩内氦的泄漏系数和反扩散系数； $\lambda_{Po}$  为  $^{218}\text{Po}$  的衰变常数；t 为集氦的时间。

[0013] 两个测量周期分别为  $T_1$  和  $T_2$ ，对式(1)在  $\{0, T_1\}$  和  $\{T_1, T_1+T_2\}$  区间分别积分，再分别除以  $T_1$  和  $T_2$  可以得到：

$$[0014] \quad C^1 = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} C_{Po}(t) dt = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 - \frac{\frac{\lambda_e}{\lambda_{Po}} (1 - e^{-\lambda_{Po} T_1}) - \frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} (1 - e^{-\lambda_e T_1})}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (2)$$

$$C^2 = \frac{1}{T_2} \int_{T_1}^{T_1+T_2} C_{Po}(t) dt$$

$$[0015] \quad = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 - \frac{\frac{\lambda_e}{\lambda_{Po}} (e^{-\lambda_{Po} T_1} - e^{-\lambda_{Po} (T_1+T_2)}) - \frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} (e^{-\lambda_e T_1} - e^{-\lambda_e (T_1+T_2)})}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (3)$$

[0016]  $C^1, C^2$  分别为测氦仪在两个测量周期的读数。

[0017] 根据式(2)、(3)可以解得氦析出率 J 和有效衰变常数  $\lambda_e$ 。

[0018] 当  $\lambda_{Po} \gg \lambda_e$ ， $T_1$  和  $T_2$  足够大，式(2)、(3)可以简化为：

$$[0019] \quad C^1 = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 + \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} (1 - e^{-\lambda_{Po} T_1}) - \frac{\lambda_e}{\lambda_{Po}}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (4)$$

$$[0020] \quad C^2 = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 + \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} (e^{-\lambda_{Po} T_1} - e^{-\lambda_{Po} (T_1+T_2)})}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (5)$$

[0021] 式(4)、(5)可以进一步简化为

$$[0022] \quad C^1 = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 - \frac{1}{\lambda_e} (1 - e^{-\lambda_e T_1}) + \frac{\lambda_e}{\lambda_{Po}^2} \right] \quad (6)$$

$$[0023] \quad C^2 = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 - \frac{1}{\lambda_e} (e^{-\lambda_e T_1} - e^{-\lambda_e (T_1 + T_2)}) \right] \quad (7)$$

[0024] 式(4)、(5)还可以进一步简化为

$$[0025] \quad C^1 = \frac{1}{T_1} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_1 + \frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e (\lambda_e - \lambda_{Po})} - \frac{\lambda_e}{\lambda_{Po} (\lambda_e - \lambda_{Po})} \right] \quad (8)$$

$$[0026] \quad C^2 = \frac{1}{T_2} \frac{JS}{\lambda_e V} \left[ T_2 + \frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e (\lambda_e - \lambda_{Po})} e^{-\lambda_e T_1} \right] \quad (9)$$

[0027] 式(6)、(7)可以进一步简化为：

$$[0028] \quad C^1 = \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_e T_1} + \frac{\lambda_e}{T_1 \lambda_{Po}^2} \right) \quad (10)$$

$$\approx \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_e T_1} \right)$$

$$[0029] \quad C^2 = \frac{JS}{\lambda_e V} \left( 1 - \frac{1}{\lambda_e T_2} e^{-\lambda_e T_1} \right) \quad (11)$$

[0030] 依据式(2)、(3)或者(4)、(5)或者(6)、(7)或者(8)、(9)或者(10)、(11)任一公式就可以解得氡析出率J和有效衰变常数 $\lambda_e$ 。

[0031] 本发明还提供了另一种测量过程和计算过程：

[0032] 将一面开口的集氡罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氡罩收集室内,由于介质内的氡原子在扩散与渗流作用下,逸出表面进入集氡罩,导致集氡罩内氡浓度变化。泵一直以恒定流速将集氡罩内的氡通过干燥管和滤膜滤出子体后泵入测量室,流速0.5-2升/分钟,使得测量室的氡浓度与集氡罩内的氡浓度平衡。

[0033] 测量室内有一半导体探测器,半导体探测器与二次仪表连接,探测钋218衰变放出的 $\alpha$ 粒子计数。在测量室底及壁与半导体探测器之间加以50-300伏/厘米的电场,使得氡衰变后产生的带正电的钋218在电场作用下高速吸附到半导体探测器面上,提高探测效率。

[0034] 本方法采用较长的时间间隔测量,即5-120分钟测量一次,设置三个测量周期,从集氡罩扣在待测介质表面上,或将介质装入密闭的集氡罩收集室内就开始连续测量,时间为20分钟;然后再连续测量,时间为 $T_1$ ;然后再连续测量,时间为 $T_2$ 。其中第一个测量周期的数据舍弃不用。

[0035] 当测量时间大于20分钟后,测氡仪内部测量室内的218Po浓度的变化规律为：

$$[0036] \quad C_{Po}(t) = \frac{JS}{V_C \lambda_e} \left( 1 + \frac{\lambda_{Po} e^{-\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} t}}{\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} - \lambda_{Po}} \right) \quad (12)$$

[0037] 式中 $V_C$ ,  $V_R$ 分别为积氡罩和测氡仪内测量室的体积, $L$ 为泵的流速。

[0038] 舍弃20分钟以前的测量数据,在开始测量20分钟后测量两个测量周期分别为 $T_1$



和  $T_2$ , 对式(12)在  $\{20, 20+T_1\}$  和  $\{20+T_1, 20+T_1+T_2\}$  区间分别积分, 再分别除以  $T_1$  和  $T_2$  可以得到:

$$\begin{aligned}
 C^1 &= \frac{1}{T_1} \int_{1200}^{1200+T_1} C_{Po}(t) dt \\
 [0039] \quad &= \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{\frac{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e}{LV_C \lambda_e} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{LV_C \lambda_e (1200+T_1)}{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e}} - e^{\frac{1200 LV_C \lambda_e}{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e}} \right)}{\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e} - \lambda_{Po}} \right] \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C^2 &= \frac{1}{T_2} \int_{1200+T_1}^{1200+T_1+T_2} C_{Po}(t) dt \\
 [0040] \quad &= \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\frac{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e}{LV_C \lambda_e} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{LV_C \lambda_e (1200+T_1+T_2)}{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e}} - e^{\frac{(1200+T_1) LV_C \lambda_e}{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e}} \right)}{\frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C+V_R)+V_C V_R \lambda_e} - \lambda_{Po}} \right] \quad (14)
 \end{aligned}$$

[0041] 这样在开始测量 20 分钟后, 测量两个测量周期的数据, 就可以依据式(13)、(14)求得氮析出率。

[0042] 当  $V_C \gg V_R$  且  $L/V_R \gg \lambda_e$  式(13)、(14)可以简化为:

$$[0043] \quad C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{\frac{(V_C+V_R)}{\lambda_e V_C} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{V_C \lambda_e (1200+T_1)}{V_C+V_R}} - e^{\frac{1200 V_C \lambda_e}{V_C+V_R}} \right)}{\frac{\lambda_e V_C}{(V_C+V_R)} - \lambda_{Po}} \right] \quad (15)$$

$$[0044] \quad C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\frac{V_C+V_R}{V_C \lambda_e} \lambda_{Po} \left( e^{\frac{V_C \lambda_e (1200+T_1+T_2)}{V_C+V_R}} - e^{\frac{(1200+T_1) V_C \lambda_e}{V_C+V_R}} \right)}{\frac{V_C \lambda_e}{V_C+V_R} - \lambda_{Po}} \right] \quad (16)$$

[0045] 式(15)、(16)可以进一步简化为:

$$[0046] \quad C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} \left( e^{-(1200+T_1)\lambda_e} - e^{-1200\lambda_e} \right)}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (17)$$

$$[0047] \quad C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\frac{\lambda_{Po}}{\lambda_e} \left( e^{-\lambda_e(1200+T_1+T_2)} - e^{-(1200+T_1)\lambda_e} \right)}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (18)$$

[0048] 式(17)、(18)可以进一步简化为:

$$[0049] \quad C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left( T_1 - \frac{\lambda_{Po} e^{-1200\lambda_e}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right) \quad (19)$$

$$[0050] \quad C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{\lambda_{Po} e^{-(1200+\tau)\lambda_e}}{\lambda_e - \lambda_{Po}} \right] \quad (20)$$

[0051] 式(17)、(18)还可以进一步简化为：

$$[0052] \quad C^1 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_1} \left[ T_1 - \frac{(e^{-1200\lambda_e} - e^{-(1200+\tau)\lambda_e})}{\lambda_e} \right] \quad (21)$$

$$[0053] \quad C^2 = \frac{JS}{V_C \lambda_e T_2} \left[ T_2 - \frac{(e^{-(1200+\tau)\lambda_e} - e^{-\lambda_e(1200+\tau+\tau_2)})}{\lambda_e} \right] \quad (22)$$

[0054] 式(13)、(14)可以还可以变化为：

$$[0055] \quad C^1 = \frac{1}{T_1} a \left[ T_1 - \frac{\lambda_{Po} (e^{-b(1200+\tau)} - e^{-1200b})}{b - \lambda_{Po}} \right] \quad (23)$$

$$[0056] \quad C^2 = \frac{1}{T_2} a \left[ T_2 - \frac{\lambda_{Po} (e^{-(1200+\tau+\tau_2)b} - e^{-(1200+\tau)b})}{b - \lambda_{Po}} \right] \quad (24)$$

$$[0057] \quad a = \frac{JS}{V_C \lambda_e}$$

(25)

$$[0058] \quad b = \frac{LV_C \lambda_e}{L(V_C + V_R) + V_C V_R \lambda_e} \approx \frac{V_C \lambda_e}{V_C + V_R} \quad (26)$$

[0059] 依据式(13)、(14)或者(15)、(16)或者(17)、(18)或者(19)、(20)或者(21)、(22)或者(23)、(24)、(25)、(26)任一组公式就可以解得氦析出率J和有效衰变常数 $\lambda_e$ 。

[0060] 本发明与现有技术相比具有如下特点：

[0061] 1、本发明提供的测量和计算方法考虑了泄漏、反扩散影响和钷射气的干扰，通过式(2)、(3)或者式(4)、(5)或者式(6)、(7)或者式(8)、(9)或者式(10)、(11)或者式(13)、(14)或者式(15)、(16)或者式(17)、(18)或者式(19)、(20)或者式(21)、(22)或者式(23)、(24)、(25)、(26)任一组计算得到氦析出率和有效衰变常数。

[0062] 2、与活性炭吸附法相比，本发明提供的测量和计算方法测量装置简单、操作方便，适合现场实时测量，同时缩短了测量时间，满足了氦析出率快速测量的需要。

[0063] 以下结合附图和具体实施方式对本发明作进一步描述。

附图说明

[0064] 附图 1 为介质表面测量过程示意图；

[0065] 附图 2 为颗粒或块状物质测量过程示意图。

### 具体实施方式

[0066] 实施例一：一种测量氦析出率的方法，它包括测量过程和计算过程。

[0067] 一、测量过程：

[0068] 如图 1、图 2 所示，将集氦罩 5 扣在待测介质表面上，或将介质装入集氦罩收集室内，其中图 1 为介质表面测量过程示意图，图 2 为颗粒物 8 或块状 7 物质测量过程示意图。由于介质内的氦原子在扩散与渗流作用下，逸出表面进入集氦罩 5，导致集氦罩 5 内氦浓度变化。泵 6 一直以恒定流速将集氦罩 5 内的氦通过干燥管 4 和滤膜 3 滤出子体后泵入测量室 2，流速 0.5-2 升 / 分钟，使得测量室 2 的氦浓度与集氦罩 5 内的氦浓度平衡。

[0069] 测量室 2 内有一半导体探测器 9，半导体探测器 9 与二次仪表 1 连接，探测钋 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数。在测量室 2 底及壁与半导体探测器 9 之间加以 50-300 伏 / 厘米的电场，使得氦衰变后产生的带正电的钋 218 在电场作用下高速吸附到半导体探测器 9 面上，提高探测效率。

[0070] 仅仅测量钋 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数来反推氦浓度，可以完全排除钍射气的干扰，同时降低了测量系统的复杂程度，减少了成本，提高可靠性。

[0071] 测量得到 2 个测量周期氦浓度数据，两个测量周期分别取 70 分钟，30 分钟。考虑泄漏和反扩散影响，同时对氦与其衰变子体钋 218 进行非平衡修正，就能得到较准确的介质表面氦析出率。

[0072] 根据计算方法，在标准氦析出率模拟装置上的两次测量数据如表 1 所示，氦析出率的参考值为  $1.48 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，测量仪器 (RAD7) 的刻度系数为 1.02。

[0073] 表 1 根据计算方法需要得到的测量数据

[0074]

测量周期	刻度系数修正后的测量数据 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	测量周期	刻度系数修正后的测量数据 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )
1	18909	1	17938
2	37366	2	36992

[0075] 二、计算过程：

[0076] 通过式 (2)、(3) 或者式 (4)、(5) 或者式 (6)、(7) 或者式 (8)、(9) 或者式 (10)、(11) 计算得到氦析出率和有效衰变常数。

[0077] 本实施例通过式 (2)、(3)；式 (4)、(5) 来计算，结果比较准确。在本实施例中，积氦罩的底面积为 0.043 平方米；总体积为 4.8 升。

[0078] 通过式 (2)、(3) 计算结果：

[0079]  $J=1.62668$ ,  $\lambda_{\text{e}}=0.000294539$

[0080]  $J=1.45588$ ,  $\lambda_{\text{e}}=0.000241781$

[0081] 测量结果与参考值非常接近。

[0082] 通过式 (4)、(5) 计算结果：

[0083]  $J=1.62668$ ,  $\lambda_{\text{e}}=0.000294539$

[0084]  $J=1.45588$ ,  $\lambda_{\frac{1}{2}}=0.000241781$

[0085] 测量结果与参考值非常接近。

[0086] 实施例二、一种测量氡析出率的方法,它包括测量过程和计算过程。

[0087] 一、测量过程:

[0088] 如图 1、图 2 所示,将集氡罩 5 扣在待测介质表面上,或将介质装入集氡罩收集室内,其中图 1 为介质表面测量过程示意图,图 2 为颗粒物 8 或块状 7 物质测量过程示意图。由于介质内的氡原子在扩散与渗流作用下,逸出表面进入集氡罩 5,导致集氡罩 5 内氡浓度变化。泵 6 一直以恒定流速将集氡罩 5 内的氡通过干燥管 4 和滤膜 3 滤出子体后泵入测量室 2,流速 0.5-2 升/分钟,使得测量室 2 的氡浓度与集氡罩 5 内的氡浓度平衡。

[0089] 测量室 2 内有一半导体探测器 9,半导体探测器 9 与二次仪表 1 连接,探测针 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数。在测量室 2 底及壁与半导体探测器 9 之间加以 50-300 伏/厘米的电场,使得氡衰变后产生的带正电的针 218 在电场作用下高速吸附到半导体探测器 9 面上,提高探测效率。

[0090] 仅仅测量针 218 衰变放出的  $\alpha$  粒子计数来反推氡浓度,可以完全排除钍射气的干扰,同时降低了测量系统的复杂程度,减少了成本,提高可靠性。

[0091] 测量得到 3 个测量周期氡浓度数据,三个测量周期分别为 20 分钟,50 分钟,30 分钟。舍弃第一个测量周期的测量数据,考虑泄漏和反扩散影响,同时对氡与其衰变子体针 218 进行非平衡修正,就能得到较准确的介质表面氡析出率。

[0092] 在标准氡析出率模拟装置上的两次测量数据如表 2 所示,氡析出率的参考值为  $1.48 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,测量仪器(RAD7)的刻度系数为 1.02。

[0093] 表 2 根据计算方法需要得到的测量数据

[0094]

测量周期	刻度系数修正后的测量数据( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	测量周期	刻度系数修正后的测量数据( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )
2	24247	2	23113
3	37366	3	36992

[0095] 在本实施例中,积氡罩的体积为 4 升,测量室体积为 0.7 升。

[0096] 通过式(13)、(14)或者式(15)、(16)或者式(17)、(18)或者式(19)、(20)或者式(21)、(22)或者式(23)、(24)、(25)、(26)计算得到氡析出率和有效衰变常数。

[0097] 在本实施例中,通过式(23)、(24)、(25)、(26)来计算。

[0098]  $J=1.56535$ ,  $\lambda_{\frac{1}{2}}=0.000335175$

[0099]  $J=1.40674$ ,  $\lambda_{\frac{1}{2}}=0.00027616$

[0100] 测量结果与参考值非常接近。

[0101] 通过式(15)、(16)来计算:

[0102]  $J=1.56535$ ,  $\lambda_{\frac{1}{2}}=0.000335175$

[0103]  $J=1.40674$ ,  $\lambda_{\frac{1}{2}}=0.00027616$

[0104] 测量结果与参考值非常接近。

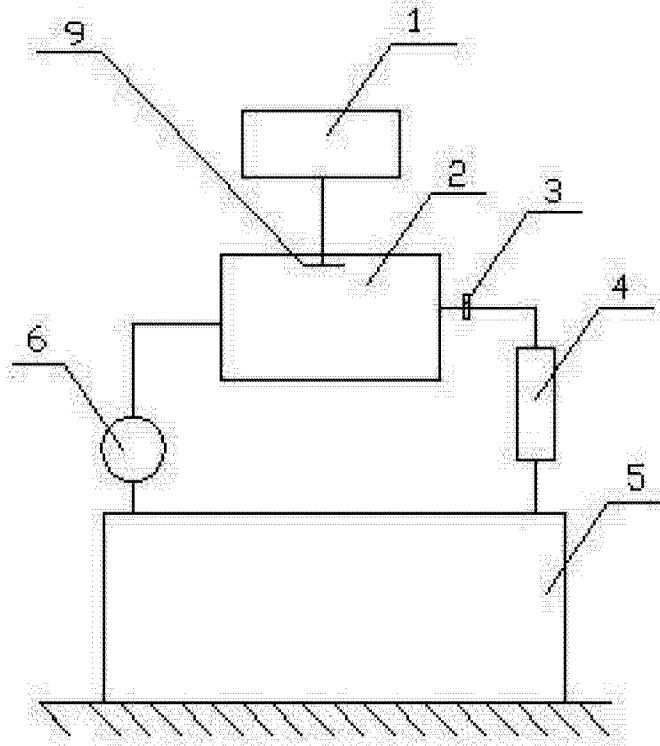


图 1

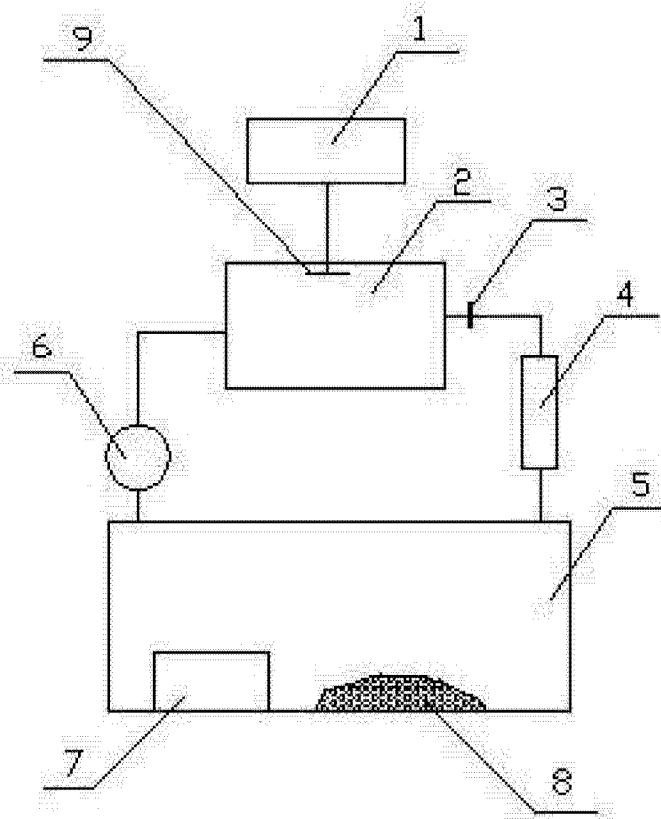


图 2