

ICS 13.280  
F 84



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006  
代替 GB/T 13163—1991

## 辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪 第 1 部分：一般原则

Radiation protection instrumentation—  
Radon and radon decay product measuring instruments—  
Part 1: General principles

(IEC 61577-1:2006, IDT)

2009-05-06 发布

2009-12-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

Radtek Radtek Radtek  
Radtek Radtek Radtek  
Radtek Radtek Radtek

## 前 言

GB/T 13163《辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪》包括以下四个部分：

- 第 1 部分：一般原则；
- 第 2 部分：氡测量仪的特殊要求；
- 第 3 部分：氡子体测量仪的特殊要求；
- 第 4 部分：含氡同位素及其子体参考大气的产生设备（氡环境试验系统）。

本部分是 GB/T 13163 的第 1 部分。

本部分等同采用 IEC 61577-1:2006《辐射防护仪器——氡及氡子体测量仪——第 1 部分：一般原则》。为了便于使用，本部分对 IEC 61577-1:2006 做了下列编辑性修改：

- 删除原国际标准的前言；
- 用小数点符号“.”代替国际标准中的小数点符号“,”；
- 在“2 规范性引用文件”列出了已发布的 GB/T 13163.2—2005 和其他 IEC 标准；
- 删去“3 术语、定义和单位”中定义下面的 ISO、IEV、ICRP 的编号；
- 将国际标准的“7.1  $^{222}\text{Rn}$  测量仪试验的特殊要求”与“7.2  $^{220}\text{Rn}$  测量仪试验的特殊要求”合并为“7.1 氡测量仪试验的特殊要求”；
- 将国际标准的“7.3  $\text{RnDP}_{222}$  测量仪试验的特殊要求”与“7.4  $\text{RnDP}_{220}$  测量仪试验的特殊要求”合并为“7.2 氡子体测量仪试验的特殊要求”；
- 删去附录 A(IEC 61577 系列标准的结构)，将相关内容放入前言；
- 删去参考文献。

本部分代替 GB/T 13163—1991《氡及氡子体测量仪与监测仪一般要求》。

本部分与 GB/T 13163—1991 相比主要变化如下：

- 本部分等同采用 IEC 61577-1:2006《辐射防护仪器——氡及氡子体测量仪——第 1 部分：一般原则》；
- GB/T 13163—1991 是根据我国氡及氡子体测量仪与监测仪设计、制造、使用的实际经验自行编制的标准。

GB/T 13163 的其他部分需与本部分结合使用。

本部分由中国核工业集团公司提出。

本部分由全国核仪器仪表标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：中国辐射防护研究院、核电秦山联营有限公司。

本部分主要起草人：郭志军、曾进忠。

本部分代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 13163—1991。

GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

## 引 言

氡是一种放射性气体,分别由地壳中的天然放射系核素 $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 和 $^{232}\text{Th}$ 的子体 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 和 $^{224}\text{Ra}$ 衰变产生。氡的同位素( $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{219}\text{Rn}$ 和 $^{220}\text{Rn}$ )通过三条衰变链衰变,最后终止于铅的稳定同位素。

注1:在正常情况下,与其他两个氡系列的活度相比, $^{219}\text{Rn}$ 的半衰期极短,它的活度和它的子体的活度完全可以忽略,其健康效应也不重要。因此,GB/T 13163中未考虑 $^{219}\text{Rn}$ 及其衰变子体。

氡同位素及其相应短寿命衰变子体(例如: $^{222}\text{Rn}$ 及其子体 $^{218}\text{Po}$ 、 $^{214}\text{Pb}$ 、 $^{214}\text{Bi}$ 、 $^{214}\text{Po}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Bi}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{220}\text{Rn}$ 及其子体 $^{216}\text{Po}$ 、 $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{212}\text{Bi}$ 、 $^{212}\text{Po}$ 、 $^{208}\text{Tl}$ ,见图1和图2)占公众成员和职业工作人员接受的天然放射性照射的主要部分。在某些工作场所(例如地下矿井、矿泉和自来水厂)工作的人员受到显著的氡子体照射。空气中以气态形式存在的氡和以微小粒子形式存在的氡子体的放射性核素处于不断变化中,它们在空气中的含量需要以较高的准确度测量。考虑到这些放射性元素在空气中和在相应的测量仪器中的特性较为独特,需要规范这类测量仪器的试验方法。

注2:图1和图2中的核数据引自ICRP 38号出版物(ICRP 38号出版物主要适用于辐射防护测量仪器)。

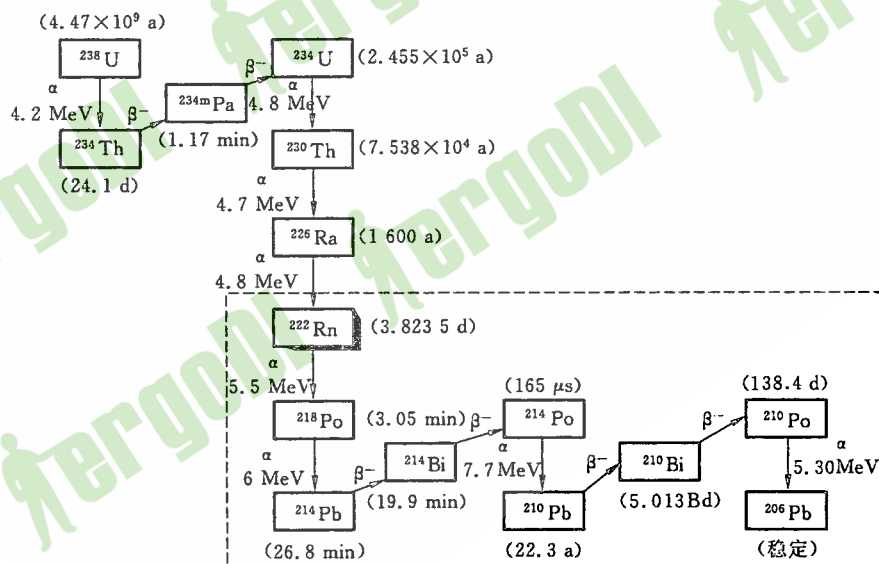


图 1  $^{238}\text{U}$  衰变链

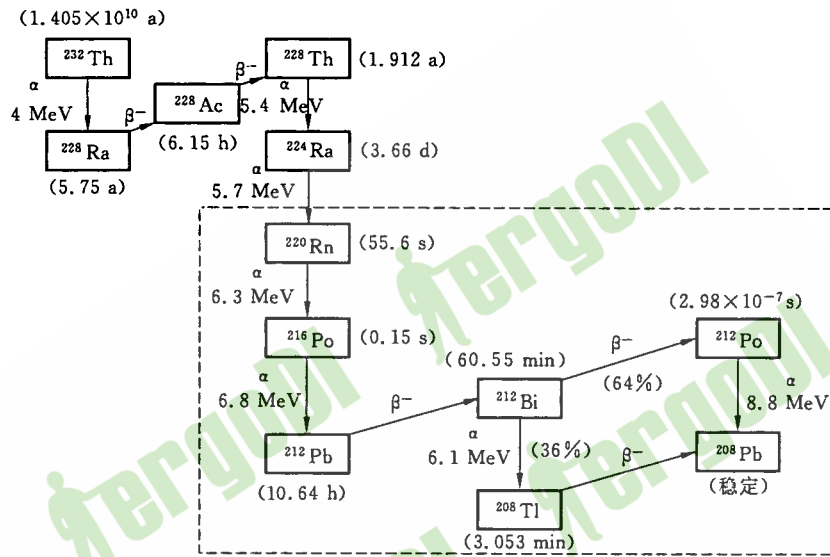


图 2  $^{232}\text{Th}$  衰变链

Radtek Radtek Radtek  
Radtek Radtek Radtek  
Radtek Radtek Radtek

# 辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪

## 第 1 部分：一般原则

### 1 范围

GB/T 13163 规定了氡及氡子体测量仪试验与校准的一般特性。

GB/T 13163 的本部分仅适用于测量气体中<sup>222</sup>Rn 和<sup>220</sup>Rn 同位素及其短寿命子体的仪器和相关方法。

为保证仪器的质量,本部分规定了型式试验的内容。

注: GB/T 13163.2 和 IEC 61577-3 规定了这些型式试验的内容。

为了便于文件使用,本部分根据采样方式规定了氡及氡子体测量仪的分类方法。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 13163 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 13163.2 辐射防护用氡及氡子体测量仪 第 2 部分:氡测量仪的特殊要求(GB/T 13163.2—2005,IEC 61577-2:2000,IDT)

IEC 61577-3 辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪 第 3 部分:氡子体测量仪特殊要求

IEC 61577-4 辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪 第 4 部分:含氡同位素及其子体参考大气的产生设备(氡环境试验系统)

### 3 术语、定义和单位

下列术语、定义和单位适用于 GB/T 13163 的本部分。

注 1: GB/T 13163 的术语氡(Radon)指全部氡同位素。需要指出氡的某一特定同位素时,在其化学符号的左上角加质量数表示(如:<sup>220</sup>Rn,<sup>222</sup>Rn)。

注 2: GB/T 13163 的术语氡子体(radon decay product,简写 RnDP)指氡衰变产生的全部短寿命子体。对于某一特定的子体同位素,在其化学符号的左上角加质量数表示。在符号 RnDP 加下角标数字指相应氡同位素的全部子体,例如:RnDP<sub>222</sub> 指<sup>222</sup>Rn 的子体<sup>218</sup>Po、<sup>214</sup>Pb、<sup>214</sup>Bi、<sup>214</sup>Po,RnDP<sub>220</sub> 指<sup>220</sup>Rn 的子体<sup>216</sup>Po、<sup>212</sup>Pb、<sup>212</sup>Bi、<sup>212</sup>Po、<sup>208</sup>Tl。

注 3: 本部分的核数据引自 ICRP 38 号出版物(ICRP 38 号出版物主要适用于辐射防护测量仪器)。

#### 3.1 通用术语和定义

##### 3.1.1

活度 activity

A

在给定时刻,处于特定能态的一定量放射性核素在 dt 时间间隔内发生自发核跃迁数的期望值 dN 除以 dt 的商:

$$A = \frac{dN}{dt}$$



GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

3.1.2

活度浓度 activity concentration

体积活度 volume activity

C

单位体积的活度,单位为贝可每立方米( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )。

3.1.3

基准 primary standard

设计并公认的、具有最高计量特性的测量标准,其值无需参考其他标准。

注:对于基本量和导出量,基准概念同等有效。

3.1.4

次级标准 secondary standard

其量值直接通过与相同量的基准比较确定的测量标准。

3.1.5

参考标准 reference standard

在指定地区或组织内通常具有最高计量特性、并在该地区或组织内进行量值传递的测量标准。

3.1.6

传递标准 transfer standard

在测量标准相互比较中用作媒介的测量标准。

注:当媒介不是测量标准时,称为传递装置。

3.1.7

质量流速 mass flow rate

单位时间内流过管道的气体质量,单位为千克每秒( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

3.1.8

体积流速 volume flow rate

单位时间内流过管道的气体体积,单位为立方米每秒( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )。

3.1.9

标准大气条件 atmospheric standard conditions

STP

相应于温度  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、气压  $101\ 325\ \text{Pa}$ (海平面大气压)的气象条件。一般情况下,气体体积或体积流速均以此标准条件归一。

3.1.10

(测量装置的)响应时间 response time (of a measuring assembly)

从被测量发生阶跃变化到输出信号第一次达到其最终值的某一给定百分数(通常取 90%)时所经历的时间。

注:对于累积式测量仪,指仪器开始受到照射至指示值的一次微商或斜率的平衡值的 90%时的延迟时间。

3.1.11

电子预热时间 electronic warm-up time

测量仪通电后,指示值达到偏离约定真值小于 10%时需要的时间,单位为秒(s)。

3.1.12

量的约定真值 conventionally true value of a quantity

$\nu_c$

用于某一特定目的的量的最佳估计值。

注:一般而言,量的约定真值以足够高的准确度接近真值。例如,由基准或次级标准确定的量值,或者经基准或次级标准校准过的参考仪器确定的量值,可以认为是约定真值。



## 3.1.13

**指示值误差 error of indication** $\Delta\nu$ 量的指示值  $\nu$  与量的约定真值  $\nu_c$  的偏差。

$$\Delta\nu = \nu - \nu_c$$

## 3.1.14

**相对误差 relative error** $e_r$ 

仪器或设备的指示值相对误差,计算式如下:

$$e_r = \frac{(\nu - \nu_c)}{\nu_c}$$

式中:

 $\nu$ ——量的指示值; $\nu_c$ ——量的约定真值。

## 3.1.15

**相对固有误差 relative intrinsic error** $e_i$ 

在规定的参考条件下,仪器或设备相对于给定参考量的指示值相对误差。表示为:

$$e_i = \frac{(\nu - \nu_c)}{\nu_c}$$

式中:

 $\nu$ ——量的指示值; $\nu_c$ ——量的约定真值。

## 3.1.16

**(辐射测量装置的)最小可探测量 minimum detectable quantity (of a radiation measuring assembly)**

测量仪平均指示值表示的量(例如活度)。在存在规定本底的情况下,该指示值并非仅由规定本底产生的概率为 95%。

## 3.1.17

**探测限 detection limit****探测阈 detection threshold**测量的指示值,对于该值相对随机不确定度等于  $\pm 100\%$  的概率为 95%。

## 3.1.18

**变异系数 coefficient of variation**标准偏差  $s$  与一组  $n$  个测量值  $x_i$  的算术平均值  $\bar{x}$  的比值  $V$ ,由下式给出:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \left[ (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

## 3.1.19

**鉴定试验 qualification test**

为了验证设计是否适当和设备是否满足制造商和用户商定的规范,在正常的运行条件下和在预期的运行事件情况下,对代表性设备样品进行的试验。

注 1: 为了验证是否满足技术规范的要求进行的试验。

注 2: 鉴定试验分为型式试验和例行试验。

GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

## 3.1.20

**型式试验** type test

按设计要求对一台或多台生产过程中具有代表性的产品样本进行的符合性试验。

## 3.1.21

**例行试验** routine test

为确定每台仪器是否符合某些技术标准,对制造中或完工后的每台仪器进行的试验。

## 3.1.22

**验收试验** acceptance test

为了向客户证明仪器或设备符合某些技术规范要求,按合同规定进行的试验。

## 3.2 专用术语和定义

## 3.2.1

**α 潜能** potential alpha energyPAE 或  $\epsilon_p$ 对于<sup>222</sup>Rn 和<sup>220</sup>Rn 衰变链,氡子体(RnDP)原子沿衰变链分别衰变至<sup>210</sup>Pb 或<sup>208</sup>Pb 时释放的 α 粒子总能量。假设  $N_{\text{xxxXx}}$  为核素<sup>xxx</sup>Xx 的原子个数,则<sup>222</sup>Rn 和<sup>220</sup>Rn 子体 α 潜能分别为:

$$\epsilon_{p222} = [(6.003 + 7.687) \times N_{218\text{Po}} + 7.687 \times (N_{214\text{Pb}} + N_{214\text{Bi}}) + 7.687 \times N_{214\text{Po}}] \times 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\epsilon_{p220} = [(6.779 + 7.804) \times N_{216\text{Po}} + 7.804 \times (N_{212\text{Pb}} + N_{212\text{Bi}}) + 8.785 \times N_{212\text{Po}}] \times 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

注1: α 粒子能量 7.804 MeV 来自<sup>212</sup>Bi 分支比的虚拟 α 发射,见图 2。注2: 年摄入量限值(ALI)可以用  $PAE_{222}$  和  $PAE_{220}$  表示。为此, $PAE_{222}$  和  $PAE_{220}$  作为健康危害指标使用。

## 3.2.2

**α 潜能浓度** potential alpha energy concentrationPAEC 或  $c_p$ 单位体积空气中存在的任何混合的短寿命 RnDP,分别全部衰变至<sup>210</sup>Pb 和(或)<sup>208</sup>Pb 释放的 α 能量。注: α 潜能浓度以 SI 单位  $\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$  表示。

## 3.2.3

**α 潜能照射量** potential alpha energy exposure $P_p(T)$ 个体暴露于氡子体浓度中一定时间(例如一年)时,空气中氡子体 α 潜能浓度  $c_p$  对个体暴露时间  $T$  的积分。

$$P_p(T) = \int_T c_p(t) \cdot dt$$

注: α 潜能照射量以 SI 单位  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  表示。

## 3.2.4

**平衡当量浓度** equilibrium equivalent concentration $c_{\text{eq}}$ 与其短寿命子体(RnDP)处于放射性平衡态的氡的活度浓度。平衡态氡子体与氡的平衡当量浓度( $c_{\text{eq}}$ )所指的非平衡态氡子体混合物具有相同的 α 潜能浓度。注: 平衡当量浓度以 SI 单位  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  表示。

## 3.2.5

**平衡因子** equilibrium factor $F$

氡的平衡当量浓度( $c_{eq}$ )与空气中氡的实际活度浓度( $C_{Rn}$ )之比:

$$F = \frac{c_{eq}}{C_{Rn}}$$

### 3.2.6

平衡比 equilibrium ratio

平衡分数 equilibrium fraction

$f_i$

在所研究空气中,给定的氡子体  $i$  的活度浓度( $C_i$ )与其母体氡同位素的活度浓度( $C_{Rn}$ )的比值:

$$f_i = \frac{C_i}{C_{Rn}}$$

### 3.2.7

射气本领 emanating power

射气系数 emanation coefficient

$\tau$

传输到物质微孔空间中的氡原子数( $n$ )与物质本身及物质微孔空间中存在的氡原子数( $N$ )之比:

$$\tau = n/N$$

### 3.2.8

射气率 emanation rate

单位时间从单位质量物质中析出的氡原子活度值,单位为贝可每千克秒( $Bq \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ )。

### 3.2.9

析出率 exhalation rate

单位时间从物质的单位表面积析出的氡原子活度值,单位为贝可每平方米秒( $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )。

### 3.2.10

反卷积法 deconvolution

通过采用特定的子体衰变方程获得测量结果数据(例如:计数事件)原始量值的一种数学处理方法。

### 3.2.11

气溶胶 aerosol

固体或液体微粒在气体介质中的悬浮体系,其粒径范围一般为几纳米到  $10 \mu m$ 。

### 3.2.12

活度中位空气动力学直径 activity median aerodynamic diameter

AMAD

与所研究的气溶胶粒子有相同沉降速率的单位密度( $kg \cdot m^{-3}$ )球的直径随活度分布的中位值。

### 3.2.13

活度中位热力学直径 activity median thermodynamic diameter

AMTD

与所研究的气溶胶粒子有相同热力学特性的单位密度( $kg \cdot m^{-3}$ )球的直径随活度分布的中位值。

### 3.2.14

$\alpha$  潜能浓度未结合态份额 unattached fraction of PAEC

未与气载粒子结合的氡子体份额,称为自由态份额或未结合态份额。

$\alpha$  潜能浓度未结合态份额指未与环境气溶胶结合的短寿命氡子体的  $\alpha$  潜能份额。

注 1: 粒径范围为 nm 量级。

注 2: 对于  $^{220}Rn$  衰变系,  $^{212}Pb$  的寿命相对较长,  $^{220}Rn$  可能在  $^{212}Bi$  之前衰变完。在这种情况下,  $^{220}Rn$  子体的未结合态份额难以确定。

### 3.2.15

结合态份额 attached fraction

与环境气载粒子结合的短寿命氡子体的  $\alpha$  潜能份额。

GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

### 3.2.16

#### 直接测量方法 direct method of measurement

对所研究的放射性核素物理特性的无扰动测量方法(例如:探测<sup>222</sup>Rn的5.490 MeV $\alpha$ 衰变来测量<sup>222</sup>Rn)。

### 3.2.17

#### 间接测量方法 indirect method of measurement

结合所研究放射性核素的母体或子体的物理特性或放射性特性数据,确定该放射性核素某一量值的测量方法(例如:在已知子体半衰期的情况下,通过解衰变方程组估算 $\alpha$ 潜能浓度)。

### 3.2.18

#### 抓取采样 grab sampling

与所研究的量(如空气活度浓度)的涨落相比,样品(如含有氡或气溶胶粒子的空气)收集时间较短的采样方法。

### 3.2.19

#### 连续法 continuous method

在时间分辨率与所研究现象相适应的情况下,在确定的时间段内连续记录被测参数的方法。

### 3.2.20

#### 累积法 integrating method

在确定的采样方法和测量时间情况下,对所研究的量进行积分测量的方法。

### 3.2.21

#### 无源采样 passive sampling

不使用任何主动式设备(例如不使用泵)的采样方法。在这种情况下,多数仪器主要通过扩散方法采样。

### 3.2.22

#### 有源采样 active sampling

使用主动式设备进行的采样方法,例如:使用泵进行的空气采样。

### 3.2.23

#### (源的)表面发射率 surface emission rate (of a source)

单位时间从源表面或其窗口射出的、能量大于给定值的某种类型粒子数。

### 3.2.24

#### 检查源 checking source

用于验证测量仪是否正常工作的放射源。

### 3.2.25

#### 参考源 reference source

校准测量仪用的次级放射性标准源。

### 3.2.26

#### 参考氡气 reference atmosphere

在氡或氡子体测量仪试验程序中使用的、影响参数(气溶胶、放射性、气象条件等)已知或可控的放射性气体。参考氡气涉及的参数值应溯源到认可的标准。

### 3.2.27

#### (对参考氡气的)参考响应 reference response to reference atmosphere

$R_{ref}$

在规定的条件下,由下式给出比值:

$$R_{\text{ref}} = (I_{\text{rs}} - I_{\text{b}}) / Q_{\text{rs}}$$

式中:

$I_{\text{rs}}$ ——仪器或设备在参考氡气中测试时对被测量的指示值;

$I_{\text{b}}$ ——辐射本底指示值;

$Q_{\text{rs}}$ ——被测量的约定真值。

注1:使用参考氡气试验本部分涉及的仪器和方法得到参考响应。

注2:氡测量仪的自动本底扣除目前仍不完善,因此,应考虑辐射本底对参考响应的影响。

### 3.2.28

**氡环境试验系统 (STAR, system for test atmosphere with radon)**

产生参考氡气并提供参考氡气应用的设备。

### 3.2.29

**固态氡子体源 solid source of RnDP**

应用物理方法(如使用合成树脂或真空蒸发薄金属层封装方法)密封氡射气,使氡同位素与其母体核素达到平衡状态的母体放射性核素(例如: $^{226}\text{Ra}$ )沉积源。

### 3.2.30

**高效空气粒子过滤器 high-efficiency particulate air filters**

**HEPA 过滤器 HEPA filters**

对于粒径为  $0.3\ \mu\text{m}$  的气溶胶粒子,最低收集效率达 99.97% 的气溶胶收集用过滤器。

### 3.3 单位和换算系数

本部分采用国际单位制(SI)单位。

有时也可以使用下列非国际单位制单位:

居里(Ci),活度单位,  $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\ \text{Bq}$ 。

$\text{MeV} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\alpha$  潜能浓度单位,  $1\ \text{MeV} \cdot \text{L}^{-1} = 1.6 \times 10^{-4}\ \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

同时使用下列换算系数:

工作水平(WL),  $\alpha$  潜能浓度的表征量之一:  $1\ \text{WL} = 20.8\ \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

工作水平月(WLM),  $\alpha$  潜能照射量的表征量之一:  $1\ \text{WLM} = 3.6\ \text{mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

$c_{\text{eq}}$ ,  $\alpha$  潜能浓度的表征量之一: 对于  $^{222}\text{Rn}$  子体,  $1c_{\text{eq}} = 5.62 \times 10^{-3}\ \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

对于  $^{220}\text{Rn}$  子体,  $1c_{\text{eq}} = 75.8 \times 10^{-3}\ \mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

## 4 氡及氡子体测量仪

### 4.1 概述

氡同位素测量仪或氡子体测量仪专用于放射性测量。由于被测量的放射性特性,需规定仪器的性能、用途和(或)测量原理。

对于某一具体的氡和氡子体测量情况,测量方法和测量仪之间的关系紧密。本部分中的“测量方法”属通用术语,在提及“测量方法”时,除非另有说明,实际上既包括氡及氡子体的测量方法,也包括实施测量的相关测量装置。

因此,在“测量方法”同时包含“探测方法”和“分析方法”时,应考虑整个测量系统。

### 4.2 氡及氡子体测量仪分类准则

氡及氡子体测量仪可分为多种类别,一般与采用的测量方法有关。

常用的氡及氡子体测量仪按下列准则分类:



GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

- 应用类型(如室外用、矿用等)；
- 采样方式(如短期采样或抓取采样、长期采样或累积采样、连续采样等)；
- 采样方法(如扩散法、泵法等)；
- 计数方法(如总 $\alpha$ 法、能谱法、累积法等)；
- 探测方法(如硅探测器、闪烁体、固体核径迹探测器(SSNTD)、电离室等)；
- 计算方法(如衰变方程反卷积法、谱分析法等)；
- 直接或间接探测；
- (仪器的)工作范围；
- 重复使用性能(一次性装置、更换过滤器等)。

注：在本部分中，分类方法依据采样方式(抓取采样、累积采样、连续采样)。

上述方法是本部分所包括的各类仪器所采用的方法，不仅涉及鉴定参考氡气用的参考仪器，也涉及 GB/T 13163.2 和 IEC 61577-3 要求需要进行试验的仪器。

### 4.3 空气中氡测量方法

表 1 所列测量方法为目前氡测量仪器普遍采用的方法。

辐射防护测量领域的不确定度通常很大，因此限制了这些方法的应用。

表 1 氡测量仪分类

采样方式	探测类型	测量信息	被测量
抓取采样	$\alpha$ 闪烁(ZnS(Ag)+PMT)	脉冲计数	活度
	气体电离	电流, 脉冲计数, 脉冲幅度	活度, 能量
	半导体	脉冲计数, 脉冲幅度	活度, 能量
连续采样	$\alpha$ 闪烁(ZnS(Ag)+PMT)	脉冲计数	活度
	气体电离	电流, 脉冲计数, 脉冲幅度	活度, 能量
	半导体	脉冲计数, 脉冲幅度	活度, 能量
累积采样	固体核径迹探测(SSNTD)	蚀刻径迹数	氡照射量
	热释光+PMT	光强度	氡照射量
	活性炭吸附+NaI(Tl)闪烁体+PMT 或 HPGe 半导体	脉冲计数	氡照射量
	驻极体	静电电压	氡照射量

注：PMT 指光电倍增管。

### 4.4 空气中氡子体测量方法

表 2 所列的测量方法为目前氡子体测量仪器普遍采用的方法。

注：气溶胶采样总会对测量产生干扰(由于气溶胶损失、采样孔前方空气流型改变引起的气溶胶浓度损耗或浓缩等)。

辐射防护测量领域的不确定度通常很大，因此限制了这些方法的应用。

表 2 氡子体测量仪分类

采样方式	探测类型	测量信息	被测量
抓取采样	$\alpha$ 闪烁 (ZnS(Ag) 和/或 $\beta$ 闪烁体+PMT)	脉冲计数 (无能量分辨)	活度, PAE
	半导体 ( $\alpha$ 探测, $\beta$ 探测)	脉冲计数 (有能量分辨, 无能量分辨)	活度, PAE
	半导体 ( $\gamma$ 探测)	脉冲计数, 脉冲幅度	活度, PAE
连续采样	半导体 ( $\alpha$ 探测)	脉冲计数 (有能量分辨, 无能量分辨)	活度, PAE
	半导体 ( $\gamma$ 探测)	脉冲计数, 脉冲幅度	活度, PAE
	气体电离	脉冲计数 (有能量分辨, 无能量分辨)	活度, PAE
累积采样	半导体	脉冲计数 (有能量分辨, 无能量分辨)	平均活度, 平均 PAE, 氡子体照射量
	固体核径迹探测器 (SSNTD)	蚀刻径迹数	平均 PAE, 氡子体照射量

#### 4.5 影响量

环境中的某些量会对测量仪的响应产生不同程度的影响, 这取决于仪器的特性。部分影响量包括:

- 相对湿度;
- 温度;
- 大气压;
- 环境  $\gamma$  辐射;
- 气溶胶;
- 光线。

在某些特殊情况下, 应考虑氦、氡的短寿命子体和长寿命子体( $^{210}\text{Po}$ )的活度浓度本身的影响。

#### 4.6 试验参数范围

GB/T 13163.2 和 IEC 61577-3 给出了各种氦及氡子体测量仪试验参数的范围。

### 5 参考氦气的必要性

#### 5.1 常规试验方法的局限性

氦及氡子体测量仪的试验通常使用核素参数明确、活度已知的固体或气体参考源。例如: 测量  $\alpha$  发射的设备使用电沉积  $^{241}\text{Am}$ 、 $^{239}\text{Pu}$  固体源, 测量  $\beta$  发射的设备使用  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  源以及测量气体电离的设备使用  $^{85}\text{Kr}$  或  $^{133}\text{Xe}$  气体源。

采用这些参考源进行的试验, 可检查从探测器至显示设备等分析电路是否正常运行。

在某些情况下, 由于所用的参考源不足以代表被测量的真实情况, 试验结果可能不可靠。

无论参考源选择哪种放射性核素, 人工放射性核素  $\alpha$  粒子的最大能量都不超过 5.8 MeV。当被测核素的  $\alpha$  能量高于此值时, 如果分析电路出现非线性响应, 那么不可能正确探测到这类核素, 例如:  $^{214}\text{Po}$ ( $\text{RnDP}_{222}$ ) 发射的  $\alpha$  粒子能量为 7.687 MeV。

因此, 使用人工放射性核素作为参考源不可能对氡子体相应的全部能量范围进行试验。

而且, 不可能对氡子体的附壁效应、采样与计数同步系统、 $^{222}\text{Rn}$  和  $^{220}\text{Rn}$  同步测量、 $\text{RnDP}$  气溶胶行



GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

为等进行模拟。

某些仪器,尤其是测量氡子体活度浓度的仪器,应用了针对被测氡子体衰变定律的计算机算法。这些算法不能通过使用长寿命人工放射性核素源来验证。

只依靠探测 $\alpha$ 粒子(尤其是由氡发射的 $\alpha$ 粒子)工作的氡气测量仪,如果使用发射 $\beta$ 或 $\gamma$ 射线的放射性气体,则是一种不完善的试验。

## 5.2 氡同位素混合物

对于实际含氡空气,需关注氡同位素的不同混合比例、不同平衡因子、不同同位素的混合物。参考氡气应包括至少具有固定或确定比例的这类氡的同位素混合物。IEC 61577-4 规定的参考氡气浓度范围分别适用于每种氡同位素。因为没有任何简单的预估方法,参考氡气的 $\alpha$ 潜能需要实际测量。

在某些特殊情况下(例如:存在较高氡活度浓度的换气区域、存在 $RnDP_{220}$ 时测量 $RnDP_{222}$ 、存在 $RnDP_{222}$ 时测量 $RnDP_{220}$ 等),应考虑这些量之间的相互影响。

## 6 氡环境试验系统的概念

为了在受控条件下对氡及氡子体测量仪实现完善的、标准化的试验,需使用参考氡气。

因此,在氡及氡子体测量领域,需要一种直接与被测元素相关的试验装置,即氡环境试验系统。该系统应包括以下四个部分:

- 氡气发生设备;
- 氡容器;
- 生成的参考氡气;
- 监测参考氡气的设备和方法。

全部相关装置均应溯源到认可的参考机构或实验室。

图3为氡环境试验系统的整体结构图。有时氡环境试验系统也称为“氡室”,但“氡室”并不具有氡环境试验系统(STAR)的全部意义。

某些氡环境试验系统(STAR)可以只是整个氡环境试验系统的一部分。例如:仅用于氡测量仪试验的氡环境试验系统,既不需要参考氡子体测量仪,也不需要气溶胶控制与测量系统,除非试验仪器带有开放式探测器。

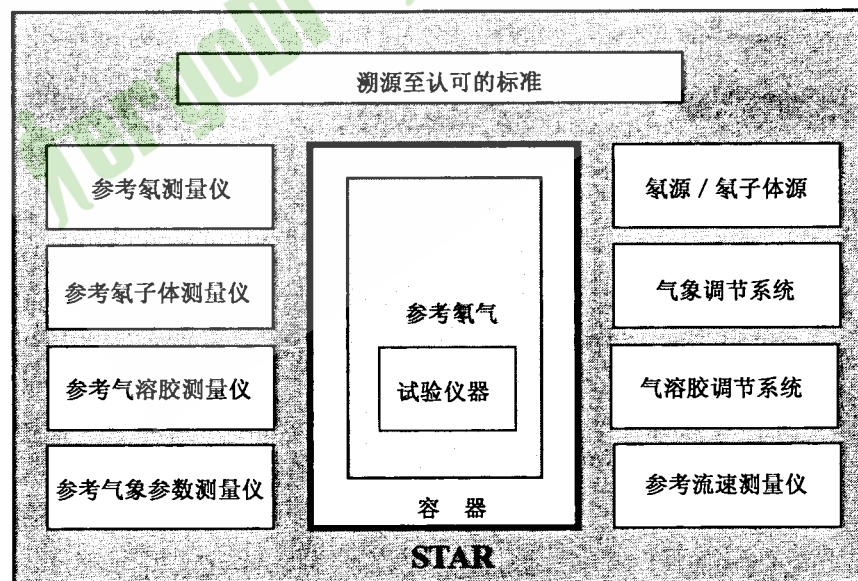


图3 氡环境试验系统结构图

## 7 氦及氡子体测量仪试验方案

氦及氡子体测量仪试验方案涉及一些特殊要求。

### 7.1 氦测量仪试验的特殊要求

GB/T 13163.2 规定氦测量仪的试验方案。这些方案涉及空气中<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 活度浓度测量仪的有关试验内容。试验需使用放射性参考源和由 STAR 生成的、各影响量参数可调节的放射性参考氦气。

### 7.2 氡子体测量仪试验的特殊要求

IEC 61577-3 规定氡子体测量仪的试验方案。这些方案涉及空气中 RnDP<sub>222</sub>、RnDP<sub>220</sub> 活度浓度和(或) $\alpha$  潜能浓度测量仪的有关试验内容。试验需使用 STAR 生成的、各影响量参数可调节的放射性参考氦气。

---

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
辐 射 防 护 仪 器 氩 及 氡 子 体 测 量 仪  
第 1 部 分：一 般 原 则  
GB/T 13163.1—2009/IEC 61577-1:2006

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)  
电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

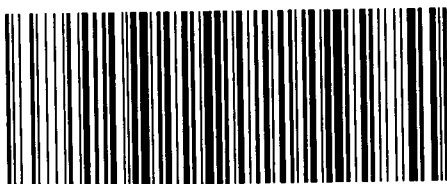
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 26 千字  
2009年8月第一版 2009年8月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-38085 定价 21.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68533533



GB/T 13163.1-2009