JJF



**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJFXXXX－XXXX**

**固体核径迹氡累积浓度测量装置校准规范**

Calibration Specification for Cumulative Radon Concentration Measuring Instruments Using Solid State Nuclear Track Detector

(征求意见稿)

XXXX－XX－XX发布 XXXX－XX－XX实施

**国家市场监督管理总局 发布**

固体核径迹累积氡浓度测量  
装置校准规范

JJF XXXX-XXXX

Calibration Specification for   
Cumulative Radon Concentration Measuring Instruments  
Using Solid State Nuclear Track Detector

归口单位: 全国电离辐射计量技术委员会

起草单位: 上海市计量测试技术研究院

复旦大学

本规范委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

赵 超 （上海市计量测试技术研究院）

卓维海 (复旦大学)

刘佳煜 (上海市计量测试技术研究院)

陈 波 (复旦大学)

韩 刚 (上海市计量测试技术研究院)

目 录

[引 言 2](#_Toc118295123)

[1 范围 3](#_Toc118295124)

[2 引用文件 3](#_Toc118295125)

[3 术语和计量单位 3](#_Toc118295126)

[3.1 术语 3](#_Toc118295127)

[3.2 计量单位 4](#_Toc118295128)

[4 概述 4](#_Toc118295129)

[5 计量特性 5](#_Toc118295130)

[5.1 响应 5](#_Toc118295131)

[5.2 批内复现性 5](#_Toc118295132)

[6 校准条件 5](#_Toc118295133)

[6.1 环境条件 5](#_Toc118295134)

[6.2 测量标准 5](#_Toc118295135)

[6.2.1 氡体积活度测量仪 5](#_Toc118295136)

[6.2.2 氡室 5](#_Toc118295137)

[6.2.3 计时器 5](#_Toc118295138)

[7 校准项目和校准方法 6](#_Toc118295139)

[7.1 响应 6](#_Toc118295140)

[7.2 批内复现性 7](#_Toc118295141)

[8 校准结果表达 7](#_Toc118295142)

[9 复校时间间隔 7](#_Toc118295143)

[附录A 8](#_Toc118295144)

[附录B 9](#_Toc118295145)

[附录C 10](#_Toc118295146)

[附录D 15](#_Toc118295147)

## 

引 言

本规范按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编制。

本规范的编制主要参考JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、GB/T 13163.1-2009 / 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 13163.2-2021 / IEC 61577-2:2014 《辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪 第2部分：222Rn和220Rn测量仪的特殊要求》、JJG 825-2013 《测氡仪》等标准、规范。

本规范为首次制定。

固体核径迹累积氡浓度测量装置校准规范

## 1 范围

本规范适用于利用固体核径迹片记录氡及其子体发出的α粒子，并利用固体核径迹探测片测读设备确定累积氡浓度的固体核径迹累积氡浓度测量装置的校准。

本规范不适用于直读式氡体积活度测量仪器，也不适用于使用活性炭吸附氡并测量的仪器。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1035-2006 电离辐射计量术语及定义

GB/T 13163.1-2009 / 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 13163.2-2021 / IEC 61577-2:2014 辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪 第2部分：222Rn和220Rn测量仪的特殊要求

JJG 825 测氡仪

上述凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

## 3.1 术语

JJF 1001-2011、JJF 1035-2006界定的及以下术语和定义适用于本规范。

* + 1. 氡 radon

原子序数为86的天然放射性元素。222Rn是铀系衰变的中间产物，220Rn是钍系衰变的中间产物，均为惰性气态放射性核素。本标准中的氡仅指环境空气中最为常见的222Rn。

* + 1. 固体核径迹元件（简称“径迹片”） solid state nuclear track element

以辐射损伤的形式记录α射线等高能射线的固体材料（如烯丙基二甘醇碳酸脂CR-39）所构成的片状元件。

* + 1. 固体核径迹氡探测器（简称“氡探测器”） radon detector using solid state nuclear track element

将径迹片内置于特定设计的小腔室内以监测氡的探测器，该腔室可仅让空气中的氡通过分子自由扩散进入，而腔室外的气溶胶无法进入。

* + 1. 固体核径迹蚀刻设备（简称“蚀刻设备”） solid state nuclear track etching device

通过化学或电化学蚀刻将径迹片上辐射损伤扩大为可由光学显微镜观察的损伤痕迹（即“径迹”），以便于读取的装置。

* + 1. 固体核径迹测读设备（简称“测读设备”） solid state nuclear track reading device

用于读取径迹片上径迹数量的设备。

* + 1. 固体核径迹累积氡浓度测量装置（简称“累积氡浓度测量装置”） cumulative radon concentration measuring instrument

由氡探测器、蚀刻装置、测读设备组成，根据径迹片上单位面积的径迹数量确定环境中累积氡浓度的系统装置。

* + 1. 氡体积活度 radon volume activity

单位体积的氡活度，又称氡（活度）浓度（radon activity concentration）。

* + 1. 累积氡浓度cumulative radon concentration

氡体积活度与累积暴露时间的乘积。

* + 1. 径迹密度 track density

固体核径迹元件表面单位面积上的径迹数量称为径迹密度。

* + 1. [对氡累积暴露的]响应 response to cumulative exposure to radon

被校准装置读取的径迹密度与探测器所暴露的累积氡浓度参考值之比。

* + 1. 批内复现性 intra-batch reproducibility

同一暴露批次的固体核径迹探测器的α径迹密度的一致性。

## 3.2 计量单位

* + 1. [放射性] 活度

贝可[勒尔]，符号：Bq。

* + 1. 累积浓度

体积活度与累积时间的乘积，符号：kBq·m-3·h。

* + 1. 径迹密度

每平方厘米上的α径迹个数，符号：cm-2。

* + 1. 响应

累积氡浓度参考值对应的α径迹密度，符号：cm-2·(kBq·m-3·h)-1 。

## 4 概述

固体核径迹累积氡浓度测量装置由固体核径迹氡探测器、固体核径迹探测片蚀刻装置、固体核径迹探测片测读设备组成。氡探测器通常包括径迹片及特定设计的小腔室（俗称“测氡杯”）；氡及其子体衰变产生的α射线在径迹片上留下辐射损伤，经蚀刻转化为可识别的径迹，腔室为径迹片提供一个相对稳定的氡暴露环境。蚀刻装置通过化学蚀刻扩大径迹片上的α径迹，以便于读取。测读设备用于读取径迹片上的α径迹密度，可以是普通的显微镜，配合人工识别径迹片上的α径迹，也可以是一套自动化设备，自动实现α径迹的识别与径迹密度读取。

固体核径迹累积氡浓度测量装置主要用于室内氡（累积）浓度的监测，以及矿山等环境的氡浓度调查。

## 5 计量特性

## 5.1 响应

固体核径迹累积氡浓度测量装置的响应与其说明书规定的值在不确定度范围内一致，年偏离量不超过±30%。

## 5.2 批内复现性

固体核径迹累积氡浓度测量装置的批内复现性通常优于30%。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考

## 6 校准条件

## 6.1 环境条件

* + 1. 暴露期间，环境温度：（15～30）℃。
    2. 暴露期间，相对湿度：<80%。
    3. 读取α径迹密度时，不应受到电磁场与震动的干扰。

## 6.2 测量标准及其他设备

## 6.2.1 氡体积活度测量仪

测量范围：不小于(0.4~10) kBq·m-3；

相对固有误差：不超过±5%；

相对扩展不确定度：不超过10% (*k*=2)。

## 6.2.2 氡室

氡体积活度8 h稳定性优于5%，氡体积活度可调控范围不小于(0.4~10) kBq·m-3。

## 6.2.3 计时器

计时误差不超过1min。

## 7 校准项目和校准方法

## 7.1 响应

响应的校准操作程序如下：

1) 将被校准的累积氡浓度测量装置（以下简称“被校装置”）的至少10个氡探测器（对于最低累积浓度，建议至少15个）放置在氡室内作相应的累积氡浓度暴露；

2）完成暴露后，将氡探测器从氡室内取出，静止放置在低氡环境中等待平衡（详见附录D）；

3）用被校装置的蚀刻装置按说明书规定的条件完成径迹片的蚀刻；

4）用被校装置的测读设备读取每个径迹片的α径迹密度；

5）采用格拉布斯准则或/和狄克逊准则剔除α径迹密度读取结果异常值；

6）将被校装置的至少5个氡探测器作为本底氡探测器按步骤2）-5）作同样操作；

6）根据α径迹密度读取结果和累积氡浓度参考值计算被校装置的响应。

被校装置的响应在1至3个不同累积浓度下进行测量。

对所有本底氡探测器，将其α径迹密度剔除异常值之后，按公式（1）计算被校装置的本底。

 （1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： |  | — 本底氡探测器α径迹密度平均值，单位：cm-2； |
|  | *D*b，*i* | — 第*i*个本底氡探测器α径迹密度，单位：cm-2； |
|  | *n* | — 有效的本底氡探测器α径迹密度数据个数。 |

对每个校准测量点所有氡探测器，将其α径迹密度剔除异常值之后，按公式（2）计算被校装置各校准测量点的响应。

 （2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *Rj* | — 第*j*个校准点被校装置的响应，cm-2·(kBq·m-3·h)-1； |
|  |  | — 第*j*个校准点被校装置测量的α径迹密度的算术平均值，单位：cm-2； |
|  | *C*R,*j* | — 第*j*个校准点累积浓度参考值，单位：kBq·m-3·h。 |

## 7.2 批内复现性

对累积浓度最低的校准测量点的所有氡探测器，将其α径迹密度剔除异常值之后（剔除后至少应有10个有效数据），按公式（3）计算被校装置的批内复现性。

 （3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *V* | — 被校装置的批内复现性，单位：%； |
|  | *Di* | — 最低校准测量点，第*i*个氡探测器α径迹密度，单位：cm-2； |
|  | *n* | — 最低校准测量点，有效的α径迹密度数据个数； |
|  |  | — 最低校准测量点，α径迹密度的算术平均值，单位：cm-2。 |

## 8 校准结果表达

按本规范进行校准，出具校准证书，校准证书内页格式见附录B；校准结果应给出响应校准结果的不确定度（评定示例见附录C）。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为12个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等多种因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主确定复校时间间隔。

## 附录A

固体核径迹累积氡浓度测量装置校准记录推荐格式

A.1 本底

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 本底读数（cm-2） | | | | | 平均值（cm-2） |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

A.2响应

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 累积浓度参考值  （kBq·m-3·h） | 读数（cm-2） | | | | | 平均值  （cm-2） | 净值  （cm-2） | 响应*Rj* （cm-2·(kBq·m-3·h)-1） |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 响应均值*R*  （cm-2·(kBq·m-3·h)-1） |  | | | | | | | |

A.3批内复现性

*V* =

## 附录B

固体核径迹累积氡浓度测量装置校准证书内页内容

B.1 校准证书内页内容

至少应包括下列信息：

a) 被校对象的名称、型号、编号，其中型号应同时包括氡探测器及测读设备分别的型号；

b) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

c) 本次校准时的环境条件；

e) 校准结果及其测量不确定度的说明；

f) 蚀刻条件（包括蚀刻温度、蚀刻时长、蚀刻液成分与浓度等）。

B.2 校准结果

1. 响应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 累积浓度参考值  （kBq·m-3·h） | 响应*R*j（cm-2·(kBq·m-3·h)-1） | 相对扩展不确定度*U*rel(*R*j)（*k*=2） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

2. 批内复现性



## 附录C

固体核径迹累积氡浓度测量装置响应测量结果不确定度评定示例

C.1 测量条件与测量方法

C.1.1 环境条件：

暴露时实验室环境条件，温度：20 °C，相对湿度：45 %；

读取α径迹密度时，周围环境无干扰测量的电磁场与震动。

C.1.2 测量标准：

氡体积活度测量仪测量范围：(0.1~10) kBq·m-3；

氡体积活度测量仪相对固有误差：-0.86%；

氡体积活度测量仪相对扩展不确定度：2.5% (*k*=2)。

氡室氡体积活度8 h稳定性为4%，氡体积活度可调控范围为(0.1~20) kBq·m-3。

计时器计时误差不超过10 s。

C.1.3 测量参数：固体核径迹累积氡浓度测量装置某校准测量点的响应。

C.1.4 测量方法：按照本校准规范第7.1条。

C.2 测量模型



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *Rj* | — 第*j*个校准点被校准仪器的响应，cm-2·(kBq·m-3·h)-1； |
|  |  | — 第*j*个校准点被校准仪器测量的α径迹密度的算术平均值，单位：cm-2； |
|  |  | — 本底固体核径迹探测器α径迹密度平均值，单位：cm-2； |
|  | *C*R,*j* | — 第*j*个校准点累积浓度参考值，单位：kBq·m-3·h。 |

本示例中涉及不确定度的计算，数字修约规则均采用进位修正。

C.3 输入量的标准不确定度评定

C.3.1 输入量的标准不确定度

输入量的标准不确定度根据被校仪器读数的测量重复性计算，采用A类方法评定。

被校仪器的重复性测量数据及处理结果见表C.1。

表C.1 被校仪器重复测量数据、平均值及实验标准差

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| （cm-2） | | | | | （cm-2） | （cm-2） |
| *i*=1 | *i*=2 | *i*=3 | *i*=4 | *i*=5 | 642 | 40 |
| 573 | 650 | 687 | 600 | 660 |
| *i*=6 | *i*=7 | *i*=8 | *i*=9 | *i*=10 |
| 614 | 673 | 1170 | 685 | 634 |

根据格拉布斯准则，第8号测量结果为异常值，需剔除。表中平均值与实验标准差为剔除异常值后的结果。

表中读数的实验标准差采用贝塞尔公式法计算：



被校仪器读数算术平均值的标准不确定度由其标准差估算：



C.3.2 输入量的标准不确定度

输入量的标准不确定度根据被校仪器本底读数的测量重复性计算，采用A类方法评定。

被校仪器本底测量数据及处理结果见表C.2。

表C.2 被校仪器本底重复测量数据、平均值及实验标准差

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| （cm-2） | | | | | （cm-2） | （cm-2） |
| *i*=1 | *i*=2 | *i*=3 | *i*=4 | *i*=5 | 86 | 43 |
| 55 | 49 | 169 | 136 | 73 |
| *i*=6 | *i*=7 | *i*=8 | *i*=9 | *i*=10 |
| 101 | 110 | 39 | 49 | 77 |

根据格拉布斯准则，不存在异常值，无需剔除。

表中本底读数的实验标准差采用贝塞尔公式计算：



被校仪器本底读数算术平均值的标准不确定度由其标准差估算：



C.3.3输入量引入的标准不确定度

输入量的标准不确定度来源主要包括氡体积活度测量仪与计时器引入的不确定度。其中计时器引入的不确定度可忽略，氡体积活度测量仪引入的不确定度采用B类方法评定。本示例中，取值为218.0 kBq·m-3·h。

氡体积活度测量仪引入的标准不确定度根据检定证书给出的扩展不确定度（ = 2.5%）除以包含因子（*k* = 2）并乘以参考值得到：



C.4 合成标准不确定度的计算

对测量模型求偏导得灵敏系数计算公式如下：







上述公式中各符号的含义及取值见表C.3。

表C.3 标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 不确定度来源 | 标准不确定度 | 灵敏系数 |
|  | 被校仪器读数的 测量重复性 | 14 cm-2 | 4.6×10-3 (kBq·m-3·h)-1 |
|  | 被校仪器本底读数的 测量重复性 | 14 cm-2 | 4.6×10-3 (kBq·m-3·h)-1 |
|  | 测量标准累积浓度参考值的不确定度 | 2.8 kBq·m-3·h | 1.2×10-2 cm-2·(kBq·m-3·h)-2 |

根据计算公式，输出量：



各种来源的不确定度相互独立，按方和根合成，输出量的合成标准不确定度为：



C.5 相对扩展不确定度

取包含因子*k* = 2，被校仪器响应的相对扩展不确定度为：



测量标准累积浓度参考值为218 kBq·m-3条件下，该固体核径迹累积氡浓度测量装置响应测量结果的相对扩展不确定度为：

*U*rel = 8 %，*k* = 2

## 附录D

固体核径迹氡探测器驰豫阶段及其对校准的影响

固体核径迹氡探测器放入氡室后，其内部氡及子体的放射性活度需要经过一段时间才能上升达到平衡。同样，固体核径迹探测器从氡室中取出后，其内部氡及子体的放射性活度也需要经过一段时间才能降低为零（假设氡室外浓度可忽略）。本规范称这两段时间分别称为“上升驰豫阶段”和“下降驰豫阶段”。而称氡及子体的放射性活度保持稳定（假设氡室内浓度保持稳定不变）的时间段为“平衡阶段”。

径迹片记录的α径迹由固体核径迹探测器内氡及子体贡献，因此在上升驰豫阶段，α径迹单位时间增量将低于平衡阶段，而在下降驰豫阶段，α径迹也不会立即停止增长，而是缓慢下降。因此，这两个阶段将会破坏α径迹密度增长的时间线性，如果不能正确处理这两个阶段，那么可能导致α径迹密度不能准确反应暴露的氡（累积）浓度。

理论上，如果满足如下三个条件，那么三个阶段径迹片上α径迹的增长速率变化规律将如图D-1所示：

1）暴露期间氡室浓度保持稳定；

2）暴露时间长于上升驰豫时间，且暴露后静置时间长于下降驰豫时间；

3）静置时，外界氡浓度相对之前的暴露可以忽略。



图D-1 三个阶段α径迹密度的增长速率变化规律

其中上升驰豫阶段的横线阴影面积表示该阶段遗漏记录的α径迹，下降驰豫阶段的竖线阴影面积表示该阶段导额外记录的α径迹。理论上，这两部分数值上恰好可以相互抵消，因此只要保证上述三个条件，就可以避免校准过程中驰豫阶段的影响。

氡室氡浓度稳定性是测量标准的基本要求，因此第一个条件容易满足，但在实际校准过程中应注意避免主动改变氡室内氡浓度。由于氡室内氡浓度一般远高于普通室内氡浓度，因此只需将固体核径迹探测器静置在低氡浓度的室内即可满足第三个条件。而第二个条件，则需要校准人员在了解被校准固体核径迹探测器驰豫特性的前提下，按要求操作。

无论是上升驰豫时间还是下降弛豫时间，主要均受两个因素的影响：1）固体核径迹探测器内外气体交换平衡；2）固体核径迹探测器内氡及其子体的放射性平衡。前者取决于换气率，后者取决于最长寿命子体的半衰期。固体核径迹探测器换气率与探测器设计有关，一般不低于0.5 h-1，据此可以计算该因素导致的驰豫时间不超过6 h。氡（222Rn）最长寿命的子体214Pb半衰期为26.8 min，据此可以计算该因素导致的驰豫时间不超过2 h。

综合而言，校准暴露时间应不短于6 h，校准完成后建议在低氡浓度环境静置6 h或以上（说明书有明确其驰豫特性的，也可以根据说明书调整），等待下降驰豫阶段结束后再密封包装或取出径迹片蚀刻，切忌直接密封包装，否则将导致222Rn气体被密闭在探测器内持续暴露。

参考文献

[1] Sciocchetti, G., Cotellessa, G., Soldano, E., et al. A novel approach for testing passive radon monitors with an exposure standard based on alpha track detector[J]. Radiation Measurements, 2005, 40(2-6): 320-324.

[2] 赵超. 钍射气浓度的校准与测量方法研究[D]. 复旦大学, 2014.