

附件2

HJ

# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ □□□□-20□□

---

## 环境空气 气溶胶中 $\gamma$ 放射性核素 的测量 $\gamma$ 能谱法

(征求意见稿)

Ambient Air Measurement of Gamma Radionuclides in Aerosol  
Gamma spectrometry Method

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

生态环境部 发布

# 目 次

前 言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 方法原理.....	2
5 试剂和材料.....	2
6 仪器和设备.....	2
7 样品.....	3
8 分析步骤.....	4
9 结果计算.....	6
10 结果表示.....	8
11 精密度与准确度.....	9
12 质量保证和质量控制.....	9
13 注意事项.....	11
附录 A 方法探测下限.....	12
附录 B (资料性附录) 效率刻度常用核素.....	14
附录 C (资料性附录) 大流量采样器流量校准方法.....	15
附录 D (资料性附录) 方法的精密度和准确度汇总表.....	18
附录 E (资料性附录) 记录表格.....	20

# 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治》，保护环境，保障人体健康，规范环境空气气溶胶中 $\gamma$ 放射性核素的监测方法，制定本标准。

本标准规定了测量环境空气气溶胶中 $\gamma$ 放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法。

本标准首次发布。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B~附录 E 为资料性附录。

本标准由生态环境部核设施安全监管司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：浙江省辐射环境监测站（辐射环境监测技术中心）。

本标准生态环境部于 20□□年□□月□□日批准。

本标准自 20□□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 环境空气 气溶胶中 $\gamma$ 放射性核素的测量

## $\gamma$ 能谱法

### 1 适用范围

本标准规定了测量环境空气气溶胶中  $\gamma$  放射性核素的  $\gamma$  能谱分析方法。

本标准适用于用大流量或超大流量气溶胶采样器进行环境空气中气溶胶的采集，滤膜经压缩处理后，用高纯锗（高分辨 HPGe） $\gamma$  能谱仪分析气溶胶中  $\gamma$  射线能量特征谱线能够分辨开的  $\gamma$  放射性核素组成及其浓度的手工测量方法。

当环境空气采样体积约为  $10000\text{m}^3$ （标准状态），本方法主要  $\gamma$  放射性核素的探测下限为  $5\ \mu\text{Bq}/\text{m}^3 \sim 100\ \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ，详见附录 A。

### 2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

HJ 1009 辐射环境空气自动监测站运行技术规范

GB/T 11713 高纯锗  $\gamma$  能谱分析通用方法

GB/T 11743 土壤中放射性核素的  $\gamma$  能谱分析方法

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1 气溶胶 aerosol

气溶胶：固体或液体微粒物质在空气中形成的气体分散体系。含放射性核素的气溶胶称为放射性气溶胶。

#### 3.2 标准状态 standard state

温度为  $273\text{K}$ ，压力为  $101.325\text{kPa}$  时的状态。本标准中的放射性核素活度浓度均为标准状态下的活度浓度。

#### 3.3 $\gamma$ 能谱 gamma-ray spectrum

探测器对入射  $\gamma$  射线响应的脉冲计数率按能量的分布。

## 4 方法原理

通过大流量或超大流量采样器以恒速抽取定量体积的空气，使空气中气溶胶被截留在滤膜上，滤膜经压缩处理后用高纯锗 $\gamma$ 能谱仪分析其 $\gamma$ 放射性核素组成及其浓度。在 $\gamma$ 能谱中，全吸收峰的道址与入射 $\gamma$ 射线能量成正比，全吸收峰的净面积与入射该能量的 $\gamma$ 射线数成正比。

## 5 试剂和材料

5.1 聚丙烯滤膜：膜面流速为 0.6 m/s 时，对 0.3  $\mu\text{m}$  标准粒子的截留效率不低于 95%。空滤膜在 0.6 m/s 的洁净空气流速时，压降应小于 1kPa。天然放射性核素含量低，无人工放射性污染。

5.2 滤膜保存袋：聚乙烯等材质。

5.3 一次性手套。

5.4 防污用品：聚乙烯等材质的袋或薄膜，用于包裹探测器和样品容器，防止仪器设备与样品交叉污染。

5.5 样品容器：选用天然放射性核素含量低、无人工放射性污染的材料制成，如 ABS 树脂或聚乙烯等。

5.6 液氮：工业氮。

5.7 能量刻度源：其性能和技术指标应符合 GB/T 11713 条款 4.1 和条款 4.2.1 的规定。

5.8 效率刻度源：以空白滤膜或类似的模拟基质为基质、直径与样品相同、高度与样品相近的圆柱形辐射源，其性能和技术指标应符合 GB/T 11713 条款 4.1 和条款 4.3.2 的规定，推荐优先使用发射单能 $\gamma$ 射线的核素，效率刻度常用发射单能和多能 $\gamma$ 射线的核素及其主要参数见附录 B。

5.9 检验源：长寿命的、高中低能区至少各有一条特征 $\gamma$ 射线的辐射源，活度与效率刻度源相当，其性能和技术指标应符合 GB/T 11713 条款 4.1 的规定。

## 6 仪器和设备

6.1 气溶胶采样器：其性能和技术指标除符合 HJ 1009 条款 5.3 的规定外，大流量采样器滤膜有效尺寸为 230 $\times$ 180mm，超大流量采样器滤膜有效尺寸为 570 $\times$ 470mm。

6.2 打号机、标签打印机：用于在滤膜、滤膜袋、样品容器标识标签。

6.3 干燥箱：内盛干燥剂，可自动连续工作。

6.4 天平：感量 1mg。

6.5 制样模具：不锈钢材质，内径 50mm。

6.6 液压机：可提供不少于 10 吨的压力。

6.7 游标卡尺：0~150mm，最小分度值 0.1mm。

6.8  $\gamma$  能谱仪：其性能和技术指标除符合 GB/T 11713 条款 3.1 的规定外，探测器的相对探测效率一般应不小于 40%，探测器在屏蔽室内，在 40keV~2000keV 能区内的本底计数不大于 2cps。能量低于 50keV 的特征  $\gamma$  射线核素测量，推荐优先使用 N 型或 P 型宽能  $\gamma$  能谱仪。 $\gamma$  能谱仪运行期间，应对测量室的温度变化和湿度进行控制。

6.9 温度计：测量范围（-30~50） $^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，用于检查采样器温度测量部件。

6.10 气压计：测量范围（50~107）kPa，精度 $\pm 0.1\text{kPa}$ ，用于检查采样器大气压测量部件。

6.11 流量校准器：量程（0.8~1.4） $\text{m}^3/\text{min}$ ，误差 $\leq 2\%$ 。用于检查和校准采样器流量。

## 7 样品

### 7.1 采样前准备

1) 戴上新的一次性手套，用酒精棉球清洁工作台，工作台尺寸应大于滤膜尺寸。取一张新滤膜放在工作台上，将采样面向上，检查滤膜边缘是否平滑、薄厚是否均匀，且无毛刺、无污染、无碎屑、无折痕、无破损。

2) 按照采样器采样口的大小裁剪滤膜，滤膜的大小比采样器采样口的有效尺寸略宽，在滤膜采样面的两个对角标识编号，将滤膜平展放入与滤膜编号相同的滤膜保存袋，采样前不得将滤膜折叠。

3) 打开采样头顶盖，旋松滤膜夹，用清洁干布擦去采样头内、滤膜夹和滤膜支持网表面的灰尘，检查滤膜支撑网无堵塞，滤膜夹无污染、无损坏。

### 7.2 样品采集

1) 将滤膜采样面朝向进气方向，平放在滤膜支持网上，同时核查滤膜编号，固定滤膜夹，对正、拧紧，以不漏气为宜，安装好采样头。

2) 按照采样器使用说明，设置采样参数，启动采样。记录开始采样时间、采样流量等参数，若阻力增大影响采样应及时更换滤膜。环境空气样品的采样体积一般不小于  $10000\text{m}^3$ 。

3) 采样结束后，旋松滤膜夹，从滤膜边缘夹取样品滤膜，并检查滤膜是否有破裂，或滤膜上尘积面的边缘轮廓是否清晰、完整，否则该样品作废，需重新采样。将滤膜采样面向里均匀对折两次放入与滤膜编号相同的滤膜袋中。记录累积采样时间、采样流量、采样工况和标况体积等参数。

### 7.3 样品运输保存

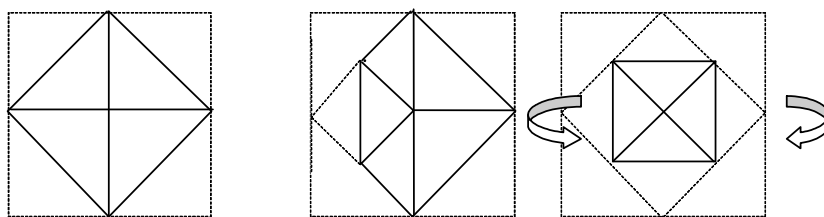
样品采集后，尽快送实验室分析，并做好交接记录。样品运输过程中，应避免剧烈振动。如

不能立即分析，应将样品制备后在洁净、室温环境下于干燥箱中保存。

## 7.4 样品制备

1) 采样后的滤膜放入干燥箱进行氡子体衰变，根据样品中氡子体活度的大小确定衰变时间，一般为 3~5 天。

2) 带上新的一次性手套，用酒精棉球清洁压样模具和工作台。取出衰变后的滤膜，除去采样后滤膜的支持层，将采样面向上平放在工作台上，按如下方法折叠，直至直径约 50mm。若需要将多张滤膜制备成一个样品时，可将除去支持层的滤膜依次叠加整齐后按如下方法折叠。



3) 拉起折叠后滤膜的四个外角，将呈球形状的滤膜塞入压样模具底部。将压样模具放在压样器中心位置，用 10 吨的压力压缩滤膜，保持 2 分钟。

4) 取出压制后的滤膜，用天平称量滤膜，称量精确到 0.01g，尽量缩短滤膜折叠压制至称量的操作时间。用游标卡尺测量样品高度，测量精确到 0.1mm。装入样品容器并密封，标识标签，置于待检区。

5) 大流量采样器采集的滤膜样品至少 4 张一起压制，以保证制备后的样品几何形状规整且与效率刻度源相似，必要时可与空白滤膜依次叠加整齐后折叠压制。

## 7.5 空白制备

取与超大流量采样器采样滤膜同样尺寸的空白滤膜，除去滤膜的支持层，按照与样品制备相同的方法进行折叠和压制后，用游标卡尺测量样品高度，装入样品盒并密封，标识编码。

## 8 分析步骤

### 8.1 $\gamma$ 能谱仪刻度

#### 8.1.1 能量刻度

- 1) 能量刻度至少包括四个不同的能量，并均匀覆盖 40~2000keV 能区。
- 2) 将能量刻度源装入样品容器，用酒精棉球清洁样品容器，并用防污用品包裹，包裹时防止因空气进入导致样品容器底部的防污用品出现皱褶。
- 3) 带上新的一次性手套，打开探测器屏蔽室，将装有能量刻度源的样品容器放置在探测器顶部，关闭屏蔽室。

4) 打开  $\gamma$  能谱仪数据处理软件, 开始测量。当能量刻度的特征  $\gamma$  射线全吸收峰净面积计数大于 10000 时可停止测量, 保存  $\gamma$  能谱。

5) 打开保存的  $\gamma$  能谱, 记录能量刻度的特征  $\gamma$  射线全吸收峰中心道址, 利用数据处理软件的能量刻度功能, 一般采用最小二乘法拟合, 绘制能量刻度曲线并保存。

6) 能量刻度曲线线性应符合 GB/T 11713 的规定。

### 8.1.2 效率刻度

1) 效率刻度能量分布应适当覆盖 40keV~2000keV 能区, 效率刻度曲线一般分两段拟合, 大约在 150~300keV 处有个“接点” $E_e$ 。根据  $\gamma$  能谱仪的性能, 确定“接点” $E_e$ 。对  $\gamma$  射线能量  $E < E_e$  的低能段, 选择 3~5 个能量的  $\gamma$  射线, 对  $\gamma$  射线能量  $E > E_e$  的高能段至少选择 5 个能量的  $\gamma$  射线。

2) 带上新的一次性手套, 打开探测器屏蔽室, 将经清洁和防污用品包裹处理后装有效率刻度源的样品容器, 放置在探测器顶部, 使效率刻度源中心轴与探测器中心轴重合, 并且与样品测量几何位置相同, 为此可采用定位架, 关闭屏蔽室。

3) 打开  $\gamma$  能谱仪数据处理软件, 开始测量。当效率刻度的所有特征  $\gamma$  射线全吸收峰净面积计数大于 10000 时可停止测量, 保存  $\gamma$  能谱。

4) 打开屏蔽室, 检查样品容器几何位置是否偏移, 取出并保存。

5) 打开保存的  $\gamma$  能谱, 利用数据处理软件的效率刻度功能, 计算效率刻度的特征  $\gamma$  射线全吸收峰效率, 一般采用加权最小二乘法对低能段和高能段分别拟合, 绘制效率刻度曲线并保存。

### 8.2 样品测定

1) 检查制备好样品 (7.4) 的标签, 带上新的一次性手套, 打开探测器屏蔽室, 将经清洁和防污用品包裹处理后装有样品的样品容器放置在探测器顶部, 使样品中心轴与探测器中心轴重合, 为此可采用定位支架, 关闭屏蔽室。

2) 打开  $\gamma$  能谱仪数据处理软件, 填写样品信息, 开始测量, 测量时间一般不小于 24 小时或满足待测核素特征峰峰面积计数的统计误差小于 5%。

3) 测量结束前, 确认测量时间和  $\gamma$  能谱收集是否正常, 然后停止测量, 保存  $\gamma$  能谱。检查  $\gamma$  能谱内  ${}^7\text{Be}$  477.6 keV 全吸收峰的中心道址, 如果与能量刻度时该能量的全吸收中心峰道址超过 0.5keV, 应重做能量刻度。

4) 打开屏蔽室, 检查样品容器几何位置是否偏移, 取出并保存。

### 8.3 空白样品测定

按照与样品测量相同的操作步骤进行空白样品 (7.6) 的测定, 测量时间与样品测量相同。

### 8.4 核素鉴别



打开  $\gamma$  能谱仪数据处理软件, 确定  $\gamma$  能谱中  $\gamma$  射线全吸收峰中心道的能量, 对比核素库中的核素能量鉴别核素, 核素识别时应注意剔除能量相近的  $\gamma$  射线干扰。

## 9 结果计算

### 9.1 计算

样品中待测核素的活度浓度按照公式 (1) 计算:

$$AC = \frac{n_s - n_b}{V_n \times \varepsilon \times F \times \gamma} \times K \quad (1)$$

式中:  $AC$ —样品中待测核素的活度浓度,  $Bq/m^3$ ;

$n_s$ —样品中待测核素特征  $\gamma$  射线全吸收峰计数率, 计数/s;

$n_b$ —样品中待测核素特征  $\gamma$  射线全吸收峰对应的本底计数率, 计数/s;

$V_n$ —样品标准状态下采样体积,  $m^3$ ;

$\varepsilon$ —待测核素特征  $\gamma$  射线全吸收峰效率值;

$F$ —样品相对于效率刻度源自吸收和高度校正因子,  $F = F_1 \times F_2$ ,  $F_1$ 为样品相对于效率刻度源自吸收校正因子, 若样品密度与效率刻度源密度相近,  $F_1$ 可取值1。 $F_2$ 为样品相对于效率刻度源高度校正因子, 若样品高度与效率刻度源高度相近,  $F_2$ 可取值1。

$\gamma$ —待测核素特征  $\gamma$  射线的发射概率;

$K$ —待测核素衰变校正因子,  $K = K_s \times K_w \times K_c$ ,  $K_s$ 为假设浓度恒定时, 采样开始至结束时待测核素的衰变校正因子,  $K_w$ 为采样结束至测量开始时待测核素的衰变校正因子,  $K_c$ 为样品测量期间待测核素的衰变校正因子。

### 9.2 衰变校正

假设样品采集过程中核素浓度恒定, 衰变校正因子  $K_s$  按照公式 (2) 计算:

$$K_s = \frac{\lambda \times t_s}{1 - e^{-\lambda \times t_s}} \quad (2)$$

式中:  $K_s$ —采样开始至结束时待测核素的衰变校正因子, 如果待测核素半衰期与样品采样时间相比大于 100,  $K_s$ 可取值 1;

$t_s$ —采样开始至结束的时间, min;

$\lambda$ —待测核素的衰变常数,  $\text{min}^{-1}$ 。

衰变校正因子  $K_w$  按照公式 (3) 计算:

$$K_w = e^{\lambda \times t_w} \quad (3)$$

式中:  $K_w$ —采样结束至测量开始时待测核素的衰变校正因子, 如果待测核素半衰期与样品采样结束至测量开始时间相比大于 100,  $K_w$  可取值 1;

$t_w$ —采样结束至测量开始的时间, min;

$\lambda$ —待测核素的衰变常数,  $\text{min}^{-1}$ 。

衰变校正因子  $K_C$  按照公式 (4) 计算:

$$K_C = \frac{\lambda \times t_C}{1 - e^{-\lambda \times t_C}} \quad (4)$$

式中:  $K_C$ —样品测量期间待测核素的衰变校正因子, 如果待测核素半衰期与样品测量时间相比大于 100,  $K_C$  可取值 1;

$t_C$ —测量开始至结束的时间,  $\text{min}^{-1}$ ;

$\lambda$ —待测核素的衰变常数,  $\text{min}^{-1}$ 。

### 9.3 采样体积

采样体积按照公式 (5) 计算:

$$V_n = Q_n \times t = Q \times t \times \frac{P \times 273.15}{101.325 \times T} \quad (5)$$

式中:  $V_n$ —标准状态下的采样体积,  $\text{m}^3$ ;

$Q_n$ —标准状态下的采样流量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$t$ —采样时间, min;

$Q$ —实际采样流量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$P$ —采样时环境的大气压, kPa;

$T$ —采样时环境的温度, K;

### 9.4 样品高度和密度差异校正

一般采样条件下, 测量样品可以不进行样品高度和密度差异修正, 但如果测量样品的高度

和密度与效率刻度源间差异较大,应对样品中待测核素特征 $\gamma$ 射线全吸收峰净面积计数率作高度和密度差异校正,可根据测量样品几何尺寸和重量等参数采用蒙特卡罗模拟计算方法等方法校正。

## 10 结果表示

### 10.1 大于探测下限结果表示

当测定结果大于探测下限,表示为核素活度浓度数据、相应的扩展不确定度和扩展因子,本标准的扩展不确定度是置信度为95%时的不确定度,即扩展因子为2。

当测定结果大于等于 $10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 时,保留3位有效数字,当测定结果小于 $10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 时,保留小数点后一位。

### 10.2 小于探测下限的结果表示

当测定结果小于探测下限时,表示为“<MDC”并注明探测下限。探测下限的计算方法见附录A。

### 10.3 不确定度评定

#### 10.3.1 不确定度

测定结果的合成标准不确定度按照公式(6)计算:

$$\mu_{AC} = \sqrt{\frac{K^2}{V_n^2 \times \varepsilon^2 \times F^2 \times \gamma^2} \times \frac{N_s + N_b}{t_s^2} + AC^2 \times (\mu_{V_n}^2 + \mu_{\varepsilon}^2 + \mu_F^2 + \mu_{\gamma}^2 + \mu_K^2)} \quad (6)$$

式中:  $\mu_{AC}$ —测定结果的合成不确定度;

$N_s$ —样品中待测核素特征 $\gamma$ 射线全吸收峰计数;

$N_b$ —样品中待测核素特征 $\gamma$ 射线全吸收峰对应的本底计数;

$t_s$ —样品测量活时间, s;

$V_n$ —样品标准状态下采样体积,  $\text{m}^3$ ;

$\varepsilon$ —待测核素特征 $\gamma$ 射线全吸收峰效率值;

$F$ —样品相对于效率刻度源自吸收和高度校正因子;

$\gamma$ —待测核素特征 $\gamma$ 射线的发射概率;

$K$ —待测核素衰变校正因子;

$AC$ —样品中待测核素的活度浓度,  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ;

$\mu_{V_n}$ —采样体积引入的相对标准不确定度；

$\mu_{\varepsilon}$ —探测效率引入的相对标准不确定度；

$\mu_F$ —自吸收和高度校正引入的相对标准不确定度；

$\mu_{\gamma}$ —发射概率校正引入的相对标准不确定度；

$\mu_K$ —核素衰变校正引入的相对标准不确定度。

### 10.3.2 扩展不确定度

测定结果的扩展不确定度按照公式（7）计算：

$$U = k\sqrt{u_{AC}^2} \quad (7)$$

式中： $U$ —测量结果的扩展不确定度；

$k$ —扩展因子，取 2，相应置信度为 95%。

## 11 精密度与准确度

7 家实验室分别对统一提供的 3 个不同活度  $\gamma$  放射性核素混合标准物质加标样品进行了 6 次重复测定，对测定结果进行统计，得到的精密度和准确度汇总数据见附表 D.1 和附表 D.2。

## 12 质量保证和质量控制

### 12.1 采样过程质量保证与质量控制

1) 新购置或维修后的采样器在启用前应送有资质的计量机构进行校准、或自行校准和比对，日常使用的采样器每年至少进行一次校准或比对，大流量采样器流量自行校准方法参见附录 C。

2) 超大流量采样器比对测试方法为：在同一环境条件下，将待测超大流量采样器和参比大流量采样器的采样入口尽量调整至同一高度，采样器之间的距离为（4~6）m。参比大流量采样器经流量校准后，与待测超大流量采样器相同时间段并行采样 4 天，推荐使用多台参比大流量采样器与超大流量采样器并行采样，缩短采样时间。空气质量较好的天气，可延长采样时间或使用多台参比大流量采样器并行采样。测定环境气溶胶样品中  $^{7}\text{Be}$  活度浓度，按公式（8）计算相对偏差，相对偏差应不大于 20%。

$$P = \frac{|AC_R - AC_S|}{AC_R} \times 100\% \quad (8)$$

式中： $P$ —比对测试相对偏差，%；

$AC_R$ —参比大流量采样器采集的气溶胶样品中  $^7\text{Be}$  活度浓度,  $\text{mBq}/\text{m}^3$ ;

$AC_S$ —待测超大流量采样器采集的气溶胶样品中  $^7\text{Be}$  活度浓度,  $\text{mBq}/\text{m}^3$ 。

3) 采样期间保持流量稳定, 每小时平均流量变化 $\pm 10\%$ 设定流量, 采样全过程平均流量变化 $\pm 5\%$ 设定流量。如采样器无流量设定功能, 可将采样流量稳定后第 1 小时平均流量视为设定流量。

4) 推荐优先使用恒流且具有标准状态下采样体积功能的采样器。

5) 每次采样检查采样系统是否漏气, 当滤膜安放正确, 采样系统无漏气时, 采样后滤膜上颗粒物与四周白边之间界限应清晰, 如出现界限模糊, 则表明有漏气, 应检查滤膜安装是否正确, 或更换滤膜密封垫、滤膜夹。该滤膜样品作废。

6) 采样期间, 所有有关样品代表性和有效性的因素, 如扬尘、沙尘暴等异常气象条件、空气质量重度污染及以上、异常建设活动等均详细记录, 以判断采样过程的有效性。

## 12.2 $\gamma$ 能谱仪性能检查

1) 新购置或维修后的  $\gamma$  能谱仪在启用前须进行能量刻度和效率刻度。

2) 每月至少测定一次  $\gamma$  能谱仪本底, 测量时间一般不小于 24 小时, 计算全谱本底计数, 如有异常, 应查找原因。

3) 每月至少测定一次检验源, 检验源测定值与效率刻度后首次检验源测定值的相对偏差应 $\leq 6\%$ , 否则应重做效率刻度。检查  $\gamma$  能谱内  $^{60}\text{Co}$  1332 keV 能量分辨力 (半高宽 FWHM) 应满足  $\gamma$  能谱仪出厂规格, 否则应查找原因。

4) 每年至少用检验源进行一次泊松分布的检验, 新购置或维修后的  $\gamma$  能谱仪启用前也应进行此检验, 如有异常, 应查找原因。

## 12.3 空白样品分析

每六个月至少测定一个空白样品, 此外, 新购置或维修后的  $\gamma$  能谱仪启用前、每批次滤膜、每批次样品容器至少测定一个空白样品。

## 12.4 样品重复测定

每 10 个样品或每批次 (少于 10 个样品/批) 重复测定 1 个样品, 样品中  $^7\text{Be}$  活度浓度按公式 (9) 计算相对偏差, 相对偏差应满足表 2 要求。

$$\text{相对偏差 (\%)} = \frac{AC_A - AC_B}{AC_A + AC_B} \times 100\%$$

式中:  $AC_A$ 、 $AC_B$ —两次重复测定结果,  $\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

表 2 样品重复测定精密度要求

样品中 $^{7}\text{Be}$ 活度浓度 ( $\text{mBq}/\text{m}^3$ )	相对偏差 (%)
$\leq 0.5$	$\leq 15$
$> 0.5$	$\leq 10$

### 13 注意事项

1) 样品  $\gamma$  能谱分析时, 应注意避免  $\gamma$  射线能量相近干扰、曲线基底和斜坡基底干扰、级联加和干扰等的影响, 见 GB/T 11743-2013 条款 7.4。

2) 样品 (或刻度源) 测量时应将全谱计数率限制至小于 2000 计数/s, 使随机加和损失降至 1% 以下。必要时可增加样品 (或刻度源) 至探测器的距离, 以减少全谱计数率。

3)  $^{131}\text{I}$  等短半衰期核素应在氡子体衰变后立即测量, 需母子体核素达到平衡后再测量的核素, 在装样密封达到 7 个子体核素半衰期方可测量。

4) 为了防止  $\gamma$  能谱的探测器污染, 可将探测器顶部用防污用品包裹, 包裹时防止因空气进入导致探测器顶部的防污用品出现皱褶。

5) 预测核素活度过高的样品, 样品制备时应注意防止污染, 必要时可将采样后滤膜折叠直接装入样品容器密封后测量。

6) 如需要快速测定样品, 建议采样结束 6 小时后开始测量, 测量时间一般不小于 6 小时或满足待测核素特征峰峰面积计数的统计误差小于 5%。

7) 空气质量重度污染及以上的天气, 可适当降低超大流量采样器的设定流量。空气质量优良的天气, 可适当延长采样时间。

## 附录 A 方法探测下限

### (规范性附录)

本标准的探测下限是置信度为 95%时，样品中核素活度浓度的探测下限，按照公式 (8) 计算：

$$MDC = \frac{4.66\sqrt{N_b}}{T \times V_n \times \varepsilon \times F \times \gamma} \times K \quad (8)$$

式中： $MDC$ —置信度为 95%时，样品中待测核素活度浓度的探测下限， $Bq/m^3$ ；

$N_b$ —样品中待测核素特征  $\gamma$  射线全吸收峰本底计数；

$T$ —样品测量活时间，s；

$V_n$ —样品标准状态下采样体积， $m^3$ ；

$\varepsilon$ —待测核素特征  $\gamma$  射线全吸收峰效率值；

$F$ —样品相对于效率刻度源自吸收和高度校正因子；

$\gamma$ —待测核素特征  $\gamma$  射线的发射概率；

$K$ —待测核素衰变校正因子

当取样量约为  $10000m^3$ ，本方法的探测下限见表 A。

表 A 方法探测下限

核素	探测下限 ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )
Be-7	50
K-40	100
Mn-54	5
Co-58	5
Co-60	5
Zr-95	10
I-131	20
Cs-134	5
Cs-137	5
Ba-140	50
Ce-144	50
Pb-210	100
Ac-228	20
Th-234	100



## 附录 B 效率刻度常用核素

(资料性附录)

效率刻度常用发射单能和多能  $\gamma$  射线的核素列于表 B。

**表 B 效率刻度常用发射单能和多能  $\gamma$  射线的核素**

核素	半衰期	特征 $\gamma$ 射线能量 (keV)	$\gamma$ 射线发射概率 (%)
Pb-210	22.20(22) a	46.539(1)	4.25(4)
Am-241	432.6(6) a	59.5409(1)	35.9(4)
Cd-109	461.4(12) d	88.0336(1)	3.70(10)
Co-57	271.74(6) d	122.06065(12)	85.60(17)
Ce-139	137.641(20) d	165.8575(11)	80(8)
Cr-51	27.7010(11) d	320.0824(4)	9.910(10)
Sn-113	115.09(3) d	391.698(3)	64.97(17)
Sr-85	64.849(7) d	514.0048(22)	96(4)
Cs-137	30.08(9) a	661.657(3)	85.10(20)
Mn-54	312.20(20) d	834.848(3)	99.9760(10)
Zn-65	243.93(9) d	1115.539(2)	50.04(10)
Y-88	106.627(21) d	1836.063(12)	99.2(3)

注：括号内数值为前面相应数据的不确定度，其不确定度值参照括号前数值按照最后一位小数点对齐原则给出，如 22.20(22) 表示  $22.20 \pm 0.22$ 。资料来源于 Evaluated Nuclear Structure Data Files (ENSDF) 2018 年 3 月。

**附录 C 大流量采样器流量校准方法**  
(资料性附录)

用于校准的温度计、气压计、流量校准器应按计量检定/校准规程的要求进行周期性检定/校准后方可使用。

操作步骤如下：

1. 使用经检定合格的温度计对采样器的温度测量示值进行检查，按公式 C1 计算温度示值误差，如果温度示值误差超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，应对采样器进行温度校准。

$$\Delta T = T - T_S \quad (\text{C1})$$

式中： $\Delta T$ —温度示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T$ —采样器温度测量示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_S$ —标准温度计温度测量示值， $^{\circ}\text{C}$ 。

2. 使用经检定合格的气压计对采样器压力传感器进行检查，按公式 C2 计算大气压示值误差，如果大气压示值误差超过 $\pm 1\text{kPa}$ ，应对采样器进行压力校准。

$$\Delta P = P - P_S \quad (\text{C2})$$

式中： $\Delta P$ —大气压示值误差， $\text{kPa}$ ；

$P$ —采样器大气压测量示值， $\text{kPa}$ ；

$P_S$ —标准气压计大气压测量示值， $\text{kPa}$ 。

3. 智能流量校准器连接电源，开机自检后进入设置菜单，输入环境温度和大气压值（温度单位为绝对温度，即温度=环境温度+273；大气压单位为  $\text{kPa}$ ），选择合适流量范围的工作模式。

4. 打开采样器的采样头顶盖，在正常采样位置放置一张空滤膜，将智能流量校准器的压板连同孔口连接到采样器采样头，确保连接处不漏气。

5. 启动采样器运行 10min，待采样流量稳定后，将智能流量校准器的“-”取压嘴和孔口取压嘴相连。启动测量，读取工况流量，重复测量 10 次。

6. 按公式 (C3) 计算流量示值误差, 如果流量示值误差超过  $\pm 5\%$ , 采样器应停止使用。

$$Q_{diff} = \frac{|\bar{Q}_R - Q_S|}{\bar{Q}_R} \times 100\% \quad (C3)$$

式中:  $Q_{diff}$  — 流量示值误差, %;

$\bar{Q}_R$  — 流量校准器 10 次测量平均值,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$Q_S$  — 采样器设定工作点流量,  $\text{m}^3/\text{min}$ 。

7. 流量校准完成后, 如发现滤膜上尘的边缘轮廓不清晰或滤膜安装歪斜等情况, 表明校准过程中可能漏气, 应重新进行校准。校准合格的采样器, 即可用于采样, 不得再改动调节器状态。

表 C 采样器流量校准记录表

流量校准器型号：_____ 编号：_____											
标准温度计型号：_____ 编号：_____				标准气压计型号：_____ 编号：_____							
校准日期	采样器编号	环境温度 (°C)			环境大气压 (kPa)			流量			校准人
		标准温度计	采样器	示值误差	标准气压计	采样器	示值误差	采样器设定流量 $Q_S$ (m <sup>3</sup> /min)	流量校准器平均流量 $\bar{Q}_R$ (m <sup>3</sup> /min)	流量示值误差 $Q_{diff}$ (%)	
备注：											

**附录 D 方法的精密度和准确度汇总表**  
(资料性附录)

7 家实验室分别对 3 个不同活度的  $\gamma$  放射性核素混合标准物质实际加标样品进行了测定。精密度和准确度汇总数据见附表 D.1 和附表 D.2。

**附表 D.1 方法的精密度汇总表**

核素	加标活度 (Bq)	实验室内相对 标准偏差 (%)	实验室间相对 标准偏差 (%)	重复性限 (Bq)	再现性限 (Bq)
Am-241	278.2	0.1~1.6	2.2	6	18
	548.6	0.1~2.1	2.8	17	46
	827.9	0.1~1.7	3.4	21	79
Cd-109	3573	0.2~2.2	0.8	1.0E2	1.2E2
	7045	0.1~2.8	1.4	2.5E2	3.5E2
	1.063E4	0.1~2.7	2.4	4E2	8E2
Co-57	80.77	0.3~3.3	1.4	3.2	4.2
	159.3	0.2~3.5	1.1	7	8
	240.3	0.1~3.0	2.5	11	19
Ce-139	121.3	0.3~2.2	1.3	4	6
	239.1	0.4~2.1	1.5	7	12
	360.8	0.2~2.1	1.3	13	18
Sn-113	210.4	0.4~6.3	1.2	15	16
	415.0	0.2~3.7	1.2	21	24
	626.3	0.2~4.4	1.7	35	43
Cs-137	103.4	0.2~4.5	1.6	6	7
	203.8	0.2~5.2	1.1	12	12
	307.5	0.2~4.7	1.4	17	19
Mn-54	177.1	0.2~2.8	1.7	7	10
	349.3	0.2~2.0	1.3	9	15
	527.1	0.2~2.4	2.4	19	39
Y-88	345.9	0.4~2.7	1.9	13	21
	682.1	0.3~2.1	2.2	20	46
	1029	0.3~1.5	2.7	3E1	9E1
Co-60	161.3	0.2~3.4	1.1	7	8
	318.1	0.2~3.4	0.9	12	14
	479.9	0.1~2.9	1.8	17	29

附表 D.2 方法的准确度汇总表

核素	加标活度 (Bq)	加标回收率 (%)	加标回收率最终值 $\bar{P} + 2S_{\bar{P}}$ (%)
Am-241	278.2	98.9	98.9±4.2
	548.6	99.7	99.7±5.6
	827.9	99.0	99.0±6.6
Cd-109	3573	98.2	98.2±1.6
	7045	98.2	98.2±2.6
	1.063E4	97.0	97.0±4.6
Co-57	80.77	98.6	98.6±2.6
	159.3	99.1	99.1±2.0
	240.3	98.2	98.2±5.0
Ce-139	121.3	98.4	98.4±2.6
	239.1	98.8	98.8±2.8
	360.8	98.2	98.2±2.6
Sn-113	210.4	98.7	98.7±2.4
	415.0	98.9	98.9±2.4
	626.3	98.0	98.0±3.2
Cs-137	103.4	98.1	98.1±3.0
	203.8	98.4	98.4±2.2
	307.5	97.7	97.7±2.8
Mn-54	177.1	98.6	98.6±3.2
	349.3	98.9	98.9±2.4
	527.1	98.5	98.5±4.8
Y-88	345.9	100.4	100.4±3.6
	682.1	100.4	100.4±4.4
	1029	99.4	99.4±5.2
Co-60	161.3	98.6	98.6±2.2
	318.1	98.3	98.3±1.6
	479.9	98.4	98.4±3.4

附录 E 记录表格

(资料性附录)

表 E.1 气溶胶采样记录表

采样日期: _____		采样地点: _____							
采样器型号: _____ 编号: _____			设定流量: _____ m <sup>3</sup> /min 或 m <sup>3</sup> /h						
滤膜材质: _____									
滤膜 编号	采样时间		采样流量 (m <sup>3</sup> /min 或 m <sup>3</sup> /h)			采样体积 (m <sup>3</sup> )		天气 状况	空气 质量 <sup>1</sup>
	开始 时间	累积时间 (h)	起始	结束	平均	工况	标况		
<p>注: 1 分别填写优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染, 空气质量重度污染及以上, 注明主要污染物。</p> <p>备注:</p>									

采样人:

校核人:

校核日期:

表 E.2  $\gamma$  能谱分析记录表

仪器型号： _____		编号： _____					
测量室温度： _____ °C		测量室湿度： _____ %					
采样地点： _____		采样日期： _____					
测量样品编号： _____		测量样品滤膜编号： _____					
测量样品重量： _____ g		测量样品高度： _____ mm					
测量样品体积： _____ m <sup>3</sup>		测量起始日期： _____					
测量时长： _____ s		测量活时间： _____ s					
<sup>7</sup> Be 峰中心道址： _____ keV							
效率刻度曲线拟合常数 <sup>1</sup> a <sub>1</sub> ： _____ a <sub>2</sub> ： _____ a <sub>3</sub> ： _____ ...							
核素	峰能量 (keV)	净面积 计数	本底 计数 <sup>2</sup>	修正 类型 <sup>3</sup>	修正 因子	活度浓度 (mBq/m <sup>3</sup> )	不确定度 (k=2, mBq/m <sup>3</sup> )
注：1 效率曲线拟合公式为 $\epsilon = e^{(a_1 + a_2 \ln E + a_3 \ln^2 E + \dots + a_n \ln^{n-1} E)}$ ，其中 $E$ 为样品中待测核素特征 $\gamma$ 射线能量。2 为样品中待测核素特征 $\gamma$ 射线全吸收峰本底计数。3 包括密度、高度和符合相加等修正。 备注：							

测量人：

校核人：

校核日期：