

附件1



中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 1149-2020

环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素 的测定 滤膜压片/ γ 能谱法

(发布稿)

Ambient air—Determination of gamma-ray emitting radionuclides in aerosol
—filter compression /gamma spectrometry

2020-12-10 发布

2021-1-1 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.....	1
5 试剂和材料.....	1
6 仪器和设备.....	2
7 样品.....	2
8 分析步骤.....	4
9 结果计算.....	4
10 结果表示.....	5
11 精密度与准确度.....	6
12 质量保证和质量控制.....	7
13 注意事项.....	8
附录 A（规范性附录）探测下限.....	9
附录 B（规范性附录）采样器流量自行校准方法.....	10
附录 C（规范性附录）采样器流量比对方法.....	11
附录 D（资料性附录）方法的精密度和准确度汇总表.....	12
附录 E（资料性附录）记录表格.....	14

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》，保护生态环境，保障人体健康，规范环境空气气溶胶中 γ 放射性核素的测定方法，制定本标准。

本标准规定了辐射环境常规监测，用滤膜压片/ γ 能谱法测定环境空气气溶胶中 γ 放射性核素的方法。

本标准的附录 A~附录 C 为规范性附录，附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本标准首次发布。

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。

本标准起草单位：浙江省辐射环境监测站（生态环境部辐射环境监测技术中心）。

本标准验证单位：辽宁省生态环境监测中心、江苏省核与辐射安全监督管理中心、浙江省辐射环境监测站、山东省辐射环境管理站、广东省环境辐射监测中心、四川省辐射环境管理监测中心站和中核核电运行管理有限公司环境检测实验室。

本标准生态环境部于 2020 年 12 月 10 日批准。

本标准自 2021 年 1 月 1 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素的测定

滤膜压片/ γ 能谱法

1 适用范围

本标准规定了用滤膜压片/ γ 能谱法测定环境空气气溶胶中 γ 放射性核素的方法。

本标准适用于辐射环境常规监测，环境空气气溶胶中 γ 放射性核素的测定。

当采样体积为 10000 m^3 （标准状态），测量时间为 24 小时时，本标准测定的各 γ 放射性核素探测下限为 $5 \mu \text{Bq/m}^3 \sim 100 \mu \text{Bq/m}^3$ ，探测下限见附录 A。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB/T 11713 高纯锗 γ 能谱分析通用方法

GB/T 11743 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法

HJ 1009 辐射环境空气自动监测站运行技术规范

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

液体或固体微粒分散在空气中形成的相对稳定的悬浮体系。

3.2 标准状态 standard state

温度为 273.15 K ，压力为 101.325 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。

4 方法原理

通过大流量或超大流量采样器抽取定量体积的空气，使空气中气溶胶粒子被截留在滤膜上，滤膜经压片处理后用高纯锗 γ 能谱仪分析其 γ 放射性核素组成及其浓度。

5 试剂和材料

5.1 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%。在 0.6 m/s 的洁净空气流速时，压降小于 1 kPa 。天然放射性核素含量低，无人工放射性污染。易于压片，压片后表面平整，不易变形。如需进一步放射化学分析，还应具有完全溶解性。

5.2 样品容器：圆柱状容器，直径和高度与压片后样品相近。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。

5.3 能量刻度源：性能和技术指标执行 GB/T 11713 有关刻度源的规定。

- 5.4 效率刻度源：以空白滤膜为基质，用放射性标准物质均匀涂抹，按照与空白样品相同的方法制备成直径与样品相同、高度与样品相近的圆柱形刻度源，装入样品容器并固定密封。性能和技术指标执行 GB/T 11713 的相关规定，推荐优先使用发射单能 γ 射线的核素。
- 5.5 检验源：长寿命的、高中低能区至少各有一条特征 γ 射线的刻度源，活度与效率刻度源相近，其性能和技术指标执行 GB/T 11713 有关刻度源的规定。
- 5.6 滤膜保存袋：聚乙烯等材质。
- 5.7 防污用品：聚乙烯等材质的袋或薄膜。
- 5.8 一次性手套：聚乙烯等材质。

6 仪器和设备

- 6.1 气溶胶采样器：性能和技术指标执行 HJ 1009 有关采样设备的规定。
- 6.2 γ 能谱仪：性能和技术指标除执行 GB/T 11713 的相关规定外，探测器的相对探测效率一般应不小于 30%。
- 6.3 天平：感量 0.01g。
- 6.4 干燥设备：干燥器、干燥箱等。
- 6.5 压片机：可提供不少于 10 吨的压力。
- 6.6 压片机模具：不锈钢材质。
- 6.7 游标卡尺：0 mm~150 mm，分度值 0.1 mm。
- 6.8 温度计：用于校准采样器温度测量部件，测量范围 $-30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.9 气压计：用于校准采样器大气压测量部件，测量范围 50 kPa~107 kPa，精度 ± 0.1 kPa。
- 6.10 流量校准器：用于校准采样器流量，在采样器流量范围内，误差 $\leq 2\%$ 。

7 样品

7.1 采样前准备

- 7.1.1 用酒精棉清洁工作台，工作台尺寸应大于滤膜尺寸。取一张滤膜，将受尘面向上平放在工作台上，滤膜的大小比采样器采样口的有效尺寸略宽，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。
- 7.1.2 在滤膜受尘面的两个对角标识滤膜编号。将滤膜放入干燥设备中平衡，取出平衡后的滤膜，立即用天平称量 (m_1)。称量后的滤膜平展放入与滤膜编号相同的滤膜保存袋，采样前不得折叠。
- 7.1.3 用清洁干布擦去采样头内部、滤膜夹和滤膜支持网表面的灰尘，检查确认滤膜支撑网无堵塞，滤膜夹无污染、无损坏。

7.2 样品采集

- 7.2.1 将滤膜受尘面朝向进气方向，平放在滤膜支持网上，同时检查滤膜编号，将滤膜牢固夹紧，确保不漏气。
- 7.2.2 按照采样器使用说明，设置采样参数，启动采样。记录采样起始时间、采样流量、环境温度和环 境大气压等参数。采样体积一般不小于 10000 m^3 （标准状态）。
- 7.2.3 采样结束后，从滤膜边缘夹取滤膜，取滤膜时，如果发现滤膜破裂，或滤膜受尘面上的积尘边缘轮廓模糊、不完整，则该样品作废，应重新采样。将滤膜受尘面向里沿长边均匀对折，放入与滤膜编号相同的滤膜保存袋中。记录累积采样时间、采样流量、采样体积、环境温度、环境大气压、天气状况和空气质量状况等信息，采样记录表见附录 E。

7.3 样品运输

样品采集完成后，应尽快送实验室进行样品制备。样品运输过程中，应尽量避免剧烈振动。

7.4 样品制备

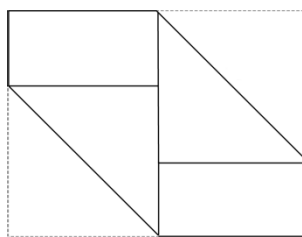
7.4.1 将滤膜放入干燥设备中进行氦子体衰变，根据氦子体活度确定衰变时间，一般为3天~5天；如果测量 ^{41}Ar 、 ^{88}Kr 等半衰期特别短的核素，可不进行氦子体衰变。

7.4.2 取出滤膜，立即用天平称量 (m_2)。

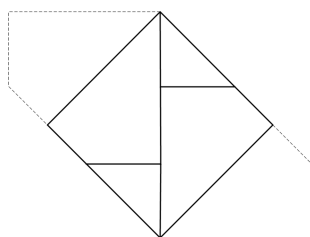
7.4.3 用酒精棉清洁压片机模具和工作台。打开滤膜，将受尘面向上平放在工作台上折叠（如果滤膜附有支持层，应先除去支持层）。需要将多张滤膜制备成一个样品，可将滤膜（如果滤膜附有支持层，应先除去支持层）依次叠加整齐后折叠。推荐优先按照图1所示方法折叠。



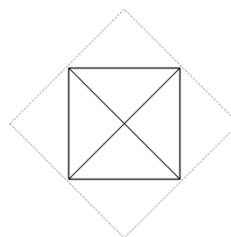
滤膜沿长边均匀对折后再打开得对折折痕。



两个对角向对折折痕内折。



其余两个对角再向对折折痕内折，折成正方形的形状。



正方形的4个角分别向中心点内折，重复该步骤，直至可塞入压片机模具。

图1 滤膜折叠示意图

7.4.4 折叠后的滤膜塞入压片机模具底部，将压片机模具放在压片机中心位置，用不少于10吨的压力压实滤膜，保持2分钟以上。

7.4.5 用游标卡尺测量高度 (h)，用天平称量 (m_3)。

7.4.6 折叠和压片时防止滤膜上的积尘洒落。压片后的样品表面平整，积尘分布均匀，不易变形，直径与效率刻度源相同，高度尽量与效率刻度源相近，必要时可采用与空白滤膜依次叠加整齐后折叠压片等方法。

7.4.7 在压片后的样品表面标识滤膜编号，装入样品容器并固定，密封后标识样品标签，在洁净、室温环境下保存。

7.5 空白样品制备

取与采样滤膜同样尺寸的空白滤膜，按照与样品制备（7.4.3、7.4.4和7.4.7）相同的操作步骤制备空白样品。

8 分析步骤

8.1 γ 能谱仪刻度

8.1.1 能量刻度执行 GB/T 11713 的相关规定。刻度时记录能量为 477.6 keV、1460.8 keV 的地址。

8.1.2 效率刻度执行 GB/T 11713 的相关规定。效率刻度曲线有个“接点” E_0 ，对 γ 射线能量 $E < E_0$ 的低能段，选择 3~5 个能量的 γ 射线，对 γ 射线能量 $E > E_0$ 的高能段至少选择 5 个能量的 γ 射线。刻度时刻度源中心轴与探测器中心轴重合，必要时可采用定位架，测量结束检查刻度源与探测器的相对位置是否偏移。

8.1.3 效率刻度测量时间满足特征 γ 射线全吸收峰净计数的统计误差小于 0.25%。

8.2 样品测定

8.2.1 测量前用酒精棉清洁制备好的样品（7.4）并检查样品标签。

8.2.2 测量时样品和效率刻度源与探测器的相对位置应严格一致，必要时可采用定位架。

8.2.3 测量时间一般为 24 小时或满足待测核素特征 γ 射线全吸收峰净计数的统计误差小于 5%。

8.2.4 测量结束，检查样品与探测器的相对位置是否偏移。检查 γ 能谱内 ${}^7\text{Be}$ 477.6 keV 和 ${}^{40}\text{K}$ 1460.8 keV γ 射线全吸收峰峰位变化，如果峰位变化超过 1 道，应重做能量刻度。测量记录表见附录 E。

8.3 空白样品测定

按照与样品测定（8.2）相同的操作步骤进行空白样品（7.5）的测定，测量时间与样品测量时间相同。

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：

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

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 γ 射线全吸收峰净计数率， s^{-1} ；

n_b —与 n_s 相对应的特征 γ 射线本底净计数率， s^{-1} ；

V_n —标准状态下的采样体积， m^3 ；

ε —待测核素特征 γ 射线全吸收峰效率， $\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ；

F —样品相对于效率刻度源自吸收和高度修正因子， $F = F_1 \times F_2$ ， F_1 为样品相对于效率刻度源自吸收修正因子，如果样品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修正因子，如果样品与效率刻度源高度相近， F_2 可取值1。

γ —待测核素特征 γ 射线的发射概率；

K —待测核素衰变修正因子， $K = K_C \times K_W \times K_D$ ， K_C 为采样开始至结束待测核素衰变修正因子， K_W 为采样结束至测量开始待测核素衰变修正因子， K_D 为样品测量期间待测核素衰变修正因子。

9.2 衰变修正

假设采样期间待测核素浓度恒定，衰变修正因子 K_C 按照公式（2）计算：

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

式中： K_C —采样开始至结束待测核素衰变修正因子，如果待测核素半衰期与样品采样时间的比值大于100， K_C 可取值1；

t_C —采样开始至结束的时间，s；

λ —待测核素衰变常数， s^{-1} 。

衰变修正因子 K_W 按照公式（3）计算：

$$K_W = \frac{1}{e^{-\lambda \times t_W}} \quad (3)$$

式中： K_W —采样结束至测量开始待测核素衰变修正因子，如果待测核素半衰期与样品采样结束至测量开始时间的比值大于100， K_W 可取值1；

t_W —采样结束至测量开始的时间，s；

λ —待测核素衰变常数， s^{-1} 。

衰变修正因子 K_D 按照公式（4）计算：

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

式中： K_D —样品测量期间待测核素衰变修正因子，如果待测核素半衰期与样品测量时间的比值大于100， K_D 可取值1；

t_D —测量开始至结束的时间，s；

λ —待测核素衰变常数， s^{-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， m^3 ；

Q_n —标准状态下的采样流量， m^3/h ；

t —采样开始至结束的时间，h；

Q —实际采样流量， m^3/h ；

P —采样时环境大气压，kPa；

T —采样时环境温度，K。

9.4 样品高度和密度差异修正

一般采样条件下，样品与效率刻度源直径相同，高度相近，可以不作高度和密度差异修正，但如果样品与效率刻度源高度和密度差异较大，应对样品中待测核素特征 γ 射线全吸收峰效率作高度和密度差异修正，根据样品直径、高度（h）和质量（ m_1 、 m_2 、 m_3 ）等参数推荐优先使用蒙特卡罗模拟计算方法修正。

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、相应的扩展不确定度和包含因子，本标准的扩展不确定度是包含概率为95%时的不确定度，即包含因子为2。

测定结果一般保留 2~3 位有效数字。

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“<LLD”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：

$$u_c(AC) = \sqrt{\frac{K^2}{V_n^2 \times \varepsilon^2 \times F^2 \times \gamma^2} \times \frac{N_s + N_b}{t_s^2} + AC^2 \times \left[\frac{u^2(V_n)}{V_n^2} + \frac{u^2(\varepsilon)}{\varepsilon^2} + \frac{u^2(F)}{F^2} + \frac{u^2(\gamma)}{\gamma^2} + \frac{u^2(K)}{K^2} \right]} \quad (6)$$

式中： $u_c(AC)$ —测定结果的合成标准不确定度；

N_s —样品中待测核素特征 γ 射线全吸收峰净计数；

N_b —与 N_s 相对应的特征 γ 射线本底净计数；

t_s —样品测量活时间，s；

V_n —标准状态下的采样体积， m^3 ；

ε —待测核素特征 γ 射线全吸收峰效率， $s^{-1} \cdot Bq^{-1}$ ；

F —样品相对于效率刻度源自吸收和高度修正因子；

γ —待测核素特征 γ 射线的发射概率；

K —待测核素衰变修正因子；

AC —样品中待测核素的活度浓度， Bq/m^3 ；

$\frac{u(V_n)}{V_n}$ —采样体积的相对标准不确定度；

$\frac{u(\varepsilon)}{\varepsilon}$ —全吸收峰效率的相对标准不确定度；

$\frac{u(F)}{F}$ —自吸收和高度修正因子的相对标准不确定度；

$\frac{u(\gamma)}{\gamma}$ —发射概率的相对标准不确定度；

$\frac{u(K)}{K}$ —衰变修正因子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：

$$U = ku_c(AC) \quad (7)$$

式中： U —测定结果的扩展不确定度；

k —包含因子，取 2，相应包含概率为 95%。

11 精密度与准确度

七个实验室对 3 个不同活度的统一 γ 放射性核素标准样品进行了测定。精密度和准确度汇总数据见附录 D。

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

12.1.1 采样器应送有资质的计量机构校准，或自行校准、比对，每年至少一次，采样器流量自行校准方法见附录 B，采样器流量比对方法见附录 C。

12.1.2 采样期间保持流量稳定，小时平均流量应控制在设定流量的 90%~110%，采样全过程平均流量应控制在设定流量的 95%~105%。如果采样器无流量设定功能，可将采样流量稳定后第 1 小时的平均流量视为设定流量。

12.1.3 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。

12.1.4 每次采样检查采样器是否漏气，当滤膜安装正确，采样器无漏气时，采样后滤膜受尘面上的积尘边缘轮廓应清晰。如果积尘边缘轮廓出现模糊、不完整，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。

12.1.5 采样期间，所有有关样品代表性和有效性的因素，如采样器故障、沙尘暴等异常气象条件、重度污染及以上空气质量状况和异常建设活动等均应详细记录。

12.2 γ 能谱仪性能检查

12.2.1 每月至少测定一次 γ 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，绘制本底计数质控图，如果有异常，应查找原因。

12.2.2 效率刻度后立即测定检验源，此后每月至少测定一次检验源，效率相对偏差按照公式 (8) 计算，高中低能区的特征 γ 射线相对偏差均应不大于 6%，否则应重做效率刻度。检查 γ 能谱内 ^{60}Co 1332.5 keV 能量分辨率（半高宽 FWHM），如果有异常，应查找原因。

$$D_{\varepsilon} = \frac{|\varepsilon_0(E_i) - \varepsilon(E_i)|}{\varepsilon(E_i)} \times 100\% \quad (8)$$

式中： D_{ε} —效率相对偏差；

$\varepsilon_0(E_i)$ —效率刻度后首次测定时，能量 E_i 的效率， $\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ；

$\varepsilon(E_i)$ —性能检查时，能量 E_i 的效率， $\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 。

12.2.3 每年至少用检验源进行一次泊松分布的检验，如果有异常，应查找原因。

12.3 空白样品分析

每六个月至少制备并测定一个空白样品。此外，新购置或维修后的 γ 能谱仪启用前、每批次滤膜、每批次样品容器应至少制备并测定一个空白样品。

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，样品重复测定时间间隔不大于 10 天，样品中 ^7Be 活度浓度相对平均偏差按照公式 (9) 计算，相对平均偏差应满足表 1 要求。

$$RAD = \frac{|AC_A - AC_B|}{AC_A + AC_B} \times 100\% \quad (9)$$

式中： RAD — ^7Be 活度浓度相对平均偏差；

AC_A 、 AC_B —两次重复测定结果， Bq/m^3 。

表 1 样品重复测定要求

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

13 注意事项

13.1 样品 γ 能谱分析时, 根据待测核素的特征, 原则上尽量选择发射概率大, 受其他因素干扰小的一个或多个 γ 射线全能峰作为特征峰。当伴有短半衰期核素而难以选定特征峰时, 必要时可采用不同时间多次测量的方法。 γ 射线能量相近干扰、曲线基底和斜坡基底干扰、级联加和干扰等影响的消除, 全谱计数率的限制执行 GB/T 11743 的相关规定。

13.2 ${}^{131}\text{I}$ 等短半衰期核素在氡子体衰变后立即测量; 需要使母子体核素达到平衡后再测量的核素, 在装样密封达到 7 个子体核素半衰期后方可测量。必要时可采用不同时间多次测量的方法。

13.3 为防止交叉污染, 可将 γ 能谱仪探测器顶部和样品容器用防污用品包裹, 包裹时防止因空气进入导致探测器顶部或样品容器底部的防污用品出现皱褶。采样前准备以及样品采集、制备和测定过程中, 戴一次性手套。

13.4 因空气污染等原因, 导致阻力增大影响采样时应及时更换滤膜。空气质量状况优良时, 可适当延长采样时间。

附录 A
(规范性附录)
探测下限

本标准的探测下限是置信度为 95%时，样品中待测核素活度浓度的探测下限，按照公式 (A.1) 计算：

$$LLD = \frac{4.66 \times K \times \sqrt{N}}{t_s \times V_n \times \varepsilon \times F \times \gamma} \quad (A.1)$$

式中：LLD—置信度为 95%时，样品中待测核素活度浓度的探测下限，Bq/m³；

N—样品中待测核素特征 γ 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 —标准状态下的采样体积，m³；

ε —待测核素特征 γ 射线全吸收峰效率值，s⁻¹·Bq⁻¹；

F—样品相对于效率刻度源自吸收和高度修正因子；

γ —待测核素特征 γ 射线的发射概率；

K—待测核素衰变修正因子。

当采样体积为 10000 m³（标准状态），测量时间为 24 小时时，本标准测定的各 γ 放射性核素探测下限见表 A.1。

表 A.1 探测下限

核素	探测下限 (μ Bq/m ³)
⁷ Be	50
⁴⁰ K	100
⁵⁴ Mn	5
⁵⁸ Co	5
⁶⁰ Co	5
⁹⁵ Zr	10
¹³¹ I	20
¹³⁴ Cs	5
¹³⁷ Cs	5
¹⁴⁰ Ba	50
¹⁴⁴ Ce	50
²¹⁰ Pb	100
²²⁸ Ra	20

注：样品直径 50 mm，样品高度约 5 mm； γ 能谱仪探测器的相对探测效率不小于 30%。

附 录 B
(规范性附录)
采样器流量自行校准方法

用于校准的温度计、气压计、流量校准器应送有资质的计量机构校准，每年至少一次，合格后方可使用。

操作步骤如下：

B.1 用温度计测量并记录环境温度值，同时读取并记录采样器显示的环境温度值，温度示值误差按照公式 (B.1) 计算，温度示值误差应不超过 2℃。

$$\Delta T = |T_S - T_R| \quad (\text{B.1})$$

式中： ΔT —温度示值误差，℃；

T_S —采样器环境温度测量示值，℃；

T_R —校准温度计环境温度测量值，℃。

B.2 用气压计测量并记录环境大气压值，同时读取并记录采样器显示的环境大气压值，大气压示值误差按照公式 (B.2) 计算，大气压示值误差应不超过 1 kPa。

$$\Delta P = |P_S - P_R| \quad (\text{B.2})$$

式中： ΔP —大气压示值误差，kPa；

P_S —采样器环境大气压测量示值，kPa；

P_R —校准气压计环境大气压测量值，kPa。

B.3 在采样器中安装一张空白滤膜，流量校准器按照使用说明与采样器连接，确保连接处不漏气。

B.4 设置流量校准器和采样器参数，启动采样器运行 10 分钟。待采样流量稳定后，分别读取并记录流量校准器和采样器的工况流量值，重复读取 10 次。

B.5 流量示值误差按照公式 (B.3) 计算，超大流量采样器流量示值误差应不超过 5%，大流量采样器流量示值误差应不超过 2%。

$$D_Q = \frac{|\overline{Q}_S - \overline{Q}_R|}{\overline{Q}_R} \times 100\% \quad (\text{B.3})$$

式中： D_Q —流量示值误差；

\overline{Q}_R —流量校准器流量平均值，m³/h；

\overline{Q}_S —采样器流量平均值，m³/h。

B.6 流量校准完成后，如果发现滤膜受尘面上的积尘边缘轮廓模糊、不完整，表明校准过程中可能漏气，应重新进行校准。

B.7 校准合格的采样器，即可用于采样，不得再改动调节器状态。

附 录 C
(规范性附录)
采样器流量比对方法

用于比对的大流量采样器应送有资质的计量机构校准，每年至少一次，合格后方可使用。

操作步骤如下：

C.1 在同一环境条件下，将大流量采样器和待测超大流量采样器的采样入口尽量调整至同一高度，相距 4 m~6 m。

C.2 大流量采样器与待测超大流量采样器相同时间段并行采样 4 天，推荐优先使用多台大流量采样器与待测超大流量采样器并行采样，以缩短采样时间。空气质量状况优良时，可延长采样时间或使用多台大流量采样器并行采样。

C.3 样品制备后，用同一台 γ 能谱仪测定 ^7Be 活度浓度，相对偏差按照公式 (C.1) 计算，比对相对偏差应不超过 20%。

$$D_p = \frac{|AC_S - AC_R|}{AC_R} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中： D_p — ^7Be 活度浓度相对偏差；

AC_R —大流量采样器采集的样品中 ^7Be 活度浓度， mBq/m^3 ；

AC_S —待测超大流量采样器采集的样品中 ^7Be 活度浓度， mBq/m^3 。

附 录 D
(资料性附录)
方法的精密度和准确度汇总表

七个实验室对 3 个不同活度的统一 γ 放射性核素标准样品进行了测定。精密度和准确度汇总数据见表 D.1 和表 D.2。

表 D.1 方法的精密度汇总表

核素	平均值 (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)
^{241}Am	275	0.1~1.6	2.2	6	18
	547	0.2~2.2	2.8	17	46
	820	0.1~1.7	3.4	22	79
^{57}Co	79.7	0.3~3.4	1.4	3.2	4.2
	158	0.3~3.5	1.4	7	9
	236	0.2~3.0	2.4	11	19
^{139}Ce	120	0.4~2.2	1.6	4	7
	237	0.4~2.1	1.6	7	12
	354	0.2~2.2	1.2	13	17
^{113}Sn	208	0.4~6.4	1.3	16	16
	410	0.3~3.7	1.2	21	24
	614	0.2~4.4	1.8	35	44
^{137}Cs	102	0.3~4.5	1.4	6	7
	201	0.2~5.2	1.2	12	12
	301	0.2~4.7	1.5	17	20
^{54}Mn	175	0.3~2.9	1.2	7	9
	346	0.3~2.1	1.2	9	14
	520	0.2~2.5	2.4	20	38
^{88}Y	347	0.4~2.7	1.8	13	21
	686	0.3~2.2	2.2	19	46
	1.03×10^3	0.3~3.2	2.5	0.05×10^3	0.09×10^3
^{60}Co	159	0.2~3.4	1.3	7	9
	313	0.2~3.5	0.8	12	13
	473	0.1~3.0	1.8	17	28

表 D. 2 方法的准确度汇总表

核素	标准值 (Bq)	相对误差范围和平均值 (%)	
		范围	$\overline{RE} \pm 2S_{\overline{RE}}$
²⁴¹ Am	278.2	-3.7~1.8	-1.1±4.2
	548.6	-3.0~4.3	-0.37±5.6
	827.9	-4.2~5.2	-0.95±6.6
⁵⁷ Co	80.77	-2.9~0.56	-1.4±2.8
	159.3	-2.1~1.7	-0.72±2.8
	240.3	-3.9~2.6	-1.6±4.6
¹³⁹ Ce	121.3	-4.2~0.58	-1.4±3.0
	239.1	-4.0~1.1	-1.1±3.0
	360.8	-4.1~-0.78	-1.8±2.4
¹¹³ Sn	210.4	-2.7~0.29	-1.2±2.4
	415.0	-2.7~0.80	-1.2±2.4
	626.3	-3.9~1.0	-2.0±3.4
¹³⁷ Cs	103.4	-3.3~0.58	-1.7±2.8
	203.8	-3.1~0.25	-1.5±2.2
	307.5	-4.1~-0.52	-2.2±2.8
⁵⁴ Mn	177.1	-2.7~0.79	-1.0±2.4
	349.3	-2.2~0.89	-1.1±2.2
	527.1	-3.6~3.1	-1.4±4.6
⁸⁸ Y	345.9	-3.2~2.5	0.33±3.6
	682.1	-4.0~3.1	0.53±4.4
	1029	-3.7~4.1	-0.08±5.0
⁶⁰ Co	161.3	-2.9~0.43	-1.2±2.6
	318.1	-2.5~-0.44	-1.6±1.6
	479.9	-3.7~1.2	-1.5±3.4

附 录 E
(资料性附录)
记录表格

表 E.1 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 ³ /h													
滤膜 编号	采样时间		采样流量 (m ³ /h)			采样体积 (m ³)		环境温度 (°C)		环境大气压 (kPa)		天气 状况	空气 质量状况 ^a
	起始时间	累积时间(h)	起始	结束	平均	工况	标况	起始	结束	起始	结束		
^a 分别填写优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染，重度污染及以上空气质量状况，注明主要污染物。 备注:													

采样人:

校核人:

校核日期:

表 E. 2 测量记录表

仪器型号: _____ 仪器编号: _____ 采样地点: _____ 采样日期: _____

滤膜编号: _____ 样品编号: _____ 样品采样体积(V_n): _____ m^3 样品高度 (h): _____ mm

样品尘量 (m_2-m_1): _____ g 样品质量 (m_3): _____ g 测量起始日期: _____ 测量活时间: _____ s

测量时长: _____ s ^{7}Be 峰中心 (477.6 keV) 道址: _____ ^{40}K 峰中心 (1460.8 keV) 道址: _____

核素	峰能量 (keV)	净计数	本底计数	修正因子 ^a			是否 检出	探测下限 (mBq/m ³)	活度浓度 (mBq/m ³)	扩展不确定度 (k=2, mBq/m ³)
				衰变	高度	自吸收				

^a 如不修正可取值 1。

备注:

测量人:

校核人:

校核日期:

表 E.3 采样器流量校准记录表

流量校准器型号：_____ 编号：_____											
校准温度计型号：_____ 编号：_____ 校准气压计型号：_____ 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
		校准温度计	采样器	示值误差	校准气压计	采样器	示值误差	流量校准器 平均流量 \bar{Q}_R (m ³ /h)	采样器 平均流量 \bar{Q}_S (m ³ /h)	流量 示值误差 D_Q (%)	
备注：											