

T/

团体标准

T/ZJARP XXXX—2023

大气气溶胶放射性核素自动连续监测系统 (γ 能谱法) 技术要求

Technical requirement for atmospheric aerosol radionuclides automatic continuous monitoring (gamma spectrometry)

征求意见稿

2023 - XX- XX 发布

2023 - XX- XX 实施

浙江省辐射防护协会发布

目 次

- 前 言 II
- 1 范围 1
- 2 规范性引用文件 1
- 3 术语和定义 1
- 4 系统组成 1
- 5 技术要求 2
 - 5.1 功能要求 2
 - 5.2 性能要求 2
 - 5.3 工作环境 4
 - 5.4 电气安全 4
 - 5.5 电磁兼容 4
- 6 试验方法 4
 - 6.1 试验环境条件 4
 - 6.2 试验仪器仪表 5
 - 6.3 试验用放射源 5
 - 6.4 主要性能试验 5
 - 6.5 工作环境试验 8
 - 6.6 电气安全试验 9
 - 6.7 电磁兼容性试验 9

浙江省辐射防护协会

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江恒达仪器仪表股份有限公司提出。

本文件由浙江省辐射防护协会归口。

本文件起草单位：浙江省辐射环境监测站、浙江恒达仪器仪表股份有限公司、浙江国辐环保科技有限公司。

本文件主要起草人：××××

浙江省辐射防护协会

大气气溶胶放射性核素自动连续监测系统（ γ 能谱法）技术要求

1 范围

本文件规定了大气气溶胶放射性核素自动连续监测系统(以下简称“气溶胶核素监测系统”)的组成,技术要求,描述了对应的试验方法。

本文件适用于大气气溶胶放射性核素自动连续监测系统的设计和生产。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2423.21—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验M:低气压

GB/T 6165—2021 高效空气过滤器性能试验方法 效率和阻力

GB/T 8993—1998 核仪器环境条件试验方法

GB/T 11463—1989 电子仪器测量可靠性试验

GB/T 11713—2015 高纯锗 γ 能谱分析通用方法

GB/T 16145—2022 环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法

GB/T 18268.1—2010 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第1部分:通用要求

GB/T 19661.1—2005 核仪器及系统安全要求 第1部分:通用要求

HJ 1009—2019 辐射环境空气自动监测站运行技术规范

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 能谱仪

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

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。

[来源: HJ 1149—2020, 3.1]

3.2

大气气溶胶放射性核素自动连续监测系统 atmospheric aerosol radionuclides automatic continuous monitoring system

通过对大气气溶胶自动采样,自动制样,使用高纯锗 γ 能谱仪自动测量,实现 γ 放射性核素识别和活度浓度分析的在线监测系统。

4 系统组成

气溶胶核素监测系统由自动采样单元、自动制样单元、自动测量单元、自动存样单元、控制单元等组成,各单元的构成如下:

- 自动采样单元由换膜模块和采样器组成,采样器由采样头、滤膜夹、抽气动力装置、流量传感器、温度传感器、大气压传感器等组成;
- 自动制样单元由静置烘干模块、滤膜压片模块、称重模块等组成;
- 自动测量单元由高纯锗 γ 射线探测器、多道脉冲幅度分析器、高压电源、主放大器、前置放大器、屏蔽室等组成;
- 自动存样单元由样品传送模块、样品存储模块组成;
- 控制单元由数据处理模块、交互模块、通信模块等组成。

5 技术要求

5.1 功能要求

5.1.1 基本功能

具有功能如下：

- 连续采样、制样、在线监测；
- 样品编码溯源；
- 放射性核素识别及活度浓度分析；
- 多种监测模式，适应不同的监测方案；
- 支持数据、状态、报警等信息的存储、查询、打印等；
- 来电自启。

5.1.2 自动采样单元

具有功能如下：

- 自动换膜；
- 标况体积自动换算；
- 采样风机过热保护；

5.1.3 自动制样单元

具有功能如下：

- 静置烘干；
- 传送；
- 滤膜压片；
- 压片后样品净尘量测量；
- 压片后样品体积测量；
- 装盒。

5.1.4 自动测量单元

具有功能如下：

- 样品自动进出样；
- γ 能谱测量；
- 不间断电源供电。

5.1.5 自动存样单元

具有功能如下：

- 样品自动传送；
- 样品自动存储。

5.1.6 控制单元

具有功能如下：

- 启停气溶胶核素监测系统；
- 数据处理、存储、展示、断电续传；
- 加密远程通讯功能，兼容有线、无线通讯模式；
- 系统故障报警；
- 核素数据异常报警。

5.2 性能要求

5.2.1 自动采样单元

要求如下：

- a) 采样滤膜在膜面流速为 0.6m/s 时, 对 0.3 μ m 标准粒子的截留效率不低于 95%。在 0.6m/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。易于压片, 压片后表明平整, 不易变形。[来源: HJ 1149—2020, 5.1]
- b) 有效采样面积应不小于 2420cm²;
- c) 采样流量应不小于 500m³/h, 且流量可调;
- d) 流量示值误差应符合 HJ 1009—2019 中 5.3.1.1 对超大流量采样器的规定;
- e) 流量重复性应不大于 2%;
- f) 流量稳定性应不大于 5% (24h 内的采样流量变化);
- g) 采样口附加 4kPa~6kPa 的负载, 采样流量变化应不大于 5%;
- h) 温度示值误差应符合 HJ 1149—2020 中 B.1 的规定;
- i) 大气压示值误差应符合 HJ 1149—2020 中 B.2 的规定;
- j) 滤膜存储量应保证气溶胶核素监测系统在 24 h 完成一个样品测量情况下, 可连续工作时间不少于 35 d。

5.2.2 自动制样单元

要求如下:

- a) 制样过程中, 应防止滤膜上的积尘洒落, 防止交叉污染;
- b) 滤膜有效采样部分应无损失, 完整性不低于 99%;
- c) 样品自动压制, 且制样压力及压力保持时间应符合 HJ 1149—2020 中 7.4.4 的规定;
- d) 压片后的样品应积尘分布均匀、表面平整、不易变形;
- e) 压片后样品尺寸: 直径不大于 70 mm, 与效率刻度源直径相同, 高度不大于 15 mm, 尽量与效率刻度源高度相近;
- f) 样品容器应符合 HJ 1149—2020 中 5.2 的规定。

5.2.3 自动测量单元

要求如下:

- a) 相对探测效率应不小于 50%;
- b) 对 ⁶⁰Co 的 1332.5keV γ 射线的能量分辨力应符合 GB/T 11713—2015 中 3.1.2 的规定;
- c) 能量响应范围应覆盖 40keV~2000keV;
- d) 屏蔽室应符合 GB/T 11713—2015 中 3.1.3.2 的规定, 且设有便于放、取样品的门或窗;
- e) 高压电源应符合 GB/T 11713—2015 中 3.1.4 的规定;
- f) 主放大器应符合 GB/T 11713—2015 中 3.1.5 的规定;
- g) 多道脉冲幅度分析器应符合 GB/T 11713—2015 中 3.1.6 的规定;
- h) 谱仪稳定性应符合 GB/T 11713—2015 中 3.1.7 的规定。

5.2.4 自动存样单元

样品存储量应不小于 35 个。

5.2.5 数据存储和传输

要求如下:

- a) 可存储监测数据总量不小于 36 个月;
- b) 监测数据内容至少包括样品编号、采样起止时间、采样流量、采样体积 (工况、标况)、 γ 能谱数据、故障报警等信息;
- c) 支持有线、无线传输方式;
- d) 支持数据加密。

5.2.6 数据综合处理软件

要求如下:

- a) 应包含谱分析软件, 谱分析软件应符合 GB/T 16145—2022 中 5.2 的规定;
- b) γ 能谱分析、不确定度评定应符合 GB/T 16145—2022 中 9、10 的规定;

- c) 测量数据应可形成报告，报告应包含样品编号、采样起止时间、采样流量、采样体积（工况、标况）、 γ 能谱测量结果、故障报警等信息。

5.2.7 供电电源

要求如下：

- a) 交流电压： $220\text{V} \times (1 \pm 15\%)$ 或 $380\text{V} \times (1 \pm 15\%)$ ；
- b) 频率： $50\text{Hz} \times (1 \pm 10\%)$ 。

5.2.8 探测下限

在采样体积为 10000m^3 （标准状态），静置及测量时间均为24h时，对 ^{137}Cs 的典型探测下限应符合HJ 1149—2020中表A.1的规定。

5.2.9 样品重复测定

样品复测时，样品中 ^7Be 的活度浓度相对平均偏差应符合HJ 1149—2020中12.4的规定，样品重复测定的时间间隔不大于10天。

5.2.10 无人值守连续工作时间

在24小时完成一个样品测量的情况下，气溶胶核素监测系统无人值守连续工作时间应不少于35 d。

5.2.11 平均故障间隔时间（MTBF）

应不小于1000h。

5.2.12 外观

要求如下：

- a) 结构件无机械损伤；
- b) 标志和标识清晰、正确。

5.3 工作环境

要求如下：

- a) 温度： $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $\leq 75\% \text{RH}$ （ 25°C ）；
- c) 大气压： $86\text{kPa} \sim 106\text{kPa}$ 。

5.4 电气安全

5.4.1 介电强度

应符合GB/T 19661.1—2005中关于介电强度的规定，在试验电压条件下，不应出现击穿或重复飞弧现象，电晕效应和类似现象（如单次瞬间闪烁）不考虑。

5.4.2 绝缘电阻

正常大气条件下，电源输入端与机壳（接地端）间的绝缘电阻应不小于 $20\text{M}\Omega$ 。

5.4.3 漏电保护

应具备漏电保护功能。

5.5 电磁兼容

应符合GB/T 18268.1—2010中关于工业场所对静电放电、浪涌（冲击）、射频电磁场辐射等的规定。

6 试验方法

6.1 试验环境条件

气溶胶核素监测系统的试验环境条件应符合以下要求：

环境温度：（25±5）℃；

相对湿度：≤75%RH（25℃）；

大气压强：86kPa~106kPa。

6.2 试验仪器仪表表

表 1 试验设备

序号	名称	规格
1	电子秒表	误差≤±1 s/1d
2	卷尺	量程大于3m
3	游标卡尺	0mm~150mm，最小分度值0.1mm
4	流量校准器	在采样器流量范围内，误差≤2%
5	压力计	0kPa~10kPa，2.5级
6	兆欧表	电压为500V，0MΩ~500MΩ，准确度为10级
7	耐压测试仪	5kV，40mA
8	温度计	在测量范围-30℃~50℃内，精度±0.5℃
9	气压计	在测量范围50kPa~107kPa内，精度±0.1kPa

6.3 试验用放射源

活度范围为（10³~10⁵）Bq的⁶⁰Co点标准源一个，不确定度≤2.5%（k=2）。

6.4 主要性能试验

6.4.1 自动采样单元试验

6.4.1.1 采样滤膜

按以下步骤进行：

- 按 GB/T 6165-2021 中 6.1、6.2 规定的方法对在膜面流速为 0.6m/s 时，对 0.3μm 标准粒子的截留效率及压降进行试验；
- 采样滤膜通过气溶胶核素监测系统制样后，用游标卡尺测量样品高度，观察样品的几何形状及变形情况。

试验结果应符合5.2.1中a)的要求。

6.4.1.2 有效采样面积

用卷尺测量滤膜压框内框的长和宽，两者相乘，得出有效采样面积，试验结果应符合5.2.1中b)的要求。

6.4.1.3 采样流量及流量示值误差试验

按以下步骤进行：

- 确保自动采样单元的滤膜压框上已有一张空白滤膜，流量校准器按照使用说明与采样器连接，保证气路密封不泄露，采样器通电后，将采样流量设置为不小于 500m³/h；
- 启动采样器运行 10min，待采样流量稳定后，读取流量校准器和自动采样单元的流量读数，重复读取 10 次；
- 流量示值误差按公式（1）计算。

$$\delta = \frac{\overline{Q_S} - \overline{Q_R}}{\overline{Q_R}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：δ—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。

测试结果应符合 5.2.1 中 c) 和 d) 的要求。

6.4.1.4 流量重复性试验

依据 6.4.1.3 读取的流量值，按公式 (2) 计算流量重复性，应符合 5.2.1 中 e) 的要求。

$$S_{rel} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_{Ri} - \overline{Q_R})^2}}{\overline{Q_R}} \times 100\% \quad (n=10) \quad (2)$$

式中： S_{rel} —流量重复性，%；

Q_{Ri} —流量校准器第 i 次测量显示的流量值， m^3/h 。

测试结果应符合 5.2.1 中 e) 的要求。

6.4.1.5 流量稳定性试验

按以下步骤进行：

- 确保自动采样单元的滤膜压框上已有一张空白滤膜，设置采样流量不小于 $500m^3/h$ ，采样时间为 24 小时；
- 启动采样，每隔两小时读取一个流量值，连续测试 24h，取最大值和最小值；
- 流量稳定性按公式 (3) 计算。

$$W = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q} \times 100\% \quad (3)$$

式中：W—流量稳定性，%；

Q_{max} —自动采样单元采样流量的最大值， m^3/h ；

Q_{min} —自动采样单元采样流量的最小值， m^3/h ；

Q—自动采样单元的设置的流量值， m^3/h 。

测试结果应符合 5.2.1 中 f) 的要求。

6.4.1.6 负载能力试验

按以下步骤进行：

- 确保自动采样单元的滤膜压框上已有一张空白滤膜，设置采样流量不小于 $500m^3/h$ ；
- 启动采样，待采样流量稳定后，读取流量值；
- 在采样口逐渐增加 $4kPa \sim 6kPa$ 的负载，10min 后读取加载负载的流量值；
- 按公式 (4) 计算流量变化量 B 即为负载能力。

$$B = \frac{Q_{前} - Q_{后}}{Q} \times 100\% \quad (4)$$

式中：B—采样流量变化量，%；

$Q_{前}$ —增加负载前自动采样单元的流量值， m^3/h ；

$Q_{后}$ —增加负载后自动采样单元的流量值， m^3/h ；

Q—自动采样单元的设置的流量值， m^3/h 。

试验结果应符合 5.2.1 中 g) 的要求。

6.4.1.7 温度示值误差试验

按 HJ 1149—2020 中 B.1 规定的试验方法进行，试验结果应符合 5.2.1 中 h) 的要求。

6.4.1.8 大气压示值误差试验

按 HJ 1149—2020 中 B.2 规定的试验方法进行，试验结果应符合 5.2.1 中 i) 的要求。

6.4.2 自动制样单元试验

按以下步骤进行：

- 样品制样过程中，检查滤膜上的积尘是否有洒落，是否存在交叉污染；

- b) 检查采样滤膜是否以一定的方式自动缩小，完全放入压片模具进行压片；
- c) 用压力表测量压片压力是否不小于 10 t；
- d) 滤膜压片时，用秒表记录压力保持时间是否不小于 2min；
- e) 检查压片后的样品是否积尘分布均匀，表面平整、不易变形；
- f) 用游标卡尺测量压片后样品直径和高度，检查压片后样品直径是否与效率刻度源直径一致，高度与效率刻度源相近；
- g) 用游标卡尺测量样品容器直径和高度，检查样品容器直径和高度是否与压片后样品直径和高度相近。

测试结果应满足 5.2.2 的要求。

6.4.3 自动测量单元试验

6.4.3.1 相对探测效率试验

将标准源 ^{60}Co 放置在专用支架上，使其与探测器表面的距离为 25cm，进行测量 1h，并保存谱图，解谱读取 1332.5keV 的净计数率，按标准 GB/T 11713—2015 中 2.2 规定的方法计算相对探测效率。试验结果应符合 5.2.3 中 a) 的要求。

6.4.3.2 能量分辨力试验

将标准源 ^{60}Co 置于探测器正上方合适的位置进行测量，使全谱计数率不大于 2000s^{-1} ，全能峰面积净计数不小于 1000，计算能量为 1332.5keV 的 γ 射线全能峰的半高宽(FWHM，以能量 eV 表示)，FWHM 即为自动测量单元的能量分辨力。试验结果应符合 5.2.3 中 b) 的要求。

6.4.3.3 能量响应范围试验

操作经能量刻度的 γ 能谱，检查能量响应范围是否覆盖 40keV~2000keV，试验结果应符合 5.2.3 中 c) 的要求。

6.4.3.4 屏蔽室试验

按以下步骤进行：

- a) 检查屏蔽室是否设有便于放取样品的的门或窗；
- b) 确保高纯锗探测器置于屏蔽室内且无任何样品，关闭屏蔽室门，启动自动测量单元，连续测量 24h，操作 γ 谱分析软件，检查在 40keV~2000keV 能区内是否有天然放射性核素以外的放射性核素。

试验结果应符合 5.2.3 中 d) 的要求。

6.4.3.5 高压电源试验

检查电源输出电压是否从 0V~5000V 连续可调，波纹电压是否不大于 0.01%，电流是否不小于 $100\mu\text{A}$ ，试验结果应符合 5.2.3 中 e) 的要求。

6.4.3.6 主放大器试验

检查主放大器是否具有波形调节，与前置放大器及多道脉冲幅度分析器匹配，试验结果应符合 5.2.3 中 f) 的要求。

6.4.3.7 多道脉冲幅度分析器试验

检查多道脉冲幅度分析器是否与高纯锗探测器相配，多道道数是否不少于 8192 道，试验结果应符合 5.2.3 中 g) 的要求。

6.4.3.8 谱仪稳定性试验

设置多道分析器的道数为 8192 道，调节增益，使 ^{60}Co 的 1332.5keV γ 射线的全吸收峰置于 5000 道附近，连续测量 24h，检查 24h 内峰位漂移情况，试验结果应符合 5.2.3 中 h) 的要求。

6.4.4 自动存样单元试验

检查样品存储量，检查结果应满足 5.2.4 的要求。

6.4.5 数据存储和传输

按以下步骤进行：

- a) 将气溶胶核素监测系统所有监测数据存在某一特定盘符，在 1d 出 1 个测量结果的情况下，记录 1d 的数据存储空间，将 1d 数据的存储空间乘以 36 个月的实际天数；
 - b) 操作气溶胶核素监测系统软件界面，核查监测数据是否包含品编号、采样起止时间、采样流量、采样体积（工况、标况）、 γ 能谱数据、故障报警等信息；
 - c) 检查是否有有线、无线传输方式；
- 测试结果应满足 5.2.5 的要求。

6.4.6 数据综合处理软件

按以下步骤进行：

- a) 操作气溶胶核素监测系统软件，检查是否包含谱分析软件，谱分析软件是否符合 GB/T 16145—2022 中 5.2 的规定；
 - b) 检查 γ 能谱分析、不确定评定是否符合 GB/T 16145—2022 中 9、10 的规定；
 - c) 检查数据数据是否可形成报告，报告内容是否包含样品编号、采样起止时间、采样流量、采样体积（工况、标况）、 γ 能谱测量结果、故障报警等信息。
- 测试结果应满足 5.2.6 的要求。

6.4.7 探测下限试验

按以下步骤进行：

- a) 气溶胶核素监测系统正常通电，放置空白滤膜、设置采样体积约 10000m³（标准状态），静置及测量时间均为 24h；
 - b) 样品测量完成后，操作 γ 能谱分析软件，读取本次测量 ¹³⁷Cs 特征 γ 射线全吸收峰对应的本底计数；
 - c) 按标准 HJ 1149—2020 中附录 A 规定的计算公式计算 ¹³⁷Cs 的探测下限。
- 试验结果应符合 5.2.8 的要求。

6.4.8 样品重复测定试验

将完成一次采样、静置、测量后的样品进行复测，样品重复测定时间间隔应不大于 10 天，读取两次测量结果中 ⁷Bq 的活度浓度，按 HJ 1149—2020 中 12.4 规定的公式进行计算。试验结果应符合 5.2.9 的要求。

6.4.9 无人值守连续工作时间

按以下步骤进行：

- a) 确保自动采样单元已放置足够的滤膜，设置采样流量不小于 500m³/h，监测模式为 24 小时采样、24 小时静置、24 小时测量；
 - b) 启动气溶胶核素监测系统；
 - c) 检查气溶胶核素监测系统是否可无人值守连续运行至少 35 天。
- 试验结果应符合 5.2.10 的要求。

6.4.10 平均故障间隔时间（MTBF）

按 GB/T 11463—1989 中 4.2.2 的方法进行试验，试验结果应符合 5.2.11 的要求。

6.4.11 外观试验

目测，结果应符合 5.2.12 的要求。

6.5 工作环境试验

按以下步骤进行：

- a) 温度试验按 GB/T 8993—1998 中附录 A、附录 B 规定的试验方法进行，按先常温，后低温，再高温的顺序进行试验；
 - a) 相对湿度试验按 GB/T 8993—1998 中附录 D 规定的试验方法进行；
 - b) 大气压试验按 GB/T 2423.21—2008 的规定进行。
- 试验结果应符合 5.3 的要求。

6.6 电气安全试验

6.6.1 介电强度

按GB/T 19661.1—2005中5.6规定的试验方法进行，试验结果应符合5.4.1的要求。

6.6.2 绝缘电阻

按GB/T 19661.1—2005中5.8规定的试验方法进行，试验结果应符合5.4.2的要求。

6.6.3 漏电保护

漏电保护器的输出端接地，检查漏电保护器是否正常跳闸，测试结果应符合5.4.3的要求。

6.7 电磁兼容性试验

按GB/T 18268.1—2010中规定的工业场所静电放电、浪涌（冲击）、射频电磁场辐射等的检测要求和方法进行试验，试验结果应符合5.5的要求。

浙江省辐射防护协会