



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ □□□□—202□

固定污染源废气 低浓度颗粒物 的测定 便携式 β 射线法

Stationary source emission—Determination of mass concentration of
particulate matter at low concentration—Portable beta-ray method

（征求意见稿）

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□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 干扰和消除	2
6 试剂和材料	2
7 仪器和设备	3
8 分析步骤	3
9 结果计算与表示	4
10 准确度	4
11 质量保证和质量控制	5
12 注意事项	5
附录 A（资料性附录） 便携式废气 β 射线颗粒物测定仪单位质量吸收系数 k 测定方法	6

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》，防治生态环境污染，改善生态环境质量，规范固定污染源废气中低浓度颗粒物的便携式测定方法，制定本标准。

本标准规定了测定固定污染源废气中低浓度颗粒物的便携式 β 射线法。

本标准的附录A为资料性附录。

本标准为首次发布。本标准由生态环境部生态环境监测司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国环境监测总站、浙江省生态环境监测中心、山东省生态环境监测中心、辽宁省生态环境监测中心、新疆维吾尔自治区生态环境监测总站。

本标准验证单位：内蒙古自治区环境监测总站、青海省生态环境监测中心、四川省成都生态环境监测中心站、广东省生态环境监测中心、江西省生态环境监测中心、丽水市生态环境监测中心和山东微谱检测技术有限公司。

本标准生态环境部202□年□□月□□日批准。

本标准自202□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 便携式 β 射线法

1 适用范围

本标准规定了测定固定污染源废气中低浓度颗粒物（ $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ ）的便携式 β 射线法。

本标准适用于各类燃煤、燃油、燃气锅炉、工业窑炉、固定式燃气轮机以及其他固定污染源废气中低浓度颗粒物（ $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ ）的测定。

当采样体积为 0.5 m^3 时，本标准的方法检出限为 0.3 mg/m^3 ，测定下限为 1.2 mg/m^3 。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的，新文件适用于本标准。

GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定和气象污染物采样方法及其修改单
HJ/T 48	烟尘采样器技术条件
HJ/T 397	固定源废气监测技术规范
HJ 836	固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法
HJ 1405	排污单位污染物排放口监测点位设置技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

β 射线 **beta-ray**

放射性元素核衰变过程中发出的电子流。

注： β 射线源可使用 ^{147}Pm 、 ^{14}C 或 ^{85}Kr 等放射源。

3.2

烟道外过滤 **out-stack filtration**

在烟道内对颗粒物进行等速采样，并将颗粒物截留在位于烟道外的过滤介质上的方法。

4 方法原理

将具有加热功能的颗粒物组合式采样管由采样孔插入烟道中，利用等速采样原理抽取一

定体积的含颗粒物的废气，采用烟道外过滤的方法，截留颗粒物于滤膜（带）上。用β射线照射滤膜（带），根据采样前后单位面积的滤膜（带）上透过β射线衰减量得出单位面积滤膜（带）上捕集的颗粒物质量，结合废气采样体积和滤膜（带）的颗粒物采样面积，计算得到颗粒物的浓度。β射线衰减量与颗粒物质量遵循以下吸收定律：

$$N_1 = N_0 e^{-km_0} \quad (1)$$

式中： N_1 ——单位时间内通过空白滤膜（带）的β射线量，Bq；

N_0 ——单位时间内发射的β射线量，Bq；

e ——自然常数；

k ——单位质量吸收系数， cm^2/mg ，可根据附录 A 测得；

m_0 ——单位面积空白滤膜（带）的本底颗粒物质量， mg/cm^2 。

β射线衰减量与颗粒物质量关系见公式（2）：

$$\Delta m = \frac{1}{k} \ln \frac{N_1}{N_2} \quad (2)$$

式中： N_1 ——单位时间内通过空白滤膜（带）的β射线量，Bq；

N_2 ——单位时间内通过捕集颗粒物后滤膜（带）的β射线量，Bq；

k ——单位质量吸收系数， cm^2/mg ，可根据附录 A 测得；

Δm ——单位面积滤膜（带）上捕集的颗粒物质量， mg/cm^2 。

5 干扰和消除

5.1 采样过程中滤膜（带）上的水分残留会造成正干扰，应采取加热采样方式消除干扰。

5.2 颗粒物的元素组成和化学成分对单位质量吸收系数具有一定的影响，可选择成分与待测样品接近的测试粉尘参考附录 A 测得针对性的单位质量吸收系数以减小或消除影响。

6 试剂和材料

6.1 滤膜（带）

应选择玻璃纤维、石英等材质，不应吸收或与废气中的气态化合物发生化学反应，在最大的采样温度下应保持热稳定。对于直径为 $0.3 \mu\text{m}$ 的标准粒子，滤膜（带）的捕集效率应 $>99.5\%$ ；对于直径为 $0.6 \mu\text{m}$ 的标准粒子，捕集效率应 $>99.9\%$ 。

6.2 校准膜片

由聚碳酸酯等惰性材料制成的单层光滑平整膜片。经计算后的校准膜片质量（即采样滤膜（带）面积乘以单位面积滤膜（带）质量）应不高于 25 mg 。

7 仪器和设备

7.1 便携式废气 β 射线颗粒物测定仪

7.1.1 采样装置

颗粒物采样装置由组合式采样管、冷却和干燥系统、流量计和抽气泵以及连接管线等组成。组合式采样管取消烟道内滤筒夹部分，其余部分应符合 HJ/T 48 中的相关要求。

采样管应采用耐腐蚀、耐热材料，并具备采样加热功能，最高加热温度应不低于 160 °C，其实际温度值应能够在仪器设备或系统软件中显示。采样管前端应采用弯管方式，并保证采样嘴与采样管整体呈 90°角，前弯管内表面应平滑，避免突变；采样嘴应符合 HJ 836 中采样嘴的相关要求。采样装置应配有接地线避免静电干扰。

7.1.2 测定装置

测定装置主要由 ^{14}C 等射线源、 β 射线探测器、滤膜（带）固定装置、滤膜（带）加热装置（加热温度为 105 °C $\pm$ 5 °C）等组成。

7.2 废气中水分含量的测定装置

废气中水分含量测定装置应符合 HJ 836 等生态环境监测标准中对废气中水分含量测定装置的相关要求。

7.3 废气温度、压力、流速的测定装置

废气温度、压力、流速的测定装置均应符合 GB/T 16157 和 HJ/T 48 中的相关要求。

8 分析步骤

8.1 仪器准备

正确连接仪器后开启电源，达到仪器使用说明书规定的工作状态后，按照 GB/T 16157 的规定检查系统气密性。

8.2 仪器核查

测试前，应使用校准膜片（6.2）检查仪器，检查结果与校准膜片的标称值误差应在 $\pm 5\%$ 范围内；否则应查找原因并维护或维修，直至满足要求。

8.3 样品采集和测定

8.3.1 根据 GB/T 16157、HJ/T 397、HJ 1405 等标准的相关规定分别确认现场工况、采样点位和采样孔、采样平台、工作电源及安全措施等符合要求，确认滤膜（带）不存在破损或其他异常情况。

8.3.2 记录现场情况，打开采样孔并清理积灰。

8.3.3 根据 GB/T 16157 并结合监测断面情况和监测要求等，预测废气流速和水分含量，确

定采样嘴直径大小、每个测点的采样时长。

8.3.4 启动采样管及滤膜（带）加热装置，待温度达到 $105\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后，将采样管置于监测断面尽量靠近烟道中心位置使采样嘴正对气流方向进行预采样，抽取废气时间不少于 10 min。

8.3.5 正式采样前，测量空白滤膜（带）（6.1）的 β 射线透过量。

8.3.6 参照 GB/T 16157 中的布点方法和采样步骤正式采样，采样过程采取等速采样方式，采样管及滤膜（带）加热装置的温度应控制在最低 $105\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且不产生冷凝水的范围内。

8.3.7 采样结束后，测量捕集颗粒物后的滤膜（带）的 β 射线透过量，结合采样前空白滤膜（带）的 β 射线透过量及采样体积计算得出样品的颗粒物浓度。

8.3.8 重复第 8.3.5~8.3.7 条步骤，测得所有样品的颗粒物浓度后结束测量。

9 结果计算与表示

9.1 结果计算

标准状态下干废气中颗粒物质量浓度按公式（3）计算：

$$\rho = \frac{m}{V_{nd}} \times 10^3 \quad (3)$$

式中： ρ ——标准状态下干废气中颗粒物质量浓度， mg/m^3 ；

m ——滤膜（带）上捕集的颗粒物质量， mg ；

V_{nd} ——标准状态下干采样体积，L。

9.2 结果表示

颗粒物质量浓度的计算结果保留到小数点后一位。

10 准确度

10.1 精密度

7 家实验室对浓度水平分别为 $3\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $20\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $40\text{ mg}/\text{m}^3$ 的模拟颗粒物样品重复测定 6 次：实验室内相对标准偏差分别为 1.9%~8.5%、4.1%~12%、3.5%~5.4%；实验室间相对标准偏差分别为 20%、14%、6.1%；重复性限分别为 $0.5\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $4.8\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $6.1\text{ mg}/\text{m}^3$ ；再现性限分别为 $0.6\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $3.4\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $3.5\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

7 家实验室对某火力发电企业燃煤废气总排口、某水泥厂窑尾废气排放口、堆料仓库废气排放口排放废气中颗粒物浓度测定：燃煤废气中颗粒物浓度为未检出~ $0.9\text{ mg}/\text{m}^3$ ，平均颗粒物浓度为 $0.6\text{ mg}/\text{m}^3$ ；水泥厂窑尾废气中颗粒物浓度为未检出~ $0.7\text{ mg}/\text{m}^3$ ，平均颗粒物浓度为 $0.6\text{ mg}/\text{m}^3$ ；水泥厂堆料仓库废气中颗粒物浓度为 $24.2\text{ mg}/\text{m}^3$ ~ $48.5\text{ mg}/\text{m}^3$ ，平均颗粒物浓度为 $35.8\text{ mg}/\text{m}^3$ 。实验室内相对标准偏差分别为：7.0%~35%、14%~29%、5.3%~9.4%；实验室间相对标准偏差分别为：39%、38%、30%；重复性限分别为： $0.4\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $8.1\text{ mg}/\text{m}^3$ ；再现性限分别为： $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $0.2\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $11.2\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

10.2 正确度

7家验证实验室对浓度为 3 mg/m^3 、 20 mg/m^3 、 40 mg/m^3 的颗粒物模拟废气测定的相对误差分别为0.78%~20%、0.3%~12%、1.5%~7.8%，相对误差最终值为 $9.7\%\pm 14.2\%$ 、 $3.7\%\pm 8.6\%$ 、 $5.8\%\pm 4.2\%$ 。

11 质量保证和质量控制

11.1 现场采样的质量保证和质量控制措施应符合 HJ/T 397 中的相关要求。

11.2 样品采集时，应保证其增重不小于 0.6 mg 或标干采样体积不小于 0.5 m^3 。

11.3 采样前后的滤膜（带）（6.1）的 β 射线透过量的衰减不应超过总量的75%。

11.4 每年应校准一次采样管皮托管。当皮托管外形发生明显变化时，应及时维护、校准或更换。应按照 HJ/T 48 中的相关要求定期校准仪器流量。

11.5 当校准膜片测试结果相对误差超过 $\pm 5\%$ 或样品测试结果明显异常并无法排除解决、更换采样管或成分不同的测试粉尘时，应重新测定便携式废气 β 射线颗粒物测定仪的单位质量吸收系数，测定方法参照附录 A。

12 注意事项

12.1 仪器应在其规定的环境温度、环境湿度等条件下工作。

12.2 滤膜（带）上捕集的全部颗粒物应在 β 射线的照射范围内。

12.3 校准膜片应避光存放，使用前应检查膜片，存在弯折、划痕、破损等情况时更换，膜片表面附有灰尘时应用无水乙醇清洗干净。

12.4 样品测定结束后，应选择气体反吹、去离子水或有机溶剂冲洗等适宜的方式清洁采样管。

附录 A

(资料性附录)

便携式废气 β 射线颗粒物测定仪单位质量吸收系数 k 测定方法

A.1 仪器和设备

A.1.1 低浓度颗粒物采样设备

同 HJ 836 中的相关要求。

A.1.2 低浓度颗粒物分析称重设备

同 HJ 836 中的相关要求。

A.1.3 便携式废气 β 射线颗粒物测定仪

同 7.1 条。

A.1.4 低浓度颗粒物发生装置

可产生均匀、稳定的粒径 $<100\ \mu\text{m}$ 的固体颗粒物，如符合 ISO 12103-1 A1 级或 A2 级的测试粉尘等，均匀性及稳定性均优于 5%；至少具备 3 个检测通道，可满足至少 3 台颗粒物测定仪同时采样。

A.2 操作步骤

A.2.1 仪器准备

A.2.1.1 低浓度颗粒物采样及分析称重设备

按照 HJ 836 中的相关要求准备。

A.2.1.2 便携式废气 β 射线颗粒物测定仪

按照 8.1 章节准备。

A.2.2 测定步骤

A.2.2.1 通过控制低浓度颗粒物发生装置 (A.1.4) 获得不同质量浓度的颗粒物样品，使用便携式废气 β 射线颗粒物测定仪分别在量程值的 $(20\pm 5)\%$ 、 $(40\pm 5)\%$ 、 $(60\pm 5)\%$ 、 $(80\pm 5)\%$ 、 $(100\pm 5)\%$ 不同颗粒物浓度条件下测试，每个浓度至少获得 3 组 β 射线法及参比方法有效数据。

A.2.2.2 便携式废气 β 射线颗粒物测定仪按照 8.3 章节步骤与参比方法同步监测，应报告所有的数据，包括舍去的数据对，至少获取 15 个有效数据对。

A.3 结果计算

具体计算步骤如下：

步骤 1：计算β射线量衰减比的自然对数 D_β

$$D_\beta = \ln \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{A.1})$$

式中： D_β ——测试前后β射线量衰减比的自然对数；

N_1 ——单位时间内通过空白滤膜（带）的β射线量，Bq；

N_2 ——单位时间内通过捕集颗粒物后滤膜（带）的β射线量，Bq。

步骤 2：建立线性回归方程，求解得到单位质量吸收系数 k

（1）β射线法滤膜（带）上的单位面积颗粒物质量 M_β

$$M_{\beta,i} = \frac{\overline{C_{zl,i}} \times V_{\beta,i}}{S_{\beta,i}} \quad (\text{A.2})$$

（2）颗粒物质量与β射线量衰减比自然对数的线性方程

$$M_{\beta,i} = \frac{1}{k} D_{\beta,i} + b \quad (\text{A.3})$$

（3）单位质量吸收系数 k 的计算

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{\beta,i} - \overline{D_\beta})(M_{\beta,i} - \overline{M_\beta})}{\sum_{i=1}^n (D_{\beta,i} - \overline{D_\beta})^2} \quad (\text{A.4})$$

式中： $M_{\beta,i}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下，β射线法滤膜（带）上的单位面积颗粒物质量， mg/cm^2 ；

$\overline{C_{zl,i}}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下，参比方法测得测试颗粒物平均浓度， mg/m^3 ；

$V_{\beta,i}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下，β射线法颗粒物测定仪测定时的采样体积， m^3 ；

$S_{\beta,i}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下，β射线法颗粒物测定仪的滤膜（带）面积， cm^2 ；

$D_{\beta,i}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下，测试前后β射线量衰减比的自然对数；

k ——单位质量吸收系数， cm^2/mg ；

$\overline{D_\beta}$ ——测试前后β射线量衰减比的自然对数平均值；

$\overline{M_\beta}$ ——β射线法滤膜（带）上的单位面积颗粒物质量的平均值， mg/cm^2 ；

b ——线性方程截距；

n ——测试颗粒物浓度水平个数。

A. 4 相关系数计算及结果报告

A. 4. 1 相关系数计算

颗粒物质量 M_β 与β射线量衰减比自然对数的线性方程的相关系数 R_β^2 的计算公式如下：

$$R_{\beta}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_{\beta,i} - \frac{1}{k} D_{\beta,i} - b)^2}{\sum_{i=1}^n (M_{\beta,i} - \overline{M_{\beta,i}})^2} \quad (\text{A.5})$$

式中： $M_{\beta,i}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下， β 射线法滤膜（带）上的单位面积颗粒物质量， mg/cm^2 ；

$\frac{D_{\beta,i}}{M_{\beta,i}}$ ——第 i 个测试颗粒物浓度下，测试前后 β 射线量衰减比的自然对数；

$\overline{M_{\beta,i}}$ —— β 射线法滤膜（带）上的单位面积颗粒物质量的平均值， mg/cm^2 ；

b ——线性方程截距；

n ——测试颗粒物浓度水平个数。

A. 4. 2 结果报告

A. 4. 2. 1 结果报告要求

按附表 A.1 的要求报告结果。

A. 4. 2. 2 单位质量吸收系数 k 适用性判定方法

若相关系数 $R_{\beta}^2 \geq 0.99$ ，则相对应的单位质量吸收系数 k 可用于计算本标准的颗粒物测定。

A. 5 注意事项

A. 5. 1 用于测定单位质量吸收系数的滤膜（带）材质，应与测定实际样品的保持一致。

附表 A.1 单位质量吸收系数测定结果

设备名称		生产单位		型号		编号	
便携式废气 β 射线颗粒物测定仪							
低浓度颗粒物采样设备							
低浓度颗粒物分析设备							
试剂名称		生产单位		粉尘级别		有效截止日期	
测试颗粒物							
测试人员		测试单位（公章）				测试日期	
测定结果							
测试序号	测试颗粒物浓度 (C_{st})	采样体积 (V_{β})	滤膜（带）面积 (S_{β})	颗粒物质量 (M_{β})	β 射线量(N_1)	β 射线量(N_2)	
	mg/m ³	m ³	cm ²	mg	/	/	
1							
2							
3							
4							
5							
单位质量吸收系数 k cm ² /mg							
相关系数 R_{β}^2				适用性		☐ 适用 ☐ 不适用	