

中国环境科学学会标准

发布公告

2023 年 第 25 号（总第 104 号）

根据《中国环境科学学会标准管理办法》的相关规定，
现批准《头发中有机污染物暴露监测技术规范》（T/CSES
104-2023）标准，并予发布。

以上标准自 2023 年 5 月 22 日起实施。

特此公告。



中国环境科学学会

2023 年 5 月 22 日

团 体 标 准

T/CSES 104—2023

头发中有机污染物暴露监测技术规范

Technical specifications for exposure monitoring of organic
pollutants in hair

2023 - 5 - 22 发布

2023 - 5 - 22 实施

中国环境科学学会 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 工作程序	1
5 技术要求	2
6 质量控制	5
7 监测报告编制	5

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。

本文件由生态环境部华南环境科学研究所提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、江西省科学院微生物研究所、四川省生态环境科学研究院、中国科学院广州地球化学研究所、SCIEX（中国）。

本文件主要起草人：于云江、李宗睿、郑晶、刘煜、唐斌、罗伟铿、罗孝俊、朱晓辉、向明灯、邓冕、万难难、史鸿乐、陈强、江腊海、刘源月、倪蔚佳、何佼。

头发中有机污染物暴露监测技术规范

1 范围

本文件规定了头发中有机污染物暴露监测技术的内容和方法、技术要点、质量控制与监测报告编制等技术要求。

本文件适用于为暴露评估和健康风险评估而开展的针对具有生物标志物、手性特征、代谢特征产物或明确同系物组分的有机污染物的暴露监测。

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 16126 生物监测质量保证规范
- HJ 630 环境监测质量管理技术导则
- HJ 839 环境与健康现场调查技术规范 横断面调查
- HJ 875 环境污染物人群暴露评估技术指南

3 术语和定义

GB/T 16126和HJ 875界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

内暴露 internal exposure

初始暴露剂量中被吸收并通过循环分布到全身的部分。

3.2

外暴露 external exposure

指人体经呼吸道、消化道和皮肤等途径接触环境污染物的部分。

3.3

化学质量平衡模型 chemical Mass Balance Model (CMB)

一种“源已知”类受体模型，即模型需要输入源成分谱的数据，通过在源和受体之间建立质量平衡关系来构建线性方程组，利用有效方差最小二乘的迭代计算方法得出各污染源对受体的贡献值。

3.4

生物标志物 biomarker

证明暴露于自身或其前体的化学物质。

4 工作程序

头发中有机污染物暴露监测技术主要包括样品采集、样品分析、内暴露量评估和质量控制等四个步骤，工作程序见图1。

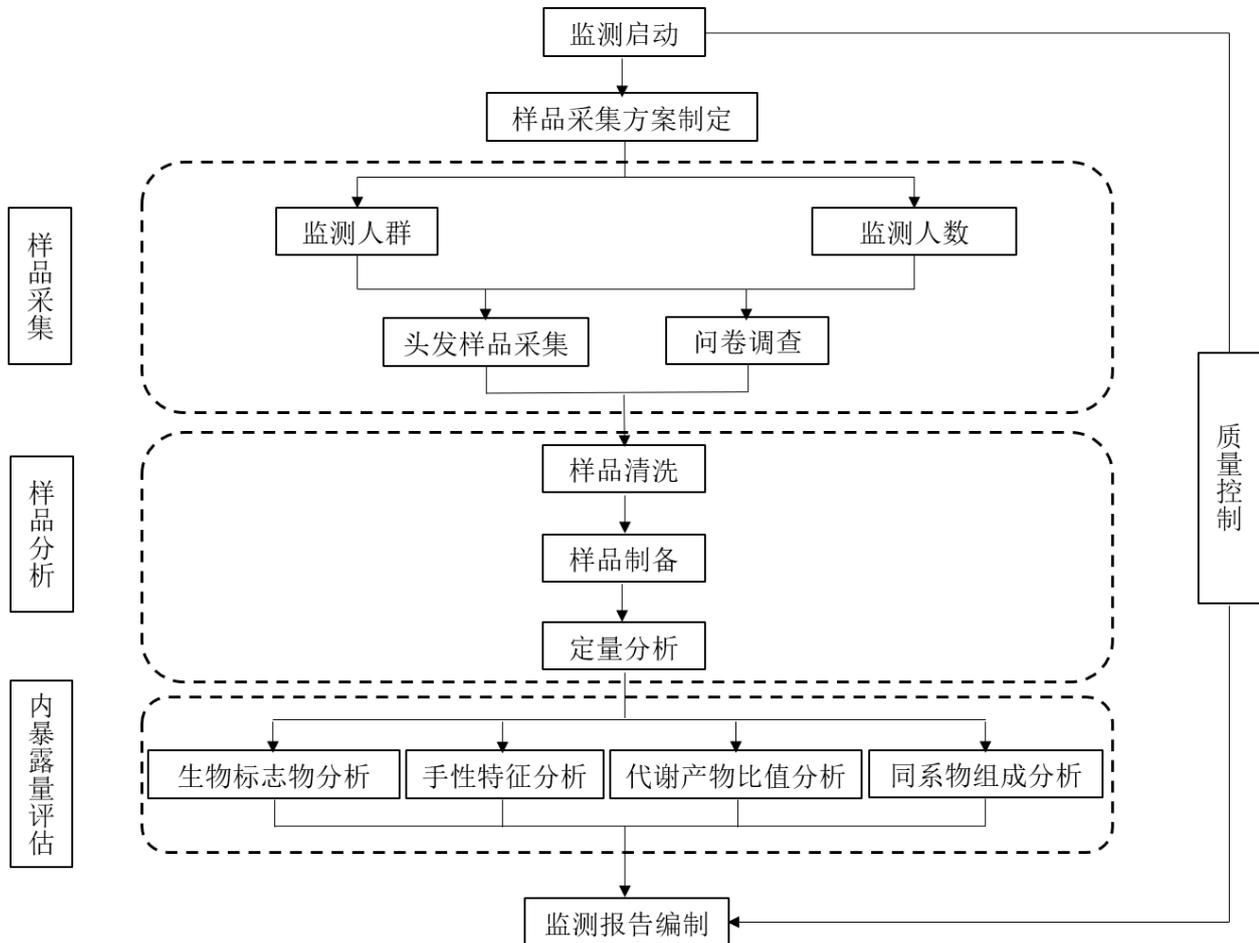


图1 头发中有机污染物暴露监测工作程序

5 技术要求

5.1 样品采集

在样品采集前，应根据研究的内容，制定详细的样品采集方案，包括人群选择、人数确定和问卷调查等。在开展生物样本采集前，应组织开展医学伦理审查并取得知情同意。

5.1.1 监测人群的选择

监测人群应选择对该有机污染物最敏感的人群或接触人数最多的人群。监测个体在采样前三个月内应无烫、染发，且未使用含有待测有机污染物的洗发、护发制品。

5.1.2 监测人数的确定

监测人群抽样调查可采用简单随机抽样、分层抽样、系统抽样和整群抽样等方法，具体抽取方法和程序参照 HJ 839。

监测人数可按公式（1）计算；监测人数应大于 50 人。

$$N = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot S^2}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

N——监测人数；

Z——统计学上标准正态分布的 Z 值；

α ——显著性水平；

S——污染物含量的标准差；

d——允许误差。

5.1.3 头发样品采集

使用丙酮预清洗的不锈钢剪刀，采集枕部紧贴头皮处、距头皮 2 cm 内的发样，采集样品量应大于 1.0 g。每个采样个体采集的头发样品单独用铝箔包裹后置于聚乙烯密封袋内，避光冷藏运输，并于-20℃冰箱中保存。

5.1.4 问卷调查

采集头发样品的同时，对监测人群开展问卷调查，问卷应包括基本情况、饮食情况、环境因素、职业危险因素、行为习惯、健康影响指标等内容。具体方法按 HJ 839 执行。

5.2 样品分析

5.2.1 样品清洗

将个体头发样品单独置于干净的样品管中，采用超纯水于 40℃振荡清洗，或采用丙酮等有机溶剂振荡清洗，以除去发样外部吸附/沾污的物质。清洗后的头发样品经自然风干或冷冻干燥，置于-20℃冰箱中避光保存。

5.2.2 样品制备

头发样品制备可采用酸消解或碱消解后有机溶剂萃取，或直接有机溶剂萃取等方式。

- a) 酸/碱消解：使用不锈钢剪刀将不少于 0.1 g 清洗后的头发样品剪至 2 mm~3 mm 每段，并充分混匀；采用 HNO₃/H₂O₂ 或 NaOH 水溶液等进行消解。该方法适用于监测分析头发中具有耐酸性/耐碱性的有机污染物；
- b) 直接有机溶剂萃取：使用球磨仪将不少于 0.1 g 清洗后的头发样品研磨成粉状或簇状，并充分混匀；加入甲醇或乙腈等有机溶剂萃取目标化合物。该方法适用于监测分析既不耐强酸又不耐强碱的有机污染物。

5.2.3 定量分析

头发样品萃取液经浓缩、净化后进行定量分析，得到头发中有机污染物的总暴露量 ($Q_{总}$)，即头发中有机污染物的内暴露量 ($Q_{内}$) 与外暴露量 ($Q_{外}$) 之和 ($Q_{总}=Q_{内}+Q_{外}$)。

5.3 内暴露量评估

头发中有机污染物的内暴露量评估可采用直接法和间接法；其中，直接法为生物标志物分析法，间接法包括手性特征分析法、代谢产物比值分析法、同系物组成分析法等。

5.3.1 生物标志物分析法

头发中的生物标志物主要来自于内暴露，其在头发中的含量可直接反映母体化合物的暴露水平，如羟基多溴二苯醚等。

5.3.2 手性特征分析法

当监测有机污染物具有手性结构，且在人体中存在明显的对映异构体选择性代谢时，可根据其对映异构体组成分数 (EF)，结合二元混合模型，根据公式 (2) 和公式 (3) 计算有机污染物的内源贡献比例，根据公式 (4) 评估头发中有机污染物的内暴露量，如多氯联苯等具有手性特征的有机污染物。

$$EF_{In}x + EF_{Ex}y = EF_{Hair} \dots\dots\dots (2)$$

$$x + y = 1 \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_{内} = x \times Q_{总} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- EF_{In} ——内源有机污染物的 EF 值;
- EF_{Ex} ——外源有机污染物的 EF 值;
- EF_{Hair} ——头发中有机污染物的 EF 值;
- x ——内源贡献比例;
- y ——外源贡献比例;
- Q_内 ——头发中有机污染物的内暴露量;
- Q_总 ——头发中有机污染物的总暴露量。

5.3.3 代谢产物比值分析法

当有机污染物及其代谢产物均具有内源、外源贡献时,可根据有机污染物与其代谢产物的比值,结合二元混合模型,根据公式(5)和公式(6)计算有机污染物的内源贡献比例,根据公式(7)评估头发中有机污染物的内暴露量,如滴滴涕等。

$$R_{In}x + R_{Ex}y = R_{Hair} \dots\dots\dots (5)$$

$$x + y = 1 \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_{内} = x \times Q_{总} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- R_{In} ——内源有机污染物与其代谢产物的比值;
- R_{Ex} ——外源有机污染物与其代谢产物的比值;
- R_{Hair} ——头发中有机污染物与其代谢产物的比值;
- x ——内源贡献比例;
- y ——外源贡献比例;
- Q_内 ——头发中有机污染物的内暴露量;
- Q_总 ——头发中有机污染物的总暴露量。

5.3.4 同系物组成分析法

当有机污染物具有同系物组成时,可根据污染物组分扩散物质守恒原理,利用污染物的同系物组成,结合化学质量平衡模型(CMB),定量评估头发中有机物的内暴露量,如多氯联苯和多溴二苯醚。

$$C_i = \sum_{j=1}^J F_{ij} \times S_j \quad (i = 1, 2, \dots, I, j = 1, 2, \dots, J) \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- C_i ——头发中有机污染物同系物 i 的浓度测量值, ng/g;
- F_{ij} ——第 j 类源有机污染物同系物 i 的含量测量值, ng/g;
- S_j ——第 j 类源的贡献率;
- I ——有机污染物同系物的数目, i=1, 2, …, I;
- J ——源类的数目, j=1, 2, …, J。

通过输入头发样品中各种有机污染物同系物的浓度值 C_i 及其标准差和各类源的成分谱 F_{ij}, 选择所测定的 i 个有机污染物同系物即可建立 i 个方程(8)。只要满足 I≥J, 即可根据最小二乘法模型计算得到一组解 S_j, 其中血液源的贡献率即为头发中有机污染物的内源贡献比例, 根据公式(9)评估头发中有机污染物的内暴露量。

$$Q_{\text{内}} = \sum_{i=1}^I C_i \times S_{\text{血}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$Q_{\text{内}}$ ——头发中有机污染物的内暴露量；

$S_{\text{血}}$ ——血液源的贡献率；

C_i ——头发中有机污染物同系物 i 的浓度测量值，ng/g。

6 质量控制

6.1 实验室分析

实验室分析的质量控制按 GB/T 16126 和 HJ 630 执行。

6.2 空白分析

每 20 个样品或每批次（少于 20 个样品/批）至少测定 1 个全程序空白样品，当测定结果高于检出限时，应对头发样品的测定结果进行空白校正。

6.3 校准

待测目标化合物标准曲线的相关系数应 ≥ 0.995 ，否则应重新建立标准曲线。

样品测定期间，每日应至少测定 1 次标准曲线中间浓度点标准溶液，其测定结果与该点浓度的相对偏差应在 $\pm 20\%$ 以内，否则应重新建立标准曲线。

6.4 平行样

将采集自同一人的头发混匀后随机分成两个头发样品，同时进行样品分析，得到平行样品。每 20 个样品或每批次（少于 20 个样品/批）至少测定 1 个平行样，当测定结果大于测定下限时，平行双样测定结果的相对偏差应不超过 30%。

7 监测报告编制

监测报告主要包括监测目的、监测内容、监测人群、内暴露量评估方法、监测结果、质量控制、结论等部分。结论要明确头发中有机污染物的浓度、监测人群以及内暴露量。