

团 体 标 准

T/HAEPI 01—2025

固定污染源废气 可凝结颗粒物监测（干式 冲击冷凝法）技术规范

Technical specifications for condensable particulate matter monitoring (dry impact
condensation method) of stationary source

(发布稿)

2025 - 04 - 01 发布

2025 - 04 - 01 实施

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 方法原理 | 1 |
| 5 试剂和材料 | 1 |
| 6 仪器和设备 | 2 |
| 7 样品 | 3 |
| 8 分析步骤 | 4 |
| 9 结果计算与表示 | 5 |
| 10 质量保证和质量控制 | 6 |



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。

本文件由河南省环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：河南省郑州生态环境监测中心、河南省环境保护产业协会大气污染防治专业委员会。

本文件主要起草人：唐诗、石冰、杨瑞芳、周洋、何苏、朱靓、张静、张喜凤、张帅康、王翀、王四军、李娜、张其翔、曲英。



固定污染源废气 可凝结颗粒物监测（干式冲击冷凝法）技术规范

1 范围

本文件描述了固定污染源废气可凝结颗粒物监测的方法原理，规定了试剂和材料、仪器和设备、样品、分析步骤、结果计算与表示、质量保证和质量控制等方面的技术要求。

本文件适用于各类烟气温度高于30℃的固定污染源废气中可凝结颗粒物的测定。

当采样体积为1m³时，本方法检出限为2mg/m³。

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 16157 | 固定污染源排气中颗粒物的测定与气态污染物采样方法 |
| 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文件。

3.1

可过滤颗粒物 filterable particulate matter (FPM)

燃料和其它物质在燃烧、合成、分解以及各种物料在机械处理中所产生的悬浮于排放气体中的能被滤筒或滤膜直接截获的固体和液体颗粒状物质。

3.2

可凝结颗粒物 condensable particulate matter (CPM)

在烟道内高温烟气环境中通常为气态物质，排放到大气环境中经冷却、稀释而短时间内冷凝或者反应形成的固态或液态颗粒物。

3.3

干式冲击冷凝法 dry impact condensation method

一种由美国环保署提出的CPM测试方法，烟气经FPM滤筒或滤膜过滤离开烟道后，在温度小于30℃的条件下，气相CPM在冲击瓶中冷凝成颗粒态，并被干燥冲击瓶、冷凝液收集瓶和后置CPM滤膜等捕集。

4 方法原理

将采样管由采样孔插入烟道中，采用等速采样方法抽取一定量废气，根据采集到的可凝结颗粒物量以及同时抽取的废气体积，计算出废气中可凝结颗粒物的浓度。可凝结颗粒物包括滤膜、冷凝液、气路部分收集到的样品，经处理后用重量法测定可凝结颗粒物的浓度。

5 试剂和材料

5.1 超滤去离子水

蒸发残渣≤1mg/L。

5.2 丙酮

蒸发残渣≤0.0005%。

5.3 正己烷

蒸发残渣 $\leq 0.0005\%$ 。

5.4 氨水

蒸发残渣 $\leq 0.002\%$ ， $V=25.0\% \sim 28.0\%$ 。

5.5 氨水溶液

$c=0.1\text{mol/L}$ 。移取一定量氨水（5.4）置于500ml容量瓶中，用超滤去离子水（5.1）定容至刻度。临用现配。

5.6 滤膜（滤筒）

5.6.1 CPM 滤膜

尺寸与滤膜夹匹配，应满足如下要求：

a) 最大期望流速下，对于直径为 $0.3\ \mu\text{m}$ 的标准粒子，滤膜的捕集效率应大于99.5%，对直径为 $0.6\ \mu\text{m}$ 的标准粒子，滤膜的捕集效率应大于99.9%；

b) 选择石英材质或聚四氟乙烯材质滤膜，滤膜材质不应吸收废气中气态污染物或与其发生化学反应，在最大的采样温度下，应保持热稳定，并避免质量损失。

5.6.2 FPM 滤膜（滤筒）

石英材质，对于直径为 $0.3\ \mu\text{m}$ 的标准粒子，滤膜的捕集效率应大于99.5%。

6 仪器和设备

6.1 废气水分、温度、压力、流速测定装置

废气中水分、温度、压力、流速测定装置应符合GB/T 16157中相关要求。

6.2 废气可凝结颗粒物采样装置

6.2.1 采样装置的构成

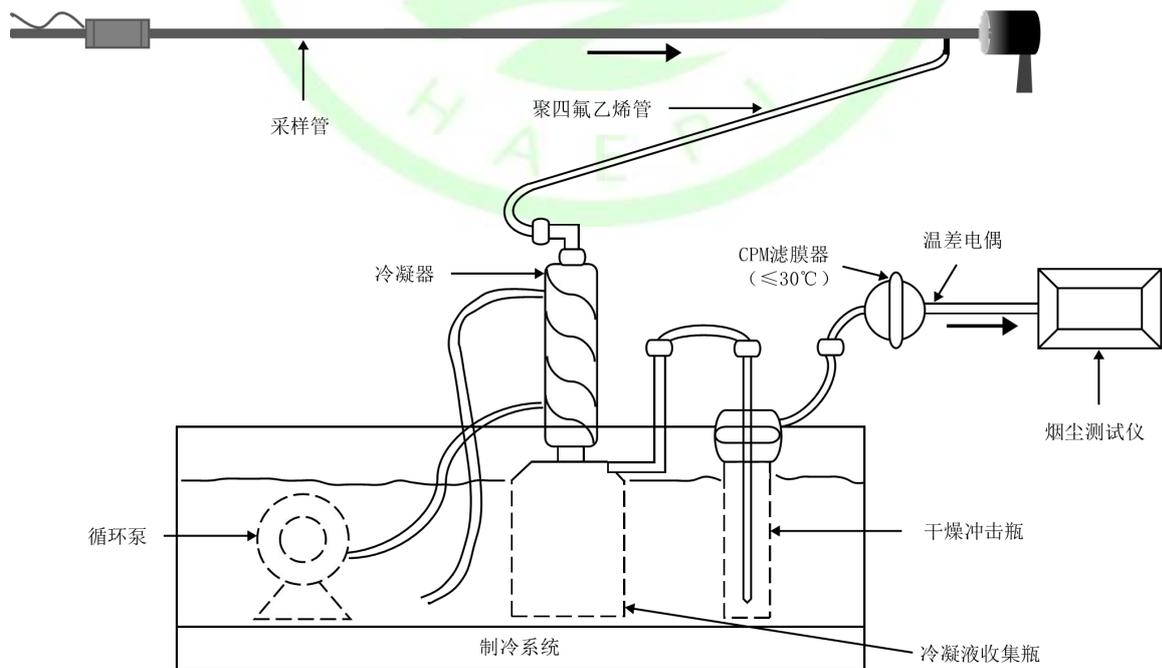


图1 可凝结颗粒物采样装置示意图

可凝结颗粒物采样装置由可过滤颗粒物采样部分、可凝结颗粒物采样部分、烟尘测试仪（主要包括干燥系统、抽气泵单元和气体计量系统）以及连接管线组成。采样装置见图1。

6.2.2 可过滤颗粒物采样部分

采样头、采样嘴、采样管应符合HJ 836中相关要求。采样管及其后所连接的聚四氟乙烯管路应全程加热至110℃~120℃，防止水汽凝结，聚四氟乙烯管路长220cm~230cm。

6.2.3 可凝结颗粒物采样部分

可凝结颗粒物采样部分由制冷系统、冷凝器、冷凝液收集瓶、干燥冲击瓶、CPM滤膜器和温差电偶装置等组成，之后连接于烟尘测试仪。

其中冷凝器须能保持CPM滤膜器温度低于30℃，冷凝液收集瓶和干燥冲击瓶一并置于冷却装置之内。

6.3 分析称重设备

6.3.1 烘箱、马弗炉。精度： $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

6.3.2 电子天平。分辨率为0.01mg。

6.3.3 温度计。测量范围 -30°C ~ 50°C ，精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

6.3.4 湿度计。测量范围10%RH~100%RH，精度 $\pm 5\%$ RH。

6.3.5 超声波清洗器。频率40Hz~60Hz，温度可显示。

6.3.6 分液漏斗。250ml。

7 样品

7.1 采样位置和采样点

采样位置和采样点位应符合GB/T 1405中相关要求。

7.2 采样准备

除按照HJ 836做好采样准备外，还须在现场采样前清洗玻璃器具并分析实验室试剂空白（超滤去离子水、丙酮、正己烷）。清洗后，150℃烘干6小时，备用。现场采样前将采样管升温到最大，加热3小时，然后依次用丙酮、正己烷、超滤去离子水完全冲洗，干燥后备用。

7.3 样品采集

7.3.1 根据现场实际测量的烟道尺寸，按7.1要求选择采样断面，确定采样点。

7.3.2 记录现场基本情况，并清理采样孔处的积灰。

7.3.3 现场安装采样系统。将安装有FPM滤膜（滤筒）并称重的采样头装入组合式采样管，固定，记录采样头编号。采样管后依次连接垂直的冷凝器、冷凝液收集瓶、干燥冲击瓶、CPM滤膜、温差电偶装置和烟尘测试仪。其中冷凝液收集瓶和干燥冲击瓶放在绝缘的冷却装置中。

7.3.4 检查系统是否漏气，检漏应符合GB/T 16157中相关要求。

7.3.5 采用等速采样法采样，除按照HJ 836要求进行采样外，还应满足如下要求：

a) 采样过程中，观测冷凝液收集瓶和干燥冲击瓶中的液体。若积累的冷凝液量超过瓶容积约一半，或者干燥冲击瓶中积累的液体量能够淹没冲击瓶插入的末端，须中断采样过程，将冷凝液收集瓶和（或者）干燥冲击瓶从采样系统取下，并快速转移收集到的冷凝液。然后重新安装，对采样系统进行检漏，重新开始采样。

b) 将收集的液体混合在一起用于接下来的可凝结颗粒物的分析。

c) 在现场数据表上记录CPM滤膜器在采样开始每隔一段时间和结束时的温度，采样期间保持滤膜器温度低于30℃。

7.3.6 采集全程序空白。采样过程中，采样嘴应背对废气气流方向，采样管在烟道中放置时间和移动方式与实际采样相同。全程序空白应在每次测量系列过程中进行一次，并保证至少一天一次。为防止在采集全程序空白过程中空气或废气进入采样系统，必须断开采样管与采样器主机的连接，密封采样管末端接口。

7.4 样品回收

7.4.1 可凝结颗粒物样品

a) 水相样品。将冷凝液收集瓶和干燥冲击瓶中液体转移到密封玻璃容器中，贴上标签“CPM 1#，水相样品”。用超滤去离子水冲洗所有的采样系统构件两次（超滤去离子水用量同空白用量），包括FPM滤膜夹后半部分、采样枪及延伸部分、冷凝器、冷凝液收集瓶、干燥冲击瓶和连接的玻璃器具、CPM滤膜器前半部分，超滤去离子水冲洗液合并至“CPM 1#，水相样品”。

b) 有机相样品。超滤去离子水冲洗所有的采样系统构件后，再用丙酮、正己烷分别冲洗两次。冲洗部分同水相样品。将冲洗液倒入棕色密封玻璃容器内，贴上标签“CPM 2#，有机相样品”。

c) CPM滤膜样品。用镊子将滤膜从滤膜器上取下来。将滤膜放到滤膜盒里，贴上标签“CPM 3#，滤膜样品”。

7.4.2 现场试剂空白

a) 丙酮试剂空白。取至少200ml丙酮，倒入棕色密封玻璃容器，贴上标签“CPM 4#，丙酮试剂空白”。测试用的每一批次丙酮均应收集一次现场试剂空白。

b) 超滤去离子水空白。取至少200ml超滤去离子水，倒入密封玻璃容器，贴上标签“CPM 5#，超滤去离子水空白”。测试用的每一批次超滤去离子水均应收集一次现场试剂空白。

c) 正己烷试剂空白。取至少200ml正己烷，倒入棕色密封玻璃容器，贴上标签“CPM 6#，正己烷试剂空白”。测试用的每一批次正己烷均应收集一次现场试剂空白。

7.4.3 全程序空白

a) 全程序水相空白。用超滤去离子水冲洗采样构件两次，冲洗部分同7.4.1（超滤去离子水用量同空白用量）。回收冲洗下来的水，倒入密封玻璃容器，贴上标签“CPM 7#，全程序水相空白”。

b) 全程序有机相空白。水冲洗后，用丙酮冲洗采样构件两次（丙酮用量同空白用量），冲洗部分同7.4.1。回收冲洗下来的丙酮，倒入棕色密封玻璃容器，贴上标签“CPM 8#，全程序有机相丙酮空白”。然后用正己烷冲洗两次（正己烷用量同空白用量），并回收冲洗液，倒入棕色密封玻璃容器，贴上标签“CPM 10#，全程序有机相正己烷空白”。

c) 全程序滤膜空白。用镊子将滤膜从滤膜器上取下来。将滤膜放到滤膜盒里，贴上标签“CPM 9#，全程序滤膜空白”。

7.5 样品保存

样品应妥善保存，避免污染。整个运输过程各个容器必须保持直立，温度在30℃以下。样品采集后应尽快测定。样品若不能在24h内测定，可冷藏（≤4℃）保存7d。

8 分析步骤

8.1 废气水分、温度、压力、流速测定

废气水分、温度、压力、流速的测定应符合GB/T 16157中相关要求。

8.2 废气可凝结颗粒物测定

8.2.1 样品的提取

将“CPM 3#，滤膜样品”放入玻璃容器内，提取可溶解于水的（水合的或无机的）可凝结颗粒物。加入足量的超滤去离子水覆盖住滤膜。将玻璃容器放入超声浴中提取可溶于水的物质不少于2分钟，共提取三次。将提取后的超滤去离子水与“CPM 1#，水相样品”合并。

再加入足量的正己烷覆盖住滤膜，提取滤膜中有机溶解的可凝结颗粒物。将玻璃容器放入超声浴中提取至少2分钟，共提取三次。将提取后的正己烷与“CPM 2#，有机相样品”合并。

8.2.2 样品的萃取

将合并后的“CPM 1#, 水相样品”中液体转移到分液漏斗, 加入约10ml正己烷, 充分混合2min, 静置分层后倒出上层有机相, 共萃取三次, 将上层有机相合并。每次分离, 在分液漏斗中留下少量有机相, 确保没有水进入有机相。产生约30ml的有机萃取物, 合并至“CPM 2#, 有机相样品”。

8.2.3 测定可凝结颗粒物水相的量

将萃取剩余的水相部分转移到500ml或更小一些的玻璃烧杯中, 在105℃的烘箱蒸发至体积少于10ml, 然后在低于30℃的室温风干, 在无水硫酸钙干燥器中干燥24小时, 每隔6小时称重至恒重(两次称量误差不大于0.2mg), 记录称量结果, 以两次称量的平均值作为称量结果 $m_{1\#}$ 。

若不能恒重, 加入100ml超滤去离子水重新溶解, 用滴定法中和样品中的酸以去除水合作用。在中和不挥发酸之前, 确保水和易挥发酸都已经蒸发。然后用0.1mol/L氨水滴定样品至pH为7, 记录滴定体积 V_t 。再次进行蒸发、干燥、称重。

8.2.4 测定可凝结颗粒物有机相的量

将有机相样品转移至玻璃烧杯中, 常压蒸发(室温 $\leq 30^\circ\text{C}$)至干燥, 蒸发后在装有无水硫酸钙的干燥器内干燥24小时, 每隔1小时称重至恒重(两次称量误差不大于0.2mg), 记录称量结果, 以两次称量的平均值作为称量结果 $m_{2\#}$ 。

8.2.5 现场试剂空白的测定

测定丙酮试剂空白的量 $m_{4\#}$ 。从“CPM 4#, 丙酮试剂空白”中取与测试过程中相同用量的丙酮倒入250ml玻璃烧杯, 按照8.2.4中规定操作。

测定正己烷试剂空白的量 $m_{6\#}$ 。从“CPM 6#, 正己烷试剂空白”中取与测试过程中相同用量的正己烷倒入250ml玻璃烧杯, 按照8.2.4中规定操作。

测定超滤去离子水空白的量 $m_{5\#}$ 。从“CPM 5#, 超滤去离子水空白”中取与“CPM 1#, 水相样品”相同量的超滤去离子水倒入250ml玻璃烧杯, 按照8.2.3中规定操作。

8.2.6 全程序空白的测定

全程序空白的测定同样品测定步骤。

9 结果计算与表示

9.1 结果计算

可凝结颗粒物浓度按公式(1)计算:

$$C_{CPM} = \frac{m}{V_{nd}} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

C_{CPM} ——可凝结颗粒物浓度, mg/m^3 ;

m ——可凝结颗粒物量, g;

V_{nd} ——标准状况下干采气体积, L。

可凝结颗粒物量按公式(2)计算:

$$m = m_{1\#} + m_{2\#} - m_{cpm0} - m_c \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$m_{1\#}$ ——可凝结颗粒物水相中的量, g;

$m_{2\#}$ ——可凝结颗粒物有机相中的量, g;

m_{cpm0} ——可凝结颗粒物试剂空白中的量, g;

m_c ——加入到样品中形成硫酸铵的铵根离子的量, g。

由公式(3)和(4)可得 m_{cpm0} 和 m_c 值:

$$m_c = 17.03 \times V_t \times M \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$m_{cpm0} = m_{4\#} + m_{5\#} + m_{6\#} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- V_t ——氨水滴定剂的体积，ml；
- M ——氨水滴定剂的摩尔浓度，0.1 mol/L；
- 17.03——铵根离子的摩尔质量，g/mol；
- $m_{4\#}$ ——丙酮试剂空白中的量，g；
- $m_{5\#}$ ——超滤去离子水空白中的量，g；
- $m_{6\#}$ ——正己烷试剂空白中的量，g。

9.2 结果表示

结果保留整数，最多保留3位有效数字。

10 质量保证和质量控制

10.1 采样

- 10.1.1 现场采样的质量保证措施应符合 HJ/T 397 中相关要求。
- 10.1.2 现场应及时清理采样系统，减少样品沾污。
- 10.1.3 每 10 个或每批次（少于 10 个）样品至少做一次全程序空白实验，低于全程序空白增重的样品均无效。
- 10.1.4 样品采集时应保证每个样品的增重 ≥ 1.6 mg，或采样体积 ≥ 1 m³。
- 10.1.5 全程序空白增重应 ≤ 1.6 mg，失重应 ≤ 0.5 mg。
- 10.1.6 采样完成后检查系统是否漏气，检漏应符合 GB/T 16157 中相关要求。

10.2 分析测试

10.2.1 天平的校准

在采样前、采样后称重时，必须进行天平校准。

10.2.2 称量

采样前、采样后平衡及称量时，应保证环境温度和湿度条件一致。应避免静电对称量造成的影响。

保证同一称量部件在采样前后称量为同一天平，并避免称量前后人员不同引起的误差。采样前后，放置、安装、取出、标记、转移采样部件时应戴无粉末、抗静电的一次性手套。