

## 环境 甲基汞的测定 气相色谱法

Environment—Determination of methylmercury—Gas chromatography

## 1 适用范围

本标准适用于地面水、生活饮用水、生活污水、工业废水、沉积物、鱼体及人发和人尿中甲基汞含量的测定。

本方法采用巯基纱布和巯基棉二次富集的前处理方法,用气相色谱仪(电子捕获检测器)测定水、沉积物和尿中甲基汞;采用盐酸溶液浸提的前处理方法,用气相色谱仪(电子捕获检测器)测定鱼肉和人发组织中甲基汞。

本方法最低检出浓度随仪器灵敏度及样品基体不同而各异。水、沉积物和尿通常可检出浓度分别为 0.01 ng/L、0.02 μg/kg 和 2 ng/L;鱼肉和人发通常可检出浓度分别为 0.1 μg/kg 和 1 μg/kg。

## 2 试剂和材料

## 2.1 载气

氮气:纯度 99.995%。

## 2.2 配制标准样品和试样预处理时使用的试剂和材料

2.2.1 氯化甲基汞( $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ):分析纯。

2.2.2 苯( $\text{C}_6\text{H}_6$ ),优级纯。色谱图上无干扰峰出现,否则应做提纯处理。

2.2.3 硫代乙醇酸( $\text{HSCH}_2\text{COOH}$ ):分析纯。

2.2.4 乙醚( $\text{CH}_3\text{CO}$ ) $_2\text{O}$ :分析纯。

2.2.5 36%乙酸( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ):分析纯。

2.2.6 硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ): $\rho=1.84\text{ g/mL}$ ,分析纯。

2.2.7 氯化钠( $\text{NaCl}$ ):优级纯。

2.2.8 盐酸( $\text{HCl}$ ): $\rho=1.19\text{ g/mL}$ ,优级纯。

2.2.9 蒸馏水:不得含干扰甲基汞测定的物质。

2.2.10 盐酸溶液(2 mol/L):量取盐酸 167 mL,用蒸馏水(2.2.9)稀释至 1 L。用 50 mL 苯萃取二次以排除干扰物质。

2.2.11 氢氧化钠溶液(6 mol/L):称取 240 g 氢氧化钠(分析纯),溶于适量蒸馏水中,搅拌。冷却后用蒸馏水稀释至 1 L。

2.2.12 硫酸铜溶液:称取 1.56 g 硫酸铜( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  分析纯),溶于 100 mL 蒸馏水中。此溶液浓度为 0.01 g/mL。

2.2.13 定性滤纸和玻璃棉:经盐酸溶液(2.2.10)浸泡处理。

2.2.14 脱脂纱布和脱脂棉(医用)。

2.2.15 巯基纱布和巯基棉的制备:在广口试剂瓶中依次加入 100 mL 硫代乙醇酸、70 mL 乙醚、32 mL 36%乙酸和 0.2 mL 硫酸混匀。冷却至室温后,加入 50 g 脱脂纱布或 30 g 脱脂棉。浸泡完全,加盖密闭,在 37~39°C 烘箱中恒温 48~72 h。用蒸馏水(2.2.9)洗至中性,挤尽水分,置 36~38°C 烘箱中烘干。

封于棕色瓶中,避光贮存备用。

制备的巯基纱布或巯基棉必须进行回收率测定,测定方法见附录 A。

## 2.2.16 氯化甲基汞标准溶液

### 2.2.16.1 氯化甲基汞标准苯溶液

a) 标准贮备液:称取 0.116 4 g 氯化甲基汞溶于苯中,在 100 mL 容量瓶中定容至刻度。此溶液每毫升含 1 000  $\mu\text{g}$  甲基汞。于 2~5 $^{\circ}\text{C}$  冰箱中可储存一年。

b) 中间溶液:用移液管量取标准贮备液 a) 5 mL,移入 100 mL 容量瓶中,用苯稀释至刻度。此溶液每毫升含 50  $\mu\text{g}$  甲基汞。于 2~5 $^{\circ}\text{C}$  冰箱中可储存六个月。

c) 标准工作液:可根据检测器灵敏度及线性要求和待测试样中甲基汞浓度,用苯稀释中间溶液 b), 配制所需浓度的标准工作液。

### 2.2.16.2 氯化甲基汞标准水溶液

a) 标准贮备液:称取 0.116 4 g 氯化甲基汞,用少量无水乙醇(约 5 mL)溶解。用蒸馏水在容量瓶中定容至 100 mL。此水溶液每毫升含 1 000  $\mu\text{g}$  甲基汞。于 2~5 $^{\circ}\text{C}$  冰箱中可贮存一个月。

b) 标准工作液:根据实验要求,用蒸馏水稀释标准贮备液 a), 配制成所需浓度的标准工作液。临用时配制(此溶液的使用见附录 A)。

2.2.17 硫酸银( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ )饱和溶液:1 g  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ (分析纯)加在 100 mL 蒸馏水中。

2.2.18 二氯化汞饱和苯溶液(色谱柱处理液):0.1 g 二氯化汞( $\text{HgCl}_2$ ,分析纯)加入 100 mL 苯中。

## 2.3 制备色谱柱时使用的试剂和材料

2.3.1 色谱柱的填充物参考 3.2 的有关内容。

2.3.2 涂渍固定液所需溶剂:丙酮( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ )(分析纯)。

## 3 仪器和设备

3.1 气相色谱仪:带电子捕获检测器(ECD)的气相色谱仪。

3.1.1 汽化室:全玻璃系统汽化室。

3.1.2 进样器:5  $\mu\text{L}$ 、10  $\mu\text{L}$  微量进样器。

### 3.2 色谱柱

3.2.1 色谱柱类型及特征:硬质玻璃填充柱,长 1~2 m,内径 4 mm。

#### 3.2.2 载体

3.2.2.1 名称:Chromosorb W AW DMCS。

3.2.2.2 粒度:80~100 目。

#### 3.2.3 固定液

3.2.3.1 名称及化学性质:丁二酸二乙二醇酯(DEGS),最高使用温度 200 $^{\circ}\text{C}$ ,或聚乙二醇 20 000 (PEG-20M),最高使用温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.3.2 液相载荷量:DEGS 为 5%;PEG-20M 为 5%。

3.2.3.3 固定相制作:根据担体的重量称取一定量固定液,溶解在规定的溶剂中。待全部溶解后倒入担体,使担体刚好浸没在溶液中。让溶剂均匀挥发,待溶剂全部挥发后,即完成涂渍。

3.2.4 色谱柱的填充方法:用硅烷化玻璃棉塞住色谱柱一端。接缓冲瓶和真空泵。柱的另一端通过软管接漏斗。将固定相慢慢通过漏斗装入色谱柱内。在填装固定相的同时开启真空泵,并轻轻敲击色谱柱,使固定相填充紧密、均匀。填装完毕后,用硅烷化玻璃棉塞住色谱柱另一端。

3.2.5 色谱柱效能下降的处理:见附录 B。

3.3 检测器:电子捕获检测器。用 $^{63}\text{Ni}$ 放射源。

3.4 记录仪:与仪器相匹配的记录仪。

3.5 数据处理系统:与仪器相匹配的积分仪。

3.6 试样预处理时使用的设备和器材

3.6.1 巯基纱布旋转富集装置：将巯基纱布挂在塑料框架上。框架通过轴承由微型直流电机带动旋转。纱布框架悬在容积为 1 L 的圆桶型塑料容器中。六个塑料容器为一组。将上述三部分组装起来，构成一个便携式现场富集装置(见图 1)。

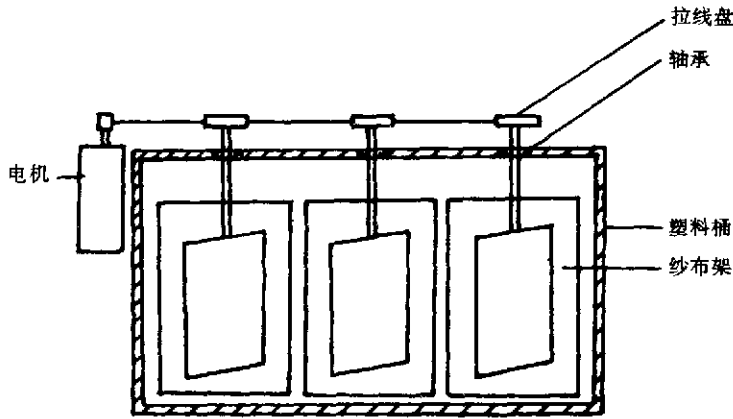


图 1 富集装置示意图

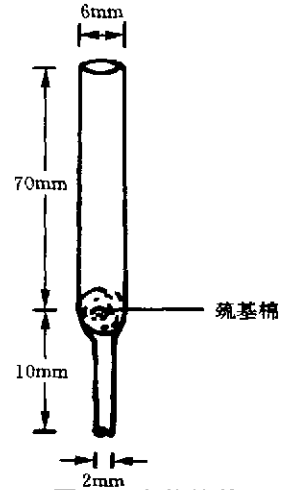


图 2 巯基棉管

3.6.2 巯基棉管(第二次富集用)吸附装置

3.6.2.1 巯基棉管：长 80 mm、内径 4 mm，上端平口下端稍拉细些的玻璃管，见图 2。内装巯基棉 0.04 ~ 0.05 g。

3.6.2.2 巯基棉管吸附装置：由 60 mL 分液漏斗和巯基棉管(3.6.2.1)连接组成，见图 3。

3.6.2.3 微型萃取管：取 10 mL 容量瓶从腰部下端熔断封闭，在其中间稍拉细些即成，见图 4。

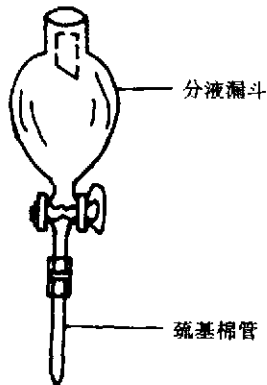


图 3 巯基棉管吸附装置



图 4 微型萃取管

3.6.2.4 玻璃器材及其他

- a) 60 mL 分液漏斗。
- b) 100 mL 刻度烧杯。
- c) 5 mL 医用玻璃注射器。
- d) 乳钵：直径 8 cm。
- e) 采样桶：10 L 聚乙烯塑料桶。
- f) 25 mL 具塞比色管。
- g) 10 mL 具塞刻度离心管。
- h) 2 mL 具塞玻璃试管。
- i) 500 mL 烧杯。

## 4 样品

4.1 样品名称:地面水、生活饮用水、生活污水、工业废水、沉积物和鱼及人发和人尿。

### 4.2 样品的采集和保存

4.2.1 水样:用聚乙烯塑料桶采集水样。每升水样加硫酸铜溶液(2.2.12)1 mL。水样用盐酸、盐酸溶液(2.2.10)和氢氧化钠溶液(2.2.11)调 $\text{pH}=3$ 。水样需尽快预处理。水样于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且 $\text{pH}=3$ 条件下可保存12 h。

4.2.2 沉积物:按照沉积物采样技术规范进行。样品于避光处自然风干,过80目筛。样品采集后如不能及时处理,须将样品装入容器内冷藏保存。

4.2.3 鱼样:按生物样品采样技术规范进行。取鱼背部肌肉,用定性滤纸吸去鱼肉表层水分,称取样品和进行样品前处理。样品也可以放在冰箱中于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻保存。保存时间以不超过一个月为宜。

4.2.4 人发样:从枕部后发际采集头发 $2\sim 3\text{ g}$ (婴儿采集全发),用中性洗涤剂洗干净,用蒸馏水洗涤3次。在室温下自然干燥后,剪碎至 $1\sim 2\text{ mm}$ 小段,装瓶于避光处贮存备用。

4.2.5 人尿样:尿样采集后加盐酸调 $\text{pH}<3$ ,以12小时内分析为宜。

### 4.3 试样的预处理

#### 4.3.1 水样预处理

4.3.1.1 巯基纱布富集:将水样倒入巯基纱布富集装置(3.6.1)的各容器中,巯基纱布浸在水样中。启动电机,以 $10\text{ r/min}$ 速度富集30 min。取下巯基纱布,并用少量蒸馏水冲洗。

4.3.1.2 洗脱:将上述巯基纱布(一般为6片)塞入60 mL分液漏斗中,加15 mL盐酸溶液(2.2.10),浸泡约5 min。打开活塞,收集洗脱液于100 mL烧杯中,用洗耳球吹净残存盐酸溶液。用盐酸溶液(2.2.10)和氢氧化钠溶液(2.2.11)调节洗脱液至 $\text{pH}=3$ 。

4.3.1.3 巯基棉的第二次吸附:将上述洗脱液倾入巯基棉管吸附装置(3.6.2.2)里。打开分液漏斗活塞,调节流出液流速为 $4\sim 5\text{ mL/min}$ 。流毕,用洗耳球吹出巯基棉上的残存溶液。

4.3.1.4 萃取:将巯基棉管置于微型萃取管(3.6.2.3)管口上。分二次加盐酸溶液(2.2.10),每次0.4 mL。将吸附到巯基棉上的甲基汞洗脱到微型萃取管中。用洗耳球吹出最后一滴洗脱液。然后向微型萃取管中准确加入0.4 mL苯。充分振荡萃取5 min。静止分层后,用5 mL医用注射器向微型萃取管底部缓缓注入蒸馏水,使苯相上升至萃取管的细口部位。

#### 4.3.3 沉积物试样预处理

4.3.3.1 浸提:取 $2.0\text{ g}$ 样品放入100 mL刻度烧杯中。缓慢倒入盐酸溶液(2.2.10)。边加边搅拌至不产生气泡为止,加入体积约为 $40\sim 60\text{ mL}$ 。再加1 mL硫酸铜溶液(2.2.12),搅拌2 min,静置提取10 min左右。倾入巯基纱布富集装置(3.6.1)的容器中,加500 mL蒸馏水。用盐酸溶液(2.2.11)和氢氧化钠溶液(2.2.10)调 $\text{pH}=3$ 。以下操作按(4.3.1.1)步骤进行。

#### 4.3.4 尿样预处理

4.3.4.1 浸提:取尿样100 mL于500 mL烧杯中,加10 mL盐酸和1 mL硫酸铜溶液(2.2.12)搅拌均匀,静置5 min。

4.3.4.2 富集:加蒸馏水500 mL,用盐酸溶液(2.2.10)和氢氧化钠溶液(2.2.11)调 $\text{pH}=3$ ,倒入巯基纱布富集装置(3.6.1)中,启动电机,富集30 min。取下巯基纱布,并用少量蒸馏水冲洗。以下步骤按4.3.1.2进行。

#### 4.3.5 鱼样预处理

4.3.5.1 浸提:称取 $1.0\sim 2.0\text{ g}$ 鱼肉,放入乳钵中,加2 g氯化钠进行研磨。加盐酸溶液(2.2.10)2.0 mL继续研磨成糊状。倾入25 mL具塞比色管中。用8.0 mL盐酸分二次洗乳钵内壁,均倾入上述比色管中。振摇10 min,放置1 h。将提取液用滤纸(2.2.13)过滤到10 mL具塞刻度离心管中。用滴管调整溶液液面至5 mL刻度处。

- 4.3.5.2 萃取:在上述离心管中加 2.0 mL 苯,振荡萃取 5 min,静止分层。
- 4.3.5.3 消除乳化:在萃取过程中,一般均出现程度不同的乳化。轻度乳化可采用离心办法破除乳化;对某些较严重的乳化现象,可采用离心、冷冻再离心的方法处理。
- 4.3.5.4 测定:抽取上述苯溶液,用于色谱分析。
- 4.3.6 人发样预处理
- 4.3.6.1 浸提:称取人发样 0.10~0.30 g,放入 25 mL 具塞比色管中,加 7.0 mL 盐酸溶液(2.2.10)充分振荡。浸提 4 h。然后将浸提液通过玻璃棉(2.2.13)过滤到 10 mL 具塞刻度离心管中,将液面刻度调至 5 mL 处。以下按 4.3.5.2 步骤进行。

## 5 测定条件

### 5.1 仪器调整

#### 5.1.1 温度

- 5.1.1.1 汽化室温度:210℃
- 5.1.1.2 色谱柱温度:160℃
- 5.1.1.3 检测器温度:240℃(<sup>63</sup>Ni 放射源)或 210℃(<sup>3</sup>H 放射源)。

5.1.2 载气:60 mL/min,根据色谱柱阻力,调节柱前压。

5.1.3 记录仪:纸速 5 mm/min。

### 5.2 校准

5.2.1 定量方法:外标法。

#### 5.2.2 标准样品

5.2.2.1 标准样品制备:在线性范围内配制一系列氯化甲基汞标准溶液。

#### 5.2.2.2 标准溶液的使用

a) 使用标准溶液测定时,进样后仅出苯峰和甲基汞峰,无其他干扰,由此可确定甲基汞峰的保留时间( $t_R$ ),及检测器的线性范围。

b) 分析样品时,需使用标准样品多次重复校准,使用次数视仪器稳定性而定。一般每测定 30 个样品,需校准一次。

#### 5.2.2.3 使用标准样品的条件

a) 标准样品进样体积应与被测试样进样体积相同,标准样品的响应值应与被测试样的响应值接近。

b) 仪器稳定性判断:使用同一个标准样品连续进样两次(平行测定),若两峰峰高(或峰面积)相对偏差 $\leq 5\%$ ,即认为仪器处于稳定状态。

c) 标准样品与被测试样必须同时进行分析,各被测试样峰高(峰面积)与单个标准样品峰高(峰面积)直接比较,求得试样甲基汞浓度。

d) 在实际分析工作中,应采用氯化甲基汞标准水溶液(2.2.16.2),按照试样预处理步骤(4.3),进行基体加标回收率测定,以减少系统误差。

#### 5.2.3 校准数据的表示

试样中组分按式(1)校准:

$$X_i = E_i \times \frac{A_i}{A_E} \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $X_i$ ——试样中组分  $i$  的含量;

$E_i$ ——标准试样中组分  $i$  的含量;

$A_i$ ——试样中组分  $i$  的峰高(mm)或峰面积( $\text{cm}^2$ );

$A_E$ ——标准试样中组分  $i$  的峰高(mm)或峰面积( $\text{cm}^2$ )。

5.3 试验

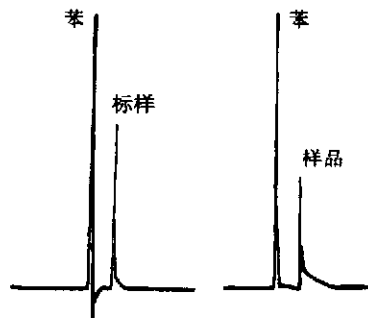
5.3.1 进样

5.3.1.1 进样方式：使用微量进样器(3.1.2)进样。

5.3.1.2 进样量：5 μL。微量进样器用苯清洗数次后，再用待分析的试样萃取液(苯相)冲洗2次。然后缓慢抽取萃取液至针筒中，排除气泡及多余萃取液，保留5 μL体积(或所需体积)，将注射器中样品快速注入色谱仪中。随后，立即拔出注射器。

5.4 色谱图的考察

5.4.1 标准色谱图(见图5)



固定液：5%DEGS；柱温度：160℃；检测器温度：220℃；载气流速：60 mL/min

图5 氯化甲基汞色谱图

5.4.2 定性分析

5.4.2.1 出峰次序：溶剂苯峰、氯化甲基汞峰。

5.4.2.2 根据标准色谱图给出的甲基汞峰保留值( $t_R$ )确定待测试样中甲基汞组分。

5.4.2.3 为检验可能存在的干扰峰，也可用极性不同的另一根色谱柱进行分析。

5.4.2.4 可用硫酸银溶液(2.2.17)与萃取液苯一起振荡，以萃取液中甲基汞峰消失来定性。

5.4.3 色谱峰的测量

5.4.3.1 通过色谱峰两侧的拐点所作的切线与基线相交，两点间的线段叫色谱峰宽度(峰宽)。从峰高最大值对时间轴作垂线，对应的时间即为保留时间。色谱峰的最高点与基线间的距离为峰高。

5.4.3.2 积分仪自动给出峰面积。

5.4.4 计算：

$$C = \frac{m \cdot H_1 \cdot V_1}{H_2 \cdot V_2 \cdot V_3(W) \cdot K} \dots\dots\dots(2)$$

式中： C——试样中甲基汞浓度(水和尿为 μg/L，沉积物，鱼和人发为 mg/kg)；

m——标准样品甲基汞的质量，ng；

$H_1$ ——样品峰高(mm)或峰面积( $\text{mm}^2$ )；

$V_1$ ——萃取液总体积，μL；

$H_2$ ——标准样品峰高(mm)或峰面积( $\text{mm}^2$ )；

$V_2$ ——萃取液进样体积，μL；

$V_3$ (或 W)——样品总体积(mL)或质量(g)；

K——巯基纱布(或巯基棉)的回收率。

6 结果的表示

6.1 定性结果

根据标准色谱图甲基汞的保留时间( $t_R$ )确定被测试样中的甲基汞组分。

6.2 定量结果

## 6.2.1 含量的表示方法

根据计算公式计算出甲基汞的含量,结果以两位有效数字表示。

## 6.2.2 精密度及准确度

由六个实验室分析统一样品,其精密度和准确度列于表1。

表1 精密度及准确度

样 品	样品浓度	精 密 度		准 确 度
		标 准 偏 差		
		重 现 性	再 现 性	加标回收率平均值(%)
水	A	$0.94 \times 10^{-3} \mu\text{g/L}$	$5.18 \times 10^{-2}$	90.0%
	B	$4.74 \times 10^{-3} \mu\text{g/L}$	$1.23 \times 10^{-2}$	
沉积物	A	$0.147 \mu\text{g/kg}$	$5.39 \times 10^{-3}$	87.8%
	B	$0.236 \mu\text{g/kg}$	$5.20 \times 10^{-3}$	
鱼	A	$0.153 \text{ mg/kg}$	$3.42 \times 10^{-3}$	104.5%
	B	$0.243 \text{ mg/kg}$	$5.01 \times 10^{-3}$	
人发	A	$1.75 \text{ mg/kg}$	$4.74 \times 10^{-2}$	94.4%
	B	$8.07 \text{ mg/kg}$	0.22	
尿		$0.59 \mu\text{g/L}$	$1.29 \times 10^{-2}$	94.8%

6.2.3 检测限:当气相色谱仪设在灵敏度最大时,以噪音的2倍作为仪器对甲基汞的检测限。本方法要求仪器的灵敏度不低于 $10^{-12} \text{ g}$ 。

**附 录 A**

(标准的附录)

**巯基纱布或巯基棉回收率的测定**

取氯化甲基汞标准水溶液(2.2.16.2)1.0 mL,加入1 L蒸馏水(2.2.9)中,以下巯基纱布按4.3.1.1步骤,巯基棉按4.3.1.2步骤分别处理,分别与1.0 mL氯化甲基汞标准水溶液的苯萃取液比较,计算巯基纱布或巯基棉的回收率。回收率不低于80%,方可使用。

**附 录 B**

(标准的附录)

**二氯化汞柱处理液的使用**

当色谱峰出现拖尾及甲基汞组分的保留时间出现较大变化时,考虑与色谱柱效能下降有关。遇此情况,注10  $\mu$ L二氯化汞苯溶液(2.2.18)2 h后,可继续测定。也可在完成当天测定后,注入100  $\mu$ L柱处理液,保持柱温过夜,次日柱效可恢复正常。

---

**附加说明:**

本标准由国家环保局科技标准司提出。

本标准由黑龙江省环境保护科学研究所、松辽流域水环境监测中心和白求恩医科大学负责起草。

本标准主要起草人:翟平阳、刘永懋、李青山、关铭、宿华。

本标准委托中国环境监测总站负责解释。