

原子荧光光度法测定天然水体中的 Sb(V)和 Sb(III)

万玉霞, 任景玲

(中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 采用氢化物-原子荧光光度法(HG-AFS), 测定天然水体中的总溶解态无机锑(Sb(V+III))和三价锑(Sb(III))。选择的最佳仪器条件为: 灯电流 60 mA, 负高压-260 V, 原子化器的温度 190 °C和氫气的载气流量 600 mL/min。Sb(V+III)在 1 mol/L HCl 介质中进行测定, 检出限为 0.024 μg/L, 线性范围为 0 ~ 14 μg/L。对浓度 0.3 μg/L 和 0.03 μg/L 的样品分析精密度分别为 2.0% 和 1.9%(n=9), 方法的回收率 93.7% ~ 105%。Sb(III)是在柠檬酸和柠檬酸钠缓冲溶液中(pH 为 4.0 ~ 4.5), 辅以 100 mL/min 的氫气进行测定,测得检出限为 0.0013 μg/L, 对浓度 0.04 μg/L 和 0.01 μg/L 的样品分析精密度分别为 3.8% 和 5.5%(n=9), 方法的回收率 91.1% ~ 104%。二者在不同介质中工作曲线的斜率变动范围均小于 5%。Sb(V)的含量由总溶解态无机锑与三价锑的含量差减得到。

关键词: 原子荧光光度法; Sb(V); Sb(III); 天然水体

中图分类号: P734.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)04-0037-07

锑(Antimony)位于元素周期表中第五主族, 在地壳中含量约为 $5 \times 10^{-5} \%$ ^[1], 世界土壤中锑的含量范围为 0.2 ~ 10 mg/kg^[2]。对大西洋和太平洋的研究结果表明, 锑的浓度约为 1.15 nmol/L \pm 0.25 nmol/L^[3-4]。而在波罗的海和黑海中, 锑的浓度约为 0.7 nmol/L^[5]和 1.2 nmol/L^[6]。锑能够以多种氧化形态存在(-3, 0, 3, 5), 其中负三价锑在自然界中极不稳定, 在生物和环境样品中主要以 3 价和 5 价形态存在。锑不是人体所必需的元素, 它是环境中微量但普遍存在的有毒元素, 首次引起公众的注意是在 20 世纪 90 年代^[7]。与其他元素一样, 锑及毒性取决于锑的氧化态, 不同价态无机锑化合物的毒性大小顺序为: Sb(0)>Sb(III)>Sb(V)^[8]。由于自然因素和人类活动, 如: 矿山开发、金属的冶炼、含锑燃料的燃烧等, 使锑对环境的污染越来越严重, 有研究表明在冶炼厂周围表层土壤中锑的含量大于 160 mg/kg^[9]。

目前比较常用的锑的分析方法主要有氢化物发生-原子吸收光谱法(HG-AAS)^[10]、氢化物发生原子荧光光度法(HG-AFS)^[11]、电感耦合等离子体光谱联用技术(HPLC-ICP-MS)^[12]和电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)^[13]等, 本文对氢化物原子荧光光度法测定锑的实验条件进行了优化选择, 测定无机锑的不同存在形态。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

XGY-1011A 型原子荧光光度计, 地矿部物探化研究所工厂(河北廊坊)。

Sb(V) 标准储备液: 称取优级纯焦锑酸钾($K_2H_2Sb_2O_7 \cdot 4H_2O$) 2.085 2 g 溶于 Milli-Q 水中, 用 25%的 HCl 稀释至 1L, 得到 1 g/L 的 Sb()的标准储备液, 保存时间为 1a。

使用液: 移取 1.0 mL 的锑标准储备液(1 g/L)于 100 mL 容量瓶中, Milli-Q 水稀释至刻度, 得到 10 mg/L 的使用液, 再取 0.75 mL 此溶液于 100 mL 容量瓶中, Milli-Q 水稀释至刻度, 得到 75 μg/L 的使用液。使用液现用现配。

Sb() 标准储备液: 称取优级纯三氯化锑($SbCl_3$)1.8737 g 溶于 Milli-Q 水中, 用 25%的 HCl 稀释至 1 L, 得到 1.0 g/L 的 Sb()的标准储备液。

使用液: 移取 0.3 mL 的锑标准储备液(1 g/L)于 100 mL 容量瓶中, Milli-Q 水稀释至刻度, 得到

收稿日期: 2010-02-09; 修回日期: 2010-05-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB400601); 国家自然科学基金青年基金项目(40606028)

作者简介: 万玉霞(1983-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事海洋生物地球化学研究, E-mail: yuxiawan@yeah.net; 任景玲, 通信作者, 电话: 13573866779, E-mail: renjingl@ouc.edu.cn

3 mg/L 的使用液，再取 0.5 mL 此溶液于 100 mL 容量瓶中，Milli-Q 水稀释至刻度，得到 15 $\mu\text{g/L}$ 的使用液。使用液现用现配。

KBH_4 溶液(0.5%，质量分数)：称取 15 g 固体 KBH_4 溶于 1 000 mL 已配好的 1.5% 的 NaOH 溶液中，然后加入 5 g 优级纯 BaCl_2 ，震荡，放置 2 h 后，过滤，滤液置于冰箱中保存，可保存 1 周，使用时稀释 3 倍即可。

还原剂：5% 硫脲+3% 抗坏血酸(Vc)，称取 5 g 硫脲和 3 g Vc 分别加入到 100 mL 已称好的 Milli-Q 水中，摇匀，冷藏可保存 1 周。

缓冲溶液：分别配制 0.1 mol/L 的柠檬酸和柠檬酸钠溶液，配制 200 mL 缓冲试剂时，移取 120 mL 0.1 mol/L 的柠檬酸溶液和 80 mL 0.1 mol/L 的柠檬酸钠溶液混匀，冷藏可保存 1 周。

1.2 Sb(V)标准系列的配制

取 60 mL 聚乙烯瓶 7 个，移取 24 mL Milli-Q 水，加入 3 mL 重蒸过的 HCl ，加入 Sb(V) 标准溶液，使锑标准溶液的浓度分别为 0、0.03、0.06、0.09、0.12、0.15、0.18 $\mu\text{g/L}$ ，再加入 3 mL 的还原剂，摇匀，反应 90 min。

1.3 Sb(III)标准系列的配制

取 60 mL 聚乙烯瓶 7 个，移取 27 mL Milli-Q 水，加入 3 mL 缓冲试剂，再加入 Sb(III) 标准溶液，使锑标准溶液的浓度分别为 0、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06 $\mu\text{g/L}$ ，摇匀。

1.4 水样的测定

对于总无机锑浓度的测定，准确移取 24 mL 水样于 60 mL 聚乙烯瓶中，然后加入 3 mL 重蒸过的盐酸和 3 mL 还原剂，摇匀，使其充分反应，以制作标准曲线相同的方法用原子荧光光度计进行测定。对于 Sb() 浓度的测定，准确移取 27 mL 水样于 60 mL 聚乙烯瓶中，然后加入 3 mL 缓冲溶液调至 pH 为 4.0~4.5，以制作标准曲线相同的方法用原子荧光光度计进行测定。Sb(V) 的含量通过差减法计算得到，即 Sb(+) 的含量减去 Sb(III) 的含量。

2 结果与讨论

2.1 Sb(V+III)的分析方法

2.1.1 仪器条件的选择

2.1.1.1 灯电流的选择

随着灯电流的增加，荧光强度会增大(图 1)。信噪比也随灯电流的增大而增大，在 60 mA 时信噪比达到最大值，由于灯电流过高会影响到灯的使用寿命，故本实验选择灯电流为 60 mA。

2.1.1.2 负高压的选择

在 -200 ~ -300 V 范围内，信号值随着负高压的增大而增大(图 2)，但在负高压为 -280 V 以上时，仪器的噪声过高，导致仪器无法调零，测量的精密度也不好，故本实验选择负高压为 -260 V。

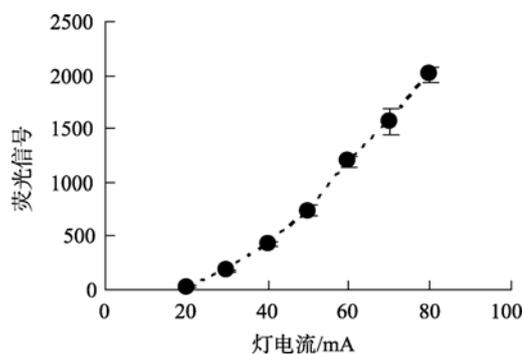


图 1 灯电流的影响

Fig. 1 The effect of electric current on the intensity of fluorescence

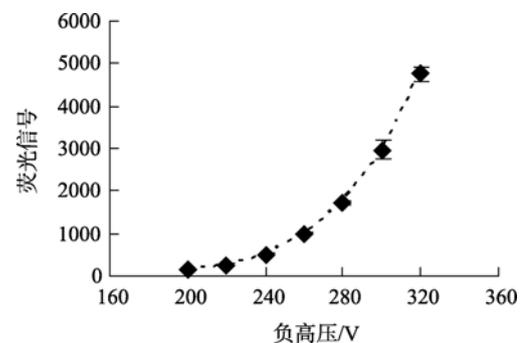


图 2 负高压的影响

Fig. 2 The effect of voltage on the intensity of fluorescence

2.1.1.3 原子化器温度的选择

炉温对测定灵敏度、线性范围、消除记忆效应都有较显著的影响。当炉温较高时，自吸现象比较明显，随着炉温的升高，信号值先增大，后减小，在 190 $^{\circ}\text{C}$ 时信号值高且稳定(图 3)。因此，本实验选择 190 $^{\circ}\text{C}$ 为最佳炉温。

2.1.1.4 载气流量

信号值会随着载气流量的增大先增大后减小，这是因为载气流量过小不能将生成的氢化物及时输送到石英管产生火焰并原子化，载气流量过大时，会稀释火焰中基态原子的浓度和缩短待测物质在火

焰中的时间,从而降低灵敏度,根据净信号值和信噪比随着气流量的变化,最终选定气流量为 600 mL/min。

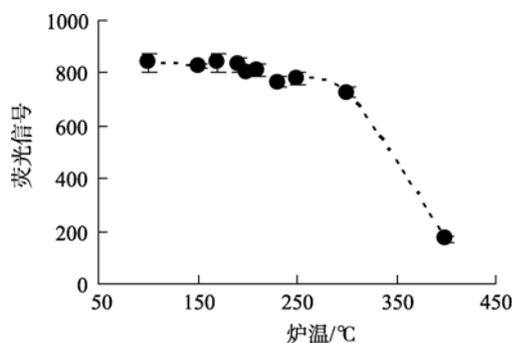


图 3 炉温的影响

Fig. 3 The effect of temperature on the intensity of fluorescence

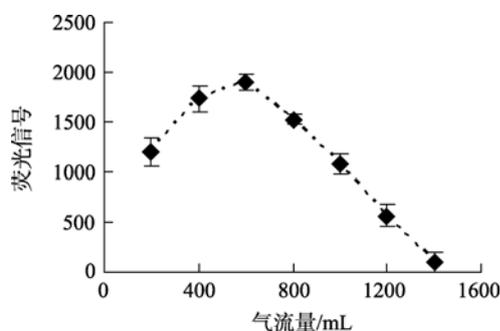


图 4 Ar 流量的影响

Fig. 4 The effect of Ar flux on the intensity of fluorescence

2.1.2 实验条件的选择

2.1.2.1 还原剂用量的选择

在 10 μg/L 的 Sb(V) 溶液中加入不同量的还原剂 (5% 硫脲+3% Vc), 结果如图 5 所示, 还原剂用量大于 2 mL 以后, 信号值基本保持不变。为避免还原剂加入量过高引入的沾污, 本实验选择还原剂的加入量为 3 mL。

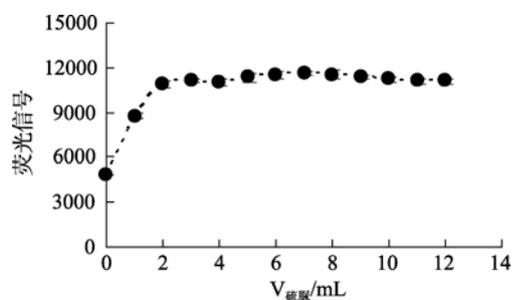


图 5 Sb(+)还原剂用量的选择

Fig. 5 The effect of flux of reducing agent on the intensity of fluorescence

2.1.2.2 还原时间的选择

于 10 μg/L 的 Sb(V) 溶液中分别加入 3 mL 的 HCl 和 3 mL 的还原剂, 分别在反应不同的时间测定, 结果表明(图 6), 当反应时间超过 1h 时, 信号时间为 90 min。值趋向于稳定, 故本实验选择最佳反应时间为 90 min。

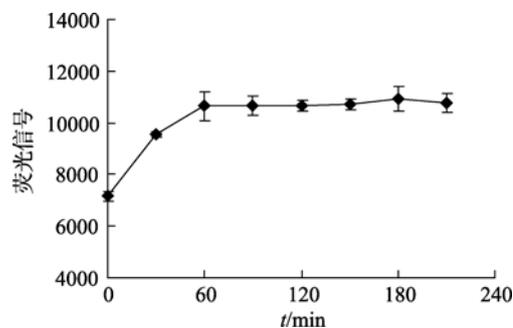


图 6 Sb(+)反应时间的选择

Fig. 6 The reaction time of Sb(V+III) on the intensity of fluorescence

2.1.2.3 酸度的选择

在不同酸度下, 在 1 μg/L Sb(V) 溶液中分别加入 3 mL HCl 和 3 mL 还原剂 90 min 后进行测定, 由结果可知(图 7)在强酸度下, 信号值比较稳定, 酸度越弱, 依靠氢化物发生反应生成的氢化物不足以点燃火焰, 酸度高, 则空白高, 故本实验选择在盐酸浓度为 1 mol/L 时进行测定。

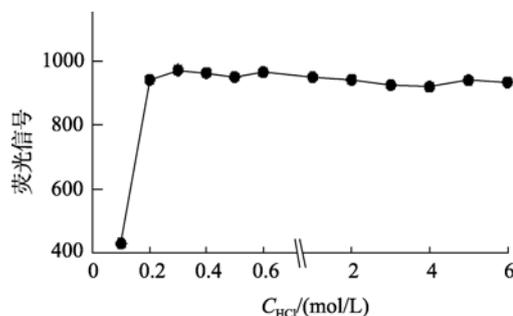


图 7 酸度的影响

Fig. 7 The effect of acid concentration on the intensity of fluorescence

2.1.2.4 线性范围

图 8 是原子荧光光度法测定 Sb(V+III) 的工作曲线(进样量为 2 mL)。由图 8 可见当 Sb(V+III) 含量大于 14 μg/L 时工作曲线的斜率开始偏离, 即在选定条件下, 方法的线性范围为 0 ~ 14 μg/L。天然水体 Sb(V+III) 含量一般为 1 μg/L, 为验证本方法在低浓度范围分析的可靠性, 在 0 ~ 0.18 μg/L 范围内做工作

曲线(图 9), 斜率为 1 258.5, 不同天斜率的重现性基本一致, 说明本方法可以分析低浓度天然水样品。

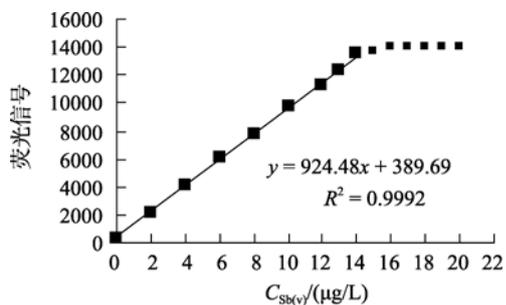


图 8 Sb(V)的线性范围

Fig. 8 The linearity range of Sb(V)

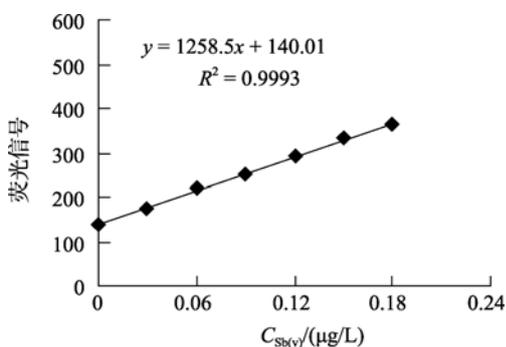


图 9 Sb(V)的低浓度工作曲线

Fig. 9 The standard curve for Sb(V) detection

2.1.2.5 不同介质对 Sb(V+III) 测定的影响

为了验证 Sb(V+III)的测定有无基质效应, 取黄河水和南海水按不同比例混合以模拟不同盐度的水

体, 并以此为介质做 Sb(V+III)的标准曲线, 各种介质中的斜率如表 1 所示。由表 1 可知, 不同介质中工作曲线的斜率与以 Milli-Q 为介质的斜率相比, 均在 5% 范围内变动, 因此, 用 Milli-Q 水做工作曲线对复杂的天然水样品是可行的。

2.1.2.6 天然水体中一些离子的干扰

水体中无机离子的干扰通常属于液相干扰, 即发生在水体中溶解态锑被还原成挥发性的 SbH₃ 前的干扰, 在本实验中, 考虑了 9 种无机离子, 包括 Fe²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, Mn²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, As³⁺, Se²⁺, Al³⁺等金属离子对 Sb 测定的干扰情况。实验中在 1 μg/L 的 Sb(V) 的溶液中分别加入 10 倍于海水中各金属离子的含量, 进行测定, 如表 2 所示, 加入干扰离子后测得的荧光信号值与未加干扰离子的荧光信号之比均小于 5%, 这一偏差在痕量分析所允许的误差范围内, 因此可认为它们对锑的原子荧光分析都不存在显著的干扰。

2.1.2.7 方法的回收率精密度与检出限

用原子荧光光度法对不同盐度的天然水体进行回收率实验, 结果如表 3 所示。对不同盐度的海水及河水测定的回收率在 93.7% ~ 105%之内, 说明氢化物发生-原子荧光光度法对 Sb(V+III)的测定有较好的结果。对质量浓度 0.3 μg/L 和 0.03 μg/L 的样品分析精密度分别为 2.0% 和 1.9%(n=9), 对空白平行进行 11 次测定, 得到本方法的检出限(3σ)为 0.024 μg/L。

表 1 不同介质中工作曲线的斜率

Tab. 1 The slope of Sb(V+III) in different medium

水样	Milli-Q	黄河水	S=5	S=10	S=15	S=20	S=25	S=30	南海水
斜率 K	931.6	960.5	960.6	948.9	925.3	952.7	953.1	957.7	935.1
K/K _{Milli-Q}	1.00	1.03	1.03	1.02	0.99	1.02	1.02	1.03	1.00

注: S:水的盐度; K:不同水体的标准曲线的斜率; K_{Milli-Q}:Milli-Q 的斜率, 下同

表 2 天然水体中一些无机离子对锑测定的影响

Tab. 2 The effect of various inorganic ions on the measurement of antimony

干扰离子	海水中的平均浓度(μg/kg)	Milli-Q 体系加入浓度(μg/kg)	回收率(%)
Ni ²⁺	0.500	5.00	95.1
Mn ²⁺	0.014	1.40	100.2
Fe ²⁺	0.055	1.55	96.2
Pb ²⁺	0.002	0.20	98.1
Zn ²⁺	0.400	4.00	95.5
Cd ²⁺	0.080	0.80	102.6
Se ⁴⁺	0.077	0.77	104.3
As ³⁺	1.700	17.00	99.7
Al ³⁺	0.540	5.40	98.3

表 3 Sb(V+III)的回收率实验
Tab. 3 The recovery of Sb(V+III)

水样	Sb(V+III) 质量浓度($\mu\text{g/L}$)	添加 Sb(V+III) 质量浓度($\mu\text{g/L}$)	测得 Sb(V+III) 质量浓度($\mu\text{g/L}$)	回收率(%)
黄河水	0.80	0.5	1.33	102.3
		3.0	3.96	104.2
		10.0	10.42	104.2
S=10	0.65	0.5	1.16	100.9
		1.0	1.71	103.6
		2.0	2.71	102.3
S=15	0.51	0.5	1.06	105.0
		2.0	2.61	104.0
		10.0	10.40	104.0
S=20	0.50	0.5	1.01	101.0
		1.0	1.54	102.7
		2.0	2.57	102.8
南海水	1.05	1.6	2.53	95.3
		2.0	3.15	103.3
		2.4	3.23	93.7

2.2 Sb(III)的测定

2.2.1 酸度的选择

不同的酸度条件下, Sb(III)和 Sb(V)的反应信号不同, 利用缓冲体系调节溶液的 pH, 使得在一定的酸度体系范围内, 将 Sb(V)和 Sb(III)有效地分离开来。如图 10 所示, 当 $\text{pH} > 3$ 时, Sb(V)的信号值极低, 能够和 Sb(III)有效分离。考虑到柠檬酸钠的缓冲能力, 本实验选择在 pH 为 4.0 ~ 4.5 时测定 Sb(III)。

2.2.2 辅助氢气流量的选择

当 $\text{pH} > 1$ 时, 由于酸度过低, 依靠氢化物发生反应生成的氢化物无法点燃火焰, 所以需加氢气辅助点火(图 11)。当辅助氢气流量过大时, 由于稀释了氢化物, 使得信号值下降, 而当氢气流量 $< 100 \text{ mL/min}$, 信号值低, 这是因为氢气流量低, 原子化不完全。因此本实验的选定的氢气流量为 100 mL/min 。

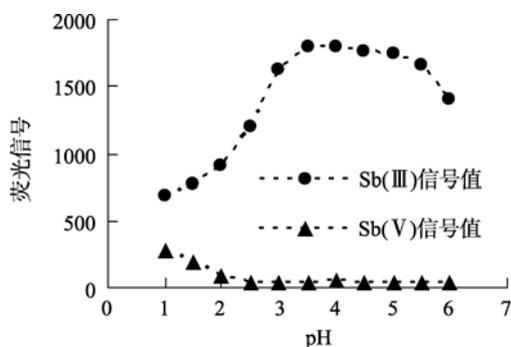


图 10 酸度的影响

Fig. 10 The effect of acid concentration on the intensity of fluorescence

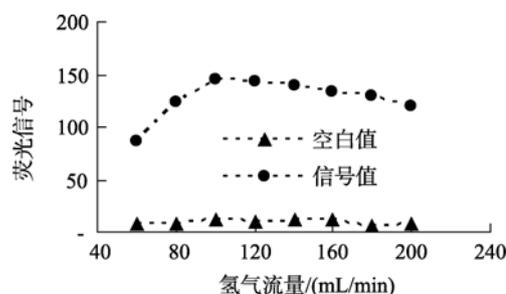


图 11 氢气流量的变化

Fig. 11 The effect of flux of H_2 on the intensity of fluorescence

2.2.3 Sb(III)分析的精密性、回收率和检出限

用原子荧光光度法对不同盐度的天然水体进行准确性回收率实验, 结果如表 4 所示。对不同盐度的海水及河水测定的回收率在 91.1% ~ 104% 之内。说明氢化物发生-原子荧光光度法对 Sb(III)的测定有较好的结果。对浓度 $0.04 \mu\text{g/L}$ 和 $0.01 \mu\text{g/L}$ 的样品分析精密性 3.8% 和 5.5% ($n=9$), 对空白平行进行 11 次测定, 得到本方法的检出限 (3σ) 为 $0.0013 \mu\text{g/L}$ 。

3 结论

建立了天然水中 Sb(V+III)和 Sb(III)的原子荧光光谱测定方法。方法的精密性良好。本实验采用差减法测定 Sb(V)。选择的最佳仪器条件为: 灯电流 60 mA , 负高压 -260 V , 原子化器的温度 $190 \text{ }^\circ\text{C}$ 和氩

表 4 Sb(III)在不同基体中的回收率

Tab. 4 The recovery of Sb(III)

样品	Sb(III)含量(μg/L)	添加 Sb(III)值(μg/L)	测得总量(μg/L)	回收率(%)
黄河水	0.05	0.03	0.08	100.0
		0.06	0.10	91.1
S=10	0.13	0.03	0.17	102.1
		0.06	0.20	101.5
S=20	0.11	0.03	0.14	102.9
		0.06	0.18	103.7
南海水	0.08	0.03	0.12	101.8
		0.06	0.14	96.8

气的载气流量 600 mL/min。Sb(V+III)在 1 mol/L HCl 介质中进行测定, 检出限为 0.024 μg/L, 线性范围为 0 ~ 14 μg/L, 对浓度 0.3 μg/L 和 0.03 μg/L 的样品分析精密度分别为 2.0% 和 1.9%(n=9), 方法的回收率 93.7% ~ 105%。Sb(III)是在柠檬酸和柠檬酸钠缓冲溶液中(pH 为 4.0 ~ 4.5), 辅以 100 mL/min 的氢气进行测定, 测得检出限为 0.0013 μg/L, 对浓度 0.04 μg/L 和 0.01 μg/L 的样品分析精密度 3.8% 和 5.5%(n=9), 方法的回收率 91.1% ~ 104%。二者在不同介质中工作曲线的斜率变动范围均小于 5%。该方法适合于天然水体中 Sb(V+III)和 Sb(III)的测定。

参考文献:

[1] 客绍英, 石洪凌, 刘冬莲. 锑的污染及其毒性效应和生物有效性[J]. 化学世界, 2005, 46(6): 382-384.

[2] 何孟常, 万红艳. 环境中锑的分布、存在形态及毒性和生物有效性[J]. 化学进展, 2004, 16(1): 131-135.

[3] Cutter G, Cutter L. Behavior of dissolved antimony, arsenic, and selenium in the Atlantic Ocean[J]. Marine Chemistry, 1995, 49(4): 295-306.

[4] Cutter G, Cutter L. Metalloids in the high latitude North Atlantic Ocean: Sources and internal cycling[J]. Marine Chemistry, 1998, 61(1-2): 25-36.

[5] Andreae M, Froelich P. Arsenic, antimony, and germanium biogeochemistry in the Baltic Sea[J]. Tellus. Series B, Chemical and physical meteorology, 1984, 36(2): 101-117.

[6] Cutter G. Dissolved arsenic and antimony in the Black Sea. Deep-sea research. Part A[J]. Oceanographic research papers, 1991, 38(2): 825-843.

[7] Filella M, Williams P, Belzile N. Antimony in the environment: knowns and unknowns[J]. Environ Chem,

2009, 6: 95-105.

[8] Filella M, Belzile N, Chen Y. Antimony in the environment: a review focused on natural waters I. Occurrence[J]. Earth Science Reviews, 2002, 57(1-2): 125-176.

[9] Ainsworth N, Cooke J., Johnson M. Distribution of antimony in contaminated grassland: 1—Vegetation and soils[J]. Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987), 1990, 65(1): 65.

[10] Krachler M, Emons H. Potential of high performance liquid chromatography coupled to flow injection hydride generation atomic absorption spectrometry for the speciation of inorganic and organic antimony compounds[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2000, 15(3): 281-285.

[11] Miravet R, López-Sánchez J, Rubio R. New considerations about the separation and quantification of antimony species by ion chromatography-hydride generation atomic fluorescence spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1052(1-2): 307-312.

[12] Müller K. Simultaneous determination of inorganic and organic antimony species by using anion exchange phases for HPLC-ICP-MS and their application to plant extracts of *Pteris vittata*[J]. Talanta, 2009, 78(3): 820-826.

[13] Cabon J, Louis Madec C. Determination of major antimony species in seawater by continuous flow injection hydride generation atomic absorption spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 504(2): 209-215.

Determination of major antimony species (Sb(V) and Sb(III)) in natural water by hydride generation atomic fluorescence spectrometry

WAN Yu-xia, REN Jing-ling

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Received: Feb., 9, 2010

Key words: Atomic fluorescence spectrometry; Sb(V); Sb(III); natural water

Abstract: A method for the determination of Sb (V+III) and Sb (III) by atomic fluorescence spectrometry (AFS) in natural water was established in this study. The optimal instrumental parameters were electric current, 60 mA; voltage, -260 V; temperature, 190 °C; and Ar flux, 600 mL/min. The method was based on the behavior of total antimony (Sb(V+III)) and antimony (III) under different acidic conditions. Total antimony was determined at 1 mol/L HCl; and antimony (III) was determined at pH =4.0~4.5. Under optimized conditions, the detection limit (3σ) for Sb (V+III) and Sb(III) were 0.024 $\mu\text{g/L}$ and 0.0013 $\mu\text{g/L}$, respectively. For total antimony, the precision for the sample of 0.3 $\mu\text{g/L}$ or 0.03 $\mu\text{g/L}$ was 1.95% or 1.92%, respectively ($n = 9$). The linearity was 0~14 $\mu\text{g/L}$. For antimony (III), the precision for the sample of 0.04 $\mu\text{g/L}$ or 0.01 $\mu\text{g/L}$ are 3.8% or 5.5%, respectively ($n = 9$). The recoveries for Sb(V+III) and Sb(III) are 93.7%~105% and 91.1%~104%, respectively. The method can be used directly to the determination of Sb (V+III) and Sb (III) in natural water.

(本文编辑: 康亦兼)

《海洋科学》杂志 2011 年征订启事

《海洋科学》是由中国科学院海洋研究所主办、科学出版社出版的学术性期刊，是中国自然科学核心期刊、华东地区优秀期刊、山东省优秀期刊。本刊以密切联系生产实际、服务于我国现代化建设为宗旨，及时、快速报道海洋学及其分支学科的新成果、新理论、新观点、新工艺及新进展等，对重大科研和应用性研究成果特别予以优先报道。主要刊载内容有：海洋生物、海洋水产生产、海洋活性物质提取、海洋环境保护、海洋物理、物理海洋、海洋地质、海洋化学、海洋工程、海洋仪器研制等方面的学术论文、研究报告、研究简报、专题综述、学术讨论和争鸣、学术动态以及新产品介绍（有偿刊登）等。

本刊为月刊，每月 9 日出版，大 16 开本，96 页，每期定价 30 元，全年定价 360 元。本刊国内外公开发行（国际刊号：ISSN1000-3096；国内刊号：CN37-1151/P；国内邮发代码：2-655；国外发行代号：M6666）。全国各地邮局均可订阅。欢迎各科研机构、高等院校、生产厂家和从事该领域研究的科技人员踊跃订阅。邮局订阅不便者可直接向本刊编辑部订购。本刊发行量在同类期刊中名列前茅，订户遍及全国 20 多个省、市、自治区，影响面广，宣传力大，欢迎广大的广告客户在本刊刊登广告，价格优惠。

欢迎订阅《海洋科学》 欢迎广告惠顾

《海洋科学》编辑部地址：山东省青岛市南海路 7 号，266071

电话及传真：0532-82898755

E-mail：pxzhang@qdio.ac.cn