

李黎, 郭冬发, 王娅楠, 等. 水载流原子荧光光谱法测定水系沉积物样品中 As 的方法研究与应用[J]. 世界核地质科学, 2025, 42(2): 414-422. doi: 10.3969/j.issn.1672-0636.2025.02.015

LI Li, GUO Dongfa, WANG Yanan, et al. Study and application on the method for determining arsenic in sediment samples using the water-carrier combined with atomic fluorescence spectrometry[J]. World Nuclear Geoscience, 2025, 42(2): 414-422 (in Chinese).

水载流原子荧光光谱法测定水系沉积物样品中 As 的方法研究与应用

李黎, 郭冬发, 王娅楠, 谢胜凯

核工业北京地质研究院, 北京 100029

摘要 准确测定水系沉积物中的 As 含量, 可以为地质找矿工作提供数据支撑。传统的 As 含量采用以稀酸作载流的原子荧光仪 (AFS) 进行测定, 研究了以水作载流的 AFS 对 As 含量测定的记忆效应和稳定性。同时通过该仪器分析了混合酸溶解和王水提取两种方法中 As 的流程空白和各种试剂 (HNO_3 、 HCl 、 HF 和 HClO_4) 的本底, 探讨了试剂本底对 As 测定结果的影响。结果表明: 水载流的 AFS 仪器记忆效应小、稳定性好, 并且仅需 30 s 即可完成单件样品的测试; 混合酸溶解法中 As 的全流程空白高于王水提取法, 试剂中 HF 的 As 本底最高, 导致标准物质测定值严重偏离推荐值, 并且结果不稳定。研究建立了王水提取结合水载流 AFS 分析的方法, 检出限为 $0.028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、正确度介于 $0.14\% \sim 4.0\%$ 之间, 精密度优于 3.4% , 适用于大批量样品的快速分析。

关键词 砷; 水系沉积物; 本底; 水载流; 原子荧光法

中图分类号 P618.64; O657.31; O613.63 文献标志码 A 文章编号 1672-0636 (2025) 02-0414-09

Study and application on the method for determining arsenic in sediment samples using the water-carrier combined with atomic fluorescence spectrometry

LI Li, GUO Dongfa, WANG Yanan, XIE Shengkai

Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China

Abstract: Accurately determining the arsenic (As) content in stream sediments can provide data for geological exploration. Traditional method for analyzing As is atomic fluorescence spectrometry (AFS) with diluted acid as the carrier, this study investigated the memory effect and stability of AFS using water as the carrier for As, analyzed the procedural blanks of As in two methods—mixed acids digestion and aqua regia extraction and the background of four reagents (HNO_3 , HCl , HF , HClO_4) with AFS, discussed the impact of reagent backgrounds on the results. The results indicate that the AFS using water carrier has low memory effect and superior stability, and it only takes 30 s to finish the analysis of a sample. The total procedural blank of As in the mixed acid dissolution is higher than that in the aqua regia extraction, and the background in HF is the highest among the reagents, leading to a significant deviation of the reference values from the recommended values. The study established a method combining aqua regia extraction with water

收稿日期: 2025-02-20 改回日期: 2025-03-16

第一作者: 李黎, 女, 1996年生, 工程师, 核地质分析。E-mail: 1787017280@qq.com

Received date: 2025-02-20 revised date: 2025-03-16

First author: LI Li, female, born in 1996, engineer, focusing on nuclear geological analysis. E-mail: 1787017280@qq.com

carrier AFS analysis, with a detection limit of $0.028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, accuracy from 0.14 % to 4.0 %, and precision better than 3.4 %, making it suitable for rapid analysis of a large number of samples.

Keywords: arsenic; stream sediment; background; water carrier; AFS

对水系沉积物中的砷(As)含量进行测试,不仅是一种高效的圈定找矿远景区的地球化学普查方法,也是区域化探的方法,在一定程度上对地质找矿工作具有指导意义^[1]。

原子荧光法(AFS)谱线简单、检出限低、操作简单和运行成本低,是检测As含量的常规方法^[2-4],此外还有X射线荧光法(XRF)^[5-7]和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)^[8]等。其样品前处理有王水提取法^[9-11]、混合酸溶解法^[12-14]和微波消解法^[15-17]等。由于As是亲硫元素,在水系沉积物中会与硫结合形成易溶于王水的硫化物^[18],因此,通常将王水提取法作为As测定的样品制备方法。也有文献采用混合酸溶解的方法,通过加入HF,使得样品中的硅酸盐得到充分溶解,从而获得As的结果,该方法也是水系沉积物中其他微量元素测定(ICP-MS)的前处理方法。微波消解法每次处理的样品数量有限,并不适用于大批量生产样品的分析。

前处理方法的全流程空白、选用的试剂中待测元素的本底和仪器的测试条件,均会影响测试结果。因此,本文基于水作载流进样的AFS仪器,研究该种进样方式对As含量测定的记忆效应和稳定性,判断水对管路中As残留的清洗效果。同时探讨采用混合酸溶解法和王水提取法处理的流程空白及其对测试结果的影响,优选出低本底、高准确度的快速测量方式,使之适用于样品的批量分析。

1 实验部分

1.1 主要仪器

所用仪器(图1)为CAF18-YG201型非色散原子荧光光度计(伯侨(重庆)重金属科学技术研究院有限公司),该仪器采用以水作载流进样的方式,单件样品测试时间为30 s,配备自动进样器,可以实现大批量样品的测试,其主要工作参数见表1。



图1 CAF18-YG201型原子荧光仪

Fig.1 Atomic fluorescence spectrometer(CAF18-YG201)

表1 仪器主要工作参数

Table 1 Main parameters of the instrument

项目	参数	项目	参数
取样时间/s	4	载带气/($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	1 000
换插时间/s	3	屏蔽气/($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	500
读数时间/s	8	灯电流/mA	30
原子化器高度/mm	10	负高压/V	240

1.2 标准溶液和试剂

二次去离子水:电阻率大于 $18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 。

5% 硫脲与 5% 抗坏血酸混合溶液:分别称取 5 g 硫脲与 5 g 抗坏血酸于 100 mL 二次去离子水中溶解。

10% HCl 溶液:移取 10 mL 浓 HCl,用二次去离子水稀释至 100 mL。

0.5% KOH+1% KBH_4 混合溶液:分别称取 1.4 g KBH_4 与 0.7 g KOH 于 100 mL 二次去离子水中溶解,该溶液现配现用。

(1+1)王水溶液:分别移取 75 mL 盐酸与 25 mL 硝酸混匀,加入 100 mL 二次去离子水。

As 单元素标准曲线:首先将浓度为 $1\ 000 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 As 单元素溶液标准物质 (GBW 08611),配制成浓度为 $100 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的标准储备液,介质为 3% 的 HNO_3 ;然后分别移取 0.0、0.25、0.5、1、2 和 4 mL 标准储备液 ($100 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$) 于 50 mL 容量瓶中,各加入 5 mL 浓 HCl、5 mL 5% 硫脲与 5% 的抗坏血酸混合溶液,用二次去离子水定容至刻度,对应的标准溶液浓度分别为 0.0、0.5、1.0、2.0、4.0 和 $8.0 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

实验所用的盐酸、硝酸、氢氟酸和高氯酸均购自天津市天研化学试剂科技有限公司,其中硝酸和氢氟酸经亚沸纯化后使用。

1.3 实验方法

混合酸溶解法:准确称取 50 mg (精确至 0.1 mg) 样品于聚四氟乙烯溶样罐中,加入 2 mL 硝酸、2 mL 盐酸、1 mL 氢氟酸、1 mL 高氯酸置于 $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 的电热板上密闭加热至样品完全溶解,开盖赶酸至白烟冒尽后加入 1 mL 硝酸复溶样品, $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 加热 4 h 后转移至 50 mL 容量瓶中定容待测。

王水提取法:准确称取 0.2 g 样品 (精确至 0.1 mg) 置于 25 mL 具塞比色管中,加入 10 mL (1+1) 王水,盖盖于 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 水浴锅中加热 2 h 后取出,期间摇匀 2-3 次,取下冷却至室温,加入二次去离子水定容至 25 mL,摇匀静置澄清后取 2 mL 上清液,加入 1 mL 5% 硫脲与 5% 抗坏血酸、1 mL 10% HCl 盐酸,定容至 10 mL 后待测。

测试时,0.5% KOH+1% KBH_4 混合溶液与样品溶液同时进入仪器中。

2 结果与讨论

2.1 标准曲线

采用 AFS 依次测定 0.0、0.5、1.0、2.0、4.0 和 $8.0 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度的 As 标准溶液,以浓度值为横坐标、测试三次的强度平均值为纵坐标拟合曲线,线性相关系数为 0.999 97,如表 2 所示。

表 2 As 标准曲线

Table 2 The correlation curve of standard concentration to fluorescence intensity average for As

工作曲线	标准浓度 / ($\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$)	荧光强度均值 / (A)
<p>As 标准曲线</p> <p>$y=325.33x-112.54$ $R^2=0.99997$</p> <p>线性相关系数 $R^2=0.999\ 97$</p>	0.0	40.0
	0.5	61.2
	1.0	211
	2.0	530
	4.0	1183
	8.0	2495
	线性方程: $y=325.33x-112.54$	

2.2 仪器的记忆效应

传统的 AFS 以稀酸为载流,目的是清洗管路中的样品残留,降低记忆效应。本文采用二

次去离子水作载流,通过蠕动泵进样,交叉测试标准曲线最高浓度点 ($8 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的 As 标准溶液与空白,判断水载流的记忆效应。表 3 的

结果表明:不存在低浓度溶液受到高浓度溶液污染的现象,即以水为载流的方式能有效洗净管路中残留的样品,将管路中的 As 控制在本地

水平,对 As 测量的记忆效应可以忽略。传统的稀酸进样方式,酸用量大^[19-20],而采用水载流,在降低酸耗的同时更为环保。

表 3 As 的记忆效应

Table 3 The memory effect of As

样品	荧光强度净值/A	荧光强度净值/A	荧光强度净值/A	荧光强度净值/A	荧光强度净值/A
As 标准溶液/ (8 ng·mL ⁻¹)	2 463	2 469	2 393	2 463	2 425
空白	7.2	6.3	0.8	7.0	2.2

2.3 仪器的稳定性

对仪器的稳定性开展研究,具体方法为:每隔一天测试同一组标准曲线,总共测试了 6 次,根据标准溶液的强度波动来判断仪器的稳

定性。由表 4 可见,同一浓度的标准溶液强度在所测周期内的变化较小,由于浓度差异,相对标准偏差(RSD)在 0.8 %~5.6 % 范围内波动,满足实际测试要求。

表 4 仪器稳定性

Table 4 The short-term stability for AFS

浓度/ (ng·mL ⁻¹)	原子荧光强度/A						RSD/%
0.5	61.2	61.2	63.0	63.0	67.0	67.0	4.2
1	211	187	211	197	197	187	5.6
2	501	489	501	501	489	501	1.2
4	1 183	1 169	1 183	1 147	1 147	1 169	1.4
8	2 495	2 500	2 495	2 457	2 457	2 501	0.8

2.4 不同方法的流程空白和各试剂本底对结果的影响

2.4.1 混合酸溶解法

采用混合酸(HNO₃、HCl、HF 和 HClO₄)溶解的方法分别制备全流程空白溶液和水系沉积物国家标准物质 GBW07378、GBW07381 和 GBW07384 溶液各 5 份。

混合酸溶解法的结果见表 5,3 种沉积物标准物质的测定值均超出推荐值不确定度范围,严重偏离推荐值。而由表 6 可知,混酸溶解法

制备的全流程空白中 As 的本底高且不稳定,根据标准曲线计算得到本底在 2.0~8.2 ng·mL⁻¹ 范围内波动,最高值已超出标准曲线。

为了核实该法全流程空白本底异常的原因,分别移取 4 种浓酸 0.2 mL 稀释至 10 mL,测试了 4 种酸的 As 本底。表 7 的结果显示在 4 种酸中,HF 的本底最高,另外 3 种酸的本底接近空白,可忽略不计。综上所述,HF 是导致全流程空白高的原因,从而影响了该法对 As 测试的准确性。

表 5 混酸消解-标准物质中的 As 测定结果

Table 5 Results of As in the references using mixed acid digestion

标准物质	测定值/ (μg·g ⁻¹)	推荐值/ (μg·g ⁻¹)	标准物质	测定值/ (μg·g ⁻¹)	推荐值/ (μg·g ⁻¹)	标准物质	测定值/ (μg·g ⁻¹)	推荐值/ (μg·g ⁻¹)
GBW07378	14.3	11±0.6	GBW07384	37.2	3.5±0.3	GBW07381	24.3	14.8±0.6
	11.9			13.9			29.5	
	28.1			15.1			26.2	
	15.9			11.2			25	
	21.7			8.83			18.9	

表 6 混酸消解全流程空白中的 As 本底

Table 6 Background value of As in the blank value of the entire process of mixed acid digestion

项目	荧光强度净值/A	对应浓度/ (ng·mL ⁻¹)
全流程空白 1	2 227	7.2
全流程空白 2	526	2.0
全流程空白 3	807	2.8
全流程空白 4	787	2.8
全流程空白 5	2564	8.2

表 7 各试剂中的 As 本底

Table 7 Background value of As in reagents

项目	荧光强度净值/A	对应浓度/ (ng·mL ⁻¹)
HNO ₃	3.7	0.36
HCl	4.2	0.36
HF	4877	15.3
HClO ₄	4.8	0.36

2.4.2 王水提取法

王水提取法处理水系沉积物中的 As 是比较成熟的方法,同样采用新型的水载流 AFS 仪器对该法的全流程本底和国家标准物质进行测定。结果表明:相比于混合酸溶解法,该法全流程空白较低,As 本底稳定,以全流程空白的 3 倍标准偏差计算出方法的检出限为

0.026 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,如表 8 所示。标准物质的测定值与推荐值相吻合,用二者的相对误差(RE)^[21]来表示正确度,介于 0.14%~4.0%之间。用重复测量的相对标准偏差来表示精密度,介于 2.8%~3.4%之间,如表 9 所示。即使是 As 含量较高的 GBW07366,测定值也在推荐值不确定度范围内。

表 8 王水提取法 As 本底

Table 8 Background value of As in aqua regia extraction method

样品	对应浓度/ (ng·mL ⁻¹)	方法检出限/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
全流程空白 1	0.37	0.026
全流程空白 2	0.37	
全流程空白 3	0.35	
全流程空白 4	0.37	
全流程空白 5	0.39	
全流程空白 6	0.35	
全流程空白 7	0.35	

表 9 王水提取法-标准物质中 As 的 AFS 测定结果

Table 9 Results of As in the references using aqua regia

标准物质	测定值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	推荐值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	正确度 (RE) /%	精密度 (RSD) /%	标准物质	测定值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	推荐值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	正确度 (RE) /%	精密度 (RSD) /%
GBW07378	11.1	11±0.6	0.14	2.8	GBW07384	3.4	3.5±0.3	0.74	3.4
	10.9					3.7			
	11.0					3.6			
	10.6					3.7			
	11.6					3.5			

表 9 (续)

标准物质	测定值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	推荐值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	正确度 (RE) /%	精密度 (RSD) /%	标准物质	测定值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	推荐值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	正确度 (RE) /%	精密度 (RSD) /%
	10.8					3.3			
	11.2					3.5			
	10.6					3.5			
	11.2					3.5			
	10.9					3.6			
GBW07381	15.0	14.8±0.6	0.32	2.8	GBW07366	308	304±20	4.0	3.1
	15.0					287			
	14.7					285			
	14.8					299			
	15.5					283			
	14.0					286			
	15.0					284			
	14.3					300			
	15.3					300			
	14.8					285			

2.5 方法应用

将建立的王水提取结合水载流 AFS 的方法用于测定水系沉积物实际样品, 样品两次分析结果重现性好, 如图 2 所示。在实际样品分析的过程中, 除了重复样品, 会插入一定比例的空白样

品和标准物质, 对测试结果进行质量控制。本文收集实验室部分全流程空白和标准物质的结果, 绘制图 3 和 4, 结果表明: 方法的流程本底可控制在 $0.30\sim 0.60\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间, GBW07378 的测定值也在推荐值不确定度范围内。

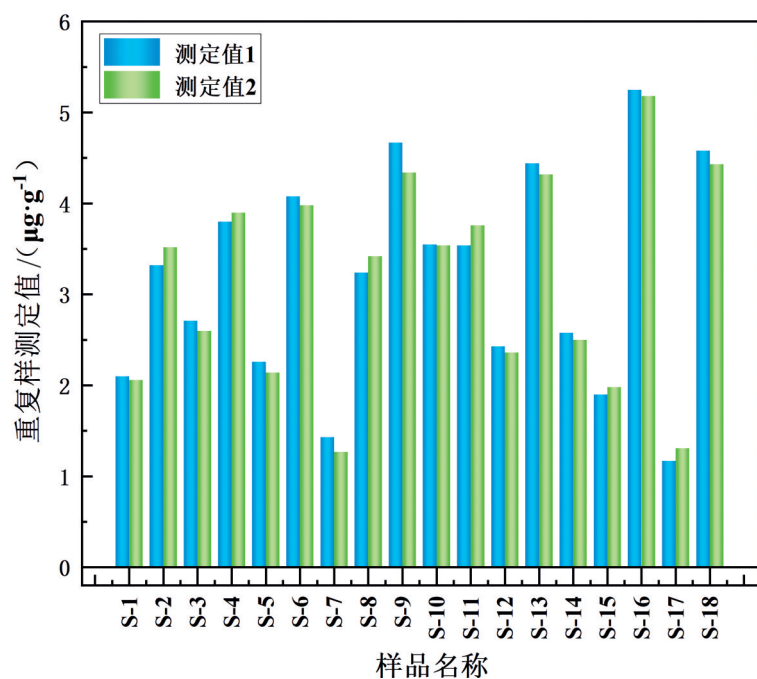


图 2 实际样品重复分析结果

Fig. 2 Repeated analytical results of actual samples

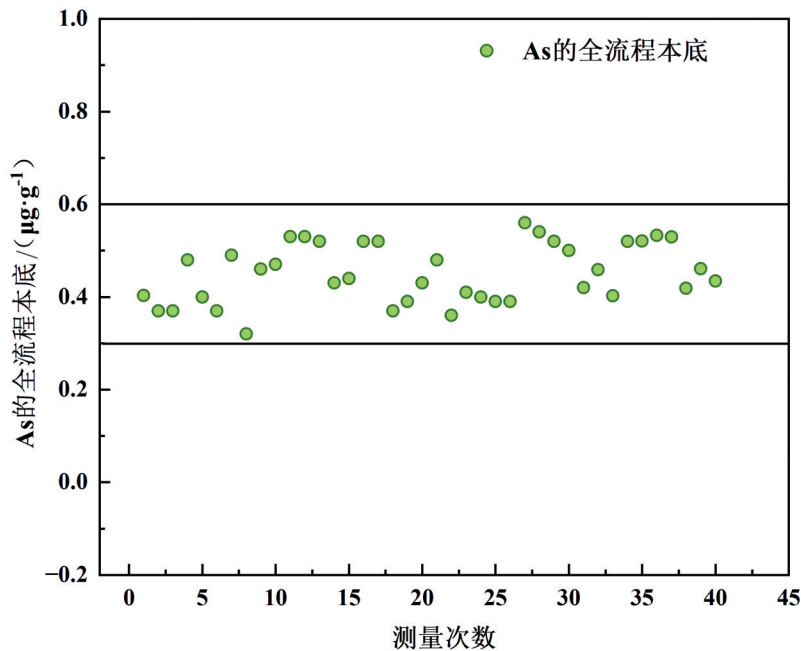


图3 As的长期测试全流程本底

Fig.3 The entire process background value of As for long-term analysis

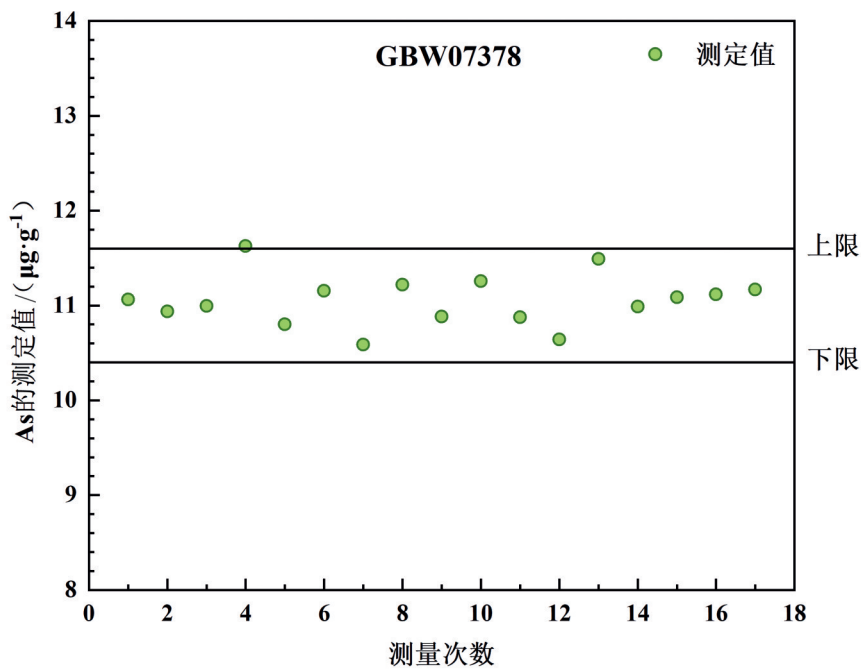


图4 GBW07378的长期监测结果

Fig. 4 Long term monitoring results of GBW07378

3 结论

1) 在As的前处理过程中需避免使用未经纯化的HF,其较高的As本底会导致测试结果异常。若必须使用,需对其本底进行监控。

2) 用水替代稀酸作载流的AFS仪器,单件

样品分析时间仅为30s,在测试了含量高的As样品后,在短时间内能有效清洗管路中的As残留,将As控制在较低本底水平,避免记忆效应对后续测量结果的影响,保证结果的准确性,减少试剂消耗。

3) 建立的王水提取与水载流AFS结合的

方法,其检出限为 $0.028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。经水系沉积物国家标准物质验证,正确度介于 $0.14\% \sim 4.0\%$ 之间,精密度优于 3.4% 。水载流AFS仪器对实际样品分析的重现性好,并且配备了自动进样器,适用于大批量样品的快速分析。

致谢:感谢伯侨(重庆)重金属科学技术研究院有限公司提供原子荧光仪。

参考文献

- 1 杨艳明.电感耦合等离子体质谱法测定水系沉积物中银铜砷锑铋镉[J].冶金分析,2019,39(7):58-64.
YANG Yanming. Determination of silver, copper, arsenic, antimony, bismuth and cadmium in stream sediment by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2019, 39(7): 58-64(in Chinese).
- 2 李刚,胡斯宪,陈琳玲.原子荧光光谱分析技术的创新与发展[J].岩矿测试,2013,32(3):358-376.
LI Gang, HU Sixian, CHEN Linling. Innovation and development for atomic fluorescence spectrometry analysis[J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(3):358-376(in Chinese).
- 3 申玉民,罗治定,郭小彪,等.泡塑分离富集-火焰原子荧光光谱法测定地球化学样品中的痕量金[J].岩矿测试,2020,39(1):127-134.
SHEN Yumin, LUO Zhiding, GUO Xiaobiao, et al. Determination of trace gold in geochemical samples by flame atomic fluorescence spectrometry with pufp separation and enrichment[J]. Rock and Mineral Analysis, 2020, 39(1):127-134(in Chinese).
- 4 赵小学,成永霞,王玲玲,等.盐酸溶样-原子荧光光谱法测定土壤和沉积物中的砷[J].理化检验(化学分册),2016,52(6):709-711.
ZHAO Xiaoxue, CHENG Yongxia, WANG Lingling, et al. Determination of arsenic in soil and sediment by Hydrochloric acid digestion-atomic fluorescence spectrometry[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B:Chemical Analysis), 2016, 52(6): 709-711(in Chinese).
- 5 杨桂兰,倪晓芳,唐晓勇.便携式X射线荧光光谱法结合支持向量回归算法定量分析土壤中的砷含量[J].中国无机分析化学,2023,13(6):530-535.
YANG Guilian, NI Xiaofang, TANG Xiaoyong. Quantitative analysis of arsenic in soil by portable fluorescence spectrometry combined with support vector machine regression[J]. China Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(6): 530-535(in Chinese).
- 6 黄河清,王露,杨桂兰,等.便携式X射线荧光光谱法快速测定化肥中砷、镉、铅、铬、汞[J].中国无机分析化学,2022,12(4):28-33.
HUANG Heqing, WANG Lu, YANG Guilian, et al. Rapid determination of As, Cd, Pb, Cr, Hg in chemical fertilizer by portable x-ray fluorescence spectrometry[J]. China Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(4):28-33(in Chinese).
- 7 张宏亮,曹嘉浏,冯永新,等.能量色散X射线荧光光谱法快速测定固体生物质中砷的含量[J].理化检验-化学分册,2023,59(9):1053-1056.
ZHANG Hongliang, CAO Jialie, FENG Yongxin, et al. Rapid determination of arsenic content in solid biomass by energy dispersive x-ray fluorescence spectrometry[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B:Chemical Analysis), 2023, 59(9): 1053-1056(in Chinese).
- 8 张廷忠,何建华.电感耦合等离子体质谱法快速测定岩石、土壤中的砷、锑、铋、汞[J].世界有色金属,2017,(7):118-119.
ZHANG Tingzhong, HE Jianhua. Rapid determination of As, Sb, Bi and Hg in rocks and soils by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. World Nonferrous Metals, 2017, (7):118-119(in Chinese).
- 9 荣耀,贺攀红,杨珍,等.水载流-原子荧光光谱法同时测定土壤中痕量砷、汞[J].中国无机分析化学,2021,11(1):1-6.
RONG Yao, HE Panhong, YANG Zhen, et al. Simultaneous determination of trace arsenic and mercury in soil by atomic fluorescence spectrometry with water as carrier[J]. China Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(1):1-6(in Chinese).
- 10 李日升,郭跃安,孙冬娥,等.化学蒸气发生-多通道原子荧光光谱法同时测定化探样品中的砷、锑、铋、汞[J].理化检验(化学分册),2014,50(5):569-571(in Chinese).
LI Risheng, GUO Yuean, SUN Donge, et al. Simultaneous determination of As, Sb, Bi and Hg in geological samples by Hg-multi-channel-AFS[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B:Chemical Analysis), 2014, 50(5):569-571.
- 11 吴峥,熊英,王龙山.自制氢化物发生系统与电感

- 耦合等离子体发射光谱法联用测定土壤和水系沉积物中的砷锑铋[J]. 岩矿测试, 2015, 34(5): 533-538.
- WU Zheng, XIONG Ying, WANG Longshan. Determination of As, Sb and Bi in soil and stream sediment by a self-developed hydride generation system coupled with inductively coupled plasma-optical emission spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34(5): 533-538(in Chinese).
- 12 王娅楠, 龚治湘, 刘瑞萍, 等. 以水作载流的氢化物发生原子荧光光谱法测定畜禽养殖场土壤中的砷[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(1): 26-34.
- WANG Yanan, GONG Zhixiang, LIU Ruiping, et al. Determination of arsenic in the soil of livestock and poultry farms by water carrier-hydride generation atomic fluorescence spectrometry[J]. China Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(1): 26-34(in Chinese).
- 13 郭敬华, 马辉, 王水锋. 原子荧光光谱法测定土壤和水系沉积物国家标准物质中砷[J]. 岩矿测试, 2009, 28(2): 182-184.
- GUO Jinghua, MA Hui, WANG Shuifeng. Determination of arsenic in national standard reference soil and stream sediment samples by atomic fluorescence spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(2): 182-184(in Chinese).
- 14 王云凤, 王江鱼. 四种酸体系溶样法对电感耦合等离子体质谱法测定水系沉积物中 16 种金属元素的影响[J]. 冶金分析, 2016, 36(7): 63-68.
- WANG Yunfeng, WANG Jiangyu. Influence of four sample solution method with acid system on determination of sixteen metal elements in stream sediment by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2016, 36(7): 63-68(in Chinese).
- 15 郑智慷, 王家松, 曾江萍, 等. 微波消解-原子荧光光谱法测定化探样品中的砷和锑[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(4): 263-266.
- ZHENG Zhikang, WANG Jiasong, ZENG Jiangping, et al. Determination of arsenic and antimony in geochemical samples by microwave digestion-atomic fluorescence spectrometry[J]. Geological Survey and Research, 2019, 42(4): 263-266(in Chinese).
- 16 任占军, 郝贵奇, 尹长田, 等. 微波消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定污泥中汞和砷[J]. 冶金分析, 2014, 34(3): 52-56.
- REN Zhanjun, HAO Guiqi, YIN Changtian, et al. Determination of mercury and arsenic in sludge by microwave digestion-hydride generation atomic fluorescence spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2014, 34(3): 52-56(in Chinese).
- 17 吴永盛, 徐金龙, 庄姜云, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法同时测定土壤中 8 种重金属元素[J]. 中国无机分析化学, 2017, 7(4): 16-20.
- WU Yongsheng, XU Jinlong, ZHUANG Jiangyun, et al. Simultaneous determination of eight heavy metals in soil by microwave digestion-ICP-MS[J]. China Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2017, 7(4): 16-20(in Chinese).
- 18 孟郁苗, 胡瑞忠, 高剑峰, 等. 锑的地球化学行为以及锑同位素研究进展[J]. 岩矿测试, 2016, 35(4): 339-348.
- MENG Yumiao, HU Ruizhong, GAO Jianfeng, et al. Research on Sb geochemistry and Sb isotopes [J]. Rock and Mineral Analysis, 2016, 35(4): 339-348(in Chinese).
- 19 杨珍, 贺攀红, 杨有泽, 等. 以水为载体-原子荧光光谱法测定大米中的痕量砷、汞[J]. 理化检验(化学分册), 2020, 56(9): 989-993.
- YANG Zhen, HE Panhong, YANG Youze, et al. Determination of trace arsenic and mercury in rice by water carrier atomic fluorescence spectrometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2020, 56(9): 989-993(in Chinese).
- 20 杨有泽, 杨珍, 贺攀红, 等. 盐酸振荡浸取-原子荧光光谱法测定大米中的痕量镉[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 1107-1112.
- YANG Youze, YANG Zhen, HE Panhong, et al. Determination of trace cadmium in rice by atomic fluorescence spectrometry with hydrochloric acid oscillation extraction[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(3): 1107-1112(in Chinese).
- 21 全国国土资源标准化技术委员会地质矿产实验测试分技术委员会. 地质矿产实验室测试质量管理规范 DZ/T 0130—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 27-44.
- Subcommittee on Geological and Mineral Experiment Testing of National Technical Committee on Land and Resources of Standardization Administration of China. The specification of testing quality management for geological laboratories: DZ/T 0130—2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006: 27-44(in Chinese).