

封闭酸溶—泡塑富集火焰原子吸收光谱法测定矿石中金

邵坤, 范建雄, 郑浩, 余浩

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 这是一篇矿物分析领域的论文。试样焙烧后采用 50% 王水水浴封闭溶样, 用 0.25 g 泡塑振荡富集样品中的金, 泡塑用水冲洗去除矿渣和酸后, 采用 1% 硫脲对金进行热解脱, 建立了封闭酸溶—泡塑富集火焰原子吸收光谱法测定矿石中金的方法。实验讨论了部分含金矿石样品的焙烧处理方法; 考查了封闭溶样时间、泡塑前处理方法、富集温度、测定液温度等影响因素, 结果表明: 封闭酸溶时间为 2 h, 可满足常见含金矿石样品中金的分解, 泡塑经 5% HCl 处理后, 在室温下对金的富集回收率达到了 95% 以上, 测定过程中应确保测定液温度、标准溶液温度与室温相一致。金标准溶液按照实验方法进行富集与解脱处理制备而成。在选定的实验条件下, 方法检出限为 0.13 $\mu\text{g/g}$, 定量限为 0.43 $\mu\text{g/g}$, 测定上限为 80 $\mu\text{g/g}$ 。方法加标回收率为 98.7%~101%, 精密性 (RSD, $n=5$) 为 1.10%~2.07%。应用本方法对含金矿石标准物质及标准参考样品中的金进行测定, 测定值与认定值基本一致。

关键词: 矿物分析; 封闭溶样; 泡沫塑料; 火焰原子吸收光谱法; 矿石; 金

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.04.028

中图分类号: TD982;P575 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 04-0182-06

金作为存在于自然界中的稀有矿产资源, 一般具有以下特点^[1-2]: ①含量极低, 金在地壳中丰度值仅为 1 ng/g, 原生金矿工业边界品位仅为 1 g/t; ②分布不均, 金的延展性好, 其破碎速度落后于脉石, 很难制得具有代表性的均匀试样; ③含硫量高, 常与铜、铅、锌、铁、锑、砷等硫化矿物密切共生; ④含碳量高, 碳质及其他有机质对金有极强的吸附能力; ⑤化学性质稳定, 不溶于一般的酸和碱。由此可见, 在测定矿石中金的含量时, 样品的代表性、合适的分解及分离富集条件是影响结果准确度的关键。

金矿石的分解方法主要有干法和湿法两种。干法主要是火试金法, 该方法对于各种类型样品的适应能力强、取样代表性好、稳定可靠, 但是存在操作繁琐、成本高、污染大、空白高等弊端^[3]。湿法最常见的是王水溶样法, 该方法为电热板开放式溶样, 主要存在王水挥发快且会产生大量氮氧化物等问题。另外, 由于电热板表面温度不均, 通常中间温度高于四周, 容易出现中间样品

飞溅、蒸干, 而四周样品未溶好的现象^[4-5]。封闭溶样法是利用溶剂在密闭空间中升温增压来消解试样, 它是一种特殊的湿法溶样方法, 相比于电热板敞式溶样, 该方法能够消除王水对环境的污染, 且温度恒定均匀, 酸度易于控制, 单一批次样品溶解数量达近百件, 大大节约了生产和人力成本, 提高了工作效率^[6-7]。

金的分离富集方法主要有沉淀与共沉淀、离子交换、溶剂萃取、活性炭吸附、聚氨酯泡沫塑料 (简称泡塑) 吸附及螯合树脂吸附等, 其中活性炭吸附和泡塑吸附是地质实验室最常见的分离富集方法^[1]。活性炭的吸附酸度范围宽 (1~30% 王水或 1~3 mol/L 盐酸溶液)、吸附容量高, 但是操作较繁琐、流程长, 工作效率相对较低^[8]。泡塑相对于活性炭的吸附酸度范围窄 (10%~20% 王水溶液), 但是操作简便快速, 结果能够满足地质实验测试质量要求, 更适用于实际生产^[9-10]。

本文研究了封闭酸溶法对含金矿石样品中金的分解效果, 以及泡塑对金的富集效果, 建立了

收稿日期: 2021-11-02; 修回日期: 2021-12-18

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (DD20221809); 四川省科技计划项目 (2023YFQ0062)

作者简介: 邵坤 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩矿测试工作。

封闭酸溶-泡塑富集火焰原子吸收光谱法测定矿石中金的方法，取得了较满意的效果。

1 实验部分

1.1 仪器及工作条件

iCE 3500 型火焰原子吸收光谱仪，仪器工作条件：灯电流 5 mA，波长 242.8 nm，空气-乙炔火焰，空气压力 0.15 MPa，乙炔气流量 0.9 L/min，燃烧器高度 7 mm，光谱通带 0.5 nm，雾化提升时间 4 s；金空心阴极灯。

封闭式溶样水浴锅（自制，带盖，带溶样托盘）；HY-8A 调速多用振荡器；SHA-C 数显水浴恒温振荡器；DZKW-S-6 电热恒温水浴锅。

1.2 材料与试剂

泡塑预处理：市售聚氨酯泡沫塑料除边皮，剪成 2 cm×2 cm×2 cm 的小块（约 0.25 g），置于 5% HCl 溶液中浸泡过夜，然后用去离子水洗至中性，挤干后备用。

聚乙烯溶样瓶（V：250 mL）。

金元素标准储备溶液（ $\rho=1000 \mu\text{g/mL}$ ，国家有色金属及电子材料分析测试中心）；金元素标准工作溶液：由储备液稀释配制而成（ $\rho=25 \mu\text{g/mL}$ ），介质为 5% 王水溶液。

1% 硫脲溶液：现配现用；盐酸、硝酸均为分析纯；实验用水为去离子水。

1.3 实验方法

称取 10 g（精确到 0.01 g）试样，平铺于方形瓷舟中，从低温逐渐升至 650~700 °C，保温 2 h，取出冷却。倒入聚乙烯溶样瓶中，用少量水润湿，加入 40 mL 新配制的 50% 王水溶液，拧紧瓶盖，摇匀，摆放在溶样托盘中。将托盘放入封闭溶样水浴锅中，盖上锅盖，煮沸 2 h，取出冷却至室温。加入 80~100 mL 去离子水，摇匀，加入一

块泡塑，用玻棒按压使其充分浸于溶液中，于振荡器上以 150 r/min 振荡 60 min。取出泡塑，洗去矿渣和酸，挤干水分，放入预先盛有 25 mL 1% 硫脲溶液的比色管中，排出气泡后置于沸水浴中保持 20 min，用玻棒多次挤压泡塑，趁热取出，试液冷却至室温。根据金的实际含量确定合适的定容体积或分取体积，同标准溶液系列一起采用火焰原子吸收光谱法测定金的含量。随同做空白试验。

1.4 标准溶液系列

移取 0、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00、6.00 mL 金标准工作溶液于聚乙烯溶样瓶中，各加入 30 mL 15% 王水溶液，拧紧瓶盖，放入封闭式溶样水浴锅中煮沸 20 min，取出冷却至室温。加入一块泡塑，用玻棒按压使其充分浸于溶液中，以下按照 1.3 节实验方法进行分离富集和解脱操作。此标准系列中金的质量浓度分别为 0、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00、6.00 $\mu\text{g/mL}$ 。在选定的仪器工作条件下，在火焰原子吸收光谱仪上测定金的吸光度，由软件自动绘制金的校准曲线。

2 结果与讨论

2.1 试样焙烧处理

金矿样在分解前通常要经过焙烧来去除挥发性干扰（如硫、碳、砷、锑、汞、硒等），尤其是对于含大量硫化物、有机质的试样，不经过焙烧，直接采用王水分解时，不能将硫和有机质全部氧化，部分析出的新生态单体硫会吸附和包裹金，碳质和有机质同样会吸附金，造成分析结果偏低^[1]。然而，对于某些特殊试样，直接采用焙烧除干扰却有困难，需要特殊处理，本文总结了部分特殊试样的处理方法^[11-13]，见表 1。

表 1 部分特殊含金矿样的焙烧处理方法

Table 1 Method of roasting treatment for some special gold ore samples

矿石类型	存在问题	解决方法
高砷矿石	高于 600 °C，砷与金易形成低沸点的 As-Au 合金而挥发	400 °C 保温 2 h，砷充分氧化挥发，再 650 °C 焙烧
高锑矿石	易烧结成块，不易分解，锑易水解，干扰富集	样品与氯化铵（锑量 3 倍）混合焙烧除锑
方铅矿、铅精矿	硫化铅中硫难以用焙烧法去除，分解时易析出硫磺包裹金	浓硝酸和逆王水消除硫和氯化铅干扰，或采用火试金富集
黄铁矿、毒砂	焙烧后形成高价氧化铁包裹金，不易分解	先用浓盐酸分解氧化铁，再用王水分解金
钼精矿、钨精矿	焙烧后不易分解，酸溶时形成钨酸、钼酸胶状物，干扰富集和解脱	热氨水除钨、钼，残渣用王水分解
矽卡岩样品	含大量可溶性硅酸盐，酸溶后析出大量硅酸，干扰富集	样品与氟化氢铵或氟化铵混合焙烧除硅
石英包裹样品	金被石英包裹不易溶出	焙烧后冷淬，或加入氟化物破坏石英包裹体，再用王水分解

2.2 溶样时间的优化

选用 5 件不同类型的金矿石国家一级标准物质为试验对象（GAu-17、GAu-18、GAu-19、GAu-20 和 GAu-22），各称取 4 份。设定封闭溶样时间分别为 0.5、1、2、3 h，按照 1.3 节实验方法操作，结果见图 1。由图 1 可见，当封闭溶样时间不高于 1 h 时，部分样品中金的富集回收率偏低，当溶样时间达到 2 h 时，5 件样品中金的富集回收率均达到了 95% 以上。通过在日常例行分析中观察，封闭溶样 2 h 基本能够满足常见含金矿石样品中金的分解，本试验确定的溶样时间为 2 h。

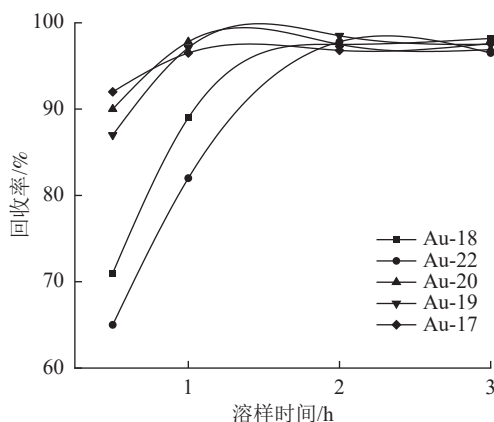


图 1 溶样时间对金回收率的影响

Fig.1 Effect of sealed dissolution time for gold recovery

2.3 泡塑前处理方法对比

将重约 0.25 g 的泡塑分别采用水、5% 盐酸、5% 氢氧化钠溶液浸泡过夜，然后用水洗至中性，挤干水分备用。于三组聚乙烯溶样瓶中分别加入含金 100、200、300、400、500、800 μg 的标准溶液，然后各加入 30 mL 15% 王水溶液，在封闭溶样水浴锅中煮沸 20 min，取出冷却至室温。于三组溶样瓶中分别对应加入三种预处理后的泡塑，按照 1.3 节实验方法进行富集与解脱操作，在火焰原子吸收光谱仪上测定金的含量，结果见图 2。

由图 2 可见，采用水处理过的泡塑在金量 500 μg 以下获得了较好的回收率，而采用 5% 盐酸和 5% 氢氧化钠处理过的泡塑在金量达 800 μg 时依然可以获得较好的回收率。但在试验过程中发现 5% 氢氧化钠处理过的泡塑强度较低、韧性较差、不耐揉搓，为避免在富集和解脱过程中造成金的损失，本实验确定采用 5% HCl 来处理泡塑。

2.4 富集温度

于五组聚乙烯溶样瓶中分别加入含金 100、200、300、400、500 μg 的标准溶液，然后各加入

30 mL 15% 王水溶液，在封闭溶样水浴锅中煮沸 20 min，取出冷却。然后将五组溶样瓶分别放入设置了不同富集温度的水浴恒温振荡器中，待温度达到设定温度后（100、80、60、40、25 °C），加入泡塑，按照 1.3 节实验方法进行富集、解脱与测定，考察富集温度对金回收率的影响，结果见图 3。

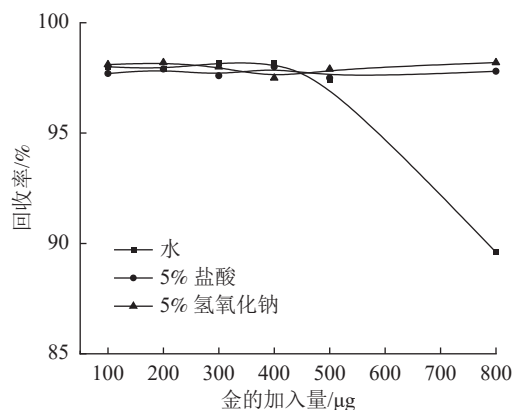


图 2 泡塑前处理方式对金回收率的影响

Fig.2 Effect of foam pretreatment for gold recovery

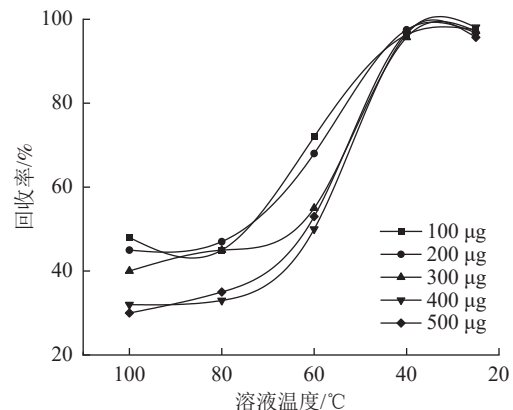


图 3 溶液温度对金回收率的影响

Fig.3 Effect of solution temperature for gold recovery

由图 3 可见，溶液温度变化对泡塑富集金的回收率影响较大，当溶液温度高于 60 °C 时，泡塑颜色变深且金的回收率偏低；当温度低于 40 °C 时，金的回收率稳定在 95% 以上。本实验确定富集温度为室温（25 °C）左右。

2.5 测定液温度

于一组比色管中配制质量浓度分别为 0、1.00、2.00、5.00、10.00、20.00 μg/mL 的标准溶液系列（1% 硫脲介质），在电热恒温水浴锅中煮沸 20 min 后取下，分别在 80、60、40、25 °C 测定金的吸光度，考察测定液温度对吸光度的影响，结果见图 4。

由图 4 可见，金的吸光度随着测定液温度的

降低而降低。推测可能是由于硫脲作为一种有机化合物，其粘度、密度及表面张力会随着温度的变化而发生改变，进而影响测定溶液的提升量和雾化效率，导致吸光度发生变化。为避免因温度变化导致分析结果的波动，在实际样品分析时，应确保测定液温度、标准溶液温度与环境温度一致。本实验确定测定液温度为室温（25℃）左右。

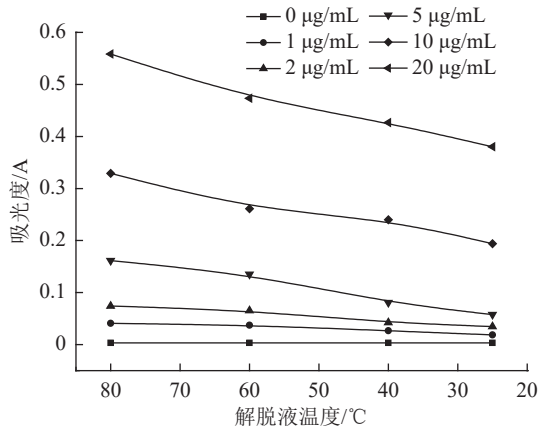


图4 测定液温度对金吸光度的影响
Fig.4 Effect of determination solution temperature for gold absorbance

2.6 标准溶液

配制三组质量浓度均为 0、1.00、2.00、5.00、10.00、20.00 μg/mL 的标准溶液系列，第一组为 1% 硫脲介质，第二组为 5% 王水介质，第三组按照 1.4 节实验方法进行富集与解吸处理，解吸液冷却至室温后测定，三组标准溶液系列的拟合曲线见图 5。

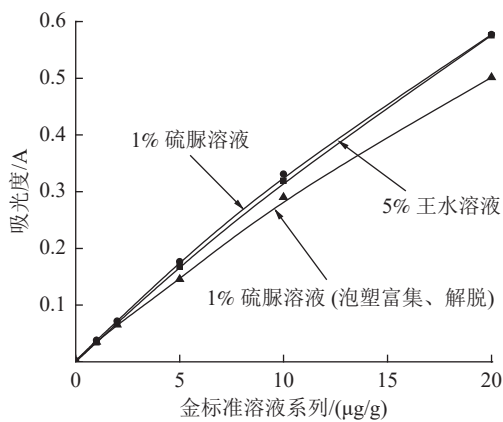


图5 金的标准曲线
Fig.5 Standard curve of gold

由图 5 可见，金在 1% 硫脲和 5% 王水中的吸光度基本一致，但是与富集解吸处理后的吸光度相比有明显的差异，经过泡塑富集解吸之后，金

的吸光度明显降低，标准曲线偏离较大，说明泡塑对金的富集未达到完全。由此可见，在实际样品分析时，为防止结果偏离，应使用和样品同步富集解吸处理后的标准溶液系列。

2.7 方法检出限、定量限和测定上限

根据 IUPAC 之规定，按照 1.3 节实验方法对 11 次样品流程空白溶液进行测定，分别以 3 倍标准偏差计算金的方法检出限为 0.13 μg/g，10 倍标准偏差计算定量限为 0.43 μg/g。分别配制金含量为 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、170、190、200、210 μg/g 的溶液系列，按照 1.4 节实验方法进行富集、解吸与测定，考察本试验条件下的最佳测定上限（以 10 g 样、0.25 g 泡塑计），结果见图 6。

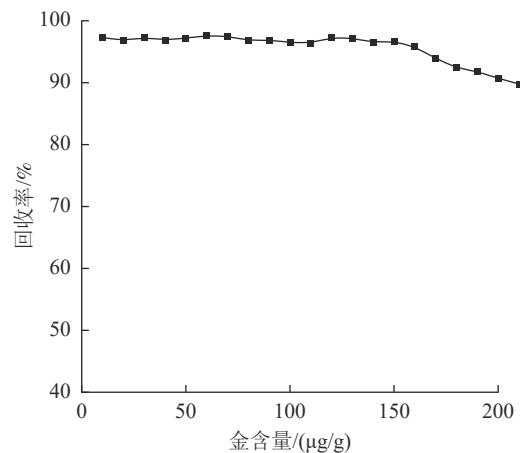


图6 泡塑富集金的趋势线
Fig.6 Adsorption curve of gold by foam

由图 6 可见，在本实验条件下，金含量在 160 μg/g 以下可获得满意的回收率，超过 160 μg/g 回收率逐渐降低，说明金含量在 160 μg/g 时，0.25 g 泡塑的吸附量趋近饱和。但是在实际样品富集中发现，大量的矿渣会占据吸附位点，同时还会存在铁、镓、钼、铈、铕等竞争吸附的问题，因此实际样品中泡塑对金的吸附量远低于此。综合考虑，本实验条件下，金的最佳测定上限确定为 80 μg/g。

2.8 方法回收率

选用三个高低含量不同的金矿石国家一级标准物质 (GAu-22、GAu-18、GAu-19)，按照 1.3 节实验方法，分别加入一定量的金标准溶液进行回收试验，测定结果见表 2。由表 2 可见，本实验条件下的加标回收率在 98.7%~101% 之间。

表 2 加标回收实验结果
Table 2 Results of standard recovery tests

样品	认定值/($\mu\text{g/g}$)	加标量/($\mu\text{g/g}$)	测定值/($\mu\text{g/g}$)	回收率/%
GAu-22	5.72	5	10.65	98.7
GAu-18	10.4	10	20.51	101
GAu-19	18.3	20	38.23	99.6

表 3 方法精密度结果
Table 3 Results of precision tests

样品	标准值	测定值/($\mu\text{g/g}$)					平均值X	标准偏差S	相对标准偏差RSD%
		1	2	3	4	5			
GAu-17	3.2	3.32	3.29	3.15	3.25	3.30	3.26	0.068	2.07
GAu-18	10.6	10.73	10.65	10.86	10.54	10.49	10.66	0.142	1.33
GAu-20	32.3	31.65	32.48	32.45	31.92	32.19	32.14	0.355	1.10

2.10 方法准确度

按照 1.3 节实验方法, 对含金矿石标准物质及标准参考样品中的金进行测定, 结果见表 4。由表 4 可见, 测定值与认定值基本一致。

表 4 方法准确度结果
Table 4 Results of accuracy tests

标样号	认定值/($\mu\text{g/g}$)	测定值/($\mu\text{g/g}$)
MG1-Au-01	3.59	3.54
MG1-Au-02	7.61	7.75
MG1-Au-03	14.0	13.86
GAu-16	1.10	1.19
GAu-17	3.3	3.36
GAu-18	10.4	9.89
GAu-19	18.3	18.42
GAu-20	32.3	33.07
GAu-21	53	52.62
GAu-22	5.72	6.04
GS-Pt-2	1.43	1.31
GS-Pt-3	1.45	1.38
GS-Pt-4	2.12	2.16

3 结 论

(1) 封闭溶样法安全环保、省时省力, 可替代王水敞口分解法。将封闭溶样法与泡塑富集法相结合, 应用于矿石样品中金的分解与富集, 方法易于掌握、效率高、成本低。

(2) 分析同一批次的矿石样品, 应使用同一厂家或同一工艺流程生产的泡塑。对于高含量金, 可适当增加泡塑用量。金标准溶液系列应按实验方法进行富集与解脱处理制备。

2.9 方法精密度

选用三个高低含量不同的金矿石国家一级标准物质 (GAu-17、GAu-18、GAu-20), 按照 1.3 节实验方法, 各平行分析 5 次, 计算测定结果的相对标准偏差 (RSD), 结果见表 3。由表 3 可见, 本方法具有较好的重现性。

(3) 方法的准确度和精密度能够满足地质实验测试质量管理规范要求, 目前已应用于各类含金矿石样品的日常分析, 取得了较好的效益。

参考文献:

- [1] 薛光. 金的分析化学 [M]. 北京: 宇航出版社, 1990. XUE G. Analytical chemistry of gold[M]. Beijing: Yuhang Publishing House, 1990.
- [2] 邱曼, 黄学雄, 毛益林, 等. 我国金矿资源概况及选冶技术研究进展[J]. 矿产综合利用, 2023(2):106-115. QIU M, HUANG X X, MAO Y L. General situation of gold resources and research progress of mineral processing and hydrometallurgy technology in China[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(2):106-115.
- [3] 庄艾春, 肖红新. 铅试金富集-火焰原子吸收光谱法测定含金工业污泥中的金[J]. 黄金, 2018, 39(6):75-77. ZHUANG A C, XIAO H X. Determination of gold in gold-bearing industrial sludge by lead assay enrichment-fire atomic absorption spectrometry[J]. Gold, 2018, 39(6):75-77.
- [4] 吴晶, 张明杰, 熊玉祥. 密闭水浴溶矿-泡塑吸附等离子体质谱法高效测定地质样品中的痕量金[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2017, 51(5):626-637. WU J, ZHANG M J, XIONG Y X. Determination of trace gold in geological samples combining foam adsorption inductively coupled plasma-mass spectrometry with closed water bath dissolution[J]. Journal of Central China Normal University(Nat. Sci.), 2017, 51(5):626-637.
- [5] 高升, 柳诚, 陈洪流, 等. 蒸汽浴封闭溶样-石墨炉原子吸收法测定化探样品中的痕量金[J]. 黄金, 2017, 38(12):65-68. GAO S, LIU C, CHEN H L, et al. Determination of trace gold in geochemical samples by GFAAS with pressurized sample decomposition in steam bath[J]. Gold, 2017, 38(12):65-68.
- [6] 邱红绪, 杨建博, 边朋沙, 等. 蒸汽加热消解-电感耦合等离子体质谱法测定化探样品中痕量金[J]. 冶金分析, 2019, 39(12):31-37.

QIU H X, YANG J B, BIAN P S, et al. Determination of trace gold in geochemical sample by inductively coupled plasma mass spectrometry with steam heating digestion[J]. *Metallurgical Analysis*, 2019, 39(12):31-37.

[7] 邱宏喜, 王志杰, 王达成, 等. 封闭溶样-AAS法测定特高品位矿石中的金银[J]. *黄金*, 2014, 35(3):80-84.

QIU H X, WANG Z J, WANG D C, et al. Determination of Au and Ag in high grade ores by sealed dissolution-AAS method[J]. *Gold*, 2014, 35(3):80-84.

[8] 多昊伟. 活性炭吸附-原子吸收法测金在塔吉克斯坦金矿的应用[J]. *中国矿业*, 2018, 27(6):100-102.

DUO H W. The application of activated carbon adsorption-atomic absorption spectrometry in Tajikistan gold mine[J]. *China Mining Magazine*, 2018, 27(6):100-102.

[9] 孔会民. 聚氨酯泡沫塑料吸附-火焰原子吸收光谱法测定铜选矿流程样品中金[J]. *冶金分析*, 2017, 37(3):29-33.

KONG H M. Determination of gold in beneficiation process sample of copper by atomic absorption spectrometry after polyurethane foam plastic adsorption[J]. *Metallurgical Analysis*, 2017, 37(3):29-33.

[10] 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, 31(1):127-134.

SHEN Y M, LUO Z D, GUO X B, et al. Determination of trace

gold in geochemical samples by flame atomic fluorescence spectrometry with PUF separation and enrichment[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2020, 31(1):127-134.

[11] 符招弟, 傅饶, 杨炳红. 分相浸出-火焰原子吸收光谱法测定高硫高砷金矿石及选冶物料中金的赋存状态[J]. *冶金分析*, 2015, 35(11):23-27.

FU Z D, FU R, YANG B H. Application of phase separation leaching-flame atomic absorption spectrometry to the determination of occurrence state of gold in high-sulfur high-arsenic gold ore and smelting materials[J]. *Metallurgical Analysis*, 2015, 35(11):23-27.

[12] 文田耀, 孙文军, 周瑶, 等. 封闭溶样-原子吸收法测定钨精矿中的金[J]. *黄金*, 2013, 34(8):78-80.

WEN T Y, SUN W J, ZHOU Y, et al. Determination of gold in molybdenum concentrates by AAS with sealed dissolution[J]. *Gold*, 2013, 34(8):78-80.

[13] 王干珍, 严慧, 易晓明, 等. 氯化铵除铋-电感耦合等离子体质谱法测定铋矿石中的金[J]. *理化检验-化学分册*, 2016, 52(3):342-344.

WANG G Z, YAN H, YI X M, et al. Determination of gold in antimony ore by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B:Chemical Analysis*, 2016, 52(3):342-344.

Determination of Gold in Ore Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry of Sealed Dissolution after Adsorption using Polyurethane Foam

Shao Kun, Fan Jianxiong, Zheng Hao, Yu Hao

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: This is an essay in the field of mineral analysis. After the samples were roasted and digested in 50% aqua regia by sealed dissolution, the gold in ore samples were adsorbed by 0.25g polyurethane foam during the oscillating, the polyurethane foam was washed to removing the slurry and acid, and gold was eluted out from polyurethane foam with 1% thiourea. Thus, a determination method of gold in ore samples by flame atomic absorption spectrometry of sealed dissolution after adsorption with polyurethane foam was established. The roasting method of some special gold ore samples was discussed. The conditions of sealed dissolution time, foam pretreatment, adsorption temperature and solution temperature were optimized, the results showed that when the sealed dissolution for 2 h, the gold was completely decomposed. After the polyurethane foam was treated with 5% HCl, the adsorption recoveries of gold could reach 95% at room temperature, the temperature of solution and standard solution shall be consistent with room temperature during determination. The calibration curve was prepared by foam adsorption and desorption process. Under the selected experimental conditions, the limit of detection was 0.13 $\mu\text{g/g}$, the limit of quantification was 0.43 $\mu\text{g/g}$, and the upper limit of determination was 80 $\mu\text{g/g}$. The standard recoveries were between 98.7% and 101%, the relative standard deviations (RSD, $n=5$) were between 1.10% and 2.07%. Verified by the determination of gold ore certified reference materials, the results were basically consistent with the certified value.

Keywords: Mineral analysis; Sealed dissolution; Polyurethane foam; Flame atomic absorption spectrometry; Ore samples; Gold