

# 铋试金-高分辨率连续光源火焰原子吸收 光谱法测定矿石中的痕量金

王甜甜, 郭晓瑞, 樊蕾, 毛香菊, 刘闫, 倪文山

(中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 自然资源部多金属矿评价与综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006)

**摘要:** 这是一篇分析测试领域的论文。铋试金作为一种高效分离富集矿石中痕量贵金属的绿色环保火试金方法, 有效避免了铅试金有毒污染的问题。本篇采用低毒的  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  作为 Au 元素的火试金捕集剂, 在高温熔融过程中  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  经试金配料中的还原剂面粉还原为 Bi 后, 与样品中的 Au 形成  $\text{Au}_2\text{Bi}$  合金, 并采用 Ag 保护灰吹法使 Au 与 Ag 形成约 1 mg 的 Ag 合粒; 对 Ag 合粒采用酸溶法将其加热溶解, 使 Au 完全进入溶液。本实验以国家标准物质 GBW 07205 中 Au 元素含量为参考, 对连续光源火焰原子吸收光谱仪的 CCD 检测器有效像素点进行了优化选择, 综合其灵敏度和稳定性, 选择 7 作为 CCD 检测器的有效像素点。在质量浓度 0~20  $\mu\text{g/mL}$  范围内与其对应吸光度运用二次方程最小二乘法拟合校准曲线, 校准曲线拟合系数为 0.999 8; 特征浓度为 0.069 97  $\mu\text{g/mL}$ , 方法检出限为 0.012 7  $\mu\text{g/mL}$ 。按照选定实验方法及优化仪器参数下对国家标准物质中 Au 进行测定, 测定值与标准值吻合良好, 相对标准偏差 (RSD,  $n=6$ ) 为 2.23%~4.54%。将所建立的方法应用于实际矿石样品中 Au 的测试, 加标回收率为 92.6%~106%; 相对标准偏差 ( $n=6$ ) 为 2.53%~4.70%, 满足国家地质矿产行业标准 DZ/T 0130—2006 的要求。

**关键词:** 分析测试; 铋试金; Ag 保护灰吹法; Au; 连续光源火焰原子吸收光谱法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.04.019

中图分类号: P575.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 04-0128-06

**引用格式:** 王甜甜, 郭晓瑞, 樊蕾, 等. 铋试金-高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱法测定矿石中的痕量金[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(4): 128-133.

WANG Tiantian, GUO Xiaorui, FAN Lei, et al. Determination of trace au in minerals by bismuth fire assay with enrichment-high resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(4): 128-133.

金作为贵金属之首, 因其优良的物理化学性能, 在现代工业的诸多领域具有不可替代的作用<sup>[1]</sup>。随着含金矿石的开发利用, 矿石中痕量 Au 的检测技术在金属元素勘探中起着十分重要的作用<sup>[2]</sup>。目前矿石中常见的痕量 Au 分离富集的方法主要有火试金法、泡沫塑料吸附法、活性炭吸附法、共沉淀法、离子交换法、萃取法等<sup>[3-5]</sup>。测定方法主要包括重量法、火焰原子吸收光谱法、石墨炉原子吸收光谱法、滴定法、电感耦合等离子体发射

光谱法、电感耦合等离子体质谱法等<sup>[6-9]</sup>。火试金因其取样量大、取样代表性好、富集效率高, 可以弥补痕量 Au 在矿石中的不均匀性和块金效应等劣势。火试金法主要包含铅试金、铋试金、锡试金、锑试金和镍铈试金, 其中铅试金是常见分离富集 Au 的成熟方法, 但由于铅试金中所使用的捕集剂氧化铅试剂有毒且空白值不确定性制约了其发展; 锡试金、锑试金和镍铈试金也能富集样品中 Au, 但在后续溶解试金扣的过程中存在难溶

收稿日期: 2022-10-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 [22106148]

作者简介: 王甜甜 (1995-), 女, 助理工程师, 主要从事无机元素和分析方法研究。

通信作者: 倪文山 (1980-), 男, 正高级工程师, 主要从事无机元素测试和分析方法的研究。

解、Au易损失、溶解过程繁琐复杂、空白值不稳定等问题<sup>[10-12]</sup>。铋试金捕集贵金属的能力强、选择性好，是一种具有发展前途的试金方法。而且与镍试金中的捕集剂氧化镍和铅试金中的捕集剂氧化铅相比，铋试金流程中Au空白值较低，可以不经提纯捕集剂Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>直接应用于矿石中痕量Au的分析，并且Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>毒性极低，是一种绿色环保分析方法<sup>[13]</sup>。

本论文采用高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱(HR-CS-AAS)进行Au的测定，与常规空心阴极灯相比，高分辨率连续光源原子吸收光谱仪采用的是波长调制校正背景技术，具有实时双光束校正的优点，且对其CCD检测器的有效像素点优化选择后可以使测定结果灵敏度更高，对矿石中痕量金的测定有一定的借鉴意义。

## 1 实验

### 1.1 主要仪器及工作条件

ContrAA700型高分辨率连续光源原子吸收光谱仪HR-CS-AAS，仪器主要分析参数见表1。本实验采用迭代基线校正(iterative baseline correction简称IBC)背景校正方式。

表1 HR-CS-AAS的工作参数

参数	设定值	参数	设定值
分析谱线波长/mm	242.795 0	燃烧头类型/mm	100
积分模式	平均值	火焰类型	乙炔-空气
读数时间/s	3	燃气流量/(L/h)	45
有效像素/个	7	燃烧头高度/mm	6
背景校正方式	迭代基线校正	检测器像素	200

### 1.2 主要试剂

Au标准溶液(100 μg/mL)：称取0.050 00 g高纯金粉(99.999%)于100 mL玻璃烧杯中，加入20 mL王水，加热搅拌至完全溶解，继续加热至溶液体积约为5 mL，再加入20 mL HCl，加热至溶液完全清亮透明，冷却至室温，移入500 mL容量瓶中，并用水洗烧杯，清洗液也移入容量瓶中，用水定容，摇匀。

Ag标准溶液(20 g/L)：称取3.149 7 g基准硝酸银于100 mL玻璃烧杯中，加入20 mL水和5 mL硝酸，搅拌完全溶解后移入100 mL棕色容量瓶中，并用水洗烧杯，清洗液也移入容量瓶

中，用水定容，摇匀。

NaCl溶液(20 g/L)：称取2 g分析纯试剂NaCl于50 mL玻璃烧杯中，加入20 mL水，搅拌完全溶解后移入100 mL容量瓶中，并用水洗烧杯，清洗液也移入容量瓶中，定容，摇匀。

实验试剂：Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(分析纯)、碳酸钠(分析纯)、玻璃粉(经王水加热过滤预处理)、硼砂(分析纯)、食用面粉、NaCl(分析纯)、盐酸(优级纯)、硝酸(优级纯)和去离子水。

覆盖剂：按碳酸钠+硼砂+玻璃粉+Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+食用面粉=55 g+20 g+15 g+40 g+4 g配方混匀。

### 1.3 实验方法

称取10~20 g样品于500 mL配料瓶中，再依次加入40 g Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，15 g玻璃粉、20 g硼砂、55 g粉状碳酸钠和4 g食用面粉，摇匀，倒入500 mL试金黏土坩埚，滴加1滴Ag标准溶液(20 g/L)于配料上，再均匀覆盖20 g覆盖剂。将坩埚放入预先升温至1 000 °C左右的高温箱式电炉中，关严炉门，逐渐升温至1 060 °C并保持40 min。然后取出坩埚将熔融物倒入铁模，冷却后倒去熔渣取出Bi扣。首先需注意的是铋性脆、易碎，在分离矿渣时不能猛击铋扣，以免将铋扣打碎。其次，铋扣在凝固膨胀时，会在铋扣的上部长出柱状或片状的金属铋并插入到矿渣中，应注意回收，否则造成结果偏低。将去除掉熔渣的Bi扣放入已在850 °C预热超过30 min的镁砂灰皿中灰吹，至Bi完全吹尽并将灰皿取出冷却至室温。

从灰皿中取出Ag合粒后，刷去银合粒粘附灰皿表面上的污物，用压力机将Ag合粒压制成厚度约为0.2 mm厚度的Ag片，并置于50 mL玻璃烧杯中，加入3 mL HNO<sub>3</sub>于低温电热板上加热使Ag片完全溶解，再加入9 mL HCl继续在低温电热板上加热至完全溶解，滴一滴NaCl溶液(20 g/L)，继续在低温电热板上加热至溶液体积约为1 mL左右，再加入8 mL HCl加热至AgCl沉淀完全溶解后，取下，冷却至室温，移入25 mL比色管中，用HCl(1+9)洗烧杯并移入比色管，再用HCl(1+9)定容，摇匀。然后采用高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱法测定溶液中的Au。

## 2 结果与讨论

### 2.1 灰吹方法的选择

灰吹是火试金中贵金属与捕集剂分离的重要

手段，对于铋试金一般采用加 Ag 保护灰吹和留 Bi 保护灰吹两种方式。其中加 Ag 保护灰吹原理是 Ag 能与 Au 形成合金，故 Bi 试金可以采用加入约 1 mg 的 Ag 保护灰吹，最后 Bi 扣中 Bi 完全吹尽而形成 Au 与 Ag 形成合粒。留 Bi 保护灰吹原理是 Bi 能与贵金属元素形成合金或金属互化物，Au 会富集在约 10 mg 的 Bi 合粒中。本试验发现留 Bi 灰吹的终点难确定，常因为灰吹时间稍长使 Bi 合粒吹尽，而且灰吹结束后将镁砂灰皿浸入水中使 Bi 粒凝结的过程中也常会引起飞溅而损失。加 Ag 保护灰吹则可以将 Bi 扣中的 Bi 完全吹尽，无需在临近灰吹终点时必须观察留 Bi 量的大小，且 Ag 保护灰吹则可直接将镁砂灰皿完全浸入水中使 Ag

粒凝结。因此，本方法采用加 Ag 保护灰吹法。

## 2.2 CCD 检测器有效像素点优化

连续光源原子吸收光谱仪 CCD 检测器有效像素点可以影响被测元素的灵敏度、稳定性和信噪比<sup>[13]</sup>。因此本实验对国家标准物质 GBW 07205 在 CCD 检测器的不同有效像素点下中的 Au 元素含量进行测定。比较了国家标准物质 GBW 07205 不同有效像素点下的平均原子吸收光谱见图 1。在 0、2、4、6、8、10 mg/L 的标准曲线下分别测定了 GBW 07205 在不同有效像素点下中的 Au 元素含量（标准值为  $14.0 \pm 0.1 \text{ g/t}$ ），结果见表 2。表 2 可知，在各有效像素点下，Au 的测定值都在标准值的误差范围内，且各校准曲线拟合

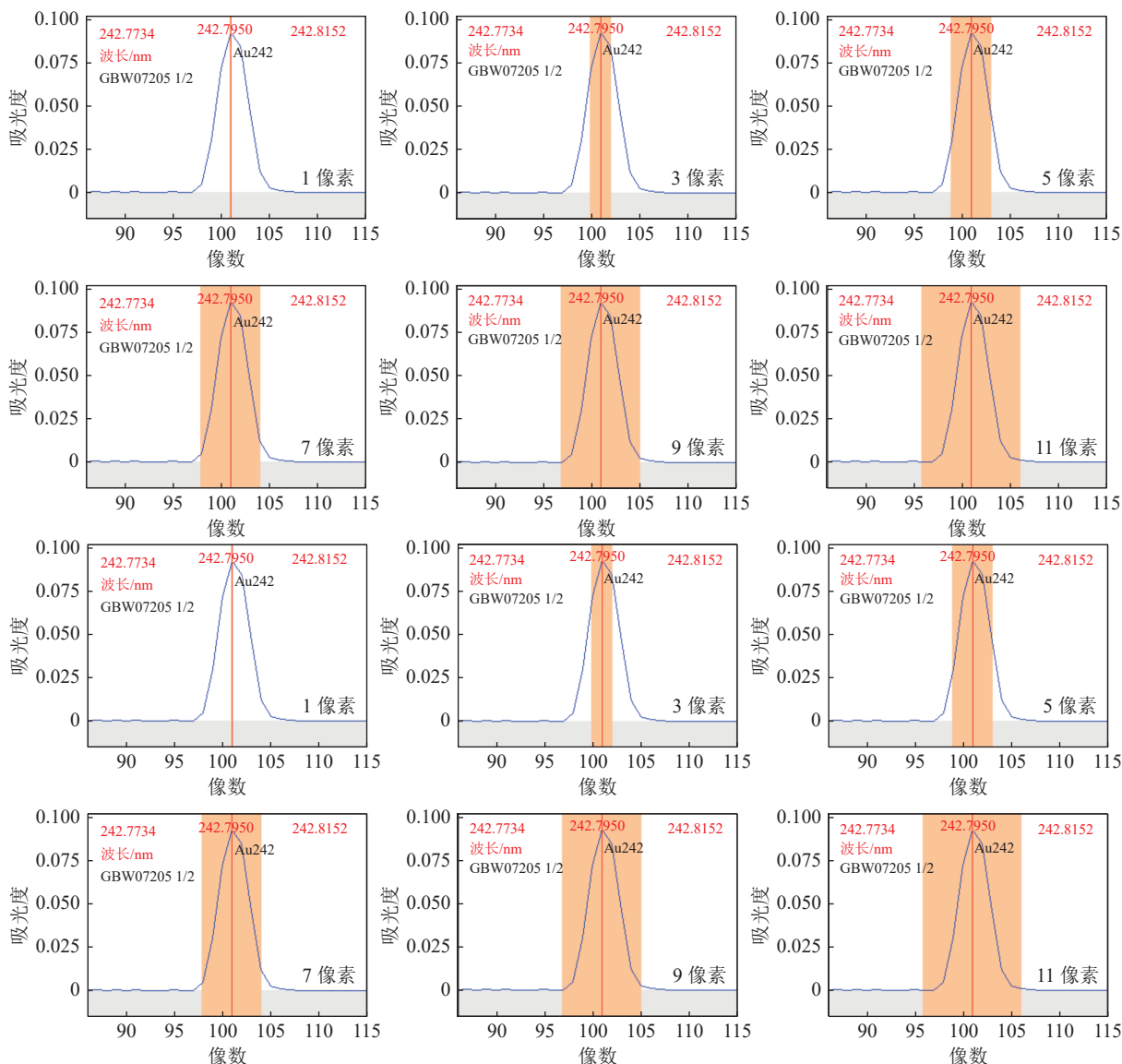


图 1 Au 元素在不同有效像素点下的平均原子吸收光谱

Fig.1 Average atomic absorption spectrum of Au elements at different effective pixels

良好，可以发现随着有效像素点增加，特征浓度逐渐降低，灵敏度逐渐增大。但从图1的各像素点下的平均原子吸收光谱图发现，随着像素点增加，积分面积呈正相关趋势，当有效像素点到9时，积分面积已经超出Au的原子吸收光谱轮廓，信噪比反而变差，故综合考虑实验选择Au的CCD检测器有效像素点为7。而且从图1中的Au的平均吸收光谱图可以看到， $\lambda_{(Au)}=242.795\ 0\ \text{nm}$ 在CCD检测器200像素点242.773 4~242.815 2 nm范围内没有受到溶液中其他共存元素的谱线干扰，故确定了仪器谱线及较佳有效像素点。

表2 不同像素点下Au元素含量的校准曲线参数  
Table 2 Calibration curve parameters of Au element content at different pixels

像素点	Au测定值/(g/t)	相关系数 $R^2$	斜率Abs/( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	特征浓度/( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	标准偏差
1	13.25	0.999 7	0.017 92	0.243 20	0.106 2
3	13.51	0.999 7	0.048 09	0.090 65	0.109 7
5	13.72	0.999 8	0.062 87	0.069 35	0.101 9
7	13.69	0.999 8	0.066 01	0.066 05	0.102 4
9	13.61	0.999 8	0.066 21	0.065 85	0.107 6
11	13.54	0.999 8	0.066 25	0.065 81	0.104 6

### 2.3 校准曲线与检出限

以30%盐酸(V/V)为介质，配制成质量浓度分别为0.00、5.00、10.00、15.00、20.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的Au标准溶液系列，按上述连续光源火焰原子吸收光谱仪条件测定其对应吸光度。以元素质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制校准曲线。Au的吸光度与其质量浓度在0.00~20.00  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内运用二次方程最小二乘法拟合校准曲线，曲线拟合良好，校准曲线的线性回归方程 $y=-0.000\ 989x^2+0.050\ 13x+0.006\ 75$ ，相关系数 $R^2=0.999\ 8$ 。在相应的吸收波长处，以产生1%吸收(吸光度 $A=0.004\ 4$ )所对应的质量浓度计算Au的特征浓度为0.069 97。连续测定11次空白溶液计算其空白标准偏差，以3倍空白偏差代入回归方程，计算出方法检出限为0.012 7  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

### 2.4 国家标准物质中Au的测定

按上述实验方法及仪器工作条件测定国家标准物质GBW 07203~GBW 07206中的Au含量验证其可行性，结果见表3。由表3可知，标准物质的测定值与标准值基本一致，Au测定结果的相对标准偏差(RSD,  $n=6$ )在2.23%~4.54%之间，在地质矿产行业标准规定的精密度允许范围内，验证了该方法的可行性。

表3 国家标准物质中Au含量的测定结果  
Table 3 Measurement results of Au content in national standard substances

标准样品	标准值/( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	测定平均值/( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	RSD ( $n=6$ )/%
GBW 07203	3.59±0.02	3.57	4.54
GBW 07204	7.16±0.03	7.17	3.68
GBW 07205	14.0±0.10	13.9	2.23
GBW 07206	19.4±0.10	19.3	3.60

## 3 样品分析

按选定的实验方法与仪器工作条件测定了实际矿石样品中Au，并进行加标回收实验，结果见表4。由表4可以看出，Au的加标回收率为92.6%~106%；相对标准偏差( $n=6$ )为2.53%~4.70%，结果满足国家地质矿产行业标准DZ/T 0130—2006规定的范围。

表4 实际矿石中Au的测定结果  
Table 4 Measurement results of Au in actual ores

样品	测定值/( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	相对标准偏差RSD( $n=6$ )/%	加标量/( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	测得总量/( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	回收率/%
1	0.86	4.70	1.00	1.83	97.0
2	1.77	4.14	2.00	3.80	102.0
3	3.65	3.28	5.00	8.63	99.6
4	10.07	2.53	5.00	14.70	92.6
5	4.25	3.14	5.00	9.26	100.0
6	15.82	2.78	10.00	26.40	106.0
7	6.76	4.33	5.00	11.90	103.0
8	10.67	3.02	10.00	20.53	98.6
9	17.34	2.91	10.00	27.02	96.8
10	2.09	3.49	2.00	4.03	97.0

## 4 结论

本方法在1060  $^{\circ}\text{C}$ 高温熔融条件下，在配料助熔剂作用下捕集剂 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 被还原后与矿石中的Au形成 $\text{Au}_2\text{Bi}$ 合金，并采用加Ag保护灰吹的方法使样品中Au富集Ag合粒中，经王水完全溶解Ag合粒后，然后应用高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱法测定溶液中Au。将实验方法应用于实际矿石样品中的Au的测定，Au的加标回收率为92.6%~106%；相对标准偏差( $n=6$ )为2.53%~4.70%，满足国家地质矿产行业标准DZ/T 0130—2006的要求，为准确测定矿石中的痕量Au提供了可参考性方法。

### 参考文献：

[1] 陈永红, 孟宪伟, 王立臣. 2019—2020年中国金分析测定

的进展[J]. 黄金, 2022, 43(1): 105-112.

CHEN Y H, MENG X W, WANG L C. Progress of gold analysis and determination in China during 2019-2020[J]. Gold, 2022, 43(1): 105-112.

[2] 侯凯, 谢贤, 童雄, 等. 我国金矿床的工业类型及选矿研究方法[J]. 矿产综合利用, 2014(4):9-15+24.

HOU K, XIE X, TONG X, et al. Review of the commercial types of gold deposits and their beneficiation methods at home[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2014(4):9-15+24.

[3] 董守安. 现代贵金属分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

DONG S A. Modern precious metals analysis[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

[4] 李跃光, 陈为亮. 贵金属元素分析中的分离富集技术应用进展[J]. 贵金属, 2012, 33(4):71-74.

LI Y G, CHEN W L. Comments on technical progress of separation and concentration for precious metals elemental analysis[J]. Precious Metals, 2012, 33(4):71-74.

[5] 李邦民. 火试金技术的发展与应用[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2012, 28(3):82-85.

LI B M. The development and application of the fire assay method[J]. Journal of Qinghai Normal University (Natural Science Edition), 2012, 28(3):82-85

[6] 赵延庆. 聚氨酯泡沫塑料吸附-电感耦合等离子体质谱法测定地质化探样品中金[J]. 冶金分析, 2016, 36(7):34-38.

ZHAO Y Q. Determination of gold in geochemical samples by inductively coupled plasma mass spectrometry with polyurethane foam plastic absorption[J]. Metallurgical Analysis, 2016, 36(7):34-38

[7] 倪文山, 孟亚兰, 姚明星, 等. 铅试金富集-塞曼石墨炉原子吸收光谱法测定矿石样品中铂铍铋铀[J]. 冶金分析, 2010, 30(3):23-26.

NI W S, MENG Y L, YAO M X, et al. Determination of platinum, palladium, rhodium and iridium in mineral samples by Zeeman graphite furnace atomic absorption spectrometry after the preconcentration with lead fire assaying[J]. Metallurgical Analysis, 2010, 30(3):23-26.

[8] 张帆, 王琳, 郭家凡, 等. 铋试金-二次灰吹-ICP-AES 测定

黑色岩中的铂、铍、金[J]. 贵金属, 2022, 43(2):69-75.

ZHANG F, WANG L, GUO J F, et al. Determination of Pt, Pd and Au in black rock by bismuth assay - secondary ash blowing - ICP-AES[J]. Precious Metals, 2022, 43(2):69-75.

[9] 孙启亮, 毛香菊, 郭晓瑞, 等. 铅试金富集-高分辨率连续光源石墨炉原子吸收光谱法测定地球化学样品中痕量金铂铍[J]. 冶金分析, 2021, 41(7):10-16.

SUN Q L, MAO X J, GUO X R, et al. Determination of trace gold, platinum and palladium in geological samples by lead fire assay pre-concentration high resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2021, 41(7):10-16

[10] 姚明星, 毛香菊, 郭晓瑞, 等. 银保护灰吹铅试金-高分辨率连续光源火焰原子吸收光谱法测定铁粉中痕量金[J]. 冶金分析, 2022, 42(8):48-54.

YAO M X, MAO X J, GUO X R, et al. Determination of trace gold in iron powder by high resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry with silver protection cupellation lead fire assay enrichment[J]. Metallurgical Analysis, 2022, 42(8):48-54.

[11] 李可及, 刘淑君, 邵坤. 铋试金测定硫化铜镍矿中钨铍铋铀[J]. 分析化学, 2014, 42(6):909-912.

LI K J, LIU S J, SHAO K. Determination of ruthenium, rhodium, palladium, iridium and platinum in copper-nickel sulfide ores by bismuth-antimony fire assay[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2014, 42(6):909-912.

[12] 毛香菊, 肖芳, 刘璐, 等. 铋试金-高分辨率连续光源石墨炉原子吸收光谱法测定铬铁矿中铂族元素[J]. 冶金分析, 2020, 40(7):40-46.

MAO X J, XIAO F, LIU L, et al. Determination of platinum group elements in chromite by nickel sulfide fire assay-high resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2020, 40(7):40-46.

[13] 张石林, 屠惠民. 铋试金富集矿石中贵金属的研究[J]. 矿产与地质, 1981(2):90-102.

ZHANG S L, TU H M. Study on the enrichment of precious metals in ore with bismuth assay[J]. Mineral Resources and Geology, 1981(2):90-102.

## Determination of Trace Au in Minerals by Bismuth Fire Assay with Enrichment-high Resolution Continuum Source Flame Atomic Absorption Spectrometry

WANG Tiantian, GUO Xiaorui, FAN Lei, MAO Xiangju, LIU Yan, NI Wenshan  
(Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, China National Engineering Research Center for Utilization of Industrial Minerals, Key Laboratory for Polymetallic Ores' Evaluation and Utilization, MNR, Zhengzhou 450006, Henan, China)

**Abstract:** This is an article in the field of analytical testing. As a green and environmentally friendly fire gold test method for efficient separation and enrichment of trace precious metals in ore, bismuth gold test effectively avoids the problem of toxic pollution of lead test gold. In this article,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  with low toxicity is used as the fire test gold trap of Au element, and  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  is reduced to Bi by the reducing agent flour in the test ingredient during the high-temperature melting process, and  $\text{Au}_2\text{Bi}$  alloy is formed with Au in the samples, and the Ag protective ash blowing method is used to make Au and Ag form about 1mg of Ag zygote. The Ag zygoteum is heated and dissolved by acid solution method to completely enter the solution of Au. In this test, the Au element content in the national standard material GBW 07205 was used as a reference, and the effective pixels of the CCD detector of the continuous light source flame atomic absorption spectrometer were optimized, and 7 were selected as the effective pixels of the CCD detector based on their sensitivity and stability. In the mass concentration range of 0~20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , the corresponding absorbance was fitted by the quadratic equation least squares method, the fitting coefficient of the calibration curve was 0.999 8, the characteristic concentration was 0.069 97  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , and the detection limit of the method was 0.012 7  $\text{g}/\text{mL}$ . According to the selected experimental method and optimized instrument parameters, Au in the national standard material was determined, and the measured value was in good agreement with the standard value, and the relative standard deviation (RSD, n=6) was 2.23%~4.54%. The established method was applied to the test of Au in actual ore samples, and the recovery rate of spiked was 92.6%~106%. The relative standard deviation (n=6) was 2.53%~4.70%, which met the requirements of the National Geological and Mineral Resources Industry Standard DZ/T 0130-2006.

**Keywords:** Analytical testing; Bismuth fire assay; Ag protection ash blowing method; Au; Continuum source flame atomic absorption spectrometry

//////////  
(上接第 127 页)

## Experimental Research on Recovery Copper and Iron from Copper Smelting Slags by Direct Reduction Roasting-magnetic Separation

LI Xiaobo<sup>1,2</sup>, XU Hao<sup>1,2</sup>, LI Guodong<sup>1,3</sup>, XU Baojin<sup>1,4</sup>, XU Shasha<sup>4</sup>

(1.School of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 2.Jiangxi Key Laboratory of Mining Engineering, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3.Northwest Institute of Mining and Metallurgy, Baiyin 730900, Gansu, China; 4.Ma'an Shan Iron and Steel Group Luohua Mining Limited Liability Company, Hefei 231562, Anhui, China))

**Abstract:** This is an article in the field of metallurgical engineering. To recover copper and iron from a copper smelting slag flotation tailing with iron grade of 37.42% and copper grade of 1.86%, according to the characteristics of its ore properties, the bituminous coal was used as a reductant, the process of direct reduction roasting - magnetic separation was applied. The experimental results show that copper smelting slag, bitumite and quicklime (as a co-reducing agent) are mixed in the mass ratio of 100:25:20, and at the conditions of roasting temperature of 1 200 °C, time of 80 min, the roasted ores grinding fineness of -0.045 mm 80%, and magnetic strength of 0.139 T, the copper-bearing iron ore concentrate can be obtained with an iron grade of 90.98%, iron recovery of 90.13%, copper grade of 5.82% and copper recovery of 87.38%, thus realizing the comprehensive recovery of copper and iron from copper smelting slags.

**Keywords:** Metallurgical engineering; Copper smelting slags; Restore the roasting process; Magnetic separation; Comprehensive recovery