

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2024.04.007

活性炭动态富集-火焰原子吸收光谱法 测定金矿石中金的影响因素探讨

何涛 王鹏* 门倩妮 甘黎明 张晓星 宋永涛 程毅

(中国地质调查局 西安矿产资源调查中心, 西安 710100)

摘要 金在新一轮找矿突破战略行动矿产分析中占有重要的地位,采用活性炭动态富集-火焰原子吸收光谱法测定岩石矿物样品中金的分析方法已被广泛应用。然而其分析条件的影响因素较多,在测定过程中活性炭的用量、灰分的大小、吸附层的设计以及洗涤液溶液温度等因素对测定结果的准确性具有重要影响。分别以活性炭用量、不同灰分值、吸附层数以及洗涤溶液的温度为变量,对金分析标准物质 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a、GBW07810 进行实验对比分析。结果表明,金的回收率随着活性炭用量的增加而不断提升,在 0.5 g 后趋于稳定;活性炭灰分值越大,金元素损失越多,当灰分值小于 0.05% 时,回收率趋于稳定,接近 99%;活性炭吸附层设计为双层和三层时,测定值的平均值与认定值的相对偏差(RE)和相对标准偏差(RSD, $n=6$) 分别为 0.14%~3.2% 和 0.040%~3.7%, 优于混合层和单层,满足岩石矿物物质控标准规范中正确度和精密度的要求;抽滤洗涤热溶液(70~80 °C)时,金矿石标准物质金元素的平行样的准确度和相对标准偏差最小,均小于 2.1%,通过方法验证,测定金的正确度精密度(RSD, $n=6$) 分别小于 0.76% 和 3.8%, 满足 DZ/T 0130.3—2006《地质矿产实验室测试质量管理规范》中岩石矿物样品化学成分分析的质量要求。优化了活性炭吸附测金的实验条件,方法的正确度和精密度均满足要求,能满足金矿石中金的准确测定。

关键词 活性炭富集;金;火焰原子吸收光谱法;活性炭用量;洗涤温度

中图分类号:O657.39 O657.31 文献标志码:A 文章编号:2095-1035(2024)04-0429-07

Discussion on Influencing Factors of Determination of Gold in Gold Ore by Flame Atomic Absorption Spectrometry with Dynamic Enrichment of Activated Carbon

HE Tao, WANG Peng*, MEN Qianni, GAN Liming, ZHANG Xiaoxing, SONG Yongtao, CHENG Yi

(Xi'an Mineral Resources Survey Center, China Geological Survey, Xi'an, Shaanxi 710100, China)

Abstract Gold plays an important role in mineral analysis in the new round of strategic breakthroughs in mineral exploration. The analytical method of using activated carbon dynamic adsorption flame atomic

收稿日期:2023-06-15 修回日期:2023-12-30

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20230377);全国金矿重点调查区调查评价项目(DD20230060)

作者简介:何涛,男,工程师,主要从事岩石矿物分析研究。E-mail:1901900315@qq.com

* 通信作者:王鹏,男,工程师,主要从事岩石矿物分析,物理化学、光谱学,光谱应用与分析研究。E-mail:shaan_xiawangpeng@163.com

引用格式:何涛,王鹏,门倩妮,等. 活性炭动态富集-火焰原子吸收光谱法测定金矿石中金的影响因素探讨[J]. 中国无机分析化学, 2024, 14(4): 429-435.

HE Tao, WANG Peng, MEN Qianni, et al. Discussion on Influencing Factors of Determination of Gold in Gold Ore by Flame Atomic Absorption Spectrometry with Dynamic Enrichment of Activated Carbon[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2024, 14(4): 429-435.

absorption spectrometry to determine gold in rock and mineral samples has been widely applied. However, there are many factors influencing the analysis conditions. During the measurement process, factors such as the amount of activated carbon, the size of ash, the design of the adsorption layer, and the washing solution temperature have important impacts on the accuracy of the measurement results. The experiment compared and analyzed the gold analysis standard materials GBW (E) 070013b, GBW07297a, GBW07299a, and GBW07810 using the amount of activated carbon used, different ash content values, adsorption layers, and washing solution temperature as variables. The results show that the recovery rate of gold continuously increases with the increase of activated carbon dosage, and tends to stabilize after 0.5 g. The higher the ash content of activated carbon, the greater the loss of gold element. When the ash content is less than 0.05%, the recovery rate tends to be stable, approaching 99%; When the activated carbon adsorption layer is designed as double and triple layer, the relative deviation (RE) and relative standard deviation (RSD, $n=6$) between the average value of the measured value and the certified value are 0.14%–3.2% and 0.040%–3.7% respectively, superior to the mixed layer and single layer, meeting the requirements of accuracy and precision in the rock and mineral quality control standard specifications. When the gold ore standard substance gold element is washed into a hot solution (70–80 °C) through suction filtration, the accuracy and relative standard deviation of the parallel sample are the smallest, less than 2.1%. Through method validation, the accuracy of determining gold is less than 0.76%, and the precision (RSD, $n=6$) is less than 3.8%, meeting the quality requirements for chemical composition analysis of rock and mineral samples in Quality Management Specification for Geological and Mineral Laboratory Testing (DZ/T 0130.3–2006). This method optimizes the experimental conditions for active carbon adsorption to determine gold, and the accuracy and precision of the experimental method meet the requirements, which can meet the accurate determination of gold in gold ore.

Keywords activated carbon enrichment; gold; flame atomic absorption spectrometry; activated carbon dosage; washing temperature

金 (Aurum) 是一种重要的贵金属元素, 长期以来一直被用作货币、保值物及珠宝, 同时也在军工、科技等领域被广泛使用, 具有重要金融和工业价值。在自然界中, 金的含量极低, 具有稳定的化学性质, 不易被迁移富集, 常以单质的形式出现于岩石中的金块或金粒、地下矿脉及冲积层中。目前金矿石中金的测定方法有火试金重量法、火试金富集-火焰原子吸收光谱法、活性炭富集-火焰原子吸收光谱法、活性炭富集-碘量法等^[1], 王鹏等^[2]采用石墨炉原子吸收法分析测定痕量金, 陈祝海等^[3-5]采用小火试金分离富集火焰原子吸收光谱法测定矿石样品中的金, 陈爱平等^[6]则运用氢醌滴定法对金矿石中金测定的不确定度进行了较深的研究, 王小强等^[7-9]使用泡塑富集-原子吸收光谱法测定金矿石中的金, 张志刚等^[10]研究了酒石酸络合掩蔽铈-氢醌容量法测定铈矿石样品中的常量金的方法。然而在众多的方法中, 火试金法因设备环境要求严格, 作业流程繁琐, 且灰吹过程中产生的铅对人体危害巨大, 运用的不是很多; 碘量法和氢醌容量法在滴定过程中人为的

偶然误差较大; 活性炭富集-原子吸收光谱法测定^[11], 因活性炭对金的吸附率高, 方法测定范围广, 准确度高而在贵金属及战略找矿中被广泛应用, 但是此方法在使用过程中, 往往容易在活性炭的选择、改性、用量^[12-13], 前处理中的过滤、洗涤等环节出现较多问题, 影响最后的测定结果。

本文采用日立 Z-2000 原子吸收分光光度计, 以活性炭用量和质量 (灰分)、抽滤洗涤以及吸附柱活性炭层以及其他影响分析质量的因素为研究对象, 通过对金矿石成分标准物质 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a、GBW07810 进行实验对比分析, 总结工作经验, 优化分析条件, 进而提高分析结果的准确性。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

Z-2000 原子吸收分光光度计 (日本日立公司)、金空心阴极灯 (北京有色金属研究总院)、马弗炉、电热板 (天津拓至明实验仪器设备有限公司)、活性炭吸附抽滤装置、真空泵 (双级旋片 2XZ-4)。

活性炭(粉末状,分析纯)、盐酸(1.19 g/mL,优级纯GR,成都市科隆化学品有限公司)、硝酸(1.42 g/mL,优级纯GR,成都市科隆化学品有限公司)、明胶(分析纯AR,天津化学试剂有限公司)、氟化氢铵(分析纯AR,天津奥普升化工有限公司)、氯化钠(分析纯AR,天津化学试剂有限公司)、定性滤纸,实验室用水为去离子水(电阻率 $\geq 18.25 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$)。

金标准溶液(GSB 04-1715-2004,1 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$,国家有色金属及电子材料分析测试中心)、金矿石成分标准物质(GBW(E) 070013b、GBW07297a、GBW07299a、GBW07810,中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所)。

1.2 仪器工作条件

原子吸收光谱仪工作条件见表1。

表1 原子吸收光谱仪工作条件

Table 1 Working conditions of atomic absorption spectrometer

Wavelength/ nm	Lamp current/ mA	Slit/ nm	Burner height/ mm	Gas flow rate/ (L·min ⁻¹)	Auxiliary gas flow rate/ (L·min ⁻¹)	Integration time/ s
242.8	7.0	1.3	7.5	1.8	15	1

1.3 样品的制备

1.3.1 试样的分解

称取20.0 g金矿石标准物质于90 mm×60 mm×17 mm的瓷方舟中,置于马弗炉中升温至680 $^{\circ}\text{C}$ 并保温1.5 h,冷却后取出,将样品转移至300 mL锥形瓶中,加入100 mL王水(1+1,现配现用),置于190 $^{\circ}\text{C}$ 电热板上,盖上表面皿保持微沸状态50 min左右,取下表面皿,电热板升温至220 $^{\circ}\text{C}$,继续溶解至体积约20 mL,取下锥形瓶,稍冷后加入15 mL明胶溶液(50 g/L),加水定容至约150 mL,摇晃锥形瓶1 min左右,使试样与明胶溶液充分反应后静置待抽滤。

1.3.2 吸附柱制作

将一连有胶塞的吸附柱安装于抽滤装置上,将带孔塑料垫片平放在吸附柱内,垫片上铺一与吸附柱内径相吻合的滤纸,以蒸馏水洗涤吸附柱内壁,连接抽气装置,开动真空泵,量取纸浆一勺(约10 mL)倒入柱内,用凹型胶塞冲将纸浆压紧,加入一勺(约15 mL)活性炭纸浆混合溶液(活性炭含量0.5 g),水份抽完后,再加约一勺纸浆,水份抽完后,关上真空泵。在吸附柱上面安装带有胶塞的布氏漏斗(80 mL,内径8 cm),内贴一张直径8 cm的滤纸,用水润湿并贴好,开动气泵,抽紧滤纸,加一勺纸浆,水份抽干后,即可过滤。

1.3.3 试样的富集、灰化与溶解

开启真空泵,在制备好的抽滤吸附装置上过滤。先倾倒入上清液,等上清液过滤完毕后再将全部剩余溶液转移至布氏漏斗中,洗净锥形瓶,然后用盐酸热溶液(1+9,70~80 $^{\circ}\text{C}$)和热水(70~80 $^{\circ}\text{C}$)洗涤沉淀数次,取下布氏漏斗,用热的氟化氢铵溶液(20 g/L,

70~80 $^{\circ}\text{C}$)、盐酸热溶液(1+9,70~80 $^{\circ}\text{C}$)和热水(70~80 $^{\circ}\text{C}$)各洗涤吸附柱5~6次,抽干。关上真空泵取下吸附柱,用粗玻璃棒顶塑料带孔垫片,从吸附柱中取出活性炭纸饼,放入50 mL瓷坩埚中,移入马弗炉内由室温升至650 $^{\circ}\text{C}$ 进行灰化约1~1.5 h至灰化完全,取出放冷。加入3滴NaCl溶液(200 g/L),加入2~3 mL的王水,在水浴锅上蒸至近干,然后用(5+95)盐酸溶液浸提转移至100 mL容量瓶,定容至刻度,混匀待测。

1.4 标注工作曲线配制

将浓度为1 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的金标准溶液稀释至0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、10.0和20.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的标准工作溶液,按照实验方法中样品的制备步骤处理,待测。

2 结果与讨论

2.1 活性炭用量

活性炭因其孔隙结构发达、表面积大和吸附性能强等优点,常用在活性炭富集-火焰原子吸收光谱测金方法中,但因试样分析测试中活性炭的用量多少、质量好坏(灰分的大小)的不同,会严重影响试样的分析结果。

称取11份20.0 g(精确至0.01 g)金矿石成分标准物质GBW(E)070013b,按照实验方法中样品的分解步骤处理,在吸附柱制作环节,分别制作活性炭含量为0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0 g的吸附柱纸饼,然后分别对11份试样按照试样的富集、灰化与溶解步骤进行处理,在选定的仪器工作条件下进行测定,计算不同活性炭含量下金的回收率并绘制关系图,如图1所示。

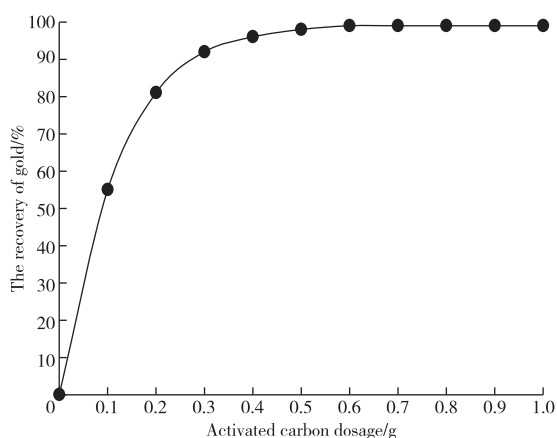


图 1 活性炭用量与金回收率关系

Figure 1 The relationship between the amount of activated carbon to be used and recovery of gold.

由图 1 可知,金的回收率随着活性炭用量的增加而不断提升,在 0.5 g 后趋于稳定,且测定结果的回收率符合质量规范要求,因此考虑到分析成本,活性炭用量采用 0.5 g 为宜,且能满足所有岩石矿物样品的分析要求。

2.2 活性炭灰分

不同材质的活性炭产生的灰分不同,本次实验

从市场上购买了三种粒度小于 $0.074 \mu\text{m}$ 不同材质的粉状活性炭(煤质、木质、椰壳),分别为对每种活性炭进行灰分测试得出。煤质活性炭灰分大于 7%,木质活性炭灰分大约 2.13%,椰壳活性炭灰分小于 0.02%。

按照三种活性炭分别设计灰分为 $>7\%$ 、 5% 、 2% 、 1% 、 0.5% 、 0.2% 、 0.1% 、 0.05% 、 0.02% 、 $<0.02\%$ 等 10 种不同的条件,称取 10 份 20.0 g 金矿石成分标准物质 GBW07297a,按照实验方法中样品的分解步骤处理,分别用配制好的 10 种不同灰分的活性炭制作吸附柱。称取 0.5 g 制作的吸附柱,分别对 10 份试样按照实验方法中试样的富集、灰化与溶解步骤进行处理。在选定的仪器工作条件下进行测定,计算不同活性炭灰分下金的回收率,见表 2。

由表 2 可知,活性炭的质量直接影响分析数据的准确性,在其他分析条件不变的前提下,活性炭的灰分值越低,金的回收率越高,当灰分值小于 0.05% 时,回收率趋于稳定,接近 99%。由此可以得出,在市场上购买活性炭,需购买灰分值小于 0.05% 的活性炭开展相关测试,能大幅提高数据的稳定性和准确性,提高工作效率。

表 2 不同活性炭灰分下金的回收率

Table 2 Recoveries of gold under different ash contents of activated carbon

Activated carbon ash content/%	<0.02	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	>7
Recoveries of gold/%	99	97	95	92	90	86	75	67	54	46

2.3 吸附柱中活性炭的层数

活性炭动态吸附过程中,经王水溶解后的试样在真空泵运转产生的负压条件下,渗透穿过活性炭纸饼,在此过程中,金离子会被活性炭吸附。然而纸饼的层数不同,对金离子的吸附率也不同。

对活性炭单层(即 0.5 g 活性炭一次性加入吸附柱)、双层(即 0.5 g 活性炭分两次加入吸附柱,中间用纸浆隔开)、三层(即 0.5 g 活性炭分三次加入吸附柱,中间用纸浆隔开)、混合层(即 0.5 g 活性炭与 0.2 g 纸浆配在一起加入吸附柱)分四种情况各制作 6 个吸附柱,其他分析条件不变,对金矿石标准物质 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a 和 GBW07810 进行精密度和正确度实验,每种情况

进行 6 次平行测定,研究活性炭层数对分析结果的影响程度,见表 3。

由表 3 数据可知,用双层和三层活性炭动态吸附测定计算 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a 和 GBW07810 等金矿石标准物质金元素的平行样值的准确度更好,测定值的平均值与认定值的相对偏差(RE)和相对标准偏差(RSD, $n=6$)均优于混合层和单层,满足岩石矿物质控标准规范中正精度和精密度的要求。

结果表明,增加活性炭层数能明显提升金元素的回收率,提高试样测试数据的质量,但增加层数会减缓过滤速度,制作吸附柱时间也会增加,降低工作效率。因此,综合考虑采取双层活性炭进行金离子动态富集的方法为最优条件。

表 3 活性炭层数对金矿石标准物质中 Au 测定结果的影响

Table 3 Effects of activated carbon layer number on determination of Au in reference materials of gold ore($n=6$)

Activated carbon layers	Item	GBW(E)070013b	GBW07297a	GBW07299a	GBW07810
Single layer	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.01	17.71	49.71	87.78
	RE/%	7.65	3.23	4.04	4.58
	RSD/%	8.6	3.7	4.9	5.1
Double layer	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.06	18.11	51.42	91.73
	RE/%	3.22	1.04	0.73	0.29
	RSD/%	3.7	1.2	0.83	0.040
Three layers	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.07	18.20	51.55	91.87
	RE/%	1.83	0.54	0.48	0.14
	RSD/%	2.3	0.69	0.56	0.17
Mixing layer	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.04	18.01	50.90	90.97
	RE/%	4.43	1.61	1.74	2.35
	RSD/%	5.0	1.8	2.1	1.1

2.4 抽滤洗涤溶液的温度

试样分解完成后要通过活性炭吸附抽滤装置进行过滤,此过程需对锥形瓶、布氏漏斗中的沉淀及吸附柱进行多次洗涤,然而洗涤溶液的温度不同,直接影响洗涤和活性炭的吸附效果,导致金元素的损失,降低分析数据的准确度。本文通过加热电炉、温度计等设备,配制保持室温(20~25 °C)、温热(40~50 °C)、

热(70~80 °C)三种温度段的洗涤溶液(溶液配制浓度见实验方法中的样品制备部分),活性炭吸附层采用 0.5 g 双层吸附,其他分析条件相同,对金矿石标准物质 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a 和 GBW07810 进行精密度和正确度的对比,每种情况进行 6 次平行测定,并计算精密度和正确度,结果见表 4。根据测定数据研究洗涤溶液的温度对分析结果的影响情况。

表 4 洗涤溶液的温度对金矿石标准物质中 Au 测定结果的影响

Table 4 Effects of temperature of washing solution on determination of Au in reference material of gold ore($n=6$)

Solution type	Item	GBW(E)070013b	GBW07297a	GBW07299a	GBW07810
Room temperature solution	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	0.92	15.14	44.47	78.35
	RE/%	15.44	17.30	14.15	14.84
	RSD/%	17.0	19.1	15.6	16.3
Warm solution	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.00	17.33	49.13	89.32
	RE/%	8.26	5.29	5.16	2.92
	RSD/%	9.2	5.9	6.0	3.4
Hot solution	Certified/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.09	18.30	51.80	92.00
	Found/ $(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	1.07	18.13	51.63	91.84
	RE/%	1.53	0.93	0.34	0.17
	RSD/%	2.1	1.1	0.40	0.2

从表 4 数据可知,在抽滤洗涤环节,用热溶液(70~80 °C)洗涤布氏漏斗和吸附柱效果最好,金的吸附率最高,测定计算 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a 和 GBW07810 等金矿石标准物质金元素的平行样的正确度和相对标准偏差最小,满足岩石矿物质控标准规范中的要求。

2.5 方法验证

选择金含量低、中、高的 4 个金矿石成分标准物质 GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a、GBW07810,按照实验方法中样品制备流程,参考使用优化后的分析条件参数分别进行 6 次平行测定金,并计算正确度和精密度,见表 5。

表 5 条件优化后测定金的正确度和精密度结果

Table 5 Accuracy and precision results of gold determination after optimization of conditions($n=6$)

Sample No.	Certified/ ($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)	Found/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)						Average value/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	Y_B / %	RE / %	Y_C / %	RSD / %
GBW(E)070013b	1.09±0.04	1.06	1.11	1.05	1.07	1.15	1.05	1.08	4.64	0.76	6.57	3.8
GBW07297a	18.3±0.4	18.19	18.25	18.31	18.15	18.28	18.15	18.22	1.62	0.43	2.30	0.60
GBW07299a	51.8±0.8	51.62	51.56	51.49	51.60	51.99	51.52	51.63	0.76	0.33	1.07	0.50
GBW07810	92	91.71	91.58	91.82	91.73	91.98	92.31	91.85	0.32	0.16	0.46	0.33

由表 5 数据可知,金矿石标准物质测定的正确度在 0.16%~0.76%,精密度(RSD, $n=6$)在 0.33%~3.8%,精密度和正确度较好。

结果表明,优化后的分析条件可以较大地提高活性炭富集-火焰原子吸收光谱法测金的准确性,对支撑开展新一轮战略性找矿具有重要意义。

3 结论

活性炭动态吸附-火焰原子吸收光谱法测金的影响因素很多,通过对金矿石标准物质(GBW(E)070013b、GBW07297a、GBW07299a 和 GBW07810 中金元素的测定,重点对活性炭用量、活性炭灰分、活性炭吸附层数量以及抽滤洗涤环节洗涤溶液温度等影响分析结果的因素进行实验对比和方法验证。结果表明,采用单个样品活性炭用量 0.5 g、活性炭灰分小于 0.05%、双层活性炭吸附层、热溶液(70~80 °C)洗涤布氏漏斗以及吸附柱会较大地提升分析数据的准确性,条件优化后测定金的精密度(RSD, $n=6$)为 0.33%~3.8%,正确度在 0.16%~0.76%,满足 DZ/T 0130.3—2006《地质矿产实验室测试质量管理规范》第 3 部分岩石矿物样品化学成分分析的质量要求。这些影响因素的优化可广泛运用到日常的分析测试工作中,为活性炭动态吸附-火焰原子吸收光谱工作提供较大的帮助。

参考文献

[1] 岩石矿物分析编写委员会编. 岩石矿物分析:第三分册[M]. 第四版. 北京:地质出版社,2011:614-637.
Edited by the Editorial Committee of Rock and Mineral Analysis. Rock and mineral analysis: volume III [M]. 4th ed. Beijing: Geological Publishing House, 2011:

614-637.
[2] 王鹏,门倩妮,甘黎明,等. 基于 RSM 模型对石墨炉原子吸收法分析痕量金测定条件的优化研究[J]. 光谱学与光谱分析,2022,42(8):2334-2339.
WANG Peng, MEN Qianni, GAN Liming, et al. Research on optimization of determination conditions for trace gold analysis by graphite furnace atomic absorption spectrometry based on RSM model [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2022, 42 (8): 2334-2339.
[3] 陈祝海. 基于 Freundlich 吸附等温方程测定氰化提金工艺用活性炭的吸附金容量[J]. 冶金分析, 2020, 40(2):29-35.
CHEN Zhuhai. Determination of gold adsorption capacity of activated carbon in cyanide leaching process based on Freundlich adsorption isotherm equation [J]. Metallurgical Analysis, 2020, 40(2):29-35.
[4] 王楠,孙旭东,霍地. 小火试金分离富集火焰原子吸收光谱法测定矿石样品中的金[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(8):2614-2617.
WANG Nan, SUN Xudong, HUO Di. Determination of gold in mineral samples by flame atomic absorption spectrometry after the separation and preconcentration with small fire assay [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(8):2614-2617.
[5] 崔行宪,石奇超. 火试金重量法与原子吸收光谱(AAS)法测定砂金中金的含量[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(4):45-49.
CUI Xingxian, SHI Qichao. Determination of gold in placer gold by fire assay gravimetric method combined with AAS wet method [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(4):45-49.
[6] 陈爱平,陈志慧,王苏明,等. 氢醌滴定法测定金矿石中

- 金的不确定度评定[J]. 岩矿测试, 2006, 25(4): 360-364.
- CHEN Aiping, CHEN Zhihui, WANG Suming, et al. Uncertainty evaluation of measurement results of gold in auriferous ore samples by hydroquinone titration[J]. Rock And Mineral Analysis, 2006, 25(4): 360-364.
- [7] 王小强, 赵亚男, 梁倩, 等. 泡沫塑料富集-火焰原子吸收光谱法测定金矿石中金[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(3): 110-114.
- WANG Xiaoqiang, ZHAO Yanan, LIANG Qian, et al. Determination of gold in gold ores by flame atomic absorption spectrometry with foam plastics enrichment[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(3): 110-114.
- [8] 李杰阳. 泡沫塑料富集-火焰原子吸收光谱法测定矿物中低品位伴生金含量[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(3): 60-65.
- LI Jieyang. Determination of low-grade associated gold in minerals by flame atomic absorption spectrometry with foam-enriched[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(3): 60-65.
- [9] 任志海, 夏照明, 万兵. 王水密闭溶矿-火焰原子吸收光谱法测定金矿石中的金[J]. 中国无机分析化学, 2015, 5(1): 35-37.
- REN Zhihai, XIA Zhaoming, WAN Bing. Determination of Au in gold ore by FAAS with closed digestion by aqua regia[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2015, 5(1): 35-37.
- [10] 张志刚, 刘凯, 陈泓, 等. 酒石酸络合掩蔽铋-氢醌容量法测定锑矿石样品中的常量金[J]. 岩矿测试, 2015, 34(4): 454-458.
- ZHANG Zhigang, LIU Kai, CHEN Hong, et al. Determination of gold in antimony ores by hydroquinone volumetric method with antimony tartrate as complexing and masking agent[J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34(4): 454-458.
- [11] 刘秋波, 王皓莹. 活性炭吸附-火焰原子吸收光谱法测定粗硒中的金[J]. 中国无机分析化学, 2015, 5(2): 67-69.
- LIU Qiubo, WANG Haoying. Determination of gold in crude selenium by activated carbon absorption-fire atomic absorption spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2015, 5(2): 67-69.
- [12] 郑击明, 梁淑媚, 熊泽威, 等. 硫脲改性活性炭及吸附金性能研究[J]. 功能材料, 2019, 50(4): 4136-4141, 41467.
- ZHENG Jiming, LIANG Shumei, XIONG Zewei, et al. Study on properties of activated carbon modified by thiourea and adsorption of gold[J]. Journal of Functional Materials, 2019, 50(4): 4136-4141, 41467.
- [13] 王登红. 关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J]. 地质学报, 2019, 93(6): 1189-1209.
- WANG Denghong. Study on critical mineral resources: significance of research, determination of types, attributes of resources, progress of prospecting, problems of utilization, and direction of exploitation[J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(6): 1189-1209.