

矿石中银物相分析方法研究

孟宪伟,葛仲义*,陈永红,逢文好,关国军,苏广东,范茹红

(长春黄金研究院有限公司)

摘要:矿石中银物相分析是指分析银在各载体矿物中的含量,通过实验确定矿石中银物相主要包括菱锌矿中银、含铁锰矿物中银、自然银、硫化银、铁氧化物中银和硅酸盐中银 6 相。选取醋酸浸取菱锌矿中银,氯化钠-盐酸羟胺浸取含铁锰矿物中银,硝酸铁溶液浸取自然银,硫脲-硫酸溶液浸取硫化银,盐酸-氯化亚锡浸取铁氧化物中银,剩余残渣测定硅酸盐中银。本方法测定各相态银的相对标准偏差为 0.22 % ~ 5.36 %,各相态银加和与总银测定结果吻合良好,表明方法分相正确,测试结果准确度和精密度满足要求。

关键词:矿石;银;物相分析;自然银;硫化银

中图分类号:TD926.3

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)07-0106-05

doi:10.11792/hj202407118

引言

物相分析是指利用化学或物理方法测定矿物组成及其存在状态的分析方法。矿石中银主要存在形式有以独立矿物状态存在的硫化物,如辉银矿、脆硫锑银矿、深红银矿等;自然银及银的金属互化物,如银金矿、金银矿;方铅矿、硫化铜矿物中银,可以类质同象或以微细粒包裹体状态存在;在表生条件下有次生矿物角银矿(AgCl);一些铁锰氧化物和脉石矿物也可包裹或吸附银^[1-5]。目前,银物相分析的文献报道较少,且存在银物相分类不全,广泛使用性较差,分析方法较落后,没有与现代化仪器相结合等一系列问题^[6-8]。

研究建立了适用于大部分矿石中银物相分析的方法,并优化了适合各物相的浸提剂,确定了浸提剂用量、浸出温度、浸出时间、水平振荡时间、副反应的防止措施及浸出促进剂和抑制剂等参数,确保分析结果准确。

1 实验部分

1.1 试剂

盐酸(1.19 g/mL)、硝酸(1.42 g/mL)、高氯酸(1.67 g/mL)、氢氟酸(1.15 g/mL)、王水(盐酸与硝酸体积比为 3:1)。

浸提剂 1:6 % 醋酸。

浸提剂 2:150 g 氯化钠和 50 g 盐酸羟胺溶于 1 L 水中。

浸提剂 3:10 g 九水合硝酸铁溶于 1 L 水中。

浸提剂 4:60 g/L 硫脲、5 % 硫酸混合液。

浸提剂 5:盐酸(1+2)中加入 1 % 氯化亚锡。

硫酸汞溶液:称量 0.040 g 硫酸汞溶于 50 mL 硝酸铁(70 g/L)溶液中,用蒸馏水定容到 1 L。

银标准贮存溶液:称取 0.500 0 g 纯银($w \geq 99.99\%$)置于 100 mL 烧杯中,加入 20 mL 硝酸(1+1),加热至完全溶解,煮沸去除氮氧化物至红棕色气体消失,取下冷却,用不含氯离子水移入 1 000 mL 棕色容量瓶中,加入 30 mL 硝酸,用不含氯离子水稀释至刻度,混匀。该标准贮存溶液中银质量浓度为 0.500 mg/mL。

银标准溶液:移取 50.00 mL 银标准贮存溶液于 500 mL 棕色容量瓶中,加入 10 mL 硝酸,用不含氯离子水稀释至刻度,混匀。该标准溶液中银质量浓度为 50 $\mu\text{g/mL}$ 。

1.2 仪器

ICE 3500 火焰原子吸收光谱仪(美国热电公司),最佳工作参数见表 1。IRIS Intrepid II 电感耦合等离子体光谱仪(ICP,美国热电公司),最佳工作参数见表 2。

表 1 火焰原子吸收光谱仪最佳工作参数

Table 1 Optimal operating parameters for flame atomic absorption spectrometer

元素	波长/ nm	光谱通带/ nm	灯电流/ mA	空气流量/ (L·h ⁻¹)	乙炔流量/ (L·h ⁻¹)	燃烧头高度/ mm
Ag	328.06	0.7	15	500	50	6

收稿日期:2024-04-01;修回日期:2024-05-09

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC2907803)

作者简介:孟宪伟(1984—),男,高级工程师,硕士,从事检测分析及标准化研究工作;E-mail:75347877@qq.com

*通信作者:葛仲义(1985—),男,高级工程师,硕士,从事检测分析及标准化研究工作;E-mail:1262998367@qq.com

表 2 电感耦合等离子体光谱仪最佳工作参数

Table 2 Optimal operating parameters for inductively coupled plasma spectrometer	
指标	参数
功率/W	1 150
雾化器压力/Pa	32
泵速/(r · min ⁻¹)	1.50
辅助气体流量/(L · min ⁻¹)	1.0
积分时间/s	20
观测方式	径向
分析谱线/nm	328.06

1.3 实验方法

1.3.1 菱锌矿中银的测定

称取 0.100 0 ~ 0.200 0 g 粒度小于 0.075 mm 的矿石试样于 150 mL 锥形瓶中,加入 50 mL 浸提剂 1, 盖上表面皿,放在 180 ℃ 电热板上加热 50 min,冷却至室温。采用双层定量滤纸过滤到 400 mL 烧杯中,洗涤至滤液体积为 150 ~ 200 mL,加热浓缩滤液至 20 mL 左右,烧杯中加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,火焰原子吸收光谱法测定。

需要注意的是,浓缩时不能蒸干,且需盖表面皿;过滤时必须采用双层定量滤纸。

1.3.2 含铁锰矿物中银的测定

将 1.3.1 中过滤后的滤渣连同滤纸放入 150 mL 锥形瓶中,加入 50 mL 浸提剂 2,水平振荡 25 min,振荡频率 180 次/min。采用单层定量滤纸过滤到 400 mL 烧杯中,洗涤至滤液体积为 150 ~ 200 mL,加热浓缩滤液至 20 mL 左右,烧杯中加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,ICP 测定。

1.3.3 自然银的测定

将 1.3.2 中过滤后的滤渣连同滤纸放入 150 mL 锥形瓶中,加入 50 mL 浸提剂 3,再加入 5 mL 硫酸汞溶液,水平振荡 30 min,振荡频率 180 次/min。采用单层定量滤纸过滤到 400 mL 烧杯中,洗涤至滤液体积为 150 ~ 200 mL,加热浓缩滤液至 20 mL 左右,烧杯中加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,原子吸收光谱法测定^[2-4]。

需要注意的是,在浓缩时不能蒸干,且需盖表面皿;过滤时采用单层定量滤纸过滤。

1.3.4 硫化银的测定

将 1.3.3 中过滤后的滤渣连同滤纸放入 150 mL 锥形瓶中,加入 100 mL 浸提剂 4,水平振荡 45 min,振荡频率 180 次/min。采用单层定量滤纸过滤到 400 mL 烧杯中,洗涤至滤液体积为 250 ~ 300 mL,加热浓缩滤液至 50 mL 左右,取下稍冷,加入 1 mL 硫酸,置于 180 ℃ 电热板上,加入浓硝酸调节至溶液变为黄色,不再产生大量气泡为止;取下置于 350 ℃ 高温炉盘上蒸至冒白烟,取下稍冷,烧杯中加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,火焰原子吸收光谱法测定样品。

需要注意的是,浓缩时不能蒸干,且需盖表面皿;硝酸添加方式为滴加,不能大量快速加入;过滤时采用单层定量滤纸过滤;加入三酸消解样品,否则结果偏低。

1.3.5 铁氧化物中银的测定

将 1.3.4 中过滤后的滤渣连同滤纸放入 150 mL 锥形瓶中,加入 80 mL 浸提剂 5,置于 80 ℃ 电热板上加热 40 min。采用单层定量滤纸过滤至 400 mL 烧杯中,洗涤至滤液体积为 250 ~ 300 mL,加热浓缩滤液至 50 mL 左右,取下稍冷,烧杯中加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,火焰原子吸收光谱法测定。

需要注意的是,浓缩时体积不能蒸干,且需盖表面皿;过滤时必须采用单层定量滤纸过滤。

1.3.6 硅酸盐中银的测定

将 1.3.5 中过滤后的滤渣连同滤纸放入 100 mL 刚玉坩埚中,置于马氟炉中,升温至 700 ℃,灰化结束后,坩埚中加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、5 mL 氢氟酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,火焰原子吸收光谱法测定。

1.3.7 总银的测定

称取 0.1 ~ 0.5 g 矿石试样于聚四氟乙烯坩埚中,加水润湿,再加入 15 mL 盐酸、10 mL 硝酸、5 mL 氢氟酸、3 mL 高氯酸,于电热板上加热消解。消解结束后加入盐酸浸出,酸度控制在 15 % ~ 20 %。根据样品含量定容,采用火焰原子吸收光谱法测定。

2 结果讨论与分析

2.1 醋酸用量

醋酸用量直接影响浸出效果,用量过低导致浸出不完全。实验设计醋酸用量分别为 2 %、4 %、6 %、

8 % ,每个用量平行测定 4 次,结果见表 3。从表 3 可以看出:当醋酸用量为 2 % 时,用量不足,菱锌矿中银没有全部浸出;当醋酸用量达到 4 % ~ 8 % 时,测定结果基本稳定。综合考虑浸出效果及成本,醋酸用量选择 6 % 。

表 3 不同醋酸用量实验结果

Table 3 Test results of varying dosages of acetic acid						
醋酸用量/ %	测定结果/(g · t ⁻¹)				平均值/ (g · t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
2	128.12	144.18	133.21	138.16	135.92	5.05
4	148.15	150.25	149.28	151.16	149.71	0.86
6	151.35	150.36	151.30	150.31	150.83	0.38
8	149.36	150.21	151.33	152.33	150.81	0.86

2.2 浸出温度

在测定菱锌矿中银时,实验设计浸出温度分别为 50 ℃、100 ℃、150 ℃、180 ℃、200 ℃,每个温度平行测定 4 次,结果见表 4。从表 4 可以看出:当浸出温度为 50 ℃ ~ 100 ℃ 时,菱锌矿中银没有全部浸出,测定结果偏低;当浸出温度达到 150 ℃ ~ 200 ℃ 时,菱锌矿中银浸出完全。综合考虑,浸出温度选择 180 ℃。

表 4 不同浸出温度实验结果

Table 4 Test results of varying leaching temperatures						
浸出温度/ ℃	测定结果/(g · t ⁻¹)				平均值/ (g · t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
50	105.12	124.18	122.21	101.16	113.17	10.04
100	131.15	145.25	135.28	122.16	133.46	7.18
150	149.35	151.39	152.41	150.98	151.03	0.84
180	151.34	150.28	151.32	149.31	150.56	0.64
200	151.32	148.91	150.38	152.22	150.71	0.94

2.3 浸出时间

实验考察了浸出时间对菱锌矿中银测定的影响,设计浸出时间分别为 20 min、30 min、40 min、50 min、60 min,每个时间平行测定 4 次,结果见表 5。从表 5 可以看出:浸出时间较少时,反应不完全,测定结果偏低;当浸出时间为 40 ~ 60 min 时,测定结果基本稳定,表明菱锌矿中银浸出完全。因此,浸出时间选择 50 min。

2.4 浸提剂 2 用量

浸提剂 2 中含有大量的钠盐,会严重影响火焰原子吸收光谱法测定结果的准确度和精密度,而 ICP 法测定含钠盐样品的抗干扰能力更强,因此采用 ICP 法测定含铁锰矿物中银。实验设计浸提剂 2 用量分别为 20 mL、30 mL、40 mL、50 mL、60 mL,每个用量平行测定 4 次,结果见表 6。从表 6 可以看出:当浸提剂 2

表 5 不同浸出时间实验结果

Table 5 Test results of varying leaching time						
浸出时间/ min	测定结果/(g · t ⁻¹)				平均值/ (g · t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
20	125.12	114.18	122.21	138.16	124.92	7.98
30	140.15	130.25	135.28	138.16	135.96	3.16
40	149.25	151.29	152.11	150.21	150.72	0.83
50	151.38	150.25	151.33	150.35	150.83	0.40
60	151.32	153.30	150.30	150.20	151.28	0.95

用量为 40 ~ 60 mL 时,测定结果的相对标准偏差较小。综合考虑,浸提剂 2 用量选择 50 mL。

表 6 不同浸提剂 2 用量实验结果

Table 6 Test results of varying dosages of Extraction Agent 2						
浸提剂 2 用量/mL	测定结果/(g · t ⁻¹)				平均值/ (g · t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
20	50.15	40.17	45.28	35.18	42.70	15.12
30	55.15	64.25	51.28	58.16	57.21	9.56
40	85.15	79.99	83.11	82.21	82.62	2.59
50	85.18	84.08	85.19	86.22	85.17	1.03
60	85.12	84.09	83.20	85.20	84.40	1.12

2.5 浸提剂 3 用量

实验考察了浸提剂 3 用量对测定结果的影响,设计用量分别 20 mL、30 mL、40 mL、50 mL、60 mL,每个用量平行测定 4 次,结果见表 7。从表 7 可以看出:当浸提剂 3 用量为 40 ~ 60 mL 时,测定结果稳定。综合考虑,浸提剂 3 用量选择 50 mL。

表 7 不同浸提剂 3 用量实验结果

Table 7 Test results of varying dosages of Extraction Agent 3						
浸提剂 3 用量/mL	测定结果/(g · t ⁻¹)				平均值/ (g · t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
20	50.15	40.17	45.28	35.18	42.70	15.12
30	55.15	64.25	51.28	58.16	57.21	9.57
40	85.15	79.99	82.11	86.21	83.36	3.41
50	85.18	86.08	83.19	85.22	84.92	1.44
60	84.12	85.09	86.20	85.80	85.30	1.07

2.6 水平振荡时间

在测定自然银中银时,考察了水平振荡时间对测定结果的影响。实验设计水平振荡时间分别为 10 min、20 min、30 min、40 min,每个时间平行测定 4 次,结果见表 8。从表 8 可以看出:随着水平振荡时间的增加,测定结果逐渐提高。当水平振荡时间为 30 ~ 40 min 时,测定结果稳定,表明自然银中银浸出完全,因此水平振荡时间确定为 30 min。

表 8 不同水平振荡时间实验结果

Table 8 Test results of varying oscillation time at different levels

水平振荡时间/ min	测定结果/(g·t ⁻¹)				平均值/ (g·t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
10	50.15	40.17	45.28	35.18	42.70	15.12
20	55.15	64.25	51.28	58.16	57.21	9.57
30	85.15	79.99	85.11	83.21	83.36	2.91
40	78.18	81.08	84.19	85.22	82.17	3.88

2.7 硫酸汞用量

加入硫酸汞是为了防止溶液中少量 S²⁻ 与溶解的 Ag 生成 Ag₂S 而使测定结果偏低,但硫酸汞不能加入过多,一方面,硫酸汞剧毒;另一方面,Hg²⁺ 会造成硫化银的部分溶解。实验设计硫酸汞用量分别为 0,0.05,0.1,0.2,0.5 和 0.8 mg,每个用量平行测定 4 次,结果见表 9。从表 9 可以看出:硫酸汞用量控制在 0.1 ~ 0.5 mg 时,可防止生成 Ag₂S,同时过量硫酸汞不会造成硫化银溶解,因此确定硫酸汞用量为 0.2 mg。

表 9 不同硫酸汞用量实验结果

Table 9 Test results of varying dosages of mercuric sulfate

硫酸汞用量/ mg	测定结果/(g·t ⁻¹)				平均值/ (g·t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
0	30.15	40.17	35.28	35.18	35.20	11.62
0.05	75.15	74.25	71.28	76.16	74.21	2.83
0.1	84.15	82.99	83.11	83.21	83.36	0.64
0.2	83.65	82.96	82.11	82.21	82.73	0.87
0.5	84.28	83.09	83.78	82.56	83.43	0.91
0.8	97.12	98.05	95.11	99.12	97.35	1.75

表 11 硝酸处理硫脲实验结果

Table 11 Test results of thiourea treatment with nitric acid

处理方法	测定结果/(g·t ⁻¹)				平均值/ (g·t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
不加入硝酸加热处理	140.16	155.16	170.11	185.16	162.65	11.90
一次性加入 10 mL 硝酸加热处理	233.19	224.78	211.56	215.69	221.30	4.36
滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄加热处理	260.88	263.15	261.22	262.37	261.90	0.40
滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄并过量 3 mL 加热处理	259.68	261.25	263.37	257.35	260.41	0.98

从表 11 可以看出:当残余硫脲不进行处理时,测定结果偏低;采用一次性加入 10 mL 硝酸加热处理时,硫脲处理不完全,测定结果依然偏低;采用滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄加热处理时,残余硫脲去除较完全,测定结果稳定;采用滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄并过量 3 mL 加热处理时,测定结果无明显变化。因此,实验选择滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄加热处理残余硫脲。

2.8 硫脲用量

考察硫脲用量分别为 10 g/L、20 g/L、40 g/L、60 g/L、80 g/L 对测定结果的影响,每个用量平行测定 4 次,结果见表 10。从表 10 可以看出:当硫脲用量过低时,不能完全浸提样品中的硫化银,测定结果偏低;当硫脲用量为 40 ~ 80 g/L 时,硫化银完全浸出,且测定结果稳定。硫脲用量过高,后续处理时间较长,不利于实验的进行。综合考虑样品复杂程度,硫脲用量选择 60 g/L。

表 10 不同硫脲用量实验结果

Table 10 Test results of varying dosages of thiourea

硫脲用量/ (g·L ⁻¹)	测定结果/(g·t ⁻¹)				平均值/ (g·t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
10	190.15	185.19	160.11	178.16	178.40	7.37
20	230.15	220.25	231.28	218.66	225.08	2.91
40	260.45	261.49	258.41	255.81	259.04	0.97
60	259.68	262.25	260.37	261.35	260.91	0.43
80	258.32	260.30	261.30	259.20	259.78	0.50

2.9 残余硫脲处理方法

硫脲存在会影响仪器测定,且硫脲过量,样品酸化定容后会析出大量沉淀,对银有一定的包裹,使得测定结果偏低。实验设计了 4 种残余硫脲处理方法,分别为不加入硝酸加热处理硫脲、一次性加入 10 mL 硝酸加热处理硫脲、滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄加热处理硫脲、滴管缓慢滴加硝酸直到溶液颜色变黄并过量 3 mL 加热处理硫脲,每种方法平行测定 4 次,结果见表 11。

2.10 氯化亚锡用量

实验设计氯化亚锡用量分别为 0.1 %、0.5 %、1 %、2 %、4 %,每个用量平行测定 4 次,结果见表 12。从表 12 可以看出:当氯化亚锡用量过低时,不能完全浸提铁氧化物中银,测定结果偏低;当氯化亚锡用量达到 1 % 时,能够完全浸提铁氧化物中银,且测定结果稳定;当氯化亚锡用量继续增加到 4 % 时,测定结果偏低。因此,氯化亚锡用量确定为 1 %。

表 12 不同氯化亚锡用量实验结果

Table 12 Test results of varying dosages of stannous chloride

氯化亚锡用量/ %	测定结果/(g·t ⁻¹)				平均值/ (g·t ⁻¹)	RSD/ %
	1	2	3	4		
0.1	30.12	30.83	27.61	25.42	28.50	8.67
0.5	47.32	48.79	46.79	49.56	48.12	2.66
1	56.17	57.47	55.85	56.46	56.49	1.24
2	56.56	54.91	56.77	57.48	56.43	1.93
4	50.12	52.37	52.15	48.18	50.70	3.87

2.11 方法的精密度

按照本实验方法,选用样品 2[#]、3[#]、4[#]、5[#]进行银物相分析,结果见表 13。从表 13 可以看出,测定结果的相对标准偏差为 0.22 % ~ 5.36 %,方法的精密度良好。

表 13 方法的精密度实验结果

Table 13 Precision test results of the method

样品	银物相	测定结果/(g·t ⁻¹)				平均值/ (g·t ⁻¹)	RSD/ %
		1	2	3	4		
2 [#]	菱锌矿中银	25.16	24.18	26.17	25.78	25.32	3.42
	含铁锰矿物中银	20.11	19.88	21.22	22.31	20.88	5.36
	自然银	16.52	16.77	15.42	16.11	16.20	3.64
	硫化银	45.46	45.62	46.88	44.56	45.63	2.09
	铁氧化物中银	25.88	26.80	25.66	25.80	26.04	1.99
	硅酸盐中银	33.11	32.12	33.46	33.97	33.16	2.36
3 [#]	菱锌矿中银	35.11	34.16	36.47	35.18	35.23	2.69
	含铁锰矿物中银	16.42	16.67	18.32	17.67	17.27	4.88
	自然银	55.14	54.79	55.32	53.23	54.62	1.74
	硫化银	88.46	87.69	88.68	86.56	87.85	1.09
	铁氧化物中银	45.85	46.85	45.66	45.10	45.86	1.59
	硅酸盐中银	63.66	62.19	63.55	62.97	63.09	1.07
4 [#]	菱锌矿中银	55.31	54.66	55.57	56.18	55.43	1.14
	含铁锰矿物中银	56.42	56.27	58.82	57.69	57.30	2.09
	自然银	35.14	34.29	35.92	33.13	34.62	3.45
	硫化银	188.46	187.79	188.68	186.89	187.96	0.43
	铁氧化物中银	75.85	76.25	75.89	75.10	75.77	0.64
	硅酸盐中银	33.46	32.49	34.55	35.97	34.12	4.38
5 [#]	菱锌矿中银	62.30	62.69	66.57	63.48	63.76	3.04
	含铁锰矿物中银	46.62	46.57	48.82	47.67	47.42	2.24
	自然银	75.44	74.69	75.92	76.18	75.56	0.86
	硫化银	368.46	367.79	368.68	366.89	367.96	0.22
	铁氧化物中银	55.85	56.25	54.89	56.10	55.77	1.10
	硅酸盐中银	123.46	122.69	124.15	125.17	123.87	0.85

2.12 方法的准确度

按照本实验方法测定样品 2[#]、3[#]、4[#]、5[#]中银,并与总银测定结果进行对比,结果见表 14。从表 14 可以看出,4 个样品各相态银加和与总银测定结果基本一致,表明该物相分析方法可靠。

表 14 方法的准确度实验结果

Table 14 Accuracy test results of the method

银物相	测定结果/(g·t ⁻¹)			
	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
菱锌矿中银	25.32	35.23	55.43	63.76
含铁锰矿物中银	20.88	17.27	57.30	47.42
自然银	16.20	54.62	34.62	75.56
硫化银	45.63	87.85	187.96	367.96
铁氧化物中银	26.04	45.86	75.77	55.77
硅酸盐中银	33.16	63.09	34.12	123.87
合计	167.23	303.92	445.20	734.34
总银	167.76	302.17	444.45	732.34

3 结 语

研究将银物相分为菱锌矿中银、含铁锰矿物中银、自然银、硫化银、铁氧化物中银和硅酸盐中银等 6 相,建立的分析方法适用于大部分银的物相分析,对银工艺矿物学研究、银选冶工艺方案的制订及解决银矿资源的开发利用具有重要现实意义。本方法的精密度和准确度满足化学物相分析的误差要求,为银物相分析提供了可行的技术方案。

[参 考 文 献]

[1] 龚美菱. 相态分析与地质找矿[M]. 北京:地质出版社,2007.
[2] 阮贵华,廖祝华,王旭宏. 含锰高品位银矿中银的物相分析[J]. 桂林工学院学报,2003(2):185-187.
[3] 阮鸿兴. 某多金属矿床中银的物相分析方法研究[J]. 黄金,1994,15(7):49-54.
[4] 符招弟,张晓娟,杨炳红,等. 云南澜沧县银锰矿中银的化学物相分析探讨[J]. 冶金分析,2020,40(1):46-50.
[5] 关国军,葛仲义,张灵芝,等. 银化学物相分析中硫化银相测定方法研究[J]. 云南冶金,2022,51(6):128-133.
[6] 常征,熊馨,霸慧文. 青海某含银低品位铜矿石选矿工艺试验研究[J]. 黄金,2022,43(9):60-64.
[7] 祁磊,高文元,殷燕林,等. 云南大理某含金多金属氧化矿石工艺矿物学及分选试验研究[J]. 黄金,2022,43(11):67-72.
[8] 陈永红,韩冰冰,洪博,等. 2019—2020 年中国银分析测定的进展[J]. 黄金,2022,43(2):104-110.

Study on methods for phase analysis of silver in ores

Meng Xianwei, Ge Zhongyi, Chen Yonghong, Pang Wenhao, Guan Guojun, Su Guangdong, Fan Ruhong
(Changchun Gold Research Institute Co., Ltd.)

Abstract: Phase analysis of silver in ores refers to the determination of the content of silver in various host minerals. Through experimental analysis, it is established that the main silver phases in the ore include 6 types: silver in smithsonite, silver in minerals bearing iron and manganese, native silver, silver sulfide, silver in iron oxides, and silver in silicates. Acetic acid is used to leach silver from smithsonite, sodium chloride-hydroxylamine hydrochloride is used to leach silver from minerals bearing iron and manganese, ferric nitrate solution is used to leach native silver, thiourea-sulfuric acid solution is used to leach silver sulfide, hydrochloric acid-stannous chloride is used to leach silver from iron oxides, and the remaining residue is measured for silver in silicates. The relative standard deviation of this method for determining each silver phase ranges from 0.22 % to 5.36 %. The sum of the silver content from each phase closely matches the total silver content measured, indicating that the phase separation method is correct and the test results are accurate.

Keywords: ore; silver; phase analysis; native silver; silver sulfide