

# 火试金重量法测定碲化铜中的金和银

刘娜<sup>1</sup>, 刘芳美<sup>1</sup>, 赖秋祥<sup>1,2</sup>, 吕火秀<sup>1</sup>, 袁水平<sup>2,3</sup>

(1. 紫金铜业有限公司 铜绿色生产及伴生资源综合利用福建省重点实验室, 福建 上杭 364200;  
2. 紫金矿业集团股份有限公司, 福建 上杭 364200, 3. 福州大学 紫金地质与矿业学院, 福建 福州 350108)

[摘要] 现行碲化铜中金和银测定标准方法 YS/T 1329.3—2019 可以准确测定碲化铜中金和银含量,但操作繁琐、周期长,难以满足铜冶炼企业快速测定碲化铜中金和银的要求。本文试验摒弃预处理除铜、碲等杂质工序,建立直接火试金重量法准确、快速测定碲化铜样品中的金、银含量,并通过一系列试验探索获得最佳检测条件。该方法的主要特点在于采用火试金重量法直接分析检测,不但准确性好、效率高,对于低金含量(Au < 10 g/t)样品也同样适用。按照试验方法测定5个碲化铜样品,结果的相对标准偏差(RSD为0.34%~2.76%, $n=7$ )为0.34%~2.76%,金的加标回收率为98.7%~101.2%,银的回收率为97.5%~99.0%;按照试验方法测定碲化铜中金和银,与YS/T 1329.3—2019方法测定结果进行比对,结果相一致。试验方法适用于铜冶炼过程中碲化铜样品金、银含量的测定,可用于日常检测分析。

[关键词] 碲化铜;火试金重量法;金;银;铜冶炼;相对标准偏差;回收率;灰吹

[中图分类号] TF03 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2022)06-0065-06

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2022.06.010

## 0 引言

铜阳极泥经过常压浸出-加压浸出-压滤-沉碲后得到碲化铜,主要含铜、碲、硒、金、银等有价元素<sup>[1]</sup>,可作为铜电解工艺下游生产精碲的重要原料。为降低固废处理资金的投入,碲化铜一般不做进一步处理直接外售,其中的贵金属无法准确计价,使企业的经济效益受到影响。因此,快速准确测定碲化铜中的贵金属金和银的含量对贸易结算具有重要意义。

紫金铜业有限公司生产的碲化铜中金含量为3~300 g/t,银含量为100~10 000 g/t。一般来说,物料中金、银含量的检测方法包括火试金重量法、泡

沫吸附法、仪器法等<sup>[2-6]</sup>。现有碲化铜中金、银检测的标准方法为《碲化铜化学分析方法 第3部分:金和银含量的测定 火试金重量法》(YS/T 1329.3—2019)<sup>[7]</sup>,该方法采用湿法预处理与火试金联合测定金、银含量,目的是彻底除杂,但缺点是湿法预处理周期长,不利于铜冶炼企业碲化铜中金、银含量的快速测定,大幅降低了检测效率。

本文通过调整配料方案、控制灰吹温度、测定金粒分金液杂质含量等措施,采用直接火试金重量法对碲化铜样品进行金、银含量的测定,以期获得效率高、准确性好的检测方法。

## 1 试验部分

### 1.1 仪器设备

试金电炉:最高加热温度不低于1 300℃;灰吹电炉:最高加热温度为1 000℃;试金坩埚:材质为耐火黏土,容积为300 mL;试金坩埚:材质为耐火黏土,容积为500 mL;镁砂灰皿:顶部内径约35 mm,底部外径约40 mm,高约30 mm,深约17 mm;铸铁模;试样粉碎机;瓷坩埚:容积为25 mL;电热板;微量天平;感量1 μg;电感耦合等离子体发射光谱仪(Icap 7400,美国热电公司)。

[收稿日期] 2022-06-20

[作者简介] 刘娜(1996—),女,山西霍州人,硕士,工程师,主要从事矿石与矿物、有色金属、水质的分析检测与研究工作。

[通信作者] 袁水平(1977—),博士,教授级高级工程师,主要研究方向为铜金火法/湿法冶金关键技术。

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2019YFF0217100);国家自然科学基金(51874101)。

[引用格式] 刘娜,刘芳美,赖秋祥,等.火试金重量法测定碲化铜中的金和银[J].中国有色冶金,2022,51(6):65-70.

## 1.2 化学试剂

碳酸钠:工业纯;氧化铅:工业纯( $Au < 0.02 \text{ g/t}$ ,  $Ag < 0.2 \text{ g/t}$ );硼砂:工业纯;二氧化硅:工业纯,粉状;淀粉:工业纯;纯金: $\omega_{Au} \geq 99.99\%$ ;纯银: $\omega_{Ag} \geq 99.99\%$ ;冰乙酸:分析纯;硝酸:分析纯;盐酸:分析纯;铜、铋、铅、碲单元素标准储存溶液(国家标准物质中心): $1 \text{ mg/mL}$ ;铜、铋、铅、碲系列混合标准溶液:由铜、铋、铅、碲单元素标准储存溶液稀释所得,含铜、铋、铅、碲的浓度分别为  $0.5 \text{ mg/L}$ 、 $1 \text{ mg/L}$ 、 $2.5 \text{ mg/L}$ 、 $5 \text{ mg/L}$ 、 $10 \text{ mg/L}$ 。

## 1.3 试样

本文所用的碲化铜来源于紫金铜业有限公司,其粒度不大于  $0.074 \text{ mm}$ ,且应在  $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  烘干  $2 \text{ h}$  以上,置于干燥器中冷却至室温。碲化铜样品中主要元素的含量见表 1。

表 1 样品元素含量

Table 1 Elemental compositions of copper telluride sample

成分	Cu/%	Te/%	Se/%	Au/( $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ )	Ag/( $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ )
含量	20~40	22~60	1~25	3~300	100~10000

## 1.4 试验过程

### 1.4.1 配料

准确称取  $2.0 \text{ g}$ (精确至  $0.0001 \text{ g}$ ) 试样,与碳酸钠、硼砂、二氧化硅、氧化铅、淀粉按表 2 配料方案于黏土坩埚中混匀,覆盖约  $10 \text{ mm}$  厚的覆盖剂(碳酸钠:二氧化硅 = 2:1,质量比)。

表 2 原料配料方案 I

Table 2 Proportion scheme I of raw materials

配料	碳酸钠	氧化铅	二氧化硅	硼砂	淀粉
质量	30	200	10	15	3.0

### 1.4.2 熔融

将配好料的坩埚放入高温炉内,于  $930 \text{ }^\circ\text{C}$  熔融,  $15 \text{ min}$  后升温至  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保温  $10 \text{ min}$  出炉,将坩埚平稳地旋转数次并轻敲 3 次,倒入预热好的铁铸模。待熔融物冷却后分离熔渣和铅扣,铅扣敲成立方体状(铅扣应光滑明亮,质量为  $35 \sim 40 \text{ g}$ ),熔渣回收至原熔炼坩埚内备用。

### 1.4.3 灰吹

将立方体状铅扣放入已预热( $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $30 \text{ min}$ )好的灰皿内,关闭炉门,待铅扣全部熔开表面黑膜脱去后,稍开炉门通入空气。灰吹温度控制在  $880 \text{ }^\circ\text{C}$ ,当合粒出现闪光点,表明灰吹达到终点,将灰皿放置于炉门口稍冷后取出,合粒置于容积  $25 \text{ mL}$  的瓷坩埚内,灰皿回收至原熔炼坩埚内。

### 1.4.4 二次补正

将熔炼后的熔渣与灰吹后的灰皿敲成小碎块后放置于试验粉碎机中粉碎磨细,然后倒入  $500 \text{ mL}$  黏土坩埚内,与碳酸钠、硼砂、二氧化硅、氧化铅、淀粉按表 3 配料方案于黏土坩埚中混匀,覆盖约  $10 \text{ mm}$  厚的覆盖剂(碳酸钠:二氧化硅 = 2:1,质量比)。按以上熔融、灰吹的顺序进行试验。

表 3 原料配料方案 II

Table 3 Proportion scheme II of raw materials

配料	碳酸钠	氧化铅	二氧化硅	硼砂	淀粉
质量	30	80	15	40	3.5

### 1.4.5 分金

将两次灰吹得到的合粒刷净表面杂质后,置于同一瓷坩埚内;加入  $15 \text{ mL}$ (1+4) 乙酸,煮沸  $3 \sim 5 \text{ min}$ ;将合粒洗净后倾出废液,用纯水清洗  $3 \sim 5$  次,烤干,冷却后称重。若合粒中银金比例小于 3:1 时,需往合粒中补银再分金。

将合粒捣成薄片状后置于瓷坩埚内,加入  $15 \text{ mL}$  热(1+7)硝酸,保持低温加热近沸约  $30 \text{ min}$ ,倾出废液,用热水洗涤  $3 \sim 5$  次;加入  $15 \text{ mL}$  热(1+4)硝酸,继续保持近沸约  $45 \text{ min}$ ,分金结束后,倾出废液,用热水洗涤坩埚和金粒  $3 \sim 5$  次,低温烤干至金粒变成金黄色,冷却后称重。

## 1.5 数据处理

金、银含量分别用质量分数  $\omega_{Au}$ 、 $\omega_{Ag}$  表示,单位为  $\text{g/t}$ ,按式(1)~(2)计算。

$$\omega_{Au} = \frac{m_1 + m_3 - m_5}{m_0} \times 10^3 \quad (1)$$

$$\omega_{Ag} = \frac{(m_2 + m_4) - (m_1 + m_3) - m_6}{m_0} \times 10^3 \quad (2)$$

式中: $m_0$ 为试料质量,  $\text{g}$ ;  $m_1$ 为一次试验时金粒质量,  $\text{mg}$ ;  $m_2$ 为次试验时金银合粒质量,  $\text{mg}$ ;  $m_3$ 为补正试验中金粒质量,  $\text{mg}$ ;  $m_4$ 为补正试验中金银合粒质量,

mg;  $m_5$  为空白试验中测得的金空白值, mg;  $m_6$  为空白试验中测得的银空白值, mg。

## 2 结果与讨论

选取 8 个碲化铜样品进行条件试验和分析,分

别记为 1<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>, 8 个样品的碲、铜含量见表 4。

### 2.1 硅酸度配料试验

通过调整不同试剂用量来得到不同硅酸度,并探讨适用于碲化铜样品的最佳配料方案。5<sup>#</sup>样品在不同硅酸度条件下的分析结果如表 5 所示。

表 4 碲化铜样品中碲、铜含量

Table 4 Tellurium and copper content in copper telluride samples

检测元素	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>
Te/%	24.01	26.76	29.98	32.17	33.78	46.03	51.37	58.83
Cu/%	33.70	37.56	34.62	34.20	33.06	28.00	21.64	16.32

表 5 不同硅酸度条件下样品的分析结果

Table 5 Analysis results of samples with different silication degrees

硅酸度	配料方案/g						金银含量/(g·t <sup>-1</sup> )		铅扣状态
	试样量	碳酸钠	氧化铅	二氧化硅	硼砂	淀粉	Au	Ag	
0.30	1.000	30	200	8	10	3.0	13.41	1 745.41	铅扣光滑且不粘渣
	2.000	30	200	8	10	3.0	13.43	1 743.63	铅扣光滑且不粘渣
0.50	1.000	30	200	10	15	3.0	13.44	1 742.00	铅扣光滑且不粘渣
	2.000	30	200	10	15	3.0	13.45	1 745.51	铅扣光滑且不粘渣
0.75	1.000	30	180	15	15	3.0	13.39	1 722.56	铅扣略粗糙、不粘渣
	2.000	30	180	15	15	3.0	13.33	1 721.12	铅扣略粗糙、不粘渣
1.00	1.000	30	150	18	23	3.0	12.99	1 703.58	铅扣略粗糙,稍粘渣
	2.000	30	150	18	23	3.0	13.20	1 693.55	铅扣略粗糙,稍粘渣
1.25	1.000	30	120	20	28	3.0	12.89	1 672.06	铅扣粗糙且粘渣
	2.000	30	120	20	28	3.0	12.81	1 658.94	铅扣粗糙且粘渣

注:每一试验结果均为 3 个平行试验结果的均值。

由表 5 可知,当硅酸度为 0.30~0.75 时对结果影响较小,且铅扣外观良好,能与熔渣很好分离,便于分析;当硅酸度为 0.30 时,熔融完毕后观察到黏土坩埚被腐蚀程度大,而硅酸度 $\geq 0.50$  时,坩埚腐蚀程度在可接受范围内。当硅酸度大于 0.75 后,熔渣流动性变差,铅扣外观粗糙且易粘渣难分离,Au、Ag 结果均偏低。综合考虑,选择硅酸度为 0.50 进行试验,即:试样量 2.000 0 g、碳酸钠 30 g、氧化铅 200 g、二氧化硅 10 g、硼砂 15 g、淀粉 3.0 g。其余 7 个样品采用该配料方案均能得到光滑且不粘渣的合格铅扣,且所得数据与标准方法(YS/T 1329.3—2019)结果比对良好,表明该配料方案适用。

### 2.2 灰吹温度试验

灰吹在火试金方法中是对结果影响较大的关键

步骤,温度一般选择 850~900 °C<sup>[8]</sup>。以 1<sup>#</sup> 样品为例,观察在不同灰吹温度下的合粒状态,以确定灰吹最佳温度,结果如表 6 所示。

表 6 灰吹温度

Table 6 Ash blowing temperature

灰吹温度/°C	合粒、金粒状态	结果/(g·t <sup>-1</sup> )
860	铅液未完全除去,未见合粒	—
870	合粒发黑、不圆	Au: 20.52
	金粒发黑、分散、不易称量	Ag: 5 185.38
880	合粒光滑、发亮	Au: 25.43
	金粒能烤亮、结果良好	Ag: 5 182.62
890	合粒光滑、发亮	Au: 25.40
	金粒能烤亮、银结果稍低	Ag: 4 954.70
900	合粒光滑、发亮	Au: 25.41
	金粒能烤亮、银结果偏低	Ag: 4 819.88

分析试验现象可得,当灰吹温度较低时,合粒中杂质不易除去,使得金银合粒中杂质含量高,金的分析结果不准确;而温度较高时,银的损失增大,致使银结果偏低,因而选择在 880 ℃ 进行灰吹。

### 2.3 修正试验

在火试金方法中银的损失大多是在灰吹部分被灰皿吸收,因此回收熔渣及灰皿进行修正,选择 2<sup>#</sup> 样品对修正的配料方案进行探索,结果如表 7 所示。

表 7 修正试验配料方案

Table 7 Proportioning scheme for correction of test and results

方案	修正配料方案/g					铅扣状态	合粒重量/ mg
	碳酸钠	PbO	SiO <sub>2</sub>	硼砂	淀粉		
1	30	80	20	40	3.5	铅扣光亮且易分离	0.304
2	30	80	15	40	3.5	铅扣光亮且易分离	0.300
3	30	80	15	30	3.5	渣硬难脱模	0.295
4	30	80	15	20	3.5	渣硬且铅扣粘渣	—

由表 7 可知,方案 3、4 修正造渣时熔渣碱度较高、偏硬,熔融结束后较难与铅扣分离,且灰吹时表面有未熔物,影响合粒形成。考虑造渣难易与节约原料角度,选择方案 2 为修正配料方案。

### 2.4 对比试验

称取 5.000 0 g 试样于烧杯中,经硫酸除碲、铜等杂质,加氯化钠及滤纸浆富集沉淀物,随后过滤灰化,经火试金配料(配料方案如表 8 所示)、熔融、灰吹、修正、分金后,参考 YS/T 1329.3—2019 的结果与本试验结果进行比对,比对结果见表 9。

表 8 湿法预处理-火试金配料方案

Table 8 Wet pretreatment-fire assay batching scheme

成分	碳酸钠	PbO	SiO <sub>2</sub>	硼砂	淀粉
含量	20	100	10	7	3

表 9 湿法预处理-直接火试金结果对比

Table 9 Comparison results of wet pretreatment and direct fire assay

样品 编号	湿法预处理结果		直接火试金结果	
	Au	Ag	Au	Ag
1 <sup>#</sup>	25.48	5 185.22	25.43	5 188.30
2 <sup>#</sup>	7.40	4 013.36	7.42	4 015.70
3 <sup>#</sup>	23.23	1 555.43	23.19	1 563.14
4 <sup>#</sup>	23.97	1 795.25	24.01	1 791.11
6 <sup>#</sup>	4.69	253.58	4.68	257.67
7 <sup>#</sup>	6.13	359.21	6.17	362.62
8 <sup>#</sup>	4.67	168.32	4.70	165.71

注:每一试验结果均为 3 次平行试验结果的平均值。

结果表明,直接火试金法与湿法预处理-火试金法结果比对良好。

### 2.5 金粒、分金液杂质测定

为进一步比对 2 种方法结果的准确性,使用电感耦合等离子体吸收光谱仪分别测定金粒、分金液的杂质含量,以 7<sup>#</sup> 样品(样品中各元素含量如表 10 所示)进行 3 次平行试验。

表 10 7<sup>#</sup> 样品杂质含量

Table 10 7<sup>#</sup> Sample impurity content

试样编号	杂质含量/%			
	Cu	Te	As	Bi
7 <sup>#</sup>	21.64	51.37	0.43	1.02

将湿法处理试验以及直接火试金试验得到的金粒分别倒入一组 50 mL 烧杯中,加入 5 mL 王水(盐酸:硝酸=3:1,体积比),置于电热板上低温加热至金粒完全溶解,取下冷却,后加水定容至 25 mL,混匀。将 2 次试验及修正试验中的分金液及洗液合并到 150 mL 烧杯中,置于电热板上低温加热至小体积(25~30 mL),取下稍冷,加 5 mL 盐酸,静置分层,置于电热板上微沸取下,稍冷后加入 5 mL 王水,煮至微沸,冷却后加水定容至 50 mL,混匀。

选定电感耦合等离子体发生光谱仪最佳条件,按选定的各元素波长,测定铜、铋、铅、碲的发射强度,减去标准溶液中“零”浓度溶液的强度,绘制工作曲线。

在与工作曲线相同的仪器条件下,用电感耦合等离子体发射光谱仪测定金粒及分金液中铜、铋、

铅、碲的发射强度,以工作曲线法计算出各元素浓度,根据各元素浓度可计算出金粒、分金液中各杂质含量,结果如表 11 所示。

**表 11** 湿法预处理/直接火试金法金粒、分金液杂质含量

**Table 11** Wet pretreatment/direct fire assay gold particles, gold separation liquid impurities content

方法	类别	杂质含量/(g·t <sup>-1</sup> )			
		Cu	Te	Pb	Bi
湿法预处理	金粒	0.00	0.00	0.00	0.00
	分金液	0.00	0.00	0.24	0.00
直接火试金	金粒	0.00	0.000 5	0.00	0.00
	分金液	0.00	0.00	0.17	0.00

**表 12** 精密度分析试验

**Table 12** Precision analysis test

编号		测定结果(7次)/(g·t <sup>-1</sup> )						平均值	SD	RSD/%	
2 <sup>#</sup>	Au	7.45	7.35	7.40	7.42	7.21	7.41	7.38	7.37	0.08	1.07
	Ag	4 018.30	4 013.36	4 022.96	4 014.72	3 988.54	4 019.68	4 032.32	4 015.70	13.51	0.34
4 <sup>#</sup>	Au	23.87	24.02	23.66	23.95	24.11	24.26	24.23	24.01	0.21	0.88
	Ag	1 795.90	1 806.90	1 782.93	1 763.54	1 800.75	1 810.21	1 777.56	1 791.11	17.03	0.95
6 <sup>#</sup>	Au	4.56	4.75	4.72	4.64	4.67	4.83	4.68	4.69	0.09	1.82
	Ag	251.98	255.18	259.11	253.29	264.57	260.62	258.93	257.67	4.43	1.72
7 <sup>#</sup>	Au	5.99	6.32	6.42	6.15	5.97	6.08	6.26	6.17	0.17	2.76
	Ag	366.09	357.33	360.06	370.48	363.31	361.79	359.28	362.62	4.48	1.24
8 <sup>#</sup>	Au	4.75	4.50	4.78	4.80	4.68	4.64	4.77	4.70	0.11	2.26
	Ag	161.64	159.44	170.32	167.54	170.01	162.58	168.47	165.71	4.40	2.66

**表 13** 加标回收试验

**Table 13** Standard recovery test

测定结果	Au			Ag		
	本底量/	加标量/	回收率/	本底量/	加标量/	回收率/
	μg	μg	%	μg	μg	%
1 <sup>#</sup>	25.43	25.00	99.8	5 188.30	2 000.00	97.5
		40.00	101.2		5 000.00	98.8
6 <sup>#</sup>	4.69	5.00	99.0	362.62	300.0	98.2
		10.00	98.7		600.0	97.8
8 <sup>#</sup>	4.70	5.00	99.2	165.71	150.0	99.0
		10.00	99.5		300.0	98.5

101.2%, 银的回收率为 97.5% ~ 99.0%, 可以满足碲化铜中金、银的测定标准要求。

结果表明,采用直接火试金法与湿法预处理-火试金法得到的金粒、分金液中杂质含量均在理想范围内,对金、银结果无较大影响。

## 2.6 精密度分析试验

取 5 个碲化铜样品按本文拟定的分析步骤进行测定 Au、Ag 含量,并计算精密度,结果见表 12。

试验数据表明,该方法的精密度较好,相对标准偏差在 0.34% ~ 2.76%,满足测定要求。

## 2.7 加标回收试验

为验证该试验方法的准确性,称取碲、铜基体含量不同的 1<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>样品 2 g(精确至 0.000 1 g,碲、铜含量见表 4),加入纯金、纯银,按本文拟定的分析步骤进行加标回收试验,结果见表 13。

由表 13 可知,金的加标回收率为 98.7% ~

## 3 结论

本文采用直接火试金法测定碲化铜中金、银含量,试验结果与标准方法对比良好,并通过系列条件试验获得了准确适用的配料方案,测定样品的准确度高,相对标准偏差为 0.34% ~ 2.76%,金的加标回收率为 98.7% ~ 101.2%,银的回收率为 97.5% ~ 99.0%,且较标准方法检测效率高、适用性好,满足分析检测需求,可推广应用。

### [参考文献]

- [1] 张焕然,张永锋,王俊娥,等.碲化铜渣湿法处理制备二氧化碲工艺与工业化设计[J].中国有色冶金,2019,48(1):64-67.  
ZHANG Huanran, ZHANG Yongfeng, WANG Jun'e, et al. Process and industrial design of TeO<sub>2</sub> preparation with copper

- telluride residue by hydrometallurgy [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2019, 48(1): 64–67.
- [2] 郭兵, 张福元, 张广安. 火试金法测定多金属复杂铜阳极泥中金[J]. 中国无机分析化学, 2020, 10(3): 43–47.  
GUO Bin, ZHANG Fuyuan, ZHANG Guangan. Determination of gold in complex multi-metal copper anode slime by lead fire assay [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2020, 10(3): 43–47.
- [3] 宫雪. 电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法测定硒碲渣中金含量[J]. 中国无机分析化学, 2018, 1(8): 57–59.  
GONG Xue. Determination of gold in selenium tellurium slag by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2018, 1(8): 57–59.
- [4] 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, 2(5): 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, 2(5): 67–69.
- [5] 万双, 马晓瑜. X射线荧光光谱法测定朵儿合金中银、金、铜、硒、碲、铅、锡和铋的含量[J]. 理化检验: 化学分册, 2014(5): 634–636.  
WAN Shuang, MA Xiaoyu. Determination of silver, gold, copper, selenium, tellurium, lead, tin and bismuth in Dore alloy by X-ray fluorescence spectrometry [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2014(5): 634–636.
- [6] 郝志红, 姚建贞, 唐瑞玲. 交流电弧直读原子发射光谱法测定地球化学样品中银、硼、锡、钼、铅的方法研究[J]. 地质学报, 2016, 90(8): 2070–2082.  
HAO Zhihong, YAO Jianzhen, TANG Ruiling. Study on the method for the determination of silver, boron, tin, molybdenum, lead in geochemical samples by AC-arc direct reading atomic emission spectroscopy [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(8): 2070–2082.
- [7] 碲化铜化学分析方法 第3部分: 金和银含量的测定 火试金重量法: YS/T 1329.3—2019[S]. 2019.  
Methods for chemical analysis of copper telluride-part 3: determination of gold and silver contents-fire assay gravimetry: YS/T 1329.3—2019[S]. 2019.
- [8] 程堆强, 葛思清, 杨琛. 火试金法测定金的影响因素的探讨[J]. 有色矿冶, 2013(5): 56–57, 61.  
CHENG Duiqiang, GE Siqing, YANG Chen. Discussing the influence factors on determining gold content by fire assaying method [J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy, 2013(5): 56–57, 61.

## Determination of gold and silver in copper telluride by fire assay gravimetric method

LIU Na<sup>1</sup>, LIU Fang-mei<sup>1</sup>, LAI Qiu-xiang<sup>1,2</sup>, LYU Huo-xiu<sup>1</sup>, ZHONG Shui-ping<sup>2,3</sup>

(1. Fujian Key Laboratory for Green Production of Copper and Comprehensive Utilization of Associated Resources,

Zijin Copper Industry Co., Ltd., Shanghang 364200, China;

2. Zijin Mining Group Co., Ltd., Shanghang 364200, China;

3. Zijin School of Geology Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** The current standard method YS/T 1329.3—2019 can accurately determine the content of gold and silver in copper telluride, but it is difficult to meet the requirements of copper smelting enterprises for rapid determination of gold and silver in copper telluride due to its complicated operation and long cycle. In this experiment, acid pretreatment to remove impurities such as copper and tellurium was abandoned, and the optimal detection conditions were explored through a series of experiments. The direct fire assay gravimetric method was established to accurately and quickly determine the content of gold and silver in copper telluride samples. The main characteristic of the method lies in the direct analysis and detection of gold by fire assay gravimetric method, which is not only accurate and efficient, but also suitable for low content ( $Au < 10 \text{ g/t}$ ) samples. The relative standard deviations (*RSDs*) of the results of five copper telluride samples determined based on the test method were 0.34%–2.76%,  $n = 7$ . The addition standard recoveries of gold and silver were 98.7%–101.2% and 97.5%–99.0%, respectively. Gold and silver in copper telluride were determined according to the test method and compared with the results determined by YS/T 1329.3—2019 method, the results were consistent. The test method is suitable for the determination of gold and silver in copper telluride samples during copper smelting, and can be used for daily detection and analysis.

**Key words:** copper telluride; fire assay gravimetric method; gold; silver; copper smelting; relative standard deviation; recovery; ash blowing