



中华人民共和国黄金行业标准

YS/T XXXX. 1—202X

金矿石矿物参数分析方法

第1部分：组分分析

Methods for mineral parameters detection of gold ores —

Part 1: Determination of mineral component content

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是YS/T ××××《金矿石矿物参数分析方法》的第1部分。YS/T ××××已经发布了以下部分：

——第1部分：组分分析。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国黄金协会提出。

本文件由全国黄金标准化技术委员会（SAC/TC 379）归口。

本文件起草单位：山东黄金矿业科技有限公司选冶实验室分公司、长春黄金研究院有限公司、矿冶科技集团有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司

本文件主要起草人：

引 言

金矿石矿物参数包括矿物组分含量、嵌布特征、解离度、粒度。金矿石矿物参数检测采用扫描电镜、能谱、数据分析软件有效组合现代化分析手段，实现了金矿石矿物参数快速、准确的测定，YS/T ××××《金矿石矿物参数分析方法》旨在帮助黄金工矿企业为岩矿的全面鉴定、有价值元素计量、矿床的综合开发评价、选矿方案的制定、生产指标优化提供有价值的参考依据，为整个黄金行业资源综合利用提供技术支撑，推进智慧矿山建设水平，为金矿资源的开发利用保驾护航。YS/T ××××拟由四个部分构成。

- 第1部分：组分分析。目的在于规定金矿石矿物参数组分含量的测定方法。
- 第2部分：解离度的测定。目的在于规定金矿石矿物参数解离度的测定方法。
- 第3部分：粒度的测定。目的在于规定金矿石矿物参数粒度的测定方法。
- 第4部分：嵌布特征的测定。目的在于规定金矿石矿物参数嵌布特征的测定方法。

金矿石矿物参数分析方法 第1部分：组分分析

1 范围

本文件规定了金矿石矿物参数分析的方法。

本文件适用于金矿石矿物参数的矿物组分含量的分析。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 32840 金矿石

GB/T 34167 黄金矿业术语

3 术语和定义

GB/T 32840、GB/T 34167界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

金矿石 gold ores

商业上能生产出金的任何天然或经加工的岩石、矿物或矿石聚集料。

[来源：GB/T 32840—2016，3.1]

3.2

磨光片 polishing plate

利用环氧树脂类产品固化样品后，经粗磨、细磨、精磨、抛光及表面做导电处理形成的样片。

3.3

矿物参数自动分析系统 automatic mineralogy analysing system

通过集成扫描电子显微镜和X射线能谱仪，并结合数字图像处理技术对矿物组分进行自动分析。

4 试剂和材料

除非另有说明，在分析中应仅使用确认为优级纯或优级纯以上纯度的试剂和二次蒸馏水或相当纯度的水。

4.1 金标样。

4.2 环氧树脂。

4.3 固化剂。

4.4 无水乙醇。

5 仪器设备

5.1 矿物参数自动分析系统：包括扫描电镜、X-射线能谱仪、矿物定量分析软件。

5.2 抛磨机：盘尺寸 200 mm~300 mm，转数 0 r/min~1 000 r/min 变频可调。

5.3 镀碳仪：真空度 5×10^{-3} Pa 及以上，喷碳电流不小于 40 A。

6 样品

6.1 根据样品粒度情况，确保样品具有足够的代表性。

按式（1）计算样品最小取样量。

$$Q = Kd^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q ——样品最小取样量，kg；

d ——样品中矿石最大粒度，mm；

K ——取样量系数，数值为 0.2~1。

注：K 值受矿石中有用矿物分布的均匀程度、颗粒的嵌布粒度、含量高低、有用矿物密度、试验样品允许误差等有关。一般金矿床为 0.2~1；金颗粒小于 0.1 mm 时，K 值为 0.2；金颗粒在 0.1 mm~0.6 mm 时，K 值为 0.4；金颗粒大于 0.6 mm 时，K 值为 0.8~1。

6.2 样品水分应控制在1%以内，确保水分对样品制作过程没有影响。

7 试样

7.1 块状样品

当样品中最大粒径大于0.3 mm时，进一步进行破碎、磨矿等作业，制成最大粒径小于等于0.3 mm 的粉末状试样，并进行混匀缩分备用，样品质量应不小于500 g。

7.2 粉末状样品

当样品中最大粒径小于0.3 mm时，可对样品直接进行混匀缩分，试样取样量不小于20 g。如粒级范围较宽，全颗粒测量时宜采用分粒级样品分别制备。

7.3 试样的分散

对于易团聚试样，应对样品进行分散处理。称取不小于20 g的样品，分散之后与石墨粉按体积比约 1：1 的比例混合，石墨粉粒径与待测样品粒径宜相匹配。充分搅拌，使石墨与矿样初步混匀。将混合后的样品放入50 mL烧杯中，加入无水乙醇，使混合后的样品能完全浸入无水乙醇中，搅拌后，超声震荡 10 min~15 min。将超声震荡后的样品过滤、自然风干后，用药匙分散。

7.4 试样的制备

7.4.1 固化处理

选用低粘度、高硬度的环氧树脂及其对应固化剂，按一定比例进行混合均匀，充分搅拌。静置片刻之后，向模具中加入薄层混合液，然后加入样品覆盖底部，充分搅拌使矿样与混合液均匀混合。搅拌过程应避免大幅度搅拌，采用横竖搅拌方式，防止样品离心。再次加入混合液至1 cm左右高度。

7.4.2 磨光片处理

光片固化后脱模，至抛磨机抛磨，包括粗磨、细磨、精磨、抛光处理，制备成磨光片。抛磨过程中注意消除划痕，最后在光学显微镜下观测抛磨后的样品表面形态，颗粒暴露需要达80%以上，颗粒表面

光洁且无较多划痕。

7.4.3 喷碳镀膜

采用镀膜仪在磨制好的环氧树脂片表面上喷涂碳膜，做好防护，防止污染。

8 试验步骤

8.1 参数设置

将制备好的磨光片放入检测设备样品台上，依次调节设备的工作距离、高压控制、灯丝饱和点、位移及倾斜、电子束强度、镜筒对中、消像散、亮度和对比度、图像聚焦功能获得稳定、清晰的背散射电子图像，并满足金标样满视域能谱计数率达50 kcps以上。调节亮度、对比度，使金标样的灰度值约为250，环氧树脂的灰度值约为10。

8.2 测量

8.2.1 全颗粒测量

利用矿物参数自动分析系统，采用全颗粒测量模式，获取图像、调整背景阈值、扣除环氧树脂背底、设定测定终点，开始测量。宜采用检测颗粒数量为测量终止条件，最小检测颗粒量为30 000颗。

8.2.2 金矿物颗粒测量

利用矿物参数自动分析系统，采用“选择颗粒测量”模式，进行金矿物颗粒测量，宜选择放大倍数使像素实际尺寸达到0.3 μm~0.5 μm，扣除背底阈值灰度设置为130~150，选择获取图像帧数为测量终止条件，开启测量。

8.3 标样库建立

测量结束后，利用实测矿物能谱谱线与理论矿物能谱数据库或用户自定义的矿物谱线库进行匹配，建立该样品的矿物能谱标样库。对于匹配失败结果进行处理，直到矿样中匹配失败的矿物减少到0.5%以下。

9 试验数据处理

9.1 全颗粒数据处理

根据匹配结果及检测数据导出矿物组分及其含量结果，包含黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、铁闪锌矿、赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿、石英、绢云母、白云母、钾长石、钠长石、方解石、白云石等矿物。其矿物含量以百分含量计。矿物含量结果列入表1。

表1 金矿石矿物组分及其相对质量分数

矿物组分	含量占比/%

9.2 金矿物颗粒数据处理

9.2.1 确定金矿物种类

在检测结果中测定金颗粒成分，确定金颗粒矿物种类。常见金矿物种类见附录A。

9.2.2 测量金矿物体积

测量金矿物的长径、短径长度，计算体积。

按式（2）计算金颗粒的体积：

$$V=a \times b \times c \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

- V ——金矿物体积，单位为立方微米（ μm^3 ）；
- a ——金矿物长径，单位为微米（ μm ）；
- b ——金矿物短径，单位为微米（ μm ）；
- c ——金矿物高度，数值为1，单位为微米（ μm ）。

9.2.3 金颗粒相对质量分数

按式（3）计算单个金颗粒的相对质量分数 w_i ：

$$w_i = \frac{V_i \cdot D_i}{\sum_1^n V_i \cdot D_i} \times 100 \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中：

- w_i ——第 i 个金颗粒的相对质量分数，用百分数表示（%）；
- V ——金矿物体积，单位为立方微米（ μm^3 ）；
- D ——金矿物理论密度，单位为克每立方微米（ g/cm^3 ）。

9.2.4 每类金矿物质量分数

依据上述计算结果统计各类金矿物占总金矿物的相对质量分数，按式（4）计算每类金矿物相对质量分数 w_k ：

$$w_k = \sum_1^{m_k} w_{i_k} \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中：

- w_k ——第 k 类金矿物的相对质量分数，用百分数表示（%）；
 - m_k ——第 k 类金矿物的颗粒数；
 - w_{i_k} ——第 k 类金矿物中单个金矿物的相对质量分数。
- 输出结果见表2。

表2 金矿物组分及其相对质量分数

含金矿物种类/ k	相对质量分数/%

10 试验报告

对各项工艺矿物学相关记录及相关参数进行整理形成追溯依据，并结合结果分析编写工艺矿物学检测分析试验报告，主要内容应包括但不限于以下内容：

- 试样；
- 使用的文件YS/T ××××. 1—202×；
- 试验结果及其表示；
- 与基本试验步骤的差异；
- 试验中观察到的异常现象；
- 试验日期。

全国黄金标准化技术委员会

附 录 A
(资料性)
金矿物种类表

金矿物种类见表 A.1。

表 A.1 金矿物种类表

含金矿物种类	化学分子式	金的质量分数/%
自然元素、天然合金		
1. 自然金	Au	>95
2. 含银自然金	(Au, Ag)	80~95
3. 银金矿 ⁺	(Au, Ag)	50~80
4. 金银矿 ⁺	(Ag, Au)	20~50
5. 含金自然银	(Ag, Au)	5~20
6. 黑铋金矿 ⁺	Au ₂ Bi	65.3
7. 斜方铜金矿 ⁺	Cu ₃ Au	50.6
8. 围山矿 ⁺	(Au, Ag) ₃ Hg ₂	56.91
硫化物		
1. 硫金银矿 ⁺	Ag ₃ AuS ₂	32.6
碲化物		
1. 碲金矿 ⁺	AuTe ₂	44.03
2. 斜方碲金矿 ⁺	AuTe ₂	43.5
3. 亮碲金矿 ⁺	(Au, Sb) ₂ Te ₃	50.6
4. 碲金银矿 ⁺	Ag ₃ AuTe ₂	25.4
5. 板碲金银矿 ⁺	(Ag, Au)Te	22.9~35.2
6. 针碲金银矿 ⁺	(Au, Ag)Te ₄	24.1
7. 针碲金铜矿 ⁺	CuAuTe ₄	25.5
8. 叶碲金矿 ⁺	Pb ₅ Au(Te, Sb) ₄ S ₅₋₈	7.41~10.16
9. 碲铜金矿 ⁺	Au ₄ Cu(Te, Pb)	68.0~75.0
10. 碲铁铜金矿 ⁺	Au ₅ (Cu, Fe) ₃ (Te, Pb) ₂	57.6~63.6
11. 碲铅铜金矿 ⁺	Au ₃ Cu ₂ PbTe ₂	40.7~50.5
锑化物		
1. 方锑金矿 ⁺	AuSb ₂	44.7
硒化物		
1. 硒金银矿 ⁺	Ag ₂ AuSe ₂	29