

# History of analysis of chemical composition of rock minerals

Xufeng Shi

Yunnan Provincial Nonferrous Geological Bureau 308 Team Testing Center, Gejiu, Yunnan, 661000, China

## Abstract

Petrochemical analysis serves as a crucial technical approach in mineral resource exploration and evaluation. By quantifying various chemical components, it provides essential data for operational decision-making. The study of rock and mineral chemical composition constitutes a multidimensional and technology-intensive system. Effective implementation requires meticulous sample collection and processing, coupled with the selection of appropriate analytical techniques to achieve precise results, thereby facilitating subsequent investigations. This research focuses on preparatory procedures for petrochemical analysis and examines applicable analytical methods, offering practical references for professionals in the field.

## Keywords

rock minerals; chemical composition; analysis

## 岩石矿物的化学成分分析研究

史旭峰

云南省有色地质局三〇八队测试中心, 中国·云南个旧 661000

## 摘要

岩石矿物化学分析是矿产资源勘查与评价中的重要技术手段, 通过测定各类化学成分的含量, 可以为各项工作提供重要依据。岩石矿物的化学成分分析研究是一个多层次、多技术的系统工程, 在具体工作中, 需要做好样品的采集处理, 选择恰当的分析技术, 可以获得更加精确的结果, 便于顺利开展后续工作。鉴于此, 在本文的研究中, 主要分析岩石矿物化学成分分析的前期准备工作, 探究应用到的分析技术, 以供相关人员参考。

## 关键词

岩石矿物; 化学成分; 分析

## 1 引言

岩石是自然界中最基本的地质体, 岩石矿物是地壳发展过程中各种地质作用的自然产物。实验室的化学分析任务是进行物质的成分分析、结构分析、微区分析以及物质存在的价态和形态分析。常应用的技术有 X 射线荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱法、电子探针显微分析法等多种方法。通过开展科学合理的化学化验分析方法, 进而迅速找到更多的矿产资源, 为下一步勘测和开采工作提供支持。

## 2 岩石矿物的化学成分分析的前期准备

### 2.1 样品采集

样品采集阶段是岩石矿物化学成分分析的基础, 要确保样品具有代表性, 而且没有被污染。在野外样品的采集工作中, 根据研究目的确定了采样点。例如, 研究岩浆岩演化需要在岩体的不同部位采样。如果研究沉积岩物源, 需要避

开风化层, 采集新鲜的岩芯。使用的采样工具需要提前清洁, 避免带入外源杂质, 污染样品, 采集硫化物等易氧化矿石时, 需要使用密封袋包装并冷藏样品, 防止氧化。每个样品都需要详细记录, 包括采样信息、岩石定名、野外特征, 并给样品进行编号。

### 2.2 样品前处理

样品的制备主要包括干燥、破碎和研磨等步骤, 确保样品的均一性和分析一致性。干燥过程中要控制温度, 避免挥发性元素的损失。例如汞和砷等元素在高温下容易挥发, 因此会采用低温烘干的方法。对样品进行破碎和粗磨, 可使用破碎机将样品破碎至 2~5mm, 去除表面风化层或者杂质, 再使用圆盘粉碎机磨至 0.15mm, 得到粗磨样品。细选是将粗选得到的样品进行更加细致的分离和纯化, 以获得更加精确的颗粒, 一般采用的方法有磁选、选矿、电选、浮选等多种方法。磁选指的是利用磁性物质分离矿物, 电选指的是利用电场分离矿物。浮选指的是让矿物与带有药剂的气体和液体接触, 使某些矿物产生浮力而分离。浮选工艺流程设计采用一粗一扫三精选作业, 其中粗选精矿再磨后进入精选作业, 最终得到铜精矿产品。开展元素矿物平衡分析, 如表 1

【作者简介】史旭峰 (1988-), 男, 中国云南玉溪人, 本科, 中级工程师, 从事实验测试研究。

所示。细选后的样品通常需要在能够分辨矿物的显微镜下进行观察，便于进行后续的鉴定工作。

表 1 矿物回收率

矿物类型	回收率
铜矿物黄铜矿	93.10%
铜矿物斑铜矿	91.87%
辉铜矿	78.42%
自然铜	64.93%
孔雀石和其他铜矿物	30.18% ~ 43.48%

样品溶解方法是将固态的地质样品转化为液态形式的关键步骤，常用的方法有酸溶法、碱溶法以及微波消解法。酸溶法指的是通过酸性试剂进行分解，例如硝酸或四酸体系，适用于大多数的岩石和矿石样品。碱溶法是通过高温熔化，将样品与碱性溶剂反应，适合难溶矿物的分析。微波消解法是利用微波能量加速样品与试剂的反应，具有消解效率高、污染风险低的优点，适用于痕量元素的分析。

样品净化技术指的是去除溶解液中的干扰物质，提升分析的灵敏度和准确度。地质样品中含有高浓度的主量元素，例如硅、铝、铁，可能会对痕量元素的测定产生干扰，常用的净化技术有离子交换、溶剂萃取以及化学沉淀。离子的交换主要通过树脂吸附选择性地分离目标元素，适用于稀土元素和重金属的分析。溶剂萃取利用有机溶剂提取特定元素，具有高选择性和低检测限的特点，适用于贵金属的分离。化学沉淀则通过形成不溶性化合物，去除干扰元素，适用于复杂基体样品的处理。

### 3 岩石矿物的化学成分的分析技术

#### 3.1 整体成分分析

根据分析需求，选择合适的技术，开展整体成分分析，主要是获得岩石或矿物样品的平均化学成分。通常需要将样品粉碎研磨至 200 目以下，制成均匀的粉末开展分析工作。

##### 3.1.1 电感耦合等离子体质谱法

应用电感耦合等离子体质谱法，样品经过酸溶或激光剥蚀或雾化，进入高温等离子体完全离子化，离子经质谱仪分离，按照质荷比和离子计数进行分析。该方法有着极低的检测限、高灵敏度、分析速度快，同时测定绝大多数元素，线性动态范围宽，是微量元素和稀土元素分析的首选方法。不过前处理复杂，容易引入污染，而且设备成本高，维护难度大。在应用中容易受到质谱干扰，需要进一步校正。在贵金属矿或稀有金属矿的勘探中，可应用该方法测定样品中 ppm 甚至 ppt 级的目标元素，精准评估矿化潜力。该方法也可应用于同位素地球化学研究中，分析 Sr、Nd、Hf 等同位素比值，用于岩石定年、物源追踪和地质演化研究中。

##### 3.1.2 X 射线荧光光谱法

X 射线荧光光谱法是使用高能 X 射线轰击样品，激发原子内层电子，外层电子跃迁时释放特征的荧光，通过测量

谱线波长进行定性分析，测量其强度进行定量分析。该方法分析速度快，精度高，制样相对简单。是主量元素分析的标准方法，不过对轻元素的灵敏度比较差。可以分析岩浆岩中的二氧化硅、氧化铝、氧化亚铁等主量元素的含量，快速判断岩石类型，或者追踪岩浆分异过程。在矿产勘探中，对大量野外采集的岩石和土壤样品，也可以使用 X 射线荧光光谱法进行快速分析，圈定元素异常区。通过 X 射线荧光光谱法分析沉积岩中  $K_2O/Na_2O$ 、 $Al_2O_3/SiO_2$  等比值，初步判断物源区的岩石类型。

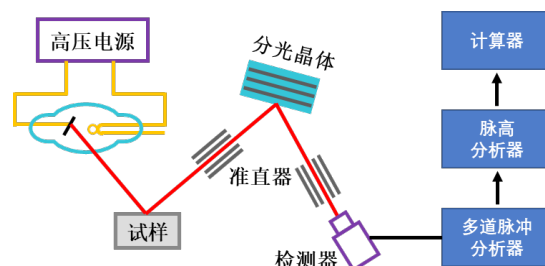


图 1 波长色散型 X 射线荧光光谱仪示意图

#### 3.2 微区原位分析

微区原位分析法是在不破坏样品原始结构和位置的情况下，对微小区域进行成分分析的一种方法。常用的有电子探针显微分析法、激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法和二次离子质谱法。

##### 3.2.1 电子探针显微分析

电子探针显微分析法的原理是，使用聚焦的电子束轰击样品表面微小区域，激发出特征 X 射线。可通过波长色散谱仪分析其成分。该方法空间分辨率高，定量分析准确度高，对样品的损伤小，是单矿物主量元素定量分析的黄金标准，不过该方法的检出限相对较高，并不适用于微量元素的分析。在检测前需要对样品抛光至镜面，要求导电。该方法最基础的用途是应用于矿物定性和定量分析中。例如，在分析斜长石的钠钙含量时，确定其 An 值（钙长石含量）判断岩石形成的温度和压力条件。也可应用于矿物元素分带分析中，通过线扫描或者面扫描，观察元素在矿物内部的分布变化情况。开展矿物包裹体初步识别，在显微镜下定位疑似包裹体的区域后，用电子探针显微分析法分析其成分，判断包裹体类型，如硅酸盐熔融包裹体、硫化物包裹体，为后续高精度分析确定目标。

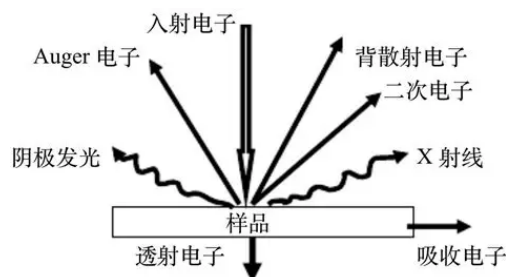


图 2 电子探针显微分析原理示意图

### 3.2.2 激光剥蚀电感耦合等离子体质谱

激光剥蚀电感耦合等离子体质谱使用脉冲激光剥蚀样品,表面产生的气溶胶引入电感耦合等离子体质谱,离子化后按质荷比检测。将电感耦合等离子体质谱法的高灵敏度与激光的微区取样能力相结合,从而实现微量元素和同位素的原位分析,对稀土元素和贵金属也有着较强的检测能力。样品检测前需要抛光至镜面,对导电性无要求。样品表面需要洁净,避免污染。该方法具有灵敏度高,应用范围广,可同时分析多元素和同位素,无需复杂的前处理。对样品的破坏程度低,不过空间分辨率低于电子探针显微分析法,激光波时存在分流效应,需要进行校正。例如,可使用该方法分析锆石中的 Hf、Y 含量,分析锆石的成因。在不需要最高精度场景下,该方法可快速分析同位素。例如分析硫化物、矿物的 Pb 同位素,追踪成矿物质的来源。在贵金属矿的勘探中,可使用该方法分析硫化物矿物中 Au 的微区分布经过矿石的可选择性。

### 3.2.3 二次离子质谱法

二次离子质谱法,使用一次离子束轰击样品表面,溅射出二次离子,再通过质谱仪分析二次离子。空间分辨率极高,能分析矿物纳米级包裹体或元素分带。灵敏度高,可分析所有元素及其同位素,包括轻元素。不过该方法定量分析难度大,对标准样品依赖性强,而且仪器极其昂贵复杂。可进行高精度同位素定年。例如使用二次离子质谱法,分析锆石的 U-Pb 同位素,获得高精度的岩石形成年龄。也可应用于矿物轻同位素与超痕量元素分析中。例如使用二次离子质谱法,分析石英的 O 同位素,判断石英的成因。分析硫化物矿物的 S 同位素,可追溯成矿硫体的硫源。二次离子质谱法的高空间分辨率使其能分析直径仅 10-100nm 的流体包

裹体,测定其 H、O、C 同位素组成,揭示成矿流体的来源和演化过程。

## 4 结语

综上所述,在自然条件下,岩石矿物是由地壳中的一种或多种化学元素组成的自然聚合体。开展化学成分分析,了解岩石的含矿性特征,可以为地质勘探和矿石开采提供支持。做好样品采集与前处理,确保符合实验室分析要求。基于整体成分分析和微区原位分析,选择合适的方法,加强全过程的控制工作,获得更加精确的数据,为各项工作提供依据。

## 参考文献

- [1] 高艳敏,席秀丽. 岩石矿物的化学成分分析方法[J]. 电脑高手(电子刊),2020,2(2):596.
- [2] 张合良. 岩石矿物化学分析的基本流程[J]. 化工管理,2020(28):167-168.
- [3] 万双玲. 地质实验室岩石矿物的化学分析[J]. 科学与财富,2023(32):122-124.
- [4] 邹云飞. 岩石矿物化学分析中的样品处理技术研究[J]. 化纤与纺织技术,2024,53(4):74-76.
- [5] 张耀华,孟燕,从相军,等. 岩石矿物成分的测定与分析方法研究[J]. 新疆有色金属,2022,45(4):19-20.
- [6] 李国馨. 对地质岩石检测中矿物分析测试技术要点的分析[J]. 新疆有色金属,2024,47(5):28-29.
- [7] 龚亮,张明炜,宋甜甜. 岩石矿物分析测试中的质量控制要点探讨[J]. 现代盐化工,2022,49(3):53-55.
- [8] 张明炜,龚亮,宋甜甜. 地质岩石矿物分析测试技术的分析[J]. 现代盐化工,2022,49(4):77-79.