

# 探讨地质岩石样品金属元素化学分析与应用

宋龙跃<sup>1</sup> 陈浩然<sup>2</sup> 张 培<sup>2</sup>

1. 天津华北地质勘查局核工业二四七大队 天津 301800

2. 中矿(天津)岩矿检测有限公司 天津 301800

**摘要:**地质岩石样品金属元素化学分析是矿产勘查与地质研究领域的基础性技术手段,在找矿预测、构造解析及环境评价中发挥着不可替代的支撑作用。本文系统梳理了岩石样品采集、预处理及分析试剂与仪器准备等前期工作流程,深入探讨了化学分析法与仪器分析法的技术原理与操作要点,剖析了样品消解、干扰消除及质量控制等关键环节的技术要求,并从地质找矿、构造研究、环境地质及岩石成因四个维度阐释了金属元素化学分析的实际应用价值,为地质岩石样品化学分析工作的规范化开展提供理论参考。

**关键词:**地质岩石样品;金属元素;化学分析;质量控制;应用方向

引言:地质岩石样品金属元素化学分析作为地球化学研究的核心技术,为矿产资源勘查、地质构造反演及环境质量评价提供了关键的数据支撑。伴随分析仪器精度与前处理技术的持续进步,岩石中常量至超痕量金属元素的检出能力已大幅提升,分析结果的可靠性与空间分辨能力均得到显著增强。深入探讨岩石样品金属元素化学分析的方法体系与应用方向,对于提升地质调查工作质量、推动地球化学理论发展具有重要的现实意义与学术价值。

## 1 地质岩石样品金属元素化学分析的前期准备

### 1.1 岩石样品的采集

采集原则需立足地质调查规范,客观真实系统反映岩石固有特征,保障样品具备充分代表性,在不损害代表性的前提下选取经济高效且对生态环境扰动轻微的采集方案,全程严格执行质量控制程序<sup>[1]</sup>。采集方法需结合前期地质调查成果与目标地质体分布特征,合理选用钻探、坑采或槽采等适配方式,搭配专用采样工具,规避金属工具直接接触样品引发的污染问题。采集过程中需维持环境条件稳定,规避温度湿度波动对样品物理性质产生干扰,采样前完成详细地质测绘与点位精准定位,采样后及时详实记录相关信息,保障样品可追溯性,规避人为扰动地质体结构,防止样品出现破碎、混匀或污染等情况。

### 1.2 岩石样品的预处理

样品破碎采用球磨机等专用设备,精准控制破碎力度与时间,规避过度破碎造成的样品成分损失,保障破碎后样品粒度均匀且满足后续处理标准。样品研磨需在洁净无干扰环境中开展,选用无污染研磨工具,研磨至规定细度,保障样品均匀性,消除粒度差异对后续分

析工作的不利影响。样品筛分严格按照粒度分级标准,从大到小逐步推进,选用对应规格筛网,筛选出符合分析标准的样品粒度,筛分后及时清理工具,规避交叉污染。样品保存选用防尘防潮防污染专用容器,存放于干燥通风避光的恒温环境,缩短保存周期,做好清晰规范标识,保障样品在保存期间不发生物理化学变化,维持样品完整性与稳定性。

### 1.3 分析试剂与仪器的准备

试剂的选择与处理严格遵循分析标准,选用纯度达标试剂,优先选用分析纯及以上级别试剂,规避试剂中杂质对分析结果产生干扰。试剂配制使用精密仪器精准控制用量与浓度,配制完成后开展纯度核查,妥善储存各类试剂,酸性试剂密封存放于阴凉干燥区域,防止试剂变质失效。分析仪器的调试与校准在分析工作开展前全面落实,细致检查仪器机械状态、电子部件及光学系统,采用国家标准物质绘制校准曲线,通过多次测量优化调整仪器参数,保障仪器检出限、精密度与准确度符合分析标准,调试校准后详实做好相关记录,维持仪器处于最佳工作状态。

## 2 地质岩石样品金属元素化学分析方法

### 2.1 化学分析法

化学分析法依靠物质化学反应实现金属元素定量与定性分析,操作简便、成本较低,适用于常量金属元素分析,在地质岩石样品基础检测中应用广泛<sup>[2]</sup>。滴定分析法通过已知浓度标准溶液与样品中目标金属元素发生定量反应,依据消耗标准溶液体积计算元素含量,反应需满足定量完成、速率较快且有明确终点指示的条件,操作中需严格控制滴定速度与反应环境,减少系统误差。重量分析法利用目标金属元素与特定试剂反应生成难溶

性化合物,通过称量化合物质量换算元素含量,核心在于确保沉淀完全、纯净且无损失,需控制沉淀条件与烘干温度,保障称量结果精准。比色分析法借助目标金属元素与显色剂反应生成有色化合物,通过测定有色溶液吸光度确定元素含量,需控制显色反应条件以保证显色稳定,避免杂质干扰显色效果,提升分析准确性。

## 2.2 仪器分析法

仪器分析法依托精密检测仪器,利用金属元素物理或物理化学性质实现分析,具有灵敏度高、检测速度快、检出限低的优势,适配微量、痕量及常量金属元素检测,是现代地质岩石样品分析的主流方法。原子吸收光谱法利用目标金属元素原子对特定波长光的吸收特性,通过吸光度与元素浓度的线性关系计算含量,操作中需优化灯电流、燃烧器高度等参数,减少背景干扰。原子发射光谱法通过激发目标金属元素原子使其发射特征光谱,依据光谱强度确定元素含量,可实现多元素同时检测,需控制激发条件以保证光谱信号稳定。电感耦合等离子体质谱法将样品消解后导入等离子体源,使金属元素离子化,通过质量分析器分离检测离子信号,灵敏度极高,能检测痕量甚至超痕量元素,需严格控制样品消解纯度与仪器真空度。X射线荧光光谱法利用X射线激发样品中金属元素产生荧光,依据荧光波长与强度识别并定量元素,无需复杂样品消解,可实现无损快速检测,适用于大批量样品的快速筛查。

## 2.3 各类分析方法的适用范围与操作要点

化学分析法适用于常量金属元素检测,滴定分析法适合酸碱滴定、络合滴定等反应明确的元素分析,操作中需校准标准溶液浓度,确保滴定终点判断准确;重量分析法适用于沉淀反应稳定的元素,需注重沉淀的洗涤与烘干流程,避免杂质混入影响称量结果;比色分析法适用于能与显色剂发生明显显色反应的元素,需控制显色时间与温度,消除干扰离子影响。仪器分析法中,原子吸收光谱法适用于单一微量金属元素检测,操作需定期校准仪器光源与检测系统;原子发射光谱法适用于多元素同步检测,适合大批量样品快速分析,需优化激发参数减少光谱干扰;电感耦合等离子体质谱法适用于痕量、超痕量多元素检测,需严格控制实验环境与样品纯度,避免污染;X射线荧光光谱法适用于样品快速筛查与常量元素检测,无需样品消解,操作中需校准仪器标准曲线,确保检测精度。

## 3 地质岩石样品金属元素化学分析的关键环节

### 3.1 样品消解

样品消解是地质岩石样品金属元素化学分析的基础

环节,目的是破坏岩石样品的晶格结构,使样品中目标金属元素完全溶解于溶液中,为后续检测提供均匀稳定的分析体系<sup>[3]</sup>。消解过程需根据岩石岩性、矿物组成及目标元素特性,选用适配的消解方法与试剂。常用消解方式包括酸溶法、碱熔法及微波消解法,酸溶法通过混合硝酸、氢氟酸、高氯酸等试剂,利用其氧化性与腐蚀性分解样品,适用于多数硅酸盐类岩石;碱熔法采用偏硼酸锂、过氧化钠等试剂高温熔融样品,熔融温度通常达900~1000℃,可有效分解难溶矿物;微波消解法借助微波加热实现快速消解,具有效率高、试剂用量少、污染小的优势。消解过程需控制温度、时间及试剂用量,避免消解不完全导致元素提取不充分,同时防止过度消解引发目标元素挥发,确保消解液澄清透明、无残渣,为后续分析奠定可靠基础。

### 3.2 干扰消除

干扰消除直接影响金属元素分析结果的准确性,岩石样品成分复杂,共存元素、基体效应及试剂杂质等均可能对目标元素检测产生干扰,需采取针对性措施消除或降低干扰影响。针对共存元素干扰,可采用掩蔽法、分离法等方式,掩蔽法通过加入掩蔽剂与干扰元素结合,使其失去干扰能力;分离法利用目标元素与干扰元素在物理或化学性质上的差异,通过沉淀、萃取、离子交换等手段将二者分离。基体效应干扰可通过加入基体改进剂、采用标准加入法等方式校正,减少样品基体对检测信号的影响。试剂与实验环境带来的干扰,可通过选用高纯度试剂、优化实验环境、做空白实验等方式规避,确保实验过程中无外来杂质引入,最大限度降低各类干扰因素对分析结果的影响,保障检测数据真实可靠。

### 3.3 分析过程的质量控制

分析过程的质量控制是保障金属元素分析结果精准性的核心,贯穿样品消解、干扰消除、仪器检测全流程,需严格遵循地质样品化学分析规范执行。样品检测过程中,需同步设置空白实验、平行实验与标准物质实验,空白实验用于扣除试剂与实验环境带来的误差,平行实验通过对同一样品多次检测,验证实验结果的重复性,标准物质实验用于校准检测系统,确保检测结果的准确性。仪器检测过程中,需定期校准仪器参数,排查仪器运行故障,维持仪器稳定工作状态,避免仪器漂移导致检测误差。实验过程中需详细记录各项操作参数、试剂用量及检测数据,确保实验过程可追溯<sup>[4]</sup>。同时,严格控制实验操作规范性,避免人为操作失误,对检测数据进行合理审核,剔除异常数据,确保最终分析结果符合地质调查与样品检测的质量要求。

#### 4 地质岩石样品金属元素化学分析的应用方向

##### 4.1 地质找矿领域应用

地质岩石样品金属元素化学分析是地质找矿工作的核心技术支撑,贯穿矿产勘探全流程,通过系统检测岩石样品中金属元素的含量、分布规律及组合特征,可有效圈定矿化异常带,为矿产资源勘探提供精准可靠的数据支撑。不同类型矿产对应特定金属元素异常特征,通过精准分析岩石样品中目标金属元素的富集程度与空间分布,能够清晰判断矿化强度、延伸范围及分布规律,进一步缩小找矿靶区,大幅提升找矿效率与精准度,减少盲目勘探带来的资源浪费。通过分析金属元素的迁移路径与赋存状态,可合理推断矿产形成的物质来源、成矿环境及成矿条件,为后续矿产资源评价、储量估算、开采规划及综合利用提供科学依据。

##### 4.2 地质构造研究应用

金属元素化学分析在地质构造研究中占据重要地位,岩石形成与演化过程始终受地质构造运动影响,其金属元素组成与含量会随构造活动发生规律性变化,可通过这些变化反演区域地质构造演化历程。构造运动引发的岩石蚀变、变质作用,会导致岩石中金属元素发生重新分配、迁移与富集,通过检测蚀变岩石与正常岩石的金属元素含量差异,能够准确识别构造活动痕迹、活动强度及影响范围。对比不同构造单元岩石样品的金属元素组合特征,可清晰划分构造边界,推断构造运动的发生时间、运动方式及演化阶段,为区域地质构造演化模型的构建提供关键数据支撑,进一步深化对区域地质构造格局、演化规律的认知与研究。

##### 4.3 环境地质领域应用

环境地质领域中,岩石样品金属元素化学分析是评估区域环境质量、监测环境污染、制定生态修复方案的重要手段。岩石作为土壤、地下水的主要物质来源,其金属元素含量直接决定周边土壤与地下水的元素组成,通过系统分析岩石样品中金属元素,尤其是重金属元素的含量,可精准确定区域环境背景值,明确环境污染基线,有效识别重金属污染源与污染程度。针对矿山开采、工业生产、工程建设等人类活动密集区域,通过跟踪检测岩石样品中金属元素的迁移、扩散规律,能够科学评估人类活动对周边地质环境的扰动与影响,预测环

境污染发展趋势,为环境治理、土壤修复、地下水保护等方案的制定提供科学支撑,保障区域生态环境安全与可持续发展<sup>[5]</sup>。

##### 4.4 岩石成因研究应用

岩石样品金属元素化学分析是探究岩石成因、揭示地质演化规律的核心手段,不同成因类型的岩石,其金属元素组成、含量及比值存在显著差异,这些差异是追溯岩石形成过程的重要地球化学标志。岩浆岩、沉积岩、变质岩的金属元素组合具有独特特征,通过精准分析岩石样品中主量、微量金属元素的分布规律与比值关系,可准确判断岩石形成时的温度、压力、岩浆成分、沉积环境等关键参数。分析金属元素的地球化学行为与演化规律,能够合理推断岩石形成过程中的物质迁移、转化与富集过程,明确岩石与地壳、地幔物质的物质关联,完善岩石成因理论体系,为区域地质演化、地壳物质循环等研究提供坚实的基础数据支撑。

#### 结束语

地质岩石样品金属元素化学分析是贯穿矿产勘查、构造研究、环境评价与岩石成因探究的综合性技术手段,分析结果的准确性高度依赖于样品采集、前处理、方法选择及质量控制等各环节的规范执行。当前多种分析方法已形成互为补充的技术体系,能够满足不同含量级别金属元素的检测需求。持续优化前处理流程、强化全过程质量监控、推进多方法联合应用,是提升岩石样品金属元素化学分析水平与应用深度的重要路径,亦是推动地质调查与地球化学研究不断深化的关键支撑。

#### 参考文献

- [1]王冬冬,娜荷芽,武应凯.探讨地质岩石样品金属元素化学分析与应用[J].中国金属通报,2023(19):143-145.
- [2]李华英,李长梅.探讨地质岩石样品金属元素化学分析与应用[J].中国金属通报,2024(14):180-182.
- [3]张悦,马梦玲,杨菊,等.地质岩石样品金属元素化学分析与应用[J].世界有色金属,2024(13):202-204.
- [4]卢世煥.岩石样品中金属元素化学检测的研究[J].中国金属通报,2022(20):180-182.
- [5]廖志强,龚臣,涂远达.区域地质特征对金属矿资源勘查的影响分析[J].中国金属通报,2025(18):198-200.