

原子吸收光谱仪在矿山地质勘查中的应用

向阳 雷万祥 彭波

香格里拉市云矿红牛矿业有限公司 云南香格里拉 674400

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13263

[摘要] 原子吸收光谱仪 (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) 具有高灵敏度、高精度的特点, 可以对多种元素进行同步检测, 因此, 其在矿山地质勘查中广泛应用。其能对岩石、土壤及矿石样品中的微量和痕量元素进行精准分析, 尤其适用于金、银、铜、铅、锌等重点金属元素的检测。在矿石成分分析、矿床预测、环境监测以及稀有金属检测中具有一定应用优势。原子吸收光谱法在复杂矿样分析中也具有一定可靠性, 可以为矿山资源开发提供重要的支持。随着联用技术和自动化设备的发展, 原子吸收光谱仪将在矿山地质勘查领域展现更大的应用潜力, 并为绿色矿山建设提供重要助力。

[关键词] 原子吸收光谱仪; 矿山; 地质勘查

矿山地质勘查是资源开发的重要环节, 精准的地质样品分析与矿床评价对于矿区的规划和经济价值评估具有重要的作用。在矿产资源勘探中, 金属元素的种类和含量是评估矿石品位的重要依据, 所以分析手段的选择将会直接影响勘查效率和结果准确性。传统的分析方法虽然具有一定适用性, 但在检测灵敏度、定量精度及多元素同步检测能力方面存在明显不足。原子吸收光谱法是一种经典的元素分析技术, 由于其具有高灵敏度、高选择性和广泛的适用范围等特点, 成为了矿山地质勘查的重要工具。本文围绕原子吸收光谱仪在矿山地质勘查中的具体应用展开分析, 探讨其在地质样品检测、矿石成分分析、环境监测以及矿床预测中的技术优势, 并展望其在绿色矿山建设与可持续发展中的应用潜力。

1. 原子吸收光谱仪的原理与特点

1.1 原子吸收光谱仪原理

原子吸收光谱技术的基本原理是气态原子对特定波长光辐射的共振吸收, 待测元素以气态原子形式存在时, 外层的电子会选择性吸收某一特定波长的光子, 波长与元素的能级迁移是相关的, 这种特性使原子吸收光谱技术具有较高的元素选择性和检测灵敏度, 见图 1^[1]。共振吸收是原子吸收光谱的核心, 每种元素的吸收光谱都具有特定的吸收峰, 即特定波长, 这些峰对应的波长是由电子跃迁所决定的。在实际的检测过程中, 将待检测样品引入激发源之后, 样品中的元素原子会转化为基态, 然后通过空心阴极灯发出的特定波长光进行照射, 从而测量光的吸收强度, 进而反应样品的目标元素浓度。谱线宽度和灵敏度是原子吸收光谱技术的重要性能指标, 谱线宽度是由原子能级的天然宽度、多普勒效应以及碰撞加宽等因素而决定的, 灵敏度受仪器分辨率和背景噪声的影响。所以, 高分辨率光谱仪器、良好的实验条件是提高灵敏度的关键。



图1 原子吸收光谱仪

1.2 原子吸收光谱仪的技术特点

1.2.1 高灵敏度与高精度

原子吸收光谱技术的检测灵敏度很高, 可以对痕量元素

进行定量分析, 最低检出限可以达到纳克 (ng) 级别。适当的监测条件, 例如光源强度、原子化条件等等, 可以使仪器的精确度达到±1%以内。由于其具有高灵敏度与高精度的特点, 所以成为了矿物地质样品中微量元素检测的首选方法^[2]。

1.2.2 多元素同步检测能力

传统的原子吸收光谱仪一般用于单元素检测, 随着技术的进步, 多元素同时检测的应用逐渐被推广。例如通过快速切换空心阴极灯或使用多通道检测器, 可以实现多种元素的连续检测, 提高地质样品分析的检测效率。

1.2.3 适用范围广, 尤其是重金属元素检测

原子吸收光谱仪在重金属元素的定量分析中被广泛应用, 例如金、银、铜、铅、锌、铁、镍等元素, 这些元素在矿山勘查中具有重要的意义。不仅能够用来评估矿石品位, 还能用来探索伴生元素。另外, 原子吸收光谱技术在液态、固态及气态样品中均表现出良好的适应性。

1.3 原子吸收光谱仪常见的类型

1.3.1 火焰原子吸收光谱法 (Flame Atomic Absorption Spectroscopy, FAAS)

火焰原子吸收光谱法是原子吸收技术常见的类型, 其原子化器通过火焰的高温分解待测样品, 分解成自由基和基态原子。使用频率最多的火焰包括空气-乙炔火焰、氧化亚氮-乙炔火焰等等, 其中氧化亚氮-乙炔火焰的温度更高, 所以一般适用于难以原子化的高沸点元素^[3]。火焰原子吸收光谱法的操作非常简便, 检测速度快, 适用于常见的金属元素定量分析, 包括钙、镁、钠、钾等等。但火焰原子化效率有限, 所以灵敏度相对较低, 主要适用于浓度较高样品的分析。

1.3.2 石墨炉原子吸收光谱法 (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy, GFAAS)

石墨炉原子吸收光谱法在原子吸收技术中的灵敏度是最高的, 与火焰法相比, 其是石墨炉通过电子加热的方式将样品逐步升温至高温原子化状态, 共包括干燥、灰化和原子化三个阶段。这种方案可以提高原子化效率和光吸收信号强度, 使其最低检出限可以达到皮克级别 (pg)。

1.3.3 氢化物发生原子吸收法

氢化物发生原子吸收光谱法是一种高灵敏度的痕量元素分析技术, 通常用于检测生成气态氢化物的元素, 例如砷、锑、硒、汞等等。通过样品与硼氢化钠等还原剂在酸性介质中发生反应, 生成挥发性氢化物、气态氢化物经载气输送至原子化器, 从而进行高温原子化, 吸收原子吸收光谱仪测定特定波长的吸收信号。该方法的灵敏度很高, 且具有良好的选择性, 适合痕量或超痕量重金属的定量分析, 通常被用来进行饮用水、土壤和空气中的砷、硒、汞等有毒元素检测。其可以有效降低基体的干扰, 但仅限于少部分的元素, 并且还原剂具有一定毒性, 需要严格进行操作^[4]。

2. 原子吸收光谱仪在矿山地质勘查中的应用

2.1 地质样品分析

在矿山地质勘察中, 岩石、土壤和矿石样品的化学成分分析是非常重要的。原子吸收光谱仪可以检测样品中的微量和痕量元素, 尤其是常见的金属元素, 这些元素的浓度可以用于评估矿区资源潜力、矿床类型和矿石质量有着重要作用。金元素检测通常用于评估金矿的矿石质量和富集程度; 银通常与金共生, 检测银的含量有助于发现矿床的潜力; 铜、铅、锌、铁、镍这些元素在多金属矿床中比较常见, 原子吸收光谱仪可以高精度地测定它们的含量, 从而为矿石品位分析提供准确的数据。由于原子吸收光谱仪具有较高的灵敏度, 所以可以对微量元素进行检测, 尤其是在元素浓度非常低时, 其能提供可靠的测量结果。

2.2 矿石成分分析

矿石的成分分析是矿山地质勘查中核心任务, 通过原子吸收光谱仪对矿石的定量分析, 可以准确的测定矿石中的主要金属元素及其含量, 从而评估矿石的品位。原子吸收光谱法在矿石分析中的应用, 可以精准的区分矿石中各个元素的分布, 从而帮助地质学家识别矿床类型, 判定矿石的开采潜力^[5]。在矿石分析中, 原子吸收光谱仪可以有效检测伴生矿物和稀有金属元素, 例如稀有金属, 包括钨、钼、锂等在特定矿床中具有较高的经济价值, 利用原子吸收光谱法能高效地检测这些元素, 为矿产资源的综合利用和稀有金属的回收利用提供技术支持。

2.3 环境监测与评估

矿山区域的环境监测是矿山可持续发展的重要组成部分, 在矿山开采的过程中, 矿石中的有害因素, 例如砷、铅、汞、镉等等, 可能会通过矿坑水、尾矿堆积区或废弃物扩散, 从而对周边的土壤和水体造成污染。原子吸收光谱法是一种精准的元素分析技术, 其能有效检测矿山区域土壤和水体中的重金属污染水平, 为环境治理提供数据支持。另外, 原子吸收光谱仪在尾矿坝环境风险评估中也具有一定作用, 尾矿坝中残留的有毒金属和有害元素可能对水源和生态系统造成长远的危害。通过监测尾矿坝周边环境的重金属污染情况, 可以及时采取有效的防护措施, 减少污染扩散的风险。

2.4 矿床预测与评价

在矿山地质勘查中, 矿床的预测与评价大多需要依靠化学数据分析, 原子吸收光谱法可以提供微量元素分析数据, 对于矿床成因和赋存规律的研究非常重要。通过对地质样品中元素的分布特征进行研究, 可以推测矿床的形成环境、成矿作用及演化过程。另外, 原子吸收光谱法还能辅助矿区的开采规划和经济价值评估, 对矿石品位和含金属元素进行精准分析, 可以有效预测矿区的经济效益, 指导矿山的开采设计和资源配置, 优化开采流程, 减少不必要的资源浪费。

3. 未来发展与展望

3.1 技术发展方向

3.1.1 联用技术

随着分子技术的不断发展, 原子吸收光谱法与其他技术的联用将成为未来的重要发展趋势, 尤其是原子吸收光谱与质谱联用技术。这种联合应用技术的方式可以结合原子吸收光谱的高灵敏度和质谱的高分辨率, 在提高分析精度的同时, 扩大检测范围。这种技术可以同时分析多种元素, 以提高元素定量分析的效率, 尤其是在复杂矿样、低浓度痕量元素的检测方面, 具有巨大的潜力^[6]。

3.1.2 自动化、便携化设备的研发

目前, 勘查工作朝向高效、实时的方向发展, 原子吸收光谱仪的自动化与便携化是其未来的重要发展方向^[7]。自动化设备可以减少人工干预, 提高工作效率, 减少人为操作引起的误差。与此同时, 便携式原子吸收光谱仪的研发, 可以使原子吸收光谱仪在矿山现场进行实时分析。这一技术将会

大大提高矿山勘查的灵活性和效率, 尤其是在野外勘探、快速环境监测等领域。

3.2 在矿山勘查领域的应用潜力

3.2.1 结合大数据与地质建模, 提高资源预测能力

随着大数据技术的发展, 原子吸收光谱法结合大数据分析 and 地质建模的潜力将会进一步被挖掘。通过对大量矿山勘查数据的整合与分析, 结合地质信息系统 (GIS) 与三维建模技术, 可以为矿山资源预测提供更加精准的科学依据。在大数据技术的支持下, 地质勘探人员可以更好地分析矿区的成矿规律与资源分布, 精准地评估矿床潜力与开发价值, 进一步提高矿产资源的预测能力^[8]。

3.2.2 支持绿色矿山建设与环境友好型勘查

目前, 全球对矿山的可持续发展和环境保护的关注程度越来越大, 绿色矿山建设将会成为未来的矿山开发主流。原子吸收光谱法是一种高效、低成本的分析技术, 在矿山环境监测中具有重要的价值^[9]。通过检测矿区及周边土壤、水体中的重金属污染, 可以为环境友好型勘查提供技术支持。在矿山开发的过程中, 其能实现矿山废弃物的重金属检测、尾矿处理与生态修复等方面的精确监控, 支持绿色矿山建设, 减少对生态环境的破坏, 推动矿业行业的可持续发展^[10]。

结束语:

原子吸收光谱仪具有独特的技术优势, 目前, 其已经成为矿山地质勘查中的核心分析工具。通过精准分析矿石样品中的重点金属元素, 原子吸收光谱仪可以提供重要的参考依据。未来, 随着联用技术的不断发展, 原子吸收光谱法将与质谱分析等技术深度结合, 进一步提升分析精度与检测效率。便携化与自动化设备的研发, 将会进一步拓宽原子吸收光谱仪的应用范围。结合大数据和地质建模, 原子吸收光谱仪将在矿床赋存规律研究、资源分布预测及矿区规划中发挥更大作用。

【参考文献】

- [1] 刘来亮, 赵晓辉, 邢娜, 等. 原子吸收光谱仪与液相色谱仪在药品质量检验中的应用进展 [J]. 山东化工, 2024, 53 (21): 116-118.
 - [2] 许雪姣, 洪嘉. 嘉定区大气颗粒物中重金属含量变化趋势以及成因分析——以铅为例 [J]. 广州化工, 2024, 52 (17): 112-114+118.
 - [3] 谭梦玲. 火焰原子吸收法测定油漆涂层可溶出铅、镉、铬含量的不确定度评定 [J]. 山西化工, 2024, 44(02): 58-64.
 - [4] 王玲玲, 陈璐, 毕建玲, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定石灰性土壤中交换性盐基钾、钠、钙、镁 [J]. 化学分析计量, 2023, 32 (11): 63-67.
 - [5] 宋振威, 孟元华, 吴林林, 等. 基于基体建模扣背景技术的连续光源石墨炉原子吸收光谱法测定尿液中锑的含量 [J]. 理化检验-化学分册, 2023, 59 (10): 1211-1214.
 - [6] 覃世保. 基于离子液体的单滴微萃取与石墨炉原子吸收光谱仪联用测定水中锑含量的研究 [J]. 科学技术创新, 2023, (14): 81-84.
 - [7] 李亚丽, 赵贺, 孙蓓锋, 等. 催化裂解-金汞齐富集-冷原子吸收光谱仪测定土壤样品中总汞含量 [J]. 中国无机分析化学, 2023, 13 (06): 524-529.
 - [8] 朱君, 黄晶, 王晨希, 等. 高分辨连续光源原子吸收光谱仪测定铅酸蓄电池周边土壤和沉积物中的 Pb [J]. 环保科技, 2022, 28 (02): 22-26.
 - [9] 董智芝. 火焰光度原子吸收法测定气化炉炉渣中微量铬仪器工作条件及降低仪器故障率的研究 [J]. 中氮肥, 2022, (01): 59-64.
 - [10] 罗丽霞. 火焰原子吸收光谱仪和电感耦合等离子体发射光谱仪在水质检测中的比较分析 [J]. 广东化工, 2021, 48 (23): 171-173.
- 作者简介: 向阳 1990 年 3 月, 男, 汉族, 重庆市万州区, 本科, 地质工程师, 矿山地质。