

摘要

钼精矿、钨精矿作为非煤矿山重要战略矿产原料，其主次元素含量直接决定矿产品品质、交易定价与选矿工艺调控，快速、精准的检测技术是非煤矿山生产管控的关键。荧光分析法具有检测速度快、样品前处理简单、可多元素同时测定、适合批量检测等优势，广泛应用于矿山选矿、矿产品质检等环节。但在实际检测中，受基体效应、粒度效应、谱线干扰、仪器参数设置、样品制备方式等因素影响，钼、钨主元素及伴生杂质次元素检测精度易出现偏差。本文基于非煤矿山钼、钨矿检测实际工况，阐述X射线荧光分析法基本原理，分析当前钼精矿、钨精矿检测存在的主要问题，从样品制备、基体校正、仪器条件优化、干扰消除、方法标准化等方面提出优化策略，为非煤矿山钼钨矿产品快速精准检测、选矿过程质量控制提供技术支撑。

关键词：荧光分析法；X射线荧光光谱；钼精矿；钨精矿；非煤矿山；主次元素检测

引言

钼、钨属于国家战略性稀有金属矿产，主要产自非煤矿山开采及选矿加工，钼精矿、钨精矿是冶金、军工、化工、硬质合金等行业的关键原材料。在非煤矿山选矿生产、贸易结算、环保管控、质量验收工作中，不仅需要精准测定钼、钨主含量，还需检测铁、铜、铅、锌、硅、钙、锰等次要杂质元素，以此评价矿产品等级、指导选矿药剂用量、优化浮选工艺参数。

传统化学滴定、原子吸收等检测方法，前处理流程繁琐、消解耗时长、试剂用量大、分析周期长，无法满足矿山现场大批量样品快速筛查需求。X射线荧光分析法（XRF）无需复杂消解，可直接对固体样品进行多元素同时检测，非常适配非煤矿山选矿车间、质检实验室的快速检测场景。但钼精矿、钨精矿矿物结构复杂，伴生元素多、基体差异大，常规荧光检测方法易出现基体吸收增强效应、谱线重叠干扰，导致主次元素测定误差偏大。因此，开展荧光分析法在钼钨精矿检测中的应用优化研究，对提升非煤矿山矿产检测效率与准确性、保障矿产品质量、规范市场交易具有重要现实意义。

1 荧光分析法检测钼、钨精矿的基本原理

X射线荧光分析法利用X射线照射钼精矿、钨精矿样品，激发样品中各元素内层电子跃迁，产生特征荧光X射线。不同元素发射的荧光波长、能量具有唯一性，通过分光系统分离特征谱线，探测器测定谱线强度，结合标准曲线即可实现钼、钨主元素及铁、铜、铅、锌、钙、硅等次元素的定性与定量分析。

该方法适用于粉末压片、熔融玻璃片两种样品形态，其中压片法操作简便、速度快，适合矿山生产过程在线快速检测；熔融法可有效消除矿物粒度效应、矿物效应，检测精度更高，用于仲裁检测与精准定量。在非煤矿山实际应用中，荧光分析可实现大批量样品连续测定，显著缩短检测周期，减少化学试剂使用，契合绿色矿山、快速质检的行业发展要求。相较于传

统湿法化学检测，X 射线荧光技术可实现现场、无损、快速检测，有效降低非煤矿山质检工作的人力与耗材成本，在矿山日常生产监控中优势明显。

2 钼精矿、钨精矿荧光检测现存主要问题

2.1 样品制备不规范，粒度效应干扰严重

非煤矿山选矿样品颗粒粗细不均、湿度较大，直接压片易出现表面粗糙、密度不一致，X 射线穿透深度不同，造成谱线强度波动。部分样品未充分研磨、压片压力不足，导致钼、钨主元素测定偏低，杂质元素检测误差增大。同时部分矿山实验室未区分浮选精矿与原矿尾矿样品，样品基体差异未做区分，进一步加大检测偏差。

2.2 基体效应与元素间干扰突出

钼、钨原子序数高，自身基体吸收效应强，同时钨、钼谱线与铁、铜、铅等杂质元素存在谱线重叠；主元素含量过高会对次元素产生增强效应，常规检测模式未做校正，直接导致主次元素结果偏差，影响矿产品等级判定。尤其在高品位钨精矿中，钨的高强度谱线极易干扰铅、铋等次元素测定，造成杂质含量虚高。

2.3 仪器参数设置不合理，标准曲线适用性差

部分矿山实验室直接采用通用矿物标准曲线，未针对钼精矿、钨精矿高含量特征建立专用校准模型，轻元素硅、钙、镁检出限偏高。仪器管压、管流、测试时间设置不合理，导致低含量次元素信噪比低，检测稳定性不足。仪器长期运行未做漂移校正，也会造成连续批次样品检测结果系统性偏移。

2.4 检测方法标准化程度低

非煤矿山企业质检水平参差不齐，缺乏统一的样品研磨、压片、熔融、校正流程，不同实验室、不同批次检测结果重复性差，不利于选矿工艺精准调控与矿产品公平交易。同时部分企业只注重主元素检测，忽视次元素质量控制，导致精矿产品杂质超标，影响下游冶炼企业使用。

2.5 缺乏与传统方法的比对验证

多数矿山仅依赖荧光单一方法开展检测，未定期与化学滴定法、ICP-MS 等经典方法比对，无法及时发现基体校正缺陷与系统误差，长期使用易造成检测数据失真，给矿山生产与贸易结算带来风险。

3 荧光分析法在钼钨精矿检测中的优化策略

3.1 规范样品前处理，消除粒度与湿度干扰

针对非煤矿山现场样品，统一采用行星式研磨机研磨至 200 目以上，保证颗粒均匀；样品充

分烘干去除水分，避免湿度影响。压片法采用硼酸镶边，固定压片压力与保压时间，保证样品表面平整致密；对于高精度检测，采用高温熔融制样，利用熔剂稀释基体，彻底消除矿物效应、粒度效应，提升主次要元素测定准确度。针对浮选精矿黏性较大问题，可添加少量助磨剂，提升研磨均匀性。

3.2 优化基体校正与谱线干扰消除

采用经验系数法、理论 α 系数法结合，校正钼、钨基体的吸收增强效应；针对钼钨与铁、铜、铅谱线重叠，选用无干扰特征谱线，设置谱线重叠校正系数。建立钼精矿、钨精矿专用基体校正模型，区分主元素高含量区间与次元素低含量区间，实现主次要元素同步精准校正。对高品位钨矿样品，单独优化钨元素干扰模型，降低对重金属杂质的影响。

3.3 优化仪器测试条件，提升检测灵敏度

调整X射线管管压、管流，高含量钼钨主元素选用高能条件，低含量杂质次元素适当延长测试时间，提升信噪比；优化真空光路模式，降低空气对轻元素硅、钙的吸收干扰。定期对仪器进行漂移校正、能量刻度校准，保证长期检测稳定性。针对矿山连续批量检测，设置快速检测模式，兼顾效率与精度。

3.4 建立钼钨精矿专用标准曲线与质量控制体系

选用国家一级标准物质、非煤矿山实际生产样品，配制梯度校准样品，建立专属标准曲线。同步开展空白试验、平行样测定、加标回收试验，定期参加能力验证，对比化学法结果，验证荧光分析方法可靠性。规范检测流程，形成矿山企业标准化作业指导书，实现检测过程可追溯、可管控。

4 结语

在非煤矿山钼、钨矿产开发与选矿加工过程中，X射线荧光分析法是实现钼精矿、钨精矿主次要元素快速检测的核心技术手段。通过规范样品制备、优化基体校正、消除谱线干扰、完善仪器参数、建立专用校准体系，能够有效解决传统检测误差大、稳定性差、干扰因素多等问题，大幅提升检测效率与准确度。

优化后的荧光检测技术可适配非煤矿山批量样品在线检测需求，既能快速指导浮选药剂调整、优化选矿工艺，又能精准判定矿产品等级，为矿山质量管控、贸易结算、产品出厂检验提供可靠数据支撑。该技术的推广应用，有助于降低非煤矿山质检成本，提升矿产资源综合利用水平，推动非煤矿山行业绿色化、精细化、智能化高质量发展，为我国稀有金属战略资源安全提供基础保障。

参考文献

- [1] 张庆建, 王斌, 陈兴海. X射线荧光光谱法测定钼精矿中主次量元素[J]. 岩矿测试, 2020,39(03):421- 427.

- [2] 刘洁, 赵雪梅, 李刚. 熔融制样- XRF 法测定钨精矿中多元素含量的应用研究[J]. 中国钨业, 2021,36(02):78- 84.
- [3] 周红, 孙健, 吴艳. 基体效应对钼钨矿 X 射线荧光检测的影响及校正方法[J]. 有色金属分析, 2022,42(05):36- 41.
- [4] 黄亮, 马丽, 陈涛. 非煤矿山选矿产品快速检测技术优化与应用[J]. 矿产保护与利用, 2023,43(01):112- 117.
- [5] 杨平, 王丽, 张海波. X 射线荧光光谱在稀有金属矿质检中的应用进展[J]. 分析测试学报, 2022,41(08):1201- 1206.