

X 射线荧光光谱法在非煤矿山钼钨尾矿品位检测中的应用

段艳阁

洛阳栾川钼业集团股份有限公司 471500

摘要

钼、钨尾矿是非煤矿山选矿生产过程中产生的主要固体废弃物，尾矿中残留钼、钨等有价金属的品位高低，直接关系到矿产资源综合利用率、二次回收工艺设计以及矿山生态环境风险管控。传统化学检测方法流程复杂、分析周期长，难以满足非煤矿山尾矿大批量、实时化品位监测需求。X 射线荧光光谱法（XRF）具备无损检测、多元素同步分析、前处理简单、检测速度快、可现场批量测定等优势，在尾矿品位快速检测中适用性突出。本文基于非煤矿山钼钨选矿生产实际，介绍 X 射线荧光光谱法检测尾矿品位的基本原理，分析尾矿检测过程中存在的粒度效应、基体干扰、水分影响、谱线重叠等问题，探究样品制备、基体校正、仪器参数优化、质量控制等关键应用要点，为非煤矿山钼钨尾矿品位快速监测、资源二次回收、尾矿资源化利用及矿山精细化管理提供技术支撑。

关键词：X 射线荧光光谱法；非煤矿山；钼钨尾矿；品位检测；资源综合利用

引言

钼、钨作为我国战略性稀有金属矿产，主要依托非煤矿山露天及地下开采、浮选选矿进行资源开发。受选矿工艺、药剂制度、磨矿细度等因素限制，大量钼、钨金属随尾矿进入尾矿库，造成资源浪费，同时尾矿堆积还存在重金属流失、土壤及水体污染等环境隐患。对钼钨尾矿开展常态化品位检测，一方面可明确有价金属残留含量，评估尾矿二次回收潜力，提升矿产资源利用率；另一方面可实时反馈选矿效果，优化浮选参数，降低金属流失率，兼顾资源效益与生态效益。

目前非煤矿山尾矿品位检测多采用化学滴定、原子吸收分光光度法等传统手段，样品消解繁琐、试剂消耗大、检测耗时久，无法实现生产过程实时监测。X 射线荧光光谱法无需湿法消解，可直接对尾矿粉末样品进行钼、钨主元素及铁、铜、铅、锌、硅、钙等伴生元素同步检测，检测效率高、稳定性好，契合非煤矿山尾矿大批量样品快速筛查的工作需求。但尾矿矿物成分复杂、颗粒粗细不均、基体波动大，常规检测模式易产生系统误差。因此，开展 X 射线荧光光谱法在钼钨尾矿品位检测中的应用研究，对非煤矿山提质增效、尾矿资源化利用、绿色矿山建设具有重要现实意义。

1 X 射线荧光光谱法检测钼钨尾矿的基本原理

X 射线荧光光谱法是利用高能 X 射线照射尾矿样品，激发钼、钨、铁、硅等元素内层电子发生跃迁，释放出对应元素特征波长的荧光 X 射线。不同元素荧光射线的能量与波长具有唯一性，仪器通过分光系统分离特征谱线，探测器测定谱线强度，结合标准曲线与基体校正模型，即可实现钼、钨品位的定量分析，同时测定多种杂质元素含量。

该方法可采用粉末压片法与熔融玻璃片法两种前处理方式。压片法操作简单、检测快速，适合矿山选矿车间尾矿在线快速监测；熔融法通过高温熔剂稀释样品，消除粒度效应与矿物效应，检测精度更高，适用于尾矿品位精准核算与仲裁分析。在非煤矿山实际应用中，XRF 可

一次性完成数十个尾矿样品检测，大幅提升尾矿监测频次，及时指导选矿工艺调整。与传统检测方式相比，X 射线荧光光谱法无需使用强酸强碱等化学试剂，检测过程绿色安全，可有效降低非煤矿山实验室危废处理压力，契合当前绿色矿山建设要求。

2 非煤矿山钼钨尾矿 XRF 检测存在的主要问题

2.1 粒度效应与水分干扰明显

钼钨尾矿颗粒粗细差异较大，磨矿不充分导致样品粒径不均，X 射线穿透深度不一致，造成钼、钨元素谱线强度波动；尾矿样品含水率不稳定，水分会吸收 X 射线能量，降低检测信号，直接导致尾矿品位测定结果偏低。部分矿山尾矿受雨水冲刷、堆存环境影响，湿度变化波动大，进一步加剧检测误差。

2.2 基体效应与元素谱线重叠干扰

尾矿中硅、钙、铁、铝等基体元素含量高，对钼、钨元素存在吸收- 增强效应；钼、钨特征谱线与部分杂质元素谱线重叠，高含量铁、铅会干扰低品位钼、钨的测定，而尾矿中钼钨多为痕量或低含量，极易出现检测偏差。同时尾矿中硫化物、氧化物矿物形态复杂，矿物效应会进一步影响荧光强度，造成结果不稳定。

2.3 标准曲线适配性不足

多数矿山直接采用矿石标准物质建立曲线，未结合尾矿低品位、高杂质的基体特征，校准模型适用性差，轻元素检出限偏高，无法精准测定尾矿中微量钼、钨含量。部分实验室未区分不同选矿工段尾矿基体差异，统一使用一套标准曲线，导致不同批次样品检测偏差较大。

2.4 检测质量管控体系不完善

非煤矿山质检人员专业水平参差不齐，样品制备、仪器校准、漂移校正等操作不规范，缺乏平行样、空白样比对，长期批量检测易产生系统性误差，影响选矿生产判断。同时矿山普遍重主矿检测、轻尾矿监测，对尾矿检测的重视程度不足，质量控制流程落实不到位。

3 X 射线荧光光谱法在钼钨尾矿检测中的应用优化措施

3.1 规范尾矿样品前处理

尾矿样品经 105℃ 烘干去除水分，使用行星式研磨机研磨至 200 目以上，保证颗粒均匀；采用硼酸垫底镶边压片，统一压力与保压时间，保证样品表面平整致密。针对高精度检测，采用熔融制样法，有效消除粒度效应，提升低品位钼钨检测准确性。对于潮湿尾矿，需延长烘干时间，确保含水率稳定，减少环境因素带来的检测偏差。

3.2 优化基体校正与干扰消除

采用理论 α 系数法与经验系数法联合校正尾矿基体效应，针对钼钨低含量区间优化校正模型；

筛选无干扰特征谱线，设置谱线重叠校正系数，减弱铁、铅等元素干扰，提高微量钼钨测定灵敏度。针对硫化型钼钨尾矿，单独建立矿物形态校正模型，降低矿物效应对检测结果的影响。

3.3 优化仪器测试条件

合理设置 X 射线管管压、管流，延长钼、钨元素测试时间，提升低含量信号信噪比；开启真空光路，降低轻元素干扰；定期开展仪器漂移校正、能量校准，保证长期检测稳定性。针对矿山大批量尾矿样品，设置快速检测模式，在保证精度前提下提升检测效率，满足生产实时监控需求。

3.4 建立尾矿专用标准曲线

选取国家标准物质与矿山实际尾矿样品，配制梯度含量校准样品，建立适配尾矿低品位特征的专用标准曲线，同时开展平行样、加标回收实验，定期与化学检测方法比对，验证检测结果可靠性。根据选矿原矿变化，动态更新标准曲线，提高模型适配性。

3.5 完善矿山检测质量管控

加强非煤矿山技术人员培训，规范仪器操作、样品制备、数据处理流程，建立尾矿品位实时监测台账，实现选矿生产、尾矿排放、资源回收全流程数据管控。将尾矿品位检测纳入矿山日常质量考核，强化全过程质量监督，及时根据尾矿数据调整磨矿细度、浮选药剂用量，实现选矿工艺精准优化。

4 结语

钼钨尾矿品位检测是非煤矿山选矿质量控制、资源二次利用的重要环节。X 射线荧光光谱法凭借快速、无损、多元素同步检测的优势，有效解决了传统化学检测效率低、滞后性强的问题，能够实现钼钨尾矿品位实时监测。通过规范样品前处理、优化基体校正、消除谱线干扰、建立专用校准模型、完善质量管控体系，可显著提升尾矿中低品位钼、钨元素的检测准确度。

该技术可广泛应用于非煤矿山选矿车间在线监测、尾矿库常态化品位核查、尾矿资源化潜力评估，既能及时指导浮选工艺优化，减少有价金属流失，提高矿产资源综合利用率，又能为尾矿污染防治、生态治理提供数据支撑。随着非煤矿山智能化、绿色化建设不断推进，X 射线荧光光谱法在尾矿监测领域的应用将更加成熟，为矿山精细化管控、资源高效利用、生态环境保护提供坚实的技术保障，助力非煤矿山行业实现高效、绿色、可持续发展。

参考文献

- [1] 张庆建, 王斌, 陈兴海. X 射线荧光光谱法测定钼矿尾矿中钼钨含量[J]. 岩矿测试, 2020,39(04):512- 517.
- [2] 刘洁, 赵雪梅, 李刚. 熔融制样- XRF 法测定钨矿尾矿多元素含量[J]. 中国钨业, 2021,36(04):89- 94.
- [3] 周红, 孙健, 吴艳. 尾矿基体效应对 X 射线荧光检测的影响及校正[J]. 有色金属分析,

2022,42(06):42- 47.

[4] 黄亮, 马丽, 陈涛. 非煤矿山尾矿快速检测技术应用研究[J]. 矿产保护与利用, 2023,43(02):124- 129.

[5] 杨平, 王丽, 张海波. XRF 在稀有金属尾矿品位监测中的应用进展[J]. 分析测试学报, 2022,41(09):1312- 1317.