

# 湿法化学分析等方法检测铜铅锌矿石成分及经济价值

廖 惠 (广东金雁工业集团有限公司玉水硫铜矿, 广东 梅州 514000)

**摘 要:** 由于铜铅锌矿石属于重要的战略矿产资源, 对其矿物的成分进行测试, 对资源经济性评价和选冶加工工艺优化具有重要意义。综合利用湿法化学分析准确的优点、以及现代主流仪器分析技术测试速度快且元素多等综合优势作为主导, 对这些技术手段中的样本破碎技术、滴定试验和光谱质谱分析原理、应用价值及其优缺点进行具体介绍, 并着重强调标准物质、标准曲线选择和质量控制在结果正确性中的重要性。最后, 对未来的分析技术走向自动化、智能化及绿色化实现高效、精确及无污染的联动分析分析的发展趋势进行展望。

**关键词:** 湿法化学分析; 铜铅锌矿石; 成分分析; 经济价值

中图分类号: TD91

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 030-0061-03

## The composition and economic value of copper, lead and zinc ores are detected by wet chemical analysis and other methods

Liao Hui (Guangdong Jinyan Industrial Group Co., LTD.Yushui Sulfur Copper Mine.Meizhou Guangdong 514000,China)

**Abstract:** As copper-lead-zinc ores are important strategic mineral resources, testing their mineral composition is of great significance for the economic evaluation of resource utilization and the optimization of beneficiation, smelting and processing techniques. Taking advantage of the high accuracy of wet chemical analysis and the comprehensive strengths of modern mainstream instrumental analysis techniques, such as fast testing speed and diverse elements, this paper specifically introduces the sample disruption technology, titration test, and the principles, application value, and advantages and disadvantages of spectral mass spectrometry analysis among these technical means. And it is particularly emphasized that the selection of reference materials, standard curves and quality control are of great significance in the correctness of the results. Finally, we look forward to the development trend of future analytical technologies moving towards automation, intelligence and greenness, achieving efficient, accurate and pollution-free linked analysis.

**Key words:** Wet Chemical analysis Copper-lead-zinc ore Component analysis Economic value

铜铅锌矿石作为较为复杂、重要的稀缺战略矿产之一, 高利用率开采设计以及冶金工艺优化、高产能开发规划编制、金属冶炼工艺改造提高具有重要意义。但其复杂矿物组合、多种元素组成组份含量分布范围广和相互联结给准确分析带来巨大挑战, 如何研发一个快速、准确、可靠、稳定的方法一直是本领域的重点与难点。随着分析方法从湿法化学分析向现代分析仪器化分析的发展, 各分析方法根据应用场景和需求条件不同发挥出不可替代的作用。本文对铜铅锌矿石成分分析重点技术方法和发展趋势进行系统阐述, 深入分析湿法化学分析技术与现代分析仪器化分析等主流分析方法的基础原理、适应度与局限性, 明确主要方法在经济评价中的定位, 进一步引导有关工作者选择适用, 促进分析方法不断改进创新。

### 1 湿法化学分析方法具体应用

#### 1.1 样品分解技术

样品解毒是检测铜铅锌矿物质构成分析的关键前提工作, 是把矿物固体物质剖析到统一, 适合后续试验的溶液或形态。选择恰当的方法是确保实验结果的代表性和精准性必不可少的环节, 这是基于矿石组织

特性、待测定金属种类特性以及测验的最终检测方法而进行的综合判断。

表 1 样品分解技术

方法分类	核心特点	主要优势	关键局限
酸溶分解	盐酸、硝酸、王水、氢氟酸等加热	流程较简单、空白低、效率高	对含难溶矿物样品分解可能不完全
熔融分解	过氧化钠等熔剂高温熔融	分解能力强、适用难溶矿石	引入大量盐分、操作繁琐、可能干扰
微波消解	混合酸密闭微波加热	速度快、酸耗少、自动化高、保留挥发物	样品量有限、设备成本高

样品分解技术已从传统的手工酸溶与高温熔融, 发展为以微波消解等为代表的高效现代方法。因此, 选择最优的分解方案, 必须立足于矿石特性与检测要求, 力求实现完全分解、避免损失与污染, 并兼顾操作效率与成本控制, 为后续精准测定奠定可靠基础。绿色化、自动化仍是该领域的重要发展方向。

#### 1.2 滴定分析法

尽管新型的高科技产品不断涌现, 但对铜铅锌矿

石的测定，滴定分析法仍是不可替代的测量方式，其利用消耗的标准溶液的量来计算元素的成分，其过程简洁易操作，成本比较低廉，其准确度也十分高，即使目前主流的测量方式也提高精度，但是滴定法依旧被广泛用于对其他试验方法的校正上。

表 2 滴定分析法

方法名称	核心反应原理	主要应用元素	关键优点
碘量法	利用 $\text{Cu}^{2+}$ 与 $\text{I}^-$ 的氧化还原反应，生成碘，用硫代硫酸钠滴定	铜	选择性好，准确度高，适用于中高含量铜的测定
EDTA 滴定法	基于 EDTA 与 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 等金属离子的强络合反应，用金属指示剂判断终点	铅、锌	方法成熟，应用范围广，可连续或分别测定
电位滴定法	通过测量滴定过程中电极电位的突跃来确定终点	多种离子	适用于有色或浑浊溶液，自动化程度高，结果客观

滴定分析法以其固有的准确度和可靠性，在铜铅锌矿石的常规分析和仲裁分析中持续发挥着关键作用。然而，其操作流程相对繁琐、自动化程度较低且难以实现多元素同时测定的局限性，也使其在面对高通量分析需求时面临挑战。因此，在现代分析实验室中，滴定法更多地被视为一种重要的补充和验证手段，而非唯一的分析选择。

### 1.3 重量法与分光光度法的应用效果

重量分析法在分析化学的发展历程中一直保持着极高的精确性，但毕竟属于以特定的化学反应来分离、检测试样中某种成分的方法，最终常常生成某一元素或某一类型的固体粉末，经过过滤、洗涤、干燥乃至灼烧后进行称量以求得相应的组成含量，早期甚至会用于诸如黄金这类贵金属的测试上，因其不需要采取标准物就可以给出确切结果，可信度很高。然而，现今对测试效率和高效大规模测试的需求给该方法的应用带来很大局限，它更多被作为标准测试的检验方法甚至是某类特殊的性质的测定方面。

分光光度法利用物质对特定波长光的吸收与浓度之间的相关性进行定量分析。通常，待测元素与显色剂反应生成有色化合物，通过测量其吸光度来实现定量。该方法具有操作简便、成本低廉、具有一定的灵敏度和选择性等优点。然而，显色反应易受酸度、温度及杂质离子等因素的干扰，导致结果稳定性不足，且一次只能分析单一元素，效率较低。

## 2 湿法化学分析法应用的经济价值

尽管湿法化学分析具有原理明确、结果稳定等优点而被作为现代铜铅锌矿石成分测试系统中的一部分，但在争议解决、标准物质判定以及高含量元素确

认性鉴定等方面，它是公认的权威手段。因其测量方式直观、不易受基体复杂影响，被作为证实现今仪器分析法的可靠性手段，但由于操作人员对仪器设备的操作经验要求较高，并且其过程较繁琐、分析效率低而难以适应当今大批量、高效率的需求，因此在当前试验环境条件下，湿法分析更多的是作为特殊场合下使用的手段和仪器分析的有益补充、证实工具，与仪器分析一同组成完整的分析质量管理体系。

作为一种传统技术，湿法化学分析具有广阔的应用领域，其投资回报率较精密分析仪器的购买费用及保养费用更高，可见对于小规模采矿企业而言，能够大大减轻实地实验室的资金压力。加之其受到的公认度和高精度特性，使得湿法分析具备矿价议定、资源储量准确化估算等关键作用，能够在一定程度上减少因对数据分析结果产生怀疑导致的经济上不必要的亏损。并且还能够作为参考性指标，为制定统一物品计价和仪器校准提供重要标准，有利于整个检测系统运转的稳定性，同时，这一方法也显示出特殊的实际运用价值和成本控制上的优势。因此，由于其在特殊领域中的优异表现，湿法化学分析在目前矿物组成分析的经济循环中依然具有至关重要的作用。

## 3 现代仪器分析技术的主流方法与比较研究

### 3.1 原子光谱技术

原子光谱方法中原子吸收光谱和原子发射光谱都是目前先进的矿石分析实验室必不可少的两类基本分析手段。前者具有元素特异性高，高灵敏度的优势，在中等和低含量元素定量分析应用中显示出重要的地位，但由于其单一元素系列定值的缺点限制其应用效率；而电感耦合等离子体原子发射光谱在突破了对多种元素同时分析能力的基础上，得益于它的高温发射器作用，可以激发所有大多数金属，具有宽线性范围、小基体效应、高速优点，从而成为处理复杂、多变的铜铅锌矿石样品检测高效率的主流测试仪器。这一套体系涵盖了从常规、微量到超痕量的研究领域，需要考虑的难题如光谱干扰和基体效应等问题，但是有高级算法校准和采样的帮忙，原子谱的手段可以一直为地球科学和矿业工业提供最可靠的结果保障。

### 3.2 质谱技术

原子光谱分析方法在矿石中的应用已经很成熟，其中原子吸收光谱法拥有无与伦比的选择性和极高的灵敏度，但其对元素的序列分析能力不容乐观；原子发射光谱法凭借高线性范围和检测速度快的优势以及一元多测的独有特点，成为处理复杂矿样的好方法，如此一来，就可通过对矿样的同时分析，获得主、次到一般元素的全元素数据。但问题依旧存在于光谱和



基体干扰上，但算法及采集手段的不断进步使我们得到准确可靠的实验数据。质谱法主要是电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)，因其卓越的灵敏度和较低的检测极限被研究，可准确定量地检测稀土元素、贵金属以及一些有毒元素，且有大于 9 个数量级的线性范围，受氩气影响问题依然存在，但利用碰撞反应室技术和激光剥离技术使得它可减少干扰，实现固态中微区域分析，使 ICP-MS 成为元素分布测试的一个有用手段。

4 分析流程中的关键环节与质量控制

4.1 样品前处理进展

前处理工艺是铜铅锌精矿组分评价过程关键环节，直接影响并决定分析方法最终数据的准确度、分析速度及总成本。虽然传统的加热板酸溶法、高温熔融法等已属成熟稳定、易于操作的方法，但是却普遍存在耗时长、消耗的试剂多、可能对环境造成污染及易挥发元素的损失等难题。为进一步克服传统前处理存在的缺点，前处理分析方法正向着高效、环境友好、自动化的发展趋势。

表 3 样品前处理进展

方法名称	核心特点	主要优势	主要局限
微波消解	密闭容器微波加热混合酸	速度快、酸耗少、空白低、保留挥发物、自动化高	样品量受限、设备投入高
自动化消解系统	机械臂集成加酸加热定容等操作	重现性好、节省人力、安全	系统昂贵、流程灵活性低
绿色消解技术	采用环保试剂或减量设计	减少污染、降低成本	对极难溶样品能力可能不足
原位分析技术	激光剥蚀等直接固体进样	无试剂消耗、快速、空间分辨	定量需匹配标样、精度略逊

新样品制备技术的进步有效提升了实验的效率和寿命。为了选择最优的样品制备方法，须统筹矿体成分、待测元素种类、实验要求、处理速度、经济性和环境污染度等多方面因素。将环境问题引入制备之中，提升自动化水准，开展就地采样的研究工作技术仍是本领域发展重点，是为本领域下一步的高精度试验提供更为稳定、快速和绿色样品制备方案。

4.2 标准物质与校准方法

标准物质和校准方法是将测量响应值转换为真实元素含量的桥梁，是确保数据准确性和可重复性及可溯源性的基石。无合适标准物质或有误校准方法，再先进的仪器也不能获得可靠的结果。该环节对于整个测程的运行至关重要，也是 QMS 的重要组成部分。

合理选择待测试件基本结构的校正样并且选择能抵抗基体影响的校正方法，是获得准确解析数据的关键。校正样物保障了量的稳定，校正方法保障在真品

样品测试中将稳定的传递给实验室，两者的结合是建立现有测试设备的稳定工作，更是试验室质量保证必不可少的重要部分。

表 4 标准物质与校准方法

类别	名称 / 方法	核心描述与作用	主要特点与考量
标准物质	国家一级标准物质	化学成分均匀、定值准确可靠,用于校准仪器、评估方法准确度	权威性高,如 GBW 系列,是量值传递的基准
	行业标准物质	由权威机构认证,用于日常分析工作的质量控制和仪器校准	性价比高,如 GSB 系列,需确保与待测样品基体匹配
校准方法	标准曲线法	配制一系列浓度已知的标准溶液,建立浓度-响应值关系曲线	适用于基体简单、无干扰的样品,是最常用、高效的方法
	标准加入法	向样品中加入已知量的待测标准,通过曲线外推抵消基体效应	能有效补偿复杂的基体干扰,但操作繁琐,工作量增大

5 湿法化学分析等技术应用未来展望

通过对铜铅锌矿石矿物组份分析方法的相关研究和讨论发现，在湿法化学、原子光谱技术、原子质量光谱技术以及 X 射线荧光光谱技术等先进的分析工具基础上，依据不同的理论基础和作用原理，在特定条件的应用环境下，各自展现出不可替代的地位和价值。未来铜铅锌矿石分析物成分检测技术的发展趋势会进一步全面整合多种技术优势并以更加绿色、智能、集成化的全方位模式进行整合。通过自动进样前处理、激光剥蚀等在线微观分析技术及利用人工智能的光谱质谱数据识别等将大大提升分析速度、准确性以及降低环境影响，最终达到建立一套自动从进样到结果输出的智能化、高精度、环境友好型的一次性循环分析模式以给矿物资源的有效和绿色开发利用提供更多的科技支撑。

参考文献：

[1] 何绒. 电感耦合等离子体发射光谱法在铜铅锌矿石分析中的应用 [J]. 世界有色金属, 2022(04):117-119.  
[2] 陈章鸿. 老挝丰沙里省难选铜铅锌矿石浮选分离试验研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.  
[3] 杨小莉, 杨小丽, 曾美云, 等. 高频燃烧红外吸收法测定铜铅锌矿石中硫 [J]. 冶金分析, 2020, 40(03):44-50  
[4] 李德军, 王伟, 曹静, 等. 进口铜铅锌原矿化学成分分析与研究 [J]. 冶金与材料, 2019, 39(05):7-9.  
[5] 陈新林. 内蒙古某低品位铜铅锌矿石中金银回收工艺研究 [J]. 金属矿山, 2011(09):107-110+119.

作者简介：

廖惠 (1991-), 女, 梅县人, 毕业于吉林大学珠海学院, 专业: 制药工程 (生物制药), 研究方向: 矿石成分分析。