

# 微动勘探在金矿深部地质构造勘查中的研究

王锋庆 李成帅 张庆洋

山东省煤田地质局物探测量队 山东济南 250100

**摘要:** 为应对金矿深层地质构造勘查内“隐蔽特性突出、探测范围未达预期、作业环境存在限制”等主要难题,本文融合微动勘探技术所具备的被动式采集模式、非损伤性作业特征、深层穿透性能强劲等优势条件,系统性剖析该技术在金矿深层断裂构造体系、含矿岩体结构、矿化带空间定位方面的应用逻辑架构与实践操作要点。通过梳理微动勘探技术的核心理论原理与数据处理关键环节,结合金矿地质构造的典型特征表现,探究技术应用过程中的实操难点问题及优化改进路径,为金矿深层找矿工作提供契合实际的技术参考内容,助力推动深层金矿勘查作业的精准程度与工作效率提升,填补传统勘查技术在深层区域的应用功能短板。

**关键词:** 微动勘探; 金矿; 深部地质构造; 勘查技术; 矿化带定位

## 引言

伴随浅层金矿资源的逐渐消耗殆尽,深层找矿作业已然成为金矿资源开发工作的核心发展方向,而深层地质构造的精准勘查操作是达成高效找矿目标的必要前提条件。金矿资源的形成过程与空间分布状态,往往同深层断裂构造活动、岩体侵入作用等构造运动存在密切关联,但深层构造埋藏深度较大、受地表环境干扰影响较强,传统勘查技术例如钻探作业、地震勘探工作等,存在作业成本投入较高、探测覆盖范围存在局限、对复杂构造形态响应敏感度不足等现实问题,难以充分满足深层勘查作业的实际应用需求<sup>[1]</sup>。微动勘探作为一种被动式地震勘探技术形式,通过采集地表天然存在的微动信号数据,运用瑞利波频散特性开展地下介质速度结构的反演工作,无需依赖人工激发震源装置,能够在复杂地形条件、城区环境以及矿山既有设施区域组织开展作业活动,并且可以有效穿透地表浅层干扰层结构,获取深层地质构造相关信息数据。本文立足于金矿深层勘查作业的实操应用需求,深入解析微动勘探技术在构造形态识别、含矿层定位等环节的应用细节内容,结合实际勘查作业场景中的技术要点与优化改进措施,为该技术在金矿深层勘查领域的规模化应用提供实际操作层面的

支撑条件。

## 一、微动勘探核心理论原理与技术应用特点

### (一) 核心理论原理

微动现象是指地表环境中存在的频率范围处于0.01 ~ 10Hz区间的天然微弱振动作用,其振动来源涵盖地壳内部构造运动、大气环境扰动现象、人类日常活动等方面,其中长周期微动信号主要反映深层地质体的特征属性,短周期信号则对应地表浅层介质的物理属性。微动勘探技术的核心要点在于运用瑞利波的频散效应现象,即瑞利波的传播速度会伴随频率变化而产生改变的特性,实现地下介质结构形态的反演计算工作<sup>[2]</sup>。瑞利波在传播过程当中,能量分布主要集中于地表以下1/3~1/2波长范围区域内,通过采集不同频率区间的微动信号数据,计算相应的瑞利波相速度数值,能够构建从地表浅层到深层区域的介质速度剖面结构。在金矿勘查作业过程中,含矿构造体系、断裂带区域与周围围岩的岩性特征、密度参数、完整性状态存在差异情况,将会导致瑞利波传播速度出现显著异常现象,依据此特征可识别深层断裂构造的空间位置、产状形态及延伸深度情况,判断含矿岩体结构的分布范围区域,为找矿作业提供直接性依据支撑。

### (二) 技术特征

对比传统勘查技艺,微动勘探于金矿深层构造勘查当中具备突出长处,且更契合矿山实际勘查情景。其一为被动收集范式,无需安排人工震源,规避了钻探、主

**作者简介:** 王锋庆(1988.08—),男,汉族,山东省齐河县人,硕士研究生学历,工学硕士学位,中级工程师,主要从事矿产地质勘察方面的研究,现为山东省煤田地质局物探测量队工程师。

动地震勘探对矿山现存生产设施的损坏,同时削减了施工进程中的安全隐患,尤其适用于已投产矿山的深层边缘勘查。其二深层穿透能力强,借助调节收集频率范畴,可达成数百米至数千米深度的地质体探测,能够涵盖金矿深层找矿的核心深度区间,填补了浅层物探技艺的探测局限。其三抗干扰能力较强,通过信号滤波、叠加处置等手段,可有效排除地表人类活动、地形起伏带来的干扰信号,对山区、河谷等复杂地形的适应力强,契合金矿多分布于山区的地理特点。其四施工效率高、成本低,野外收集设备轻便,布置测点灵活,无需大规模人员调度,对比钻探技艺,勘查周期可缩短50%以上,成本仅为主动地震勘探的1/3~1/2,更契合矿山低成本勘查的实际需要<sup>[3]</sup>。

## 二、微动勘探在金矿深层地质构造勘查中的应用要点

### (一) 勘查前期的测点布置技巧

测点布置的合理性直接决定微动勘探数据的品质与构造识别的精准程度,需结合金矿矿区的地质背景、地形条件及勘查目标灵活调节,避免照抄通用规范。首先,测点布置需围绕金矿已知矿化带、断裂构造带延伸方向开展,采用网格状布置与剖面布置相结合的形式,核心勘查区域测点密度控制在50~100米/个,边缘区域可适当放宽至100~200米/个,确保能够精准捕捉构造异常边界。其次,测点应避免大型建筑物、矿山运输道路、采空区上方等强干扰区域,选择地形相对平坦、地表覆盖层较薄的位置布置,若地表覆盖层较厚,需适当增加测点密度,通过叠加数据抵消覆盖层对信号的干扰。同时,测点布置需兼顾后续数据反演的需求,相邻测点的间距不宜超过目标探测深度的1/5,确保瑞利波信号的连续性,避免因测点间距过大造成构造信息缺失<sup>[4]</sup>。

### (二) 数据收集与处理的关键环节

数据收集质量是微动勘探精准度的核心保障,需结合金矿矿区的信号特征优化收集参数。收集过程中,仪器采样频率需根据探测深度调节,深层勘查(大于500米)采样频率控制在1~5Hz,浅层深层勘查(200~500米)采样频率调整为5~10Hz,确保能够捕捉到对应深度的微动信号。每个测点的收集时长不低于30分钟,通过延长收集时间叠加信号,降低随机干扰对数据的影响,尤其在矿山周边人类活动频繁区域,需适当延长收集时长至40~60分钟<sup>[5]</sup>。数据处理环节,应着重落实信号筛选、频散曲线提取与反演三个进程:首先

清除采集数据中的脉冲干扰、电源干扰等异常信号,留存有效微动信号;其次借助频谱分析、互相关计算提取瑞利波频散曲线,清除无效频散点,保障曲线的平滑度与连贯性;最后运用分层反演办法,联合矿区既有地质资料约束反演流程,规避反演成果产生多解状况,增强地下介质速度剖面的可信度。

### (三) 深部构造辨识与含矿性判别

联合金矿地质构造的典型特点,通过微动勘探获得的速度剖面能够达成深部断裂、含矿岩体及矿化带的精确辨识,关键在于掌握不同地质体的速度异常规律。对于深部断裂构造,断裂带内部岩石碎裂、裂隙发育,常常伴随低速异常,在速度剖面上呈现为持续的低速条带,且低速条带的延展方向与断裂产状契合,通过追踪低速条带的走向、倾角及延展深度,能够确定断裂的空间分布特点,尤其对隐伏断裂的辨识效果突出,这是传统勘查技术难以达成的。对于含矿岩体,金矿含矿岩体多为中酸性岩体,其密度、完整性优于围岩,在速度剖面上呈现为高速异常块体,联合岩体的形态、规模及与断裂构造的空间联系,能够判断岩体的含矿潜力,倘若高速岩体与低速断裂带相交,往往是矿化富集的关键区域。对于矿化带,矿化作用会使岩石的物理性质发生改变,形成介于围岩与岩体之间的过渡速度异常区,通过辨识过渡区的分布范围,能够圈定矿化带的延展方向,为钻探验证提供精确靶点。

### (四) 综合地质解释与多方法协同验证

微动勘探成果的终极价值依托于其地质诠释的可靠程度,此状况需求紧密联合矿区既有的地质、物化探以及钻探资料实施综合解析。首要之处,需把微动速度剖面同地质剖面、岩石物性参量开展精细比对,清晰界定不同速度区间所对应的地质意涵,搭建契合矿区实际状况的“速度-岩性”诠释模型。次之,要对速度异常体的三维空间形态解析予以重视,借助多条测线的剖面成果构造速度结构三维模型,以立体化形式呈现断裂、岩体以及矿化带的展布规则,尤其对不同深度层面上构造的承袭特性与差异特性加以留意。最终,微动勘探作为一种间接探测方式,其圈定的异常必须借助多方法协同作业实施验证与约束。比如,可将微动所揭示的断裂带与高精度磁法、激电中梯所获取的线性异常或者极化率异常开展比对;把圈定的高速岩体同重力异常或者元素地球化学异常实施套合解析;将推测的矿化有利位置作为靶区,规划验证钻孔,运用钻孔岩心编录、测井数据

对速度模型实施进一步校准。通过“微动率先定位构造格架，其他方法聚焦异常属性，钻探最终实施验证”的协同勘查流程，能够对深部找矿预测的精准程度进行有效提升，让勘查风险得以降低。

### 三、微动勘探应用中的难点与优化手段

#### (一) 主要应用难点

联合金矿深部勘查的实际情形，微动勘探应用中存在三大核心难点。一是浅表覆盖层干扰问题，部分金矿区浅表覆盖层厚度大、岩性繁杂，且含有大量松散沉积物，会吸收或散射微动信号，造成深部信号衰减，影响深层构造的探测精度，甚至产生假异常。二是多解性问题，地下地质体的复杂性致使速度异常对应的地质解释存在多解性，例如低速异常既可能是断裂破碎带，也可能是地下含水层，若缺少充足的已知地质资料约束，容易产生解释偏差。三是复杂构造适应性欠缺，对于分支断裂、叠瓦状断裂等复杂构造，瑞利波信号会相互叠加，造成频散曲线畸变，难以精确辨识单个构造的特征，给后续解释带来难题。

#### (二) 针对性优化办法

面向上述难点，联合矿山操作需求提出优化办法，提高微动勘探的运用成效。对于浅表覆盖层干扰，可运用“浅部限制+深部反演”的组合办法，经过高密度电法、浅层地震勘探获得浅表覆盖层的散布特征，将其当作微动勘探反演的限制条件，清除覆盖层对深部信号的干扰，同时在覆盖层较厚区域加大测点密度，增强信号叠加作用。对于多解性问题，需强化与已知地质材料、钻探数据的联合，将矿区已有的钻孔岩芯材料、地质剖面数据融入微动勘探解释流程，经过穿插验证排除无效解释，确定最契合实际的地质结论，同时联合其他物探技术如磁法、电法的数据，构建多源数据交融解释系统，提高解释的可靠性。对于复杂构造识别难题，优化数据处理算法，运用高阶频谱分析技术别离叠加的微动信号，提取单个构造对应的频散曲线，同时调整测点布设办法，运用加密剖面布设针对性捕捉复杂构造的细节信息，提高构造识别的精准度。

### 四、结论与展望

#### (一) 结论

微动勘探依托被动收集、深部穿透能力强、施工成

本低等优势，在金矿深部地质构造勘查中具有明显的运用价值，能够有效处理传统勘查技术在隐伏断裂识别、深部含矿岩体定位中的不足。经过科学布设测点、优化数据收集与处理环节、联合金矿地质特征精准解读速度异常，可完成深部断裂产状、含矿岩体散布、矿化带延伸范围的有效识别，为金矿深部找矿提供精准的靶点支撑。同时，面向运用中的浅表干扰、多解性、复杂构造适应性不足等问题，经过多技术交融、数据限制反演、算法优化等办法，可明显提高微动勘探的运用成效，满足矿山深部勘查的操作需求。

#### (二) 展望

未来，随着微动勘探技术的不断更新，其在金矿深部勘查中的运用将更为广泛深入。一方面，需强化便携式、高精度收集设备的研制，提高在复杂地形、极端环境下的施工适应性，满足矿山野外勘查的便捷性需求；另一方面，要推进数据处理算法的智能化晋级，联合人工智能、机器学习技术完成频散曲线提取、构造识别的自动化，降低人为解释误差，提高勘查效率。同时，应强化微动勘探与其他深部勘查技术的交融运用，构建多维度、立体化的勘查系统，完成从构造识别到含矿性评价的一体化勘查，为金矿深部资源的高效开发提供更有力的技术支撑。

### 参考文献

- [1] 王学生, 李星星. 多期构造作用下金矿成矿模式及分区规律综合分析[J]. 冶金与材料, 2025, 45(09): 154-156.
- [2] 王怀洪, 朱裕振, 汝亮, 孙超. 三维激电方法技术在覆盖区金矿勘探的应用[J]. 地质论评, 2025, 71(S1): 231-233.
- [3] 李彦文. 深部金矿勘探钻探设备陶瓷涂层工艺优化研究[J]. 陶瓷科学与艺术, 2025, 59(07): 155.
- [4] 贺景龙, 寇少磊, 王占彬, 刘基, 杨伟, 张翼翔. 综合电法勘探在辛家咀金矿含碳质岩系中的应用研究[J]. 西北地质, 2025, 58(03): 50-62.
- [5] 谢利民, 李善东. 青海省大柴旦镇滩间山金矿绿色勘探施工措施探析[J]. 世界有色金属, 2025, (08): 162-164.