

# 旬阳地区铅锌矿盲矿体地质找矿技术的应用分析

徐晓辉 崔小齐 杨鹏 肖迪

陕西地矿第一地质队有限公司 陕西 安康 725000

**摘要：**本文针对旬阳地区铅锌矿盲矿体的勘探需求，系统阐述了可控源音频磁大地电磁法（CSAMT）在地质找矿技术中的应用原理与实践效果。通过地球物理勘探方法的应用，分析了盲矿体的探测与评价技术，及其在提高找矿精度和资源利用率方面的重要作用。还探讨了盲矿体地质找矿技术在实际应用中的挑战及对策，为矿产资源开发提供理论指导和实践参考。

**关键词：**盲矿体；地质找矿技术；可控源音频磁大地电磁法（CSAMT）；旬阳地区；铅锌矿

**引言：**旬阳地区位于我国秦岭山系南麓南羊山东部的野猪洼-南沙沟一带，富含铅锌、金等矿产资源，近年已建成泗人沟铅锌矿、关子沟铅锌矿、南沙沟铅锌矿等大、中、小型矿床数十个。随着矿山开采的不断深入，表层资源逐渐枯竭，在矿区深部或周边地区寻找盲矿体。对保障矿产资源安全、提高矿山经济效益和促进地质勘查技术的进步有深远意义。本文以旬阳地区为例，探讨CSAMT法在铅锌矿盲矿体勘探中的应用效果，旨在为地质勘查技术进步提供支持。

## 1 盲矿体地质找矿技术原理

### 1.1 地球物理勘探概述

地球物理勘探技术通过测量地下的物理性质差异，为盲矿体的定位提供依据。重点介绍CSAMT（可控源音频磁大地电磁法）在盲矿体地质找矿中的应用原理。

### 1.2 CSAMT法原理

CSAMT（可控源音频磁大地电磁法）是一种利用人工产生的音频交变电磁场进行地质勘探的技术，包括场源发射、电磁场传播、数据采集和反演解释等步骤。该方法具有勘探深度大、分辨力强、抗干扰能力强和效率高等特点，用于铅锌矿高极化率、中-高电阻率的物性特征。基本原理如下：

**1.2.1 场源发射：**通过接地电极发射交变电流，产生可控制的电磁场。

**1.2.2 电磁场传播：**电磁波在地层中传播，不同电性的地层会影响电磁波的传播特性<sup>[1]</sup>。

**1.2.3 数据采集：**在接收点测量电场和磁场分量，计算得出视电阻率。

**1.2.4 反演解释：**通过反演算法处理测量数据，绘制地下电性结构分布图，推断地质结构。

## 2 旬阳地区地质构造与矿体分布特征

### 2.1 地质构造背景

旬阳地区地构造单元为扬子板块南秦岭边缘海盆，位于南秦岭-大别构造带中部，镇（安）旬（阳）古生代沉积盆地的南缘。是秦岭造山带中规模最大，发展演化复杂的构造单元，秦岭造山带的主体。该区经历了加里东、华力西、印支等构造旋回，于印支期造山，褶皱、断裂构造极为发育。构造线主要呈近东西向，南羊山大断裂、羊山复向斜、大岭-蜀河断裂、麻坪河断裂、旬阳复背斜组成了本区的主体构造格架（图1）。

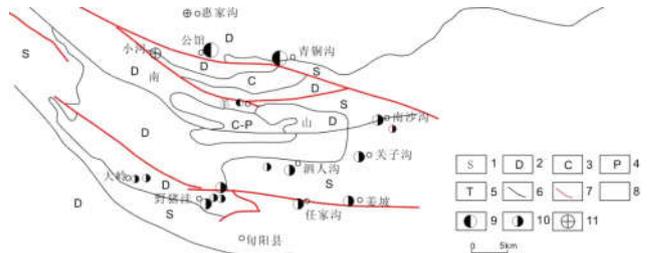


图1 镇旬盆地地质构造略图

1-志留系；2-泥盆系；3-石炭系；4-二叠系；5-三叠系；

6-地层界线；7-断层、推测及性质不明断层；

9-汞锑矿床；10-铅锌矿床；11-金矿床

### 2.2 矿体分布特征

旬阳地区铅锌矿矿体受南羊山复向斜构造控矿，矿体主要分布于旬阳泥盆纪沉积盆地南部边缘，受特定层位控制，赋矿地层主要为中泥盆统石家沟组、中志留统双河镇组、下志留统梅子垭组。按岩石组合特征可将区内铅锌矿初步划分为碳酸盐岩型和细碎屑岩型，其细碎屑岩型铅锌矿主要赋存于志留系中，是旬阳地区铅锌矿的主体；碳酸盐岩型铅锌矿赋存于中泥盆统石家沟组中。铅锌矿的成矿作用以热水沉积为主，后期构造活动对其有一定的改造作<sup>[2]</sup>。

旬阳地区铅锌矿床的形成是一个多阶段、复杂的地质过程，涉及热水的循环、金属的沉淀及沉积物和围岩的相互作用。形成受益于扬子板块南秦岭边缘海盆的沉

积环境,其中富含金属的热水在地壳中循环,并在温度和压力条件变化时,将铅、锌等金属离子沉淀于沉积物中。随热水的进一步活动,硅质、硫化物等物质亦随之沉积,形成层状的热液沉积岩。热液流体对沉积物进行改造,通过交代作用和热液蚀变作用,使得金属得以进一步富集,形成矿体。地质构造活动,如断裂和褶皱,对热水的循环和金属的沉淀起到关键的控矿作用,是热液沉积型铅锌矿床成矿过程中不可忽视的重要因素。

### 3 旬阳地区地质构造与矿体分布特征

#### 3.1 地质构造背景

旬阳地区位于秦岭造山带的中部,具体处于扬子板块南秦岭边缘海盆的沉积区。这一区域经历复杂的地质演化历史,包括加里东期、华力西期、印支期等多个构造旋回。印支期的造山运动对该地区的地质构造格局产生了深远影响,形成大量的褶皱和断裂构造。南羊山大断裂是旬阳地区的一条主要断裂,它贯穿整个区域,对地质构造和矿产资源的分布起到关键的控制作用<sup>[1]</sup>。羊山复向斜、大岭-蜀河断裂、麻坪河断裂以及旬阳复背斜等构造也构成该地区主要地质框架。这些构造单元影响地层的沉积和变形,还为矿体的形成和富集提供有利条件。

#### 3.2 地层与沉积环境

旬阳地区的地层发育齐全,从志留系到三叠系均有出露。其中,志留系和泥盆系是铅锌矿的主要赋矿地层。志留系地层以细碎屑岩为主,而泥盆系地层则包含碳酸盐岩和细碎屑岩。这些地层在沉积过程中,由古地理环境和沉积条件的差异,形成不同的岩石组合和沉积相;沉积环境方面,旬阳地区在志留纪和泥盆纪时期处于海相沉积环境,富含金属的热水在地壳中循环,并在特定的温度和压力条件下将铅、锌等金属离子沉淀于沉积物中。随着沉积物的不断堆积和压实,这些金属离子逐渐富集,形成了层状的热液沉积岩。这些沉积岩在后期的构造活动中被改造和富集,最终形成了铅锌矿床。

#### 3.3 矿体分布与控矿因素

旬阳地区的铅锌矿体主要受构造控制,特别是断裂构造和层间破碎带对矿体的分布起到了关键作用。例如,泗人沟铅锌矿体就位于F2、F3、F4断裂带中;火烧沟、关子沟、南沙沟铅锌矿床则受顺层剪切带及层间破碎带的控制。这些断裂和破碎带为成矿热液的运移和沉淀提供通道,为矿体的富集提供空间。岩石组合和沉积相的差异也对矿体的分布产生影响<sup>[4]</sup>。在志留系中,细碎屑岩型铅锌矿是主要类型,它们通常赋存于特定的岩石层位中。在泥盆系中,碳酸盐岩型铅锌矿则更为常见,它们往往与碳酸盐岩层的发育密切相关。

### 4 CSAMT法在关子沟铅锌矿区的应用

以下以关子沟铅锌矿为例,分析CSAMT地质找矿技术在旬阳地区铅锌矿盲矿体勘探中的应用效果。

关子沟铅锌矿位于关子沟脑大庙-周家沟一带,矿床南北长1500米,宽500米,处于羊山复向斜南翼,受茅坡沟倒转背斜的控制,矿体呈北西、南东向赋存在双河镇组第三岩性段(S2s3)的粉砂质千枚岩中,区内共圈出锌矿体7个,铅锌矿体12个。矿体呈似层状、透镜状呈尖灭再现、尖灭侧现相互平行顺层产出。

通过物探测深及在已知深部地质矿体段进行了激电测深试验,在相邻矿区已开采的矿井与激电测深电性拟断面图、CSAMT法视电阻率断面图进行对比分析,结合已知矿体和地质构造,在深部成功圈出了4条铅锌盲矿体。分析表明,矿体位于低阻(低阻一般为断裂破碎带或含碳千枚岩层)与高阻(砂岩、灰岩)的梯度带上,CSAMT法有效识别了深部盲矿体。(图2)。

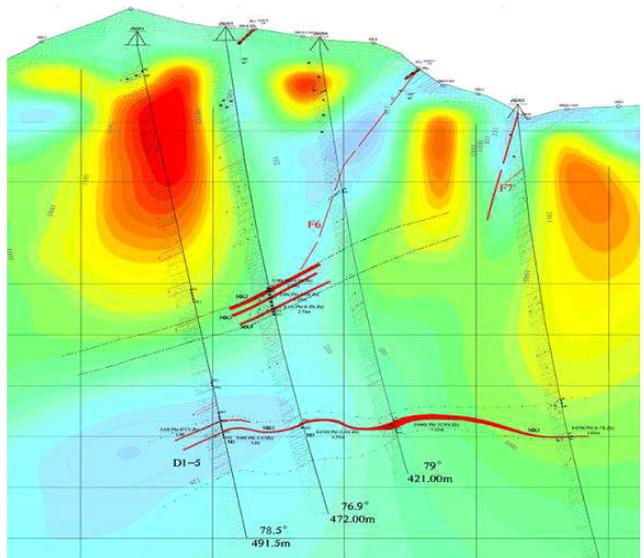


图2 白家岭矿段0号勘探线剖面图

根据关子沟铅锌矿岩石电阻率参数特征和已知矿带上的电性拟断面图特征有如下规律:①富矿层、含碳千枚岩为低阻体;②灰岩为高阻特征,不含碳完整千枚岩为中高阻特征;③断裂破碎带视电阻率常表现为水平方向不连续,且常表现为低阻特征,与实际矿井中破碎带上测得的一致。④本区中已知矿体位于高阻(灰岩、完整不含碳千枚岩)与低阻(含碳千枚岩、破碎带)的梯度带上,故推测本区中高阻与低阻的梯度带为有利找矿部位。综合上述,通过试验知道矿体在电性分布图中对应的位置(高阻与低阻的梯度带上),工区中高阻体为灰岩或完整的不含碳千枚岩,低阻体为含碳千枚岩或断裂破碎带(成矿有利部位)。明显的电性差异,物

探方法提供物性工作前提,对探测与成矿关系密切的控矿断裂确定其空间展布特征,提供物性依据<sup>[5]</sup>。通过CSAMT法的实际应用,有效缩小探矿靶区,节省勘查投入,提高找矿精度和资源利用率。

## 5 盲矿体地质找矿技术的挑战与对策

### 5.1 挑战

可控源音频大地电磁法(CSAMT)在盲矿体地质找矿中是一种非常有效的地球物理探测方法,也面临着一些技术难题和挑战,主要包括几个方面:

(1)复杂地质条件下的多解性问题。在复杂的地质条件下,如多岩性、多结构面的地层中,电磁波传播的路径和反射、折射现象复杂,导致CSAMT数据的解释存在多解性。这可能会使得对异常的解释和矿体定位的准确性降低。(2)高导电性的矿体对电磁波有屏蔽作用,可能会阻挡电磁波的传播,使得深部的矿体难以探测。此外,屏蔽效应还可能干扰对周围地质结构的认识,影响找矿效果。(3)CSAMT数据处理和反演过程中,需要准确处理噪声和误差,及合理选择反演算法和参数。如果数据处理不当或反演算法选择不合适,可能会导致解释结果偏差较大。(4)CSAMT使用不同频率的电磁波进行探测,高频信号分辨率高但穿透深度浅,低频信号穿透深度大但分辨率低。在实际应用中,需要根据探测目标深度和分辨率要求,合理选择频率,实现二者之间的平衡。(5)地表的地形、植被、水体等不均匀性对电磁波的传播有较大影响,可能导致数据质量下降,增加解释难度。(6)在一些情况下,矿体与围岩的电阻率差异可能不够明显,使得CSAMT异常不够显著,难以准确识别和定位盲矿体。(7)为提高找矿效果,CSAMT常需要与其他地球物理方法联合应用。如何在多种数据之间建立有效联系,实现数据集成和综合解释,是一个挑战。

### 5.2 对策与建议

针对上述挑战,本文提出了相应的对策和建议,包括以下几个方面。

5.2.1 提高数据处理与反演算法的准确性:开发和完善更适合CSAMT数据处理的高级算法,如改进的Occam反演、非线性共轭梯度法等;应用多维度反演技术,提高对复杂地质结构的解释能力;采用更先进的噪声压制

技术和数据质量评估方法,提高数据的可用性<sup>[6]</sup>。

5.2.2 多方法联合应用:结合其他地球物理方法(如重力、磁法、地震等),实现数据的互补和综合解释;利用地质、地球化学等非地球物理信息,帮助约束CSAMT数据的解释。

5.2.3 频谱选择与多频率联合应用:根据地质目标选择最合适的频率组合,实现深部与浅部信息的有效探测;研究多频率CSAMT数据的联合反演技术,提高分辨率和探测深度。

5.2.4 开发现场自适应技术,根据实际地形和地质条件调整测量参数;探索实时数据处理和监测技术,及时调整探测策略。

5.2.5 研究不同地质条件下的电磁波传播特性,完善理论模型。开展参数敏感性分析,确定关键参数对反演结果的影响。

### 结束语

CSAMT盲矿体地质找矿技术在旬阳地区铅锌矿勘探中取得了显著成果,铅锌矿体位于低阻(低阻一般为断裂破碎带或含碳千枚岩层)与高阻(砂岩、灰岩)的梯度带上,通过开展CSAMT地球物理勘探地质工作,有效发现埋藏在地下深部的盲矿体,缩小探矿靶区,节省勘查投入,为资源开发和利用提供有力支持。

### 参考文献

- [1]罗邦良,杨宗文,刘灵,石庆鹏,杨贵龙.贵州天柱云洞铅锌矿地质特征及成矿作用分析[J].贵州地质,2021,38(03):292-298.
- [2]李新民,明添学,苏肖宇,李蓉,程胜辉.滇西大矿山地区铅锌矿成矿特征与找矿方向[J].中国矿业,2021,30(08):173-179.
- [3]任轲,付渝,王育龙.陕西旬阳泗人沟铅锌矿成矿地质特征及其成因探讨[J].地质勘探,2021,19:94~95.
- [4]孙丽婷.地质勘查铅锌矿找矿主要技术探究[J].新疆有色金属,2021,44(05):101+103.
- [5]王红梅.试论铅锌矿地质勘查中的找矿技术原则和创新[J].中国金属通报,2020(09):103-104.
- [6]吴志鹏.地质勘查铅锌矿找矿技术原则与方法研究[J].中国金属通报,2020(02):143-144.