

## 井中地球物理方法在矿体定位中的联合应用研究

高树林

新疆维吾尔自治区地质局乌鲁木齐地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]井中地球物理方法作为深部矿产资源勘查中的重要技术手段由于其存在分辨能力高、精度程度强、穿透距离深等优势特性,已对矿体精准定位和边界的有效识别发挥了关键功能。全面剖析了井中地球物理技术(涵盖井中电法、井中地震、井中磁法等)于矿体定位里的联合应用情形,归纳其数据互补和信息融合的长处,也点明目前在数据解释连贯性、参数匹配适宜性以及技术集成完备性方面面临的瓶颈障碍。针对上述问题,提出聚焦“多方法协同+多源数据融合+智能反演算法”的联合应用策略,集成化采用井中地球物理方法,显著增强了矿体边界刻画精准度与三维建模可信度,对深部复杂地质状况下资源勘查形成有力支撑。

[关键词]井体地球物理探索;深部勘查井中地球物理;矿体定位;联合应用;数据融合;反演技术;深部勘查

DOI: 10.33142/ec.v8i6.17240

中图分类号: P622

文献标识码: A

### Research on the Joint Application of Geophysical Methods in Ore Body Localization in Wells

GAO Shulin

Urumqi Geological Brigade, Geological Bureau, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** Well geophysical methods, as an important technical means in deep mineral resource exploration, have played a key role in accurate positioning of ore bodies and effective identification of boundaries due to their advantages such as high resolution, strong accuracy, and deep penetration distance. A comprehensive analysis was conducted on the joint application of downhole geophysical techniques (including downhole electrical methods, downhole seismic methods, downhole magnetic methods, etc.) in ore body positioning. The advantages of data complementarity and information fusion were summarized, and the bottleneck obstacles currently faced in terms of data interpretation coherence, parameter matching suitability, and technical integration completeness were also pointed out. In response to the above issues, a joint application strategy focusing on "multi method collaboration+multi-source data fusion+intelligent inversion algorithm" is proposed. The integrated use of wellbore geophysical methods significantly enhances the accuracy of ore body boundary delineation and the credibility of 3D modeling, providing strong support for resource exploration in deep and complex geological conditions.

**Keywords:** well body geophysical exploration; geophysics in deep exploration wells; ore body positioning; joint application; data fusion; inversion technique; deep exploration

### 引言

当浅部资源愈发枯竭,对于当下而言,深部找矿成为矿产资源勘查的关键方向。置身复杂地质条件里,传统地表物探手段在分辨率跟勘查深度方面有诸多限制。井中地球物理方法借由“自井内察地层”的独到长处,渐成深部找矿核心技术。借助在钻孔之中布置传感器与信号采集装置,井中方法能精准采集矿体附近介质的物性参数,弥补地面物探精度的差错。单一井中方法在分辨实力、响应模式及适配地质环境上,依旧存在着局限,联合运用多种井中物探技术,实现优势互补及信息汇拢,成为提升矿体定位精准度以及工作成效的有效路数。本文着力去探究井中地球物理方法联合运用的机制与优化方案,为复杂地质局面里的矿体定位给出理论凭证与实践途径。

#### 1 井中地球物理方法在矿体定位中的应用概述

所谓井中地球物理方法,就是在钻孔、井筒内部设置测量装置,可获取地层物性参数、识别异常情况并辅助实

现矿体定位的一类物探方法,呈现出分辨率优越、探测深度可观、抗干扰能力出众等长处<sup>[1]</sup>。在传统地表物探精度遭限制、信息模糊的这般背景下,井中方法经贴近目标层位采集一手数据,现已成为深部矿产资源勘查核心技术依托。普遍使用的井中地球物理方法有井中电法(电阻率、激电),如井中地震法、井中磁法、井中电磁法等。各方法针对不同类型矿体呈现出良好响应特性,利用井中电法可识别具备强导电性的金属矿体,井中地震法可实现地层结构与矿体边界的探查。对于探查含铁磁性矿体而言,井中磁法是恰当的方法。当实施实际勘查的时候,多将这些方法联合起来采用,达成信息互补 增进识别精度。

#### 2 当前井中联合勘查中存在的主要问题

##### 2.1 数据采集技术差异大,信息融合难度高

在井中地球物理诸方法联合运用进程里,关键挑战在于,各类技术手段在数据采集方式、响应参数范畴、空间分布特性等方面差异十分显著,对后期数据融合形成显著

阻碍。例如,井中电法聚焦测点开展,采用点状方式布设电极以获取地下电性参数,得到的数据往往呈一维、二维分布,反映出导电性的更迭;井中地震法围绕波场记录这一基础进行,依靠面波或者反射波完成成像操作,呈现面状及按时间序列排布的数据特征,有更高的分辨率,不过数据体量急剧增大。该分布方式同采样密度的差距,导致不同方法在空间维度对齐、数据单位统一及精度匹配方面遭遇困难。不同种类方法对地质体响应的敏感程度存在区分,在目标体位置、形态以及界面变化等方面所反映的结果也不一致。

## 2.2 联合反演技术不成熟,易产生模型偏差

井中地球物理方法其核心价值体现在数据解释跟反演方面。然而,现当下多方法联合付诸应用期间,反演技术成熟度欠佳,大多采用“分步处理、后期对比”的办法,表明先对各项物探数据分别独立进行反演处理,再尝试进行空间重叠与解释的整合操作。这种“解耦式”流程未作参数之间耦合性方面的考量,造成反演结果之间呈现出统一甚至抵触现象,鉴于各类物探方法在目标函数、分辨能力与噪声类型方面不同,独立反演模型不能体现不同物理参数间的约束牵连。由此联合建模过程存在显著主观性。现阶段统一联合反演平台尚付阙如,反演算法开发进度滞后不前,参数更新协同实施面临难题,致使模型不确定性及解释误差提升。在复杂构造的地带或者非均质矿体的环境里,该问题显著程度进一步提升,往往造成模型边界不清、体积估计偏差等难题。因此,有引入联合反演框架的迫切需求,经由多物理场耦合反演、正则化治理以及人工智能方案,提高模型契合程度与地质匹配水准<sup>[2]</sup>。

## 2.3 对井网设计与多井协同缺乏系统规划

现阶段多数井中地球物理勘查项目仍把单井当作作业单元,井网设计缺失整体连贯性与协同性,不能契合三维矿体成像跟空间结构识别的实际状况。在矿体形态繁杂、延伸性佳或受构造变形作用明显的地段,单一钻孔取得的数据往往存在局部与片面特性,难以构建连贯的地质模型。欠缺成体系的多井协同举措,造成相邻钻孔之间的数据无法相互比对校正,引起解释误差的提升。某些区域布井的距离间隔太大,导致井中数据无法实现有效的空间插值与约束作用,引发矿体边界含混;而在其他区域则可能布井过密,导致资源的无谓浪费与作业功效降低。合理的井网设计,需根据矿体空间状况、地质构造走向及勘查阶段精度规定进行优化,同时结合井中方法特性(如信号传播的方位特性与有效探测距离)来开展布点模拟与方案预演。此外,有必要搭建基于GIS平台的动态井网调整体系,达成借助实时数据进行的布井优化,改善勘查效率与模型的完整水平<sup>[3]</sup>。

## 2.4 仪器适应性与地质适配性有限

井中物探仪器长期在高温、高压、高湿等复杂地质情

形下开展作业,对其性能跟稳定性提出较高规格要求。然而,现今部分井中仪器在复杂井下环境里适应本领仍显薄弱,成为妨碍勘查效果呈现的关键制约因素。例如,电法电极于泥浆孔、裂隙井里,易受电解侵蚀,信号大幅衰减;高硬度岩体中地震检波器耦合效果欠佳,让波形质量变差;磁法传感器在电磁干扰强盛区域,易滋生噪声。

因不同地质介质影响信号传播,仪器响应精度出现下降,强导电层会对井中激电信号起到遮蔽作用,地震波能量的散射由碎裂带所引发,降低成像明晰度。此外,高精度探头投入使用,离不开稳定电源、耐高压传输电缆及精准井深控制系统,若某一环节性能出现缺陷,整体数据质量会急剧下滑。因此,亟待推进仪器朝“智能化、微型化、抗环境干扰”方向发展,改善设备整体环境适配性及稳定性;着重加强现场测试机制以及质量控制体系,让数据获取切实可靠,给联合应用打造坚实支撑<sup>[4]</sup>。

## 3 井中物探联合应用的优化策略

### 3.1 构建多源数据融合平台,提升信息集成能力

为了充分发挥井中电法、地震法、磁法等多种地球物理方法于矿体定位时的互补作用,需主动打造一个统一的多源数据融合载体。该平台可凭借GIS地理信息系统与三维地质建模技术去达成目标,聚合各类数据的收集、前期处理、标准化变换、空间坐标对位和三维可视化效能,达成从“多类数据”迈向“多维说明”的飞跃。从数据处理视角而言,应当创建统一的数据接口标准蓝本,达成不同仪器输出数据格式的兼容、坐标系的一致,杜绝信息走向碎片化。

联合深度学习、卷积神经网络(CNN)等人工智能算法进行融合,能对地球物理数据做特征抽取、特征权重衡量及异常判定,提升融合结果的智能量级。例如,电阻率异常区域与地震速度低区域的叠合之处可作为重点靶区标定的凭据,优化矿体鉴别精准度与实际效率。经由该平台得以,也能达成不同井数据实时地相互联动、综合性渲染和三维展示,增添解释直观力度,为多学科联合分析及快速决断给予支撑。

### 3.2 发展约束联合反演技术,增强模型可靠性

实际操作中,井中地球物理方法普遍面临独立反演、成果脱节的难题,迫切需要搭建具备物理耦合功能的约束联合反演技术架构。联合反演不但可突破单一物探方法在分辨能力上的限制,更可借助参数彼此的协同优化提升,强化模型稳定度与逼真度。当进入具体操作阶段,得搭建起“物理属性相关性矩阵”,就像运用地震波速反演的结果对电阻率模型做结构性的约束,可采用磁异常高值区对密度或电导率模型边界划定加以引导<sup>[5]</sup>。

尝试将全波形反演(Full Waveform Inversion, FWI)与电法有限元反演(FEM)相结合,充分利用全波场信息和空间分布特征,提升对复杂地质构造及矿体界面的刻画

能力。引入贝叶斯推理、马尔可夫链蒙特卡洛(MCMC)等统计反演算法,也有助于量化模型不确定性,提高反演结果的可信度。最终通过融合建模,实现“一体化参数解释”,为矿体空间分布、形态识别与资源量估算提供科学依据。

### 3.3 优化井网布局,实现多井协同探测

适宜的井网排布是保障井中地球物理勘查成效的关键要素。要按照地质构造的走向态势、矿体的分布状况及目标深度值,恰当规划井的布局位置及布井密度,杜绝施工盲目开展及资源的无效浪费。依托传统“十字形”或“矩形”布井模式,可着手探索“Y形布井”“螺旋式布井”等别样的井网模式,提高井间信息覆盖水平与三维成像本领。

在倾斜情形或断裂带所涉及区域,依靠螺旋布井能提高剖面重建的连贯情况与分析能力;在大型矿体外围的地段,运用对称式Y形布井方式能助力迅速划定矿体边界。为再度强化多井协同探测效果,也可研制实时井间互参体系,凭借无线传感技术加上井间信号共享体系,实现多个钻孔信息互补、协同反演。同时,需构建依托地质建模与物探模拟的布井方案预演体系,作业着手前借助数值模拟事先评估最优井位布局与探测成效,优化现场勘查靶向精准性与经济效果。

### 3.4 加强设备适应性与智能化水平

应对变化多端的井下地质情形,增进井中地球物理装置의适应性及智能水平,成为保障矿体定位准确无误与勘查高效的核心要点。传统井中物探仪器碰到深井、高压情形、强导电性情况、高湿度场景、复杂结构等条件,往往遭遇探测精度减弱、信号干扰加剧、设备易出故障等问题,极大抑制了数据稳定取得与高效剖析。针对这一实际情形,得从设备设计、技术耦合以及操作系统智能化等诸多维度,全面激发井中设备技术革新活力<sup>[6]</sup>。

就设备结构设计而言,应达成小型化与模块化,实现环境耐受性提高。借助小型化,设备在狭窄井径中运行的灵活与适应能力得以提升,模块化让各类传感单元与处理单元的快速装配、更替及维护更便利,降低现场操作的难度层级。在耐环境性能方面,需着力强化抗高温、高压以及抵抗腐蚀的本领,促使设备在高温地层、盐碱含水地带以及深部矿体环境里长期稳定地运行。要针对高电导率地层,优化电极材料及其摆放布置方式,防止信号出现短路或显著衰减现象,使井中电法、激电法等技术正常发挥相应能力。

从数据采集系统角度看,要增强仪器抵御干扰能力,提升通信模块远程控制功用。井下电磁环境错综,尤其是在工业干扰源众多且复杂、井下金属管线极为密集的区域,仪器极易受外部电磁场的搅扰,造成数据的振荡与差错。

因此,应采用高灵敏度、低噪声的信号处理芯片,且辅以滤波、屏蔽等形式的硬件举措,加大信号对噪声的比率。对于通信模块而言,应支持井口跟井下设备远程数据传送及参数的调控操作,利于地面技术人员实时把控作业状况、更改采样方案,优化系统的稳靠性与回应速率。

应当把自适应控制算法以及智能布点技术添加到设备中,这类算法可按照井下实时反馈的相关数据(像电阻率的改变、波速的异常表现、地质界面的特征情形等)自动对采样间距、测量频率以及传感通道组合加以调整,构建实时可变的调节机制,实现测量方案的极致合理化。同时,智能布点系统可依据实时模型预测与地质目标变动,实施对井中作业策略的动态优化操作,增进设备探测功效及资源利用效益。

## 4 结语

井中地球物理方法作为深部找矿的重要手段,具有高分辨率与穿透深的技术优势。将多种井中物探方法进行联合应用,能够实现矿体空间结构的多维信息获取,大幅提升定位精度与解释可靠性。然而,当前在数据融合、反演算法、设备适应性与井网规划等方面仍存在诸多挑战。未来应着力于构建多源协同的技术平台、发展高性能反演算法、优化井位设计与推进设备智能化升级,推动井中物探从“技术叠加”向“系统融合”转型。

### 【参考文献】

- [1]王亚龙.甘肃省肃北县斜沟铁多金属矿地球物理化学特征分析[J].中国金属通报,2025(4):118-120.
- [2]冯章林,莫水凤,何文璐,等.新疆若羌县喀腊达坂铅锌矿地球物理特征及其找矿意义[J].矿产与地质,2025,39(2):263-275.
- [3]成建功.基于地球物理方法的金属矿物勘探技术研究与应用[J].中国金属通报,2025(3):142-144.
- [4]李梦婵.综合地质、地球物理及地球化学信息在庐江矾母山地区矿产勘查中的应用[J].安徽地质,2025,35(1):28-32.
- [5]李志勋,郑玉生.深部金属矿产资源地球物理勘查与应用[J].世界有色金属,2025(4):140-142.
- [6]孟银生,杨立强,张瑞忠,等.第四系覆盖区深部热液脉型矿体综合地球物理方法定位预测——内蒙古维拉斯托矿区北侧隐伏矿体勘查例析[J].地球学报,2016,37(6):745-755.

作者简介:高树林(1974.9—),毕业院校:云南昆明地质学校,所学专业:矿床开采与安全技术,当前就职单位名称:新疆维吾尔自治区地质局乌鲁木齐地质大队,职称级别:助理工程师。