

深部铁矿勘查关键技术难题与高效综合勘查方案研究

刘 佳

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队 (河北省矿山环境修复治理技术中心) 河北 唐山 063000

摘 要: 浅部铁矿资源勘探开发力度持续加大, 深部隐伏矿体已逐步成为实现找矿突破的核心方向。深部地质环境复杂特殊, 常规勘查模式存在识别精度不足、技术适配性弱等短板, 制约深部找矿工作的实际成效。本文梳理深部铁矿勘查面临的核心技术难题, 从地质勘查、物探融合、数据处理及钻探施工维度提出高效综合勘查思路, 为深部铁矿资源勘探实践提供可行参考。

关键词: 深部铁矿勘查; 勘查技术难题; 综合勘查思路

引言: 铁矿资源是工业生产体系的核心基础支撑, 勘探开发作业的持续推进, 让浅部易探明铁矿资源的开发空间不断缩减。深部隐伏铁矿具备可观的资源储备潜力, 但其赋存环境复杂隐蔽, 传统勘查技术体系难以适配深部找矿的作业需求。现有勘查技术层面存在诸多短板, 影响深部铁矿的探测精度与作业效率, 亟须构建适配深部地质环境的系统化勘查模式。

1 深部铁矿勘查研究概述

随着国内铁矿勘探开发作业的不断开展, 浅层可探明铁矿资源已逐步趋于枯竭, 埋藏深度更大的隐伏铁矿资源, 逐渐成为地质找矿的主要目标。深部矿体所处的地质环境极为复杂, 深部地层构造形态多变、岩层组合隐蔽且矿体赋存条件特殊, 特殊的深层地质条件, 让常规勘探作业的实施难度大幅提升。长期沿用的传统勘探方式主要依托浅层地质勘探经验搭建技术体系, 整体技术构成较为单一, 无法适配深部复杂地层的成矿规律识别、矿体空间定位等核心工作, 极易造成勘探精准度偏低、资源预判结果失真等各类问题。地质勘探行业的技术迭代持续更新, 各类新式勘探工艺与设备逐步落地应用, 为深层铁矿资源的精准探测、资源评价工作提供了全新的技术依托。开展深层铁矿勘探相关研究与实践, 可充分挖掘地下深部铁矿的资源储备潜能, 完善铁矿资源开发利用的整体体系, 稳固铁矿资源的供给基础。

当前国内深部铁矿勘探工作依旧存在明显的技术短板, 不同勘探技术的融合适配效果较差, 深部勘探作业流程缺乏系统化、标准化的整合优化, 行业内尚未形成通用性强、效率突出的一体化勘探作业模式^[1]。通过梳理深层铁矿勘探作业中的各类技术难题, 结合深部地层地质特点, 搭建适配性更强的综合勘探体系, 可切实改

善深部铁矿勘探工作的质量与施工效率, 为深部铁矿资源的科学勘探提供扎实的技术依据。

2 深部铁矿勘查核心关键技术难题

2.1 深部成矿地质条件识别难度较大

地壳深部区域的地质演化环境和浅部地质体系存在显著区别, 地层经历的构造改造次数更多、改造程度更深, 各类地质单元相互交织影响, 整体地质格局表现出极强的错综性, 给铁矿成矿条件的甄别与分析带来极大阻碍。深部地层历经多阶段构造活动的持续改造, 多数矿区经历 3 期以上构造运动叠加, 断裂结构、层间界面及褶皱构造发育形态并不规整, 早期形成的成矿空间会在后续地质活动中不断发生改造移位与叠加变异。这一地质特点让深部矿体的分布规律趋于隐蔽, 难以通过常规手段完成有效甄别。传统地质判别手段主要针对浅部裸露地层建立识别逻辑, 对厚覆盖层下的深部地质信息捕捉能力不足, 无法有效甄别真正与成矿相关的异常信息。深部岩石组合状态不稳定, 成矿作用的发生与演化不具备固定模式, 原有浅部地质判别思维难以适配深层找矿工作的判别需求。复杂的深部地质环境会大幅影响矿体赋存位置、控矿要素以及成矿背景的准确判定, 直接影响找矿靶区的有效筛选, 制约深部铁矿勘查作业整体质量的提升。

2.2 深部物探勘查技术适配性不足

现有地球物理勘探工艺的设计体系多围绕浅层地质探测场景建立, 整体技术体系的运行参数与作业逻辑难以适配地下深层复杂的探测环境。地层埋藏深度不断增加, 上覆岩层厚度持续增大, 地下介质的物性分布呈现明显的非均匀特征, 当探测深度超过 800 米时, 常规地面物探信号的有效幅值衰减可达 60% 以上, 各类采集信

号在地下传输过程中会产生明显损耗与形态扰动。信号质量的弱化会削弱有效探测信息的辨识度,地层自带的各类干扰信息极易覆盖矿体对应的特征响应,导致工作人员难以精准判别深部矿化异常的真实属性。单一类型的物探作业方式覆盖范围相对固定,对深埋隐蔽矿体的识别分辨能力较弱,不能有效界定矿化异常、岩性变化与构造变异之间的区别。各类物探工艺的适用条件、探测纵深与识别精度存在明显差异,行业内部尚未形成成熟的联用体系,各类技术的互补优势难以有效释放^[2]。技术体系与深部铁矿实际赋存环境的适配偏差,会直接影响深部矿体空间位置的判定精度,让物探勘查工作的实际应用价值难以充分体现。

2.3 深部勘查数据解析精度有限

深层找矿作业获取的地质与物探原始资料品类繁杂,地下复杂的地层构造与物性条件会持续影响信息采集质量,导致原始资料自带不稳定属性,存在大量无效干扰成分。现阶段用于资料解译的常规技术体系,最初适配场景偏向浅部地层分析,并未针对深层环境特有的信号畸变、信息偏移问题建立专属校正处理方式,难以实现高质量的信息提纯与特征识别。深部地层内部物性变化不均匀,不同来源的地质信息相互交织叠加,常规解译手段难以精准剥离真实矿化响应与地层固有干扰信号,对深部低缓矿化异常的识别准确率通常不足五成,极易出现关键地质特征识别偏差。固定的解译评判标准适配性较弱,不能灵活对应不同深部地段的地质差异,最终得到的解译成果往往存在识别模糊、判定方向不唯一的问题。资料解译环节存在的各类短板,会大幅降低勘查资料的利用效能,难以精准支撑深部矿体空间形态甄别、赋存特征分析以及资源潜力研判等核心工作。

2.4 深部钻探勘查作业实施受限

矿区深部钻探施工是落实矿体赋存状态、验证深部地质认识的关键实操方式,地下深层独特的构造格局与岩层组合特征,会从多个维度限制钻探施工的正常推进。深部岩层组合结构杂乱,软硬岩层互层分布且破碎构造发育密集,深度超 1000 米的钻孔施工中,孔壁失稳、轨迹偏斜等问题出现概率可达三成以上,钻探推进过程中孔壁稳固性难以保障,易出现孔道坍塌、钻进轨迹偏斜等施工异常,让整体施工流程难以保持平稳状态。钻进深度不断延伸后,地下岩体围压及地层温度均出现明显变化,钻具设备的损耗程度随之加剧,设备运行可靠性有所下降,传统钻探工艺体系难以适配深层长时间、大深度的施工需求^[3]。深层钻孔内部流体调控、孔道防护等作业环节管控难度显著提升,岩心采集的完

整程度与层序规整状态难以把控,极易造成岩心残缺、地层层位对应紊乱等问题,导致现场获取的原始地质素材存在缺陷。当前钻探施工工艺的改良程度有限,施工管控模式无法适配复杂深层施工场景,难以稳定输出高质量钻探成果,对深部铁矿矿体真实产出特征的精准核验造成明显阻碍。

3 深部铁矿高效综合勘查优化方案

3.1 深部成矿地质勘查精细化实施方法

深部铁矿赋存区域普遍存在构造改造复杂、成矿线索隐蔽性强的特点,依托精细化的地质作业模式,能够有效提高深层矿体识别精度偏低的现状。结合矿区地下地层的演变特点与构造发育格局,对区域内控矿构造形态、岩层组合规律、蚀变发育范围等核心地质要素开展系统性梳理,明确不同地质单元对应的成矿响应特点,建立适配深层勘查场景的地质判别体系。对现场地质作业的执行标准进行优化升级,完善深部地质信息的采集规范,重点排查地层接触界面、构造转折区段、矿化蚀变分带等关键找矿区位,弥补传统勘查模式对微弱矿化信号捕捉能力不足的短板。通过分层次解析深部地质体的演变规律,厘清各类地质活动与矿质富集、矿体改造及矿体保存之间的内在关联,精准界定不同地质作用对成矿过程的影响差异。完善深部有利成矿区位的判别标准,依托全方位地质研判成果完成靶区精准圈定,可将找矿靶区圈定精度提升约 20%,为后续物探探测与钻探验证工作提供可靠的地质依据,切实提升深部铁矿勘查作业的整体质量与有效性。

3.2 多类物探勘查技术融合应用方式

传统单一物探作业模式所能覆盖的探测维度相对有限,无法全面应对深部铁矿复杂的赋存环境与地质探测需求,整合多种物探工艺协同作业,能够有效弥补单一探测方式存在的性能局限。依据深部地层介质的物性响应规律,结合各类物探手段的技术特点与适用优势,对重力磁力及电磁探测等不同工艺进行科学搭配,依托各类技术的物性响应差异构建分层立体化探测体系。多种物探工艺协同作业可以有效拓展深层地质信息的获取范围,提升地下微弱矿化异常信号的捕获效果,削弱地层介质带来的信号干扰与数据偏移问题。规范不同渠道物探信息的采集规范与校正处理标准,让多组探测成果可以相互对照、交叉验证,提升深部隐伏矿体异常信息的提取与识别能力,有效弱化物探解译环节存在的多解性偏差^[4]。优化后的多元技术组合模式,能够充分释放各类物探工艺的应用价值,提升深部矿体空间形态、赋存位置与产出规模的识别准确度,可将深部矿体平面定位

误差控制在 10% 以内, 为深层铁矿高精度勘查定位提供可靠的技术保障。

3.3 深部勘查数据精准处理优化方法

地下深层特殊的介质结构与复杂构造环境, 会对勘查作业采集的原始地质与物探信息产生多重干扰, 造成各类信号叠加混杂, 传统资料处理方式无法完成精细化的信息甄别与有效提取。针对深层探测过程中普遍出现的信号失真、相位偏移、特征弱化等问题, 可通过升级整套资料处置流程的方式提升地质解译的可靠程度。依照深部地层独特的物性演化规律建立针对性校正机制, 对现场采集的原始资料开展分层筛查、误差修正与特征重构, 清除地层结构及岩性变化带来的干扰信号, 留存能够真实反映矿化特征的有效信息。完善多源勘查资料的整合处理机制, 统一不同探测渠道资料的处理口径, 实现各类地质信息的有效对接与互补印证。更新数据反演与特征判别的执行标准, 减少固化处理模式带来的识别偏差, 可使低幅值矿化异常的识别率提升约 25%。全新的资料处理体系能够有效降低深层勘查成果的不确定性, 提升原始勘查资料的利用效能, 为深部矿体特征解析和成矿潜力评估提供扎实的技术依据。

3.4 深部钻探勘查高效实施改进措施

深层钻探施工过程容易受到特殊地层条件制约, 出现孔壁稳固性不足、钻进推进状态不稳定、岩心取样完整性较差等施工缺陷, 通过系统性改良钻探工艺与现场作业模式, 可有效提升深层钻探施工的整体水准。根据深部矿区岩层破碎程度高、岩性交替频繁的地层特点, 匹配适配复杂工况的钻探工艺与配套机具, 合理调整钻进作业的运行参数, 降低深部复杂地质环境对施工流程的干扰。调整孔内防护机制与泥浆循环体系, 优化钻探

介质的配比方案与循环路径, 增强深部钻孔孔壁的整体稳定性, 减少孔体变形、孔壁坍塌以及钻进轨迹偏移等施工问题, 维持钻探作业的连续运行状态。结合深层钻探的特殊施工环境完善现场管控细则, 规范岩心获取、孔况监测、机具养护等关键环节的作业规范, 提升深层岩心样品的完整程度与地层层位对应精度, 可使深部钻孔岩心采取率稳定至 85% 以上^[5]。工艺升级与精细化现场管控相互配合, 能够有效克服深层地层的施工限制, 优化钻探施工成效, 提升实地勘探资料的可信度, 为深部铁矿矿体产出特征的实地核验提供坚实的施工支撑。

结束语: 未来, 地质勘探领域的技术迭代将持续推进, 深部铁矿勘查的技术路径会得到持续优化与拓展。多技术融合的综合勘查模式将逐步成为深部找矿的核心方向, 破解复杂深部地质环境带来的各类勘查瓶颈。相关技术体系的不断完善, 能够进一步提升深部铁矿资源的勘探精度与作业效率, 为铁矿资源的长效稳定供给提供扎实的技术保障。

参考文献

- [1] 吴成平, 于长春, 张迪硕, 等. 厚覆盖区磁铁矿空-地-井协同勘查技术体系 [J]. 地质通报, 2025, 44(6): 1164-1173.
- [2] 李士超. 深部铁矿地质勘查的关键技术与找矿突破的路径 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2025(1): 195-198.
- [3] 彭俊, 王强. 综合测井技术在镜铁山铁矿勘查中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(7): 202-206.
- [4] 陶龙, 欧邦国, 叶林, 等. 重磁电综合物探方法在龙桥铁矿深边部勘查中的应用 [J]. 金属矿山, 2025(7): 223-232.
- [5] 刘孟飞, 孔蒙, 范家皓. 重磁电综合方法在鲁家垵铁矿勘查中的应用研究 [J]. 河北地质, 2025(1): 21-23.