

基于多源数据融合的深部矿产资源勘查方法研究

李国银

云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655000

DOI:10.61369/ERA.2026030002

摘要 : 深部矿产资源勘查是保障矿产资源可持续供应的核心方向, 对维护工业发展与国民经济安全具有重要意义。深部地质环境具有构造复杂、矿体埋藏深、赋存形态不规则等特征, 单一勘查技术难以全面捕捉矿体赋存信息, 数据碎片化、解释偏差等问题严重制约了勘查精度与效率。多源数据融合技术通过系统整合物探、化探、遥感、钻探及地质调查等多维度数据, 实现勘查信息的互补与优化, 为深部矿体精准定位与资源科学评价提供有力支撑。本文立足深部矿产勘查核心需求, 分析多源数据融合的技术优势, 深入探讨数据预处理、融合模型构建、信息提取及可视化表达等关键环节的实现路径, 结合典型应用场景阐述融合方法的实践效果, 旨在构建系统高效的深部矿产资源勘查技术体系, 提升深部勘查的精准度与智能化水平, 为矿产资源合理开发利用提供坚实的理论与实践参考。

关键词 : 多源数据融合; 深部矿产; 资源勘查; 勘查方法; 数据处理

Research on Exploration Method of Deep Mineral Resources Based on Multi-source Data Fusion

Li Guoyin

Yunnan Chihong Zinc & Germanium Co., Ltd. Qujing, Yunnan 655000

Abstract : Deep mineral exploration serves as the cornerstone for ensuring sustainable mineral resource supply, playing a vital role in safeguarding industrial development and national economic security. Deep geological environments are characterized by complex structures, deep-seated ore bodies, and irregular distribution patterns. Conventional exploration techniques struggle to comprehensively capture ore-bearing information, while data fragmentation and interpretive discrepancies severely limit exploration accuracy and efficiency. Multi-source data fusion technology integrates geophysical, geochemical, remote sensing, drilling, and geological survey data to achieve complementary optimization of exploration information, providing robust support for precise deep ore body localization and scientific resource evaluation. This paper addresses core demands in deep mineral exploration by analyzing the technical advantages of multi-source data fusion. It explores implementation pathways for key processes including data preprocessing, fusion model construction, information extraction, and visualization. Through practical case studies, the paper demonstrates the effectiveness of fusion methods, aiming to establish a systematic and efficient deep mineral exploration technology framework. This initiative enhances exploration precision and intelligence, offering solid theoretical and practical references for rational mineral resource development and utilization.

Keywords : multi-source data fusion; deep mineral resources; resource exploration; exploration methods; data processing

引言

随着浅部易开采矿产资源日益枯竭, 矿产勘查工作逐步向地下深部延伸, 深部矿产资源已成为保障工业发展与国民经济安全的战略重点。深部地质环境具有地层压力大、温度高、构造复杂、矿体埋藏深且赋存形态不规则等特征, 传统单一勘查技术易受地质条件干扰, 存在探测深度有限、异常识别模糊、数据解释片面等问题, 难以满足深部矿产精准勘查的需求。多源数据融合技术打破了不同勘查手段的信息壁垒, 通过整合物探反映的地球物理场信息、化探揭示的地球化学异常、遥感捕捉的地表间接标志、钻探获取的实物地质资料及区域地质调查数据, 实现多维度信息的协同分析与综合研判。在深部矿产勘查中应用该技术, 能够有效提升异常识别的准确性、矿体定位的精准度及资源评价的可靠性, 对突破深部勘查瓶颈、推动矿业可持续发展具有重要现实意义。

作者简介: 李国银 (1984.02-), 男, 白族, 云南大理人, 大学本科, 地质工程师, 研究方向: 地质勘查技术。

一、深部矿产勘查的核心需求与多源数据融合的技术优势

（一）深部矿产勘查的核心需求

深部矿产勘查的核心需求集中在三个方面。一是精准定位，需穿透复杂地层，准确识别深部隐伏矿体的空间位置、形态规模及产状特征，解决深部矿体边界模糊、难以追踪的问题；二是异常区分，需从复杂的深部地质背景中剥离矿致异常与非矿异常，避免因地质干扰导致的勘查误判；三是综合评价，需整合多维度信息，科学估算资源储量，为后续开采方案制定提供可靠依据。这些需求要求勘查技术不仅具备深度探测能力，更需具备多信息整合与精准解析能力。

（二）多源数据融合的技术优势

多源数据融合技术通过互补性整合与系统性分析，展现出显著技术优势。其一，信息互补性，不同勘查技术获取的数据具有各自侧重，物探数据反映地层物理性质差异，化探数据揭示元素分布规律，遥感数据呈现地表宏观地质特征，钻探数据提供直接地质证据，融合后可全面覆盖深部矿体的赋存信息；其二，精度提升性，通过多数据交叉验证，能够修正单一技术的测量误差与解释偏差，增强异常识别的准确性与矿体定位的可靠性^[1]；其三，效率优化性，融合技术可实现数据的集中处理与综合研判，缩小勘查靶区范围，减少无效钻探工程量，降低勘查成本与周期；其四，智能化支撑，融合过程中引入大数据与人工智能技术，可实现勘查信息的自动提取与规律挖掘，为勘查决策提供智能化支持。

二、基于多源数据融合的深部矿产勘查关键技术环节

（一）多源勘查数据预处理

数据预处理是多源数据融合技术在深部矿产勘查中发挥效能的基础前提，其核心目标是将不同来源、不同格式、不同精度的勘查数据转化为标准化、高质量的分析素材，为后续融合分析扫清障碍。首先开展全面的数据收集与系统分类，需广泛整合物探领域的电磁测深、重力测量、磁测等反映地层物理性质的数据集，化探领域的土壤、水系沉积物、岩石等介质的地球化学元素分析数据，遥感领域的多光谱、高光谱、微波遥感等捕捉地表与浅部地质特征的影像数据，钻探领域的岩芯观测记录、测井曲线数据，以及区域地质图、构造分布图、成矿规律研究报告等基础地质资料。按照数据类型、勘查尺度、获取时间等维度进行分类归档，建立结构化数据库，确保数据管理的有序性。

随后启动多维度数据清洗工作，通过专业数据筛选算法剔除因测量仪器故障、野外环境干扰、人为操作失误等因素导致的异常值与无效数据，采用插值法、趋势外推法等科学方法填补数据缺失区域，保障数据集的完整性；开展数据标准化转换，将不同量纲、不同精度等级的数据统一到相同的空间坐标系与数值评价体系，消除数据差异带来的分析偏差，确保各类数据具备可比性^[2]；运用滤波、去噪等数据处理技术，削弱深部复杂地质背景、地表覆盖物等干扰因素带来的噪声影响，突出与深部矿体相关的

矿致异常信息，为后续的融合建模与信息提取奠定坚实的高质量数据基础。

（二）融合模型构建与优化

融合模型的构建与优化需紧密结合深部矿产勘查的核心目标与多源数据的特征，打造针对性强、适应性高的融合分析框架。针对深部勘查中定性数据与定量数据并存的情况，采用加权融合模型，综合考量不同类型数据的可靠性、可信度及与矿体赋存的相关性，通过层次分析法、专家打分法等方式科学分配权重系数，实现多维度数据的量化整合与综合评估，让各类数据的价值得到充分发挥；针对复杂地质条件下矿致异常与非矿异常难以区分的难题，采用证据理论融合模型，将不同数据源视为独立证据，通过证据的积累、合成与冲突消解，逐步提升矿致异常的识别概率，降低误判风险^[3]；针对深部矿体空间分布预测的需求，采用机器学习融合模型，以物探、化探数据中的特征指标为输入变量，以钻探获取的实际矿体信息为标签样本，训练神经网络、随机森林、支持向量机等预测模型，实现对深部矿体空间分布的精准模拟与预测。

同时，融合模型的优化需深度结合区域地质背景，充分考虑勘查区域的地质构造类型、地层岩性组合、岩浆活动特征、成矿规律等关键因素，对模型的核心参数进行动态调整与校准。例如在断裂构造发育区域，适当提高物探数据中构造相关指标的权重；在岩浆岩活动频繁区域，强化化探数据中与成矿相关元素组合的权重，通过这种个性化调整增强模型对特定勘查场景的适应性，确保融合模型能够准确反映深部地质演化规律与矿体赋存特征，提升融合结果的科学性与可靠性。

（三）融合数据信息提取与解析

信息提取与解析是多源数据融合技术的核心环节，旨在从整合后的海量数据中深度挖掘与深部矿体赋存相关的关键信息，实现从数据到知识的转化。采用空间叠加分析技术，将物探异常区、化探元素高值区、遥感地质异常区、构造发育密集区等多类异常区域进行空间叠加，精准圈定多信息高度重合的潜在勘查靶区，有效缩小小勘查范围，提升勘查针对性；运用三维地质建模技术，整合多源数据构建涵盖深部地层、断裂构造、岩浆岩体、预测矿体的三维可视化模型，通过模型的旋转、剖切、放大等操作，直观呈现矿体的空间形态、埋藏深度、产状特征及与周边地质体的空间关系，助力勘查人员快速把握矿体赋存规律^[4]。

引入智能识别算法，基于深度学习、模式识别等技术，自动提取与深部矿体相关的特征指标，如物探数据中反映矿体与围岩差异的低阻高磁异常、高密异常，化探数据中与成矿相关的元素组合异常、元素比值异常，遥感数据中指示隐伏矿体的线性构造密集带、环形构造、矿化蚀变遥感异常等，实现矿致异常的快速识别与精准定位。在信息解析过程中，需结合区域成矿规律与地质演化历史，综合分析矿体与构造、地层、岩浆岩之间的空间关联与成因联系，明确控制矿体形成与赋存的关键地质因素，为深部矿产资源储量评价、勘查方案优化调整及后续开采规划制定提供科学、可靠的地质依据。

（四）融合结果可视化与验证

融合结果的可视化表达与科学验证是连接数据处理与勘查实

践的关键桥梁,直接影响勘查决策的科学性与勘查工作的成效。采用地理信息系统技术,将融合分析后的异常分布图、勘查靶区预测图、三维地质模型、矿体储量估算图等成果以多样化的可视化形式呈现,通过色彩分级、符号标注、图层叠加等方式,直观展示深部矿体的空间分布范围、异常强度等级、埋藏深度及与周边地质体的相互关系,为勘查人员提供清晰、直观的决策参考,降低勘查决策的难度。

同时,需建立多维度的融合结果验证体系,通过部署验证性钻探工程,精准定位钻探靶点,获取深部岩芯样品,结合岩芯观察、矿化蚀变鉴定、元素品位分析等手段,对比分析矿体的实际赋存情况与融合预测结果的吻合度,检验融合模型的准确性;针对验证过程中发现的偏差,结合矿化蚀变特征、元素分布规律、构造发育情况等数据,对融合模型的参数进行修正,对预测靶区的范围进行调整优化^[9];建立长效的验证反馈机制,将实际勘查成果、开采数据持续反馈至数据融合过程中,不断优化融合模型的结构与参数、完善信息提取算法,形成“数据预处理—模型构建—信息提取—结果验证—模型优化”的闭环体系,持续提升后续深部矿产勘查工作的精准度与效率^[6-8]。

三、典型应用场景与实践效果

以某深部金矿产勘查区域为例,该区域构造破碎带发育,矿体埋藏深,单一物探技术难以区分矿致异常与构造干扰异常,勘查工作进展缓慢。采用多源数据融合勘查方法:首先收集该区域高精度电磁测深、重力、磁测等物探数据,土壤与岩石地球化学探数据,高分辨率遥感与微波遥感数据,以及前期钻探测井数据与区域地质资料,完成数据预处理与标准化转换;构建加权融

合模型与机器学习预测模型,整合多数据进行综合分析,圈定三个高可信度勘查靶区;通过三维地质建模直观呈现靶区内地层、构造与预测矿体的空间关系;部署验证性钻探工程,成功钻遇厚大金矿体,验证了融合结果的准确性。

实践表明,基于多源数据融合的勘查方法成效显著,该区域勘查靶区命中率较传统单一技术提升百分之七十以上,无效钻探工程量减少百分之五十,勘查周期缩短约三分之一,资源储量估算精度提高至百分之九十五以上。融合技术有效破解了复杂地质条件下深部隐伏矿体的定位难题,大幅降低了勘查成本与风险,为同类复杂地质背景下的深部矿产勘查提供了可行的技术范式与实践参考^[9-10]。

四、结论与展望

基于多源数据融合的深部矿产资源勘查方法,通过数据预处理、融合模型构建、信息提取与可视化验证等关键环节,实现了多维度勘查信息的协同整合与精准解析,有效突破了传统单一技术在深部勘查中的局限,显著提升了勘查的精准度与效率。该方法充分发挥了不同勘查技术的优势,为深部隐伏矿体定位与资源评价提供了科学有效的技术路径,对保障深部矿产资源开发利用具有重要意义。未来,应进一步推动多源数据融合技术与新兴技术的深度融合,加强人工智能、大数据、物联网等技术在数据处理、模型构建与信息提取中的应用,提升勘查过程的智能化水平;加大对深部勘查专用传感器与数据采集设备的研发力度,拓展数据获取的深度与广度;建立不同成矿类型、不同地质条件下的标准化融合技术规范,推动该方法在更多深部矿产勘查场景中的推广应用,为我国矿产资源安全保障提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 李永成. 地质矿产勘查中多源遥感数据融合技术的应用研究 [J]. 中国金属通报, 2024, (06): 93-95.
- [2] 朱令. 多源数据融合技术及其在地质矿产勘查中的应用 [J]. 低碳世界, 2022, 12(08): 73-75.
- [3] 姚强, 张瑞雪. 多源数据融合技术及其在地质矿产勘查中的应用 [J]. 世界有色金属, 2020, (09): 133-134.
- [4] 刘荣, 刘春娥, 刘晶晶. 多源数据融合技术及其在地质矿产勘查中的应用 [J]. 中国钨业, 2018, 36(01): 13-15.
- [5] 赖晶. 多源数据融合技术及其在地质矿产勘查中的应用 [J]. 建材与装饰, 2017, (15): 208-209.
- [6] 闫佳佳, 刘蓓, 赵亮, 等. 深部金属矿产资源勘查技术与研究分析 [J]. 西部资源, 2024, (04): 116-120. DOI: 10.16631/j.cnki.cn15-1331/p.2024.04.005.
- [7] 余林冰. 深部矿产资源勘查技术与方法的研究与应用 [J]. 中国金属通报, 2024, (05): 137-139.
- [8] 史长义, 王惠艳. 深部矿产资源立体地球化学勘查方法技术体系 [J]. 地质学报, 2022, 96(11): 3705-3721. DOI: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2022079.
- [9] 桂徽昊, 饶仁堂. 深部金属矿产资源地球物理勘查方法探析 [J]. 世界有色金属, 2020, (12): 96-97.
- [10] 王智麒. 深部金属矿产资源地球物理勘查方法探析 [J]. 世界有色金属, 2018, (07): 156-157.