

多技术融合在矿山地质勘查中的综合实践

毛振利

郑州煤电股份有限公司芦沟煤矿 河南 郑州 452373

摘要: 文章聚焦多技术融合在矿山地质勘查中的综合实践。先介绍地球物理、化学、遥感等常用勘查技术,阐述多技术融合的理论基础、必要性与优势。接着说明数据采集、处理、解释阶段的融合方法,通过中型有色金属矿山实践案例,展示多技术融合能精准圈定矿体、查明地质构造,提升勘查效率与精度,为同类矿山提供参考。

关键词: 多技术融合; 矿山地质勘查; 综合实践; 勘查技术

引言: 矿山地质勘查是矿产资源开发的关键环节,传统单一勘查技术存在局限性,难以满足复杂地质条件下的高精度勘查需求。随着科技发展,多技术融合成为必然趋势。通过整合多种勘查技术优势,可实现全方位、精准化勘查,提升勘查工作质量与效益,为矿山规划、生产及环保提供有力支撑。

1 矿山地质勘查常用技术概述

1.1 地球物理勘查技术

地球物理勘查技术是矿山地质勘查中应用最广泛的间接勘查技术之一,其核心原理是利用地下不同地质体(如矿体、岩层、断层)在密度、磁性、电性、弹性等物理性质上的差异,通过专业仪器采集相关物理场数据,经分析处理反演地下地质构造和矿产分布情况。该技术具有勘查范围广、效率高、成本相对较低、对地表破坏小等优势,无需大量开挖即可实现地下地质信息的探测。常用方法包括重力勘查、磁法勘查、电法勘查和地震勘查,其中磁法勘查常用于磁性矿产(如铁矿)的初步普查,电法勘查适用于有色金属矿产的详查,地震勘查则多用于查明矿山深部地质构造和岩层分布^[1]。在实际应用中,需结合矿山地质背景,合理选择勘查方法,确保数据的准确性和可靠性,为后续勘查工作提供基础数据支撑。

1.2 地球化学勘查技术

地球化学勘查技术是通过系统采集矿山地表土壤、岩石、水系沉积物、地下水等样品,分析其中各类化学元素(尤其是与目标矿产相关的指示元素)的含量、分布规律及异常特征,进而追踪矿产资源分布、圈定找矿靶区的勘查技术。其核心逻辑是矿体在形成和演化过程中,会向周围介质释放各类指示元素,形成特定的地球化学异常区,通过捕捉这些异常信号,可推断地下矿体的大致位置和规模。该技术分为土壤测量、水系沉积物测量、岩石测量等多种类型,适用于不同勘查阶段和地质条件。与其他技术相比,其灵敏度高、针对性强,能快速圈定找

矿范围,降低勘查盲目性,尤其适用于隐伏矿体和分散型矿产的勘查,是矿山地质勘查中不可或缺的核心技术之一。

1.3 遥感勘查技术

遥感勘查技术依托航空或卫星遥感设备,通过接收地表地质体反射、发射的电磁波信号,经处理分析形成遥感影像,进而识别矿山地质构造、地层岩性、矿产分布及矿山环境等信息的现代化勘查技术。该技术具有宏观性强、覆盖范围广、勘查速度快、能实现动态监测等独特优势,可快速获取大范围矿山地质概况,弥补传统勘查技术范围有限、效率偏低的不足。常用的遥感数据源包括可见光遥感、红外遥感、微波遥感等,不同数据源可实现不同目标的勘查,如可见光遥感可识别地层岩性和地质构造,红外遥感可捕捉热异常与矿化信息,微波遥感可穿透云层和植被,适用于复杂地形和气象条件下的勘查。在矿山地质勘查中,该技术常用于区域地质普查、找矿靶区初步圈定、矿山环境监测及地质灾害隐患排查,为勘查方案设计提供宏观数据支撑。

2 多技术融合的理论基础与必要性

2.1 多技术融合的理论基础

多技术融合在矿山地质勘查中的应用,核心依托系统论、协同论和信息融合理论三大基础理论,三者相互支撑、有机结合,为技术融合提供了科学的理论指导。系统论认为,矿山地质勘查是一个复杂的系统工程,地下地质体、勘查技术、勘查数据之间相互关联、相互影响,需从整体出发,统筹各类技术和数据,实现系统整体功能的最优。协同论强调,各类勘查技术虽有各自的原理和优势,但并非孤立存在,通过协同配合,可使各类技术的功能相互补充、相互强化,产生“1+1>2”的协同效应。信息融合理论则为多技术融合提供了核心方法,通过对不同技术获取的勘查数据(物理数据、化学数据、影像数据等)进行整合、分析、挖掘,消除数据冗余和误

差,提取更全面、更精准的地质信息,实现对地下地质体和矿产资源的精准刻画^[2]。同时,现代计算机技术、大数据处理技术的发展,为多技术融合的实现提供了技术支撑,推动理论落地应用。

2.2 多技术融合的必要性的

在矿山地质勘查工作中,推行多技术融合具有极强的必要性,核心源于单一勘查技术的局限性、复杂地质条件的挑战及勘查工作的高质量要求。单一勘查技术存在明显短板,如地球物理勘查难以区分相似物理性质的地质体,易产生假异常;地球化学勘查受地表干扰影响较大,难以精准定位地下矿体;遥感勘查精度有限,无法获取地下深部信息;地质钻探成本高、效率低,不适用于大范围普查。随着矿产资源开发不断向深部延伸,地质条件日益复杂,隐伏矿体、复杂地质构造增多,单一技术已无法满足勘查精度和效率的要求。另外,矿山地质勘查需兼顾资源勘查与环境保护、风险防控,需全面掌握地质、资源、环境等多方面信息,单一技术无法实现全方位探测。因此,多技术融合可有效弥补单一技术不足,整合各类优势,实现全方位、精准化勘查,满足矿山规划、生产及环保的多重需求,是矿山地质勘查发展的必然选择。

2.3 多技术融合的优势

多技术融合在矿山地质勘查中展现出显著优势,核心体现在数据互补、精准定位、高效低成本、风险可控四大方面,全面提升勘查工作的质量和效益。一是数据互补优势,各类勘查技术获取的数据维度不同,融合后可整合物理、化学、影像、实物等多类型数据,消除单一数据的局限性和误差,形成更全面、更完整的地质数据体系,为地质解释提供更充分的依据。二是精准定位优势,通过遥感技术圈定宏观找矿靶区,结合地球物理、地球化学技术缩小靶区范围,最终通过地质钻探验证,实现从宏观到微观的精准定位,大幅提升找矿成功率,减少假异常干扰。三是高效低成本优势,通过技术融合优化勘查流程,避免重复勘查,减少不必要的钻探工作量,在提升勘查效率的同时,降低勘查成本和人力投入,实现勘查资源的合理配置。四是风险可控优势,多技术融合可全面查明地下地质构造、水文地质条件及地质灾害隐患,提前预判勘查和开采过程中的各类风险,为风险防控提供科学依据,保障勘查工作安全有序开展。

3 多技术融合在矿山地质勘查中的具体技术方法

3.1 数据采集阶段的融合

数据采集阶段是多技术融合的基础,核心目标是通过多技术协同采集,获取全面、精准、可靠的勘查数据,为

后续处理和解释工作奠定基础。该阶段的融合方法主要体现为“宏观引导、微观补充、协同验证”,统筹各类技术的采集范围和精度要求。首先,利用遥感技术开展大范围区域普查,采集地表地质构造、岩性分布及宏观异常信息,圈定初步找矿靶区和勘查范围,为其他技术的采集工作提供宏观引导。其次,在圈定的靶区内,结合地球物理勘查技术(如磁法、电法)采集地下地质体的物理数据,捕捉地下异常信号;同步开展地球化学勘查,采集土壤、岩石等样品,分析指示元素分布特征,缩小异常靶区^[3]。最后,针对重点异常区域,提前开展少量地质钻探,采集地下岩心样品,验证间接勘查技术的异常真实性,同时为后续数据采集的精度调整提供依据,实现多技术协同采集、相互补充,确保采集数据的全面性和针对性。

3.2 数据处理阶段的融合

数据处理阶段是多技术融合的核心环节,核心目标是对不同技术采集的各类数据进行整合、优化、校正,消除数据冗余和误差,提取有效地质信息,形成标准化、规范化的数据成果,为后续解释工作提供支撑。该阶段的融合方法主要依托大数据处理技术和信息融合理论,重点开展数据标准化、数据校正、数据整合三大工作。首先,对各类原始数据进行标准化处理,统一数据格式、坐标系和精度要求,解决不同技术数据之间的兼容性问题,如将遥感影像数据、地球物理探测数据、地球化学分析数据统一转换为同一坐标体系。其次,针对不同技术数据的误差来源,进行针对性校正,如消除遥感影像的大气干扰、地球物理数据的地形影响、地球化学数据的分析误差,提升数据准确性。最后,通过数据融合算法,将标准化、校正后的多类型数据进行整合,挖掘数据之间的关联关系,消除数据冗余,形成综合数据模型,实现各类数据的有机融合,为数据解释提供全面、精准的数据支撑。

3.3 数据解释阶段的融合

数据解释阶段是多技术融合的最终体现,核心目标是结合融合后的综合数据,运用地质理论和勘查经验,对地下地质体、矿产资源分布、地质构造等信息进行综合分析、精准推断,形成科学的勘查成果报告。该阶段的融合方法侧重“多数据印证、多视角分析、综合推断”,避免单一数据解释的局限性。针对融合后的综合数据,从不同视角开展分析,如结合地球物理数据解释地下地质体的物理特性,结合地球化学数据解释元素异常成因,结合遥感数据解释地表地质构造与地下异常的关联,结合钻探数据验证地下地质体的真实情况。运用地质理论,将各

类数据反映的地质信息进行整合,分析不同地质现象之间的内在联系,消除假异常干扰,精准推断地下矿体的位置、规模、品位及埋藏深度,查明地质构造的分布特征。通过多技术数据的相互印证,修正解释过程中的偏差,形成全面、精准的地质解释成果,为矿山规划、设计和生产提供科学、可靠的依据。

4 多技术融合在矿山地质勘查中的综合实践案例

4.1 案例矿山概况

本次实践案例选取中型有色金属矿山,位于我国矿产资源丰富的山区地带,矿区总面积约12km²,地形以中低山为主,地势起伏较大,植被覆盖率较高,地表交通相对不便,给勘查工作带来一定难度。矿区地质背景复杂,属于褶皱-断裂构造带,地层主要发育寒武系、奥陶系地层,岩性以灰岩、页岩、砂岩为主,断裂构造发育,主要有北东向和北西向两组断裂,为矿体形成和赋存提供了有利条件。该矿山前期通过单一勘查技术初步发现矿化异常,但无法精准确定矿体位置、规模及品位,勘查成果精度不足,难以满足矿山规划和生产需求。本次勘查的核心目标是精准圈定矿体范围、查明矿体厚度和品位分布、查明矿区地质构造和水文地质条件,估算矿产资源储量,为矿山后续开采设计提供科学依据,同时排查勘查和开采过程中的地质灾害隐患。

4.2 多技术融合勘查方案设计与实施

结合案例矿山地质背景和勘查目标,设计多技术融合勘查方案,贯穿数据采集、处理、解释全流程,合理选型各类勘查技术,确保方案科学可行、高效落地。实施过程分三个阶段推进:第一阶段为宏观普查,采用遥感勘查技术,采集矿区及周边大范围遥感影像,处理后识别地表地质构造、岩性分布及宏观矿化异常,圈定初步勘查靶区3处。第二阶段为异常详查,在圈定的靶区内,协同运用地球物理和地球化学勘查技术,开展磁法、电法探测,采集地下物理数据,捕捉地下异常信号;同步采集土壤、岩石样品开展地球化学分析,圈定元素异常区,将勘查靶区缩小至5个重点区域。第三阶段为精准验证,针对5个重点异常区域,设计并实施地质钻探工程,布置钻孔12个,总钻探深度2800m,采集岩心、矿心样品进行室内

分析,验证异常真实性,同时获取矿体厚度、品位等核心数据。全程同步开展数据处理工作,整合各类数据,消除误差,形成综合数据模型,为后续成果分析提供支撑。

4.3 勘查成果分析

通过多技术融合勘查方案的实施,取得了显著的勘查成果,经系统分析验证,勘查成果精度和可靠性大幅提升,完全满足矿山勘查目标和生产需求。一是精准圈定了3个工业矿体,均为隐伏矿体,查明矿体走向长度800-1200m,平均厚度5.2-8.6m,平均品位达到工业开采要求,估算矿产资源储量达到中型规模,找矿成功率较单一技术勘查提升60%以上^[4]。二是全面查明了矿区地质构造特征,明确了两组断裂的分布范围、产状及规模,查明地层岩性的分布规律,排除大规模地质灾害隐患,为矿山开采设计提供了精准的地质依据。三是通过多技术数据印证,消除前期单一技术勘查产生的2处假异常,提升了勘查数据的准确性,同时优化勘查流程,减少不必要的钻探工作量,勘查成本较单一技术勘查降低30%左右。本次实践充分证明,多技术融合能有效弥补单一技术不足,提升勘查效率和精度,在复杂矿山地质勘查中具有极高的应用价值,可为同类矿山提供参考。

结束语

多技术融合在矿山地质勘查中成效显著,通过整合地球物理、化学、遥感等技术,在数据采集、处理、解释各阶段协同作用,能精准圈定矿体、查明地质构造,降低勘查成本与风险。未来,应持续探索创新,推动多技术融合向智能化、精准化发展,为矿山地质勘查事业注入新动力。

参考文献

- [1]潘双.信息技术在金属矿床地质勘查中的应用[J].中国金属通报,2025(1):64-67.
- [2]孙思雨.矿山地质勘查安全管理信息系统研究[J].世界有色金属,2024(15):229-231.
- [3]刘玉.矿山地质勘查和地质灾害防治措施[J].世界有色金属,2024(3):169-171.
- [4]徐涛,杨凯.矿山地质勘查及找矿要点分析[J].世界有色金属,2025(3):37-39.