

物探与遥感技术在矿产资源勘察中的综合应用

康辰凯

河北省区域地质调查院（河北省地学旅游研究中心） 河北 廊坊 065000

摘要：物探技术通过重力、磁法、电法、地震及放射性勘探，捕捉地下物理场差异，定位矿体并分析构造背景。遥感技术利用光学、热红外、微波及高光谱手段，识别地表矿化标志与地下热异常。两者在区域勘察、靶区优选及异常验证阶段协同应用，缩小勘察范围，提升靶区精准度，互补验证异常，为矿产资源勘察提供高效、精准的技术支撑。

关键词：物探技术；遥感技术；矿产资源勘察；综合应用

引言：矿产资源是经济社会发展的重要物质基础，高效勘察对保障资源供应意义重大。物探技术可捕捉地下介质物理性质差异，遥感技术能获取地表及浅层丰富信息。单一技术存在局限，将物探与遥感技术综合应用于矿产资源勘察，能充分发挥各自优势，实现信息互补，为准确、高效地寻找矿产资源提供有力支持。

1 物探技术在矿产资源勘察中的应用

1.1 重力勘探的应用

重力勘探通过测量地表重力场的细微变化，捕捉地下介质的密度差异带。地下矿体与周围岩石的密度差异会导致重力场出现局部异常，这种异常的形态和强度能反映矿体的规模和埋藏深度。密度较大的金属矿体通常会引起正重力异常，而低密度的沉积矿层或溶洞则可能形成负重力异常^[1]。通过系统测量和分析这些异常，可圈定可能的矿体分布范围，为后续勘察提供目标区域。重力勘探在区域构造单元划分中发挥重要作用。不同构造单元的地壳厚度和物质组成存在差异，这种差异会在重力场中呈现规律性变化。大型断裂带两侧的重力值往往出现明显梯度变化，盆地与山脉的交界区域重力场特征也会显著不同。通过解析重力场的区域分布规律，能够划分出隆起、凹陷、断裂带等构造单元，明确矿产形成的宏观构造背景，帮助缩小矿产勘察的靶区范围。

1.2 磁法勘探的应用

磁法勘探利用不同岩石和矿物的磁性差异开展工作。地球内部的磁性物质会使周围磁场产生扰动，形成磁异常。含铁矿物集中的区域磁性较强，磁异常信号更为明显，通过高精度磁测仪器可捕捉到这些信号。磁性矿物富集区的磁异常强度与矿物含量、埋藏深度相关，埋藏较浅的密集矿带能产生强而集中的异常，深部矿体的异常则相对平缓且范围较大。这种特性使磁法勘探在定位含铁、磁性矿物相关矿床中具有独特功能。铁矿床

中磁铁矿的高磁性会形成显著磁异常，通过追踪异常中心可锁定矿体的大致位置。与磁性矿物伴生的多金属矿床，也能通过磁异常间接指示其分布范围。在岩浆岩分布区，磁法勘探可区分不同期次岩体的磁性特征，帮助识别与成矿相关的岩体，为寻找伴生矿床提供线索。

1.3 电法勘探的应用

电法勘探通过向地下发送电流，监测不同深度介质的导电性变化。矿化带与非矿化带的导电性存在明显差异，金属矿体通常具有较低的电阻率，而周围未矿化的岩石电阻率较高，这种电性差异成为识别矿化带的重要标志。通过改变电极排列方式和供电参数，电法勘探可探测不同深度的电性结构，适应从浅部到深部的勘察需求。在探测隐伏矿体中，电法勘探表现出显著优势。隐伏矿体被地表覆盖层或非矿化岩层遮挡，无法通过地表观察识别，但其与周围介质的导电性差异仍能被电法仪器捕捉。通过分析电性异常的形态和延展方向，可推断隐伏矿体的走向、倾向和规模。在干旱或植被覆盖密集区域，地表地质调查难度大，电法勘探能穿透覆盖层，直接反映地下矿化信息，为发现隐伏矿床提供关键依据。

1.4 地震勘探的应用

地震勘探借助人工激发的弹性波在地下岩层中的传播特性开展工作。弹性波遇到不同岩性界面或矿体时会发生反射、折射，通过接收和分析这些反射波信号，可推断地下岩层的结构与界面形态。不同岩性的波速差异明显，坚硬的结晶岩波速较高，松散的沉积岩波速较低，矿体与围岩的波速差异也能形成清晰的反射界面。这种技术为分析矿体赋存的构造背景提供有力支持。矿体的形成和分布常与褶皱、断裂等构造密切相关，背斜顶部的张裂隙可能成为矿液充填的空间，断裂带可能控制矿体的延展方向。地震勘探能清晰揭示这些构造的形态和分布，确定矿体可能赋存的构造部位。在沉积盆地

中,地震勘探可划分不同岩性地层的分布范围,识别有利于沉积矿床形成的岩相带,为寻找煤、盐类等矿床提供构造框架。

1.5 放射性勘探的应用

放射性勘探通过专用仪器探测地下放射性元素的异常辐射。铀、钍等放射性元素在衰变过程中会释放射线,这些射线能穿透一定厚度的覆盖层到达地表。含放射性矿物的矿床会产生高于背景值的辐射强度,形成放射性异常区,通过追踪这些异常可指示矿床位置。放射性勘探在特定矿种勘察中功能突出。在寻找铀矿床时,其能直接捕捉铀元素的辐射信号,圈定矿化范围和富集中心。与放射性元素伴生的稀土矿床,也可通过放射性异常间接探测。在花岗岩分布区,放射性勘探可区分不同蚀变带的放射性特征,帮助识别与成矿相关的蚀变作用,为寻找与岩浆活动相关的放射性矿床提供精准指引。

2 遥感技术在矿产资源勘察中的应用

2.1 光学遥感的应用

光学遥感通过卫星或航空平台搭载的光学传感器,捕捉地表物体反射的太阳光谱特征。不同地物对不同波长光线的反射率存在差异,这种差异成为识别地表特征的重要依据。与矿化相关的蚀变岩会呈现独特的光谱响应,例如含铁蚀变岩在可见光波段反射率较低,而含羟基矿物的蚀变带在近红外波段会出现明显吸收峰^[2]。植被在矿化区域可能因土壤中重金属含量过高而表现出生长异常,叶片枯黄或生长稀疏的区域往往与地下矿化带存在关联。通过对这些光谱特征的解译,光学遥感能快速识别与矿化相关的地表标志,在大范围初步圈定勘察靶区中发挥重要作用。相比传统地面调查,光学遥感可覆盖数千平方公里的区域,高效筛选出具有成矿潜力的区域,减少野外勘察的盲目性。在山脉连绵或地形复杂的地区,光学遥感能突破地形限制,捕捉人类难以抵达区域的矿化线索,为后续详细勘察提供方向指引。

2.2 热红外遥感的应用

热红外遥感利用地物自身发射的热辐射能量差异开展工作,不同物质的热容量和热传导率不同,导致其在热红外波段呈现不同的辐射强度。与矿体相关的地质体可能因地下热液活动或放射性元素衰变产生热量,形成地表可探测的热异常区。这些热异常的分布范围和强度变化,能间接反映地下矿体的存在和延展状态。在识别隐伏热源型矿床中,热红外遥感表现出独特功能。地热活动与矿体形成密切相关的区域,热红外图像上会出现连续的高温异常带,这种异常在昼夜温度变化中呈现特定规律,夜间的热异常往往更为明显。通过追踪热异

常的形态和迁移特征,可推断地下热源的分布深度和范围,为寻找与热液活动相关的矿床提供线索。在火山岩分布区,热红外遥感能区分不同期次火山活动形成的热异常,帮助识别与火山成矿作用相关的靶区。

2.3 微波遥感的应用

微波遥感通过发射微波信号并接收地物反射的回波信息实现探测,其波长较长,能穿透云雾和一定厚度的植被层,不受天气和地表覆盖物的影响。在阴雨连绵的山区或热带雨林区域,光学遥感常因云层或植被遮挡无法获取清晰图像,而微波遥感可穿透这些障碍,捕捉地表以下一定深度的结构信息。这种特性使其在复杂地表环境下的勘察中具有显著优势。微波信号能穿透干燥的沙层或松散沉积物,探测地下埋藏的断层、岩脉等构造,这些构造往往与矿产的形成和分布密切相关。在积雪覆盖区域,微波遥感可识别积雪下的地形和岩性特征,为高海拔或高纬度地区的矿产勘察提供数据支持。通过分析微波回波的强度和相位变化,还能推断地表粗糙度和土壤湿度,间接判断与矿化相关的地表环境特征。

2.4 高光谱遥感的应用

高光谱遥感通过数百个连续的窄波段传感器,获取地物精细的光谱曲线。不同矿物的分子结构差异使其在特定波长处产生独特的吸收或反射特征,这些细微的光谱差异成为区分矿物种类的关键。例如,高岭石在短波红外波段有特定的吸收峰,而赤铁矿在可见光波段呈现独特的反射曲线。通过对这些精细光谱特征的分析,高光谱遥感能准确识别矿化蚀变的类型,区分不同蚀变阶段形成的矿物组合^[3]。矿化区域的蚀变岩往往由多种矿物混合组成,高光谱数据可解析出每种矿物的分布范围,进而圈定矿化作用的影响区域。在大面积勘察中,高光谱遥感能快速绘制矿化蚀变分布图,为判断矿体的延伸方向和富集中心提供依据,大幅提升矿产勘察的精准度和效率。

3 物探与遥感技术的综合应用方式

3.1 区域勘察阶段的协同

遥感技术先通过宏观地表信息圈定可疑区域,物探技术再对区域内的地球物理异常进行探测,两者结合缩小初步勘察范围。遥感技术能够快速覆盖广阔区域,捕捉地表大面积的线性构造、蚀变带分布等宏观特征,这些特征往往与地下矿化系统存在关联。通过对遥感影像的解译,可以识别出山脉走向、盆地边界等区域地质单元,划定可能存在矿体的大致地理范围。这些由遥感技术圈定的可疑区域,为后续物探工作提供了明确的探测目标。物探技术在遥感圈定的范围内开展系统性探测,

能够识别地下不同深度的地球物理异常。重力与磁法勘探可以从区域尺度上捕捉与大型构造相关的物理场变化,判断深部岩体分布与构造格局,进一步聚焦可能赋存矿体的构造带。电法与地震勘探则能在较小范围内揭示地下岩层的电性与结构差异,发现与矿化相关的局部异常体。遥感提供的宏观框架与物探获取的微观异常相互叠加,能够剔除那些仅具有地表特征而无地下异常支撑的区域,使初步勘察范围得到有效压缩,为后续工作奠定精准基础。

3.2 靶区优选阶段的配合

遥感识别的地表矿化标志与物探捕捉的地下物理异常相互印证,提升靶区的准确性,减少无效勘察区域。遥感技术能够发现地表出露的矿化露头、蚀变晕等直接标志,以及植被异常、土壤化学特征变化等间接标志,这些标志是矿体在地表的直观反映。物探技术则能探测到地下与矿体相关的密度、磁性、电性等物理性质差异,揭示地表标志对应的地下异常体存在状态。当地表矿化标志与地下物理异常在空间位置上形成对应关系时,靶区的可信度显著提升。例如遥感发现的线性蚀变带与物探探测到的断裂带地球物理异常相吻合,说明该区域可能存在受构造控制的矿化系统。遥感识别的环形构造与物探发现的重力高异常叠加,可能指示隐伏岩体及其周围的矿化晕。这种多技术手段的相互印证,能够排除那些仅由地表风化或非矿化因素引起的孤立异常,使靶区选择更加精准。经过双重验证的靶区,能够减少后续钻探等工作的盲目性,让有限的勘察资源集中于最具潜力的区域。

3.3 异常验证阶段的互补

物探技术对遥感发现的地表异常进行地下延伸探测,判断异常是否与深部矿体相关,遥感技术则为物探异常提供地表环境背景解释^[4]。遥感发现的地表异常可能由多种因素引起,部分异常仅局限于地表风化层,与

深部矿体无关。物探技术通过不同深度的探测,能够追踪地表异常向地下的延伸情况,确定异常是否具有立体分布特征。若物探结果显示地表异常向下延伸形成连续的物理异常体,且异常特征与已知矿体相符,则提示该异常可能与深部矿体存在关联。物探技术发现的地下物理异常,其形成原因需要结合地表环境背景分析。遥感技术提供的地表岩性、构造、植被覆盖等信息,能够帮助解释物探异常的地质成因。例如物探发现的高磁异常,结合遥感解译的基性岩体分布,可以判断异常可能由岩体中的磁性矿物引起;若遥感显示该区域存在强烈蚀变,则异常可能与矿化过程中的磁性矿物富集相关。这种互补关系能够避免对物探异常的单一解读,减少误判。物探技术揭示异常的地下形态,遥感技术提供异常所处的地表地质环境,两者共同构成对异常的完整认知,为判断异常与矿体的关联性提供全面依据,使异常验证结果更加可靠。

结束语

物探与遥感技术的综合应用为矿产资源勘察提供了新的技术路径。通过区域勘察、靶区优选和异常验证等环节的有机结合,实现了勘察效率与精度的双重提升。未来需进一步深化数据融合算法研究,开发智能化分析工具,推动勘察技术向更高精度、更深层次发展,为矿产资源勘探提供更强大的技术支撑。

参考文献

- [1]胡超.矿产资源勘查中的遥感技术应用及矿体识别方法[J].中国金属通报,2024,(06):132-134.
- [2]裴玲.地质矿产资源勘察方法分析[J].中国金属通报,2024,(02):147-149.
- [3]吴昊,庄溶山,陆俊杰.综合物探技术在矿山地质勘探中的应用[J].中国金属通报,2021(3):85-86.
- [4]张超.综合物探技术在矿山地质勘探中的应用[J].山西冶金,2022,45(1):302-303.