

多金属矿产勘查中地质找矿技术研究

姚良川

重庆市地质矿产勘查开发局607地质队 重庆 400000

摘要：本文聚焦多金属矿产勘查中的地质找矿技术，剖析了其成矿条件多样、矿体形态不规则等地质特征，以及矿体埋藏深、矿石成分复杂等勘查难点。详细介绍了地质填图、物化探测量等基础技术，阐述了遥感、GIS、钻探等关键技术的应用，展现了这些技术在提升找矿效率与精度上的作用，为多金属矿产勘查工作提供了全面且实用的技术指引。

关键词：多金属矿产；勘查；地质找矿技术；应用

引言

多金属矿产作为工业生产与社会发展的核心资源，其稳定供应对经济建设意义重大。然而，这类矿产成矿条件复杂，矿体常深埋地下且形态不规则，加之勘查区域多位于地形崎岖地带，给勘查工作带来极大挑战。为突破这些瓶颈，提升找矿效率与精度，本文系统梳理地质填图、物化探测量等基础技术，深入剖析遥感、GIS、钻探等关键技术的应用逻辑，旨在为多金属矿产勘查实践提供技术参考。

1 多金属矿产的地质特征及勘查难点

多金属矿产的形成和地质构造变动、岩浆活动强弱、沉积环境变迁脱不开关系，地质特征向来复杂。成矿条件五花八门，有的跟着板块碰撞形成的断裂带走，有的则受多次岩浆侵入带来的热液活动影响；矿体模样没个定数，有的像脉络一样穿插在岩层里，有的呈透镜体东一块西一块，还有的顺着地层产状铺成似层状；矿石里的金属元素少说也有十几种，各种元素的搭配比例更是没个准头。空间分布上，它们总爱扎堆在断裂构造带或褶皱的拐弯处，比如南岭地区的多金属矿常沿着区域性大断裂分布，秦岭一带的矿体又多跟褶皱叠加部位缠在一起，不同矿种的分布路数差得远。勘查起来麻烦不少，很多矿体埋在地下几百上千米，地表连点矿化的影子都难见着，想直接找到难上加难；矿石里的金属元素搅在一起，有些含量低得可怜，普通检测手段根本测不准、说不清；再加上多数矿点藏在深山峡谷或戈壁滩，路难走不说，勘查设备运进去都费劲，人干活也不方便^[1]。

2 多金属矿产勘查中的基础地质找矿技术

2.1 地质填图技术

地质填图是多金属矿产勘查的老本行，干的就是在野外实打实跑现场，把地表的岩石、地层、构造这些地

质现象一一记下来，再绘成图。这活儿看着简单，实则得下细功夫，每一块露头都不能放过，测量数据半点马虎不得。填图时眼睛得尖，地层的岩性是砂岩还是灰岩，厚度是厚还是薄，上下层之间是整合接触还是不整合接触，都得摸清楚，这些能帮着还原当年的沉积环境，看看是不是有形成矿产的底子。岩石的种类也很关键，是花岗岩还是玄武岩，形成于哪个年代，经历过哪些变化，这些信息能扯出岩浆活动的线索，毕竟很多金属矿都跟岩浆脱不了干系。构造更是重点盯防对象，断层的走向、倾角，褶皱的形态、规模，都得标在图上，因为矿体常常就躲在这些建造的夹缝里。把这些零碎信息串起来，就能画出一张靠谱的地质图，后面找矿就有了指路的明灯，知道该往哪个方向使劲。

2.2 物化探测量技术

物化探测量技术是多金属矿产勘查的两把利器，物探靠的是测地球物理场的变化，化探则是查各种物质里的元素含量。物探的法子不少，磁法就像个大磁铁，能感应到地下磁性矿物的存在，要是发现某个地方磁场异常，说不定就藏着含铁、钴、镍这些金属的矿体；电法更像是地下的“导电侦探”，矿体和周围的岩石导电性不一样，电法测量能把这种差异揪出来，圈出可能的矿体范围；重力法也有妙用，密度不同的地质体对重力场的影响不一样，用它能找到那些密度特殊的矿化体。化探的花样也多，往土壤里取样，分析里面的金属元素含量，要是某片区域元素含量特别高，就是所谓的土壤异常；去河床里捞点沉积物，测测里面的元素，能顺着水流的方向追矿源；甚至敲几块岩石样品化验，能直接看出有没有矿化。这两种方法配合着用，能快速缩小找矿范围，少走不少冤枉路，让勘查效率提一大截^[2]。

3 多金属矿产勘查中的关键地质找矿技术

3.1 遥感技术

遥感技术作为多金属矿产勘查中的重要手段，其核心在于通过搭载于卫星、航空飞行器及无人机等平台的高光谱传感器、热红外传感器、合成孔径雷达等设备，实现对勘查区域地表及浅部地质信息的大范围、快速采集。卫星遥感凭借其覆盖范围广、周期性观测的优势，可获取从可见光到微波波段的多光谱数据，其中高光谱遥感能够捕捉到蚀变矿物独特的光谱吸收特征——例如，羟基矿物在 $2.2\mu\text{m}$ 附近的吸收峰、铁氧化物在 $0.8\text{--}0.9\mu\text{m}$ 的吸收特征，通过光谱角匹配、波谱分解等定量分析方法，可精确圈定绢云母化、绿泥石化等与多金属矿化密切相关的蚀变带。航空遥感则适用于中比例尺勘查，其搭载的高分辨率相机能清晰识别线性构造（如断裂带）、环形构造（如火山机构）等控矿构造，而合成孔径雷达（SAR）可穿透云层和植被，在多云雾、高植被覆盖区域仍能获取地表形态数据，为构造解译提供可靠依据。无人机遥感则聚焦于小范围精细勘查，通过低空航拍获取厘米级分辨率影像，结合地面光谱测量数据，可实现对矿化露头的精准定位。在实际应用中，遥感数据需经过辐射校正、几何校正等预处理，再结合地质填图成果进行解译，不仅能快速缩小找矿靶区，还能通过多时相数据对比，监测矿集区的地表环境变化，为矿产资源开发中的生态保护提供数据支撑^[3]。

3.2 GIS技术

GIS技术（地理信息系统）在多金属矿产勘查中扮演着“空间信息集成与分析中枢”的角色，其核心功能在于对地质、物探、化探、遥感等多源异构数据进行标准化处理、空间建模与深度挖掘。在数据集成层面，GIS可通过建立空间数据库，将不同比例尺的地质图（包含地层、岩性、构造等要素）、物化探异常图（如磁异常、土壤地球化学异常）、遥感解译图等数据统一到同一坐标系统下，实现数据的无缝拼接与可视化展示——例如，在ArcGIS平台中，可通过矢量数据与栅格数据的叠加，直观呈现断裂构造与地球化学异常的空间耦合关系。空间分析功能是GIS技术的核心优势，其中缓冲区分析可用于划定断裂带、岩体接触带等控矿构造的影响范围，叠加分析能识别不同地质要素的叠加区域（如地层不整合面与物化探异常的叠加区往往是成矿有利部位），而三维建模技术则可构建矿体的立体形态模型，结合钻孔数据模拟矿体的空间展布。此外，GIS支持的空间插值算法（如克里金插值）能将离散的化探样品数据转化为连续的元素含量等值线图，精准圈定异常浓集中心。在矿产预测中，GIS可通过证据权重法、逻辑回归等模型，将控矿因素（如构造、岩性、蚀变）量化为预测

变量，最终生成矿产资源潜力分区图，为勘查工程部署提供科学依据，显著提升靶区圈定的精度与效率。

3.3 钻探技术

钻探技术是多金属矿产勘查中直接获取地下矿化信息的关键手段，其技术发展始终围绕着“深、精、效”三个核心目标。金刚石岩心钻探作为当前主流技术，采用孕镶金刚石钻头，在高转速、高扭矩的钻探设备驱动下，可获取直径 $50\text{--}150\text{mm}$ 的完整岩心，通过岩心编录（记录岩性、矿化类型、蚀变程度等）和化学分析，能精确测定矿体的厚度、品位及空间形态。针对深部隐伏矿体（埋深超过1000米），深部钻探技术通过优化钻杆材质（如高强度合金钻杆）、改进泥浆体系（如抗高温钻井液），可应对高地应力、高温度的复杂地质条件，例如在西南三江成矿带的勘查中，深部钻探已成功揭示了埋深2000米以下的铜多金属矿体。定向钻探技术则通过可控偏心器、随钻测量系统（MWD）实现钻孔轨迹的实时调整，可沿矿体走向施工水平孔、分支孔，尤其适用于形态复杂的透镜状、脉状矿体，能大幅提高单孔见矿率。绳索取芯技术是效率提升的关键，其通过专用钻具实现不提钻取芯，将取芯时间缩短50%以上，在西藏甲玛多金属矿勘查中，该技术使钻探效率提升近3倍。此外，空气反循环钻探适用于松散覆盖层区域，通过压缩空气将岩屑带回地表，可快速获取浅部矿化信息，为深部钻探提供导向。钻探数据的综合利用同样重要，通过钻孔测井（如自然伽马测井、电阻率测井）可划分矿层与非矿层的界面，结合三维建模技术构建矿体模型，为资源量估算奠定基础^[4]。

3.4 同位素测年技术

同位素测年技术是解析多金属矿产成矿时代、构成成矿演化序列的核心手段，其原理基于放射性同位素的衰变规律——通过测定母体同位素与子体同位素的比值，结合衰变常数计算地质体的形成年龄。在多金属矿勘查中，常用的测年方法各有适用范围：锆石U-Pb测年凭借其高封闭温度（约 900°C ）、同位素体系稳定的特点，广泛应用于与岩浆活动相关的多金属矿成矿时代测定，例如通过测定含矿花岗岩中锆石的U-Pb年龄，可确定岩浆侵入与成矿的时间差，为建立“岩浆-热液-成矿”关系提供依据；辉钼矿Re-Os测年则是硫化物矿床测年的“金标准”，辉钼矿中Re与Os的同位素比值不受后期蚀变影响，能精确测定钼、铜、铅锌等多金属矿的成矿年龄，在长江中下游铁铜成矿带，该技术已成功厘定出多期成矿事件的时间节点。此外，云母Ar-Ar测年可用于测定热液蚀变事件的年龄，与成矿年龄对比可揭示矿

化与蚀变的先后关系；碳氧同位素分析则通过测定碳酸盐矿物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值，反演成矿流体的来源（如岩浆水、大气降水或盆地卤水）。在数据解读中，需结合区域地质演化背景，例如将矿体年龄与区域构造运动时代对比，可判断成矿是否受特定构造事件控制——如华北克拉通北缘的多金属矿成矿年龄集中于燕山期，与太平洋板块俯冲引发的构造-岩浆活动时间高度吻合，从而明确了成矿的动力学背景。同位素测年技术的精度持续提升，激光剥蚀电感耦合等离子体质谱（LA-ICP-MS）的应用使锆石测年误差缩小至 $\pm 1\%$ ，为精细划分成矿阶段、指导深部找矿提供了可靠的时间标尺。

3.5 矿物学找矿技术

矿物学找矿技术通过对矿石及围岩中矿物的系统研究，从微观尺度揭示成矿过程与矿化信息，其核心在于识别“标型矿物”与“矿物标型特征”。在矿物种类识别方面，电子探针分析可精确测定矿物的主量元素组成，例如通过白钨矿中Nb、Ta的含量差异，可区分岩浆热液型与接触交代型钨多金属矿；而激光剥蚀电感耦合等离子体质谱（LA-ICP-MS）能测定微量元素含量，如黄铁矿中的Co/Ni比值大于1时，往往指示热液成矿环境，这一特征在胶东金矿带的多金属矿勘查中得到广泛应用。矿物结构分析同样关键，光学显微镜下观察到的黄铁矿晶形（如立方体黄铁矿多形成于高温环境，五角十二面体则与中低温热液相关）、方铅矿的环带结构，均可作为判断成矿温度、流体演化的依据；透射电子显微镜（TEM）则能观察到矿物的晶格缺陷（如位错、空位），这些缺陷往往是金属元素富集的场所。蚀变矿物组合是重要的找矿标志，例如斑岩型铜多金属矿中，从岩体中心到外围依次出现钾化带、绢英岩化带、青磐岩

化带的蚀变分带，通过识别这种分带模式，可推断矿体的相对位置——绢英岩化带通常与铜矿体密切伴生。在实际工作中，矿物学研究需结合野外地质观察，通过采集矿化标本与围岩标本进行对比分析，建立“矿物组合-蚀变分带-矿化强度”的对应关系，例如在云南个旧锡多金属矿，通过电气石的颜色（黑色电气石指示强矿化）和成分特征，成功圈定了隐伏矿体的分布范围。此外，矿物包裹体分析（如显微测温、激光拉曼光谱）可测定成矿流体的温度、压力、成分，为还原成矿过程提供直接证据，进一步提升找矿的准确性^[5]。

结语

多金属矿产勘查中，基础地质找矿技术搭建起工作框架，关键技术则为突破勘查瓶颈提供支撑。地质填图、物化探测量夯实基础，遥感、GIS等技术提升精度。未来需深化技术融合，推动智能化升级，让技术更适配复杂勘查场景，持续提升找矿效能，为多金属矿产资源的可持续开发提供坚实技术保障，助力缓解资源供需矛盾。

参考文献

- [1]师洪涛.探析金属矿产勘查中地质找矿技术的应用创新[J].世界有色金属,2023,(20):66-68.
- [2]刘绘强.金属矿产勘查工作中地质找矿技术的应用[J].冶金与材料,2023,43(07):115-117.
- [3]刘成进.金属矿产勘查中地质找矿技术与创新研究[J].世界有色金属,2022,(14):87-89.
- [4]王永康.金属矿产资源勘查中地质找矿技术要点及优化[J].世界有色金属,2024,(24):67-69.
- [5]张家林.多金属矿产勘查中地质找矿技术要点探究[J].中国金属通报,2024,(09):91-93.