

地质矿产勘查深部找矿方法研究

冷平武

新疆新矿地质科技有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 矿产资源是工业产业发展与国民经济建设的基础性物资, 伴随国内矿业长期规模化开采, 浅部出露型、浅埋型矿床开发趋近饱和, 资源供需缺口逐步扩大, 保障国家矿产资源自给安全, 必须推进勘查开采工作向地下深部延伸。本文从深部找矿基础理论与勘查特征入手, 针对地质矿产勘查深部找矿方法进行了研究, 旨在为区域同类深部矿产勘查工作提供理论参考与技术借鉴。

关键词: 地质矿产; 勘查; 深部找矿; 方法

引言

现阶段国内深部找矿理论体系逐步完善, 各类高精度物探设备、穿透化探技术、数字化解译技术陆续落地应用, 但不同矿区地质构造复杂程度不一, 各类勘查技术适配场景存在明显边界, 多数矿区依旧存在勘查手段选用盲目、多技术融合程度低、深部矿体成矿规律研判不清等问题。

1 深部找矿基础理论与勘查特征

1.1 深部地质成矿基础理论

(1) 深部构造控矿理论是深部找矿最核心的基础理论, 相较于浅部浅表脆性断裂构造, 深部地层受长期围压约束, 构造活动以韧性剪切带、深大断裂分支构造、层间滑脱构造为主。这类深部构造具备贯通性强、活动周期长、改造能力强的特点, 不只是矿质沉淀的存储空间, 更是深部成矿物质、热能、矿化流体向上运移的主要通道。区域多级构造联动会改变地层应力分布状态, 调整岩石孔隙裂隙发育程度, 改变局部温压平衡条件, 让原本分散的金属元素逐步汇聚, 构造活动强弱、构造交汇部位、构造产状变化, 都会直接决定深部矿体的形态、埋深与规模, 也是隐蔽矿体、盲矿体赋存的核心控制条件。(2) 流体成矿与叠加改造成矿机理, 适配深部高围压、高温度的封闭地质环境^[1]。深部原生岩浆演化、地层变质脱水会衍生大量高温高压成矿流体, 流体本身具备极强元素溶解能力, 可萃取围岩内部分散态成矿元素, 随地质动力沿构造通道迁移。当流体所处地层温压条件发生小幅改变, 流体物化性质随之转变, 溶解度下降后成矿元素有序析出初次成矿。后期区域构造运动、岩浆次生活动会带来新一轮矿化流体, 对早期形成的贫矿体、矿化岩层进行改造、富集、扩容, 完成叠加

成矿全过程。(3) 壳幔作用与深部矿产富集规律, 从宏观圈层动力层面解释大型深部矿床成因。地壳与地幔物质持续发生能量交换、物质混染, 地幔热柱上涌会带动深部幔源成矿物质向上侵入中下地壳, 改变地壳深部岩石组分。壳幔物质混染界面、深部岩浆底侵区域, 往往形成成矿元素富集区。同时壳幔动力运动会活化区域深大构造, 联动深部流体循环, 搭建完整的物质供给、运移、沉淀成矿链条。

1.2 深部地质环境差异化特征

(1) 深部地层具备典型三高原生地质特点, 分别为高地温、高围压以及高流体压力。随着埋深持续增加, 地温梯度稳步提升, 深部岩层整体恒温性更强, 岩层韧性大幅提升, 常规外力很难破坏岩体整体性。高围压来源于上覆巨厚岩层自重荷载, 会压实岩体原生裂隙与浅表次生孔隙, 大幅降低地层整体渗透性, 地层整体封闭性极强。高流体压力依托封闭地层发育, 深部构造裂隙、岩层孔隙封存大量变质流体与岩浆原生流体, 流体无法向外泄散, 长期维持高压状态。(2) 深部岩体蚀变与矿化, 拥有专属差异化识别特点。岩体层面, 深部岩体少有浅部碎裂状、松散状结构, 整体以致密块状、韧性变形结构为主, 岩体粒度更加均匀, 风化程度极低, 几乎不存在浅表氧化风化壳, 岩体边界受构造挤压多呈揉皱状过渡接触。蚀变作用层面, 深部低温蚀变类型基本消失, 多发育高温热液蚀变, 蚀变带分界模糊, 不存在浅部清晰分带结构, 蚀变矿物结晶颗粒更细腻, 蚀变作用多以渗透式均匀改造围岩为主, 而非浅表充填式蚀变。矿化层面, 深部矿化围岩蚀变关联性更强, 矿化颗粒嵌布粒度更细微, 矿脉厚度均匀性更强, 极少出现浅部膨大收缩的不规则矿脉形态。

1.3 深浅部矿床成矿、赋存规律差异性对比

(1) 成矿作用机制存在根本性差异, 浅部矿床整体处于低压低温、地层开放性较强的环境, 成矿过程受外部大气降水、浅表水循环影响极大, 成矿流体混合程度高, 流体物化性质变化快, 成矿反应偏向突发性, 元素析出沉淀周期较短, 后期改造作用偏弱, 大多仅发生一期主成矿作用。深部矿床依托封闭高压环境, 几乎不受浅表水循环干扰, 成矿流体以幔源岩浆流体、地层变质原生流体为主, 流体组分稳定性高, 元素萃取沉淀节奏平缓, 成矿周期更长, 且普遍经历多期构造叠加改造, 成矿连续性更强, 成矿元素富集程度更稳定^[2]。(2) 矿体赋存空间规律差异显著, 浅部矿体多受控于脆性张性断裂、浅层节理裂隙, 矿体大多依附浅层构造破碎带产出, 空间分布零散, 矿体形态多变, 厚度起伏较大, 矿脉分支复合现象频繁, 矿体埋藏浅、侧向延伸范围有限。深部矿体主要受控于韧性剪切构造、深部层间滑脱带以及深大断裂次级隐蔽构造, 构造贯通性更好, 矿体整体延展连续性更强, 垂向延伸远大于水平侧向延伸, 矿体形态规整度更高, 整体厚度波动幅度较小。(3) 矿床品质与围岩适配规律有所不同, 浅部矿体受风化淋滤作用影响明显, 浅部氧化矿占比高, 矿体贫富分化明显, 矿化蚀变分带界限清晰, 围岩改造范围有限。深部矿体无强烈风化改造, 原生硫化矿占比极高, 矿体整体品位波动更小, 整体性更好, 蚀变围岩改造范围更广且过渡平缓, 矿化和围岩融合度更高。

2 现阶段主流深部找矿勘查方法分类及原理

2.1 地质勘查法

(1) 区别于浅部浅表构造简易研判模式, 深部构造解析侧重梳理区域深大断裂次级构造、韧性剪切体系以及层间滑脱构造演化时序。工作人员结合区域地质演化史, 判定构造活动形成先后顺序, 区分成矿前、成矿期、成矿后三期构造性质。重点研判成矿期活动构造的力学性质, 甄别具备导矿、容矿能力的有利构造部位, 剔除后期破坏矿体的改造构造^[3]。依托构造空间产状、变形程度、构造交汇耦合关系, 预判深部矿质运移路径与沉淀空间, 锁定深部盲矿体潜在赋存区域, 从宏观层面划定深部有利成矿区块。(2) 深部蚀变分带与矿物标型找矿, 依托矿物微观特征判定成矿深度。深部蚀变无浅部清晰的圈层分界, 蚀变过渡较为平缓, 勘查人员依托热液蚀变演化规律, 判别深部高温蚀变、中温蚀变纵向分带规律, 依托蚀变围岩种类反演成矿流体活动强度。同时利用矿物标型特征开展深度判别, 通过矿物结晶粒度、共生组合、元素晶格变化, 判定矿体形成埋深

与流体演化阶段。部分专属指示矿物可直接作为深部找矿标识, 依托矿物组合变化预判矿体埋深变化, 弥补深部蚀变肉眼辨识度不足的勘查短板。(3) 钻孔岩芯精细化地质编录, 是深部最直观的实地研判手段。不同于浅部简易岩芯记录, 深部岩芯编录细化岩层接触关系、裂隙发育状态、挤压变形痕迹, 完整记录岩芯蚀变强弱、矿化细微分布特征。同步统计岩芯构造破碎程度、岩石韧性变形痕迹, 对照前期构造预判、蚀变研判结论, 修正深部成矿条件判定结果。通过纵向岩芯序列对比, 梳理深部地层岩性更迭规律, 精准划分含矿层位, 校正深部矿体垂向延伸规模, 为深部矿体储量估算提供一手实地地质资料。

2.2 地球物理深部找矿方法

(1) 电磁类技术依靠岩层导电性差异开展深部探测, 大功率激电依托岩矿石激发极化效应识别深部金属矿化体, 能够捕捉微弱浸染型矿化带来的电性反应, 对深部低品位矿化信息具备良好识别能力。可控源音频大地电磁依靠人工可控交变电磁场穿透深部地层, 依靠不同频率信号对应不同探测深度, 完整获取地下岩层电阻率纵向变化规律。广域电磁法优化了信号发射与接收模式, 拓宽有效探测范围, 在高干扰深部勘查环境中依旧可以保持稳定数据采集效果。三类电磁技术共同用于识别深部导矿构造与赋存矿化岩体。(2) 重力磁法围绕岩体密度与磁性差异完成深部三维解析, 常规二维重磁数据只能反映地层表层信息, 三维反演算法可以还原地下不同深度岩体密度场与磁场分布状态^[4]。通过对全域观测数据进行分层运算, 剥离浅部地层带来的异常干扰, 单独提取深部构造、岩浆岩体以及磁性矿体产生的异常信号, 直观呈现深部岩体空间形态, 锁定由岩浆活动控制的深部成矿有利区域。(3) 深部反射地震与层析成像依靠地层波速差异完成地层结构成像, 深部反射地震利用地震波在地层分界面的反射信号, 还原深部地层界面、断裂带与滑脱构造的空间形态。层析成像依托地震波传播速度变化, 反演地下岩层物性分布, 清晰区分致密完整岩体与破碎含水含流体构造, 精准刻画深部流体运移通道的空间展布。

2.3 地球化学深部找矿方法

(1) 穿透性地球化学是当下深部覆盖区主流化探手段, 核心包含地气测量与金属活动态测量两类技术。两类技术均依托深部元素垂直迁移原理开展工作, 不受上覆致密岩层、第四系覆盖层阻隔限制。地气测量可捕获深部矿体解离形成的纳米级金属微粒, 这类微粒会依托地层微裂隙、孔隙持续向上迁移至浅表土层, 通过采集

地表气体样品,富集甄别成矿专属金属微粒,反演地下深部矿化位置。金属活动态测量侧重提取土壤、岩层中吸附态、结合态活性金属元素,区别于常规固态元素检测,只检测具备迁移能力的活性矿质元素,有效剔除浅表原生岩屑带来的元素干扰,精准判别深部原生矿化异常,排除浅表次生矿化误判。(2)原生晕轴向分带深部预测找矿,依托矿体纵向元素分布规律开展深度研判。矿体形成过程中,成矿元素会沿构造裂隙向上下围岩渗透扩散,形成纵向分布的原生晕圈层。深浅部成矿环境差异会改变元素沉淀排序,让原生晕自上而下形成固定元素分带序列。勘查工作中通过钻孔采集不同深度围岩地球化学样品,梳理轴向元素组合变化规律,对照标准分带序列,即可判断当前勘查位置处于矿体头部、中部或是尾部,预判矿体垂向延伸规模、埋藏深度,同时预判深部矿体剥蚀程度,规避深部勘查钻孔布设失误问题。(3)深部流体地球化学勘查技术,针对热液成因深部矿床专项研发。深部成矿流体长期沿深大构造循环流动,会持续改造围岩组分,留存专属流体元素、同位素印记。该技术采集深部裂隙水、包裹体流体样品,分析流体盐度、元素配比与同位素特征,溯源流体来源与运移路径,判定深部流体活动期次。

2.4 遥感与大数据辅助找矿方法

(1)高光谱遥感用于提取区域深部构造与蚀变相关信息,普通光学遥感只能识别岩层色彩与地表起伏,高光谱遥感可以捕捉矿物独特光谱吸收特征。地层深部发育的深大断裂会在地表形成线性形变痕迹,岩层蚀变带来的矿物组分改变同样会形成稳定光谱信号。系统对大面积影像数据做降噪处理后,能够分离植被土壤带来的干扰信号,单独提取线性构造边界与蚀变矿物分布范围。地表显现的大型构造带可以对应地下贯通性导矿通道,大范围蚀变集中区域也能间接反映深部热液活动范围,依靠这类信息提前圈定具备深部找矿潜力的区

块。(2)地质三维建模是还原地下深部真实地质形态的数字化手段,二维地质图只能展示平面地层分布,无法体现埋深带来的岩层变化^[5]。建模工作整合区域地层分层数据、物探反演结果与钻孔岩芯记录,在数字空间搭建连续的地下地层框架。模型可以直观呈现不同深度岩体分布、构造产状以及蚀变带纵向延展形态,清晰区分浅部地层与深部岩层的接触关系。工作人员依托三维模型观察构造交汇位置与流体运移通道的空间组合,直观判断深部矿体可能赋存的空间,减少传统平面图纸带来的深部空间判断偏差。

结语

综合来看,目前国内深部找矿仍存在专项勘查设备欠缺、叠加成矿理论不完善、深部数据解译算法不成熟、勘查经济成本偏高等问题。后续深部找矿工作,需贴合深部极端地质环境完善隐蔽矿体成矿理论,研发耐温耐压深部探测设备,依托人工智能优化物探化探数据解译精度,打造低成本绿色深部勘查工艺,重点推进两千米以深超深部找矿技术研发,进一步破解深部盲矿、隐伏矿勘查难题,持续夯实国内矿产资源深部储备能力。

参考文献

- [1] 钟雁,宁正振,李群芳.地质矿产勘查深部找矿方法研究[J].中国金属通报,2023,(12):53-55.
- [2] 刘延果.地质矿产勘查深部找矿方法研究[J].中国金属通报,2024,(12):92-94.
- [3] 王平,赵运新,杨洪海,等.地质矿产勘查深部找矿方法研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023,(7):186-189.
- [4] 尤青青.地质矿产勘查深部找矿方法探究[J].中国金属通报,2026,(1):92-94.
- [5] 陈志文,于盛妍.有色金属地质矿产勘查和深部地质钻探找矿技术研究[J].世界有色金属,2026,(3):187-189.