

区域构造控矿机制及找矿靶区优选研究

梅奥然 张东坡

河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队(河北省矿山环境修复治理技术中心) 河北 唐山 063000

摘要: 本文聚焦区域构造控矿机制及找矿靶区优选研究。研究区地质演化复杂, 具备良好成矿条件。通过分析区域构造对成矿物质、流体运移、矿体定位的控制, 以及构造演化与成矿的耦合关系, 建立控矿模式。提取遥感、地球化学、地球物理信息, 构建评价指标体系, 基于GIS成矿预测圈定靶区并分级, 提出重点靶区验证建议, 为找矿工作提供理论与技术支持。

关键词: 区域构造; 控矿机制; 找矿靶区; 成矿动力学; 机器学习

引言: 区域构造与成矿关系紧密, 是找矿工作的关键研究内容。研究区处于特定构造单元核心, 地质演化历经多期构造-岩浆活动叠加, 成矿条件优越。然而, 区域构造如何精准控矿、怎样高效圈定找矿靶区仍是亟待解决的问题。本文旨在深入剖析区域构造控矿机制, 提取多源找矿信息, 建立科学靶区优选体系, 为区域找矿突破提供理论依据与实践指导。

1 区域成矿地质背景

研究区地处特定构造单元核心区域, 地质演化历史复杂, 经历多期次构造-岩浆活动叠加改造, 为成矿提供了良好的物质基础与动力条件。区内出露地层以古生界-中生界沉积岩、火山岩为主, 局部发育元古界变质岩系, 其中特定层位为成矿提供了重要矿源层, 岩性组合以火山碎屑岩、碳酸盐岩及泥质岩为主, 富含成矿相关元素。区域岩浆活动频繁, 以中酸性侵入岩为主, 岩体呈带状展布, 与地层形成多期接触关系, 不仅为成矿提供了热源, 还带来了丰富的成矿物质, 岩浆演化过程中元素的分异富集为矿床形成奠定了物质基础。区域断裂构造发育, 形成网格状构造格局, 深大断裂作为导矿通道, 次级断裂为容矿空间, 与地层、岩浆活动协同作用, 共同构成了区域有利的成矿地质环境, 类比同类成矿带特征, 该区域具备形成大中型矿床的地质条件。

2 区域构造控矿机制分析

2.1 构造对成矿物质的控制

构造活动是控制成矿物质富集与分配的核心因素, 直接影响成矿物质的来源、迁移与沉淀过程。区域深大断裂切穿岩石圈, 通过“减压效应”促使岩石圈底部熔体运移汇聚, 将深部壳幔物质及成矿元素带入浅层构造带, 为成矿提供了原生物质来源。次级断裂及破碎带作为物质分选与富集的关键场所, 在构造运动过程中, 通过挤压、拉伸作用使岩石发生破碎, 促进成矿物质与围

岩的相互作用, 实现元素的活化、迁移与富集^[1]。同时, 构造活动引发的岩浆侵位的过程中, 成矿物质随岩浆热液一同运移, 在构造有利部位发生沉淀, 形成不同类型的矿化体。

2.2 构造对成矿流体运移的控制

成矿流体的运移主要依赖于构造形成的通道系统, 区域构造的类型、规模及演化阶段直接控制着流体的运移路径、速度与范围。深大断裂作为一级导矿构造, 贯穿地壳深部至浅层, 为成矿流体提供了纵向运移的主要通道, 保障了深部热液与浅层地质体的沟通。次级断裂、节理及破碎带构成了横向运移网络, 使成矿流体能够在更大范围内扩散、渗透, 与围岩发生物质交换。构造活动产生的压力差是成矿流体运移的主要动力, 挤压阶段形成的高压环境促使流体向低压区运移, 伸展阶段形成的扩容空间为流体聚集提供了条件。构造活动引发的地层抬升与剥蚀, 改变了流体的压力与温度条件, 促使流体中溶解的成矿元素发生沉淀。

2.3 构造对矿体定位的控制

构造的几何形态、产状及组合特征直接决定了矿体的空间位置、形态及规模, 不同类型的构造部位形成不同类型的矿体。低角度拆离断层的铲式转折端、断裂交汇部位、节理密集带及破碎带扩容区, 是矿体定位的核心有利部位, 这些区域渗透性强、空间开阔, 为成矿流体的聚集与成矿元素的沉淀提供了良好的容矿空间。深大断裂与次级断裂的交汇部位, 往往是岩浆侵位与热液活动的集中区域, 易形成规模较大的矿体, 而断裂产状变化的部位, 如陡倾段与缓倾段的过渡区, 易产生应力集中, 形成破碎扩容带, 成为矿体赋存的优选部位。褶皱构造的轴部及翼部转折处, 因岩石破碎程度高、渗透性好, 也易形成矿体, 构造的多期叠加改造会使矿体定位呈现多期次、多部位的特征, 矿体的分布范围与构造

带的展布方向基本一致。

2.4 构造演化与成矿的耦合关系

区域构造演化与成矿作用具有高度的时空耦合性, 构造演化的不同阶段对应不同的成矿过程, 控制着成矿作用的发生、发展与终止。研究区构造演化经历了早期挤压逆冲、中期走滑改造、晚期伸展拆离三个主要阶段, 早期挤压阶段形成的逆冲断层为后期流体运移提供了初始通道与薄弱面; 中期走滑改造阶段, 构造体制转换提升了地壳渗透性, 促进成矿物质与流体的活化迁移; 晚期伸展拆离阶段, 形成的低角度拆离断层及伴生裂隙网络, 构成了成矿的核心构造格架。构造演化的关键节点, 即构造体制转换时期, 往往是成矿作用的高峰期, 此时构造活动强烈、岩浆热液活动频繁, 成矿物质与流体在构造有利部位实现高效富集^[2]。成矿作用贯穿构造演化全过程, 构造演化控制着成矿的时空分布、矿床类型及规模, 而成矿过程中形成的矿化体也会对后期构造活动产生一定的影响, 形成双向耦合关系。

2.5 构造控矿模式的建立

基于区域构造演化特征、控矿机制及典型矿床解剖, 结合“模式切换-断层阀门”成矿理论, 建立区域构造控矿模式, 明确构造与成矿的内在关联及空间配置规律。该模式以深大断裂为导矿通道、次级断裂及破碎带为容矿空间、岩浆活动为热源与物质补充, 形成“导矿-运矿-容矿”三位一体的构造控矿体系。模式明确了不同构造单元的控矿作用: 深大断裂控制成矿物质的深部来源与运移方向, 次级断裂控制矿体的定位与形态, 褶皱及破碎带控制矿化的分布范围与富集强度。同时, 结合构造演化与成矿的耦合关系, 划分出不同成矿阶段的构造控矿特征, 早期以物质准备为主, 中期以运移富集为主, 晚期以矿体定位为主。

3 找矿信息提取与综合异常分析

3.1 遥感地质信息提取

遥感地质信息提取以多源卫星数据为基础, 结合研究区地形地貌与地质特征, 采用多种技术方法提取与成矿相关的地质信息, 为找矿工作提供宏观指引。选用TM、ETM+、OLI等卫星影像数据, 通过雷达图像与光学图像融合、改进的Crosta方法、能谱-面积分形滤波等技术, 提取矿化蚀变信息, 重点识别羟基、铁染等与成矿密切相关的蚀变异常。通过遥感影像解译, 提取区域构造信息, 包括断裂、褶皱的展布方向、规模及形态, 明确构造网络的空间分布特征; 解译地层岩性分布范围, 识别矿源层及有利容矿地层的空间位置。利用高分辨率遥感影像, 结合InSAR技术监测地表形变, 间接反映隐伏

构造活动。通过对提取信息的整理分析, 剔除干扰信息, 圈定遥感找矿异常区, 为后续物化探工作提供重点工作范围。

3.2 地球化学信息提取

地球化学信息提取以系统的地球化学测量为基础, 通过对土壤、水系沉积物、岩石等介质的采样分析, 提取与成矿相关的元素异常信息, 为矿体定位提供直接地球化学证据。开展1:5万土壤地球化学测量与水系沉积物测量, 系统采集样品, 检测Cu、Pb、Zn、Au、Ag等成矿元素及伴生元素的含量, 采用衬度异常法、聚类分析、因子分析等方法, 圈定地球化学异常区, 分析异常的浓度梯度、分带特征及元素组合规律。重点关注元素异常与构造、地层、岩浆岩的空间关联, 识别矿致异常与非矿致异常, 剔除人为干扰及自然背景异常。在重点异常区开展岩石地球化学分析, 研究成矿元素在不同岩石中的分布特征, 揭示成矿物质的迁移路径与富集规律, 为综合异常分析及靶区圈定提供可靠的地球化学依据。

3.3 地球物理信息提取

地球物理信息提取通过多种地球物理探测手段, 探测深部地质体的物性差异, 提取与成矿相关的物探异常, 实现深部隐伏矿体的无损定位。开展1:5万高精度航磁测量, 通过化极、延拓等数据处理, 提取磁异常梯度带, 识别深部隐伏岩体、断裂构造及矿致磁异常的空间展布; 利用重力测量数据, 分析区域重力异常特征, 推断深部地质体的形态与产状, 圈定有利成矿构造部位^[3]。在重点区域采用音频大地电磁法(AMT)、频谱激电法(SIP)等轻便地球物理方法, 探测深部低阻高极化体, 揭示隐伏矿体的赋存位置与深度范围。通过对物探数据的反演解释, 结合地质背景, 区分矿致异常与非矿致异常, 明确物探异常与成矿要素的关联, 为综合异常集成及深部找矿提供地球物理支撑。

4 找矿靶区优选

4.1 靶区优选原则与指标体系

找矿靶区优选遵循“地质优先、异常导向、综合评价、经济可行”的核心原则, 兼顾成矿潜力与勘查可行性, 确保靶区的科学性与实用性。地质优先原则强调靶区需具备有利的成矿地质背景, 包括有利地层、岩浆岩及构造条件, 与区域成矿规律高度契合; 异常导向原则以综合异常为核心, 优先选择遥感、物化探异常叠加度高、异常强度大的区域; 综合评价原则结合地质、异常、矿床类型等多要素, 全面评价靶区的成矿潜力; 经济可行原则考虑靶区的地形地貌、交通条件, 确保后续勘查工作能够顺利开展。基于上述原则, 构建“地质条件、异

常特征、成矿潜力、勘查条件”四级评价指标体系,细化各指标的评分标准,采用层次分析法确定各指标权重,通过量化评分实现靶区的科学优选,为靶区圈定与分级提供统一的评价依据。

4.2 基于GIS的成矿预测

基于GIS技术的成矿预测,以多源找矿信息为基础,利用GIS的空间分析功能,实现成矿潜力的量化评价与靶区的初步预测。首先,构建区域找矿信息数据库,整合地质、遥感、地球化学、地球物理等多源数据,统一数据格式与空间坐标,确保数据的完整性与一致性。其次,利用GIS的叠加分析、缓冲区分析、空间插值等功能,对成矿要素(地层、构造、岩浆岩)与找矿异常进行空间关联分析,识别成矿有利地段。采用随机森林、人工神经网络等机器学习算法,结合典型矿床的成矿特征,建立成矿预测模型,对区域成矿潜力进行量化评价,生成成矿潜力分布图。通过模型验证与参数优化,提高成矿预测的准确性,圈定成矿潜力较高的区域,为靶区圈定提供精准的空间指引。

4.3 靶区圈定与分级

结合基于GIS的成矿预测结果、综合异常分析成果及靶区优选原则,开展靶区圈定与分级工作,明确各靶区的成矿潜力与勘查优先级。靶区圈定以综合异常区为核心,结合成矿地质条件,圈定边界清晰、成矿要素齐全、异常特征明显的找矿靶区,确保靶区具有明确的找矿方向与潜力。根据靶区的成矿潜力、异常强度、地质条件及勘查可行性,将靶区分为三级:I类靶区(优先验证),成矿地质条件优越、综合异常叠加度高、异常强度大,已发现明确矿化线索,成矿潜力极大;II类靶区(重点评价),成矿地质条件较好、综合异常明显,具有较好的成矿潜力,需进一步开展勘查工作;III类靶区(一般关注),成矿地质条件一般、存在单一类型异常,成矿潜力有待进一步验证,可作为长期勘查储备区域^[4]。

4.4 重点靶区验证建议

针对I类、II类重点靶区,结合其地质特征与异常情况,制定科学合理的验证建议,确保验证工作高效有序开展,为后续勘查工作提供依据。对于I类优先验证靶区,优先开展地面地质调查,详细解剖矿化蚀变带,系统采集岩石、土壤样品进行分析测试,明确矿化类型与强度;同时,开展高精度地球物理探测(如AMT、IP法),精准定位隐伏矿体的赋存位置与深度,在此基础上布置钻探工程,进行深部验证,确认矿体的规模、品位及产状。对于II类重点评价靶区,开展详细的遥感解译与地球化学剖面测量,进一步圈定异常范围与矿化线索;开展轻便地球物理探测,排查隐伏构造与矿体,根据异常特征布置浅部槽探、坑探工程,验证矿化潜力。建立验证反馈机制,根据验证结果修正成矿预测模型与靶区评价指标,优化后续勘查工作方案,提升找矿突破的概率。

结束语

本文围绕区域构造控矿机制与找矿靶区优选展开系统研究,取得一定成果。构建的构造控矿模式,揭示了构造与成矿的内在联系;多源找矿信息提取与综合分析,为靶区圈定提供了丰富依据;建立的靶区优选体系,提升了找矿工作的科学性与针对性。但研究仍存在不足,未来需持续完善,结合新技术,提高找矿效率与成功率,推动区域矿产勘查发展。

参考文献

- [1]曾广乾,柏道远,王灵珏,等.湘南大义山锡多金属矿田构造控岩控矿机制及找矿勘查启示[J].成都理工大学学报(自然科学版),2025,52(2):285-300.
- [2]王斌,周明岭,丁正江,等.胶西北蚀变岩型金矿构造控矿机制与三维深部定位预测[J].地学前缘,2025,32(4):140-154.
- [3]孙芳,肖德长,余万明,等.扬子陆块东南缘中南华世大塘坡期古构造控矿机制与锰矿分布规律[J].中国锰业,2025,43(3):14-17,24.
- [4]黄永华.某区域金矿床构造控矿作用及找矿方向探讨[J].冶金与材料,2025,45(9):178-180.