

Research on the Genesis of Metal Deposits, Magmatic Activity, and Deep Prospecting Prediction

Lei Zuo

Heilongjiang 80 Environmental Geological Exploration Technology Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150000, China

Abstract

Magmatic activity, as a key geological driving force for mineralization, directly controls the source, migration, enrichment, and final precipitation of ore-forming materials through its complete evolution process from deep source formation, upward migration and invasion, to later hydrothermal activity. This article combines the typical mineralization characteristics of magma hydrothermal and skarn deposits, and deeply analyzes the limiting effects of magma properties, evolution stages, and tectonic environments on the mineralization laws of metal deposits. It elucidates the intrinsic relationship between the evolution of ore-forming fluids and metal deposition. Based on actual mineral exploration practice, summarize the prediction ideas and technical methods applicable to deep hidden mineral deposits, and provide theoretical reference and practical guidance for exploring metal resources in the deep earth. Research has shown that the multi-stage magma fluid pulse evolution and the synergistic effect of structure magma stratigraphy are the key factors in controlling mineralization laws and achieving breakthroughs in deep mineral exploration.

Keywords

Magmatic activity; Metal deposits; Mineralization law; Deep mineral exploration; Hydrothermal evolution

岩浆活动与金属矿床成矿规律及深部找矿预测研究

左蕾

黑龙江八零环境地质勘查技术有限公司, 中国·黑龙江 哈尔滨 150000

摘要

岩浆活动作为成矿作用的关键地质营力, 其完整演化过程——从深部源区形成、向上运移侵位, 直至后期热液活动——直接控制了成矿物质的来源、迁移、富集与最终沉淀。本文融合岩浆-热液型、矽卡岩型等典型矿床成矿特点, 深入剖析岩浆属性、演变阶段及构造环境对金属矿床成矿规律的限制作用, 阐释成矿流体演变与金属沉积的内在联系。以实际找矿实践为根基, 归纳适用于深部隐伏矿床的预测思路与技术手段, 为往地球深部探寻金属资源给予理论参照与实践引导。研究显示, 多期次岩浆流体脉冲式演变、构造-岩浆-地层的协同效应, 是掌控成矿规律与达成深部找矿突破的症结所在。

关键词

岩浆活动; 金属矿床; 成矿规律; 深部找矿; 热液演变

1 引言

随着地表及近地表矿产资源的逐渐枯竭, 深部找矿已然成为保障矿产资源供应的核心途径。岩浆活动作为地球内部物质与能量交换的重要形态, 和金属矿床的生成存在紧密的成因联系, 绝大多数内生金属矿床的成矿物质、成矿流体均直接或间接来自岩浆作用。明晰岩浆活动与金属矿床的成矿规律, 掌握科学的深部找矿预测办法, 对于冲破覆盖区、深部隐伏矿床勘查困境具备重要现实意义。本文立足于岩浆演变整个流程, 结合典型成矿现象, 深入剖析成矿规律, 探讨贴合实际的深部找矿思路与技术运用, 为实际勘查工作提

供借鉴^[1]。

2 岩浆活动对金属矿床成矿的核心控制作用

2.1 岩浆性质与成矿物质供给

岩浆物质成分的差别直接决定了成矿物质的基础条件, 其中岩浆的酸度、碱度及挥发分含量是核心控制要素。酸性岩浆(像花岗岩、花岗闪长岩)富含硅、铝及钾、钠等成分, 并且挥发分含量较高, 是铜、钼、钨、锡、铅、锌等金属元素的重要载体。此类岩浆起源于地壳或壳幔混熔带, 在部分熔融过程中, 地幔及地壳中的金属元素被激活并融入岩浆, 形成富含成矿物质的岩浆母体^[2]。

富碱岩浆与富氯、富水岩浆具备更强的成矿潜力, 氯元素可同铜、金、钼等金属构成稳定的络合物, 显著增强金属元素在岩浆中的迁移能力; 水作为主要挥发分, 不仅能够

【作者简介】左蕾(1984—), 女, 中国哈尔滨南岗人, 本科, 工程师, 从事地质矿产勘查、储量评估研究。

降低岩浆熔点、推动岩浆上升侵位，还能在岩浆冷却过程中促使流体析出，为金属元素的聚集提供载体。而基性、超基性岩浆则更易形成铁、镍、铬等亲铁元素矿床，其成矿物质主要来自地幔橄榄岩的部分熔融。

2.2 岩浆演化阶段与成矿过程耦合

岩浆的结晶分异与演化阶段直接对应成矿过程的不同时期，成矿物质的聚集往往出现在岩浆演化的特定阶段。岩浆演化初期阶段，处于超临界流体形态状况，此际流体呈现高温特征、具备高盐度属性，能够大规模萃取岩浆之中的金属元素物质，然而鉴于温压条件保持稳定状态，金属元素大多以络合物形式留存于流体内部，难以产生沉淀形成矿床。随着岩浆不断进行冷却进程与结晶分异作用，岩浆房内部的温压条件出现改变情形，流体发生相态分离现象，造就高盐度液相物质与低盐度气相物质，该过程为金属元素的沉淀状况创造了客观条件^[3]。

岩浆演化进程当中的多期次流体脉冲现象，是造就大型矿床的关键条件要素。并非凭借单一岩浆流体持续开展演化成矿活动，而是岩浆房在不同的演化阶段不断析出全新的流体脉冲物质，各个流体脉冲实施独立演化过程并与围岩产生相互作用效应，形成多阶段矿化叠加结果。此类多期次流体活动往往会使得矿床内部呈现多种矿化类型形态，比如矽卡岩类型与隐蔽角砾岩类型矿化共同存在，不同矿化类型虽然产出位置存在差异，但是成矿流体的来源情况与成矿时代具备一致性特征，共同构成统一的成矿系统结构。

2.3 岩浆侵位状况与构造环境匹配情况

岩浆侵位的深度数值、形态特征以及所处的构造环境条件，决定着成矿物质沉淀的空间位置状况与矿床的产出形态表现。浅部发生侵位的小型岩体结构（例如岩株、岩脉等）与围岩的接触面积较为广大，容易引发强烈的接触交代作用过程与热液活动现象，形成矽卡岩类型、斑岩类型矿床；而深部发生侵位的大型岩基构造则大多对区域成矿带的分布状况起到控制作用，其派生的次级岩浆物质与热液沿着构造裂隙实施运移活动，形成脉型、层控型矿床类型^[4]。

构造环境为岩浆活动过程与成矿作用行为提供了必需的空间范围与通道条件。板块边缘区域、深断裂带构造以及地块碰撞带部位，是岩浆活动最为强烈的区域范围，也是金属矿床的集中分布区域。这些区域的构造运动行为不仅为岩浆上升提供了通行通道，还在岩浆侵位之后持续进行活动，形成断裂构造、裂隙结构等熔矿空间形态，同时对热液循环过程与金属元素的迁移富集作用起到促进效果。比如在板块俯冲带附近的构造-岩浆活动带区域，往往会发育大规模的斑岩型铜、钼矿床类型，其形成过程与俯冲板块发生脱水现象引发的地幔部分熔融作用以及后续的岩浆演化进程存在密切相关。

3 岩浆相关金属矿床的成矿规律归纳总结

3.1 空间分布规律特征

岩浆相关金属矿床的空间分布表现出显著的分带性质，主要体现为区域分带现象与矿床内部分带状况。在区域尺度层面，矿床大多沿着板块边缘成矿带区域、深断裂带构造以及岩浆岩带范围展开分布，形成呈现线性延伸态势的矿化集中区域形态。在同一成矿带范围之内，矿床类型与成矿元素组合呈现规律性变化情况，例如从板块边缘部位向内陆方向，矿床类型能够从斑岩类型逐步过渡为矽卡岩类型、热液脉类型，成矿元素从以铜、金元素为主转变为以钨、锡、钼元素为主。矿床内部范围中，受岩浆侵位形状与热液移动方位作用，展现出显著的水平跟垂直分带。拿矽卡岩型矿床来说，接近岩体接触地带的区域多造就石榴子石、辉石等矽卡岩矿物联合，伴随铁、铜等金属矿化；远离接触地带的碳酸盐岩地层里，多造就铅、锌等硫化物矿化。垂直方位上，深部多为高温热液造就的矿化类别，浅部则为中低温热液矿化，展现“深部高温、浅部低温”的分带特点。除此之外，隐爆角砾岩通常作为关键的容矿构造，在岩体顶部及周边造就富矿地段。

3.2 时间演变规则

岩浆关联金属矿床的造就具备显著的时代集中性，与区域构造-岩浆活动高峰时期高度一致。从地质过往来看，中生代是全球岩浆关联金属矿床的关键成矿期，这一时期板块运动剧烈，全球范畴内岩浆活动频繁，造就了大量大型、超大型金属矿床。我国长江中下游成矿带、冈底斯成矿带等关键成矿区域，其主要成矿时代均集中于中生代燕山期。同一矿床的成矿流程具备多期次性，与岩浆的多阶段演变及流体脉冲活动对应。成矿早期多为高温热液与围岩产生交代作用，造就矽卡岩或蚀变岩；成矿中期为金属元素大量沉积阶段，造就主要矿体；成矿晚期为低温热液活动，造就少量脉状矿化或矿化蚀变。这种多期次成矿作用往往致使矿体叠加、品位富集，是造就大型矿床的重要条件。

3.3 物质共生规则

岩浆关联金属矿床的物质共生规则主要体现为矿物联合与元素联合的关联性，受岩浆性质与成矿条件控制。斑岩型矿床多呈现“岩体-蚀变带-矿体”的共生联合，蚀变类型从岩体中心向外依次为钾化、绢云母化、青磐岩化，对应的金属元素联合为铜、钼、金，形成“中心钼、外围铜”的元素分带。矽卡岩型矿床则以矽卡岩矿物与金属硫化物共生为特征，铁、铜矿床多与钙矽卡岩共生，铅、锌矿床多与镁矽卡岩共生。成矿物质的多源复合是常见规则，部分矿床的成矿物质不仅来自岩浆，还涵盖围岩中的预富集元素。在岩浆热液活动影响下，围岩中早期沉积造就的金属元素被活化，重新参与成矿流程，与岩浆来源的金属元素叠加富集，造就复合型矿床。除此之外，金属元素的共生联合还与岩浆

的 ASI 值（铝饱和指数）相关，富碱准铝质岩浆易形成铜—金联合，而高 ASI 值岩浆则易形成铜—钼联合。

4 深部寻矿预估思维与践行方法

4.1 依托成矿规则的预估思维

首先，站立区域成矿背景，划定深部成矿潜力区域。重点关切板块边缘、深断裂带以及已知岩浆岩带的深部伸展区域，联合区域重力、磁力数据，辨别深部隐伏岩体。隐伏岩体作为深部成矿的核心载体，其规模、形态以及演化特点直接掌控深部矿体的分布，所以需经过综合地质解析，推测隐伏岩体的位置与埋深。

其次，运用矿床分带规则，预估深部矿体伸展。已知矿床的垂直分带特性为深部寻矿的重要根据，像浅部为铅、锌矿化，深部或许存在铜、铁矿化；浅部为脉型矿化，深部可能与矽卡岩型或斑岩型矿化连接。可经过剖析浅部矿体的蚀变种类、矿物组合以及元素分带，推测深部可能存在的矿化种类与位置，搭建“多层楼宇”寻矿范式。最后，重视构造与岩浆活动的协同解析。深部容矿构造的辨别为关键，需联合地震勘探、大地电磁测深等数据，查明深部断裂、裂隙以及隐爆角砾岩筒的分布。同时，经过剖析岩浆演化的多期次性，判断深部是否存在未被发掘的流体脉冲成矿阶段，锁定叠加矿化的有利地段。

4.2 贴实域的深部勘查技术办法

地电化学技术为覆盖区深部寻矿的有效方式，尤其适用于红壤、农用地等复杂覆盖区域。其核心原理是经过人工电场捕捉来自深部矿体的活动态成矿物质，剖析指示元素的异常分布，精确定位深部隐伏矿体。该技术操作简便、成本较低，能有效穿透覆盖层，辨别深部矿体的位置与伸展方向，在金矿、铝土矿、铁矿等深部勘查中已收获良好成效。综合地球物理勘查技术为获取深部地质信息的核心支撑。重力、磁力勘查可有效辨别深部隐伏岩体的规模与形态，区分岩浆岩与围岩的密度、磁性差异；音频大地电磁测深能精确探测深部断裂构造与地层结构，明确容矿空间的位置与埋深；地震勘探可清晰呈现深部岩体与矿体的接触关系，为钻孔布置提供根据。实际工作当中，需将多种地球物理方式结合，相互验证，提升深部地质阐释的准确性。蚀变信息与指示元素组合剖析为辅助预估的重要方式。经过对浅部岩石、土壤中的蚀变矿物与指示元素进行系统剖析，判断深部热液活动的强度与范围。高温蚀变矿物（例如石榴子石、辉石）的出现，往往指示深部存在岩浆热液活动；而指示元素的垂直分异特

性，可反映深部矿体的大致埋深。另外，联合同位素剖析，可追溯成矿物质与流体来源，进一步验证成矿规则与预估思维。工程验证当依照“自浅入深、逐次推进”之规。于圈定的成矿潜力区域之内，先安排少量深部钻孔实施试探举动，将钻孔岩芯的岩相学观察情况、矿化蚀变分析状况加以结合，对预测结果开展验证工作。若工业矿体得以发现，便逐次拓展勘查范围领域，对钻孔布置进行优化操作，达成深部找矿的突破情形。与此同时，需及时对钻孔数据做出总结事宜，对成矿规律认识予以修正处理，使预测方案实现迭代优化的态势。

5 结语

岩浆活动借助对成矿物质供给环节、流体演化进程及容矿空间形成过程的控制作用，对金属矿床的成矿过程起到主导作用，其与构造运动态势、地层条件状况的协同配合作用，造就了鲜明突出的时空分布情形与物质共生规律现象。多期次岩浆流体的脉冲演化状态、矿床的垂直分带情况以及构造-岩浆-地层的适配性能，属于把控成矿规律的核心要点内容。深部找矿预测活动需以成矿规律作为指导方向，把地电化学手段、综合地球物理技术等实用技术加以结合，对深部隐伏岩体情况、容矿构造状况及矿体位置信息进行精准识别操作，秉持理论与实践相结合的方式，使勘查效率得以提升境地。未来的深部找矿工作事项，应进一步强化岩浆演化过程与成矿过程之间的耦合关系研究工作，对深部勘查技术方法实施优化处理，尤其要对复杂覆盖区域与深部隐伏构造的探测技术创新予以注重对待。通过对成矿规律认识的深化作为、对技术应用水平的提升举措，为深部矿产资源勘查瓶颈的突破提供有力的支撑力量，对矿产资源的稳定供给状态实施保障行为。

参考文献

- [1] 刘家军, 王建平, 翟德高, 王银宏, 柳振江, 张方方, 张红雨, 彭润民, 张梅, 王沛东, 郭晓琛, 王继春. 内蒙古二连浩特—东乌旗多金属带成矿作用的过渡性和复杂性[J]. 地学前缘, 1-21.
- [2] 代克刚, 康晓波, 白云, 赵洪飞, 马国桃, 李静, 王达, 张伟. 喜马拉雅带夏隆岗铅锌铋多金属矿床成矿年代学与控矿因素解析: 对后碰撞伸展成矿作用的启示[J]. 沉积与特提斯地质, 2025, 45(03): 605-616.
- [3] 王旗. 瑞金—寻乌深断裂带金属矿成矿机制与模式的新探索[J]. 中国金属通报, 2025, (08): 114-116.
- [4] 胡斌. 铅锌多金属矿床地质特征和形成机制研究[J]. 山西冶金, 2025, 48(07): 94-96.