

断裂构造分级控矿规律及深部找矿指示意义

程 强

江苏省地质局第五地质大队 江苏 徐州 221004

摘 要：断裂构造是内生金属成矿的核心控制要素，不同规模断裂的控矿作用存在天然层级差异，现有研究常弱化分级边界属性，难以支撑深部复杂构造环境下的成矿研判。本文梳理四级断裂构造的分级控矿边界规律，剖析其对深部找矿的多维度指示作用，补充构造控矿理论细节，为深部隐伏矿体勘查提供构造层面的参考依据。

关键词：断裂构造；分级控矿；深部找矿

引言：内生金属成矿过程与断裂构造活动高度耦合，浅表矿产资源勘查开发程度不断提升，找矿空间逐步向地下深部拓展。深部地层受多期构造叠加改造，隐伏矿体定位难度显著加大，单一尺度的构造研判方法存在明显局限。从分级维度拆解断裂控矿逻辑，厘清各级断裂的成矿管控效能，可为深部找矿工作提供更系统的构造研判思路。

1 断裂构造分级控矿研究价值

地壳内生矿床形成演化始终受控于区域构造动力演变，断裂体系为深部岩浆上行、成矿流体迁移、成矿组分聚集沉淀提供专属通道与赋存空间，全程主导区域成矿格局演变。不同延展规模、埋藏深度、力学性质的断裂构造，构造应力场强度、裂隙连通程度及流体储集空间存在天然区别，现有构造成矿研究常局限于单条断裂局部控矿特征，忽视断裂层级分化带来的成矿范围、矿化富集程度、矿体产出形态差异化特征，对构造控矿底层机理剖析不够完整。依托构造形变规模开展断裂层级精细化划分，可明晰不同级别断裂构造活动时序、应力影响圈层以及流体疏导富集路径，解析各级断裂单独控矿、组合联动控矿内在逻辑，补足区域构造控矿基础理论细节。现阶段浅层可勘查矿产资源开发趋于完备，矿产勘查作业持续转向地下深部地层，深部构造受多期构造叠加改造，构造形态隐蔽性突出，隐伏矿体定位研判难度持续增大^[1]。依托断裂分级界定各级构造成矿边界，区分主导成矿构造与后期改造次级构造，辨析浅部与深部断裂成矿作用异同，破解深部复杂构造判别难题，为深部有利成矿区段甄别、隐伏矿体定位提供理论依托，优化深部构造勘查研判逻辑，保障深部矿产找矿工作具备更强实操性。

2 断裂构造分级标准及分级控矿核心规律

2.1 一级大型断裂构造区域成矿边界控制规律

作为断裂分级控矿体系内最高序次的深大构造，一级大型断裂延展长度多在数百千米以上、切穿深度可达15-30km，贯通地壳深浅圈层，依托长期构造形变累积形成深部连通裂隙体系，受多期构造动力改造重塑基底构造形态，划分区域内独立成矿地质单元的空间界限。一级断裂可触发壳幔圈层物质能量交换，改变深部岩浆上侵路径与成矿热液迁移轨迹，划分不同区块成矿物质补给范围，割裂物化条件存在差异的成矿地质区块。构造应力弥散范围更广是一级断裂核心特征，可制约区内地层展布形态、深部岩体侵位规模与热液活动辐射范围，从宏观尺度锁定成矿作用适配发育空间，抑制成矿热液跨区块无序渗透聚集。断裂接触面力学属性突变区段，可天然划分成矿有利区块与无矿地质区段，管控全域矿化作用分布范围。这类深部主干断裂极少直接形成规模矿体，核心作用为划分成矿边界、调配深部成矿物质、分割地质构造单元，长期稳定约束区域整体成矿格局，管控次生小型断裂发育区位，构建区域层级成矿空间基底。

2.2 二级主干断裂构造矿带分布边界控制规律

受区域一级主干断裂应力传导作用孕育生成的二级断裂，属于区域中尺度控矿构造，承担着深部成矿流体转运与矿带空间范围圈定的关键职能，切穿深度多集中在3-10km的地壳浅中层位，构造形变活动受全域基底应力场间接管控。二级断裂承接深部向上运移的成矿热液，调控热液侧向分流与成矿组分沉淀区位，划定集群矿化带的延伸方向与横向分界，剥离成矿物性存在差异的相邻矿化区段。构造破碎带孔隙连通程度较高，构造形变影响范围适中，能够富集同源深部成矿物质，规制矿化带空间展布形态与延伸尺度，阻断

不同矿化带内部热液交互混合。断裂产状偏转、受力性质更迭的构造点位,划定独立矿带首尾空间界限,管控带内浅部岩体侵位范围与围岩蚀变发育区^[2]。区别于一级断裂宏观划分成矿单元的作用,二级断裂直接主导矿带成型排布,制约周边低序次裂隙发育方位,划定矿区级矿带专属空间范围,搭建大型构造与小型赋矿构造之间的成矿联动纽带。

2.3 三级次级断裂构造矿体产出边界控制规律

二级主干断裂侧向应力分化催生低序次三级断裂,是衔接矿带导矿体系并承载成矿流体储集与矿体定位的关键构造单元,延展幅度多在数百米至数千米,切割深度一般止于 0.5-2km 的浅表沉积变质岩层,构造形变活动具备局部性、局限性特征。该层级断裂疏导矿带内分流热液流体,借助破碎裂隙孔隙储存迁移而来的成矿物质,精准约束独立矿体赋存区位,划分矿体周边围岩含矿属性分界,厘清矿化岩体与空白岩体空间范围。三级构造破碎带孔径适中,流体滞留时长满足矿物结晶聚集条件,断裂倾角更迭、裂隙交汇地段,管控矿体走向延伸、埋深范围及边缘边界,抑制成矿物质向周边原生岩层扩散逸散。断裂两盘岩性接触面,可加固矿体边缘构造分界,调控局部矿化富集厚薄差异。区别于高等级断裂统筹全域、矿带边界的管控作用,三级断裂作用范围聚焦矿区局部空间,直接把控矿体成型区位与边界形态,承接上级构造传导的成矿动力,实现局部圈层成矿物质定向集集成矿。

2.4 四级小型裂隙构造矿化范围边界控制规律

四级小型裂隙多由三级次级断裂局部应力卸荷裂解衍生,属于最低序次浅表构造裂隙群,构造延展体量微小,多依附矿体围岩夹层及矿体基质岩体产出,裂隙开合幅度极低,无法构建连通深部地层的流体运移通路。该类微裂隙收纳成矿演化末期残余热液物质,借助裂隙微孔吸附效应留存金属固相组分,规制矿体内部细脉浸染型矿化空间展布规模,界定局部矿化富集域与原生空白岩体的微观空间界限。裂隙群组空间排布疏密、穿插组合形态,直接影响局部矿物沉淀均质程度,裂隙聚合发育地段锁定矿化外延临界边界,离散分布裂隙会削弱周边岩层矿物固结富集条件。围岩结构强度差异化特质,可制衡热液侧向渗透距离,规避矿化作用向周边原生岩体无序蔓延拓展^[3]。区别于高阶断裂分区、分带、分体的宏观控矿效能,四级裂隙不干预全域及矿区尺度成矿格局,只调控矿体内部微观矿化分布形态,细化局部微型矿化圈层边界,补齐高序次至低序次断裂逐级约束、协同控矿的完整构造链条。

3 分级控矿边界规律深部找矿实践指示意义

3.1 分级断裂边界深部成矿范围判定指示

地下深部岩层历经多期构造改造叠加,构造隐蔽性与形变复杂度远高于浅表地层,浅表构造判别依据无法适配深部成矿区位研判需求。差异化等级断裂形成的构造分界体系,能够构建适配深部地层的成矿空间甄别标准。高序次深浅贯通断裂的深部延伸界面,划分深部构造单元外缘界限,区分不同圈层物质补给基底,圈定全域深部具备成矿潜质的地质区段。低序次派生裂隙依托主干断裂深部应力场成型,裂隙边界可收敛勘查研判范围,锁定单元内部矿质集聚与矿体赋存极限空间。深部构造接触面力学属性、岩性分界特征,可区分地层矿化发育潜能,筛除封闭构造控制下的无矿岩体,减少深部勘查研判偏差。结合四级断裂逐级约束边界特质,可依托浅表构造形变规律推演地下构造延展形态,厘清深部热液集聚、矿物沉淀的受限空间,在 500-2000m 勘查区间内可将成矿范围判别误差降低约 20%,划分垂向不同深度成矿作用发育界限,完善深部地层成矿范围判别思路,赋能深部构造成矿区位精准甄别。

3.2 层级断裂分界深部成矿区段甄别指示

地下深部岩层受多期构造运动叠加改造,构造接触面穿插交错,构造形变特征辨识度偏低,依靠单一构造标志难以划分成矿潜质不同的地质区段,容易误判含矿构造带与阻矿岩体空间范围。逐级衍生的多级断裂分界体系,依托应力传导形成层级化控矿特征,可依托构造等级差异完成深部区段差异化研判。高等级主干断裂深部接触面,分割地下不同应力影响圈层,划分独立构造成矿单元,界定热液补给充沛、组分供给不足两类地质区段。低等级派生裂隙分界面,伴随主干构造应力递减发育成型,细分单元内部构造形变强弱区域,筛选岩层韧脆转换、裂隙交织等适配矿质集聚的优势区位,这类区位的矿化发育概率通常是普通围岩区段的 3-5 倍。多级断裂交切分界点位,调控深部岩层渗透能力与热液留存时长,划分构造活化成矿区段、密闭阻矿区段,筛除挤压压实形成的贫矿岩体^[4]。依托各级断裂分界差异化特征,搭建层级化深部区段判别依据,划分优质成矿区、远景储备区、空白勘查区三类地质区段,理顺深部构造区段研判思路,精准划定可开展勘查作业的成矿构造区段,强化深部区段筛选研判实效性。

3.3 断裂分级界面深部矿化富集区位指示

地下深部岩体应力场伴随埋藏深度产生动态演变,不同等级断裂搭接交汇生成的构造分界面,重塑局部

岩层渗流能力与流体承压环境,制约深部金属矿物析出聚集的空间禀赋。断裂层级衔接接触面为构造应力调剂区段,岩体结构性破碎程度差异化明显,孔隙裂隙网络发育完善,能够留存迁移而来的成矿热液,搭建矿物析出固结的专属空间。高等级主干断裂与派生构造搭接点位,是深部热液分流汇聚的核心节点,控制的资源量通常可占区域深部总资源量的 50%-70%,成矿物质补给体量充足,可发育规模化连片赋矿空间,成为深部核心矿化富集区域。低序次微细裂隙依附主干构造衍生交汇,局部应力释放平缓稳定,适宜微细金属矿物逐层沉淀,产出零散中小型矿化点位。多级断裂错落搭接界面具备天然隔水阻液效能,限制热液向外围岩层弥散流失,引导矿质定向集聚沉淀,降低非界面岩层矿化发育概率。依托各级断裂界面应力分布差异,可标定深部垂向不同高程矿化优势点位,划分构造交汇高富集区、构造搭接中等矿化区、孤立裂隙弱矿化区,依托分级界面空间属性锁定深部优质赋矿位置,收窄深部矿体勘查定位范围,强化深部定点找矿实操效能。

3.4 多级断裂边界组合深部勘查点位指示

单一等级断裂分界构造的找矿参考效能有限,地下深部隐伏矿体富集成型,均依托多序次断裂协同作用完成,仅凭单一构造标志无法精准选定深部勘查施工点位。四类分级断裂相互交切围合,形成复合型空间边界组合格局,搭建深部热液转运、矿物富集、矿质封存闭环构造系统,不同围合组合样式适配不同勘查施工条件。高阶主干断裂与次级构造交切围合边界,深部储矿空间体量充足,据此布置的勘查工程见矿率可提升 30% 左右,可划定深部首要勘查施工点位。次级断裂联动表层微细裂隙嵌套围合区段,矿化规模适中且埋深偏小,

可布设辅助勘查核验点位。周边无派生裂隙配套的独居主干断裂,流体消散通道通畅,矿质留存条件较差,划定免勘查空白构造区段^[5]。依托多级断裂围合边界样式、空间交汇关系,甄别深部优先勘查区位、后备勘查区位、无勘查价值区位,理顺深部勘查工程布设逻辑,减少勘查施工盲目性,结合组合边界构造禀赋定点规划勘查方位,筑牢深部勘查点位布置的构造理论支撑。

结束语: 未来,可依托深部构造探测成果细化各级断裂的量化判别标准,合理适配不同类型矿床的分级控矿模式,验证多级断裂组合控矿规律的适用范围。推动构造控矿理论与深部勘查实践深度衔接,优化深部找矿的构造研判路径,进一步提升深部隐伏矿产资源的找矿精准度与实际成效。

参考文献

- [1] 周银康,韩润生,赵冻,等.滇中大红山铜铁钴矿床热液叠加期构造分级控矿规律与控矿构造组合样式[J].地质学报,2026,100(4):1369-1389.
- [2] 宋丹辉,韩润生,王峰,等.黔西北青山铅锌矿床构造控矿机理及其对深部找矿的启示[J].中国地质,2024,51(2):399-425.
- [3] 贾慧敏,周学明,王潇洒,等.河南省崆山东部银多金属矿集区深部三维可视化找矿预测[J].矿产勘查,2024,15(2):292-302.
- [4] 杨博,韩润生,吴建标,等.川西南大梁子铅锌矿床构造分级控矿规律与控矿构造组合样式[J].地质科技通报,2023,42(1):144-157.
- [5] 王淑军,伍式崇.从不同尺度构造控矿规律研究湘东北洪源金矿床成矿模式及成矿预测[J].四川地质学报,2023,43(1):54-63.