

多级构造耦合控蚀变作用下蚀变岩金矿富矿段富集特征与勘查靶区优选实践

郭帅飞

山东烟台鑫泰黄金矿业有限责任公司 山东 烟台 264000

摘要：蚀变岩型金矿成矿过程受多级构造耦合与围岩蚀变双重驱动，富矿段的空间富集规律与构造蚀变的协同演化密切相关。本文以构造耦合体系层级特征为切入点，剖析不同尺度构造单元对蚀变分带与矿质迁移的差异化控制效应，揭示富矿段在构造扩容转折部位与蚀变叠加核心区段的定向富集规律。在此基础上，构建融合构造格架、蚀变异常与矿化富集特征的多层次靶区优选方法，为蚀变岩金矿深部勘查提供系统性技术框架。

关键词：多级构造耦合；蚀变分带；蚀变岩金矿；富矿段富集；勘查靶区优选

引言：蚀变岩型金矿的矿化富集与多级构造耦合作用、围岩蚀变演化之间存在深层内在关联，传统单一要素控矿认识难以完整刻画富矿段空间分布规律。构造体系的层级分化与叠加改造持续重塑地质空间结构，蚀变作用随构造演化递进发育，二者协同驱动金质组分在特定构造蚀变空间内汇聚沉淀。深入解析构造耦合控蚀变条件下富矿段的富集特征，对提升勘查靶区优选精度具有重要的理论与实践意义。

1 多级构造耦合体系与蚀变作用基础机制

1.1 多级构造体系层级划分及空间组合形式

地质演化进程中形成的构造体系具备明显的层级分化特征，不同尺度构造单元依据空间尺度与发育规模形成有序的层级结构。大范围延展的区域性构造构成体系的主体框架，延伸长度通常超过数十千米，中型构造填充区域构造内部的空间格局，延伸距离多在数百米至数千千米之间，小型细微构造则密集分布于各类构造单元的衔接区域，长度一般不超过数十米。不同层级构造依托自身发育尺度占据专属地质空间，通过多样的空间组合方式形成完整的构造体系整体格局。各类构造单元在三维地质空间中呈现穿插嵌套与错落排布的分布状态，不同组合形态对应差异化的地质空间结构形态，为后续构造活动与蚀变反应提供基础空间条件。

1.2 各级构造运动的力学作用机理

不同层级构造的运动过程依托差异化的力学体系推进，地壳深部动力传导引发岩体内部应力的持续积累与动态调整^[1]。应力场的空间分布状态主导岩体的形变方式与运动状态，构造尺度差异会造成应力集聚程度与传递范围的不同。大型构造运动依托大范围应力场实现岩体的整体位移与形变调整，中小型构造运动响应局部应力

变化，完成岩体裂隙发育与结构重塑。应力的持续调整会改变岩体原生结构状态，诱发岩体内部孔隙与裂隙的持续发育，为地质流体活动创造基础条件。

1.3 构造耦合作用的叠加与改造模式

不同时期形成的构造单元会发生空间重叠与作用交融，形成多阶段的构造叠加关系。早期构造形成的岩体结构格局会被后期构造活动持续改造，原有构造空间形态与结构特征产生系统性调整。构造活动的多期次发育特征造就多样的叠加改造模式，不同构造的空间交汇区域会出现结构复杂化与空间扩容化的发展趋势。持续的构造改造会重塑地质体内部的空间结构，改变原有构造格局的分布形态，促成复杂构造耦合体系的成型。

1.4 构造耦合对围岩蚀变的驱动机制

构造耦合产生的结构调整效应能够激活地质流体的运移通道，改变流体在岩体内部的渗透路径与活动范围。构造活动引发的岩体形变会提升围岩孔隙发育程度，增强地质流体与围岩介质的接触频次。流体在构造形成的有利空间内持续渗透环流，与围岩矿物发生物质交换与化学反应，逐步推动围岩矿物组分与结构状态的转变。构造耦合带来的动态地质环境，持续维系蚀变反应的发生进程，推动围岩蚀变作用的持续发育。

1.5 构造-蚀变协同演化内在规律

构造体系的动态演化持续塑造蚀变作用的发育环境，蚀变作用的持续推进也会反向改变岩体结构与力学属性。构造格局的阶段性演变对应蚀变类型与发育范围的动态转变，蚀变反应造成的岩体结构软化与组分变化，会进一步影响后续构造活动的推进形式。地质体系内部的结构调整与物质转化形成递进式演化关系，两种地质过程相互适配、相互制约，形成贯穿成矿地质过程

的动态演化规律。

2 构造耦合控蚀变条件下蚀变岩金矿地质特征

2.1 矿区基础地质体发育特征

矿区范围内各类地质体的形成与演化受控于区域构造耦合活动,地层、岩体与构造单元共同构成矿区基础地质框架。地层单元呈现稳定的产出状态,岩性组合具备连续性与区域性的发育特点,为蚀变矿化作用提供原生物质载体。岩浆活动孕育的各类岩体有序分布于矿区空间范围内,岩体产出状态与延伸趋势适配区域整体构造格局。地质体内部原生结构的差异化特质,会影响后期构造改造强度与蚀变作用发育程度,塑造矿区基础地质环境的整体格局。

2.2 蚀变岩类型及空间展布特征

矿区蚀变岩依托围岩岩性差异与构造活动强度分化出多种类型,不同类别蚀变岩对应专属的矿物组成与结构特质^[2]。各类蚀变岩依托构造薄弱带完成空间发育与延伸,整体展布状态贴合构造体系的整体走向与延展趋势。蚀变岩发育规模随构造活动强弱产生动态变化,构造活跃区域蚀变岩发育更为充分,构造稳定区域蚀变发育程度相对偏弱。空间分布整体呈现规律性延展态势,与构造体系的整体排布形成紧密对应关系。

2.3 不同构造耦合区段蚀变分带特征

构造耦合程度的空间差异会造成蚀变作用的有序分带,不同构造耦合区段展现出独有的蚀变发育形态。构造叠加复合的核心区段,蚀变作用覆盖范围更广,蚀变改造程度更为彻底。构造单一改造的边缘区段,蚀变发育相对局限,蚀变改造力度更为温和。不同耦合区段的蚀变差异形成有序的空间分带形态,分带过渡状态自然连贯,呈现出构造控制下蚀变作用的梯度发育特点。

2.4 蚀变矿物组合与矿物转化规律

蚀变作用推进过程中会形成多类矿物共生组合,矿物搭配形式对应蚀变作用的发育阶段与强度等级。地质流体与围岩介质的持续物质交换,推动原生矿物不断发生结构调整与组分转变。新生蚀变矿物会随地质环境的持续演变完成迭代更替,矿物转化进程贴合构造活动的演化节奏。不同阶段的矿物组合演变轨迹,能够直观反映蚀变作用的递进发育过程。

2.5 构造蚀变带空间形态与展布规律

构造蚀变带依托多级构造耦合形成的有利空间完成发育成型,整体空间形态受构造格局严格约束。蚀变带多呈现条带状、透镜状的空间形态,随构造形态转折与延伸产生形态微调。各类蚀变带沿主要构造脉络有序排布,延伸方向与主体构造走向保持一致。构造交汇与转

折位置会出现蚀变带扩容膨大的现象,空间展布整体呈现出规律性、层次性的发育特点。

3 富矿段金矿富集特征及构造蚀变控矿规律

3.1 富矿段空间产出特征

富矿段的空间产出状态受控于区域构造蚀变的整体发育格局,优质矿化区段多集中于构造活动改造充分的地质空间。地质体系内部构造改造强度与蚀变发育程度的差异化分布,推动矿质资源在特定空间持续汇聚沉淀^[3]。有利地质空间能够持续接纳成矿流体的运移与堆积,促使矿化体量稳步提升。富矿段的空间分布具备明显的定向性,整体延展趋势贴合区域主体构造与蚀变带的发育脉络,空间集聚特质突出。

3.2 金矿矿物赋存状态特征

金矿矿物在围岩内部呈现多样化的赋存形式,矿物颗粒依附蚀变矿物晶粒间隙与岩体微细裂隙完成沉淀生长。成矿流体演化过程中,金质组分持续脱离流体体系并附着于新生蚀变矿物表面,形成稳定的矿物赋存形态。矿物颗粒的嵌布方式随蚀变强度产生细微变化,蚀变发育更为充分的区域,金矿矿物分布更为均匀。原生岩体结构改造充分的区域,金矿矿物富集程度更高,赋存形态更为稳定。

3.3 金元素富集的蚀变制约特征

各类围岩蚀变进程能够直接干预金元素的活化迁移与富集沉淀过程。蚀变反应引发的岩体组分转换与结构重塑,会改变成矿流体的物理化学环境,推动金元素完成富集聚集。不同蚀变发育阶段对应金元素不同的迁移沉淀效率,蚀变强度适中的地质环境更利于金质组分的持续堆积。蚀变作用带来的矿物组分更替,能够持续优化金元素的保存条件,维系矿化富集的稳定地质环境。

3.4 不同级别构造耦合的控矿差异性

不同层级构造的耦合作用会形成差异化的控矿效果,高级别构造活动主导成矿流体的大范围运移路径,划定区域成矿的整体空间范围。中等级别构造能够细化成矿空间,引导流体向局部有利区段汇聚沉淀。低级别微细构造可优化微观储矿空间,为金质组分的富集提供充足容纳空间。各级构造的耦合叠加程度不同,造就矿区内部矿化强度与富集规模的空间差异。

3.5 构造-蚀变-金矿富集的匹配关系

构造活动塑造的地质空间格局为蚀变作用发育提供基础条件,蚀变作用持续推进可为金矿富集提供物质转化动力。构造改造强度的变化会牵动蚀变发育程度同步调整,蚀变环境的持续优化进一步提升金质富集效率。三类地质过程在空间维度与演化进程中形成高度适配的

对应关系,地质空间构造改造越充分,蚀变反应越完善,金矿富集效果越显著,构成完整的成矿响应体系。

4 基于构造耦合与富集特征的勘查靶区优选体系

4.1 勘查靶区优选的核心控制要素

蚀变岩金矿靶区优选工作依托多重地质条件共同约束,构造格局演化、围岩蚀变发育与矿质富集规律构成核心控制要素。构造耦合的发育状态调控地质空间结构演变,改变深部流体运移通道与储集空间形态,主导矿区成矿环境的整体塑造过程。蚀变作用的演化进程持续改造围岩原生组分与岩体结构,推动体系内物质迁移与元素活化集聚,重塑成矿体系的物理化学环境^[4]。矿化富集呈现的空间分布特点与矿物赋存规律,能够直观反映区域成矿禀赋优劣。多重地质条件相互交织制约,形成适配蚀变岩金矿成矿特质的筛选基础,支撑勘查区段精细化划分工作有序推进。

4.2 构造耦合有利区段识别准则

构造多期叠加与耦合改造形成的复杂地质区段,普遍具备优良的成矿储集条件,是找矿潜力区域的核心识别方向。构造活动持续改造原生岩体构造形态,催生错综复杂的裂隙网络与渗透通道,拓展流体活动与物质沉淀的有效空间范围。构造应力持续调整的复杂构造交汇区域,岩体破碎程度显著提升,孔隙发育程度更为优越,可为成矿流体滞留与矿质堆积提供稳定载体。通过研判构造叠加强度、空间结构复杂程度以及构造演化时序特征,能够系统甄别具备成矿潜力的构造区段,完成有利成矿空间的精准识别。

4.3 蚀变异常有利找矿标志筛选

围岩蚀变的发育类型、空间延展形态与演化程度,是蚀变岩金矿勘查工作中关键的找矿标识。成矿流体在岩体内部渗透环流的过程中,会带动围岩介质发生组分更替与结构重塑,留存专属的蚀变响应痕迹。蚀变异常的延展规模与发育强度,能够真实反映流体活动的活跃程度与空间影响范围。蚀变异常集中发育的地质空间,大多对应矿质组分持续集聚的有利区域。勘查工作可对各类蚀变信号开展分层甄别,筛除与成矿流体活动无关的微弱蚀变干扰,留存的高强度蚀变发育区域可精准指向潜在矿化区段,为靶区筛选提供可靠地质依据。

4.4 富矿段潜力区段判别标准

富矿段潜力区段的判别标准围绕矿化富集特质、蚀变发育水平与构造空间适配关系建立。优质成矿区域均可实现构造储矿空间与蚀变演化体系的高度适配,矿化延展状态具备稳定的连续性与规律性。矿物嵌布均匀程度更高的岩体区域,成矿演化流程更为完整,矿质组分的保存环境更为稳定优越。结合矿质富集强弱水平、蚀变演化完整层级以及构造岩体改造充分程度,可搭建规范化的潜力判别体系,有效区分不同区段的成矿禀赋差异,精准筛选出适配富矿发育条件的优质区段。

4.5 多层次勘查靶区优选方法与流程

勘查靶区优选依托多层级递进式工作模式开展,依托区域构造耦合整体格局完成大范围有利成矿区域的初步圈定。结合蚀变异常空间分布特征与发育规模收缩筛选边界,剔除构造改造偏弱、蚀变发育不完善的低效勘查区域。依据富矿段空间富集规律与矿物赋存特质进一步细化筛选精度,锁定具备优质成矿禀赋的核心区段。梯度化筛选模式深度贴合蚀变岩金矿成矿演化规律,逐层优化勘查范围与筛选精度,缩减无效勘查工作量,保障最终圈定靶区具备稳定可靠的成矿潜力与实地勘查价值。

结束语

多级构造耦合体系与蚀变作用的交互演化构成蚀变岩金矿成矿的地质基础,富矿段的富集特征与构造—蚀变耦合格局之间存在稳定的空间匹配关系。以构造耦合有利区段识别、蚀变异常筛选与富矿段潜力判别为核心构建的靶区优选体系,能够有效缩减勘查范围并提升找矿针对性。该方法路径贴合蚀变岩金矿的成矿演化规律,对深部隐伏矿体的勘查部署具有实际指导价值。

参考文献

- [1]刘威,王自力,牛英杰,等.老挝爬奔金矿构造控矿特征及找矿意义[J].中国金属通报,2025(23):110-112.
- [2]杨立强,邓军,魏瑜吉,等.胶东焦家断裂带金成矿系统[J].岩石学报,2026,42(2):434-454.
- [3]周文林,胡杨,钟祖勳.海南省昌江县土外山金矿床矿体赋存规律及找矿方向[J].黄金,2024,45(8):94-98.
- [4]李彬,许德如,柏道远,等.湘西沃溪金锑钨矿床燕山期幕式成矿作用:来自原位白钨矿U-Pb定年与黄铁矿元素-同位素的约束[J].岩石学报,2024,40(1):215-240.