

萤石矿床流体包裹体特征对成矿过程多阶段演化的指示

田元 冯贝贝 孔令玺

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

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21203

[摘要] 萤石矿床内部流体包裹体封存地质演变原生痕迹,真实呈现矿体成型阶段流体动态演变特征,结合包裹体外形物质构成及温压环境相关参数便可界定成矿进程不同发展区间。依据各项表征差别梳理流体运移沉降完整过程,厘清流体属性更迭和矿物聚集沉降的内在联系,把握构造运动影响下成矿进程的波动态势,梳理矿床成矿演变整体脉络,可为同类矿脉成因研判与矿产勘探工作夯实理论参照基础

[关键词] 萤石矿床; 流体包裹体; 成矿阶段; 地质演化; 矿物沉淀

引言

流体运动构成内生金属及非金属矿脉孕育成型的核心动因,矿物结晶聚集均依托流体介质完成物质交互。萤石应用场景覆盖面广阔,矿体成型全程伴随繁复流体流转与物质更替现象。流体包裹体定格矿化瞬间流体实际形态,成为回溯矿床演变进程的天然样本。不同矿化时期产出的包裹体具备迥异形貌结构与物质组分,特征差别可映射地质环境更迭实况。剖析包裹体独有特质和矿化阶段的对应关系,深挖矿体孕育潜藏地质原理,完整梳理矿层分段发育的整体演变轨迹

一、萤石矿床流体包裹体基础形貌类别区分

(一) 原生流体包裹体外观形态实际辨识

原生流体包裹体随同萤石晶体一同生长生成,顺着矿物晶格延伸方向逐步成型,留存晶体生长阶段留存的原始流体标本。天然矿体内部包裹体样貌具备丰富类别,规整几何样式与异形块状形体均可普遍观测。品相完好的个体轮廓分明内腔充盈,整体架构匀称协调,体量区间横跨细微尺度至常规显微观测范围。晶体生长环境受力平稳区域形体规整匀称,外界应力与围岩物质带来干扰则会催生拉伸扭曲等形态异变,形貌层面显现的各类差别可以映照晶体生长阶段的环境状态,也能为研判初期成矿环境给出微观参考凭据。

(二) 次生流体包裹体空间分布排布规律

次生流体包裹体诞生于萤石晶体整体固结结束阶段,地层板块运动造成晶体开裂衍生细微缝隙,以此促成该类包裹体生成。形体排布不再契合晶格生长准则,大多顺着后期裂隙脉络集聚延伸,多以线条团簇条带样式成群散布,零散单体样本数量偏少。构造运动剧烈岩层错位频发地段裂隙纵横交错,包裹体聚集数量显著增多分布范围随之拓宽,地质活

动平缓岩体保存完好区域裂隙发育偏少,个体分布松散聚集规模偏弱。空间排布疏密形态范畴可体现矿体成型后外力改造力度,也能推断地层构造变动活跃区间与影响范畴。

(三) 变质改造包裹体结构构造变化特点

变质改造包裹体由原有两类包裹体经受后期地热与岩层变质作用重塑而成,固有密闭腔体随之产生破损重组现象。温压条件长期更迭会让腔壁出现凹陷薄化开裂等损伤,完整腔体被拆分成多处小型空腔,原本密闭空间形态彻底改变。深层地层强作用力持续施加会挤压拉扯腔体结构,形体随之发生弯折坍塌,内部流体原有排布状态与组分比例产生变动^[1]。变质作用各项参数直接左右结构破损变形程度,微观层面留存的改造痕迹,可作为回溯区域地质演变事件,界定外力改造强弱程度的关键微观判别依据。

二、流体包裹体物质组分构成特征分析

(一) 液相内部各类物质成分占比状态

流体包裹体所含液相承载萤石成矿相关物质,也留存矿化阶段各类地质信息,地表径流同地层原有地下水相融构成液相基础水体。深部流体沿地层不断移动期间,持续溶解围岩内各类可溶性盐类,多种离子物质均匀融汇在水体内部^[2]。矿层所处构造区位与矿化阶段不同,液相盐类搭配形式和离子配比均存在区别,整体显现分段分区的演变特点。矿化初始阶段水体杂质较少,溶解物质种类有限体量也相对低微,流体顺着岩层缝隙不断渗透并和围岩产生反应,水体内部溶解物质含量随之起伏波动,液相成分产生的细微改变,如实际体现流体萃取搬运矿物的完整流程,也客观展现水体与岩层交互作用的实际强度。

(二) 气相物质组成种类存在分布情况

气相物质集中留存于包裹体上部空腔, 流体内部挥发性物质以此形态保存下来, 成分构成以无机气体为主。萤石矿床包裹体气相包含单一气体与混合气体两大类, 气相占据腔体空间没有固定数值, 形成状态受制于矿化环境密闭程度与流体自身特质。深部密闭空间内挥发物质不易散失, 气相占据空间更大且成分构成更为繁杂, 矿体随地壳运动抬升至浅层区域, 整体封闭性能逐步下降, 挥发性成分不断向外消散, 浅层矿体包裹体气相空间收缩, 物质组成也趋向简单。气相品类含量及占比产生的变动, 对应矿化环境密闭状态的交替转变, 可作为研判成矿环境演变走势的有效参照。

(三) 子矿物伴生结晶产出基本表现形式

流体移动演化进程里温压酸碱条件持续更迭, 水体溶解矿物逐步超出容纳限度, 固态子矿物随之在包裹体腔体内析出。矿物晶粒生长形态各具特点, 部分紧贴腔体内壁延展凝结形成薄层结晶, 其余悬浮在液相当中以零散微晶形态分布。流体组分与所处环境条件存在区别, 析出矿物类别粒径及凝结疏密程度各不相同, 高压高温环境更容易生成颗粒饱满结晶完好的矿物, 环境条件趋于平稳则多形成细小晶粒。晶粒外形产出规模以及搭配样式, 直观体现流体矿物饱和水准与结晶形成条件, 完整还原矿化进程里物质沉降规律, 客观呈现流体对应的理化实际状态。

三、包裹体物理参数对应成矿环境判定

(一) 均一温度波动反映地层热力条件

流体包裹体均一温度可衡量矿化阶段地层热量环境, 数值起伏关联矿体周边热源强弱与热量分布格局。矿区深处邻近岩浆及地热异常地带, 热量传导作用更为突出, 包裹体测温数据普遍处于高位区间, 对应高温矿化生成环境^[3]。地壳运动带动矿体逐步抬升, 埋藏位置不断变浅, 地层热量向外散失速度加快, 浅层低温水体不断汇入流体体系促使整体温度稳步下降, 测温数值随之呈现阶梯式回落。矿化全程温度产生的起伏轨迹, 可以复原地层热量分布的动态转变过程, 显现前期高温聚积物质后期低温改造矿体的环境变化特点, 也能够依照温度差异完成热力阶段划分, 为研判成矿环境演变提供可靠数值依据。

(二) 盐度数值变化体现流体浓缩程度

依托液相内部各类离子含量便可核算流体盐度, 该项指标能够判定流体演化走向, 也可分辨流体浓缩与水体混合的实际进程, 盐分聚集规模直观体现水体损耗以及物质浓缩实

际进度。流体顺着岩层细小缝隙缓慢穿行期间, 长期和围岩产生物质反应, 外加地层温压持续作用促使水体不断损耗, 可溶性盐类不断堆积使得盐度稳步上涨, 流体浓缩状态持续加剧。地质构造出现贯通通道后外部水体汇入原生流体, 原有物质配比平衡被打破, 整体含盐水平随之明显下降。盐度出现的高低波动变化, 完整呈现水体流失物质汇聚以及流体相互掺混的复杂演变状态, 清晰展现流体内部物质结构调整的整体规律。

(三) 压力区间范围对应地层埋藏深度

包裹体成型瞬间承受的地层压力, 和矿体埋藏深浅、构造受力状态形成紧密关联, 压力参数能够反向推演矿体空间位移变化。矿化初始阶段矿体深埋地下, 上部覆盖岩层体量大, 岩层施加围压作用显著, 包裹体成型压力保持较高水平, 整体受力状态平稳稳固。地壳持续抬升伴随岩层风化剥蚀, 表层岩体不断剥离迁移, 矿体所处位置逐步抬升, 地层施加压力随之持续走低, 后期形成包裹体实测压力普遍偏小。不同时期压力数值呈现梯度差异, 勾勒矿体由深层深埋成矿转向浅层定型产出的空间变化, 直观体现区域地壳活动与岩层升降对应的地质演变趋势。

四、包裹体特征差异划分成矿演变阶段

(一) 初始成矿阶段流体初始活动状态

矿体发育前期地层构造逐步带动内部流体产生运动, 深处封存热液开始大范围流转, 顺着岩层脆弱部位与细微缝隙慢慢渗透延展, 原本分散的运移路径逐步连成整体。流体各项理化指标在此阶段保持平稳, 温压与含盐数值波动幅度微弱, 内部有用成矿元素溶解体量有限, 达不到晶体析出所需饱和标准。同期生成包裹体外形规整腔体完好, 内部物质形态结构简约, 气液两类成分配比均衡, 不会生成多样固态附属矿物。流体持续同周边岩层产生轻度物质交换, 稳步汲取岩层内部钙氟关键组分, 不断储备成矿基础物质, 疏通完善流体流电路径, 为后续萤石集中沉降堆积铺垫地质与物质基础。

(二) 主成矿阶段矿物大规模富集过程

此阶段构成萤石矿体成型核心环节, 地层温压环境与流体物质构成均契合晶体析出要求, 矿化反应活跃度抵达整个周期顶峰。前期物质储备与通道修整完成后, 流体内部成矿元素浓度超出溶解上限, 各项理化数值处在动态调整之中, 温压盐度均出现明显起伏波动。流体携带的络合物不断分解

重组,在适宜构造空间内凝结成型,萤石晶粒持续生长堆叠,逐步构筑矿体主体框架。该时期包裹体物质构成更为繁杂,物相组合样式多样,常伴随多种附属矿物共同产出,流体向固态物质转化效率达到峰值,也是矿区萤石矿产实现规模聚集的关键时段。

(三) 晚期成矿阶段残余流体沉淀表现

核心矿化进程落幕之后矿区地质体系慢慢归于平稳,地层当中仅留存少量残余流体,能够参与晶体生成的有效组分不断消耗缩减。区域构造运动力度持续弱化,流体流动速度逐步放缓整体活跃度不断下降,地层温压环境趋向平缓,无法支撑大范围结晶作用开展。残余流体里少量未沉降组分在稳定环境中缓慢凝结,形成体积微小分布零散的萤石晶粒与细脉矿带^[4]。后期产出包裹体整体规格偏小,腔体构造简易内部成分单一,气态物质占比偏低不存在复杂伴生矿物,标志大范围矿化进程逐步消退,整套成矿体系随之走向封闭定型。

五、流体包裹体演变联动矿床整体发育

萤石成矿作用机制分析

(一) 构造运动牵动流体空间移动路径

区域地壳挤压、拉伸及错动效应,孕育出断裂、褶皱、节理等多元地质构造,衍生的裂隙网络与构造空隙,构造成矿流体运移汇聚、矿物沉淀的主要通道及储集空间。地质构造的动态演化持续调控流体空间分布与运移轨迹,构造裂隙不断扩张贯通的过程中,流体活动范围持续拓展,长距离物质输送能力稳步提升。构造挤压闭合、岩体错动封堵的区域,原有流体流通通道遭到阻断,流体运移轨迹随之调整,成矿流体逐步向构造低压、空间开阔的优质矿化地段聚集。多期构造运动的叠加改造持续优化流体运移体系,引导成矿物质定向富集,为萤石矿床空间定位、规模化成型提供充足的构造动力支撑。

(二) 流体性质转变促使萤石结晶生成

成矿流体温度、压力、盐度、酸碱度等核心理化参数的动态变化,是诱发萤石矿物结晶沉淀的根本因素。成矿早期流体温压数值偏高,盐度状态稳定,钙氟成矿元素以络合离子形态稳定溶解于流体体系内部,不会产生结晶析出现象。流体持续运移过程中不断开展水岩反应,温压条件逐步衰减,盐度产生动态波动,酸碱环境持续偏移,流体原有物质溶解平衡彻底被打破,体系内稳定存在的钙氟络离子逐渐解离^[5]。

游离状态的钙离子与氟离子相互吸附聚合,初步形成细小萤石晶核,晶核持续吸纳流体中的成矿离子逐步发育壮大,流体理化属性的每一次细微调整,均可触发矿物结晶过程,持续推动萤石矿化进程有序推进。

(三) 多阶段叠加作用塑造矿体整体形态

萤石矿床的最终成型依托多期流体活动与地质作用的耦合叠加,不同成矿阶段的矿物沉淀特征各有差异,共同塑造了矿体的外部形态与内部结构体系。成矿初期的弱矿化效应生成薄层且分布零散的萤石微晶,构筑起矿体最基础的底层结构。主成矿期大规模的矿物结晶富集,有效扩充矿体厚度、延展规模与整体连续性,形成矿床的主体矿层构造。晚期残余流体产生的微弱矿化反应,填充矿体内部各类裂隙与空隙,完善矿体整体结构形态。构造运动、流体演化、矿物沉淀等多重地质效应相互作用、持续叠加,不断改造矿体的形态规模与空间分布特征,最终形成区内形态多样、结构复杂、规模不均的萤石矿床整体形态。

结语

本文以萤石矿床流体包裹体各类固有特征为研究基础,深入剖析其形貌、组分及物理参数蕴含的地质指示意义,通过包裹体差异化表现界定矿床成矿阶段,系统梳理流体活动演化规律与物质转化特征。结合外部构造改造作用与流体自身理化属性变化,厘清各期成矿过程的内在衔接关系,依托包裹体保留的原始地质信息还原矿床完整发育过程,深化萤石矿床成矿机理的研究认知,可为区域同类非金属矿床的地质研究与勘探工作提供理论参考。

[参考文献]

- [1] 张大明, 张连昌, 王宗胜, 等. 东昆仑喀拉克登萤石矿床流体包裹体及氢氧同位素地球化学特征[J]. 地质科学, 2026, 61 (02): 489-499.
- [2] 张建芳, 陈浩然, 伍江涵, 等. 萤石矿床成因研究方法与发展趋势[J]. 西北地质, 2024, 57 (04): 97-112.
- [3] 刘道荣, 商朋强. 中国萤石矿床流体包裹体研究进展[J]. 地质科学, 2024, 59 (02): 510-521.
- [4] 陈登, 刘志臣, 汤子程, 等. 贵州务川涪洋地区萤石矿床稀土元素地球化学特征[J]. 矿物学报, 2023, 43 (06): 861-872.
- [5] 黄振男, 方贵聪, 李根, 等. 桂东北黄关萤石矿床稀土元素和氢氧同位素特征[J]. 地质科学, 2023, 58 (03): 910-923.