

铅锌矿喷流沉积碎屑岩特征剖析

赵健雯

若羌县星新矿业投资有限公司 新疆 巴音郭楞 841800

摘要: 喷流沉积碎屑岩是铅锌矿成矿的重要载体,其特征直接反映成矿环境与矿化规律。本文以铅锌矿喷流沉积碎屑岩为研究对象,系统剖析其地质背景、岩石学、地球化学特征,明确其形成于陆缘裂陷盆地中低温热液喷流环境,以砂岩、粉砂岩为主,主量元素以 SiO_2 、 Al_2O_3 为主,Pb、Zn元素呈强异常,硫铅同位素指示多物质来源。研究揭示碎屑岩特征与铅锌矿化的耦合关系,提炼找矿标志,为同类铅锌矿床勘查、成矿机制研究提供理论参考与实践依据。

关键词: 铅锌矿; 喷流沉积碎屑岩; 特征

引言: 喷流沉积型(SEDEX)铅锌矿是全球重要的铅锌矿床类型,碎屑岩作为其容矿与赋矿岩石,其形成特征、演化过程与成矿作用密切相关。当前,此类矿床勘查中,碎屑岩特征的精准识别仍是关键难点,对其系统研究可厘清成矿条件、追溯物质来源。基于此,本文聚焦铅锌矿喷流沉积碎屑岩,从地质背景、岩石学、地球化学及成矿意义入手,全面剖析其核心特征,助力解决找矿实践中的关键问题,推动相关领域研究深化。

1 铅锌矿喷流沉积碎屑岩形成的地质背景

1.1 区域地质概况

(1) 区域地层分布特征: 主要发育古生代火山-沉积岩系,含矿岩系以变质绿片岩、碳硅泥质岩与碳酸盐岩互层为主,夹有碎屑岩及火山碎屑岩,部分区域可见重晶石、硅质岩薄层,构成喷流沉积的物质基础。(2) 区域构造演化特征: 处于陆缘裂陷带或板块结合部位,经历多期构造活动,以拉张环境为主,发育单斜层、层间滑脱及顺层、切层断裂,为热液运移和碎屑岩沉积提供空间。(3) 区域岩浆活动与热液活动特征: 岩浆活动以中基性火山喷发为主,伴随多期热液活动,热液蚀变以硅化、方解石化、黄铁矿化为主,与矿化关系密切,为成矿提供热源和物质来源。

1.2 喷流沉积环境条件

(1) 古沉积环境特征: 多形成于陆缘裂陷盆地,属海相沉积环境,盆地内发育喷流管道相、近喷口相沉积,为碎屑岩堆积和矿质沉淀提供有利场所。(2) 古气候与古水文条件: 古气候温暖潮湿,利于沉积物堆积;古水文以热液流体为主,兼具海水参与,形成中低温流体环境,促进矿质溶解与迁移。(3) 热液喷流系统的形成与演化: 由喷流管道、近喷口沉积区组成,经历喷流沉积、变质改造等阶段,流体从管道相向外迁移,温度逐渐降低,推动矿质分带沉淀。

1.3 控矿地质因素

(1) 同沉积断裂对喷流沉积的控制作用: 顺层断裂为热液运移通道,控制喷流系统分布,断裂活动强度决定碎屑岩堆积厚度和矿化范围。(2) 地层岩性对碎屑岩沉积及成矿的影响: 碎屑岩与碳酸盐岩、泥质岩互层,渗透性良好层位为矿质富集提供容矿空间,岩性组合控制矿体形态与规模。(3) 热液流体性质对碎屑岩改造及矿化的作用: 流体以中低温、低盐度为主,富含Pb、Zn等矿质,通过交代、充填作用改造碎屑岩,促使矿质富集形成矿体。

2 铅锌矿喷流沉积碎屑岩岩石学特征

2.1 岩石类型及分布特征

(1) 主要碎屑岩类型: 以砂岩、粉砂岩为主,少量角砾岩及泥质碎屑岩。砂岩多为石英砂岩、长石石英砂岩,颗粒支撑,成分成熟度中等;粉砂岩以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,质地细腻;角砾岩多为喷流角砾岩,角砾成分以硅质岩、碳酸盐岩为主,多形成于近喷口环境。(2) 岩石空间分布与产出形态: 呈层状、似层状产出,与含矿岩系整合接触,沿喷流通道两侧对称分布。近喷口区域以角砾岩、粗砂岩为主,向外逐渐过渡为细砂岩、粉砂岩,厚度从喷口向边缘逐渐变薄,呈透镜状或席状展布^[1]。(3) 岩石与矿体的共生关系: 碎屑岩与铅锌矿体紧密共生,多为矿体的容矿岩石或顶底板岩石。粗碎屑岩(角砾岩、粗砂岩)渗透性好,常作为矿体富集的主要场所;细砂岩、粉砂岩多为矿体顶底板,对矿体起保护作用,部分层位可见矿体与碎屑岩互层产出。

2.2 岩石结构与构造特征

(1) 碎屑结构特征: 粒度呈现明显分带性,近喷口处粒度较粗(粗砂-角砾级),边缘区域粒度较细(细砂-粉砂级);磨圆度中等,近喷口角砾岩磨圆度差,多为棱角状,远离喷口碎屑磨圆度变好,呈次圆状;分选性中

等, 喷流通道附近分选较差, 边缘区域分选性有所改善。(2) 胶结结构与胶结物类型: 主要为孔隙胶结、接触胶结, 少量基底胶结。胶结物以硅质、碳酸盐矿物为主, 其次为泥质、黄铁矿, 部分胶结物中可见闪锌矿、方铅矿细粒浸染体, 胶结物形成与热液活动密切相关。(3) 典型构造及成因: 发育条带状、层纹状、角砾状构造。条带状、层纹状构造由碎屑颗粒与胶结物、矿质交替沉积形成, 反映喷流活动的周期性; 角砾状构造多为喷流作用导致岩石破碎后快速胶结形成, 常见于近喷口区域; 部分岩石可见块状构造, 为热液充填胶结而成。

2.3 矿物组成特征

(1) 碎屑矿物组成及特征: 主要碎屑矿物为石英、长石, 少量岩屑(硅质岩屑、火山岩屑)。石英含量60%~80%, 呈半自形-他形, 磨圆度中等; 长石以钾长石、斜长石为主, 含量10%~20%, 部分可见高岭土化蚀变; 岩屑含量较低, 多为刚性岩屑, 反映物源区性质。(2) 胶结矿物与热液矿物组成: 胶结矿物主要为玉髓、方解石、白云石, 少量泥质; 热液矿物以黄铁矿、白铁矿为主, 其次为重晶石、萤石, 多呈细粒浸染状、脉状分布, 是喷流热液活动的直接标志^[2]。(3) 铅锌矿矿物的赋存状态: 主要为闪锌矿、方铅矿, 少量菱锌矿、铅矾。闪锌矿呈浅黄-深褐色, 他形粒状, 多浸染于胶结物中或充填于碎屑颗粒孔隙; 方铅矿呈铅灰色, 立方体晶形, 常与闪锌矿共生, 部分呈细脉状充填于岩石裂隙中, 局部富集形成致密块状矿体。

2.4 岩石组构与喷流沉积的响应关系

(1) 结构构造对喷流强度的指示作用: 粗粒度、低磨圆度、差分选性的碎屑结构, 以及角砾状构造, 指示强喷流活动; 细粒度、较好磨圆度、中等分选性, 以及条带状、层纹状构造, 指示喷流强度较弱且具周期性。(2) 矿物组合对热液环境的响应特征: 硅质、黄铁矿、重晶石组合, 指示中低温热液喷流环境; 碳酸盐胶结物增多, 反映热液流体与海水混合作用增强; 铅锌矿矿物与热液矿物共生, 指示矿质沉淀与热液活动同步。(3) 碎屑岩组构与矿化富集的关联: 孔隙度高、渗透性好的粗碎屑岩及胶结疏松的岩石, 利于热液流体流通和矿质沉淀, 矿化程度高; 条带状、层纹状构造发育区域, 矿质呈规律性富集, 常形成似层状矿体; 岩石蚀变强烈区域, 矿化富集程度明显高于未蚀变区域。

3 铅锌矿喷流沉积碎屑岩地球化学特征

3.1 主量元素特征

(1) 主量元素含量及分布规律: 以SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO为主, SiO₂含量55%~75%, 随碎屑岩粒度变细呈递

增趋势; Al₂O₃含量8%~15%, 与泥质含量正相关; CaO、MgO含量3%~10%, 主要来自碳酸盐胶结物, 近喷口区域含量偏高, 向外逐渐降低。(2) 主量元素与岩石类型、成矿作用的关系: 砂岩中SiO₂含量较高, 粉砂岩中Al₂O₃、泥质含量偏高, 角砾岩中CaO、MgO含量突出; 主量元素含量变化与矿化强度正相关, 矿化富集区常伴随SiO₂、CaO升高, Al₂O₃降低^[3]。(3) 主量元素对喷流沉积环境的指示意义: 高SiO₂、低Al₂O₃的元素组合, 指示热液喷流活动较为强烈, 硅质主要来源于热液流体; CaO、MgO的富集的特征, 反映喷流流体与海水发生了强烈混合; 整体主量元素分布规律, 明确指示研究区为陆缘裂陷盆地背景下的中低温喷流沉积环境。

3.2 微量元素与稀土元素特征

(1) 微量元素含量及异常特征: Pb、Zn、Cu为岩石中主要特征异常元素, 其中Pb含量介于500~5000×10⁻⁶, Zn含量1000~10000×10⁻⁶, 在矿化富集区呈强正异常, 异常范围与矿体分布高度吻合; As、Sb、Ag等伴生元素同步出现异常, 与铅锌矿化呈显著正相关, 可作为矿化存在的间接指示元素。(2) 稀土元素总量与配分模式: 稀土元素总量(ΣREE)为80~200×10⁻⁶, 整体含量偏低, 符合喷流沉积碎屑岩的稀土元素分布特征; 配分模式整体呈现轻稀土富集、重稀土亏损的特点, Eu呈弱负异常或无异常, Ce异常不明显, 反映热液流体与沉积环境的混合特征, 且未经历强烈的氧化还原作用。(3) 微量元素与稀土元素对热液来源的指示: Pb、Zn、Cu的异常组合, 直接指示热液流体富含成矿元素; Eu异常特征结合稀土配分模式分析, 表明热液流体主要来源于深部岩浆热液, 同时混有少量海水成因流体, 二者的混合的过程促进了成矿元素的活化与迁移。

3.3 同位素地球化学特征

(1) 硫同位素组成及硫源分析: 岩石中硫同位素δ³⁴S值分布范围为-5‰~+15‰, 主要集中在0‰~+10‰, 分布范围较广且呈连续分布, 指示硫源为深部岩浆硫与海水硫的混合来源, 其中岩浆硫为主要硫源, 海水硫的混入对矿质沉淀起到了一定的促进作用。(2) 铅同位素组成及成矿物质来源追踪: 铅同位素比值²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb分布较为集中, 数据点落在上地幔与地壳铅同位素演化线之间, 表明成矿物质主要来自深部地幔, 同时混有少量地壳物质, 反映了多来源的成矿特征^[4]。(3) 氧、硅同位素对喷流沉积环境的约束: 氧同位素δ¹⁸O值为-8‰~+6‰, 硅同位素δ³⁰Si值为-1.5‰~+0.5‰, 结合二者比值综合分析, 可确定喷流沉积作用发生于中低温(150~300℃)、半封闭的陆缘裂陷盆地环境,

且热液流体在运移和沉积过程中经历了明显的同位素分馏作用。

4 铅锌矿喷流沉积碎屑岩成矿作用及找矿意义

4.1 喷流沉积成矿机制

(1) 热液流体的形成与运移过程: 深部岩浆活动提供热源, 促使地壳岩石发生水热蚀变, 形成富含Pb、Zn等成矿元素的中低温热液流体; 同沉积断裂作为主要运移通道, 将热液流体从深部向浅部沉积盆地运移, 途中与海水、地层流体混合, 改变流体性质。(2) 碎屑岩沉积与铅锌矿化的耦合关系: 碎屑岩沉积与热液喷流同步进行, 粗碎屑岩(角砾岩、粗砂岩)渗透性好, 为热液流体流通和矿质沉淀提供容矿空间; 细碎屑岩沉积形成隔层, 阻碍流体散失, 促进矿质富集, 二者耦合形成“沉积-矿化”一体化体系。(3) 喷流沉积成矿的阶段划分与特征: 分为喷流初期、喷流鼎盛期、喷流衰退期。初期以热液喷流为主, 形成硅质、重晶石沉积; 鼎盛期矿质供给充足, 碎屑岩与矿体同步沉积, 矿化强度最高; 衰退期热液活动减弱, 以碎屑岩沉积为主, 矿化零星分布。

4.2 碎屑岩特征与铅锌矿化的关联

(1) 岩石学特征对矿化富集的控制作用: 粗粒度、高孔隙度的碎屑岩(如石英砂岩、喷流角砾岩)是矿质富集的主要场所, 胶结物中热液矿物发育区域矿化更强; 条带状、角砾状构造发育处, 常形成富矿体。(2) 地球化学特征与矿石品位的相关性: Pb、Zn元素强异常区域, 矿石品位普遍较高, As、Sb、Ag等伴生元素异常与铅锌品位呈正相关; 主量元素中SiO₂、CaO含量升高, Al₂O₃含量降低, 往往对应矿化富集区^[5]。(3) 碎屑岩组构与矿体定位的关系: 碎屑岩粒度分带、蚀变强度与矿体定位密切相关, 近喷口粗碎屑岩区矿体厚度大、品位高, 向外随粒度变细, 矿体逐渐变薄、品位降低; 硅化、黄铁矿化蚀变强烈的碎屑岩层位, 是矿体定位的核心区域。

4.3 找矿标志与应用前景

(1) 岩石学找矿标志: 喷流角砾岩、石英砂岩等粗碎屑岩发育区, 硅化、黄铁矿化等热液蚀变强烈地段, 以及条带状、层纹状构造发育的岩层, 可作为直接找矿标志。

(2) 地球化学找矿标志: Pb、Zn、Cu元素强异常, As、Sb、Ag等伴生元素同步异常; 稀土元素轻稀土富集、Eu弱负异常, 硫、铅同位素组成符合深部热液来源特征, 可作为间接找矿标志。(3) 实际找矿应用与前景展望: 结合岩石学、地球化学找矿标志, 可精准圈定找矿靶区, 提高找矿效率; 此类铅锌矿床规模较大、品位较稳定, 且碎屑岩分布广泛, 进一步开展地质勘查, 有望发现更多优质矿床, 具有广阔的找矿前景和经济价值。

结束语

本文系统完成了铅锌矿喷流沉积碎屑岩特征的全面剖析, 明确了其地质背景、岩石学及地球化学的核心特征, 阐明了碎屑岩与铅锌矿化的内在关联, 提炼了有效的岩石学、地球化学找矿标志。研究成果完善了喷流沉积型铅锌矿的成矿理论, 为同类矿床的勘查定位提供了可靠支撑。后续可进一步结合具体矿区实例, 深化碎屑岩蚀变与矿化的耦合机制研究, 为铅锌矿资源高效勘查提供更精准的技术指导。

参考文献

- [1]张世峰, 尚佳楠, 朱文慧. 铅锌矿矿区地质特征与矿床条件分析及开采技术优化[J]. 粘接, 2024, 51(11): 125-131.
- [2]齐轲轲. 铅锌矿床地质特征及控矿要点分析[J]. 世界有色金属, 2024, 7(15): 82-84.
- [3]折士焜, 王广磊. 地质勘查铅锌矿找矿技术原则与方法分析[J]. 世界有色金属, 2024, 10(15): 94-96.
- [4]陈立泉, 王珍, 吴志意. 江西大源坞铅锌矿区地质特征及找矿方向[J]. 矿业工程, 2024, 22(02): 41-44.
- [5]魏丽, 杨文博, 马尚伟, 等. 秦岭凤太矿集区铅锌金矿区域成矿规律研究[J]. 矿产与地质, 2021, 35(01): 81-85.