

青海鄂拉山中段地质构造、矿化蚀变特征及矿床勘查研究

范国均 贺淑兰

西藏金海矿产资源开发有限公司（核工业西藏地质调查院） 四川 成都 610000

摘要：青海鄂拉山中段坐落在秦昆造山带的接合部，地质构造复杂，具备优越的成矿环境。本文凭借地质调查和综合分析手段，凸显鄂拉山造山带中段以NNW向构造为主要样式，伴随多期的火山活动与岩浆的侵入，产生了斑岩型、火山岩型及构造-热液型等多种矿化蚀变的类型，成矿物质体现火山-岩浆多源的性质，成矿时代主要集中在印支期，在勘查技术方面，磁法、激电法跟化探异常查证相结合遥感解译，可有力圈定靶区，典型矿床勘查的实际案例显示，立体工程部署对深部矿体的揭露有关键意义。

关键词：青海地区；鄂拉山造山带；地质构造；矿化蚀变；矿床勘查

引言

青海鄂拉山造山带是青海省重要的铜多金属成矿带，其地质构造演化跟成矿作用的联系一直是区域地质研究的关键要点，工作区坐落于造山带南部中段区间、温泉断裂以东地方，因西秦岭与东昆仑造山带侧向碰撞而受影响，形成了以西北偏北方向压扭性断裂为特点的构造格架^[1]，掌控着陆相火山岩分布及中酸性侵入活动，区内矿化蚀变受构造-岩浆活动双重牵制，呈现出复杂的分带特点与成矿模式，开展针对地质构造、矿化蚀变特征及勘查技术的研究，对深入认识区域成矿规律、提高找矿效率具有重要的实践意义。

1.1 区域构造格架与演化

研究区坐落于鄂拉山造山带中段、温泉断裂(WQF)的东边，该造山带是西秦岭跟东昆仑造山带侧向碰撞所形成的，是西秦岭朝着柴达木地块下方俯冲碰撞的典型结果，属于青海省关键的铜多金属成矿带，区域构造线走向主要为近东西向和北北西向，早期基础构造便是东西向构造，北北西向构造从印支运动起开始形成并发展，伴有强烈的岩浆活动^[2]。由于北北西向构造对东西向构造进行了叠加、利用与改造操作，造就了本区以北北西向构造为主导、东西向构造呈片段留存的构造格局，构造线呈现出340°~350°方向压扭性断裂的特性，并且受到哇洪山-温泉北北西向走滑断裂的牵引，具有向西北收敛、朝东南散开的特点，晚三叠系陆相火山岩、火山构造以及印支中、晚期中酸性侵入岩主要聚集在构造收敛部位产出。

1.2 断裂构造分布与活动性

研究区断裂构造，走向主要是东西向、北西向、北北西向以及近南北向，早期东西向断裂往往被北西向、北北西向或近南北向断裂破坏或改造，在哇洪山-温泉

一线以北的地方，北西向或近南北向断裂占主导，构成区域范围内规模较大的哇洪山-温泉断裂带。该断裂带是按照北北西~南南东的方向分布，带宽在10km至20km这个范围，具备多期活动的延续性，从区域地质图中明显可看出其具备右旋走滑的性质，沿断裂带广泛存有晚三叠世陆相火山岩与数个火山喷发机构，另外有大量印支期中酸性侵入岩，其中早、中三叠世地层褶皱十分强烈，但大多遭受侵蚀或错断，次级断裂构造也极其发育，均对侵入岩、火山岩及金属矿化的产出起着控制作用。

1.3 褶皱构造类型与变形特征

研究区地层总体呈向正东及北东方向倾斜的单斜构造，仅在索妥加洋-虎达龙洼一带有轴向北北西的背斜状况显示，但由于印支期侵入岩所造成的破坏，背斜特征已显得不那么明显，这体现出该区大地构造活动频繁，应力方向相对单一，多期构造叠加致使地层常出现缺失，多期构造运动影响了褶皱构造，变形特征大多呈现为简单单斜构造，局部能看到因构造活动产生的背斜构造，但保存的完整性较差，整体上变形强度相对有限度，地层产状明显受到构造的控制^[3]。

1.4 火山构造与岩浆活动关联

区域之中火山构造比较发育，可看到德亥龙火山穹窿、虎达破火山口、果洛恰当火山裂隙通道、在日沟火山通道、格尔和加亥尔火山爆发岩筒等，以及与之相随出现的环状、半环状、放射状火山断裂，晚三叠世火山活动被温泉、水塔拉北北西向断裂给控制住了，火山岩集中在两条断裂之间分布，各类岩性均沿北北西向呈带状展开，以陆相中心式的喷发爆发活动为主，体现多期次、多中心喷发的特性，引发本区形成大面积分布的陆相火山岩现象。岩浆活动十分活跃，火山岩、侵入岩分布范围广，受区域构造制约，呈北北西向伸展，中酸性

与酸性岩在岩浆岩中占主导，其次是中性岩，存在少量基性岩呈岩脉产出，次火山岩为火山活动后期的产物，跟火山喷发活动在时空上存有内在的联系，大多分布在火山机体及其周边，或者沿着火山断裂构造、火山通道侵入，岩浆活动不但造就了各类岩浆岩，还为成矿过程供给了物质来源与热动力要素，和区域里金属矿化关系亲近。

2 矿化蚀变特征分析

2.1 斑岩型矿床特征与控矿因素

研究区内的在日日沟地区因构造和岩浆岩的复杂性，出现斑岩型、热液型、火山机构成因的多类型矿体。斑岩型矿床蚀变呈现出鲜明的分带性，以花岗杂岩体为环绕对象呈规律分布，处于在日日沟火山喷发中心的细粒花岗岩内，中心处出现了石英钾长石化带，伴随呈现辉钼矿化，说明存在高温热液环境；向外逐渐变为绢云母泥化带，主要为黄铜矿化，体现中温热液交代现象；接触带周边形成了青磐岩化带，存有铅锌银砷矿化现象，属于低温热液所引发的蚀变，构造裂隙为热液运移的主要通道，左右着矿体的分布格局，就像杂岩体内的放射状断裂带是铜钼矿化的主要赋存之处，岩体跟围岩接触带因为应力聚集形成了有利于成矿的空间。斑岩型矿床蚀变分带特征显著，以在日日沟火山喷发中心的花岗杂岩体为核心，呈现出明显的同心环状分布规律^[4]。岩体中心的高温热液环境形成石英钾长石化带，辉钼矿化与之伴生；向外随热液温度降低，依次出现绢云母泥化带，发育黄铜矿化，体现中温热液交代作用；接触带附近的低温环境则形成青磐岩化带，赋存铅锌银砷矿化。构造裂隙系统作为热液运移的关键通道，控制着蚀变分带与矿体分布，杂岩体内放射状断裂带是铜钼矿化的主要赋存空间，而岩体与围岩接触带因应力集中成为多金属矿化的有利场所，这种蚀变-矿化分带模式与岩浆热液的多阶段演化过程密切相关。

2.2 火山岩型矿床成矿模式

火山岩型矿床的成矿跟晚三叠世陆相火山活动紧密相关联，鄂拉山组的火山岩里，酸性流纹岩段（T3eb）跟中性安山岩段（T3ea）一同构成多旋回喷发序列，火山机构（像破火山口、火山颈之类）周边生长出环状-放射状断裂，成为了矿液沉淀的理想地方。虎达破火山口周边的安山质火山角砾岩里，呈脉状的黄铁矿化、黄铜矿化充填进裂隙中；流纹质凝灰岩缘于富含火山玻璃质，容易被后期热液实施交代改造，造就以细脉浸染状存在的铜钼矿化，火山喷发间歇时的沉积环境有助于金属元素初步富集，后期经热液叠加改造后形成工业矿体。

2.3 构造-热液型矿床赋存规律

构造-热液型矿床受断裂构造的控制十分明显，尤其是北北西向主断裂和次级断裂相互交汇的地方，哇洪山—温泉断裂带的次级断裂，像在日日沟隐伏断裂和其派生的“羽状”“放射状”断裂一起，构成了导矿-容矿构造网络，热液顺着断裂运移的过程中跟围岩交代，造就硅化、绢云母化、绿泥石化等蚀变现象组合，随之伴有铅锌银矿化情形，区内铅锌银矿体呈分枝脉状出现在近南北向的断裂破碎带范围，矿体的产状跟断裂走向相一致，蚀变强度跟矿化品位呈正相关态势，说明构造对矿体形态、产状及矿化富集起着控制的作用^[5]。

2.4 成矿物质来源与成矿时代约束

成矿物质来源具多源性：铅同位素分析说明，铅锌银矿化的铅同位素比值跟酸性凝灰熔岩一致，表明火山活动乃是主要物源；铜钼矿化和印支期花岗岩杂岩体的关系十分紧密，岩体与火山岩的锶同位素初始数值差不多，表明是同源岩浆的背景，经热液包裹体测温表明，成矿温度在岩浆期后为422°C，随后逐步降到火山热液期的205°C，体现成矿有着从高温到中温再到低温的多阶段演变过程，各期次热液活动叠加起来形成复杂的蚀变组合，结合同位素测年以及地质事件序列，区内主要的成矿时代聚焦于印支期，跟火山活动以及岩浆侵入的时代契合。

3 矿床勘查技术与方法

3.1 综合物探手段的实施

磁法跟激电法是该区开展矿床勘查的核心物探手段，磁法测量能有效确定岩浆岩体及含磁性矿物的矿化带范围，譬如此处在日日沟花岗杂岩体周边，高精度磁异常（ $\Delta T = 100\text{nT}$ 等值线）跟岩体分布范围相契合，展现出北北西走向的不规则马蹄形态，反映出岩体浅部的形态以及蚀变带分布。激电法凭借探测岩石极化率跟电阻率的区别，找出含矿热液蚀变的区域带，好比在东部重点工作区域里开展的1:1万激电中梯做扫面工作，找出了9处视极化率异常，其中M1异常区视极化率能达到9%以上，与强蚀变花岗岩和断裂破碎带相对应，测深验证表明深部有低阻高极化体存在，估计是隐伏矿体引发的，磁法跟激电法联合运用，可构建从岩体边界到矿化核心的立体地球物理模型，为钻探工程的靶区定位给出依据。

3.2 化探异常查证与靶区圈定

化探异常查证基于水系沉积物测量和土壤测量，配合开展岩石地球化学剖面的剖析，1:20万水系沉积物测量表明，日沟地区发现AS7乙1综合异常，面积达到了

305km², 以Ag、Pb、Zn为主要的元素组合, 显现出清晰的内、中、外浓集分带, 分别测得峰值为 1.4×10^{-6} 、 118×10^{-6} 、 194×10^{-6} , 暗示存在中低温硫化物矿床的潜力。1:1:1万土壤测量又圈出AP7等7处异常, 其中Ag、Cu、Pb、Zn的套合情况良好, 异常形态受地形跟构造的控制, 呈现不规则的模样, KH1矿化带土壤样品里, Cu含量达到 0.799×10^{-2} 、Ag达到 164×10^{-6} , 达到工业可采品位。经由异常分带特征及元素垂向迁移规律, 深部出现富集Cu、Mo的现象), 可以划分出铅锌银的浅部矿化带以及铜钼的深部矿化带, 结合构造裂隙所处的分布格局, 确定出柔龙—在日日铅锌找矿靶区以及索拉沟银铅靶区, 为后续槽探、钻探活动提供精准的靶位。

3.3 遥感地质解译与找矿预测

遥感技术靠提取线性构造、环形构造及蚀变信息达成, 辅助鉴别控矿构造与成矿远景区, 就日沟地区的遥感影像而言, 北北西向线性构造跟温泉断裂带的走向一样, 对火山岩地层进行切割, 形成串珠状负地形, 而德亥龙火山穹窿表现出环形水系及放射状纹理, 说明火山机构存在控矿特征。蚀变信息提取的结果显示, 绢云母化、硅化等中高温蚀变区表现出浅色调异常, 与激电异常区的重叠部分占比达70%以上, 而青磐岩化带呈现出深色调, 与铅锌银矿化范围相契合, 依靠遥感解译与地面查证相结合做法, 能够快速划定构造-岩浆活动强烈区域, 好似在日日沟火山喷发中心附近, 遥感鉴别出放射状断裂与环状蚀变带, 跟化探异常叠加以后, 揣度此区深部存在斑岩型铜钼矿体。

3.4 典型矿床勘查工程部署案例

以在日沟铜多金属矿床做例子, 勘查工程依照“物探定位、化探定性、工程验证”的原则开展, 起始依靠1:1万激电中梯法圈出M1异常, 采用磁法以确定杂岩体接触带位置, 之后进行100m×40m土壤测量网的安排, 明确Cu、Mo浓集中心。在异常中心借助槽探实施揭露, 察

看到石英绢云母化蚀变带, 而后对ZK2、ZK8等钻孔展开施工, 在400m深度处揭露到厚8.71m、Zn品位为1.095%的锌矿体以及厚5.01m、Cu品位为0.33%的铜矿体, 针对隐伏的钼矿带, 依靠重力与航磁异常推测的深部构造界面, 实施500m深度中深钻的安排, 在混合岩化花岗岩里检测到辉钼矿化, 工程部署时重视立体把控, 比如在北北西向断裂和东西向隐伏断裂的交汇区域, 借助斜孔追踪矿体的走向, 切实增强了深部矿体的揭露效果。

结论

青海鄂拉山造山带南部中段地质构造以北北西向的压扭性断裂为主, 牵制着陆相火山岩分布与中酸性侵入活动, 生成斑岩型、火山岩型及构造-热液型多样矿化蚀变类型, 成矿物质体现火山-岩浆的多源性质, 成矿时代聚焦于印支期, 蚀变分带和构造-岩浆活动关联紧密。勘查活动实践说明, 磁法、激电法跟化探异常查证一同结合遥感解译, 可高效圈出找矿的目标区域, 立体工程的科学部署对深部矿体揭露意义重大, 研究成果给该区铜多金属矿床勘查提供了地质依据和技术途径, 深部与外围的找矿潜力仍需依靠进一步工程去验证。

参考文献

- [1]马玉亮.青海省地质构造对矿床形成的控制作用研究[J].中国金属通报,2024,(09):79-81.
- [2]何永波,刘乾.矿床地质构造特征及其对成矿模式的制约关系研究[J].世界有色金属,2023,(24):194-196.
- [3]道吉草.综合物探在近距离矿床地质构造探测分析[J].现代工业经济和信息化,2023,13(04):277-278+281.
- [4]张建太,于磊,刘传朋,等.鲁西金刚石原生矿床区域重磁异常特征及深部地质构造背景[J].地质学报,2020,94(09):2783-2795.
- [5]徐鸣,姚仲友,沈莽庭,等.巴西巴伊亚圣弗朗西斯科克拉通北部地质构造背景、矿床类型及其成矿作用[J].地质通报,2017,36(12):2164-2178.