

# 陕西山阳桐木沟锌矿床块状富矿的成因新探

## New Inquire into Origin of Rich Massive Ore of Tongmugou Zn Deposit, Shaanxi Shanyang

王海山<sup>1</sup> 刘 讯<sup>2</sup> 郭 健<sup>1</sup> 李宝忠<sup>1</sup>

(1 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054; 2 陕西奥威科技矿产有限公司, 陕西 西安 710001)

Wang Haishan<sup>1</sup>, Liu Xun<sup>2</sup>, Guo Jian<sup>1</sup>, Li Baozhong<sup>1</sup>

(1 Northwest Non-ferrous Geology Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 Shaanxi Aowei Science Technology Minerals Limited Company, Xi'an 710001, Shaanxi, China)

**摘 要** 本矿床包括条纹贫矿及块状富矿两种矿石类型, 一系列地质地化特征反映出本区块状富矿矿质来源除部分由条纹贫矿受到岩浆热液改造提供外, 更主要的还应由岩浆热液从深部带来, 富矿成矿与邻近的钠长岩体侵入活动有关。

**关键词** 块状富矿 条纹贫矿 再平衡岩浆热液 钠长岩侵入 桐木沟锌矿床

桐木沟锌矿床于20世纪80年代由陕西省地矿局13队勘探后交山阳县地方开采利用。总储量31.34万吨, 其中75%的Zn>10%, 铅很少, 属中型单锌矿床。90年代末发生资源危机, 后通过我院进行研究及工程验证, 使原储量范围有所扩大, 目前矿山开发出现了初步转机。成矿认识上也由热水沉积改变为岩浆热液成矿并明显受层间断裂控制。

## 1 区域及矿区地质简况

桐木沟锌矿床位于秦岭微板块北缘柞水—刘岭拉张裂谷残余陆缘型海盆地内, 沉积地层为中上泥盆统浅海陆棚相至深海凹地相碎屑岩及碳酸盐岩沉积, 遭受后期区域变质作用, 形成高绿片岩相至低角闪岩相。容矿地层为中泥盆统青石垭组下段(D<sub>2</sub>q<sub>1</sub>), 普遍富含碳质及黄铁矿等硫化物, 属深海凹地相沉积, 在原区域变质基础上又叠加了部分热液蚀变作用, 形成了一套黑云母方柱石角岩岩系。

印支构造运动中期发生华北、秦岭及扬子3个微板块相互碰撞和拼接, 秦岭造山带进一步上升。印支晚期进入陆内俯冲碰撞活动阶段, 原海盆沉积地层发生隆起、褶皱、断裂、岩浆活动及逆冲推覆作用, 形成一系列EW向及NWW-SEE向大型断裂褶皱带。本区外围形成了北以扬斜-丹凤-商南, 南以凤镇-山阳-竹林关两大断裂为界的蔡玉窖-西庐山复向斜, 并沿东部形成次级梳状挤压褶皱分枝, 本矿床即定位于次级分枝褶皱近EW向展布的冒草坪-马鹿坪倒转向斜北部倒转翼上。

燕山运动早期区域上明显受到NE向构造影响, 沿NEE向压扭性断裂F<sub>2</sub>侵入了不规则岩墙状钠长岩, 伴随有花岗斑岩、石英斑岩及闪长玢岩脉。钠长岩体与F<sub>2</sub>均斜切地层, 使得矿区地层出露西窄东宽, 并由F<sub>2</sub>派生出与其锐角相交的断裂F<sub>3</sub>(位于F<sub>2</sub>南侧), 具张韧性, 呈近EW向沿条纹矿含矿层位延伸, 是本矿区重要控制断裂。

## 2 两种矿石类型及其产出特征

### 2.1 条纹贫矿

主要分布在4线以东矿段, 长>700 m, 厚1~19 m, 均厚1.53 m, Zn品位变化大, 为0.75%~10.11%, 平均品位3.08%。

另在 4 线以西矿段也有部分分布。

矿石由条纹、条带状金属硫化物闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿组成, 围岩由黑云母角闪岩或碳质千枚岩组成。条纹条带宽约 0.1~1.5 cm, 闪锌矿条纹条带占矿石的 10%~30%, 明显受沉积韵律控制, 宽窄变化大并具多层性。矿层与围岩往往呈渐变过渡关系, 属典型泥盆纪热水沉积成矿, 按金属量折算约占总矿量的 30% 左右。

## 2.2 块状富矿

主要分布在矿区中西部 4 线以西, 受  $F_3$  的控制, 呈似层状、豆荚状产出, 具尖灭再现, 平行多层特征。矿段总长 >800 m, 厚 0.35~19.36 m, 均厚 3.93 m, Zn 品位 0.69%~43.33%, 平均品位 15.7%, 主要分布于 4~18 线, 出露标高 1130~1350 m。矿体由西向东、逐渐变薄变贫由连续到断续, 直至东部 4 线变成 0.3 m 以下, 至东部 17 线随  $F_3$  消灭而消失, 矿体由东向西侧伏趋势明显, 侧伏角约 30~40°, 可能与倒转向斜倾伏有关。

矿石呈微密块状、角砾状、宽条带状构造(单层宽 >3 cm); 细至中粗粒自形一半自形粒状结构, 交代熔蚀或包含结构; 可见闪锌矿交代黄铁矿或充填于黄铁矿与脉石矿物裂隙之间, 有时块状矿石中可见呈次棱角状出现的条纹贫矿或围岩角砾。

矿石中金属矿物主要为闪锌矿, 往往可形成致密块状的质纯矿石, 一般伴生有黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿及少量方铅矿、毒砂、黝铜矿等; 脉石矿物主要为绢云母、钠长岩、石英、方解石、铁白云石、绿泥石、黑云母等。围岩蚀变发育, 主要为多种角岩化、硅化、钠长石化、黑云母化、方解石化、铁白云石化、方柱石化、绿帘-绿泥石化等。蚀变强烈地段矿石变富变厚, 此时原围岩中条纹矿石消失或呈角砾状包含于块状富矿之中, 反映块状矿石与附近的钠长岩体侵入有成因联系。

矿物结晶顺序为: 方柱石、黑云母、铁白云石→钠长石、方铅矿→脉状方解石、白云石及石英。矿石中伴生的微量矿物: 方柱石、角闪石、黝帘石、黑云母、白云母、电气石、榍石、金红石、锆石、磷灰石等, 反映中高温岩浆热液作用的存在。

## 3 块状富矿地球化学特征

### 3.1 流体包裹体特征

根据矿石中闪锌矿及石英包裹体测定, 含矿流体的成分比较复杂, 属于  $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{Ca}^{2+} \text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-} \text{F}^-$  型, 含有大量气态水及  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  相和当量的  $\text{Mg}^{2+}$ , 存在明显的气液包体不相容情况。

流体盐度为  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  为 19%~21%, 密度为 1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>, pH 值为 3.664, Eh 值为 0.2347, 闪锌矿与钠长石的包体均一温度分别为 122℃ 及 320℃, 成矿压力为  $120 \times 10^5 \text{Pa}$ , 笔者参照公式  $P = H \rho g$  计算的成矿深度为 450 m。

综上资料认为: 含矿流体先期为富含  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子的偏碱性溶液, 成矿作用发生在近地表的浅成环境中。

### 3.2 氢氧同位素特征

根据块状矿石伴生石英包裹体水分析,  $\delta D = -92\% \sim -108\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = +19.5\% \sim +20.8\%$ , 经石英水平衡体系计算后得  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +6.4\% \sim +7.9\%$ , 投影于  $\delta D - \delta^{18}\text{O}$  图上在 AuCu-FeCo 系列初始混合岩浆水范围。

### 3.3 铅同位素特征

矿区共采 16 件样品, 无论矿石铅还是地层铅, 同位素比值变化均很小, 即  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.94 \sim 18.14$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.53 \sim 15.69$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.94 \sim 38.699$ ; 它们都有着相似的铅同位素组成。在卡农三角图解上均落入正常铅范围。

通过 H.H 法计算的  $\phi$  值年龄有两组: ① 容矿地层及同生条纹矿石为 375~397 Ma, 时代为中泥盆纪; ② 块状矿石年龄值为 416~472 Ma, 相当于早古生代志留纪—奥陶纪, 明显老于前者, 暗示了深部古老基底地层如下古生界丹凤群火山岩提供铅源的可能性。

在礼特曼铅同位素构造模式图中, 所采样品投影于上地壳与造山带广阔范围。反映了矿质既有上地壳泥盆系沉积铅又有深部基底造山带或同熔型岩浆岩带来的深源铅, 它们通过后期的印支-燕山期地壳构造运动, 又重新转入热液进行二次沉淀成矿。

### 3.4 硫同位素特征

本区 35 件样品分析,  $\delta^{34}\text{S}$  总的分布范围为 +2.8‰~+2.1‰, 可划分出块状矿石 26 件,  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +11‰~+20.5‰; 地层及条纹矿石 6 件,  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +2.8‰~+16.1‰; 钠长石 3 件,  $\delta^{34}\text{S}$  为 +15.3‰~+17.0‰, 它们均偏离零线富集重硫, 其中块状矿石偏离零线最远, 相对集中明显。众值区为 +13.9‰~+20.5‰, 矿物硫同位素分馏明显, 表现为黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿, 反映成矿阶段硫同位素分馏基本达到平衡, 外推法计算的全硫值  $\delta^{34}\text{S}_{\text{S}_8}$  为 17.0‰, 从  $\delta^{34}\text{S}$  值的分布位置来看, 块状矿石的硫不像深部岩浆型靠近零线或一般外生沉积(包括条纹矿石)型分布宽广, 并有时还有负值等特征。

## 4 成矿机制探讨

### 4.1 成矿物质来源分析

(1) 由铅同位素年龄推测部分金属来自泥盆纪深海凹地中热水沉积作用生成的条纹矿层, 但根据计算, 在相同范围内, 条纹矿层所含锌金属量仅占块状矿石锌金属量的  $1/3$  左右, 所以仅靠同生热水沉积贫矿来改造成富矿是远远不够的, 还有外来金属锌的大量加入才行。

根据矿区北部秦岭群(包括原来划出的丹凤群) 93 件变质火山岩分析, 有色金属元素含量如下: Pb 为  $4.9 \times 10^{-6}$ 、Zn 为  $67.7 \times 10^{-6}$ 、Cu 为  $36.0 \times 10^{-6}$ 、Co 为  $27.1 \times 10^{-6}$ 、Ni 为  $20.7 \times 10^{-6}$ 。且部分铅同位素年龄值属于早古生代, 故推测更多的矿质锌元素源于深部基底地层——下古生界丹凤群变质火山岩或由其重熔而成的岩浆岩, 通过钠长岩侵入及相伴岩浆热液作用而将深部矿质带上来进一步叠加富集成矿的。

(2) 硫同位素组成特征判断金属硫化物富重硫, 主要由于高温热液影响, 泥盆纪沉积地层中的硫酸盐沉积夹层发生无机还原反应, 先生成富重硫的  $H_2S$ , 再转而生成为富重硫的块状矿石。

(3) 水源: 根据氢氧同位素资料得知, 成矿流体属于 Au-Cu-Fe-Co 系列初始混合岩浆水类型, 它是含有早期地表水成分的岩浆水, 当它流经冷凝固化后的岩浆岩及附近基底地层时, 能够熔滤其中金属组分而形成再平衡的含矿岩浆热液, 遇到后期的构造减压作用时, 再返上来进一步沉淀成矿的。

(4) 热源: 通过矿区钠长岩的研究, 认为它属于某种深源浅成斑岩型岩浆岩, 其深部相关母岩可能为陆壳重熔型中酸性岩浆岩与部分幔源碳酸岩的混合物, 所以向上部近地表构造空间成矿提供热量的是巨大的, 沿  $F_2$  断裂侵入的钠长岩体两侧上百米宽的热液蚀变角闪岩带的出现, 就是一个有力的证据。

### 4.2 容矿构造

沿倒转向斜倒转翼发育的压扭性断裂  $F_2$  及其派生的张韧性断裂  $F_3$  所构成的锐角地带, 发育有近 SN 向分布的次级张性小断裂及裂隙带, 形成了梯形构造框架, 十分有利于钠长岩侵入  $F_2$  后, 并将深部含矿热液渗流于  $F_3$  断裂带中充填交代成矿。

当随着两断裂由西向东相交锐角的拉大, 两断裂挤压作用形成的次级张性小断裂及裂隙带的发育逐渐减弱, 钠长岩体侵入时所携带岩浆热液的扩散愈加不易, 因而  $F_3$  断裂带赋存的块状矿体向东逐渐变薄到尖灭。

### 4.3 成矿机制分析

随着钠长岩体侵入  $F_2$ , 所携带的再平衡含矿热液则会沿  $F_2$ — $F_3$  之间次级梯形构造框架进入到  $F_3$  张性减压空间, 由于热液流体内部压力大于断裂空间静压力, 则会发生热液的沸腾去气作用及沿断裂带上下盘的水岩交换反应。前者导致顶部的酸性淋滤沉淀  $SiO_2$ , 引起体系自封闭作用再在水岩反应及  $t$ 、pH 等因素耦合作用下, 通过封闭对流腔模式发生早中晚期不同的成岩成矿作用。

早期阶段: 方柱石、黑云母、铁白云石 ( $350^\circ C$ )  $\rightarrow$  钠长石、角闪石 ( $350\sim 300^\circ C$ );

中期阶段: 雌黄铁矿、黝铜矿、黄铁矿、白铁矿 ( $280\sim 180^\circ C$ )  $\rightarrow$  闪锌矿、方铅矿 ( $150\sim 120^\circ C$ );

晚期阶段: 脉状方解石、白云石及石英组合 ( $120\sim 80^\circ C$ );

块状矿石主要形成于中期阶段末, 对多金属硫化物尤其闪锌矿的富集沉淀最为有利。

综上所述, 本区块状富矿是含矿岩浆热液同化淋滤沉积围岩条纹贫矿基础上, 进一步叠加深部带来矿质富集而成, 成因属于与钠长岩体侵入有关的中低温岩浆热液再造型矿床。

## 参 考 文 献

- 蔡蕴华, 李万华. 1991. 西秦岭泥盆系岩石中的斑点状构造与矿化[A], 秦岭地区金矿地质科研讨论会选编[C], 北京: 地质出版社.
- 陈毓川, 王平、秦克令, 等. 1994. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律探讨[J], 《矿床地质》, 13 (4): 289~298.
- 陕西省区调队. 1980. 陕西省山阳幅 1: 5 万地质图说明书.
- 王集磊, 何伯樾, 李建中, 等. 1996. 秦岭式铅锌矿成矿特征[M]. 北京: 地质出版社.
- 扬志华. 1991. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿[M]. 北京: 科学出版社.
- 张振儒, 廖凤先、王大伟, 等. 1987. 《金矿研究》第四章[M]. 长沙: 中南工大出版社.