

陕西省岩房湾铅锌矿成矿流体与地球化学特征

刘必政¹, 王建平¹, 曾祥涛¹, 王可心¹, 曹瑞荣², 程建军²

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 陕西太白黄金矿业有限公司, 陕西 太白 716000)

摘要: 岩房湾铅锌矿位于陕西省太白县境内。文章通过矿床的成矿流体及地球化学特征研究, 对比同属于凤太矿田的八方山—二里河、铅硐山、银母寺等大型铅锌矿, 认为岩房湾铅锌矿床成矿流体为中-低盐度、中-低温、含有 CO_2 , N_2 , CH_4 等气体的还原性流体体系, 并显示出热卤水成因特点。流体包裹体主要包括水溶液包裹体、 CO_2 - H_2O - NaCl 包裹体、纯 CO_2 包裹体 3 种类型, 为不混溶包裹体群, 均一温度高于八方山—二里河等铅锌矿, 可能与西坝岩体的侵入有关。氢、氧同位素特征显示成矿流体为岩浆水与变质水的混合, 碳、氧同位素特征显示成矿过程中碳质来源于泥盆纪正常海相碳酸盐岩, 铅同位素特征显示出造山带与上地壳混合来源的特点。岩房湾铅锌矿成矿流体和同位素特征与同区大型 SEDEX 型铅锌矿存在着一些差异, 不宜笼统将其与同区热水沉积成因大型铅锌矿床归为同一类型。

关键词: 岩房湾铅锌矿; 流体包裹体; 成矿流体; 地球化学; 凤太矿集区; 陕西省

中图分类号: P613; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2013)01-0050-08

0 引言

陕西省太白县岩房湾铅锌矿为小型铅锌矿床^[1], 位于孔管子—松坪复背斜的北翼, 与八方山—二里河等铅锌矿床同属于八方山—王家楞成矿带, 受印支—燕山期热液强烈改造^[2]。目前对岩房湾铅锌矿床地质特征的研究还较少。本文通过研究该矿床的成矿流体及地球化学特征, 对比同区的热液沉积—后期改造型铅锌矿床, 试图了解岩房湾铅锌矿的流体性质、成矿物质来源, 并进一步探讨其成矿机制。

1 区域地质背景

岩房湾铅锌矿的大地构造位置位于华北地台与扬子地台间秦岭—祁连—昆仑地槽褶皱系的秦岭海西—印支褶皱带上; 按板块构造观点划分, 处在中秦

岭弧前盆地系中^[3]。岩房湾铅锌矿是秦岭泥盆系铅锌金等多金属成矿带中部重要的铅锌矿床之一。

矿区内出露的主要地层为中上泥盆统, 主体构造为古岔河—殷家坝复式向斜构造^[4-5], 主要构造线为 NNW 向, 2 条大型同生断裂(凤镇—山阳断裂和酒奠梁—狮子坝断裂)分别从矿区的北部和南部通过(图 1)。印支期酸性岩浆的侵入为区内主要的岩浆活动, 在西南部(约 1~3 km)形成西坝复式岩体, 由早期的石英二长闪长岩和晚期的二长花岗岩组成, 为多期岩浆活动的产物。

2 矿区地质特征

矿区内无大的岩浆岩发育, 仅发育一些花斑岩脉及煌斑岩。岩房湾向斜两翼大致对称且向 W 倾, 轴面略 N 倾。区内无大的断裂发育, 但小裂隙十分发育, 密集成群, 主要有呈 NE 向压扭性小裂隙带和

收稿日期: 2012-03-02; 改回日期: 2012-07-03; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41030423)和中国黄金集团公司科技项目“陕西省太白县双王金矿床地质特征、成矿规律及找矿靶区再研究”联合资助。

作者简介: 刘必政(1985-), 男, 硕士, 主要从事矿床地球化学研究。通信地址: 北京市东城区柳荫公园南街 1 号, 北京金有地质勘查有限责任公司; 邮政编码: 100011; E-mail: bizheng1985@163.com

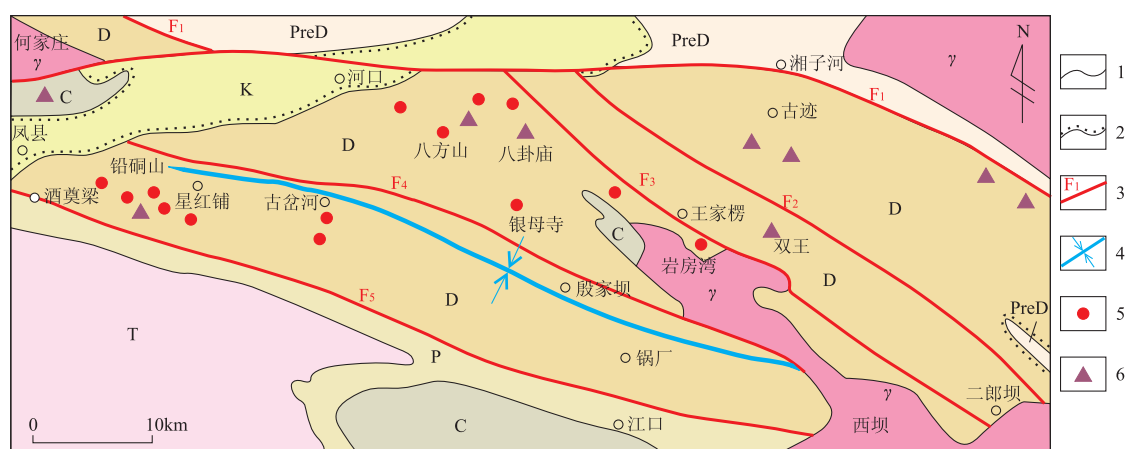


图 1 陕西凤太矿集区地质矿产简图

Fig. 1 The geological sketch of Fengtai mineral cluster region

K. 白垩系; T. 三叠系; P. 二叠系; C. 石炭系; D. 泥盆系; PreD. 前泥盆系; γ. 印支-燕山期岩浆岩;

F₁. 凤镇—山阳断裂; F₂. 修石岩—观音峡断裂; F₃. 王家楞—二郎坝断裂;

F₄. 倒回沟—柘梨园断裂; F₅. 酒奠梁—狮子坝断裂

1. 地质界线; 2. 不整合界线; 3. 断裂及其编号; 4. 古岔河—殷家坝复式向斜; 5. 铅锌矿床(点); 6. 金矿床(点)

总体产状与岩层一致的张性、扭张性小裂隙带。

矿区内岩性主要为中泥盆统古道岭组(D_{2g})下部层位,可分为4个岩性小层,由老到新依次为:①第一岩性层:深灰色砂质板岩夹砂质微晶灰岩;②第二岩性层:灰白色条纹条带状砂质微晶灰岩;③第三岩性层:深灰色砂质板岩;④第四岩性层:含碳钙质砂质板岩夹灰岩、泥灰岩透镜体。此外,零星分布有1~5 m厚的第四系残坡积亚砂土、亚黏土。

矿体呈似层状、扁豆状顺层产出。铜铅锌矿体受第四岩性层中灰岩的控制,主要有3个含矿层位:①上含矿层:主要岩性为含碳质板岩,为铜矿化层;②中含矿层:为泥质条带状灰岩、微晶灰岩、泥灰岩,是最主要的铅锌矿化层位;③下含矿层:为含碳钙质板岩夹钙质砂质板岩,与上伏灰岩过渡处产有铅锌矿。

3 流体包裹体研究

3.1 样品的采集和测试

流体包裹体样品采自岩房湾铅锌矿的1630中段、1670中段以及相应的矿石堆,主要为穿插铅锌矿的石英和方解石。石英呈网脉状,结晶粒度较细小;方解石呈脉状、网脉状,结晶程度较高,颗粒较大。

包裹体岩相学观察采用Nikon E600POL透反两用偏光显微镜,在中国地质大学(北京)资源与勘查实验室完成;流体包裹体显微测温采用Linkam

THMS 600 冷热台,在中国地质大学(北京)流体包裹体实验室进行,测温范围为-196~600℃,加热、冷冻过程中控温速率一般为10℃/min,在相变点温度附近速率<1℃/min;激光拉曼光谱分析在中国地质大学(北京)地球科学与资源学院资源勘查实验室进行,采用英国Renishaw公司的System-1000型激光拉曼光谱仪(选用Ar⁺激光器),波长514 nm,激光束斑大小约1 μm,所测光谱的计算时间10 s,每1 cm⁻¹(波数)计数一次,100~4 000 cm⁻¹全波段一次取峰,光谱分辨率2 cm⁻¹;包裹体成分由中国地质科学院矿产资源研究所测定。

3.2 包裹体的类型和特征

通过包裹体岩相学观察,可见石英和方解石中发育大量的包裹体,原生和次生包裹体皆有,本文研究原生包裹体。原生包裹体2~20 μm,多数为4~9 μm。包裹体的充填度相差较大,为30%~90%,主要为70%~90%。包裹体以椭圆形和不规则形为主,还有负晶形、长条形等。包裹体中液相部分呈无色透明;气相部分因成分不同而呈现不同的状态:大部分为无色透明,少部分为灰黑色不透明。

根据室温下包裹体的相态特征和显微测温过程中的相变,岩房湾铅锌矿流体包裹体可分为3种类型。

I型:水溶液包裹体,为矿床的主要包裹体类型,孤立产出或沿生长带分布,主要呈气液两相。依据包裹体充填度的不同,该类包裹体可分为2个亚类:①液体包裹体(Ia)(图2a),大部分水溶液包裹

体

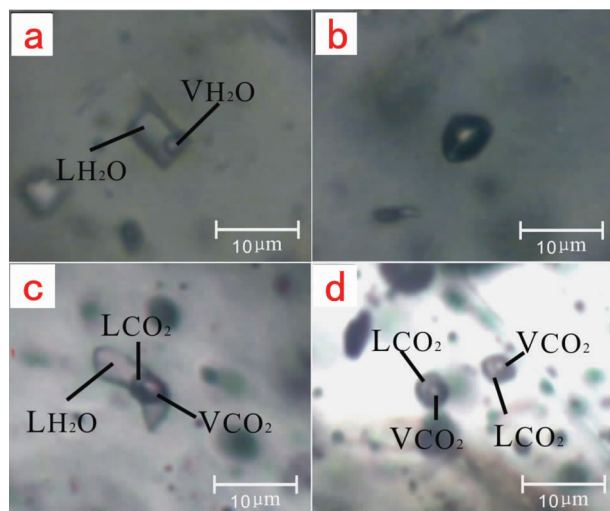


图 2 岩房湾铅锌矿流体包裹体类型

Fig. 2 Microphotographs of fluid inclusions of the Yanfangwan Zn-Pb deposit

a. 液体包裹体; b. 气体包裹体;
c. $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 三相包裹体; d. 纯 CO_2 包裹体

为此类型,一般均一到液相;②气体包裹体(I b)(图 2b),有的气相充填度最高可达 90%以上,均一到气相。

Ⅱ型: $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 包裹体(图 2c),室温下呈三相,由水溶液、气相 CO_2 、液相 CO_2 组成。室温较高时,气相 CO_2 和液相 CO_2 常部分均一呈一相。

Ⅲ型:纯 CO_2 包裹体(图 2d),由气相 CO_2 和液相 CO_2 组成,易与单相的水溶液包裹体混淆。室温较高时,常呈一相。其透明度较好,30℃以下时气相跳动剧烈。

石英中 3 类包裹体均发育,以水溶液包裹体为主,发育少部分 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 包裹体,同一视域下发育以上两个端元的包裹体,暗示流体包裹体为不混溶包裹体群;方解石中仅发育水溶液包裹体。

3.3 包裹体显微测温

岩房湾铅锌矿包裹体显微测温结果见表 1。石英中水溶液包裹体的均一温度为 228.9~448.1℃,平均为 341℃;方解石中水溶液包裹体的均一温度为 212.3~374.4℃,平均为 285℃。石英中 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 包裹体与纯 CO_2 包裹体有着大致相似的 CO_2 部分均一温度和固相熔化温度。

在同一视域下,水溶液包裹体与 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 包裹体共生,均一温度也大致相近,即同一世代两个端元包裹体具有大致相同的均一温度,暗示了岩房湾铅锌矿成矿流体包裹体为沸腾包裹体群。

依据公式^[6-7]计算出流体包裹体的盐度和密度。石英中,水溶液包裹体的 $T_{m(\text{ice})}$ 为 $-15.7 \sim -1.2$ ℃,得出相应的盐度为 4.1%~19.2%; $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 包裹体中笼合物的熔化温度为 4.5~9.2℃,根据 CO_2 笼合物熔化温度和盐度关系表^[8]查出相应的盐度为 1.62%~9.74%,为低盐度; CO_2 部分均一温度为 12~19℃,根据含 CO_2 包裹体均一温度和 CO_2 相密度关系图解^[9]得出相应的 CO_2 相密度为 0.81~0.87 g/cm³。方解石中,水溶液包裹体的 $T_{m(\text{ice})}$ 为 $-16.3 \sim -5.6$ ℃,得出相应的盐度为 8.7%~19.7%。整体上成矿流体属于低盐度流体,多种类型包裹体共存于同一主矿物中导致获得的盐度范围较宽。根据石英中包裹体的 $T_{m(\text{ice})}$ 和 T_h 得出相应的成矿流体密度为 0.48~1.07 g/cm³,根据方解石中包裹体的 $T_{m(\text{ice})}$ 和 T_h 得出相应的成矿流体密度为 0.52~1.01 g/cm³,两者的密度范围大致相似。根据水溶液包裹体中各项参数,利用公式^[10]估算成矿压力大约为 15~34 MPa。假设成矿时系统处于封闭状态,由静岩压力 $p = \rho gh$ (设岩石密度 ρ 为 2.7 g/cm³) 换算成矿深度;如果成矿时系统处于开放状态,则按流体静水压力(设流体密度 ρ 为 1 g/cm³) 换算成矿深度,且该值为最大成矿深度^[11]。据估算,岩房湾铅锌矿相应的成矿深度为 0.5~1.2 km,属于浅成环境。

表 1 岩房湾铅锌矿包裹体显微测温结果

Table 1 Microthermometric data of fluid inclusions from the Yanfangwan Zn-Pb deposit

样号	矿物	类型	$T_{m(\text{CO}_2)}/^\circ\text{C}$	$T_{m(\text{ice})}/^\circ\text{C}$	$T_{h(\text{cla})}/^\circ\text{C}$	$T_{h(\text{CO}_2)}/^\circ\text{C}$	$T_h/^\circ\text{C}$
YFW-2	方解石	I		$-16.3 \sim -5.6$			$212.3 \sim 379.4$
		I		$-15.7 \sim -1.2$			$228.9 \sim 448.1$
YFW-5	石英	Ⅱ	$-58.4 \sim -57.2$		4.5~9.2	12.3~19.1	$322.7 \sim 410.9$
		Ⅲ	$-60.6 \sim -59.6$			15.5~22.3	

注: $T_{m(\text{CO}_2)}$, 固体 CO_2 的最终熔化温度; $T_{m(\text{ice})}$, 冰熔化温度; $T_{h(\text{cla})}$, 笼合物熔化温度; $T_{h(\text{CO}_2)}$, CO_2 部分均一温度; T_h , 完全均一温度

表 2 岩房湾铅锌矿包裹体气相成分

Table 2 Gas phase composition of fluid inclusions from the Yanfangwan Zn-Pb deposit

样号	矿物	CH ₄	C ₂ H ₂ +C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	CO
YFW-1	石英	3.759	0.136	0.068	185.248	178.121	7.819	41.938	0
YFW-7	方解石	0.690	0.144	微量	261.218	236.942	11.198	59.319	23.797

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所;量的单位:ω_B/10⁻⁶。

表 3 岩房湾铅锌矿包裹体液相成分

Table 3 Liquid components of fluid inclusions from the Yanfangwan Zn-Pb deposit

样号	矿物	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
YFW-1	石英	0	12.993	3.931	1.648	12.710	0.151	35.627	0	0.107	0.327	3.038
YFW-7	方解石	0	2.795	0.882	1.614	—	0.456	7.276	0	0	0	—

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所;“—”表示低于检测限;量的单位:ω_B/10⁻⁶。

3.4 流体包裹体的成分

岩房湾铅锌矿流体包裹体激光拉曼光谱测试结果表明:气相成分主要为 CO₂ 和 H₂O, 含有 CH₄ 和 N₂, 且普遍存在于富气相的包裹体中;液相成分以 H₂O 为主。

包裹体成分分析结果(表 2, 表 3)表明:气相成分以 CO₂ 和 H₂O 为主, 其次为 N₂ 和 O₂, 并含有 CH₄ 以及微量的碳氢化合物 C₂H₂, C₂H₄ 及 C₂H₆; 此外, 方解石中还含有 CO; 液相成分中石英含阳离子 Na⁺>Ca²⁺>K⁺>Mg²⁺, 阴离子以 Cl⁻ 为主, 并含有少量的 Br⁻, NO₃⁻ 和 SO₄²⁻; 方解石含阳离子 Na⁺>Mg²⁺>K⁺, 阴离子以 Cl⁻ 为主。

岩房湾铅锌矿包裹体的气相成分中含有 CH₄ 和微量的碳氢化合物, 与本区泥盆系中富含有机碳相一致, 且 CH₄ 和 C₂H₂, C₂H₄ 及 C₂H₆ 等还原性标志的烃类有机气体的存在, 表明成矿流体为还原性质的热液体系。CH₄ 等气体的存在会降低包裹体中固相 CO₂ 的熔化温度, 这与显微测温结果显示包裹体固相 CO₂ 的融化温度低于-56.6℃相对应。如果 Cl⁻ 为成矿热液中的主要阴离子, 而其他阴离子的作用可忽略时, 这就是典型的原生沉积或地下热卤水成因^[12], 而岩房湾铅锌矿包裹体中阴离子主要为 Cl⁻, 由此可以推测岩房湾矿床为热卤水成因。

铅的氯化物络合物可能是铅在热液中的主要搬运形式, 热液中锌主要以氯化物形式搬运, 当溶液硫酸根离子浓度发生变化时, 才可能导致铅、锌的溶解或沉淀。影响铅、锌沉淀的主要因素有温度下降、pH 值变化、硫浓度的增加^[13]。由表 3 可见, 石英中含有 SO₄²⁻, 而方解石中 SO₄²⁻ 则低于检测限。可能是该期流体中含有 SO₄²⁻, 矿质因硫浓度的增加而沉淀, 这一过程很可能消耗了大量的硫, 导致方解石中

SO₄²⁻ 低于检测限。由此推测石英与成矿关系密切, 方解石则为单纯的后期热液矿物。

3.5 成矿流体的 pH 值和氧逸度

岩房湾铅锌矿的流体包裹体属于 CO₂-H₂O-NaCl 体系, 假设在此体系中存在 H₂O, H⁺, OH⁻, Na⁺, Cl⁻, NaCl, HCl, NaOH, HCO₃⁻, H₂CO₃, CO₃²⁻ 和 NaHCO₃, 并达到了总的质量平衡, 由此可以计算出成矿流体的 pH 值^[12]。根据石英中流体包裹体参数计算出成矿流体的 pH 为 7.22, 根据方解石中流体包裹体参数计算出成矿流体的 pH 为 7.21, 可以看出, 岩房湾铅锌矿成矿流体属于中性-偏碱性流体。利用激光拉曼光谱分析结果, 根据 CH₄-CO₂-H₂O 体系的参数^[14], 计算出石英中成矿流体的氧逸度 lg f O₂ = -32, 方解石中成矿流体的氧逸度 lg f O₂ = -36。

4 稳定同位素特征

对石英和方解石样品分别进行氢、氧同位素和碳、氧同位素分析; 对方铅矿样品进行铅同位素分析。氢、氧同位素和铅同位素的测试由核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成; 碳、氧同位素的测试由中国地质大学(北京)地学实验中心完成。

(1) 氢、氧同位素特征。岩房湾铅锌矿中石英的 δ(D_w) = -89.6 × 10⁻³, 与之平衡的包裹体水的 δ(¹⁸O_w) = 15.97 × 10⁻³。在 δ(D_w)-δ(¹⁸O_w) 图上成矿流体氢、氧同位素组成位于岩浆水的右侧、变质水的下方, 这可能表明成矿流体主要为岩浆水与变质水混合的流体, 意味着成矿流体与后期岩浆-构造流体有关。

(2)碳、氧同位素特征。岩房湾铅锌矿方解石的 $\delta(^{13}\text{C}) = 1.08 \times 10^{-3} \sim 1.54 \times 10^{-3}$, 均值 1.31×10^{-3} ; $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 18.80 \times 10^{-3} \sim 19.28 \times 10^{-3}$, 均值 19.04×10^{-3} 。将所得数据投在 $\delta(^{18}\text{O}) - \delta(^{13}\text{C})$ 图中, 数据点均位于海相碳酸盐左侧附近(图 4)。由于从寒武纪到新近纪, 海相成因碳酸盐岩的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$ 接近于 0 且基本恒定不变, 平均 $(0.56 \pm 1.55) \times 10^{-3}$ [15], 可以认为成矿过程中碳质来源于泥盆纪正常海相碳酸盐岩。

(3)铅同位素特征。岩房湾铅锌矿中方铅矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.069 \sim 18.071$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.644 \sim 15.646$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.252 \sim 38.26$ 。经计算, 其铅-铅同位素模式年龄为 464.5 Ma, 矿石铅 μ 值为 9.59, 高于地幔铅的 μ 值(8~9), 反映出高放射性成因的壳源铅特征。

5 岩房湾铅锌矿与同区铅锌矿地球化学特征的对比

5.1 成矿流体特征对比

八方山—二里河铅锌矿石英中流体包裹体的均一温度为 $200 \sim 340\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均 $209 \sim 265\text{ }^{\circ}\text{C}$, 其成矿温度与 SEDEX 型矿床的成矿温度($225\text{ }^{\circ}\text{C}$)较为接近, $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 包裹体的部分均一温度为 $22 \sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$; 方解石中流体包裹体均一温度为 $80 \sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $160 \sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$, 其中 CO_2 包裹体的部分均一温度为 $27 \sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$, 反映出有 2 次热液事件的改造作用。银母寺铅锌矿床改造成矿期石英中 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 包裹体的压力为 61 MPa [4]; 同生热水沉积期 pH 平均值为 4.08, $\lg f\text{O}_2$ 平均值为 -38.27 ; 动热变质成矿期 pH 平均值为 4.22 [16]。铅硐山铅锌矿床同生热水沉积期 pH 平均值为 4.02, $\lg f\text{O}_2$ 平均值为 -36.69 ; 动热变质成矿期 pH 平均值为 4.29, $\lg f\text{O}_2$ 平均值为 -36.70 。

由此可见, 岩房湾铅锌矿矿物包裹体的均一温

度要大于同区铅锌矿床中包裹体的均一温度, 可能与西坝岩体的侵入有关, 而其成矿压力又小于后者, 这种差异说明成矿后期其系统处于一种半开放的状态。岩房湾铅锌矿成矿流体的 pH 值要高于同区其他铅锌矿, 说明各铅锌矿成矿流体特征具有一定的差异。岩房湾铅锌矿随着成矿期的演化成矿环境向偏还原性转变, 酸性未发生明显变化; 而同区铅锌矿具有随着成矿期的演化, 成矿环境向偏碱性转变, 还原性具有增大的趋势, 更有利于成矿。

由表 4 可知, 岩房湾铅锌矿成矿流体的成分中 Na^+ 和 Cl^- 含量要高于八方山—二里河大型铅锌矿, K^+/Na^+ 和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 的值前者要小于后者, 虽然阴离子都以 Cl^- 为主, 但前者明显要比后者高得多, 说明两者成矿流体成分上存在着一定的差异。岩房湾铅锌矿中 F^-/Cl^- 比值很小, 反映了热卤水成因; 八方山—二里河铅锌矿流体包裹体成分中阳离子 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- = 0.44 < 1$, 属弱碱性低盐度氯化物型卤水, 具有渗流热卤水特征, 表明成矿流体为海底热液 [17]。

岩房湾铅锌矿和八方山—二里河铅锌矿中流体包裹体气体成分均以 CO_2 , H_2O 为主, 并含有少量的 N_2 , CO 和 CH_4 。需要指出的是, 两者的气相成分中均含有 CH_4 , 与本区泥盆系中富含有机碳相一致。前者以大量的 CO_2 为主, 而后者以大量的 H_2O 为主; 前者流体包裹体中还含有少量的 O_2 , 而后者流体包裹体中含有少量的 H_2 。成分特征显示, 前者气相成分以 CO_2 , H_2O 为主, 属于弱还原条件; 后者气相成分属 $\text{CO}_2 - \text{N}_2 - \text{CO} - \text{CH}_4 - \text{H}_2$ 型, 属于强还原环境 [18]。

5.2 稳定同位素特征对比

八方山—二里河铅锌矿石英的 $\delta(\text{D}_w) = -77 \times 10^{-3}$, 与之平衡的包裹体水的 $\delta(^{18}\text{O}_w) = -3.5 \times 10^{-3} \sim -4.8 \times 10^{-3}$ [17], 在 $\delta(\text{D}_w) - \delta(^{18}\text{O}_w)$ 图上显示成矿流体氢、氧同位素组成位于大气降水的下部、岩浆水的左侧(图 3), 具有大气降水和岩浆水的混合特征, 表明含矿流体为二者混合的地下热卤水。

表 4 岩房湾铅锌矿和八方山—二里河铅锌矿成矿流体液相成分对比

Table 4 Liquid components of fluid inclusions from different deposit

矿床	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}
岩房湾	12.993	3.931	1.648	12.710	0.151	35.627	3.038
八方山—二里河 [24]	8.48	3.01	1.18	16.90	0.29	6.85	2.25

量的单位: $w_B/10^{-6}$ 。

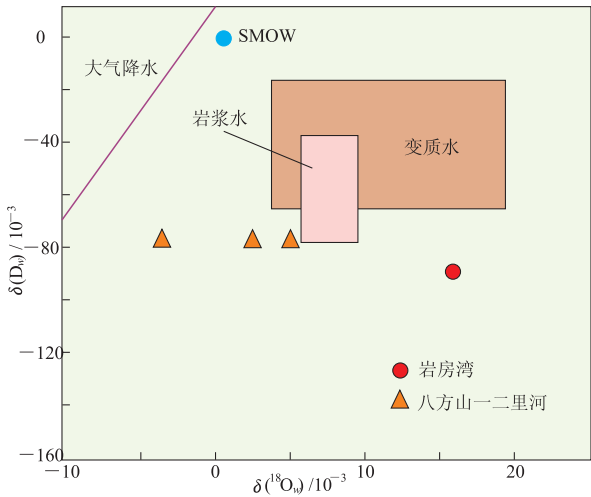


图 3 岩房湾铅锌矿和八方山一二里河铅锌矿成矿流体的 $\delta(^{18}\text{O}_w)-\delta(\text{D}_w)$ 图解 (八方山一二里河数据据文献[25])

Fig. 3 Diagram showing $\delta(^{18}\text{O}_w)-\delta(\text{D}_w)$ of ore fluids from Yanfangwan and Bafangshan-Erlihe Pb-Zn deposits

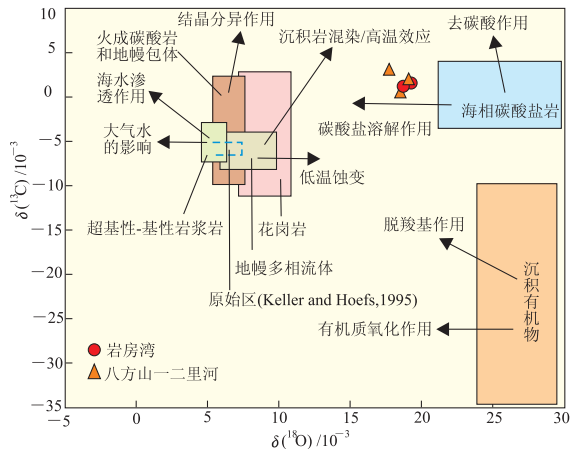


图 4 岩房湾铅锌矿和八方山一二里河铅锌矿 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}})-\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$ 图解

Fig. 4 Diagram $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}})-\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$ of Yanfangwan and Bafangshan-Erlihe Pb-Zn deposit

碳酸盐白云石 $\delta(^{13}\text{C})=0.04\times10^{-3}\sim0.79\times10^{-3}$, 平均 0.28×10^{-3} , $\delta(^{18}\text{O})=17.17\times10^{-3}\sim18.95\times10^{-3}$, 平均 18.06×10^{-3} [19]。投影在 $\delta(^{18}\text{O})-\delta(^{13}\text{C})$ 图中, 其投影值均位于海相碳酸盐左侧附近(图 4)。

八方山一二里河铅锌矿床的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.78\sim18.18$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.46\sim15.81$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.99\sim38.67$; 其铅-铅同位素模式年龄为 $395\sim584\text{ Ma}$, 平均为 453.7 Ma , 4 件样品的原始铅等时线年龄约为 400 Ma [17], 老于中泥盆统含矿地层($360\sim370\text{ Ma}$); 矿石铅 $\mu=9.29\sim9.86$, 均值为 9.56 , 高于地幔铅的 μ 值($8\sim9$), 这种高 μ 值铅显示出成矿物质为上地壳来源, 但部分矿石铅的 μ 值 <9.58 , 证实其混入了低放射性成因的深源铅。岩房湾铅锌矿与八方山一二里河铅锌矿铅同位素组成见表 5。

将岩房湾铅锌矿和八方山一二里河铅锌矿的铅同位素数据投影于 Zartman 铅同位素构造模式图解(图 5)中。前者的铅同位素比值在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图中投影点位于造山带和上地壳之间, 在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图中较靠近造山带, 显示了造山带与上地壳混合来源的特点。而后者铅同位素比值在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图中投影点大部分位于造山带和上地壳之间, 且具有幔源特征; 在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图中以造山带演化铅为主, 可能指示成矿金属元素主要来自地层[20], 因此后者具有多来源混合铅的特征。

总体来看, 岩房湾铅锌矿床与同区八方山一二里河铅锌矿床在成矿流体、成矿物质来源等方面存在很多的相似性, 两者均显示了同一种还原性、低盐度的中低温浅成环境, 反映了在同一大地质背景下, 具有相似的成矿模式。但两者在流体性质及氢、

表 5 岩房湾铅锌矿与八方山一二里河铅锌矿铅同位素组成

Table 5 Pb isotope composition of Yanfangwan, Bafangshan-Erlihe Pb-Zn deposits

矿点	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	数据来源
岩房湾	18.071	15.646	38.26	本文
	18.069	15.644	38.252	
	17.775	15.457	38.210	
	18.133	15.651	38.315	
八方山一二里河	18.051	15.603	38.036	文献[17]
	18.107	15.628	38.296	
	18.18	15.68	38.62	
	18.018	15.557	37.994	
	18.18	15.68	38.67	
	18.12	15.59	38.28	
	18.149	15.805	38.657	

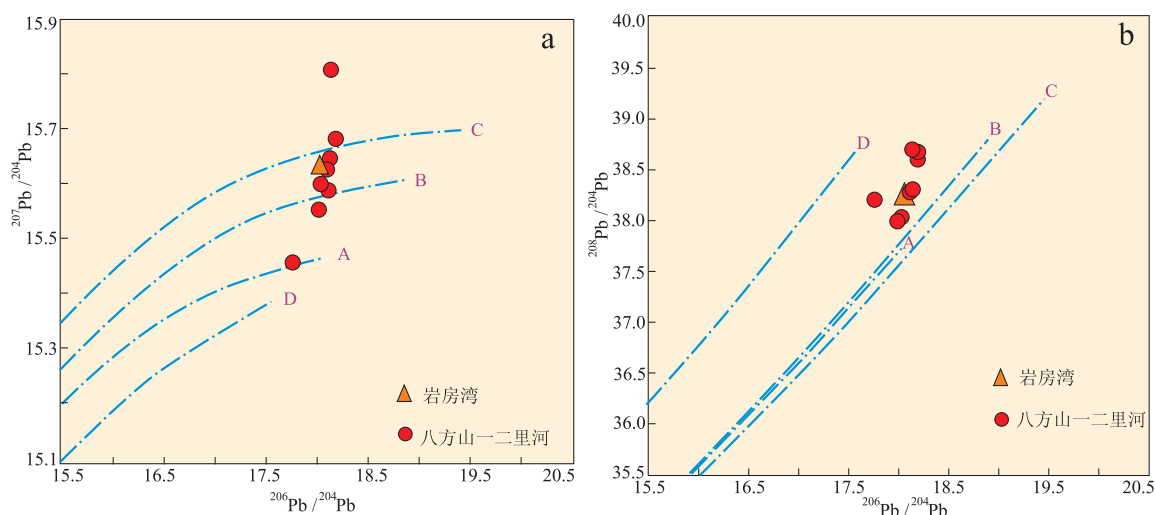


图5 岩房湾铅锌矿和八方山一二里河铅锌矿铅同位素构造模式(底图据 Zartman 和 Doe, 1981)

Fig. 5 Tectonic model of Pb isotope from different deposit

A. 上地幔; B. 造山带; C. 上地壳; D. 下地壳

氧同位素等方面存在着差异,因此并不能笼统地将两者归为同一种成矿模式。

6 结论

(1)岩房湾铅锌矿流体包裹体主要包括水溶液包裹体、 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 包裹体、纯 CO_2 包裹体 3 种类型。石英中流体包裹体为不混溶包裹体群。推测石英与成矿关系密切,而方解石则为单纯的后期热液矿物。

(2)成矿流体为中-低盐度、中-低温、含 CO_2 的流体,含有 N_2 、 CH_4 以及一些有机气体,为还原性的流体体系;阳离子以 Na^+ 为主,阴离子以 Cl^- 为主,显示了热卤水成因。

(3)岩房湾铅锌矿成矿后期,其系统处于半开放的状态。岩房湾铅锌矿随着成矿期的演化成矿环境向偏还原性转变,酸碱性未发生明显变化;岩房湾铅锌矿的成矿温度要高于同区其他铅锌矿床,这可能与西坝岩体的侵入有关。

(4)成矿流体氢、氧同位素特征反映了成矿流体主要为岩浆水与变质水混合的特征,成矿流体明显与后期岩浆-构造流体有关;碳、氧同位素特征表明,成矿过程中碳质来源于泥盆纪正常海相碳酸盐岩;铅同位素特征显示了造山带与上地壳混合来源的特点。

含矿地层中广泛发育热水沉积岩,如钠长石岩、硅岩、重晶石岩、铁镁碳酸盐岩和含电气石岩等,这

是确定矿床属 SEDEX 型的主要证据^[21]。而岩房湾铅锌矿的铜矿化主要在含碳质板岩层,铅锌矿化则主要发生在泥质条带灰岩、微晶灰岩、泥灰岩中;并且,岩房湾铅锌矿床成矿流体和同位素特征与同区大型 SEDEX 型铅锌矿还是存在着一些差异,因此,不能笼统地将其与同区热水沉积成因的大型铅锌矿床归为同一类型,岩房湾铅锌矿的具体成矿模式以及是不是典型的 SEDEX 型矿床,还有待以后的深入研究。

参考文献:

- [1] 赵志东,王文贤,刘兴泽. 陕西省太白县王家塬九坪沟岩房湾铅锌矿床详查报告[R]. 宝鸡:陕西省地质局第三地质队四分队,1981:1-44.
- [2] 曾令高,张均,胡鹏,等. 陕西凤太矿集区铅锌矿的矿体定位规律研究[J]. 地质找矿论丛,2011,26(1):1-7.
- [3] 王宗起,闫全人,闫臻,等. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. 地质学报,2009,83(11):1527-1546.
- [4] 贾润幸,隗合明,郭健. 秦岭凤太矿田金属成矿系列初探[J]. 西北地质科学,1999,20(2):42-50.
- [5] 贾润幸,郭健,赫英,等. 秦岭凤太成矿区金多金属矿床成矿流体地球化学研究[J]. 中国地质,2004,31(2):192-198.
- [6] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004:11-439.
- [7] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999:1-277.
- [8] Collins P L F. Gas hydrates in CO_2 -bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity[J]. Economic Geology, 1979,74(6): 1435-1444.
- [9] Shepherd T J, Rankin A H, Alderton D H M. A practical guide to fluid Inclusion studies[M]. Blackie: Chapman Hall,

- 1985;1-239.
- [10] 刘斌,段光贤. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报,1987,7(4):345-352.
- [11] 杨艳,张静,刘家军,等. 河南汤家坪钼矿床流体成矿作用研究[J]. 中国地质,2008,35(6):1240-1249.
- [12] 卢焕章,李秉伦,沈崑. 包裹体地球化学[M]. 北京:地质出版社,1990:151-159.
- [13] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [14] 刘斌,沈崑. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999:1-277.
- [15] 李强,王兵岐,马志国,等. 南秦岭凤太盆地金矿与铅锌矿的成矿模式[J]. 地球科学与环境学报,2007,29(1):15-21.
- [16] 郑作平,于学元. 八卦庙超大型金矿床中铁白云石的特征兼论金矿成因[J]. 矿物岩石,1995,15(3):32-36.
- [17] 王廷瑞,李芳林,陈二虎,等. 陕西凤县八方山一二里河大型铅锌矿床地球化学特征及找矿预测[J]. 岩石学报,2011,27(3):779-793.
- [18] 肖荣阁,刘敬党,费红彩,等. 岩石矿床地球化学[M]. 北京:地震出版社,2008:249-280.
- [19] 祁思敬,李英. 秦岭泥盆系铅锌成矿带[M]. 北京:地质出版社,1993:112-161.
- [20] 李强,薛春纪,刘淑文,等. 南秦岭凤县八方山一八卦庙 Pb-Zn 与 Au 矿化的共生/共存关系研究[J]. 地质论评,2007,53(1):65-74.
- [21] 祁思敬,李英. 南秦岭晚古生代海底喷气-沉积成矿系统[J]. 地质前缘,1999,6(1):171-179.
- [22] Fridman I O, Neil J R. Complication of stable isotope fractionation factors of geochemical interest in data of geochemistry[C]//Fleischer M. Geological Professional Paper. US Geological Survey,1977:440.
- [23] 隗合明. 秦岭凤太矿田层控铅锌(铜)矿床的主要成矿特征及成矿模式[J]. 地质科学,1992(3):224-237.
- [24] 王相,唐荣杨,李实,等. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1996:187-228.

Ore fluid and geochemical characteristics of Yanfangwan Pb-Zn deposit in Shaanxi Province

LIU Bizheng¹, WANG Jianping¹, ZENG Xiangtao¹, WANG Kexin¹, CAO Ruirong², CHENG Jianjun²

(1. Faculty of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Taibai Gold Mining Co Ltd., Taibai 716000, Shaanxi, China)

Abstract: Yanfangwan Pb-Zn deposit is a small Pb-Zn deposit of Fengtai ore-deposit-cluster area in Taibai county, Shaanxi Province and a few geological works have been done. Ore fluid of Yanfangwan Pb-Zn deposit is in medium-low temperature and low salinity and contains CO₂, N₂, CH₄ etc. of the reductive gas system characteristic of hot saline. The fluid inclusions are mainly water solution, CO₂-H₂O-NaCl and pure CO₂, the three kinds of inclusion which are immiscible. The homogenization temperature is higher than that of Bafangshan-Erlihe Pb-Zn deposit that may be related to intrusion of Xiba rock body. H, O isotopic composition is characterized by mixture of magmatic water and metamorphic water, C, O isotopic composition by normal Silurian marine carbonate rock and Pb isotopic composition by mixture of Pb sourced from orogenic belt and that of upper crust. Isotopic characteristics of Yanfangwan Pb-Zn deposit differs obviously from those of large Sedex Pb-Zn deposits in the same area and is inappropriately classified into the hot water sedimentary large Pb-Zn deposit.

Key Words: Yanfangwan Pb-Zn deposit; fluid inclusion; ore fluid; geochemistry; Fengtai ore-deposit-cluster area; Shaanxi Province