

文章编号: 1000-0550(2000)03-0431-08

陕西银洞子—大西沟菱铁银多 金属矿床热水沉积岩相特征及成因^①

方维萱¹ 芦继英²

1(西北大学地质系 西安 710069)

2(西北有色金属地质勘查局 西安 710069)

摘要 陕西银洞子—大西沟特大型菱铁银多金属矿床赋存于中泥盆世吉维特期之上的热水岩相中,其微相可划分为热水同生沉积—沸腾交代微相、热水同生交代微相、热水同生沉积微相、热卤水渗滤交代微相、热水混合沉积微相。热水沉积岩富 Na、Si、Fe、Mg、Mn、Ba、Cu、Pb、Zn、As、Ag、B 等。在热水沉积盆地中,由富 Ba 的硫酸质热水、富 Fe 碳酸质热水以快速化学沉淀方式发生同生沉积成矿作用形成重晶石、菱铁矿层。银多金属矿层是由不同成分、性状、富 Na、B、Si 的铝硅酸质、硼酸质热水与前两类热水相互混合而形成热水混合体系,这种非平衡体系发生了剧烈地化学反应而使矿质发生骤沉。

关键词 热水岩相 微相 地球化学环境 热水成岩成矿作用 热水沉积盆地 构造背景

第一作者简介 方维萱 1961 年出生 高级工程师 博士后 地球化学

中图分类号 P618.52 P611.2⁺2 文献标识码 A

1 地质概况

柞水县银洞子—大西沟重晶石菱铁、银多金属成矿集中区中,银矿属特大型,多金属矿床可达中型规模;菱铁矿属大型,重晶石可达中型规模,集中分布于秦岭造山带柞山泥盆纪沉积盆地的西部银洞子—大西沟一带。在区域上,该盆地北部边界为商丹深大断裂,南界为山阳—凤镇大断裂,盆地内充填地层为中、上泥盆统,为一套厚达近万米的海相复理石泥砂碎屑沉积建造、碳酸盐沉积建造。在碳酸盐沉积建造向碎屑岩沉积建造的过渡部位分布有热水沉积建造,矿体直接产于热水沉积岩中。区内构造主要为东西向,矿床位于黑山街—红岩寺复式向斜南翼的文公庙向斜之中,区内发育次级北东向、南北向、北西向和近东西向断裂。其西北部有柞水印支期黑云母花岗岩,呈岩基状侵入到含矿地层之中,在接触带附近形成了数百米—千余米的堇青石黑云母角闪岩带,沿山阳—凤镇大断裂有加里东—印支期基性—中酸性侵入岩体,区内有印支期煌斑岩脉沿近南北向及北东向断裂分布。大西沟菱铁矿床由 6、7 号两个层状菱铁矿体组成,其次为层状重晶石磁铁矿体、层状重晶石矿体及层状铜矿体。主矿体长 2000 m,厚数十米至百余米,含 TFe27%~28%,主要由菱铁矿组成,有少量磁铁矿。层状铜矿体

长数百米,厚几米至十余米,含 Cu 0.17%~1.60%,由黄铜矿、砷黝铜矿、菱铁矿、黄铁矿、磁铁矿、重晶石、石英、绢云母组成。层状重晶石磁铁矿体、重晶石矿体主要由重晶石、磁铁矿组成,含少量黄铜矿、黄铁矿。上述矿体产状与围岩均一致。银洞子银多金属矿床主矿体为 13 号银多金属矿体,分布于含矿层的底部,长 1900 m,厚 1~20 m,平均厚度 4.44 m。金属矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、辉银矿、银黝铜矿及 Ag、Cu、Sb 的硫盐矿物。脉石矿物有钠长石、重晶石、铁锰方解石、铁白云石、绿泥石。

2 热水岩相地质地球化学特征

2.1 热水岩相岩石组成

主要岩石类型有钠长似碧玉岩、钠长石岩、钠长硅质角砾岩、重晶石岩、菱铁矿岩、铁白云岩、铁绿泥石岩、硫化物岩、类角岩及硅质白云岩。前人研究证明它们属于热水沉积岩^[1,2]。

主要组成矿物有:①钠长石、斜长石、钡长石等长石类矿物;②菱铁矿、含铁白云石、铁白云石、白云石、铁锰方解石等铁镁碳酸盐矿物;③脉状石英、微晶石英、玉髓状石英;④绿泥石类有铁绿泥石、磷绿泥石、变鲕绿泥石、蠕绿泥石;⑤云母类有黑云母、绢云母、钡白云母、铁白云母;⑥硫酸盐仅发现重晶石;⑦硫化物类

① 中国有色金属工业总公司人才培养基金资助

表 1 主要矿物的电子探针分析结果(wt%)

Table 1 Analysis results of electronic probe for essential minerals from the deposit(wt%)

矿物	样品数	Au	Ag	Cl	NiO	BaO	Na ₂ O	K	MgO	FeO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Σ
铁绿泥石	6	0.21	0.05	0.08	0.04	0.04	0.04	0.00	3.56	42.34	0.16	20.38	21.94	88.82
钠长石	6	0.09	0.00	0.01	0.00	0.09	10.66	0.04	0.01	0.15	0.07	19.97	69.00	100.08
铁白云母	2	0.23	0.03	0.00	0.00	2.05	0.07	2.51	1.25	6.36	0.02	31.75	46.82	91.02
钡白云母	2	0.45	0.02	0.02	0.04	14.03	0.04	4.18	0.89	2.15	0.09	24.11	45.53	91.86

测试单位:西安地质矿产研究所;分析条件:电压 15kV; 电流 20nA; 束斑 3 μm, ZAF 校正; JEOL-733 型电子探针仪定量分析, 总量误差 ≤ 3%; 资料来源: 本文

有黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿、辉银矿及 Ag、Cu、Sb、As 的多种硫盐类矿物, 尚有电气石、方柱石、透闪石等。

2.2 主要组成矿物的特征

早期钠长石呈晶屑、皱晶状、层纹状顺层分布, 单层厚 0.5 ~ 1 cm, 局部可见到 2 cm, 双晶比较发育, 表面有绢云母化, 受应力影响而发生双晶位错, 并形成钠长石眼球, 含 Na₂O 低, SiO₂ 高(见表 1) 本区钠长石是一种低温有序钠长石, 形成温度为 400 ~ 200 °C, pH 值为弱酸性—弱碱性, 说明钠长石是由热水沉积作用所形^[1]。

在地层中, 绿泥石呈层状, 单层厚 1 ~ 3 cm, 局部可达 10 cm。在单偏光下呈淡绿色, 集合体呈放射状、束状、扇形等, 可见其交代钠长石, 绿泥石中有钠长石的残留体, 绿泥石晶体伸入钠长石晶体中。早期绿泥石主要为铁绿泥石, FeO > 40% (见表 1), 含微量的 Au、Ag、Cl。绿泥石是一种中低温热液蚀变体系(温度 150 ~ 450 °C, 0.10 Pa) 的常见矿物之一, 结构调整温度点为 450 °C^[4]。据 Walshe 提出的绿泥石六组分固溶体热液模型计算绿泥石形成的物理化学条件研究结果^[5], 本区的绿泥石含 FeO 高, 主要为铁绿泥石, Fe/Fe+Mg 比值高, 形成温度在 350 °C 左右, 由热水同生交代作用所形成。白云母顺层定向分布, 具有低 K₂O、MgO、CaO, 而富 BaO (2.05% ~ 14.03%)、FeO (2.15% ~ 6.36%) 特征, 反映热水体系中低 K, 而有过量 Ba、Fe, 使 Fe²⁺、Ba²⁺ 进入白云母中而形成了变种矿物。

2.3 热水岩相微相特征

根据热水作用的方式, 笔者划分了五种热水沉积微相: 热水沉积—沸腾交代微相、热水同生交代微相、热水同生沉积微相、热卤水渗滤交代微相、热水混合沉积微相。

热水同生沉积—沸腾交代微相 主要有角砾状钠长碳酸盐岩、含矿钠长硅质角砾岩。前者发育在本区的外围 如车房沟 万丈沟等地区 主要与金矿密切相

关^[3,6]。后者在银洞子银多金属矿区西部与大西沟菱铁多金属矿床过渡部位。含矿角砾岩是一种特殊的热角砾岩, 角砾成分主要是似碧玉岩、钠长石岩及石英组成, 似碧玉岩角砾中网状裂隙发育, 沿裂隙分布铁绿泥石细脉及网脉, 钠长岩角砾中有细脉状黄铁矿。它们二者多呈棱角状、次棱角状, 石英角砾呈浑圆状。胶结物主要为硫化物, 受印支期改造作用影响, 而发育折射劈理和滑动金属镜面构造。这种角砾岩分布比较局限, 为热水喷流通道的标志, 是由先存热水同生沉积作用形成的钠长似碧玉岩等封存了热水喷流通道口(同生断裂), 随后沿同生断裂上升的成矿流体因临界压力超过了上覆沉积物及水体产生的静压力, 产生热水爆炸、沸腾作用而发生角砾化, 硫化物胶结, 并发生硅化、绿泥石化。

热水同生沉积微相 由钠长岩、似碧玉岩、菱铁矿岩、磁铁重晶石岩、重晶石岩等组成。似碧玉岩及钠长石岩呈透镜状顺层分布, 沿走向发生相变尖灭, 主要由微晶及皱晶状钠长石及石英组成。菱铁矿岩主要由菱铁矿、绢云母、铁绿泥石组成, 局部有斜长石、钡长石, 沿走向相变为菱铁矿千枚岩、铁绿泥石千枚岩。重晶石岩多发育在含矿层的上部, 形成重晶石矿体。在银洞子矿床中, 重晶石条带从 0.5 ~ 2 cm 的条带可逐渐变化为 20 cm 的厚层状重晶石, 局部可出现块状重晶石, 但沿走向很快尖灭。主要由重晶石、石英、钠长石、钡白云母组成, 其次为铁白云石、镁电气石、砷黝铜矿、黄铁矿。重晶石岩中可含有钠长石岩、似碧玉岩条带, 沿走向相变为重晶石千枚岩、绢云母千枚岩。厚层块状、条带状、韵律条带及层纹构造是反映矿床同生沉积成矿的重要标志之一。菱铁矿岩、重晶石岩具有厚层块状构造、厚层块状层理, 菱铁矿岩由密集细粒它形菱铁矿组成, 有少量中粗粒自形晶菱铁矿, 含有绢云母、铁绿泥石。重晶石岩由重晶石组成, 含少量钠长石、钡白云母及石英, 是少量的混入成分, 主要沿重晶石颗粒间隙分布, 尤其是重晶石单矿物岩(BaSO₄ 含量在 90% 以上) 很少有其他成分混入 厚层块状构造反映

了菱铁矿岩、重晶石岩是由一种密度流型热水迅速堆积的产物, 菱铁矿、重晶石是以快速化学结晶的方式从热水中析出。条带状、条纹状构造是菱铁矿岩、磁铁矿重晶石岩、砷黝铜矿重晶石岩的主要岩石组构类型。在菱铁矿岩中, 主要由菱铁矿、绢云母、铁绿泥石等组成条带状、条纹状构造。磁铁矿重晶石岩由磁铁矿、黄铁矿及重晶石组成条带状构造, 条纹状构造多由黄铜矿组成。在铜、铜银矿石中, 由菱铁矿、似碧玉岩、钠长似碧玉岩、重晶石组成条带, 砷黝铜矿、黄铜矿、银黝铜矿组成的条纹状构造发育, 由金属矿物组成的条纹多分布于菱铁矿、钠长似碧玉岩、重晶石等三种条带的过渡部位, 并可见其反复出现组成了韵律条纹状构造, 一些银的硫酸盐类矿物可沿重晶石、钠长石间隙充填分布。条带状构造的矿物条带厚 1~2 cm, 条纹层厚一般多在 1 cm 以下, 常见 0.02~0.05 cm。各条带条纹的厚度相近, 均匀相间, 平行排列, 本区的条带、条纹状岩石组构反映了金属矿物成分层和热水岩成分层受着相同的热力学条件支配。层纹状构造, 多见于铜矿石、铜银矿石及硫化物岩中, 并可出现明显的化学成分层理, 有意义的是黄铜矿、砷黝铜矿、银黝铜矿呈层纹状, 这种铜(银)矿石中, 镜下可见这三种金属组成的 0.01~0.2 mm 薄纹层, 平行层理分布, 肉眼可识别由其风化所形成的孔雀石, 但不易发现原生铜矿物。

热水同生沉积交代微相 主要由硅质铁白云岩、铁白云岩、白云质灰岩、菱铁矿铁白云岩、铁绿泥石岩组成, 一般主要分布于含矿层的下盘围岩之中或热水沉积岩的走向尖灭部位, 是由热水对下伏沉积物同生交代作用及在走向上与海水所形成的沉积物同生交代作用所形成。铁白云岩、硅质铁白云岩主要分布于菱铁矿层及银多金属矿层的下部, 主要由石英、铁白云石组成, 结晶颗粒粗大, 交代现象明显。在菱铁矿层的尖灭部位可相变为铁白云岩, 其变化关系为菱铁矿岩→菱铁矿铁白云岩→铁白云岩→硅质铁白云岩→铁白云质结晶灰岩。随着碳酸质的增高而菱铁矿尖灭, 菱铁矿石中含有少量的铁白云石, 但不含方解石。铁白云质灰岩是银多金属矿体的下盘围岩, 常含有机碳及少量金属硫化物。

铁绿泥石岩分布比较局限, 与硫化物岩、菱铁矿岩密切相伴, 铁绿泥石单纹层厚 0.2~10 cm, 主要由铁绿泥石、黄铁矿、磁铁矿和铁白云石组成, 局部为黄铁矿铁绿泥石岩、菱铁矿铁绿泥石岩。黄铁矿铁绿泥石岩代表了含矿层位处于银洞子三级热水盆地中央部位的沉积环境; 菱铁矿铁绿泥石岩代表了含矿层位处于大西沟三级热水盆地中央部位的沉积环境。磁铁矿铁绿泥石岩代表了银洞子和大西沟两个三级热水盆地斜

坡的沉积环境, 绢云母铁绿泥石(千枚)岩代表了高于三级热水盆地斜坡部位, 是三级热水盆地边缘的沉积环境, 陆源物质混入较多, 对成矿不利。

热卤水渗滤交代微相 本区含矿层位的下伏地层中分布有方柱石黑云母角岩、方柱石板岩, 这一类角岩的层位在柞山泥盆纪沉积盆地中层位稳定, 属中泥盆统大西沟组第一岩性段($D_2d_1^1$), 从本区向东, 在干沟—枫沟剖面为方柱石结晶灰岩; 金钱河剖面为方柱石千枚岩、方柱石铁白云岩; 在山阳县一带这种角岩沿 $D_2d_3^1$ 顺层广泛发育。很难用侵入岩浆活动有关的热变质交代作用形成的角岩(常围绕岩体周围分布)解释沿某层位稳定分布的特点, 说明是泥盆纪古地热异常事件所形成。黑云母的变质年龄为 $314 \pm Ma$ ($^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄)^[1] 而本区的地层年龄为 374~342 Ma (Rb~Sr 全岩等时线年龄^[1]), 说明黑云母的形成年龄不晚于 320 Ma, 并可能代表了这一次热地质事件的年龄。是在泥盆纪古地热事件中, 热卤水渗滤交代作用在成岩期形成的一种微相。

热水混合沉积微相 主要发育硫化物岩、钠长似碧玉岩。钠长似碧玉岩主要组成矿物有石英、钠长石, 还有重晶石、菱铁矿、电气石等, 铁白云石及绢云母局部较高。有显微层纹构造和粒序构造, 层纹由钠长石纹层→钠长石、硫化物纹层→钠长石、碳酸盐、硫化物纹层→钠长石重晶石纹层→重晶石纹层→重晶石、钠长石、似碧玉纹层→铁绿泥石纹层等七种成分层理组成, 实际上是一种化学层理, 硫化物发生了大量骤沉。这种岩石在含矿层内比较稳定, 而局部有菱铁矿岩、重晶石岩, 在走向上很快尖灭, 被硫化物岩、含硫化物钠长似碧玉岩替代。方铅矿、磁铁矿的粒序构造发育。钠长似碧玉岩条带发育流动构造、泄水构造、碟状构造现象。是一种氧化—还原条件、酸碱性反复动荡变化、非平衡的热水混合体系中一种热水沉积微相。

3 热水岩相的地球化学特征及环境

3.1 热水岩岩石化学

从表 2 看: 本区热水同生沉积—沸腾交代微相未做全岩化学分析, 据薛春纪^[3] 研究, 柞山地区的钠长石角砾岩中含 Na_2O 达 7.78%, 其 CaO 、 MgO 和 CO_2 三者总和量为 18.64%, 岩石中含有一定量的碳酸盐成分。在热水同生沉积微相中, 在菱铁矿(石)中, 主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CO_2 , 而 CaO 、 Na_2O 的含量相对较低, 相对于其他热水岩而言, MnO 在菱铁矿(石)岩中含量是最高的, 主要是菱铁矿中含有一定量的 MnO 。重晶石岩的主要化学成分 $BaSO_4$ 其含量在 80% 以上 炎金才研究本区重晶石

岩,其含 BaSO₄ 为 83.85%~95.50%^[7],说明重晶石
的化学成分较纯,这与我国大多数热水沉积重晶石矿

床的化学成分非常相似,说明重晶石单矿物岩是热水
以快速化学沉淀形式发生同生沉积形成的。

表 2 热水沉积相岩的岩石化学特征(%)

Table 2 Petrochemistry characteristics of hydrothermal sedimentary rocks from Yindongzi and Daxigou deposits

微相	岩性	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	P ₂ O ₅	S	BaSO ₄	BaO	烧失量	总量
热水同生沉积-沸腾微相	钠长石角砾岩	n=40	56.60	0.55	14.69	1.08	1.19	0.05	7.79	4.80	0.37	7.78	6.05	0.07					101.74
	钠长似碧玉岩	A1	46.69	0.53	13.77	4.21	3.92	0.37	5.71	0.96	1.80	4.02		0.187	4.02	5.68	9.15	101.345	
	钠长似碧玉岩	A2	37.61	0.42	11.09	5.25	14.93	0.82	1.76	1.72	1.56	1.64		0.129	2.05	9.76	11.63	100.399	
热水同生沉积微相	菱铁矿石(岩)	73VD51	34.41	0.46	8.93	3.06	25.72	0.87	0.35	2.50	2.70	0.12	18.30	0.10	0.36	0.80	1.70	100.14	
	*	73VD533	17.27	0.15	2.88	3.76	41.06	1.22	0.55	2.26	1.30	0.26	29.89	0.06	0.11	0.06	0.43	100.57	
	99.80	73VD456B	2.63	0.38	9.33	1.34	26.47	0.68	0.76	3.55	2.82	0.17	29.05	0.08	0.26			1.94	
	100.65	73VD52Q	25.23	0.31	7.33	3.72	32.30	1.08	0.55	2.42	2.60	0.36	25.53	0.08	0.18			0.28	
	含铜重晶石岩	A4	1.44	0.00	0.00	6.23	5.84	0.76	0.54	0.76	0.00	0.00		0.000	11.27	81.08	1.55	97.26	
	含铅似碧玉重晶石岩	A5 A6	9.96 0.06	0.05 0.00	1.60 0.00	0.64 4.60	1.04 2.53	0.90 0.48	1.48 0.88	0.90 0.48	0.14 0.00	0.30 0.00		0.094 0.000		77.29 89.12	2.23 0.52	98.81 97.40	
热水同生沉积交代微相	硅质铁白云岩	A3	39.18	0.31	7.49	3.22	8.55	0.46	11.69	4.91	2.49	0.46	18.54	0.114				19.81	98.51
	硅质铁白云岩	A7	32.19	0.00	0.56	0.07	11.53	0.64	17.40	6.29	0.17	0.04	28.59	0.000				28.66	97.55
	绢云母结晶灰岩*		23.63		5.04	1.13	1.83	0.09	34.08	2.11	1.36	0.34	29.26	0.055	0.188	0.03		100.35	
热卤水渗滤交代微相	方柱黑云角岩	A9	63.67	0.69	15.20	1.14	4.78	0.08	0.54	3.47	2.88	1.55		0.141				4.14	98.28
	黑云母角岩	A8	60.79	0.72	16.66	1.76	4.44	0.01	0.47	3.44	3.66	1.23		0.132				4.67	98.07
	黑云方柱角岩**	n=3	49.26	0.58	13.94	1.74	3.85	0.03	9.02	3.98	2.84	3.85	5.06	0.130				2.17	
热水混合沉积微相	铜银矿石***	E15	33.98		9.45	5.49	21.19	0.93	1.95	1.65	1.61	2.25	12.91	0.126	3.26	1.10		100.37	
	铅银矿石(重晶石)	E9	16.56		4.94	2.51	0.74	0.06	1.48	0.41	0.70	0.85	1.48	0.060	11.60	29.06		99.92	
	铅银矿石	n=3	30.08	0.33	10.47	4.19	8.06	0.25	4.26	1.03	2.14	0.67	6.88	0.154	6.06	8.23		98.72	
	银矿石	E16	41.41		12.85	5.59	16.40	0.93	1.57	1.05	1.97	2.62	9.98	0.103	2.62	1.45		100.34	
	铅锌矿石	n=4	38.71	0.47	14.21	1.78	6.94	0.13	6.52	1.27	3.07	0.64	7.75	0.165	1.96	2.29		99.71	
	铜矿石	E17	46.80		15.32	6.59	11.21	0.00	1.13	1.05	3.80	0.25	2.94	0.200	2.26	4.76		99.58	
	E24	33.80		8.98	9.48	8.48	0.01	1.23	1.21	2.77	0.32	3.34	0.100	4.94	15.63		94.48		

测试单位:西安地质矿产研究所;测试方法:化学定量分析;资料来源:本文,*据陕西 714 队,**据祁思敬、李英;***据王世忠;n 代表样品数;空格代表未分析项目;总量误差为 99%~101%,样品总量低于 99%为分析项目不全

在热水同生沉积交代微相中,硅质铁白云岩中 SiO₂、Al₂O₃、FeO 含量高,结合绢云母结晶灰岩分布于硅质铁白云岩、铁白云岩之下地质产状,在热水同生沉积过程中, SiO₂、Al₂O₃、FeO 对下伏的碳酸盐沉积物发生了强烈的同生沉积化学交代作用,而镜下可见到铁白云石、石英交代方解石,交代强烈的部位主要由铁白云石或铁白云石、石英组成。

在热卤水渗滤交代微相中,主要是由热卤水中 K₂O、Na₂O、Cl 的交代作用, K₂O 交代表现为黑云母化, Na₂O、Cl 交代作用表现为方柱石化。在岩石中,钠长石交代斜长石,被钙钠柱石交代,方柱石由内核向外环 CaO 含量逐渐降低、Na₂O 和 Cl 含量逐渐升高,说明方柱石是在成岩晚期由富 Na、Cl 的热卤水“浸泡”,并发生了 Na、Cl 的交代作用^[1]。因岩性、热变质和交代作用不同可形成方柱石黑云母岩 黑云母方柱石

岩、含黑云母和方柱石千枚岩、方柱石结晶灰岩,黑云母的含量高低指示了热变质和 K₂O 交代的程度,而方柱石的含量则反映了 Na、Cl 的热卤水交代程度。

热水混合沉积微相 其化学成分变化较大,主要是由不同成分的热卤水混合所致。银矿石、铜银矿石与富 Na₂O、SiO₂、B、Cu²⁺、Ag⁺ 的热卤水流体密切相关,并有富 Fe 碳酸质流体的混合同生沉积作用。铅锌矿石主要与富 Pb、Zn 的铝硅酸质热水流有关。而铅银矿石中 SiO₂/BaO 比值明显降低,说明有大量的富 Ba 硫酸质热水流体混入。富 Ba 硫酸质热水流体与富 Cu 的铝硅酸质热水流体的混合则是形成铜矿石的主要机制。

3.2 热水岩相形成的地球化学环境

从表 3 看,菱铁矿岩形成于极强还原的环境中 (Fe²⁺/Fe³⁺>10) 铁绿泥石岩 硅质铁白云岩形成于

强还原环境中 (Fe^{2+}/Fe^{3+} 在 10 ~ 5.5 之间), 从菱铁矿岩 → 硅质铁白云岩 → 绢云母铁白云岩 → 绢云母石灰质铁白云岩 → 绢云母结晶灰岩, Fe^{2+}/Fe^{3+} 比值逐渐

降低, 从强还原环境逐渐变化为强氧化环境, 它反映了从热水沉积盆地中心到边缘的岩相变化规律和氧化—还原条件变化的特点。铁白云岩与灰岩急剧相变的部位

表 3 热水岩相的地球化学环境

Table 4 Geochemical environments of hydrothermal rock facies

微相	岩性	Fe^{2+}/Fe^{3+}	S%	铁矿物组合	氧化—还原性质
热水同生沉积—沸腾微相	钠长石角砾岩	0.73			氧化
	钠长似碧玉岩	1.04	4.02	磁铁矿+黄铁矿+黄铜矿	中性
热水同生沉积微相	钠长似碧玉岩	3.16	2.05	菱铁矿+黄铁矿	还原
	菱铁矿岩	11.75	0.23	菱铁矿+菱镁铁矿	较强还原
	含铜重晶石岩	1.04	11.27	磁铁矿+黄铜矿+黄铁矿	中性
	含铜重晶石岩	1.81			中性
	重晶石岩	0.61		镜铁矿	氧化
	铁绿泥石岩	7.40		铁绿泥石+黄铁矿	强还原
热水同生沉积交代微相	磁铁矿铁绿泥石岩	1.86		铁绿泥石+磁铁矿	中性
	硅质铁白云岩	6.10		铁白云石+黄铁矿	强还原
	绢云铁白云岩	2.77		含铁白云石	弱还原
	绢云石灰质铁白云岩	1.25		含铁白云石	中性
	绢云母结晶灰岩	0.06			强氧化
热卤水渗滤交代微相	方柱石黑云母角岩	4.66			还原
	黑云母角岩	5.02			还原
	黑云母方柱石角岩	2.46			弱还原
热水混合沉积微相	铜银矿石	4.29	3.26	黄铜矿+黄铁矿	还原
	铅银矿石	2.13	6.06	黄铁矿+磁铁矿	还原与
	铅银矿石(重晶石)	0.03	11.60		氧化突变
	银矿石	3.26	2.62	黄铁矿+黄铜矿	弱还原
	铅锌矿石	4.35	1.96	黄铁矿+磁黄铁矿	还原
	铜矿石	1.89	2.26	黄铁矿+黄铜矿+磁铁矿	还原与
	铜矿石(重晶石)	0.99	4.94	黄铜矿+磁铁矿	氧化突变

(层位)对菱铁矿的成矿最为有利, 说明大西沟三级热水沉积盆地中心的强还原环境中有利于富 Fe 碳酸质热水流体直接发生热水同生沉积成矿作用, 并对下伏及侧向的碳酸盐软泥发生 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 SiO_2 的交代作用, 三级热水沉积盆地的边坡(绢云母石灰质铁白云岩)上成矿作用及同生沉积交代作用减弱, 其盆地的边缘(绢云母结晶灰岩)由于处于强氧化环境中, 不能形成菱铁矿层。黄铁矿铁绿泥石岩形成于银洞子(银多金属矿层)三级热水沉积盆地中心; 菱铁矿铁绿泥石岩形成于大西沟(菱铁矿矿层)三级热水沉积盆地中心, 它们是一种极强还原性质。铁绿泥石岩对于银多金属矿层的形成有利, 而对菱铁矿层的形成不利, 主要是由于富铝硅酸质热水流体的混入 形成铁绿泥石

岩消耗了大量的 Fe^{2+} , 不利于形成菱铁矿。磁铁矿铁绿泥石岩形成于三级热水沉积盆地的斜坡环境, 氧化程度增高, 对成矿不利。重晶石岩在氧化环境中形成, 含有铜时则变为中性环境。热水渗滤交代微相形成于还原环境中。热水混合沉积微相主体上为还原环境, 由于有富 Ba 的硫酸质热水流体的混入, 局部形成了氧化—还原突变环境, 正是在这种反复变化的突变环境中, 非平衡的混合热水体系发生强烈地化学反应而导致成矿物质的骤沉。柞山地区的钠长石角砾岩中, Fe^{2+}/Fe^{3+} 为 0.73, 显示其形成于氧化环境之中, 而本区含矿钠长硅质角砾岩缺少 Fe^{2+}/Fe^{3+} 比值的测定计算值, 但其含有较多的硫化物, 指示可能形成于三级热水沉积盆地之中的还原环境

4 热水岩相的构造背景分析

4.1 区域构造背景及动力学

秦岭造山带在志留纪末—泥盆纪初古地理格局发生重大变革。勉略洋打开分离出秦岭微板块,在区域构造扩张背景下,由于伸展作用,从泥盆纪开始发育裂陷性地垒—地堑系复杂组合的构造格局^[8,9]。秦岭泥盆纪海域就是在这种特定的造山带动力学背景下形成,热水沉积岩形成于这种次稳定的环境中。

柞山泥盆纪沉积盆地北部商丹断裂是扬子板块和华北板块的缝合线^[9],它是一个宽度较大、具有长期演化历史的超岩石圈断裂;盆地南部山阳—凤镇断裂也是一条至少从寒武纪已经形成、长期活动的超岩石圈断裂。早泥盆世,本区未接受沉积,从中泥盆世开始,发生了快速的断陷作用,此时山阳—凤镇断裂表现为同沉积断层,扬子板块在深部仍向华北板块缓慢俯冲,并导致了浅部的伸展、断陷作用。由于南部的勉略洋打开,减慢了深部俯冲的速度,深部地幔处于调整状态。这两条超岩石圈断裂的协同作用,控制了柞山泥盆纪裂陷盆地的形成,盆地的东部山阳以东地区发育一个近北东向的基底($\epsilon-0$)隆起,盆地的西部发育近北东向的基底($\zeta-0$)隆起,使柞山盆地在东西向上被两个北东向基底隆起所分割,从而阻碍了海水的畅通。

4.2 热水沉积盆地

中泥盆世初期,快速沉降的幅度很大,形成了一种深海浊流盆地相的充填,盆地边缘浊积岩相中,发育与上、下地层极不协调的“M”、“S”流劈理,说明曾经发生一次快速沉降而导致沉积物发生剪切流变。在桐木沟、二峪河、车房沟发育三条北东向的同生断裂,它是二条超岩石圈断裂走滑作用下形成的协调同生断裂,从而在盆地内形成了一系列次级盆地,而本区是受车房沟、大西沟两条同生断裂控制的二级沉积盆地。这些同生断裂使古地热系统因应力减弱而导致了含矿热水沿次级同生断裂上升迁移到三级沉积盆地之中,从而形成了三级热水沉积盆地。银多金属矿床分布于银洞子三级热水盆地之中,重晶石菱铁矿床位于海底地形较高的大西沟三级热水盆地中,二者之间为次级同生断裂所控制。

4.3 同生断裂是成矿流体运移的通道

菱铁矿层底板围岩为菱铁矿铁绿泥石千枚岩,向东过渡为菱铁矿千枚岩、含炭绢云母铁绿泥石千枚岩。银多金属矿层底板围岩变化为含炭结晶灰岩,炭质含量从西向东逐渐增加。在车房沟以东为银多金属矿层以西为重晶石菱铁矿层,车房沟是含矿岩相相变

矿化分带的部位。以东出现指示热水喷溢通道的含矿钠长硅质角砾岩,近喷溢中心的黄铁矿铁绿泥石岩,说明在车房沟一带发育同生断裂。在大西沟 18 线—19 线之间、银洞子 57 线—85 线之间及 19 线—57 线矿体的水平投影图上分别有菱铁矿矿体、铜铅银及铜铁矿体呈北东向分布,可能为三条北东向同生断裂的位置^[11],这三条北东向同生断裂是成矿流体从深部运移到三级热水沉积盆地的通道。

5 热水成岩成矿作用

5.1 成矿物质来源

银多金属矿石中铅同位素模式年龄(Doe)一般大于 400Ma,仅东车房沟剖面上黄铁矿铅同位素年龄为 262 Ma,说明铅源主要来自盆地基底地层(前泥盆系)。 μ 值为 9.41~9.98,平均为 9.69,属高 μ 值正常铅,反映铅为上地壳来源。对 μ 值 K_3 值及 μ 值、 ω 值进行相关分析表明:银洞子层状矿体与底板围岩 13 个样品中,二者均为正相关, $r_{\mu-k_3}=0.890$, $r_{\mu-\omega}=0.956$,说明铅源铀和钍是同步的,代表造山带的混合铅特征,因为上地壳富铀、高 μ 值,而下地壳中富钍,高 ω 值,造山带是二者的混合区域。大西沟的 3 个菱铁矿样则不相同, $r_{\mu-k_3}=-0.961$, $r_{\mu-\omega}=-0.856$,呈负相关,说明其更富钍铅,其 K_3 、 ω 值均较高,显示其成矿物质来源更深一些,以壳幔混源的造山带来源为主,上地壳来源次之^[1,2,10,11]。大西沟菱铁矿床、西部铜矿段及 13 号银多金属矿体中 $\delta^{34}\text{S}$ 离散度高,以富集重硫为特征, $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 15.5‰~+16.5‰,与区域地层中硫同位素基本一致,也与泥盆纪海水中 $\delta^{34}\text{S}$ (+17.3‰)相似,说明硫源主要来自海水。小铅矿体群与 13 号矿体等的硫同位素截然不同, $\delta^{34}\text{S}$ 波动范围小,集中在零值附近,反映了有深源硫的特征^[1,2,10,11]。盆地基底前泥盆系中,志留系、寒武—奥陶系发育黑色页岩,Pb、Zn、Cu、Ag、Ba、Hg 等成矿元素具有初步的富集^[1],能够提供大量的成矿物质,且富含有机质, $C_{\text{有}}$ 在 0.4%~1.5%,“A”值为 1.77×10^3 、 3.3×10^{-4} ,有利于在古地热系统中发生金属活化、迁移^[1,2]。综上所述,成矿物质具有多来源的特征,主要以盆地基底的前泥盆地系的矿源层为主体来源,并有深部幔物质的加入。

5.2 成矿物质大规模沉淀富集的机理

从前述的分析看本区至少有六种不同成分、不同性质的热水流体,即氧化、酸性、富 Ba 的硫酸质流体;还原、碱性—弱碱性富 Fe 碳酸质流体;富 Cu、Ag、Na、B 的铝硅酸质—硼酸质流体;还原、酸性富 Cu、Pb、Zn As Sb 的硅酸质流体及海水。重晶石菱铁矿是

快速化学沉淀发生热水同生沉积成矿作用导致成矿物质聚集于大西沟级热水沉积洼地中; 银多金属矿层是在银铜子级热水沉积洼地中, 由于热水混合作用形成非平衡热水混合系统, 这种系统中剧烈的化学反应而导致矿质骤沉, 热水沉积盆地是“剧烈的化学反应库”, 也是矿质就位的有利空间。其上覆的铁白云质千枚岩、绢云母绿泥石千枚岩仍有热水同生沉积作用混入, BaO 为 0.02% ~ 1.7%, MnO 为 0.175% ~ 0.427%, Ga 为 17.4×10^{-6} ~ 20.7×10^{-6} , K₂O 为 3.91% ~ 5.12%。岩性层厚度大, 说明矿层形成之后, 热水活动减弱, 但仍继续发生了三级热水沉积盆地的沉降, 为矿层保存提供了良好的条件。印支—燕山期发生了叠加改造富集矿作用而使矿床进一步富化。

致谢: 本文是在张国伟教授指导下完成的博士论文中部分成果, 研究工作中得到了张国伟教授、芦继英教授级高级工程师的悉心指导和帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 祁恩敬, 李英. 秦岭泥盆系铅锌矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 1 ~ 28
- 2 王相, 唐荣杨, 李实等编著. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996
- 3 薛春纪. 秦岭泥盆纪热水沉积[M]. 西安: 西安地图出版社, 1997, 40 ~ 99
- 4 Colin C H, et al. mixed-layer clay geothermometry in the wairakei geothermal field, new Zealand[J]. Clays Clay Min, 1991, 39: 614 ~ 621
- 5 Walshe J L. A six-component chlorite solid? solution model and conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems[J]. Econ. Geol., 1986 81: 681 ~ 703
- 6 李文亢, 方永安, 石准立等编著. 秦岭东部微细粒金矿成矿条件[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 3 ~ 38
- 7 炎金才. 银铜子银铅矿床重晶石岩的地球化学特征[J]. 矿物学报, 1993, 15(1): 61 ~ 67
- 8 张国伟, 周鼎武, 于在平等. 秦岭造山带岩石圈组成结构和演化特征[A]. 秦岭造山带学术讨论会论文选集[C]. 西安: 西北大学出版社, 1991, 121 ~ 138
- 9 Guowei Zhang, Liwen Xiang, and Qingren Meng. The Qinling orogen and intracontinental orogen mechanisms[J]. Episodes 1995, 18(1-2): 36 ~ 39
- 10 张本仁, 骆庭川, 陈德兴. 陕西柞水—山阳成矿带区域地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989, 55 ~ 81
- 11 李丰收. 陕西省柞水县大西沟—银铜子菱铁多金属矿床成因研究及找矿远景分析[J]. 西北金属矿产地质, 1994, 1-2: 38 ~ 55

Genesis and Characteristics of Hydrothermal Sedimentary Facies Siderite—Silver—Polymetallic Deposits in Yindongzi and Daxigou, Shanxi, China

FANG Wei-xuan^{1,2} LU Ji-ying²

1 (Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

2 (Northwest Geological Exploration Bureau, CNNC, Xi'an 710054)

Abstract

Siderite—silver—polymetallic deposits in Yindongzi and Daxigou, Shaanxi, Province, China, occur at the Middle Devonian hydrothermal sedimentary facies in the subbasin on the sea bed. There is a major economic ore-body in Daxigou which is 2000 m long, from 10 m to more than 100 m thick, and there is the main economic ore-body of silver—polymetals in Yindongzi which is 1900 m long, from 1.0 m to 20.0 m thick.

According to patterns of hydrothermal sedimentation, based on petrology, mineralogy, petrochemistry, geochemistry for the hydrothermal sedimentary facies, the hydrothermal sedimentary facies and their rocks can be classified into five subfacies respectively, hydrothermal synsedimentary replacement—ebullitional subfacies, hydrothermal synsedimentary subfacies, hydrothermal synsedimentary—replacement subfacies, hot—brine vadose—replacement subfacies, and hydrothermal—mixing synsedimentary subfacies. First, the hydrothermal synsedimentary replacement—ebullitional subfacies consist of brecciated albite carbonate rock and ore—bearing brecciated albite siliceous rock. These brecciated rocks may have formed by the synsedimentary replacement and ebullition of hydrothermal fluids along pouring passways (synfaults) in the subbasin on the sea bed, for hydrothermal fluids could explode and ebullite along their passways covered by pre-existing hydrothermal sediments under the pressure of hydrothermal fluid? overpassing total pressure of their overlying waterbody in the subbasin and their overlying

sediments. Secondly, hydrothermal synsedimentary subfacies is made up of albite rock, siderite, barite. These rocks essentially stratiform with their elongation parallel to the bedding and with subfacies change and thinning-out. For examples, Bariteolites were formed by the Ba⁺-rich sulfate hot-brine in a way of rapid chemical precipitation in the subbasin on the sea bed while sideriteolites were produced by Fe⁺-rich carbonate hydrothermal fluid in the same way at the same subbasin. These rock layers are characterized by bedded, laminated, layer-massive structures which change regularly in the subbasin. Thirdly, the hydrothermal synsedimentary replacement subfacies include siliceous ferrodolomite, ferrodolomite, dolomitic limestone and, siderite ferrodolomite. These hydrothermal rocks occur in the footwall rocks of the orebody or in the pinning-out layer of hydrothermal rocks. They might have been produced by the synsedimentation of the hydrothermal. At the same time, synmetasomatism between the hydrothermal fluids and soft sediments on the bed or the slope of the subbasin could take place because replacement structures are easily recognized in the field and lab study. Results of research on mineralogy, structures and textures of the rock and petrochemistry have suggested that SiO₂, Al₂O₃ and FeO from the hydrothermal in the subbasin has been extensively replaced in the underlying carbonate sediments on the sea bed. Fourthly, the hot-brine vadose-replacement subfacies is composed of scapolite biotite hornstone and scapolite slate. These rocks can be formed by K, Na and Cl⁻ rich hot-brines during their diagenetic processes in the extensively geothermal environment but it is difficult for them to be formed by the processes related to magmatic activities during superimposed stage with the exception of the hornstone enclosing magmatic intrusions. Finally, the subfacies of mixing of different chemical components and physical-chemical states of the hydrothermal fluids, one of the most important subfacies, include sulfide rocks and albite chert with ore formation. These rock layers or ore layers are characterized by bedded, laminated, layer-massive, graded bedding and graded rhythmite, and chemical bedding. The most important characteristic exists in these rock layers or ore layers. The chemical bedding is as follows: laminated albite layer → albite-sulfide layer → albite-carbonate mineral-sulfide layer → albite-barite laminated layer → laminated barite layer → barite-albite-chert layer → ferrodolomite laminated layer. Most silver polymetallic ore layers were accumulated by the mixing of different components and states of the hydrothermal ore-forming fluids in a way of extensive accumulations in the subbasin on the sea bed, for ore-forming materials were enriched by extensive chemical reactions between the different components and states of ore-forming hydrothermal water layers in the unequilibrium systems.

Zhashan Devonian sedimentary basin were formed in the extensional environment in the upper crust during slow subduction of the Qinling subplate. The basin is an extensional basin on the passive continental north margin of the Qinling subplate. Daxigou to Yingdongzi hydrothermal ore-forming subbasin, an extensional-downfaulted basin, were formed by the same downfalling roof of two synfaults where were the pass ways for the hydrothermal water derived from the pre-Devonian underlying strata for the basin. The subbasin what is called is an extensively chemical reaction dimension is a space for the ore-forming hydrothermal water forming ore layer or hydrothermal rock facies, which were closed by overlying argillite.

Key words Hydrothermal sedimentary facies subfacies geothermal environment rock and ore formation of hydrothermal sedimentary subbasin tectonic environment