

花垣铅锌矿床成矿流体特征及动态^{*}

刘文均 郑荣才

(成都理工学院, 成都)

提 要: 花垣铅锌矿床是近年来发现的产于下寒武统清虚洞组藻灰岩-鲕粒灰岩中的大型密西西比型 (MVT) 铅锌矿床。根据矿床中大量流体包裹体的详细研究, 成矿流体为高盐度的低温热卤水, 流体气相组分中, H_2O 占有主要部分, CO_2+CH_4 约为 5%, lgf_{O_2} 稳定在 - 48.0~ - 49.00 之间, pH 为 4.3~ 5.8, Eh 为 - 0.07~ - 0.1 eV, 此外, 流体组分中, 钠离子的含量大于钾离子, 钙离子大于镁离子, 而氯离子大于氟离子, 这一特点是 MVT 矿床所共有的, 但 Na^+/K^+ 值较低而 Ca^{2+}/Mg^{2+} 比值较高, 不同于美国的许多 MVT 矿床, 流体中 K^+ 离子较高的原因之一, 在于部分矿体的寄主岩石中 K^+ 含量较高, 对流体的成分产生了影响。此外, 流体的氢、氧同位素组分表明, 流体来源与建造水有关, 后期有大气降水加入。大量数据证明, 在矿床范围内, 流体的温度与 CO_2 、 CH_4 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 的含量, 具有从北向南同步下降的特点, 表明在矿床中, 流体的运动方向是由北而南顺层侧向流动的, 矿区外围可能也具有这种运动趋势。

关键词: MVT 矿床 成矿流体 热卤水 侧向运动 湖南花垣

中图法分类号: P618.4

位于湖南西部的花垣铅锌矿床, 是近年来发现的产于下寒武统碳酸盐岩中的大型密西西比河谷型 (MVT) 铅锌矿床。本文系统研究了该矿床及外围矿点流体包裹体中的气液相组分、物理化学状态, 并对其来源和空间动态加以讨论, 为进一步阐明矿床成因及成矿模式提供了重要依据。

1 区域地质背景及矿床特征

矿区位于扬子陆块东南缘、“江南古陆”西侧的加里东运动中形成的褶断带上, 以西为印支期的八面山褶皱带。震旦纪至早古生代, 湘西黔东地区为扬子板块东南缘的被动大陆边缘, 北东向湘黔断裂带的同生活动, 造成明显的南东倾的边缘斜坡带, 斜坡带以西为浅水碳酸盐台地, 以东为深水盆地。加里东期末, 由于华夏板块与扬子板块的碰撞拼合所产生的向西的逆冲推覆作用, 边缘斜坡带褶皱隆起形成著名的“江南古陆”, 其西侧出现若干由北东向的逆冲断裂和褶皱组成的边缘褶断带^[1]。晚古生代早期这里未接受沉积, 直到晚期才有厚度不大的浅水沉积出现, 印支-燕山运动中, 区内继续有向西的逆冲推覆作用并造成中新生的隆起断陷状态。

* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 49572121)

第一作者简介: 刘文均, 男, 1933年生, 研究员, 从事沉积与层控矿床的教学与科研工作。邮政编码: 610059
1999-01-04收稿, 1999-08-04修改回

矿区位于花垣城西,呈北东东向展布,长约14 km、宽2 km,自北而南分为耐子堡、半坡、李梅、土地坪、渔塘等矿段,均经过初步勘探。外围矿点主要分布于摩天岭背斜东翼,包括花垣的排吾、大铁厂、杉木冲,断续南延至贵州松桃的水源、嗅脑,直至铜仁附近(图1)。

矿区地层以下古生界为主,震旦系及上元古界(板溪群)见于背斜轴部及东部地区,上古生界仅见于西侧。含矿的寒武系剖面自上而下为:

中上寒武统娄山关群:厚层纹层状白云岩,麻栗场断裂(F_1)以东相变为斜坡相的暗色灰岩,泥岩夹滑塌角砾岩,厚900~1700 m。

中统高台组:灰黑色泥质白云岩、泥岩,厚6~45 m。

下统清虚洞组($\epsilon_{1,q}$):可分五段,自上而下为。

(5)白云岩段:灰白色厚层纹层白云岩,潮坪相,厚70~120 m。

(4)鲕粒灰岩段:灰白色厚层一块状亮晶鲕粒-碎屑灰岩。台缘浅滩相,次要矿化层位,厚6~70 m。

(3)藻灰岩段:灰白色厚层块状藻灰岩,藻屑-砂屑灰岩,丘-礁相,顶部夹透镜状灰黑色泥质条带灰岩及角砾灰岩,礁间通道相,主要矿化层位,厚8~215 m。

(2)泥晶灰岩段:灰-绿灰色中厚层砂屑泥晶灰岩,上缓坡相,厚10~50 m。

(1)条带灰岩段,深灰色中薄层泥质条带灰岩,下缓坡相,厚50~100 m。

下统杷榔组:灰色中薄层粉砂质页岩,陆棚相,厚160~200 m。

下统牛蹄塘组:薄层黑色页岩,底部为高碳质板岩,富含V、Ni、Mo等金属元素,夹磷结核,重晶石结核等,深水陆棚-盆地相,厚250 m。

矿区位于加里东期形成的边缘褶断带上,它们由一组北北东-北东向逆冲断裂及平缓褶皱组成。矿区主要位于花垣断裂(F_3)与水田断裂(F_2)之间的一组北东东向的平缓背斜和向斜中,地层倾角一般仅几度到十几度,次级断裂很少。外围矿点主要位于北北东向的摩天

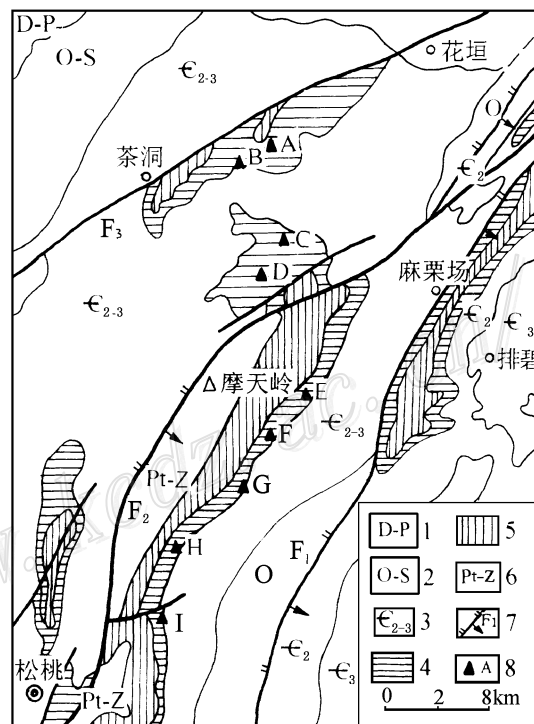


图1 花垣铅锌矿床地质简图

(据1:50万湖南地质图修改,1988)

1—二叠系—泥盆系; 2—志留系—奥陶系; 3—上、中寒武统; 4—清虚洞组; 5—杷榔组、牛蹄塘组; 6—震旦系、上元古界; 7—逆冲断裂及编号; 8—矿床(点)及编号: A—耐子堡; B—半坡; C—渔塘; D—土地坪; E—排吾; F—杉木冲; G—大铁厂; H—水源; I—嗅脑

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Huayuan lead-zinc deposit.

1—Permian, Devonian; 2—Silurian, Ordovician; 3—Upper-Middle Cambrian; 4—Qingxudong Formation; 5—Balong Formation, Niutitong Formation; 6—Sinian; 7—Upper Proterozoic; 8—Thrust fault; 8— Ore deposits (mineral occurrence): A—Naizibao; B—Banpo; C—Yutong; D—Tudiping; E—Paifu; F—Shamuchong; G—Datiechang; H—Shuiyuan, I, Xiunao.

岭背斜东翼的相关地层中。所有矿床及矿点集中产于清虚洞组的3、4段,即沿大陆边缘呈北北东向分布的丘-礁相藻灰岩、边缘滩相鲕粒灰岩及其间的泥质灰岩中。矿体呈多层次状整合产出,层数多,范围大,空间上多数集中于平缓背斜的近轴部位置。

矿床有用组分以锌为主,中低品位。有用矿物以浅色闪锌矿为主,黄铁矿、方铅矿次之。脉石矿物以方解石、重晶石、白云石为主,少量萤石,微量沥青、石膏,还发现含有机质的黑色萤石、灰色方解石等,前者主要出现于矿体顶部及边缘部分。成矿作用过程包括3个阶段,以早中阶段为主。不同阶段的矿物特征有所不同,从早到晚,闪锌矿由棕黄色变为淡黄色,Fe、Mn、Cd、Ge等微量元素的含量也有所降低;方铅矿由少增多,黄铁矿减少;方解石由浅灰色、半透明到乳白色,Fe的含量减少;重晶石由细粒、板状到粗粒;而萤石则由灰黑色到浅紫色或无色。矿石结构以自形—他形晶粒结构为主,闪锌矿及黄铁矿以细中粒为主,方铅矿粗大。矿石构造有浸染状、细粒斑点状、环带状、斑块状及网脉状等。灰岩中矿石结构较复杂,而泥质灰岩中以细粒斑点状及网状为主。矿石组分有垂直及水平分带现象,下部矿层以斑块状闪锌矿为主,中部多为斑点状闪锌矿或含铅的锌矿体,上部铅矿增多,以网脉状为主。在平面上,北段的半坡、耐子堡矿段,以闪锌矿为主,重晶石发育,黑色萤石有多处发现,矿床规模较大。南段的渔塘,矿床规模减小,方铅矿及黄铁矿增多,重晶石及萤石相对较少。矿床蚀变主要有退色化、白云石化及重晶石化。外围矿点特征与矿区基本一致,但矿体规模小,变化大,闪锌矿以浅黄色为主,局部出现以方铅矿为主的小囊状矿体,脉石矿物以方解石、白云石为主,重晶石、萤石极少出现。

2 流体的物理化学参数

2.1 流体温度

矿床的闪锌矿、方解石、重晶石、萤石等透明—半透明矿物中,包裹体较发育。包裹体直径5~15 μm,多呈长圆形、负晶形及不规则状,无序分布,以单相包裹体(L)为主,双相包裹体(L-V)次之,气液比一般为1%~3%,少数5%,以及少量三相包裹体(L-V-S),其中经研究确定的子晶矿物有石膏、石盐、方解石、重晶石、闪锌矿、黄铁矿等^[2]。此外,也见有数量不定的有机包裹体存在,可能包括有机液相、气相、或含气相烃的气液包裹体等。

经热台测定,不同矿段、不同矿物的均一温度有以下特征(表1、图2)。

(1) 不同矿段的均一温度直方图,总体上表现为单峰的近正态分布特征,表明不同成矿阶段之间的温度变化不大,不具明显的阶段性差别。

(2) 不同矿物的均一温度存在一定差别,其中闪锌矿、萤石、重晶石的结果较一致,而方解石的均一温度变化范围及平均值均大于其他矿物。这种被称为“噪音”的异常现象,在国外某些大型MVT矿床中同样存在,如密苏里东南^[6]及派恩帕恩特^[7]。因此不能仅用碳酸盐矿物的均一温度结果作为成矿流体的温度标志。

(3) 在花垣矿区,无论是根据多种矿物的平均温度或中位值,还是根据单个矿物的平均温度或中位值,从北段的半坡、耐子堡矿段,到南段的渔塘寨,流体温度是逐渐降低的(由137℃下降到131℃),侧向温度梯度约为0.4℃/km。在矿区外围,由排吾→松桃→铜仁,均一温度亦有由北而南降低的趋势。这种温度降低的趋势与不同矿段的矿物组合特点,矿床规模以

及下文中将要论及的流体组分的变化趋势也是同步的。因此,这一特征可能反映了成矿流体的运动方向。

表 1 花垣铅锌矿床流体包裹体的均一温度 (°C)

矿物	耐子堡				半坡				渔塘			
	数量	范围	平均值	中位值	数量	范围	平均值	中位值	数量	范围	平均值	中位值
方解石	82	93~246	151.1	153	130	87~210	139.7	140	79	80~200	135.1	133
萤石	18	93~180	125.0	136.5	56	93~173	131.3	133				
重晶石	45	90~173	125.2	120	13	100~173	134.7	133				
闪锌矿	17	86~186	122.6	126	11	87~150	125.6	133	24	80~180	118.6	177
平均	162	86~246	138.6	133	210	87~210	136.4	133	103	80~200	131.3	126
矿物	排吾				松桃				铜仁			
	数量	范围	平均值	中位值	数量	范围	平均值	中位值	数量	范围	平均值	中位值
方解石	10	114~206	155.2	146.5	20	93~166	121.6	117	20	67~160	117.7	117
闪锌矿					4	107~146	126.5	126.5	13	74~153	121.5	120
平均	10	114~206	155.2	146.5	24	93~106	122.4	123	33	67~160	119.2	120

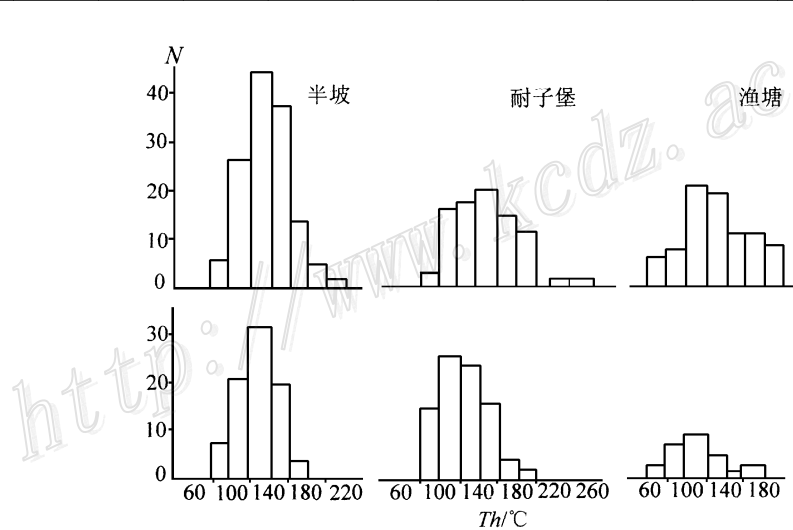


图 2 不同矿区均一温度直方图

上图为方解石, 下图为闪锌矿及其他脉石矿物

Fig. 2. Histogram showing homogenization temperatures of different ore districts.

Upper: Calcite; Lower: Sphalerite and other gangue minerals.

(4) 根据半坡矿段近南北向勘探剖面上13个样品点的测定, 温度梯度的垂向变化, 并不是简单的向上变低, 而是在剖面的中部, 相当于清虚洞组3、4段之间位置的温度最高, 而后向上向下逐渐降低, 而且向上降低的速度略大于下部。这一特征可能反映了成矿流体的运动是沿3、4段间界面侧向流动的, 实际上规模较大的主矿体也是出现在这个位置上。

2.2 流体的盐度、密度

根据冷冻法测得的(表2)矿床流体属高盐度卤水, 其中耐子堡矿区的盐度范围约为4.49%~30.72% NaCl, 平均14.39% NaCl, 半坡约为4.94%~38.27% NaCl, 平均17.47% NaCl,

渔塘测量点较少, 平均值为 18.87% NaCl。其中含子晶包裹体的盐度一般在 30% 以上, 且少数包裹体在 -50℃ 时亦不发生冻结, 表明其盐度是很高的。盐度较低包裹体主要出现在晚期阶段, 表明有淡水加入使盐度稀释降低。矿区外围流体盐度相对较低, 松桃嗅脑矿点测得的盐度仅为 10.56% NaCl。

根据矿床平均温度及盐度, 在盐度-均一温度-密度相关图上, 求得该矿床的流体平均密度大致在 1.0~1.1 g/cm³ 之间变化。此外, 根据计算成矿压力的经验公式^[3]:

$$p_1 \text{ (成矿压力)} = p_0 \text{ (初始压力)} \times t_1 \text{ (实测温度)} / t_0 \text{ (初始温度)}$$

$$p_0 = 219 + 2620 \times S \text{ (成矿溶液盐度)} \quad t_0 = 374 + 920 \times S$$

以及矿区已取得的平均温度和平均盐度, 计算得不同矿床的成矿压力, 在矿区内分别为 367×10⁵~386×10⁵ Pa, 矿区外围为 336×10⁵ Pa。按地面向下 27 MPa/km 增压率计算, 矿区的成矿深度约为 1.36~1.43 km, 而外围的成矿深度约为 1.24 km, 这一结果与 MVT 矿床均属浅成或超浅成的深度估计是一致的。

表 2 花垣铅锌矿床的平均盐度、温度、密度、成矿压力和深度

Table 2. Average salinity, temperature, density and ore-forming pressure and depth of the

Huayuan lead-zinc deposit

矿 区	S _{NaCl} /%	t/℃	ρ/(g/cm ³)	p/Pa	成矿深度/km
耐子堡	14.39	138.6	1.04	386	1.43
半 坡	19.47	136.4	1.06	382	1.41
渔 塘	18.87	131.3	1.08	367	1.36
松 桃	10.56	121.6	1.02	336	1.24

2.3 包裹体的气相组分及其主要参数

根据流体包裹体的 H₂O、CO₂、CH₄、H₂、CO 等组分特征, 以及有关资料^[4,5], 可以计算得流体的 lgf_{O₂}、lgf_{CO₂}、lgf_{CH₄}、pH、Eh 以及还原参数等主要物理化学参数 (表 3), 它们具有如下特点。

表 3 花垣铅锌矿区及外围包裹体气相组分(摩尔分数)及其主要参数

Table 3. Gaseous components of inclusions and their main parameters in the Huayuan lead-zinc ore district and its outskirts

矿物	地区	样数	X _{H₂O}	X _{CO₂}	X _{CH₄}	X _{H₂}	X _{CO}	lgf _{O₂}	lgf _{CO₂}	lgf _{CH₄}	pH	Eh/eV	还原参数
闪锌矿	北段	6	0.9162	0.0645	0.0100	0.0016	0.0044	- 48.40	1.17	0.40	5.3	- 0.060	0.31
	南段	4	0.9384	0.0471	0.0060	0.0015	0.0043	- 48.39	1.07	0.31	5.4	- 0.063	0.30
	外围	2	0.9488	0.0450	0.0024	0.0020	0.0018	- 48.18	1.01	- 0.07	5.7	- 0.070	0.12
脉石矿物	北段	3	0.9462	0.0369	0.0130	0.0013	0.0014	- 48.58	0.86	0.50	6.2	- 0.09	0.52
	南段	4	0.9464	0.0411	0.0058	0.0043	0.0012	- 48.42	1.00	0.33	6.5	- 0.10	0.36
	外围	3	0.9351	0.0531	0.0027	0.0049	0.0030	- 48.34	1.05	- 0.12	6.2	- 0.09	0.23
矿区平均			0.9338	0.0500	0.0086	0.0022	0.0031	- 48.43	1.05	0.38	5.4/6.3	- 0.07	0.36
外围平均			0.9406	0.0503	0.0025	0.0037	0.0021	- 48.22	1.03	- 0.1	5.7/6.2	- 0.08	0.19

注: 由北京核工业地质分析测试中心许银焕分析

(1) 由于包裹体组分的研究通常采用热爆法。因此, 温度的升高可能造成碳酸盐矿物的分解, 因而干扰了包裹体气相组分的精度, 特别是 CO₂ 的精度, 并因此影响了其他组分的摩尔分数以及有关参数值, 而闪锌矿一般无此缺点, 因此本文流体组分及有关参数的特点和变化, 以

经过镜下选纯和稀盐酸处理后的闪锌矿样品的结果为准, 脉石矿物仅供参考比较。

(2) 包裹体气相组分中, 以 H_2O 为主, 一般 $< 95\%$, 其次为 CO_2 及 CH_4 ($CO_2 + CH_4$ 约为 5%)。

(3) 流体的 lgf_{O_2} 较低, 相对变化不大, 稳定在 $-48.0 \sim -49.0$ 之间, 同样 lgf_{CO_2} 也稳定在 1.0 左右。硫化物中流体的 pH 值保持在 $4.3 \sim 5.8$, 脉石矿物的 pH 为 $5.9 \sim 6.6$, 而实测结果在硫化物中为 $5.4 \sim 6.9$, 脉石矿物为 $6.6 \sim 7.3$, 具有相似的特点和一致性。流体的 Eh 具有弱的还原性, 一般为 $-0.07 \sim -0.10$ eV, 脉石矿物略低于硫化物。它们的还原参数 ($CH_4 + CO + H/CO_2$ mol) 一般小于 1 , 即具较低的还原性。

(4) 部分组分或参数表现出明显的与均一温度相似的区域变化特点, 矿区内南段与北段比较, 以及矿区与外围相比较, 其变化趋势是: H_2O 的含量增加, lgf_{O_2} 升高, pH 值增大, 而 CO_2 、 CH_4 、 CO 的含量下降, lgf_{CO_2} 、 lgf_{CH_4} 同步降低, 还原参数也同步降低 (图3)。

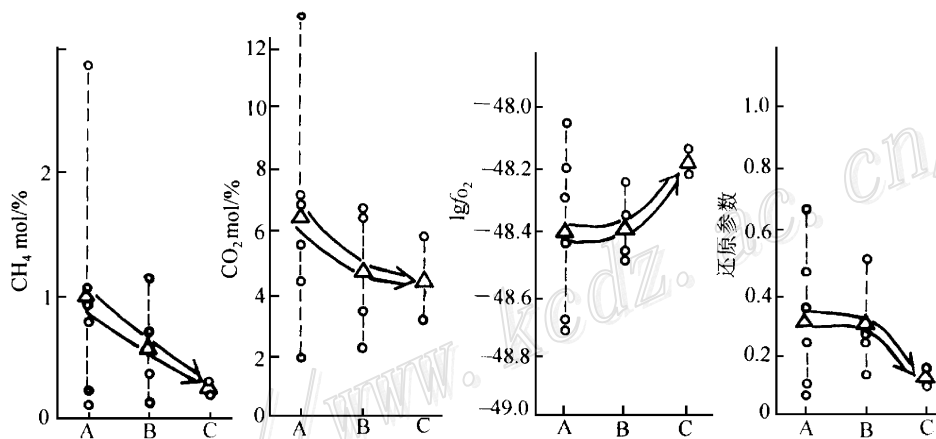


图3 包裹体气相组分及主要参数的变化趋势

A—矿区北段; B—矿区南段; C—外围

Fig. 3. Evolutionary trend of gaseous components of inclusions and main parameters.

A—Northern part of the ore district; B—Southern part of the ore district; C—Outskirts.

3 流体的组分特点

3.1 化学组分特征

矿区样品16个 (其中闪锌矿10个、脉石矿物4个), 外围样品4个 (其中闪锌矿样品2个、脉石样品2个) 共20个, 它们的包裹体组分均由宜昌地质矿产研究所采用热爆法提取测定, 并分别不同矿石产状特征统计计算 (表4)。有如下特点:

(1) 这些分析结果中, SO_4^{2-} 仅在闪锌矿中存在, 而 HCO_3^- 仅在碳酸盐矿物中出现。这种现象可能也是由寄主矿物的热分解作用所造成的, 但在 $250^\circ C$ 的热爆温度影响下, 是否能造成如此大的差别, 它是否也反映了这些矿物在沉淀时的液相组分特点, 尚有疑问。

(2) 流体组分中, $Na^+ > K^+$ 、 $Ca^{2+} > Mg^{2+}$ 、 $Cl^- > F^-$ 的特点, 是 MVT 矿床普遍具有的, 但 Na^+/K^+ 比值不大而 Ca^{2+}/Mg^{2+} 比值很高, 又不同于美国三洲地区 MVT 矿床的一般特点

($\text{Na}^+/\text{K}^+ = 35.3$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 4.5^{[8]}$, $\text{Na}^+/\text{K}^+ = 34.6$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} = 5.6^{[9]}$).

表 4 花垣铅锌矿区及外围包裹体流体组分特征 (mol/kg·H₂O)

Table 4. Characteristics of fluid components of inclusions in the Huayuan lead-zinc ore district and its outskirts

矿物	位置	样数	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ⁻	SO ₄ ²⁻	Na/K	Ca/Mg	F/Cl	
闪 锌 矿	深 色	4	0.057	0.373	1.858	0.191	0.327	1.530		0.481	6.82	19.27	0.20	
		6	0.305	0.245	0.710	0.339	0.260	0.640		0.477	1.75	10.33	0.76	
	浅 色	6	0.098	0.361	1.686	0.150	0.312	1.710		0.494	5.78	21.47	0.40	
		4	0.368	0.199	0.395	0.149	0.211	0.473		0.455	1.97	12.96	0.70	
	泥质灰岩 中矿石	北 段	6	0.284	0.366	1.302	0.124	0.310	1.275		0.373	3.63	13.97	0.53
		南 段	4	0.089	0.191	0.970	0.188	0.215	1.051		0.638	4.00	13.05	-
外 围	2	0.014	0.207	0.411	0.115	0.219	1.270		0.677	6.33	15.93	0.21		
方 解 石	北 段	2	0.077	0.986	3.007	0.452	0.040	1.552	4.404		13.64	7.30	0.02	
	南 段	4	0.025	0.328	3.442	0.376	0.151	0.776	3.775		15.80	28.53	0.26	
	外 围	2	0.018	0.330	2.494	0.047	0.082	0.614	3.130		22.45	36.56	0.15	
矿 区 平 均	16	0.144	0.390	2.028	0.244	0.213	1.147			8.02	16.73	0.40		
外 围 平 均	4	0.016	0.30	1.452	0.068	0.150	0.942			14.39	26.24	0.18		

注: 宜昌地矿所李桃叶分析

(3) 流体中 K⁺、Na⁺ 离子的含量在不同颜色和不同寄主岩石闪锌矿中的含量有明显差别。特别是 K⁺ 的含量, 在泥质灰岩中的闪锌矿中的含量最高, 由于其中的闪锌矿主要是浅色的, 因此也造成浅色闪锌矿较棕色闪锌矿具有更高的 K⁺ 离子含量。出现这种现象的原因在于泥质灰岩中的 K₂O 含量为 0.39% ~ 2.29%, 平均 1.59%, 而灰岩中的含量仅 < 0.5%。因此对流经其中的流体组分产生影响, 造成泥质灰岩中浅色闪锌矿包裹体中 K⁺ 离子的较高含量。

(4) 整个流体中 K⁺、Na⁺、Ca⁺ 离子的含量, 出现区域性的变化, 即从矿区北段到南段, 从矿区到外围, 这些离子都出现明显的下降趋势, 与上述温度, CO₂、CH₄ 等的变化同步。

3.2 流体的氢、氧同位素组分

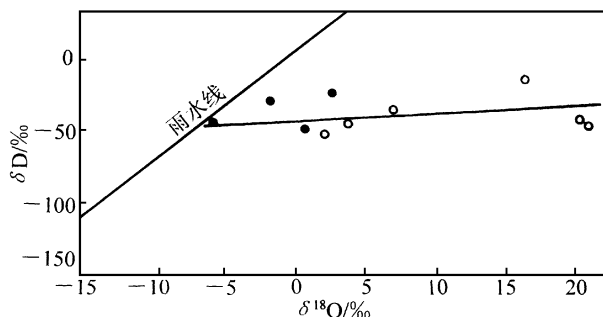
从矿石及脉石矿物的液态包裹体中, 直接测定的成矿流体的氢、氧同位素组成 (表 5、图 4), 在 δ¹⁸O-δD 图上呈与雨水线斜交的线性关系, 而且成矿晚期的组成更加靠近雨水线。这种组成特征与伊里诺斯, 阿尔伯达等盆地的特征十分相似 (Taylor, 1975), 表明矿床成矿流体的主要来源与建造水 (同生水) 有关, 而在后期可能有雨水渗入并造成流体盐度的稀释。这种特征也是许多与建造水或油田卤水有关的密西西比型矿床的共同特点。

表 5 花垣铅锌矿成矿流体的 δ¹⁸O-δD 组成

Table 5. Oxygen and hydrogen isotopic composition of ore-forming fluids in the Huayuan lead-zinc deposit

序 号	成矿期	样 号	矿 物	δ ¹⁸ O/‰	δD/‰
1	早	H-50	闪锌矿	3.8	- 46
2		N ₃ S	闪锌矿	20.6	- 43
3		Y ₁₀ S	闪锌矿	21.0	- 45
4	中	YY ₁₀ C	方解石	16.4	- 16
5		H-51	萤 石	7.1	- 36
6	期	H-61	重晶石	2.1	- 54
7	晚	H-62	方解石	1.2	- 48
8		Y ₁₁ C	方解石	- 1.7	- 29
9		N ₇ B	重晶石	- 5.6	- 43
10		Y ₈ m	白云石	2.7	- 22

注: 由中国地质科学院同位素研究与测试中心朱家平测定

图4 流体 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 关系图

圆点为晚期; 圆圈为早中期

Fig. 4. $\delta^{18}\text{O}$ versus δD diagram of ore fluids.

Dots and circles refer to late stage and early-middle stage respectively.

4 小结

(1) 花垣铅锌矿床的成矿流体, 为高盐度的低温 CO_2 - H_2O - NaCl 型热卤水, 流体密度 $1.0 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$, 成矿压力约 $350 \times 10^5 \sim 400 \times 10^5 \text{ Pa}$, 成矿深度约在 $1.3 \sim 1.4 \text{ km}$, 属浅成低温矿床。

(2) 流体气相组分以 H_2O 为主 ($90.0\% \sim 95.0\%$), 次为 CO_2 及 CH_4 ($5\% \sim 10\%$), $\lg f_{\text{O}_2}$ 相对较低, 变化不大, 稳定在 $-48.0 \sim -49.0$ 之间, pH 值为 $4.3 \sim 5.8$, $E_h = -0.07 \sim -0.1 \text{ eV}$, 属弱碱性-弱还原性溶液。

(3) 流体的化学组分中, $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^- > \text{F}^-$, 具有密西西比型矿床的共同特征。但 Na^+/K^+ 比值不大而 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值很高, 不同于典型地区的 MVT 矿床。 K^+ 离子较高的原因, 与部分矿体的寄主岩石的高 K^+ 含量有关, 证明寄主岩石的成分可能对流体产生局部性的影响。

(4) 在矿区范围内, 流体的温度, CO_2 、 CH_4 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^+ 的含量, 出现从矿区北段向南段同步下降的特点, 表明在矿床范围内流体的迁移方向是由北而南流动的, 而且主要途径是沿清虚洞组3、4段间顺层流动的。

(5) 矿区外围的流体温度和成分, 与矿床基本一致, 也可能具有由北而南的迁移趋势, 流体的温度和主要气液相组分含量均低于矿区内部。但根据矿区与外围的地质特征, 它们间可能有厚度较大的隔水层存在而不能直接沟通, 因之矿区与外围矿点之间, 可能属相同的区域成矿流体体系但分属不同的因构造差异而形成的次级流体域。

(6) 成矿流体来源与建造水有关, 后期可能有雨水渗入, 因而造成氧、氢同位素组分的变化, 并使盐度降低。

参 考 文 献

- 1 丘元禧, 马文璞, 范小林等. “雪峰古陆” 加里东期的构造性质和构造演化. 中国区域地质, 1996, 2: 150~160.
- 2 刘文均, 郑荣才, 李元林. 花垣铅锌矿床流体包体中的子矿物. 成都理工学院学报, 1997, 24 (4): 65~69.

- 3 邵洁涟, 梅建明. 浙江火山岩区金矿床的矿物包裹体标型特征研究及其成因和找矿意义. 矿物岩石, 1986, 6 (3): 103~ 117.
- 4 卢焕章, 李秉伦, 沈昆. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990, 153~ 159.
- 5 徐文忻, 陈民扬, 喻铁阶等. 矿物包裹体成分数据的热力学计算方法及应用. 矿产地质研究学报, 1985, 1: 35~ 50.
- 6 Leach D L. Genesis of the Ozark Mississippi Valley-Type metallogenic province, Missouri, Arkansas, Kansas and Oklahoma, USA. In Fontbote L, Boni M, ed. Sediment-Hosted Zn-Pb ores, Springer-Verlag 1994, 104~ 138.
- 7 Macqueen R W, Powell T G. Organic geochemistry of the Pine Point lead-zinc ore field and region, Northwest Territories, Canada. Econ. Geol., 1983, 78, 1~ 25.
- 8 Roedder E. Environment of deposition of stratiform (MVT) ore deposits, from studies of fluid inclusions. Econ. Geol., 1967, 62: 349~ 362.
- 9 Leach D L, Plumlee G S, Hofstra A H et al. Origin of late dolomite cement by CO₂-saturated deep basin brines: Evidence from the Ozark region, Central United States, Geology, 1991, 19: 348~ 351.

CHARACTERISTICS AND MOVEMENT OF ORE-FORMING FLUIDS IN THE HUAYUAN LEAD-ZINC DEPOSIT

Liu Wenjun and Zheng Rongcai
(Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

Key words: MVT ore deposits, ore-forming fluids, hot brine, transverse motion, Huayuan in Hunan

Abstract

The Huayuan lead-zinc deposit is a large Mississippi Valley type (MVT) ore deposit in Hunan Province, which occurs in the algal-oolitic limestone of Lower Cambrian Qingxudong Formation. The ore-forming fluids are hot brine with higher salinity and lower temperature according to detailed studies of some fluid inclusions. H₂O is the main component, and CO₂ + CH₄ makes up some 5% in gas composition of fluid inclusions. $\lg f_{O_2}$ is stable (-48.0~ -49.0), pH = 4.3~ 5.8, and Eh = -0.07~ -0.10 eV in ore-forming fluids. In addition, the concentration of sodium ions is higher than potassium ions in the fluid, calcium concentration is higher than that of magnesium, and chlorine concentration is higher than that of fluorine. All these are common characteristics of MVT ore deposits, but the Na⁺/K⁺ ratios are lower and Ca²⁺/Mg²⁺ ratios are higher than MVT deposits in USA. The higher content of potassium ions in fluids is partly caused by higher concentration of host rocks of some orebodies. Hydrogen and oxygen isotopic composition of fluids proves that the origin of the ore deposit is related to the formation water with the addition of late meteoric water. Plenty of data show that the temperature of fluids and content of CO₂, CH₄, K⁺, Na⁺, Ca²⁺ decrease from north to south in orefield, suggesting that the migration of ore-forming fluids is from north to south by transverse motion in host rocks, and the same migration may take place in the periphery of the orefield.