

# 会泽铅锌矿床成矿流体研究

张振亮<sup>1,2</sup>, 黄智龙<sup>1</sup>, 饶冰<sup>3</sup>, 李文博<sup>1,2</sup>, 严再飞<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学开放实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院北京研究生院, 北京 100039;

3. 南京大学地球科学系, 内生金属成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093)

**摘要:** 云南会泽铅锌矿床位于扬子板块西缘川黔滇铅锌银多金属成矿域的中南部, 严格受断裂带的控制。流体包裹体、铅同位素和镭同位素的证据表明, 成矿流体为不同性质流体的混合物, 具有多源性。大部分矿物流体包裹体均一温度变化于 150~250℃ 之间, 部分包裹体大于 300℃; 盐度变化范围 5%~21%,  $w(\text{NaCl})$  平均为 13.24%; 密度 0.546~1.129 g/cm<sup>3</sup>; 均一瞬间压力  $145 \times 10^5 \sim 754 \times 10^5$  Pa; 成矿深度 2 200~2 450 m。流体混合后, 由于大幅度的降压作用, 使得成矿流体发生沸腾, 流体产生过饱和, 并最终导致金属矿物的析出。因此, 这明显有别于 MVT 矿床, 是一个新型的铅锌矿床。

**关键词:** 成矿流体; 混合作用; 降压; 沸腾作用; 会泽铅锌矿; 云南省

**中图分类号:** P611; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2005)02-0115-08

云南会泽铅锌矿床位于扬子板块西缘川黔滇铅锌银多金属成矿域的中南部、小江深断裂带和昭通—曲靖隐伏深断裂带间的 NE 构造带、SN 构造带及 NW 向紫云—垭堵构造带的构造复合部位, 是我国著名的铅锌锗生产基地之一, 由相距约 3 km 的矿山厂和麒麟厂矿床组成。矿床由于矿石品位极高(矿石  $w(\text{Pb} + \text{Zn}) = 25\% \sim 35\%$ , 部分矿石超过 60%)、伴生组分多(Ag, Ge, Ga, Cd, In 等)和储量大(Pb+Zn 金属储量 > 500 万 t)而引起国内外的极大关注。自上世纪 90 年代以来, 许多学者对该矿床的成矿物质来源进行过研究(陈进, 1993; 韩润生, 2001; 柳贺昌等, 1999; 郑庆鳌, 1997; 周朝宪, 1996; Zhou 等, 2001; 黄智龙等, 2001; Huang 等, 2003), 但由于不同学者所获结论存在很大差异, 目前该矿床的成因和来源还存在较大的争议。本文从流体包裹体的热力学特征出发, 对该矿床的成矿流体进行了系统的研究。

## 1 矿床地质概况

矿区出露有从震旦系灯影组至二叠系栖霞-茅

口组多个时代的碳酸盐岩地层, 其中下石炭统摆佐组(C<sub>1</sub>b)白云岩是会泽铅锌矿床最主要的赋矿岩石; 而构造则以 NE 向断裂为主, 如矿山厂断裂、麒麟厂断裂、牛栏江断裂和银厂坡断裂, 具有多期活动的特点, 与成矿作用关系密切; 岩浆岩主要为二叠系峨眉山玄武岩, 出露于矿区北部和西南部外围地区。矿体在平面上呈左列式展布, 剖面上呈斜列式阶梯状延深, 其形态主要为脉状、囊状、扁柱状、网脉状和似层状。矿体走向长 800 m, 垂直延深已超过 1 200 m, 厚约 0.7~40 m。目前已揭露矿体 30 余个, 各矿体之间规模相差较为悬殊, 其中以 6, 8, 10 三个矿体规模最大, 铅+锌金属储量均接近 100 万 t。矿体主要赋存于摆佐组中上部粗晶白云岩中的 NE 向压扭性断裂带内, 其产状大致平行于地层, 走向 20°~30°, 倾向 SE, 倾角 60°~70°。从剖面上看, 麒麟厂各矿体似乎连成一片, 成“Y”字形, 向深部其矿石品位有增高的趋势。矿体与围岩的接触界线非常清晰, 与矿体接触的围岩有几到几十厘米的“红化”现象。矿体上部为氧化矿、下部为原生矿、中部则为混合矿, 氧化矿成分相当复杂, 而原生矿组成相对较为简单, 矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿, 脉石矿物为方解石。由于蚀变发生在 SiO<sub>2</sub> 非常少 (<

收稿日期: 2004-06-01; 修订日期: 2004-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372048)和云南省省院省校科技合作项目(2000YK-04)联合资助。

作者简介: 张振亮(1974-), 男, 江西丰城人, 在读博士研究生, 矿床地球化学专业。

5%)的碳酸盐岩地层中,只有少量 SiO<sub>2</sub> 的带进或带出现象的发生(另文撰述),主要的围岩蚀变作用为白云石化、局部地段有黄铁矿化,而很少见有石英-绢云母化或绿泥石化的发生。

## 2 流体包裹体特征

虽然不同的研究人员(周朝宪,1996;柳贺昌等,1999;韩润生,2002)曾先后对该矿的脉石矿物(方解石)和矿石矿物(黄铁矿、闪锌矿)的包裹体进行过研究,但由于包裹体细小、矿物表面不很干净、透明度不够等原因,导致这些研究并不系统,有待于深入。

笔者野外采集的标本主要为成矿阶段形成的方解石(团块、团斑、脉)和热液蚀变而形成的白云岩。之所以选择这两种矿物(岩石),主要原因有二:一为矿区内、矿体内及矿体周围缺少更易于进行包裹体观察和研究的石英脉或石英团块;二为方解石、白云石均为透明矿物,所含包裹体数量众多,更重要的是方解石(团块、团斑、脉)为金属矿物沉淀阶段形成的产物,热液蚀变形成的白云石为成矿流体与围岩发生反应的产物,因此通过对其中流体包裹体的研究可以获得成矿流体的详细信息。

### 2.1 包裹体类型及其特征

矿物中原生包裹体很多,呈团斑状、孤岛状分布于矿物晶体中,颗粒较大,一般 $\geq 2 \mu\text{m}$ ;另外,沿矿物晶体内部的裂隙分布有次生包裹体,成群出现,呈定向排列,颗粒一般较小, $\leq 1 \mu\text{m}$ ,少数 $> 1 \mu\text{m}$ ;但假次生包裹体相当少见。根据室温下流体包裹体的气液比和物理相态,本矿区矿物包裹体可划分为以下几种类型:

(1)纯液相(L)包裹体:包裹体腔内全部为单一的水溶液相(L)所充填,未见有气相(V)和固相的存在。包裹体在显微镜下常呈淡红色、肉红色,粒径较小,一般为 $1\sim 5 \mu\text{m}$ ,少数 $6\sim 10 \mu\text{m}$ ,其形态多呈负晶形、三角形、液滴状、椭圆形或圆形,少数为不规则状,常沿矿物结晶面成群分布,但也有单个产出的。

(2)富液相的气液两相(L+V)包裹体:相态组合为液相(L)+气相(V),以液相为主,在包裹体中经常出现有一个小的蒸汽泡(有时可能为两个),气液比 $(V_{\text{气}}/(V_{\text{气}}+V_{\text{液}}))< 50\%$ 。这类包裹体常与纯气相包裹体共生,加热均一为液态,均一温度变化范围 $110\sim 380^\circ\text{C}$ ,主要集中于 $150\sim 250^\circ\text{C}$ 。从均一温度和气液比来看,这类包裹体可以划分为两类:一为

包裹体均一温度 $130\sim 165^\circ\text{C}$ ,总盐度 $w(\text{NaCl})=9.85\%\sim 13.12\%$ ,气液比 $(V_{\text{气}}/(V_{\text{气}}+V_{\text{液}}))< 5\%$ ,在室温下可见小气泡跳动的现象(小气泡可能为CO<sub>2</sub>),在加热时气泡到处游动。此类包裹体内压较小,多在成矿中晚期被捕获,其中部分为次生包裹体;另一类包裹体均一温度 $110\sim 380^\circ\text{C}$ ,总盐度 $w(\text{NaCl})=6.16\%\sim 21.11\%$ ,气液比多为 $5\%\sim 20\%$ ,气泡在室温下不会跳动。此类包裹体贯穿于整个成矿期,为最常见的包裹体。

(3)纯气相(V)包裹体:黄褐色,或包裹体轮廓黑色,中间为亮白色,包裹体完全为低密度的蒸汽相(主要为CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O等的混合物)所充填,没有可见的液相。此类包裹体大小相差悬殊,大的接近 $10 \mu\text{m}$ ,小的不到 $1 \mu\text{m}$ ,常单个出现或与富气相的气液两相(V+L)包裹体、富液相的气液两相(L+V)包裹体共生,因此为流体沸腾作用的产物。

(4)富气相的气液两相(V+L)包裹体:相态组合为气相(V)+液相(L),以气相为主,气液比 $(V_{\text{气}}/(V_{\text{气}}+V_{\text{液}}))> 50\%$ ,在包裹体出现的是一个很大的蒸汽泡。这类包裹体常与纯气相包裹体共生,粒径 $1\sim 8 \mu\text{m}$ 。加热均一为气态,均一温度 $350\sim 401^\circ\text{C}$ ,总盐度 $w(\text{NaCl})=5\%\sim 10\%$ ,代表的是流体的沸腾作用。

(5)含子晶的多相(L+V+S)包裹体:偶见。这类包裹体含有气相、液相和固相矿物子晶。子晶一般为1个,有时可能为2个。包裹体一般较大, $3\sim 8 \mu\text{m}$ ,气液比 $(V_{\text{气}}/(V_{\text{气}}+V_{\text{液}}))10\%$ 左右。当加热时,气泡一般早于子晶消失。根据笔者对2个此类包裹体的测试,气泡消失温度为 $165\sim 180^\circ\text{C}$ ,子晶完全熔化温度 $181\sim 200^\circ\text{C}$ ,盐度 $w(\text{NaCl})=38.5\%\sim 45\%$ ,代表成矿中后期溶液的过饱和作用。

(6)不混溶的CO<sub>2</sub>三相(L<sub>1</sub>+L<sub>2</sub>+V)包裹体:偶见。以含有一定数量的液相CO<sub>2</sub>为特征。包裹体含有两种液态相:一为盐水溶液,另一为CO<sub>2</sub>液相。在温度不高于 $31^\circ\text{C}$ 的条件下,显微镜下常可见到液相CO<sub>2</sub>围绕气泡作环状分布,在富CO<sub>2</sub>液相中包有CO<sub>2</sub>蒸汽泡。液相CO<sub>2</sub>一般为褐色或橘红色,其体积约为包裹体体积的 $20\%\sim 30\%$ 。包裹体粒径 $5\sim 6 \mu\text{m}$ 。根据对一个此类包裹体的测试,CO<sub>2</sub>气-液相均一(均一成气相)温度 $29^\circ\text{C}$ ,包裹体均一温度 $189.5^\circ\text{C}$ ,总盐度 $w(\text{NaCl})=4.67\%$ ,均一时流体总密度为 $0.854 \text{ g/cm}^3$ 。

### 2.2 成矿流体成分

从前人(韩润生,2002)所测试的结果(表1)来

看,包裹体气相成分主要为  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  和  $\text{H}_2$ , 其中  $\text{H}_2$  最低,  $\text{CO}_2$  最高; 液相成分主要有  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  等。其中  $\text{F}^- < \text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+ < \text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+}$ ; 而总体说来,  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 。就主矿物而言, 黄铁矿和方解石中包裹体的各成分都大于闪锌矿中包裹体的相应成分。由于这三者代表的是不同成矿阶段(由于溶解度所表现出来的差异, 黄铁矿早于闪锌矿, 而闪锌矿又早于方解石生成), 因此可基本反映出成矿过程中流体的成分与浓度是不断变化的。另外, 柳贺昌(1996)也曾报道矿物包裹体中含有 Pb, Zn 等金属元素, 因此可以认为, 矿床的成矿流体性质为含有 Pb, Zn 等成矿金属元素的  $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  型。

### 2.3 成矿流体性质

采用均一法测定气液两相包裹体和含子晶多相包裹体的均一温度或子晶的消失温度, 采用冷冻法测定其盐度。至于流体密度, 利用同一包裹体的均一温度及盐度通过计算(计算公式据刘斌、沈昆等, 1999)获得。而压力的获得则有所不同。气液两相包裹体是利用水等容线图(Potter 等, 1978)及不同密度等容线图(Roedder, 1980)(均转引自张文淮和陈紫英, 1993)通过估算而获得; 含子晶多相包裹体则是利用盐度数据和包裹体气泡消失与子晶消失温度的差值, 根据 Sourirajan 和 Kennedy(1962)的  $P$ - $T$ - $X$  图解(转引自《中国斑岩铜矿》, 1984)而获得。其结果见表 2。

表 1 会泽铅锌矿床矿物流体包裹体成分

Table 1 Chemistry of fluid inclusion of minerals from Huize Pb-Zn ore deposit

样号	矿物	包裹体成分( $w_B/10^{-6}$ )										地点	
		$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}$	$\text{CH}_4$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Li}^+$	$\text{F}^-$		$\text{Cl}^-$
HQ99-1	方解石	320.10	220.56	1.05	0.50	0.53	3.56	108.8	4.16	0.01	0.33	6.01	麒麟
HQ109-4	方解石	385.55	189.71	1.50	1.01	1.31	7.21	81.50	4.39	0.03	0.42	11.73	
HQ-84	方解石	388.61	192.80	1.50	1.05	1.23	7.14	81.44	4.70	0.01	0.41	11.85	
1631-38	方解石	402.15	233.65	1.65	1.50	2.45	11.4	72.65	5.56	0.04	0.48	14.90	
1571-2	方解石	397.74	211.37	1.50	0.88	1.57	9.30	74.52	4.70	0.02	0.45	12.86	麟
1631-7	闪锌矿	310.25	11.40	0.11	0.20	0.81	0.89	26.80	2.06	0.01	0.22	2.50	
28-2	闪锌矿	310.00	10.50	0.02	0.05	0.28	1.50	0.60	0.01	0.01	0.10	2.60	厂
28-3	闪锌矿	375.00	21.80	0.05	0.25	0.75	4.27	6.32	0.73	0.04	0.35	6.88	
1571-9-9	黄铁矿	350.00	11.00	0.02	0.06	0.87	0.25	0.65	0.25	0.02	0.20	1.00	矿 山 厂
MQ-911	黄铁矿	440.50	78.20	0.09	0.50	1.81	3.66	51.74	8.15	0.04	0.41	5.21	
MQ-915	黄铁矿	380.00	14.10	0.05	0.35	0.73	3.07	1.39	0.51	0.03	0.25	20.00	

注: 数据引自韩润生(2002)。

表 2 会泽铅锌矿床流体包裹体性质

Table 2 Fluid inclusion characters of mineral from Huize Pb-Zn ore deposit

样号	样品 个数	$T_h(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	气液比(%)	粒径 ( $\mu\text{m}$ )	主矿物	总盐度 $w(\text{NaCl})/\%$	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	压力 ( $10^5\text{Pa}$ )
QL-14	3	180.3~202.5	-7.2~-9.8	10~15	5~6	方解石	10.73~14.78	0.966~0.976	512~634
QL-0	3	184.5~389.5	-3.2~-11.4	10~70	8~9	方解石	5.26~15.97	0.592~1.002	320~527
QL-L-2	5	148.3~202.6	-5.8~-12.4	1~10	5~8	方解石	9.31~18.05	0.546~1.042	401~650
QL-12	1	209.1	-11.5	10	4	方解石	16.02	0.980	658
QL-7	1	182.8	-8.5	10	6	方解石	12.85	0.979	523
QL-LEE-6	3	132~161	-6.2~-9.0	1	5~8	白云石	9.85~13.12	0.994~1.021	385~467
QL-9	1	132	-7.8	5	8	白云石	12.54	1.021	351
QL-9	1	164.2 (气泡消失)	180.7 (子晶消失)	10	5	白云石	38.5	1.129	145
9918-20	1	401	-6.7	80	8	方解石	10.11	0.656	350
9918-4	3	151.8~384.5	-3.6~-5.5	15~90	7~15	方解石	5.86~8.68	0.614~0.961	298~515
9918-5	3	161.1~327.9	-7.9~15.4	10~20	8~15	方解石	11.6~18.96	0.795~1.047	400~672
9918-37	3	182~256	-14.9~-16.7	10~20	5~8	方解石	15.37~19.99	0.934~1.038	712~754
HZK-32	4	199.1~282.2	-4.9~-5.2	15~20	6~15	方解石	7.58~8.14	0.817~0.923	400~611
HZQ-35	1	185	-11.5	15	10	方解石	15.47	0.998	597
HZ911-15	3	110.8~211	-16.7~-18.2	10.~15	3~8	方解石	19.99~21.11	1.022~1.095	321~743

从表2可以看出,矿物流体包裹体平均均一温度主要变化于150~250℃之间,部分包裹体大于300℃;盐度变化范围 $w(\text{NaCl})=5\% \sim 21\%$ ,平均为13.24%;密度0.546~1.129 g/cm<sup>3</sup>;均一瞬间压力 $145 \times 10^5 \sim 754 \times 10^5$  Pa。据柳贺昌(1996)研究,矿床流体包裹体均一温度分布于150~320℃之间,金属矿物(黄铁矿、方铅矿和闪锌矿)的爆裂温度140~480℃,与笔者测试结果基本一致。因此,矿床成矿流体总体属中温-中压-中等盐度性质。

但从盐度、密度、均一温度及均一瞬间压力的数据来看,矿床在成矿的过程中曾经有着复杂的变化(如流体的沸腾作用)导致了这些参数的变化范围很大,同时也导致了各种类型包裹体的共存。

#### 2.4 成矿深度

一般认为,由流体包裹体测定的压力值并不能直接与成矿深度相吻合。这些数据必须与其他地质资料相结合,才能合理地估计成矿深度。但有一种包裹体例外,这就是由沸腾作用而形成的富气相的气液两相包裹体。由于这类包裹体是在气液分界面之上和体系处于减压条件下所捕获,它们的压力就等于蒸汽压,并且相当于静水压力或地静压力,因此可以用来估计成矿深度。但是,这种方法所获得的深度相当于非沸腾流体的最小深度。

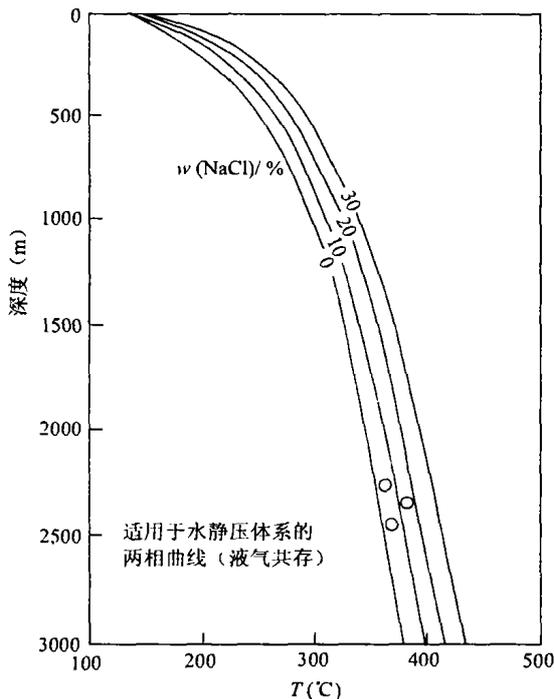


图1 会泽铅锌矿床成矿深度图解

Fig. 1 Plot showing the ore-forming depth in Huize Pb-Zn ore deposit

在这里,笔者根据 Hass(1971, 1976)的资料,采

用 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的两相分界线的  $T$ (温度)- $S$ (盐度)- $H$ (深度)图解(图1),对会泽铅锌矿床的成矿深度进行估计。结果表明,会泽铅锌矿床的成矿作用位于当时地表以下2200~2450 m。

### 3 讨论

周朝宪(1996,1997)在研究该矿床时,曾认为该矿为 MVT 型铅锌矿床,并就 MVT 型矿床与会泽铅锌矿床作了大量的比较。但事实证明,它们之间还存在一定的差异,主要体现在:①矿床规模。MVT 型铅锌矿床主要矿床铅锌金属储量 2.0~29.4 Mt,单个矿床分布面积常超过 100 km<sup>2</sup>;而会泽矿田铅锌金属储量约 5.5 Mt,分布于约 20 km<sup>2</sup>的范围内。②与岩浆岩的关系。MVT 矿床一般与岩浆岩无成因联系;但 Rb-Sr 同位素定年的结果(李文博,2003,未刊)证明,会泽铅锌矿床成矿年龄为 230 Ma,与峨眉山玄武岩(250 Ma)(Lo 等,2002; Zhou 等,2002; 管士平和李忠雄,1999)基本属同一时代。另外,成矿物质与成矿流体来源的研究(黄智龙,2001)证明,峨眉山玄武岩浆的喷发与会泽铅锌矿床的形成有着直接的联系。③矿化深度。MVT 矿床一般为 1 km;而会泽铅锌矿床的成矿深度为 2200~2450 m。④成矿流体。MVT 矿床成矿流体为 Na-Ca-Cl 型卤水,一般只有纯液相包裹体和富液相的气液两相包裹体,均一化温度与盐度均较低,均一温度 50~175℃,盐度  $w(\text{NaCl})=5\% \sim 10\%$ ;而会泽铅锌矿床成矿流体为含有 Pb, Zn 等成矿金属元素的 NaCl-CaCl<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 型热液,包裹体类型众多(特别是纯气相包裹体、富气相的气液两相包裹体、含子晶的多相包裹体等的存在,严格有别于 MVT 矿床的流体包裹体特征),均一温度 110~401℃,盐度  $w(\text{NaCl})=5\% \sim 21\%$ 。⑤矿石品位: MVT 矿床多数矿床矿石品位较低,  $w(\text{Zn})=5\% \sim 7.2\%$ ,  $w(\text{Pb})=0.5\% \sim 4\%$ ;而会泽铅锌矿床矿石品位极高,大部分矿石  $w(\text{Pb}+\text{Zn})=25\% \sim 35\%$ ,部分矿石超过 60%。因此,会泽铅锌矿床所具有的特征显然有别于 MVT 型铅锌矿床,是一种新型的矿床,在这里,笔者暂称之为“麒麟厂式矿床”。

从矿物流体包裹体的均一温度分布(图2)来看,会泽铅锌矿床矿物包裹体的形成存在两个高峰期(即双峰结构):第一个高峰期,包裹体均一温度变化于 110~250℃之间,并主要集中于 150~220℃之

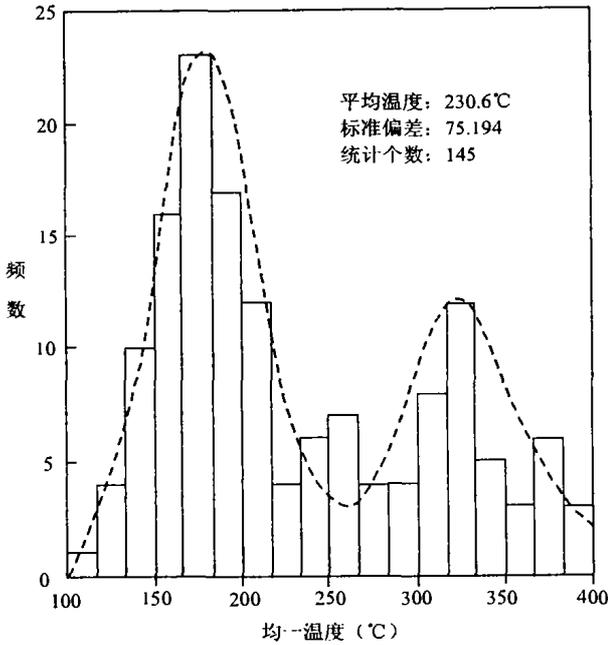


图 2 会泽铅锌矿床流体包裹体均一温度分布

Fig. 2 Homogenization temperature distribution of fluid inclusion of minerals from Huize Pb-Zn ore deposit

间;第二个高峰期,包裹体均一温度变化于 250~400°C 之间(甚至有可能大于 400°C),并主要集中于 300~350°C 范围内。这种现象的产生,可能是不同流体的混合作用引起的。流体与围岩的作用(即水-岩反应)(张振亮,2004)证实了不同流体存在的可能性。而根据矿床 95 件矿石矿物和矿石样品的 Pb 同位素分析结果来看,Pb 同位素组成相对稳定,其  $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=18.251\sim 18.530$ ,极差 0.279,均值 18.465,  $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=15.439\sim 15.855$ ,极差 0.416,均值 15.717,  $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})=38.487\sim 39.433$ ,极差 0.946,均值 38.894,绝大部分样品的  $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ ,  $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  和  $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  分别集中于 18.40~18.50, 15.66~15.76 和 38.70~39.00 狭小范围内。在  $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})-w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$  图解上(图 3),大部分数据点落入岛弧铅和克拉通化地壳铅范围内,小部分数据点落在大洋火山岩铅范围内,表明成矿金属来源除与地壳的地层(碳酸盐岩)有关外,还与深部火成活动(峨眉山玄武岩、基底)有着很密切的关系。

另外,会泽铅锌矿床脉石矿物方解石相对富 Sr ( $w(\text{Sr})=180\times 10^{-6}\sim 418\times 10^{-6}$ ) 贫 Rb ( $w(\text{Rb})=0.101\times 10^{-6}\sim 4.95\times 10^{-6}$ ) (表 3),其  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  极低(除 1 件样品为 0.2181 外,其余样品为 0.0007~

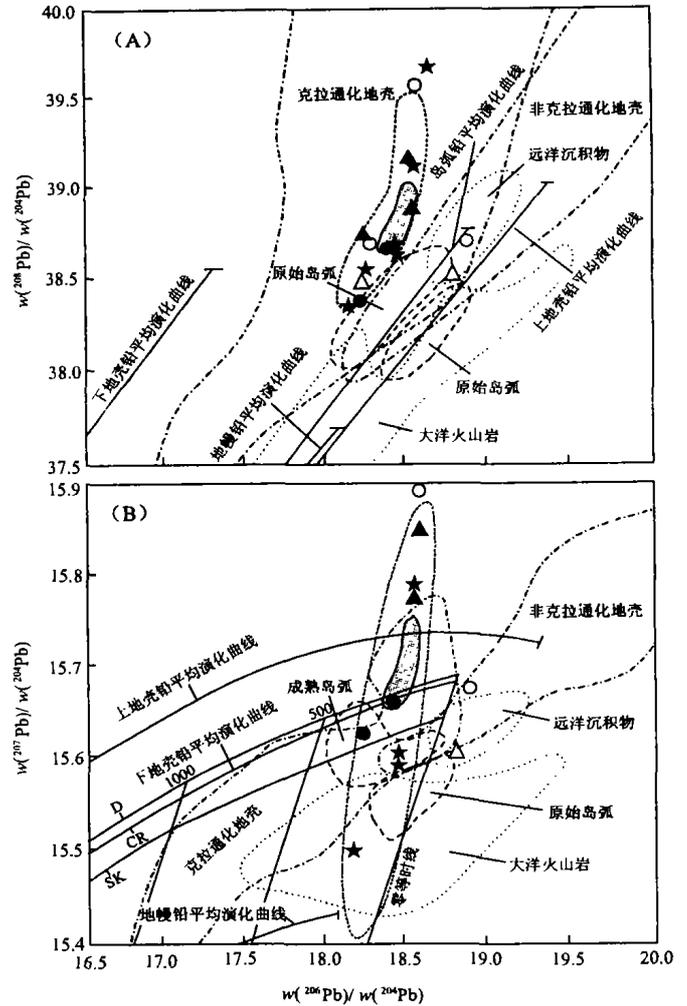


图 3 会泽铅锌矿床 Pb-Pb 图

Fig. 3 Pb-Pb plot for Huize Pb-Zn ore deposit

1. 图中点线区为矿床铅同位素组成范围,阴影区为矿床 2. ★ 摆佐组 ○ 辛格组 △ 柄霞-茅山组 ▲ 灯影组 ● 峨眉山玄武岩

0.0471), Rb 衰变形成的  $^{87}\text{Sr}$  对体系初始 Sr 同位素组成影响极小。因此,脉石矿物方解石的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  或  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  可视为矿床成矿流体的 Sr 同位素组成。本区脉石矿物方解石的 Sr 同位素组成也相对稳定 ( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0=0.716353\sim 0.717012$ ), 与矿石矿物闪锌矿和黄铁矿的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  也不具成因意义上的差别。这表明矿床成矿流体中 Sr 同位素组成也存在均一化过程,成矿流体在成矿过程中基本没有发生 Sr 同位素分馏。矿床的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  ( $0.713676\sim 0.717012$ ) 不仅明显高于地幔 ( $0.704\pm 0.002$ ) (Faure, 1977) 和峨眉山玄武岩的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  ( $0.703932\sim 0.707818$ , 85 件样品) (黄智龙等, 2004), 也相对高于矿区赋矿地层 ( $C_1b$ ) 的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  ( $0.70868\sim 0.70931$ , 3 件样品) (胡耀国, 1999), 但明显低于基底岩石的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  ( $0.7243\sim 0.7288$ , 5 件样品) (李复汉和覃嘉铭, 1988; 从柏

林,1988;陈好寿和冉崇英,1992)。由于在成矿过程中流体基本没有发生 Sr 同位素分馏现象,因此很难理解,其成矿物质或成矿流体仅由单一的岩石(碳酸盐岩、基底岩石或玄武岩)所提供。所以,成矿物质

或成矿流体由相对高( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>0</sub>端元(基底岩石)和相对低( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>0</sub>端元(峨眉山玄武岩、各时代碳酸盐地层)共同提供可能更为合理,这与 Pb 同位素的研究结果相吻合,说明了混合流体的存在。

表3 会泽超大型矿床 Sr 同位素组成

Table 3 Sr-isotopic composition of Huize Pb-Zn ore deposit

样品号	产地	测定对象	$w(\text{Rb})/10^{-6}$	$w(\text{Sr})/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$	资料来源
L-1-1	1号矿体	闪锌矿	0.489	0.689	0.7006	0.719123	0.716847	本文
L-1-3	1号矿体	闪锌矿	16.0	0.987	47.51	0.869687	0.715362	本文
L-1-9	1号矿体	闪锌矿	9.70	1.02	28.21	0.807449	0.715815	本文
L-1-10	1号矿体	闪锌矿	23.2	1.36	50.03	0.877686	0.715175	本文
1-17	1号矿体	闪锌矿	0.712	0.509	14.09	0.762086	0.716318	本文
HZQ-38	6号矿体	闪锌矿	4.72	0.492	25.10	0.797653	0.716122	本文
HZQ-81	6号矿体	闪锌矿	1.88	0.889	6.219	0.736765	0.716564	本文
28号	8号矿体	闪锌矿	0.885	0.492	5.306	0.733923	0.716688	本文
15号	8号矿体	闪锌矿	0.779	0.531	4.339	0.730642	0.716548	本文
10-16-1	10号矿体	闪锌矿	13.8	1.02	39.66	0.844739	0.715913	本文
L-10-5	10号矿体	闪锌矿	0.613	5.13	0.3531	0.717833	0.716686	本文
L-10-5	10号矿体	闪锌矿	1.01	0.852	0.7157	0.719104	0.716779	本文
L-10-4	10号矿体	闪锌矿	0.882	0.918	2.852	0.725816	0.716552	本文
L-10-2	10号矿体	闪锌矿	6.38	1.21	15.48	0.766775	0.716492	本文
10-20-1	10号矿体	闪锌矿	1.57	1.58	1.476	0.721359	0.716565	本文
L-C-5	6号矿体	闪锌矿	0.692	3.18	0.6471	0.719091	0.716989	本文
L-C-5	6号矿体	闪锌矿	19.9	0.953	61.28	0.913104	0.714050	本文
L-C-7	6号矿体	闪锌矿	14.0	0.981	42.14	0.851804	0.714922	本文
L-C-7	6号矿体	黄铁矿	16.1	0.954	47.59	0.869129	0.714544	本文
L-C-5	6号矿体	黄铁矿	23.5	0.974	69.71	0.940112	0.713676	本文
L-C-5	6号矿体	方解石	1.09	313	0.0106	0.717046	0.717012	本文
L-C-7	6号矿体	方解石	0.791	267	0.0088	0.716382	0.716353	本文
1号	6号矿体	方解石	0.101	411	0.0007	0.717012	0.717010	本文
3号	6号矿体	方解石	3.00	418	0.0218	0.717079	0.717008	本文
5号	6号矿体	方解石	0.961	218	0.0149	0.717057	0.717009	本文
HZQ-47	6号矿体	方解石	4.95	311	0.0471	0.717154	0.717001	本文
HZQ-89-1	6号矿体	方解石	2.21	303	0.0207	0.717076	0.717009	本文
HZQ-89-2	6号矿体	方解石	0.826	281	0.0084	0.717025	0.716998	本文
HZQ-90	6号矿体	方解石	1.98	232	0.0252	0.717088	0.717006	本文
HZQ-100	6号矿体	方解石	2.50	281	0.0094	0.717028	0.716997	本文
HZ-911-29	1号矿体	方解石	2.96	400	0.2181	0.717164	0.716456	本文
HZ-911-12	1号矿体	方解石	0.242	390	0.0018	0.716472	0.716466	本文
HZ-911-10	1号矿体	方解石	3.72	270	0.0405	0.716586	0.716454	本文
HZ-911-3	1号矿体	方解石	1.92	180	0.0315	0.716567	0.716465	本文
HZ-911-37	1号矿体	方解石	3.11	402	0.0243	0.716554	0.716475	本文

注:由南京大学现代分析测试中心王银喜高级工程师完成。

业已证明(张振亮,2003),不同温度、压力、盐度和密度的流体相混合,可以引起流体的沸腾。我国的许多斑岩型铜矿床(如德兴、多宝山、玉龙等)主成矿阶段石英-硫化物阶段(又称“纯金属硫化物阶

段”)金属硫化物的形成主要由岩浆水与地下水(又称“天水”)混合而引起流体的沸腾作用,使得大量的水分和挥发分从流体中逸出并与围岩发生反应,造成流体的过饱和,使金属硫化物才得以大量沉淀出

来形成矿脉(朱训等,1983;李荫清等,1981;唐仁鲤等,1995;芮宗瑶等,1984)。因此不妨推测,由于流体的混合作用,会泽矿区也可能存在流体的沸腾现象。经镜下鉴定,会泽矿床脉石矿物方解石及热液白云石中有纯气相包裹体、富气相的气液两相包裹体及含子晶包裹体的存在,并且发现有富液相的气液两相包裹体、纯气相包裹体与富气相的气液两相包裹体密切共存、均一温度相近的现象,证实了笔者的推测。上已述及,会泽矿床的成矿深度为 2 200~2 450 m。以此深度计算的压力与利用包裹体数据测定的压力数据有所不同,这种不同可能与流体在成矿的过程中曾存在大幅度降压现象有关。而压力的大幅度降低,足可以使流体发生沸腾作用,同时也可以使成矿物质因溶解度降低而沉淀(张德会,1997)。从笔者研究的数据来看,会泽矿床的沸腾作用主要发生在成矿作用中后期,因此可以肯定沸腾作用是由压力大幅度降低导致。沸腾时,大量的挥发分(如  $H_2O$ ,  $HCl$ ,  $F^-$  等)及部分轻金属阳离子(如  $Li^+$ ,  $Na^+$  等)从流体中逸出,使流体的浓度不断增大(这可以从表 1 得到证实,除了  $H_2O$  外,方解石中包裹体其余成分均大于闪锌矿和黄铁矿);同时,逸出的挥发分(如  $HCl$ )能与围岩发生化学反应,降低流体的酸度(方解石中包裹体流体 pH 值均大于闪锌矿和黄铁矿,韩润生,2002),使金属硫化物得以顺利地析出。

#### 4 结论

通过上面的阐述和类比,可以得出以下结论:

(1)会泽铅锌矿床是一新类型的矿床,它的特征明显有别于 MVT 矿床。

(2)在会泽铅锌矿床的矿物中,包裹体类型至少可以划分为 6 类:纯液相(L)包裹体、富液相的气液两相(L+V)包裹体、纯气相(V)包裹体、富气相的气液两相(V+L)包裹体、含子晶的多相(L+V+S)包裹体和不混溶的  $CO_2$  三相( $L_1+L_2+V$ )包裹体。其中,不同气液比例的包裹体共存是流体沸腾作用存在的证据,而不混溶的  $CO_2$  三相( $L_1+L_2+V$ )包裹体的存在则是流体不混溶的产物。

(3)矿床成矿流体性质为含有 Pb, Zn 等成矿金属元素的  $NaCl-CaCl_2-CO_2-H_2O$  型。矿物流体包裹体平均均一温度主要变化于 150~250℃ 之间,部分包裹体大于 300℃;盐度变化范围  $w(NaCl) = 5\% \sim$

21%,平均为 13.24%;密度为 0.546~1.129 g/cm<sup>3</sup>;均一瞬间压力  $145 \times 10^5 \sim 754 \times 10^5$  Pa;成矿深度 2 200~2 450 m。

(4)矿床的成矿流体由不同性质的流体混合而成,具有多源性。流体混合后,由于大幅度的降压作用,使得成矿流体发生沸腾,流体产生过饱和,并最终导致金属矿物的析出。

#### 参考文献:

- [1] 陈进.麒麟厂铅锌硫化矿床成因及成矿模式探讨[J].有色金属矿产与勘查,1993,2(2):85-90.
- [2] 韩润生,刘丛强,黄智龙,等.论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J].矿物学报,2001,21(4):674-680.
- [3] 柳贺昌,林文达.滇东北铅锌银矿床规律研究[M].昆明:云南大学出版社,1999.
- [4] 郑庆鳌.云南会泽矿山厂、麒麟厂铅锌矿床对流循环成矿及热水溶赋存块状富铅锌矿体的实践与认识[J].西南矿产地质,1997,(1-2):8-16.
- [5] 周朝宪.滇东北麒麟厂铅锌矿床成矿金属来源、成矿流体特征和成矿机理研究(硕士论文)[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所,1996.
- [6] Zhou C X, Wei C S, Guo J Y. The source of metals in the Qilingchang Pb-Zn deposit, Northeastern Yunnan, China: Pb-Sr isotope constraints[J]. Econ. Geol., 2001, 96: 583-598.
- [7] 黄智龙,陈进,刘丛强,等.峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J].矿物学报,2001,21(4):681-688.
- [8] Huang Z L, Li W B, Chen J, et al. Carbon and oxygen isotope constraints on the mantle fluids join the mineralization of the Huize super-large Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China[J]. J Geochem Explor, 2003, 78/79: 637-642.
- [9] 韩润生.会泽超大型铅锌矿床地质地球化学及隐伏矿定位预测(博士后出站报告)[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所,2002.
- [10] 刘斌,沈昆.流体包裹体热力学[M].北京:地质出版社,1999.
- [11] Roedder E, Bodnar R J. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies[J]. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1980,8: 263-301.
- [12] Souriaajan S, Kennedy G C. The system  $H_2O-NaCl$  at elevated temperatures and pressures[J]. Am. J. Sci., 1962, 260: 115-141.
- [13] 张文淮,陈紫英.流体包裹体地质学[M].北京:地质出版社,1993.
- [14] 冶金工业部地质研究所.中国斑岩铜矿[M].北京:科学出版社,1984.
- [15] 周朝宪,魏春生,叶造军.密西西比河谷型铅锌矿床[J].地质地球化学,1997,(1):65-75.
- [16] 柳贺昌.滇、川、黔成矿区的铅锌矿源层(岩)[J].地质与勘探,

- 1996, (8): 53-56.
- [17] Hass J L. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure[J]. *Econ. Geol.*, 1971, 66: 940-946.
- [18] Hass J L. Physical properties of the coexisting phases and thermochemical properties of the H<sub>2</sub>O component in boiling NaCl solutions. (Preliminary steam tables for NaCl solutions) [R]. *U. S. Geol. Surv. Bullet.* 1976. 1421-A.
- [19] 管士平, 李忠雄. 康滇地轴东缘铅锌矿床铅硫同位素地球化学研究[J]. *地质地球化学*, 1999, 27(4): 45-54.
- [20] Lo C H, Chung S L, Lee T Y, *et al.*. Age of the Emeishan flood magmatism and relations to Permian-Triassic boundary events[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2002, 198(3-4): 449-458.
- [21] Zhou M F, Malpas J, Song X Y, *et al.*. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2002, 196: 113-122.
- [22] 黄智龙, 李文博, 张振亮, 等. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因[R]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2004.
- [23] 胡耀国. 贵州银厂坡银多金属矿床银的赋存状态、成矿物质来源与成矿机制(博士学位论文)[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所. 1999.
- [24] Faure G. Principles of isotope geology[M]. John Wiley & Sons, New York. 1977.
- [25] 李复汉, 覃嘉铭. 康滇地区的前震旦系[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988.
- [26] 从柏林. 攀西裂谷形成与演化[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [27] 陈好寿, 冉崇英. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [28] 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 等. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [29] 芮宗瑶, 黄宠轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [30] 李荫清, 芮宗瑶, 程莱仙. 玉龙斑岩铜(钼)矿床的流体包裹体及成矿作用研究[J]. *地质学报*, 1981, (3): 216-230.
- [31] 唐仁鲤, 罗怀松. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [32] 张德会. 成矿流体中金属沉淀机制研究综述[J]. *地质科技情报*, 1997, 16(3): 53-58.
- [33] 张振亮. 德兴铜厂铜矿非常温常压条件下的流体包裹体拉曼光谱特征及其成矿意义(硕士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2003.

## STUDY ON THE ORE-FORMING FLUID CHARACTERISTICS OF HUIZE Pb-Zn ORE DEPOSITS

ZHANG Zhen-liang<sup>1,2</sup>, HUANG Zhi-long<sup>1</sup>, RAO Bing<sup>3</sup>, LI Wen-bo<sup>1,2</sup>, YAN Zai-fei<sup>1,2</sup>

(1. *pen Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, GuiYang 550002, China*

2. *Postgraduate School of the Chinese Academy of Sciences, BeiJing 100039, China*

3. *Department of Earth Sciences, State Key Laboratory of mineral deposit Research, NanJing 210093, China*)

**Abstract:** The Huize Pb-Zn deposits, Yunnan province is located in the central south of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn polymetal metallogenic realm and is strictly controlled by faulted zones. The ore-forming fluid is a mixture of different fluids, which is characterized by moderate-to-high temperature (the homogenization temperatures of fluid inclusions in different minerals range from 110°C to 401°C, mainly from 150°C to 250°C), moderate-to-high salinity (the salinity of ore-forming fluid ranges from 5 to 21wt% NaCl, average 13.24wt% NaCl), moderate-to-high density (the density ranges from 0.546 to 1.129 g/cm<sup>3</sup>) and low pressure (the homogeneous instantaneous pressure of inclusion ranges from 145×10<sup>5</sup> Pa to 754×10<sup>5</sup> Pa). In the ore deposit, the mineralization depth is 2200~2450 meters. After different fluids mixing, the mixed fluid begins to boil because of large scale relief of pressure. This makes the mixed fluid oversaturate and makes ore minerals separate from the fluid. So, the ore deposits is a new type.

**Key words:** ore-forming fluid; mixing of fluids; relief of pressure; boiling; Huize Pb-Zn deposit; Yunnan province