

文章编号 10258-7106 (2008) 01-0101-12

滇西沧源铅锌多金属矿集区流体包裹体研究*

肖晓牛^{1,2,3}, 喻学惠^{1,2,3**}, 杨贵来^{1,2,3}, 杨伟光⁴, 莫宣学^{1,2,3}, 曾普胜⁵

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 3 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083; 4 云南省地矿资源股份有限公司, 云南 昆明 650215; 5 云南省财贸大学, 云南 昆明 650221)

摘 要 滇西沧源铅锌多金属矿集区位于中缅边境的金腊-金厂一带, 是云南省地质矿产局和地质矿产资源股份有限公司新近探明和开发的一个新的资源地。文章通过对矿集区脉石矿物中流体包裹体的类型、特征、成矿温度、盐度、密度、成矿压力以及流体包裹体中气液相成分和 C、H、O 同位素地球化学方面的分析, 探讨了流体性质、来源及矿床成因。结果表明, 该区流体主要属于 NaCl-H₂O 体系和 NaCl-CO₂-H₂O 体系, 均一温度主要集中在 160~320℃ 之间, 盐度 $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 在 0~20% 左右, 由成矿压力推算的成矿深度在 0.7~11.5 km 内。由此推测成矿流体主要是经深部循环演化了的大气降水与岩浆水的混合流体。

关键词 地球化学 流体包裹体 铅锌多金属矿床 滇西沧源

中图分类号 P618.42 P618.43

文献标识码 A

A study of fluid inclusions from Cangyuan lead-zinc polymetallic ore concentration area in western Yunnan

XIAO XiaoNiu^{1,2,3}, YU XueHui^{1,2,3}, YANG GuiLai^{1,2,3}, YANG WeiGuang⁴, MO XuanXue^{1,2,3} and ZENG PuSheng⁵

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobeing Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4 Yunnan Geology and Mineral Resources Co. Ltd., Kunming 650215, Yunnan, China; 5 Yunnan University of Finance and Trade, Kunming 650221, Yunnan, China)

Abstract

The Cangyuan lead-zinc polymetallic ore concentration area in western Yunnan lies in Jinchang-Jinla area near the China-Myanmar border area, and is a new resource area developed and explored recently by Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources as well as Yunnan Geology and Mineral Resources Co. Ltd. This paper deals with types, characteristics, temperatures, pressures, salinities and densities of fluid inclusions and analytical data of fluids, gases and C, H, O isotopes. Researches show that the ore-forming fluids are of the NaCl-H₂O and NaCl-CO₂-H₂O types, the homogenization temperatures are concentrated in the range of 160~320℃, the salinities $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ are in the range of 0~20%, and the mineralization depths are about 0.7~11.5 km. It is thus concluded that the ore-forming fluids may belong to a mixed solution between meteoric water and magmatic water.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, lead-zinc polymetallic deposit, Cangyuan in western Yunnan

* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目(2004CB412603)的资助

第一作者简介 肖晓牛,男,1980 年生,矿物岩石矿床学专业在读博士生,主要从事岩石学和金属矿床方面的研究。E-mail: xiaoniui1980@yahoo.com.cn

** 通讯作者 喻学惠,女,1944 年,教授,博士生导师,主要从事岩石学和矿床学方面的教育和科研工作

收稿日期 2007-06-04; 改回日期 2007-08-20。李德先、张绮玲编辑。

滇西沧源铅锌多金属矿集区位于云南省沧源佤族自治县芒卡镇与缅甸第二特区(佤邦)的接壤地区。据史料记载,该区古称“茂隆银厂”,是跨越中国云南西南部的思茅地区和缅甸东北部掸帮省的多金属矿产聚集区。2001 年,云南省地矿局先后对该区铅锌银矿床金腊、芒哈、马家地、工浪、湖广寨、龙洞河、董棕林、竹林、香椿林、三家寨以及中缅边境区的界河等十余个矿区进行了勘查工作,并圈定了 30 多个矿体(图 1)。2003 年,云南省地矿资源股份有限公司在该区开展了详细的地质勘查和矿产开发相结合的地质找矿工作。本文通过对该区的脉石矿物中流体包裹体的研究,对成矿流体的特征、性质及其与

铅锌多金属矿成矿作用的关系进行了初步讨论,为成矿条件、矿床成因的研究及进一步的找矿工作提供基础地质资料和依据。

1 区域地质及矿床地质

滇西沧源铅锌多金属矿集区位于特提斯构造带之南缘,冈底斯-念青唐古拉褶皱系西段,保山-镇康地块的南端。研究区出露的主要地层为上元古界王雅组 and 允沟组浅变质岩,由千枚岩、板岩、结晶片岩、大理岩、硅质板岩、变基性火山岩等组成。允沟组是重要的含矿层位,铅锌矿主要分布在大理岩和片岩

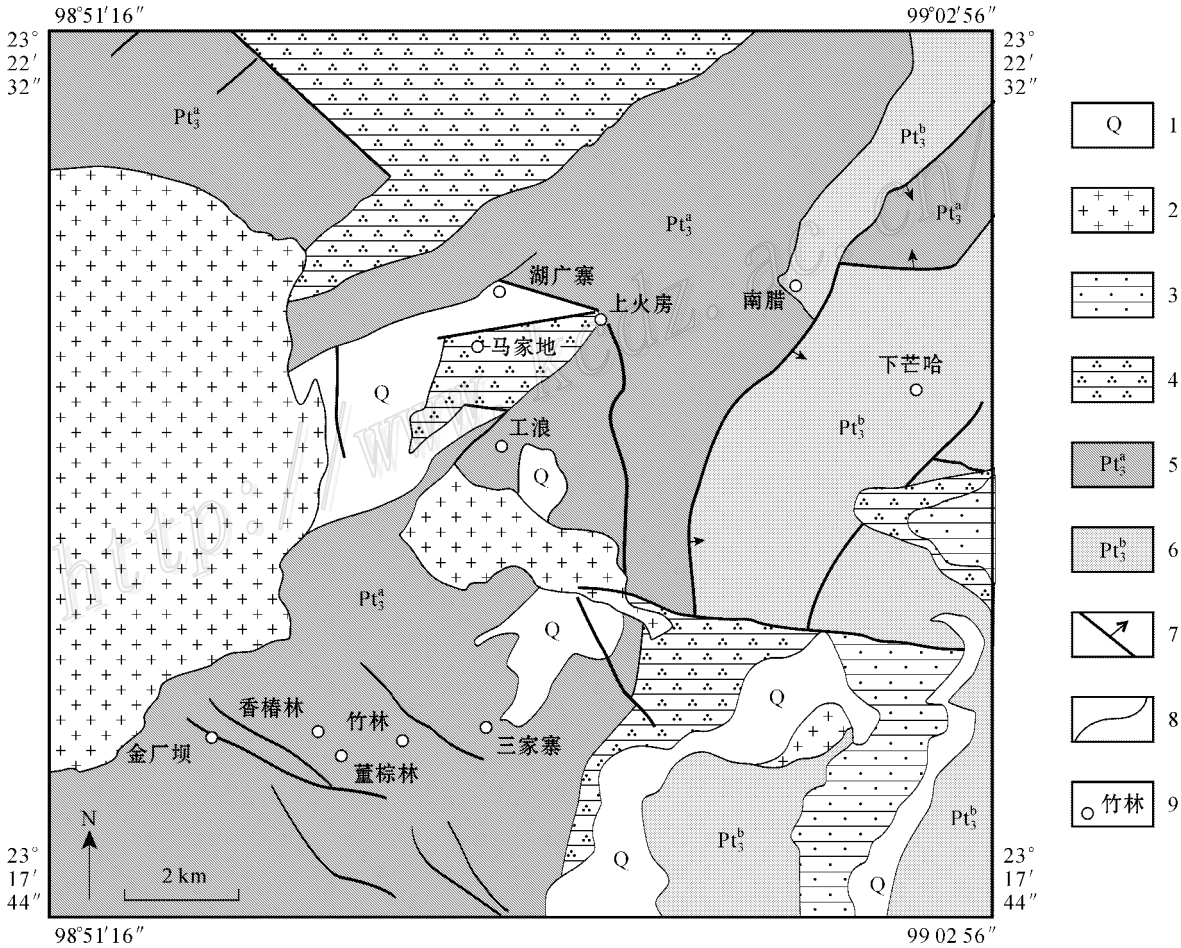


图 1 云南金腊-缅甸金厂铅锌多金属矿集区地质示意图(据云南地矿局)

Fig. 1 Geological sketch map of the Jinla lead-zinc polymetallic deposit

1—第四系冲积层、砂砾岩;2—渐新世花岗岩斑岩、花岗岩;3—白垩系砂岩;4—奥陶系石英砂岩;5—上元古界千枚岩、片岩、大理石化白云岩;6—上元古界千枚岩、板岩;7—断层;8—地层界线;9—矿区位置

1—Quaternary alluvium, gritstone; 2—Oligocene granite porphyry, granite; 3—Cretaceous sandstone; 4—Ordovician quartz sandstone; 5—Upper Proterozoic phyllite, schist, marble-metamorphic dolomite; 6—Upper Proterozoic phyllite, slate; 7—Fault; 8—Stratigraphic boundary; 9—Ore district Location

的过渡带,以及大理岩、片岩与变基性岩的接触带附近。区内褶皱及韧性剪切带发育,其中 NE 向和 NW 向两组断裂附近形成的破碎带及构造裂隙是良好的贮矿场所,与成矿关系非常密切。

矿集区矿化分布范围广,矿化类型变化较大,主要是热液脉状矿化,由大脉型和网脉型铅锌矿组成,其次为产于上元古界王雅组 and 允沟组浅变质岩系中的层状矿体,可能属于原生的 Sedex 型矿化。脉状矿体大多走向 NE,其次为 NW 向。

围岩蚀变主要是硅化、角岩化、矽卡岩化、黄铁矿化等。矿石类型主要有块状硫化物型、条带状硫化物型和浸染状硫化物型等,矿石结构主要为中细粒自形-半自形粒状结构、斑状结构、交代结构等,构造为浸染状、块状、条带状及网脉状。矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿等,脉石矿物有石英、方解石、萤石、重晶石等。根据蚀变类型特征,以及矿石矿物组合特征,滇西沧源铅锌多金属矿集区可分为 3 个成矿阶段:

第 I 成矿阶段为石英-黄铁矿阶段,矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、孔雀石等,脉石矿物以石英为主,其次为长石;

第 II 成矿阶段为石英-多金属硫化物阶段,矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等,脉石矿物为石英、萤石等,该阶段为主成矿阶段;

第 III 成矿阶段为石英-碳酸盐阶段,矿石矿物为方铅矿、闪锌矿、自然银等,脉石矿物有方解石、白云石、萤石等。

2 流体包裹体的岩相学特征及分类

本研究中测试的的流体包裹体样品是从金腊、金厂、工浪、湖广、龙洞河、竹林、界河等十几个矿区的矿石中分离出来的,来自不同成矿阶段的脉石矿物石英、方解石、重晶石和萤石,共计 23 件。

显微镜中观察包裹体,显示本区脉石矿物中的流体包裹体较发育,绝大多数呈不规则状分布。采用流体包裹体的物理状态和成因分类(卢焕章等, 2004)可将该区包裹体分为 5 种类型,即气液两相包裹体(I 型)、纯液相包裹体(II 型)、含子矿物包裹体(III 型)、含 CO₂ 包裹体(IV 型)和富 CO₂ 的二相包裹体(V 型)。各类型包裹体的特征如下:

(1) 气液两相包裹体(I 型) 该类型流体包

裹体在本区最为发育,约占包裹体总量的 80%。根据包裹体的物理状态又可以进一步分为富液相包裹体(IA 型)和富气相包裹体(IB 型)。IA 型包裹体多呈浑圆状、长柱状、椭圆状、长条状以及不规则状(图 2a),大小在 2~30 μm ,以 4~10 μm 居多。包裹体形态密集成群分布或以密集群向多方向散开,有时也见零星分布的包裹体。包裹体的气相百分数 < 50%,多数集中在 5%~10% 之间。这类型包裹体在加热升温过程中,首先出现气泡微动并向包裹体的某个角落移动,当温度继续升高至近均一温度时,气泡开始剧烈跳动,并逐渐变为一个小黑点,最后慢慢消失。

IB 型包裹体呈椭圆状、长条状以及不规则状(图 2b),呈零星分布,大小在 8~30 μm 左右,包裹体的气相百分数 > 50%,这种包裹体仅在金腊 6601 号坑道及界河矿区的流体包裹体中发现。

(2) 纯液相包裹体(II 型) 该类型包裹体见于龙洞河、工浪、界河等地的脉石矿物石英中。包裹体形态主要以椭圆状、浑圆状为主,大小在 4~20 μm 左右,以 8~10 μm 居多。这类型包裹体经常与其他类型包裹体混杂在一起,成群密集分布,在升温的过程中其形态不发生变化。

(3) 含子矿物的多相包裹体(III 型) 此类型包裹体见于界河、金厂坝、龙洞河等地。包裹体多为负晶形(图 2c),大小在 10~20 μm 左右。根据该类型包裹体在升温过程中的不同变化,可分为 IIIA 和 IIIB 两类。其中 IIIA 型包裹体在升温过程中,气泡在子矿物消失前就达到均一,而 IIIB 型包裹体在升温过程中子矿物先消失,之后气泡才消失。

(4) 含 CO₂ 的三相包裹体(IV 型) 该类型包裹体在本区较为发育。包裹体多呈负晶形以及不规则状(图 2d),大小在 8~30 μm 左右。含 CO₂ 的三相包裹体在室温下,为含有水溶液、CO₂ 液相和 CO₂ 气相的三相包裹体。在冷冻过程中,液相 CO₂ 被固结,形成白色 CO₂ 固体和较暗的压扁状 CO₂ 蒸气气泡以及笼形水合物。回温过程中,在接近部分相均一温度 31.1℃ 时会出现两种情况:一种是 CO₂ 直接均一至气相(IVA 型),另一种是 CO₂ 均一为液相(IVB 型)。

(5) 富 CO₂ 的二相包裹体(V 型) 该类型包裹体仅见于龙洞河,包裹体大小在 4 μm 左右,呈椭圆状或长条状。

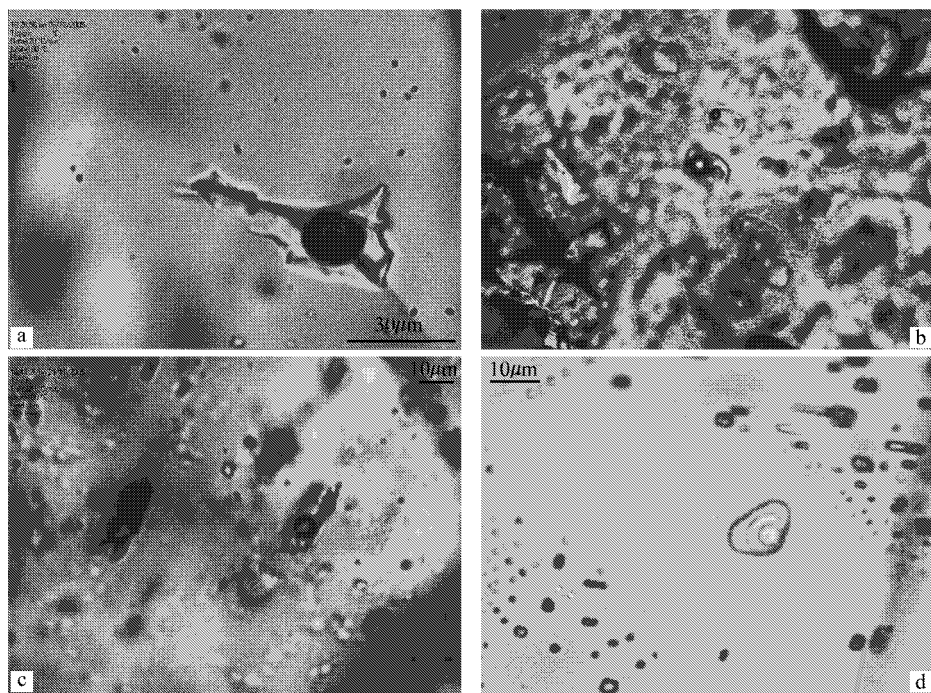


图 2 颠西沧源不同类型流体包裹体照片

Fig. 2 Photos of fluid inclusions in the Cangyuan lead-zinc polymetallic ore concentration area

3 流体包裹体的显微测温

3.1 包裹体的均一温度、盐度和密度

在流体包裹体岩相学观察的基础上,选择具有代表性的流体包裹体片在中国地质大学地球化学实验室的 Linkam-THMSG600 型冷-热台上进行均一法测温,仪器测定的温度范围为 $-196 \sim 600^{\circ}\text{C}$,测温精度在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 左右,冷冻法的精度在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。笔者采用测冰点和测 CO_2 笼形水合物溶化温度的方法计算成矿溶液的盐度,成矿溶液的密度可按 Bodnar 等 (1989; 1994)、Bischoff (1991) 相关图解求得。均一法测温结果及流体包裹体的盐度和密度列于表 1。

各矿区流体包裹体的特征及均一温度(图 3)、盐度和密度特征如下。

湖广矿区,以 I A 型包裹体为主,大小在 $3 \sim 20 \mu\text{m}$ 之间,主要集中在 $6 \sim 8 \mu\text{m}$ 范围。气相百分数为 $5\% \sim 40\%$,以 $5\% \sim 10\%$ 之间居多,冰点温度范围为 $-3.2 \sim -7.2^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 范围为 $5.26\% \sim 10.73\%$,密度范围为 $0.70 \sim 0.87 \text{ g/cm}^3$ 。包裹体完全均一温度范围在 $256 \sim 383^{\circ}\text{C}$ 之间。

金腊矿区 6601 号坑道样品的包裹体均为 I A

型,包裹体大小 $2 \sim 20 \mu\text{m}$,多集中在 $4 \mu\text{m}$ 左右。气相百分数为 $5\% \sim 40\%$,主要集中在 5% 左右,冰点温度范围为 $-1.5 \sim -20.1^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 范围为 $2.57\% \sim 22.44\%$,密度范围为 $0.48 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$ 。均一温度具有 $80 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 、 $160 \sim 240^{\circ}\text{C}$ 和 $320 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 三个峰值。金腊 15 号坑道中的样品出现 I A 型、IV A 型、IV B 型和 III A 型多种类型包裹体,大小在 $4 \sim 30 \mu\text{m}$ 之间,以 $4 \sim 8 \mu\text{m}$ 居多。气相百分数在 $5\% \sim 50\%$ 之间,以 5% 为主。I A 型包裹体的冰点温度范围为 $-1.9 \sim -5.2^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 范围为 $3.23\% \sim 8.14\%$,密度范围为 $0.69 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$; IV A 型包裹体的 CO_2 三相点温度范围为 $-59.2 \sim -59.6^{\circ}\text{C}$,略低于纯 CO_2 的三相点温度,说明 CO_2 相中存在少量其他组分,如 CH_4 、 N_2 、 SO_2 、 H_2S 等。均一温度在 $294 \sim 334^{\circ}\text{C}$ 之间, CO_2 笼合物溶化温度范围为 $9.6 \sim 9.8^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 范围为 $1.42\% \sim 3.33\%$; IV B 型包裹体的 CO_2 三相点温度在 $-56.6 \sim -58.2^{\circ}\text{C}$ 之间,与纯 CO_2 的三相点温度 (-56.6°C) 相近或略低一些。完全均一温度为 $298 \sim 320^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 范围在 $0.02\% \sim 0.83\%$ 之间; III A 型包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 41.49% ,子矿物溶化温度为 340°C 。该矿区流体包裹体完全均一温度集中在 $240 \sim 320^{\circ}\text{C}$ 区间。此外,在测温时可

表 1 流体包裹体具代表性的显微测温结果及盐度和密度

Table 1 Representative microthermometric determinations of fluid inclusions

矿区及样品编号	测定 矿物	测点数 /个	包裹体 类型	$t_h/^{\circ}\text{C}$	$t_m/^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	体系
湖广								
PD2402-2	石英	31	I A	256~383	-3.2~-7.2	5.26~10.73	0.70~0.87	NaCl-H ₂ O
金腊 6601 号坑道								
JLPD6601-4	石英	5	I A	385~516	-6.8~-20.1	10.24~22.44	0.78	NaCl-H ₂ O
JLPD6601-3	石英	24	I A	124~410	-2.5~-7.1	4.18~10.61	0.48~0.92	NaCl-H ₂ O
JLPD6601-1	石英,方解石	27	I A	105~217	-1.5~-6.9	2.57~10.36	0.88~1.1	NaCl-H ₂ O
JLPD6601-2	石英	12	I A	70~369	-11.2~-11.6	15.17~15.57	1.06~1.1	NaCl-H ₂ O
金腊 15 号坑道								
JLPD15-4	石英	25	I A	86~345	-2.4~-4.1	4.03~6.59	0.78~0.86	NaCl-H ₂ O
JLPD15-4	石英	4	IV B	298~320		0.02~0.83		NaCl-CO ₂ -H ₂ O
JLPD15-5	石英	18	I A	121~350	-1.9~-5.2	3.23~8.14	0.69~0.96	NaCl-H ₂ O
JLPD15-5	石英	3	III A	294~334		41.49		NaCl-CO ₂ -H ₂ O
JLPD15-5	石英	1	IV A	340		1.42~3.33		NaCl-H ₂ O
金腊 18 号坑道								
JLPD18-2	石英	18	I A	192~367	-12.6~-24.9	16.53~17.26	0.81~0.84	NaCl-H ₂ O
金腊剥土								
JLB1-6	石英	21	I A	113~276	-0.9~-2.8	1.57~4.65	0.82~0.98	NaCl-H ₂ O
工浪								
JLBT1-2	方解石	18	I A	118~295	-17.9~-18.4	20.89~21.26	0.89~0.94	NaCl-H ₂ O
JLBT1-6	方解石	27	I A	143~488	-6.9~-12.8	10.36~16.71	0.97	NaCl-H ₂ O
竹林								
JLZL1-1	重晶石	9	I A	114~273	-1.4~-4.1	2.41~6.59	0.88~0.94	NaCl-H ₂ O
JLZL1-1	重晶石	2	IV B	323~328				
JLZL1-2	萤石	22	I A	201~348	-8.2~-14.7	11.93~18.38	0.84~0.96	NaCl-H ₂ O
金厂 15 号坑道								
JCPD15-3	石英	20	I A	142~374	-3.1~-4.0	5.11~6.45	0.96	NaCl-H ₂ O
JCPD15-3	石英	3	IV A	314~339		0.43~0.83		NaCl-CO ₂ -H ₂ O
金厂龙洞河								
JCPD46-4	石英	8	I A	150~278	-1.8~-5.8	3.06~8.95	0.88~0.97	NaCl-H ₂ O
JCPD46-4	石英	2	V	340~348				CO ₂ -H ₂ O
JCPD46-4	石英	1	III A	461		54.51		NaCl-H ₂ O
金厂坝								
JCB2-5	石英	19	I A	178~430	-3.2~-8.9	5.26~12.73	0.64~0.96	NaCl-H ₂ O
JCB2-5	石英	2	IV B	207~234		32.39~33.48		NaCl-H ₂ O
界河								
JLPD3-2	萤石	19	I A	134~399	-5.8~-11.9	8.95~16.8	0.70~0.89	NaCl-H ₂ O
JLPD3-2	萤石	1	IV B	345		8.82		NaCl-CO ₂ -H ₂ O
JLPD3-1	萤石	18	I A	242~431	-3.6~-17.2	5.86~20.37	0.81~0.82	NaCl-H ₂ O
JLPD3-1	萤石	3	IV B	320~331		2.20~8.82		NaCl-CO ₂ -H ₂ O
JLPD6-2	石英	12	I A	251~320	-2.1~-7.4	3.55~10.98	0.78~0.87	NaCl-H ₂ O
JLPD3-4	石英	5	I A	141~327	-9.2	13.07	0.84	NaCl-H ₂ O
JLPD6-1	石英	24	I A	146~436	-14.9~-23.0	18.55~22.51	0.92~1.2	NaCl-H ₂ O
JLPD6-1	萤石	31	I A	138~252	-12.0~-18.7	15.96~21.47	0.98~1.20	NaCl-H ₂ O

注 上述样品由第一作者在中国地质大学地球化学实验室完成。 t_h —完全均一温度; t_m —冰点温度; $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ —盐度; ρ —密度。

以看到,富气相包裹体由气泡逐渐扩大,液相最终消失而均一,而富液相包裹体由气泡的逐渐缩小及液相扩大,最终气相消失而达均一状态,且富气相包裹体和富液相包裹体(或含子矿物的包裹体)的均一温度相近。由此推测这些包裹体普遍发生过包裹体沸腾

现象(张文淮等,1993)。
金腊 18 号坑道的样品中,包裹体均属于IA 型,大小 4~30 μm ,以 4 μm 居多,气相百分数在 5%~20% 之间,以 5% 为主。冰点温度范围为 -12.6~-24.9 $^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 16.53%~17.26%,密度

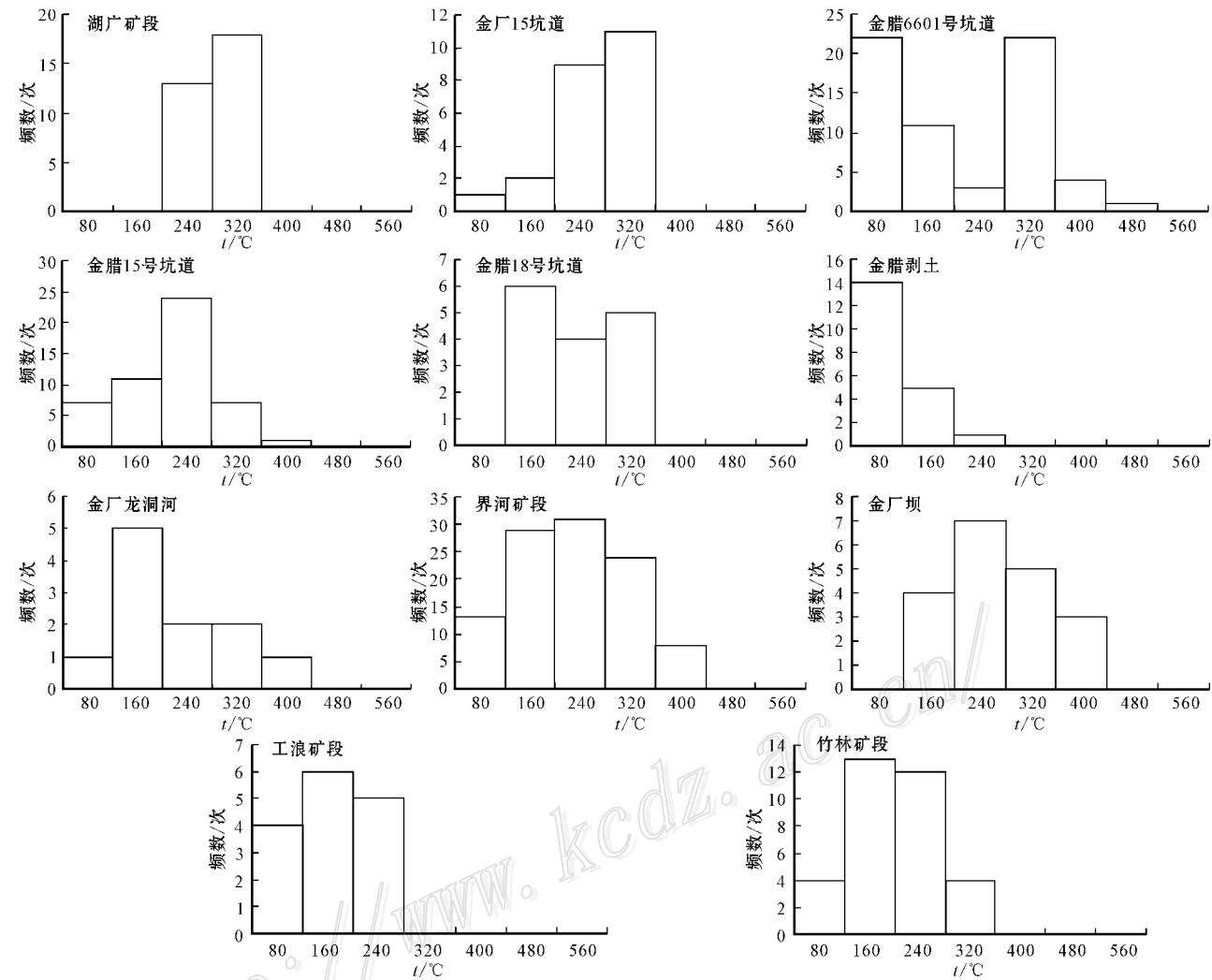


图 3 沧源铅锌多金属矿集区各矿床流体包裹体均一温度直方图

Fig. 3 Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions for various deposits in the Cangyuan lead-zinc polymetallic ore concentration area

为 $0.81 \sim 0.84 \text{ g/cm}^3$ 。完全均一温度集中在 $160 \sim 240^\circ\text{C}$ 和 $320 \sim 400^\circ\text{C}$ 两个区间。

金腊剥土场的样品中,包裹体为 I A 型,大小 $4 \sim 30 \mu\text{m}$,其中以 $4 \mu\text{m}$ 为主,气相百分数在 $5\% \sim 10\%$ 之间,以 5% 为主。冰点温度范围为 $-0.9 \sim -4.1^\circ\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $1.57\% \sim 4.65\%$,密度为 $0.82 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ 。与其他矿段相比较,该矿段包裹体的盐度普遍较低,完全均一温度亦较低,主要集中在 $80 \sim 160^\circ\text{C}$ 和 $160 \sim 240^\circ\text{C}$ 两个区间。

工浪的样品中,包裹体为 I A 型,大小在 $2 \sim 20 \mu\text{m}$,以 $4 \sim 6 \mu\text{m}$ 居多。气相百分数在 $5\% \sim 50\%$ 之间,主要集中在 $5\% \sim 10\%$ 范围。I A 型包裹体的冰点温度范围为 $-6.9 \sim -18.4^\circ\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为

$10.36\% \sim 21.26\%$,密度为 $0.89 \sim 0.97 \text{ g/cm}^3$ 。该矿区包裹体均一温度集中在 $80 \sim 320^\circ\text{C}$,以 $160 \sim 240^\circ\text{C}$ 居多。

竹林的样品中,包裹体有 I A 型和 IV B 型两种,大小 $4 \sim 50 \mu\text{m}$,气相百分数在 $5\% \sim 40\%$ 之间,以 $5\% \sim 10\%$ 居多。I A 型包裹体的冰点温度范围为 $-1.4 \sim -14.7^\circ\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $2.41\% \sim 18.38\%$,密度为 $0.84 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$;IV B 型包裹体 CO_2 的三相点温度为 $-56.8 \sim -57.7^\circ\text{C}$,完全均一温度为 $323 \sim 328^\circ\text{C}$,且完全均一至液相。 CO_2 笼合物熔化温度范围为 $8.0 \sim 12.7^\circ\text{C}$,其中个别 CO_2 包裹体的笼合物熔化温度偏高,说明包裹体内混有 CH_4 或其他气体(张文淮等,1993)。该矿区包裹体

完全均一温度集中在 160~320℃ 区间。

金厂 15 号坑道的包裹体样品有 I A 型和 IV A 型两种,大小 4~16 μm,以 4~8 μm 为主。气相百分数为 5%~50%,主要集中在 5%~10% 之间。I A 型包裹体的冰点温度范围为 -3.1~-4.0℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 5.11%~6.45%,密度为 0.96 g/cm³;IV A 型流体包裹体 CO₂ 的三相点温度为 -57.6~-58.4℃,比纯 CO₂ 的三相点温度略低一点。CO₂ 笼合物熔化温度范围为 8.3~10.0℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 0.43%~0.83%,完全均一温度(均一至气相)在 314~339℃ 之间,主要分布在 240~320℃ 和 320~400℃ 两个温度区间。

龙洞河样品中有 I A 型、V 型和 III A 型三种类型的包裹体,大小 4~14 μm,以 4 μm 居多,气相百分数值为 5%。I A 型包裹体的冰点温度范围为 -1.8~-5.8℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 3.06%~8.95%,密度为 0.88~0.97 g/cm³;V 型包裹体 CO₂ 的三相点温度为 -56.6~-56.7℃,与纯 CO₂ 的三相点温度非常相近,完全均一温度在 340~348℃ 左右。III A 型包裹体,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 54.51%,均一温度最高达 461℃,但完全均一温度主要集中在 160~240℃ 区间。

金厂坝样品的包裹体有 I A 型和 III B 型两种,大小 4~20 μm,以 4~8 μm 为主。气相百分数在 5%~10% 之间。I A 型包裹体的冰点温度范围为 -3.2~-8.9℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 5.26%~12.73%,密度为 0.64~0.96 g/cm³;III B 型包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 32.39%~33.48%。该矿区包裹体均一温度在 160~480℃ 之间,以 240~320℃ 为主。

界河矿段样品中的包裹体类型包括 I A 型、IV B 型和 III 型,大小 4~40 μm,主要集中在 4~10 μm 之间,气相百分数为 5%~40%,以 5%~10% 居多。I A 型包裹体的冰点温度范围为 -2.1~-23.0℃,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 3.55%~22.51%,密度为 0.70~1.20 g/cm³;IV B 型包裹体 CO₂ 的三相点温度为 -57.9~-58.3℃,略低于纯 CO₂ 的三相点温度。完全均一温度为 320~345℃,此时,一部分包裹体完全均一为气相,而另一部分包裹体完全均一为液相。CO₂ 笼合物熔化温度范围为 5.1~8.9℃,密度为 2.20~8.82 g/cm³;III 型包裹体中含有较多子矿物,有的可能是早期结晶的石英或方解石等。这些子矿物在 570℃ 未熔。包裹体完全均一温度集中在 160~400℃ 之间,且明显具有 3 个峰值:即 160~240℃,

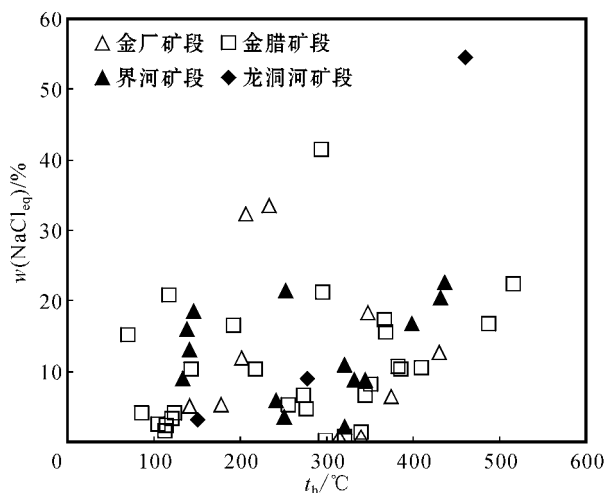


图 4 流体包裹体的均一温度-盐度关系图

Fig. 4 Diagram showing the relationship between homogenization temperature and salinity

240~320℃ 及 320~400℃。

综合各处测温结果和盐度范围,绘制成该矿集区成矿流体均一温度-盐度关系图(图 4),由图可见,该矿集区流体包裹体的均一温度和盐度具有一个较宽的变化范围(分别为 70.3~516℃ 和 0~55%),但在 240~320℃ 区间具有一个共同的集中区,其对应的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 在 0~20% 之间,因此本区成矿流体总体应属于中低温中低盐度的流体。各处均一温度也有明显差别,其中金腊的均一温度明显集中在两个温度区间,即 80~160℃ 和 240~320℃ 区间,而界河主要集中在 160~240℃ 和 240~320℃ 区间,金厂则主要在 240~320℃ 区间。

3.2 包裹体形成压力及深度的估算

本文采用刘斌等(1999)估算包裹体形成压力等公式来计算矿集区的成矿压力。该公式根据 NaCl-H₂O 溶液的实验数据,运用最小二乘法、数值插值等计算方法,得到具有不同含盐度和流体密度的 NaCl-H₂O 溶液包裹体的等容式。包裹体形成压力(p)与形成温度(t)之间具有如下的关系:

$$\text{即 } p = a + bt + ct^2$$

其中, p 为压力(MPa), t 为温度(℃), a 、 b 、 c 为不同盐度、不同密度下的参数值。将所测得的温度带入上式,即可求得本区包裹体的形成压力,再利用张文淮等(1993)的相关公式,换算成成矿深度(表 2)。包裹体形成压力及深度计算结果与运用 Bodnar 等(1994)有关在各种盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ (0~25%) 下 NaCl-H₂O 体系的 p - t 相图计算得出的结果相近。但

表 2 矿集区成矿压力及深度的计算结果
Table 2 Estimated pressure and depth of the Jinla deposit

矿区名称	样品编号	测试矿物	$p_{\text{饱和}}/\text{MPa}$	p/MPa	成矿深度/km
湖广	PD2402-2	石英	3.6~20	53.4~163	2.0~6.2
金腊 6601 号坑道	JLPD6601-4	石英	23	128.4	4.8
金腊 6601 号坑道	JLPD6601-3	石英	1~26.5	42~257	1.6~9.7
金腊 6601 号坑道	JLPD6601-1	石英,方解石	0.3~1.5	18.1~150	0.7~5.7
金腊 15 号坑道	JLPD6601-2	石英	0.2~0.4	89~106.5	3.4~4.0
金腊 15 号坑道	JLPD15-4	石英	1.4~11	119.1~135.5	4.5~5.1
金腊 15 号坑道	JLPD15-5	石英	0.4~14.4	20.5~255	0.8~9.6
金腊 18 号坑道	JLPD18-2	石英	13~15	21~61.4	0.8~2.3
金腊剥土	JLB1-6	石英	0.3~5.6	86.7~241.6	3.3~9.1
工浪	JLBT1-2	方解石	0.2~6.6	28	1.1
工浪	JLBT1-6	方解石	2.8	305.1	11.5
竹林	JLZL1-1	重晶石	0.5~3.4	83~144.1	3.1~5.4
竹林	JLZL1-2	萤石	1.8~14	43.5~125.1	1.6~4.7
金厂 15 号坑道	JCPD15-3	石英		292.4	11.0
金厂龙洞河	JLPD46-4	石英	0.6~3.8	43.3~182.4	1.6~6.9
金厂坝	JCB2-5	石英	0.7~34	67.8~68.2	2.6
界河	JLPD3-2	萤石	7~26	41.7~170.8	1.6~6.4
界河	JLPD3-1	萤石	6~7		
界河	JLPD6-2	石英	3.8~9.2	52.2~90.6	2.0~3.4
界河	JLPD3-4	石英	11	29.3	1.1
界河	JLPD6-1	石英	1.7~14	123	4.6
界河	JLPD6-1	萤石	0.3~3.4	30.7~153.7	1.2~5.8

与运用 Zhang 等(1987)有关 NaCl-H₂O 体系的状态方程所得结果存在一些差距,推测可能与后者是在温度、压力较低或者含盐度较高时计算的结果,与实测值偏差较大有关。

4 流体包裹体的气、液相成分分析

流体包裹体气、液相成分分析在中国科学院地质与地球物理研究所完成。气体成分分析采用日本真空技术株式会社生产的 RG202 四极质谱仪 SME,液相成分分析采用日本岛津公司(SHIMADZU)生产的 HIC-6A 型离子色谱仪。用于气相成分分析的样品为石英、萤石和重晶石,共计 16 件。采用加热爆裂法提取气体,方解石等易分解样品爆裂温度为 350℃,石英等样品则需 500℃。用于液相成分分析的样品为石英、萤石、重晶石和闪锌矿,共计 16 件,均采用 500℃ 爆裂。工作流程参见朱和平等(2003)。包裹体中气、液相成分的分析结果列于表 3 和表 4。

总的来看,金厂、界河、金腊 3 个矿区中流体包裹体的气相成分有较大差别,其中金厂坝、金腊 18 号坑道、金腊 6601 号坑道和金厂 15 号坑道,气相中 H₂O 的摩尔百分比很高,达到 94.571%~96.11%,

均值为 95.348%,明显高于其他矿床(矿体);CO₂ 的摩尔百分比为 3.237%~4.641%,均值为 3.965%,又低于其它矿床。但金厂竹林、界河、工浪三个矿区中 H₂O 的摩尔百分比为 75.977%~84.02%,均值为 80.855%,相对较低;CO₂ 的摩尔百分比为 14.98%~23.41%,均值为 17.982%,高于上述几个矿床。个别矿体(如金腊 15 号坑道),包裹体的气相成分中出现近于纯 CO₂ 气体包裹体(CO₂ 的摩尔百分比达到 94.54%,而 H₂O 的摩尔百分比仅为 5.01%)(图 5)。有人认为这种纯 CO₂ 气体包裹体的出现与包裹体捕获时 H₂O 的泄漏或排出有关(徐启东,1996a)。有关研究表明,在很多包裹体中 CO₂ 和 H₂O 含量有较大的变化,经常在包裹体中见到由近纯 CO₂ 包裹体向富 H₂O 含 CO₂ 包裹体过渡的情况。这是因为富 CO₂ 和富 H₂O 的两种不相溶流体在混合过程中,矿物对流体具有选择性捕获的能力(薛春纪等,2002)。因此可以认为,近于纯 CO₂ 包裹体的出现是矿物对流体选择性捕获的结果。

各矿区流体包裹体液相成分中主要的阳离子为 Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺,阴离子主要为 F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻,尤以 Na⁺、K⁺ 和 SO₄²⁻ 浓度高为特征。流体包裹体类型主要属于 Cl⁻-Na⁺-Ca²⁺ 和 SO₄²⁻-Na⁺-

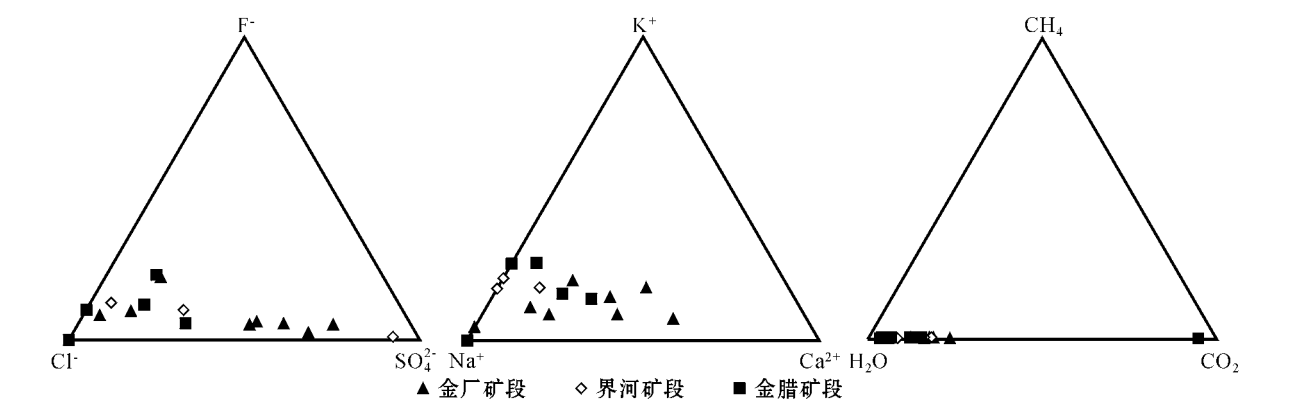


图 5 流体包裹体气液相成分三角图

Fig. 5 Ternary diagram of liquid and gas composition of inclusions

表 3 流体包裹体气相成分分析结果

Table 3 Gas composition of fluid inclusions

矿区及样品编号	样品名称	主矿物	x(B)/%							CO ₂ /H ₂ O	CO ₂ /CH ₄
			CH ₄	H ₂ O	N ₂	C ₂ H ₆	H ₂ S	Ar	CO ₂		
金厂竹林											
JCZL1-1-1	重晶石脉	重晶石	0.425	75.977	*	0.08	0.021	0.086	23.41	0.308	55.082
JLZL1-1-2	重晶石脉	重晶石	0.628	80.46	*	0.159	0.027	0.239	18.49	0.23	29.443
JLZL1-2	萤石脉	萤石	0.713	81.47	*	0.395	0.034	0.13	17.26	0.212	24.208
JCZL1-3	含辉铜矿重晶石脉	重晶石	0.233	83.285	0.129	0.142	0.007	0.144	16.06	0.193	68.931
金厂 15 号坑道											
JCPD15-3	石英脉	石英	0.481	94.571	0.008	0.133	0.023	0.143	4.641	0.049	9.649
金厂坝											
JCB2-5	石英脉	石英	0.391	95.31	*	0.039	*	0.05	4.212	0.044	10.722
金厂龙洞河											
JCPD46-4	含铅锌矿石英脉	石英	0.623	86.98	0.014	0.174	0.021	0.153	12.04	0.138	19.326
金腊石浪											
JLBT1-6	石英脉	石英	0.81	84.02	*	*	0.036	0.15	14.98	0.178	18.493
金腊 18 号坑道											
JLPD18-2	硫化物石英脉	石英	0.386	96.11	*	0.228	0.025	0.012	3.237	0.034	8.386
金腊 6601 号坑道											
JLPD6601-2	粗晶石英脉	石英	0.53	95.4	0.221	0.085	*	*	3.768	0.039	7.109
金腊											
JL2-3	硅质岩	石英	0.301	93.21	*	0.809	*	*	5.677	0.061	18.86
JLPD1-2	石英脉	石英	0.52	92.46	0.51	0.051	0.004	0.145	6.313	0.068	12.14
湖广											
PD2402-4	粗晶石英脉	石英	0.821	87.46	*	*	0.074	*	11.65	0.133	14.19
界河											
JCPD3-2	含硫化物萤石脉	萤石	0.608	79.92	*	1.572	0.21	*	17.69	0.221	29.095
JCPD6-2	含铅锌矿石英脉	石英	0.625	83.32	*	0.012	0.025	0.12	15.9	0.191	25.44
JCPD6-3	含铅锌矿萤石脉	萤石	0.465	90.36	*	0.549	0.076	0.249	8.297	0.092	17.843

注 由中国科学院地质与物理研究所朱和平测试。“*”表示低于检出限。

Ca²⁺ 两种。Roedder(1972)基于对各种成因的流体中 Na⁺/K⁺ 比值的研究指出,岩浆热液流体中的 Na⁺/K⁺ 比值一般小于 1,而与沉积岩或地下热卤水有关的成矿流体 Na⁺/K⁺ 比值较高,通常大于 1。姜耀辉等(1994)提出流体中相对较高的 SO₄²⁻ 浓度与岩浆气液中的 S、SO₂、H₂S 发生氧化作用有关。因此成矿流体中高的 SO₄²⁻ 浓度是岩浆水的有效证据。

该区流体包裹体的 Na⁺/K⁺ 比值均大于 1,多数在 1.237~21.818 范围内,其中金厂和竹林矿区流体中的 Na⁺/K⁺ 比值高达 21.818。液相成分中阴离子 F⁻/Cl⁻ 比值普遍较小,在 0.039~0.368 之间,而 SO₄²⁻/Cl⁻ 比值普遍较高,绝大多数高于 0.5。由此可推测,本区成矿流体是一种以地下热卤水为主,并混有岩浆流体的混合型流体。

表 4 流体包裹体的液相成分分析结果
Table 4 Liquid composition of fluid inclusions

矿区及样品编号	样品名称	主矿物	$c(B)/\text{mg/L}$							$\text{Na}^+ /$	$\text{Na}^+ /$	$\text{F}^- /$	$\text{Cl}^- /$
			F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	Cl^-	SO_4^{2-}
金厂竹林													
JLZL1-1-1	重晶石脉	重晶石	0.315	3.93	8.63	1.2	0.33	0.765	0.056	3.636	1.462	0.08	0.455
JLZL1-1-2	重晶石脉	重晶石	0.72	3.21	10.6	0.696	0.3	0.726	0	2.32	0.959	0.224	0.302
JLZL1-2	萤石脉	萤石	0.839	5.88	6.81	3.6	0.165	>	0.567	21.818		0.143	0.863
JCZL1-3	含辉铜矿重晶石脉	重晶石	0.6	5.43	5.79	1.7	0.315	2.47	0	5.397	0.688	0.11	0.938
金厂坝													
JCB1-6	石英脉	石英	0.48	3.84	0.63	2.22	0.315	0.36	0	7.048	6.167	0.125	0.265
金厂 15 号坑道													
JCPD15-3	石英脉	石英	0.84	2.55	0.63	1.36	0.45	0.45	0	3.022	3.022	0.329	4.048
金厂龙洞河													
JCPD46-4	含铅锌矿石英脉	石英	0.96	10.2	0.567	4.15	0.675	3.01	0.138	6.148	1.318	0.094	17.989
金厂													
JCPD15-2	闪锌矿	闪锌矿	0.25	1.68	2.71	1.17	0.14	0.304	0.03	8.357	3.503	0.149	0.62
金腊工浪													
JLBT1-6	石英脉	石英	1.78	16.2	*	6	2.02	0	3.48	2.97	1.724	0.11	
金腊 18 号坑道													
JLPD18-2	硫化物石英脉	石英	0.959	6.07	1.32	3.21	0.765	0.959	0	4.196	3.347	0.158	4.598
JLPD6601-2	粗晶石英脉	石英	0.96	2.87	0.63	1.7	0.642	0.177	0	2.648	2.076	0.334	4.556
湖广													
PD2402-4	粗晶石英脉	石英	1.27	15.2	7.2	5.7	1.35	2.8	0.564	4.222	1.694	0.084	2.111
金腊 15 号													
JLPD15-5	含铅锌矿石英脉	石英	*	0.825	0	0.225	0	>	0				
界河													
JCPD3-2	含硫化物萤石	萤石	0.6	3.6	46.8	2.38	0.492	>	2.228	4.837		0.167	0.077
JCPD6-2	含铅锌矿石英脉	石英	2.57	17.1	1.26	9.99	2.44	1.7	0.087	4.094	5.59	0.15	13.571
JCPD6-3	含铅锌矿萤石脉	萤石	0.504	3.12	1.39	1.11	0.285	>	0.171		3.895	0.162	2.245

注 由中国科学院地质与物理研究所朱和平测试。“*”表示低于检出限“>”表示超出检出限。

表 5 矿集区流体包裹体碳、氢、氧稳定同位素分析结果
Table 5 Hydrogen, oxygen and carbon isotopes in inclusion fluids

矿区名称	样品编号	样品名称	$t/^\circ\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$
金厂坝	JCD2-5	石英	312	-1.6	-120	3.8
金腊工浪	JLBT1-6	石英	277	4.1	-108	6.8
金腊剥土	JLB1-6	石英	157	2.7	-113	-3.6
湖广	PD2402-4	石英	320	1.3	-107	7.7
金厂 15 号坑道	JCPD15-3	石英	299	3.1	-105	4.8
金腊 6601 号坑道	JCPD6601-3	石英	358	2.9	-103	7.7
金腊 6601 号坑道	JCPD6601-2	石英	164	2.1	-110	-9.4
龙洞河	JCPD46-4	石英	253	4.0	-111	6.8
金腊 18 号坑道	JCPD18-2	石英	274	3.3	-117	7.0
界河	JCPD6-2	石英	286	3.6	-116	8.8

注 由中国地质科学院矿产资源研究所测试。

5 流体包裹体的稳定同位素组成

石英中流体包裹体的 δD 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素的分析测试工作在中国地质科学院矿产资源研究所

MAT251 EM 质谱仪上进行,有关的测试方法和流程参见文献(田世洪等,2003)。分析测试结果列于表 5。表中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值是根据矿物-水平衡温度公式 $1\,000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.34 \times 10^{-6} \times T^{-2} - 2.90$ (Mat-sobisa,1979)换算获得,计算所用的成矿温度为石英

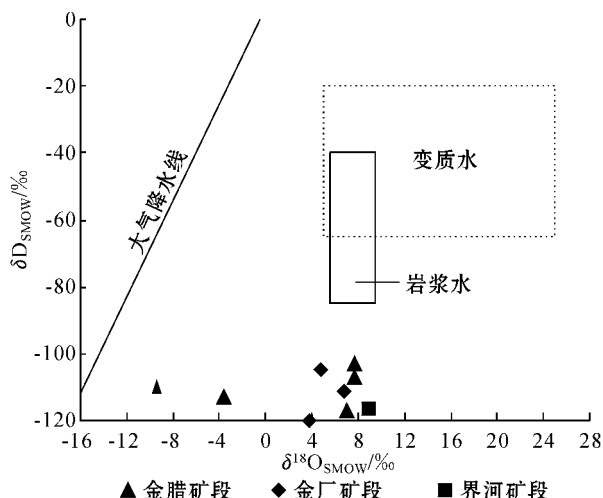


图 6 矿集区流体包裹体的 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 关系图

Fig. 6 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}-\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ diagram of fluid inclusions in the Cangyuan lead-zinc deposit

中流体包裹体均一温度的平均值。

由表 5 可见,本区 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 值的变化范围比较小,在 $-103\text{‰}\sim-120\text{‰}$ 之间,与温度的相关性不明显,这表明整个成矿过程中成矿流体的氢同位素组成是基本稳定的。相对而言,成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 变化较大,在 $-9.4\text{‰}\sim8.8\text{‰}$ 之间,与温度的变化关系也不明显,推测 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 的变化主要与流体的混合作用有关。在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 关系图中(图 6),本区成矿流体主要落到大气降水线的右下侧,相对而言是远离变质水的氢氧同位素组成范围,比较靠近岩浆水的氢氧同位素组成区。

这种不同程度的 $\delta^{18}\text{O}$ ‘漂移’现象,是大气降水与赋矿围岩发生水岩反应和氧同位素交换的结果。这种水岩反应和氧同位素交换的程度与岩石中的氧同位素组成、交换温度及停留时间有关,也与交换过程中的水/岩比值(W/R)有关。从 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 图中可见数据点近似横向分布的特点及位置表明,流体的水/岩比值大约在 0.2 ~ 2.0 左右。徐启东等(1996b)认为,这种中低水/岩比值的流体是经过了较充分的水岩交换反应后的产物。因此,根据大多数样品点落在岩浆水的正下方的事实,进一步证明本区成矿流体是大气降水与岩浆水的混合。

矿集区流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 变化范围不大,在 $-1.6\text{‰}\sim4.1\text{‰}$ 之间,在自然界 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 储库图中(图 7),大部分落在现代海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 范围($-4\text{‰}\sim4\text{‰}$),仅少数点落在靠近幔源气体和洋中

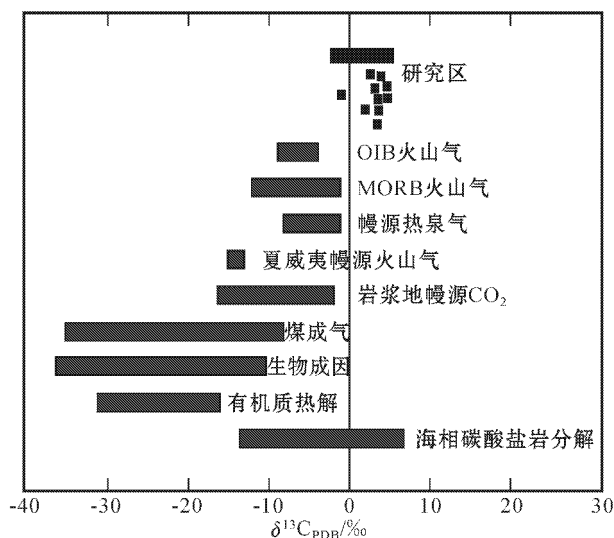


图 7 自然界的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 储库

Fig. 7 Natural resources of $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$

脊火山气体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 成分范围,也同样证明本区成矿流体具有大气降水与深源流体的混合成因。

6 流体来源及矿床成因

本研究区位于‘三江’特提斯之南段,紧邻澜沧江-金沙江构造带和兰坪盆地之南西部。其流体包裹体主要以富液相的气液两相包裹体为主。由于研究区范围较大,各矿区均一温度有所差别,但主要集中在 $160\sim240\text{℃}$ 和 $240\sim320\text{℃}$ 范围。形成温度的上限在 320℃ 左右。流体盐度 $\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 主要落在 $5\%\sim12\%$ 和 $<10\%$ 两个范围,但流体的密度较小,几乎都 $<1\text{ g/cm}^3$ 。根据流体包裹体液相成分反演的流体体系主要包括 $\text{Cl}^{-}-\text{Na}^{+}-\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Na}^{+}-\text{Ca}^{2+}$ 两种,显然,本区流体包裹体显示了大气降水与岩浆水混合的特征。本区流体的 δD 值($-103\text{‰}\sim-120\text{‰}$)与滇西中新世大气降水的 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 值($-110\text{‰}\sim-90\text{‰}$,徐启东等,2000)相近,但其下限略高一些。流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值($-9.4\text{‰}\sim8.8\text{‰}$)落到大气降水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值($-60\text{‰}\sim0\text{‰}$)和岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值($7\text{‰}\sim9.5\text{‰}$,李保华,1989)范围内,充分显示成矿流体具有大气降水与岩浆水混合的特征。

本区成矿流体的这种混合特征,是本区矿床形成的构造环境和矿床成因的综合反映。研究区大地构造处于金腊-西盟褶皱东南部之金厂-金腊背斜核部,区内地层发育齐全,自古生代至中生代为连续沉积,其中上元古界王雅组和允沟组浅变质岩系,为含

基性火山岩的海相泥质碎屑岩变质形成,它们不仅构成本区地层的主体,也是重要的含矿层位。但现今大规模开采的铅锌矿(特别是富矿)主要是受断裂和裂隙构造控制的脉状矿床,分布在大理岩和片岩的过渡带,以及大理岩、片岩与变基性火山岩接触带附近的破碎带和构造裂隙,以及金腊背斜两翼的大理岩和片岩中发育的与背斜轴向一致的次级断层或韧性剪切带中。这些断裂和裂隙不仅是铜、铅、锌、银等成矿元素运移的通道,也是成矿物质重要的沉淀场所。由此初步推测,上元古界浅变质岩系应是本区的原始矿源层,为后期热液活动提供成矿物质。此外,由于受后期岩浆作用的影响,使两种不同成因的流体(即大气降水与岩浆流体)发生混合,流体物理化学条件的改变,激发了成矿物质的活化和迁移。当这些含矿流体沿断裂和裂隙构造上升过程中,又进一步与围岩发生反应并不断改变成矿流体的物理化学性质,不仅使成矿流体具有了早期(元古代)sedex型矿床有关的火山气液与后期浅成低温热液型矿床有关的大气降水的混合型特征,而且使大量成矿元素在构造裂隙和断裂中沉积并形成脉状矿床。

References

- Bischoff, J. 1991. Densities of liquids and vapors in boiling NaCl-H₂O solutions: A PVTX summary from 300°C to 500°C [J]. *Amer. J. Sci.*, 291: 309~338.
- Bodnar R J. 1989. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 683~684.
- Bodnar R J and Vityk M O. 1994. Interpretation of microthermal-metric data for H₂O - NaCl fluid inclusions. *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications*, Blacksburg [M]. Virginia Polytechnic Institute. 117~130.
- Jiang Y H, Chen H N, Wu Q H and Chen S Z. 1994. Geological characteristics, genesis and further prospecting direction of Ag-Pb-Zn mineralization of Qinx-Guansi, Zhouning, Fujian [J]. *Geology and Exploration*, (4): 21~25 (in Chinese with English abstract).
- Li B H. 1989. Application of fluid inclusions in ore deposits [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 4(2): 57~62 (in Chinese with English abstract).
- Liu B and Shen K. 1999. *Fluid inclusion thermodynamics* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~290 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z, Fan H R, Ni P, Ou G X, Shen K and ZHANG W H. 2004. *Fluid inclusions* [M]. Beijing: Science Press. 132~208 (in Chinese).
- Matsubisa Y. 1979. Oxygen isotope fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 1131~1140.
- Rodder E. 1972. Composition of fluid inclusions. *US geological survey professional paper* [J], 440: 164.

- Tian S H, Ding T P and Mao J W. 2003. Mantle fluids involved in the ore-forming process of Maoniuping REE deposit, Sichuan: Evidence of C, H, O and S isotopes [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 24(6): 543~547 (in Chinese with English abstract).
- Xu Q D. 1996a. Fluid inclusion study in metamorphic rocks: Several key points [J]. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 3(3~4): 216~220 (in Chinese with English abstract).
- Xu Q D, Suo S T and Zhong Z Q. 1996b. The isotope-geochemistry character of mesothermal gold deposits in Tongbai-Dabie area [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 5(1): 40~47 (in Chinese with English abstract).
- Xu Q D and Mo X X. 2000. Regional fluid characters and regimes of "Sanjiang" middle belt during Neo-Tethys [J]. *Acta Petrol. Sinica*, 16(4): 639~648 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J, Chen Y C, Yang J M, Wang D H and Xu Y. 2002. The CO₂-rich and hydrocarbon-bearing ore-forming fluid and Western Yunnan [J]. *Acta Geological Sinica*, 76(2): 244~253 (in Chinese with English abstract).
- Zhang W H and Cheng Z Y. 1993. *The geology of fluid inclusion* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~87 (in Chinese).
- Zhang Y G and Frantz J D. 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions [J]. *Chem. Geol.*, 64: 335~351.
- Zhu H P, Wang L J and Liu J M. 2003. Determination of quadrupole mass spectrometer for gaseous composition of fluid inclusion from different mineralization stages [J]. *Acta Petrol. Sinica*, 19(2): 314~318 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李保华. 1989. 矿物包裹体研究在矿床学中的某些应用 [J]. *成都地质学院学报*, 4(2): 57~62.
- 刘斌, 沈昆. 1999. *流体包裹体热力学* [M]. 北京: 地质出版社. 1~290.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. *流体包裹体* [M]. 北京: 科学出版社. 132~208.
- 姜耀辉, 陈鹤年, 巫全准, 陈世忠. 1994. 福建周宁芹溪官司银铅锌矿化地质特征、成因及进一步找矿方向 [J]. *地质与勘探*, (4): 21~25.
- 田世洪, 丁悌平, 毛景文. 2003. 四川牦牛坪稀土矿床地幔流体成矿的碳、氢、氧、硫同位素证据 [J]. *地球学报*, 24(6): 543~547.
- 徐启东. 1996a. 变质岩流体包裹体研究的几个基本问题综述 [J]. *地质学前沿*, 3(3~4): 216~220.
- 徐启东, 索书田, 钟增球. 1996b. 桐柏-大别地区中温热液金矿床同位素地球化学特征 [J]. *贵金属地质*, 5(1): 40~47.
- 徐启东, 莫宣学. 2000. 三江中段新特提斯阶段区域流体的性质与状态 [J]. *岩石学报*, 16(4): 640~647.
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 徐钰. 2002. 滇西北兰坪铅锌银铜矿田含烃富CO₂成矿流体及其地质意义 [J]. *地质学报*, 76(2): 244~253.
- 张文淮, 陈紫英. 1993. *流体包裹体地质学* [M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 1~87.
- 朱和平, 王莉娟, 刘建明. 2003. 不同成矿阶段流体包裹体气相成分的四极质谱测定 [J]. *岩石学报*, 19(2): 314~318.