

羊拉地区含矿夕卡岩流体包裹体特征及其成因意义*

路远发 战明国 陈开旭 黄惠兰

(中国地质科学院宜昌地质矿产研究所, 宜昌)

提 要: 羊拉铜矿化集中区共有 4 个夕卡岩体, 按成因分为喷流-沉积和接触交代夕卡岩两大类, 前者呈层状, 是铜的主要赋矿围岩。层状夕卡岩中包裹体以类型多、组分复杂、均一温度 ($100\sim 620\text{ }^{\circ}\text{C}$, 一般大于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和盐度 ($8.3\%\sim 55.0\%\text{NaCl}$, 一般 $\geq 20\%\text{NaCl}$) 高且变化范围大、密度高 (一般大于 1.00 g/cm^3)、捕获压力低 ($10\sim 25\text{ MPa}$) 为特征; 交代夕卡岩则以包裹体类型简单、组分单一、均一温度 (一般小于 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和盐度中—低 ($9.0\%\sim 20.0\%\text{NaCl}$)、密度低 (一般小于 1.00 g/cm^3) 且变化范围大、捕获压力高 (150 MPa) 为特征。这些包裹体特征反映了两类夕卡岩的流体来源和演化机制是不同的, 其中层状夕卡岩之流体为深部源与海水源的二元混合特征; 交代夕卡岩为岩浆 (体) 源等组分自然冷却演化趋势。

关键词: 喷流-沉积作用 接触交代作用 夕卡岩铜矿 流体包裹体 云南羊拉

羊拉的里农铜矿发现于 70 年代, 当时被定为小型夕卡岩矿床。最近的地勘工作初步证实了该铜矿具有大型远景规模, 并在其外围发现了路农、江边、尼吕、贝吾、加仁和通吉格等新矿产地, 使羊拉成为举世瞩目的矿化集中区。本文主要通过对含矿夕卡岩流体包裹体的研究, 重点探讨该区层状夕卡岩铜矿床的成因。

1 区域地质背景和含矿夕卡岩分布

羊拉铜矿集中区位于滇西北的德钦县羊拉乡, 构造上位于“三江”中段的金沙江结合带, 夹持在金沙江断裂和羊拉断裂两条南北向大断裂之间。区内出露一套富含中基性 (以基性为主) 火山岩的火山-沉积建造, 称之为嘎金雪山岩群, 前人将其划为二叠纪。根据我们对该套地层中所含变质玄武岩的锆石 U-Pb 年龄测定结果 ($296\times 10^6\sim 362\times 10^6\text{ a}$), 其时代应相当于石炭纪。其岩石的地球化学特征反映出该区当时的构造环境为孤后裂陷盆地。嘎金雪山岩群可进一步分解为 3 个岩组, 其中中部的变质火山-沉积岩组是本区的主要赋矿层位。

区内侵入岩发育, 主要为中酸性花岗闪长岩类, 自南向北分别有加仁岩体 (岩基)、里农岩株、贝吾小岩株等, 侵位年龄为 $208\times 10^6\sim 227\times 10^6\text{ a}$ (Rb-Sr 法), 属印支期。各岩体自身无明显蚀变和矿化现象, 但在岩体内部发育一组 NE 向构造破碎带, 沿破碎带可见有铜矿化。

在上述 3 个岩体的接触带均产有夕卡岩 (图 1), 这些夕卡岩即是本区铜矿的主要赋矿围

* 地质矿产部定向基金项目 (地科定 95-12) 和“九五”资源与环境攻关项目 (95-02-001-03) 课题的部分成果
路远发, 男, 1959 年生, 硕士, 副研究员, 主要从事矿床地球化学研究工作。邮政编码: 443003
1998-02-13 收稿, 1998-05-22 修改回

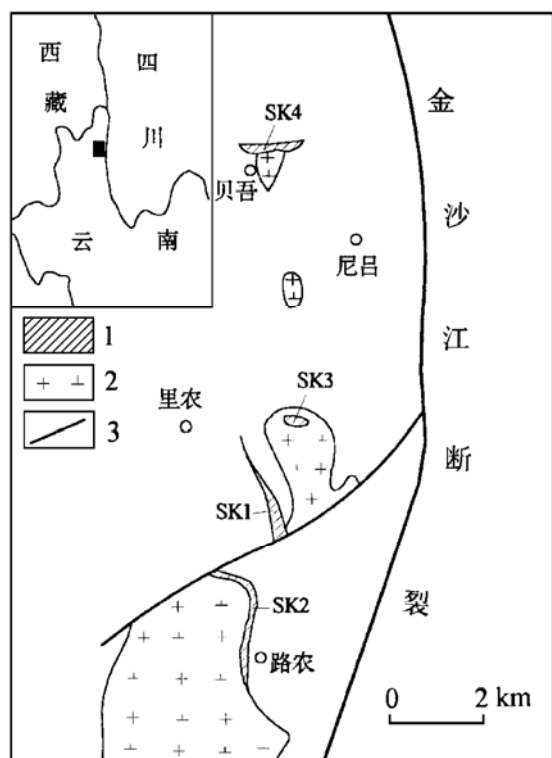


图 1 羊拉地区夕卡岩的分布略图

1—夕卡岩；2—花岗闪长岩；3—断裂

Fig. 1. Geological Sketch map showing the distribution of skarns at Yangla area.

1—Skarn; 2—Granodiorite; 3—Fault.

岩。各夕卡岩体的基本特征概述如下：

SK1：里农层状夕卡岩体，分布于里农花岗闪长岩体西侧，产于嘎金雪山岩群中岩组内，呈层状与围岩整合接触，南端被里农花岗闪长岩体伸出的岩枝穿插。该夕卡岩体长达 1500 余米，平均厚达 30 余米，是里农铜矿最主要（Ⅱ号）矿体的赋矿围岩。夕卡岩主要由石榴石、透辉石（含钙铁辉石，下同）组成，主要岩石类型有石榴石夕卡岩、透辉石夕卡岩。夕卡岩体中夹有蚀变玄武岩夹层。夕卡岩后期有弱的绿泥石和绿帘石化，但与矿化关系不大。

SK2：路农夕卡岩体，产于加仁岩体北部东侧外接触带之嘎金雪山岩群中岩组内，并沿岩体的接触带分布，但总体上仍呈层状，与地层整合接触，是路农铜矿的赋矿围岩，主要由石榴石、透辉石、石英和方解石组成，主要岩石类型有石榴石透辉石夕卡岩和透辉石石榴石夕卡岩。该夕卡岩体中夹有蚀变玄武岩夹层。后期叠加有较强的碳酸盐化。

SK3：产于里农花岗闪长岩体内的夕卡岩体，分布于里农岩体北缘之岩体内部。岩体在平

面上呈近似椭圆状，主要由透辉石、石榴石和少量石英、方解石组成。石榴石和透辉石按不同的比例组成透辉石夕卡岩、石榴石透辉石夕卡岩、透辉石石榴石夕卡岩和石榴石夕卡岩。该夕卡岩体未见矿化。

SK4：贝吾夕卡岩体，产于贝吾花岗闪长岩体与嘎金雪山岩群中岩组之外接触带，主要由石榴石、硅灰石、透辉石组成，主要岩性有石榴石硅灰石夕卡岩、透辉石夕卡岩，其中后者为含矿夕卡岩，而前者则不含矿。

2 流体包裹体特征

2.1 流体包裹体类型

本区夕卡岩矿物中流体包裹体类型较多，比较复杂，且不同产出类型夕卡岩其流体包裹体的特征有所不同，归纳起来主要有以下几种类型。

L 型：单一水溶液相 (L_{H_2O}) 包裹体，这是最为普遍的包裹体类型之一，见于各夕卡岩体及各矿物中，通常为次生、假次生包裹体，多呈米粒状、椭圆状，成群沿显微裂隙分布，大小为 $2\sim 15\ \mu\text{m}$ ，一般小于 $10\ \mu\text{m}$ 。

LV 型：富液相气-液 ($L_{H_2O} + V_{H_2O}$) 包裹体，见于各岩体各矿物中，大小不等， $3\sim 60\ \mu\text{m}$ ，一般为 $5\sim 15\ \mu\text{m}$ 。形态特征为椭圆形，多边形和负晶形，多为孤立状自由分布的原生包裹体，

部分为次生包裹体，充填度 $F=60\%\sim 90\%$ ，多集中在 $80\%\sim 90\%$ 之间。在加热过程中，随温度的升高气泡逐渐变小，最后均一到液相。

VL 型：富气相气-液 ($V_{H_2O}+L_{H_2O}$) 包裹体，此类包裹体较少，仅见于 SK1 中的辉石和石榴石中，多成群分布，呈负晶形、椭圆形，大小为 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ ，充填度为 $30\%\sim 40\%$ 。在升温过程中气泡逐渐扩大，最后均一到气相。

C 型：富 CO_2 多相包裹体，此类包裹体亦少见，仅见于 SK1 及 SK3 的个别样品的石英中，在镜下可观察到 CO_2 的存在，由 $L_{H_2O}+L_{\text{CO}_2}+V_{\text{CO}_2}$ 或 $L_{\text{CO}_2}+V_{\text{CO}_2}$ 组成，呈椭圆形、负晶形和多边形，直径为 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 。

S 型：含子矿物多相包裹体，此类包裹体在 SK1 和 SK2 两个夕卡岩体中较为常见，其中的辉石、石榴石和石英中均可见到此类包裹体，SK2 中个别样品中的方解石内也存在 S 型包裹体，但以辉石中最为常见。子矿物多为石盐 (NaCl)，个别样品中同时还可见到 KCl 子晶。包裹体通常由 $L_{H_2O}+V_{H_2O}+S_{\text{NaCl}}$ ($\pm S_{\text{KCl}}$) 三相组成，其中固相占总体积的 $20\%\sim 30\%$ 、气相占 $20\%\sim 50\%$ 、液相占 $20\%\sim 60\%$ 。包裹体多呈孤立状或呈小群体分布，大小不等，一般 $8\sim 25\ \mu\text{m}$ 。该类包裹体在加热过程中多数 NaCl 子矿物晚于气泡消失，部分先于气泡消失，最后都均一到液相。

需要说明的是：① 由于受构造运动及岩体侵位的影响，矿物中原生包裹体虽能普遍见到，但为数不多，能保存下来的主要是赋存在较细的矿物颗粒中（如 SK1、SK2），而结晶较粗的夕卡岩，如 SK3 则难见到原生包裹体；② 上述包裹体的类型仅限于易观察的部分，实际上还有许多更加微小的包裹体因难以观测和鉴定而被忽略，其中可能有其它新类型包裹体存在；③ 从包裹体的分布特征看，SK1、SK2 两夕卡岩体中类型较齐全，镜下可见多种类型包裹体混杂在一起，是典型的沸腾和不均匀捕获现象，而 SK3、SK4 两夕卡岩体中以 L 型和 LV 型包裹体为主，个别样品可见到 C 型包裹体。

2.2 流体的体系性质

从上述介绍可知成矿流体中除 H_2O 外，主要组分还有 NaCl 、 CO_2 、 KCl 等。此外，我们还可以通过测定流体包裹体的始熔温度来定性地了解流体体系的性质^[1]。测定结果表明，本区成矿流体有以下几种类型：① $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 二元体系；② $\text{NaCl-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系；③ $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系；④ $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系；⑤ $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ 三元体系。

据有限的数据统计，这些类型成矿流体的分布大致有如下特征：① 贝吾夕卡岩体 (SK4) 中各矿物的流体包裹体均为 $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系，其它夕卡岩体中只有方解石内有该类流体；② SK1—SK3 主体上以 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 二元体系占优势，其次为 $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 三元体系；③ $\text{NaCl-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 和 $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ 三元体系均较少见。

3 成矿流体的均一温度、盐度、密度和捕获压力

3.1 均一温度

流体包裹体的均一温度在 Chaixmeca 冷热两用台和 Leitz1350 热台上测定，共测定了 1000 多个测点，所获结果见图 2。可以看出，本区夕卡岩的矿物流体包裹体的均一温度变化范围很大，从低温到高温都有，总体上具有多峰分布之特点。

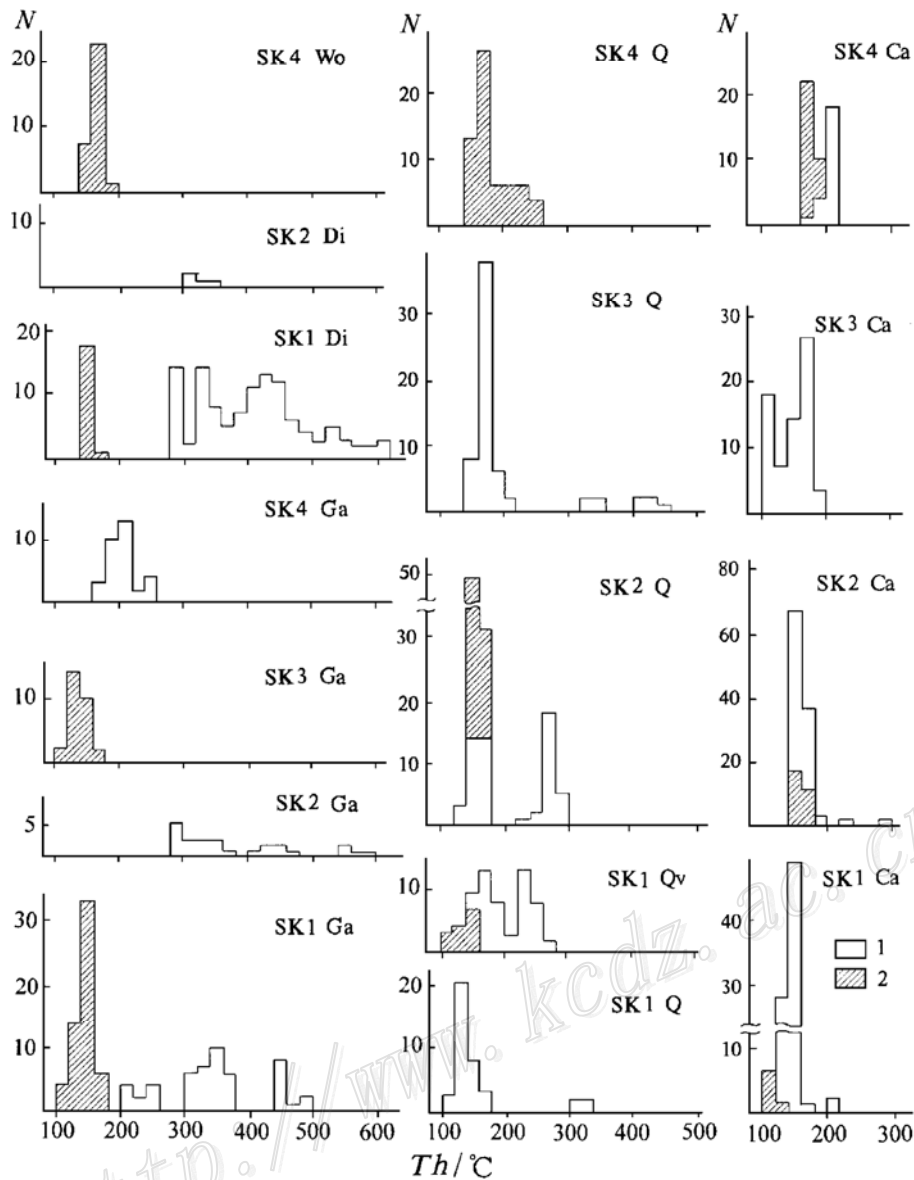


图 2 流体包裹体均一温度分布直方图

SK1—SK4—夕卡岩体编号 (详见正文); Ga—石榴石; Di—透辉石; Wo—硅灰石;
Q—石英; Qv—石英脉中石英; Ca—方解石; 1—原生包裹体; 2—次生包裹体

Fig. 2. Histogram showing homogenization temperatures of fluid inclusions in skarns.

SK1~SK4—Serial number of skarns; Ga—Garnet; Di—Diopside; Wo—Wollastonite; Q—Quartz;
Qv—Quartz from quartz vein; Ca—Calcite; 1—Primary inclusions; 2—Secondary inclusions.

SK1: 辉石和石榴石的流体包裹体均一温度均较高, 最高可达 620℃, 呈多峰态, 峰值不很明显, 但相对集中在 400~460℃ 和 300~380℃ 两个区间; 石英和方解石的温度较低, 仅小部分样品达 300℃ 以上, 一般小于 200℃, 最低仅有 100℃, 说明石英、方解石与辉石和石榴石是两个不同世代的产物。

SK2: 特征与 SK1 基本相似, 石榴石、透辉石的均一温度较高而石英、方解石的温度偏低, 其中石榴石温度最高达 600℃, 一般大于 300℃, 石英、方解石的温度一般小于 300℃, 最低为 120℃。这说明 SK2 与 SK1 有类似的形成条件和形成机制。

SK3: 包裹体保存较差, 透辉石、石榴石中难见原生包裹体; 石英中包裹体的均一温度从

140~460℃,呈多峰态,主要集中在 140~200℃之间;方解石中包裹体的均一温度小于 200℃,呈双峰分布,峰值温度为 100~120℃和 160~180℃。

SK4: 硅灰石和石英中未见原生包裹体,石榴石中包裹体的均一温度偏低,为 160~260℃,集中在 180~220℃之间;方解石中包裹体均一温度为 160~220℃,主要集中在 200~220℃区间。

SK1 中石英脉: 作为对比,对 SK1 中石英脉也做了相应的部分研究工作,结果表明,其均一温度为 140~280℃,呈双峰态,分别集中 160~200℃和 220~240℃范围,这一特征与 SK3 相类似。

对各岩体各矿物中相伴生的次生包裹体也作了相应测试。结果表明,各次生包裹体的均一温度均较低,一般小于 200℃,仅 SK4 的石英有部分测点可达 260℃,说明它们是晚期构造-热事件的产物。

3.2 盐度

流体包裹体的盐度是用冷冻冰点法^[6]、CO₂ 笼形化合物熔化温度法^[7]及饱和温度法等^[8]在 Chaixmeca 冷热台上测定的。据 314 个测点资料统计,本区形成各夕卡岩的流体盐度变化范围很大,最低为 8.3 %NaCl,最高可达 55.0 %,其中高盐度流体包裹体(盐度大于 26 %,常温下出现子矿物石盐)主要分布在 SK1 的石榴石、辉石、石英、方解石和 SK2 的石榴石、辉石和方解石中;含中高盐度的流体包裹体(盐度大于 15 %~26 %)主要有 SK1 的石英、方解石和 SK2 的辉石、方解石及 SK4 的石榴石中原生包裹体,一部分次生包裹体的盐度也分布在此范围;具中低盐度的流体包裹体主要分布在各夕卡岩中的石英和方解石内;各夕卡岩体的次生包裹体的盐度也主要分布于该范围内。各夕卡岩体矿物的流体包裹体盐度分布见表 1。

表 1 流体包裹体的盐度(%)测定结果

Table 1. Salinity(wt %NaCl equivalent) of fluid inclusions in skarns

岩 体	包裹体类型	石 榴 石	透 辉 石	石 英	方 解 石
SK1	原 生	(1) 41.5~55.0 (2) 9.5	37.5~55.0	(1) 39.4~40.5 (2) 22.4~22.5 (3) 12.8~14.0	(1) 32.4~32.6 (2) 20.0~21.6 (3) 14.0~15.0
	次 生	(1) 24.0~25.0 (2) 15.5~16.0 (3) 9.9~10.3	10.5~10.8		9.3~9.7
SK1 中石英脉	原 生			9.2~10.3	
	次 生			8.5~8.9	
SK2	原 生	37.2~46.5	(1) 33.5 (2) 18.3~18.4	34.4~37.9	(1) 16.0~18.8 (2) 12.9~13.1 (3) 8.3~10.0
	次 生			14.5~15.5	13.4~15.0
SK3	原 生			9.9~12.0	9.0~10.8
	次 生	(1) 17.0~18.8 (2) 12.8~13.1			
SK4	原 生	18.8~20.0			
	次 生		硅灰石 18.8~20.0	(1) 15.0~16.0 (2) 20.6~20.0	(1) 20.6~20.9 (2) 10.0~10.4

3.3 密度

由前面的介绍可知，除贝吾夕卡岩体的成（岩）矿流体为 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系外，其它夕卡岩总体上以 NaCl-H₂O 体系为主。因此，我们可以利用 NaCl-H₂O 体系均一温度、盐度、密度关系近似地求得流体的密度^[2]。各夕卡岩体之流体密度分布特征见图 3。

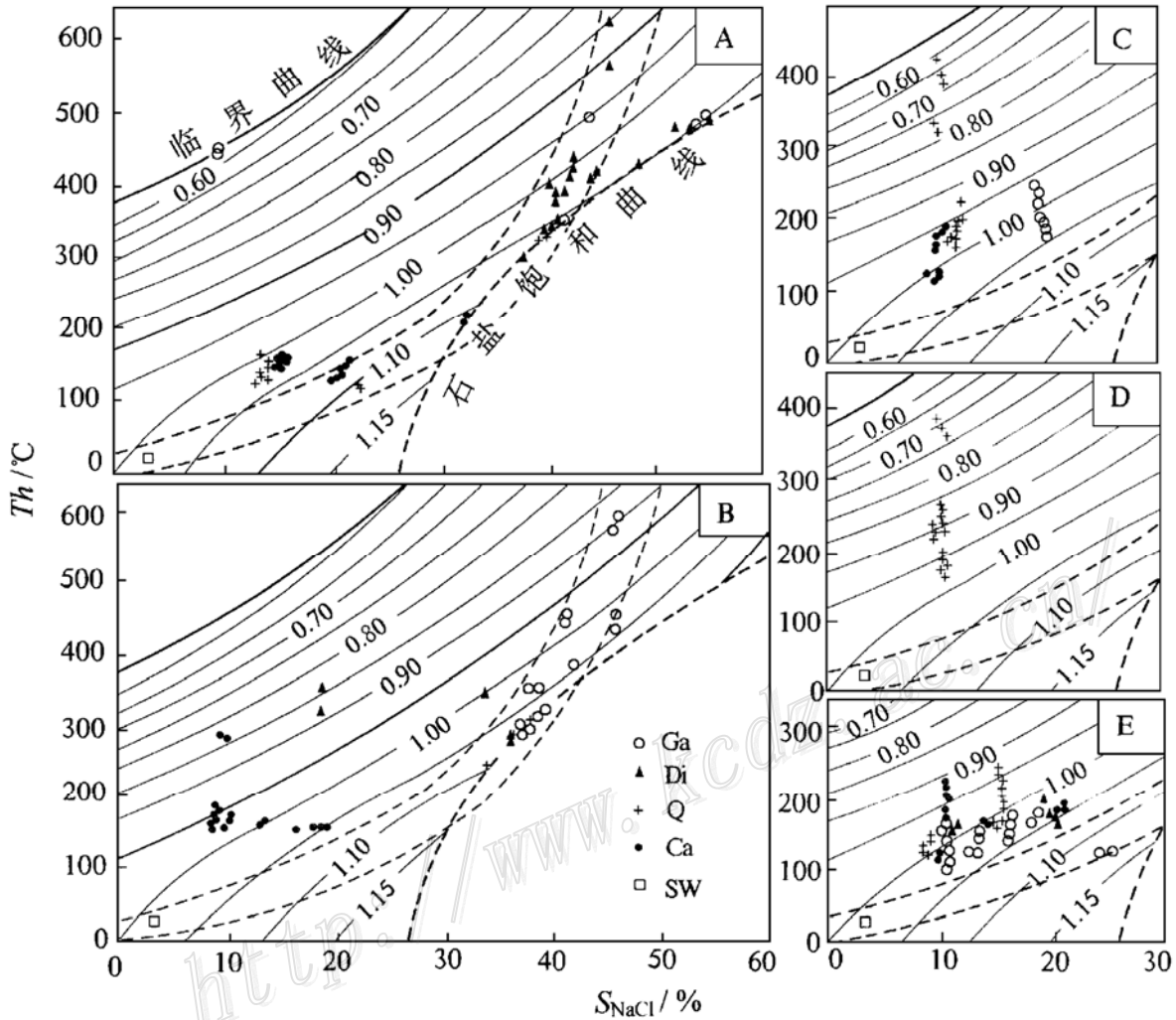


图 3 流体包裹体的 $Th-S-\rho$ 图

(据 Roedder, 1985)

A—SK1 原生包裹体；B—SK2 原生包裹体；C—SK3、SK4 原生包裹体；D—SK1 中石英脉的原生包裹体；E—SK1—SK4 中次生包裹体；Ga—石榴石；Di—透辉石/硅灰石；Q—石英；Ca—方解石；SW—海水。图中曲线为密度等值线，单位为 g/cm^3

Fig. 3. Diagram of $Th-S-\rho$ of fluid inclusions in skarns at Yangla (after Roedder, 1985).

A—Primary inclusions in SK1; B—Primary inclusions in SK2; C—Primary inclusions in SK3 and SK4;

D—Primary inclusions in quartz vein in SK1; E—Secondary inclusions in SK1—SK4; Ga—garnet;

Di—Diopside/wollastonite; Q—Quartz; Ca—Calcite; SW—Seawater.

Curves on the diagram are isodensities, with unit in g/cm^3 .

(1) SK1 和 SK2 的流体密度分布特征相类似 (图 3 A, B)，其中石榴石和透辉石及部分石英中流体包裹体的密度 (ρ) 一般为 $1.00 \sim 1.10 g/cm^3$ ，但随均一温度 (Th) 的升高密度有所降低，当 $Th > 400^\circ C$ 时， $\rho < 1.00 g/cm^3$ ；个别富气相包裹体接近临界曲线，其密度小于 $0.60 g/cm^3$ 。SK1 中石英、方解石的流体包裹体密度为 $1.00 \sim 1.10 g/cm^3$ ，SK2 的方解石中流体密度在 $0.95 \sim 1.05 g/cm^3$ 之间，并随盐度的降低而降低。

(2) SK3 和 SK4 中矿物流体包裹体的密度随温度的变化而有较大的变化(图 3 C), 其中石英中流体密度为 $0.60 \sim 1.00 \text{ g/cm}^3$, 方解石为 $0.95 \sim 1.02 \text{ g/cm}^3$, 石榴石(SK4)为 $0.95 \sim 1.05 \text{ g/cm}^3$ 。

(3) 产于里农层状夕卡岩体(SK1)中的石英脉的流体包裹体密度(图 3 D)与 SK3 的石英极为相似, 说明两者的流体性质基本相同, 其间可能蕴涵着成因联系。

(4) 各夕卡岩体中矿物次生包裹体的密度(图 3 E)集中在 $0.95 \sim 1.05 \text{ g/cm}^3$ 之间, 但不同矿物中流体引起密度变化的因素有所不同, 如石榴石中流体密度主要是因盐度的变化而变化, 其它矿物中流体密度的变化的控制因素是温度。

3.4 捕获压力

SK1 和 SK2 中包裹体多为不均匀捕获的沸腾包裹体, 但因富气相端员的包裹体因个体太小, 加之捕获时常连同液相一同捕获, 因而难以准确测定其温度、盐度及密度。幸运的是高盐度端员包裹体的有关数据较多, 可以用来估计沸腾时的蒸气压即捕获压力。这组包裹体的盐度为 $36.0\% \sim 55.0\%$, 对应的均一温度为 $300 \sim 490^\circ\text{C}$ 。利用 Bischoff (1991)^[1] 的 NaCl-H₂O 体系的 TV_{px} 图解可求得捕获压力的 $6 \sim 34 \text{ MPa}$, 主要集中在 $10 \sim 25 \text{ MPa}$ 之间, 相当于 $1000 \sim 2500 \text{ m}$ 深的静水压力或 $370 \sim 950 \text{ m}$ 的静岩压力(假设夕卡岩为与岩体侵位有关的交代成因), 显然后者与里农、加仁岩体的产状不符。

SK3 中一个纯 CO₂ 包裹体在 4°C 时均一到液态 CO₂, 其密度 $\rho = 0.894 \text{ g/cm}^3$ 。测得与之共生同期捕获的气液包裹体的均一温度为 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 。应用 CO₂ 的 $t-p$ 图解求得最小捕获压力为 150 MPa , 这相当于 5.6 km 的静岩压力。

4 均一温度与盐度的协变关系及成矿流体的来源

对上述 $Th-S-\rho$ 图解(图 3)的进一步研究可以发现, 本区不同夕卡岩体及不同矿物的流体包裹体的 $Th-S$ 协变关系是不同的, 标志着流体的来源及演化趋势不同。

(1) 从图 3A、B 可以看出, SK1 和 SK2 两夕卡岩体中石榴石、辉石及部分石英、方解石流体包裹体的 $Th-S$ 的协变关系为一条正相关曲线, 即当温度下降时, 其盐度亦随之下降, 从而形成一个明显的演变趋势, 将此演变曲线向低温、低盐度方向外延, 则可通过正常海水投影点, 这暗示着在此类流体的演化过程中可能有海水的参与。换言之, 这条演化曲线正是某种高温高盐度流体与海水按不同比例混合的结果。如果上述解释能成立的话, 则海底喷流-沉积作用为其最合理的混合机制。在这条混合曲线上, 石榴石和透辉石均集中在高温、高盐度部分, 而石英、方解石的均一温度及盐度则相对较低。这表明石榴石和透辉石形成于喷流热液与海水混合之前或混合的最初阶段, 而石英、方解石则形成较晚, 有较多的海水参与了作用。

(2) SK1 中部分方解石、石英和 SK2 中的全部方解石、少量透辉石的包裹体在 $Th-S-\rho$ 图上落在上述混合曲线之外, 且靠近低盐度一侧, 说明这些矿物中捕获的流体为另一(几)期构造-热事件的产物, 也就是说, 层状夕卡岩受到后期热液的改造作用, 其改造强度 $SK2 > SK1$, 在强烈的改造过程中有新生透辉石等矿物的形成。这些与里农和路农含矿夕卡岩的后期蚀变特征相吻合。

(3) 里农花岗闪长岩体内的夕卡岩 (SK3) 和贝吾接触带夕卡岩 (SK4) 中各矿物的流体包裹体的 $Th-S$ 协变关系为两条垂直于盐度坐标的直线, 这是相对封闭体系内各组分自然冷却过程的特征演化线。其中 SK3 (方解石、石英) 中流体的盐度在 10% 左右, 温度从大于 400 ~ 100℃, SK4 (石榴石) 中流体之盐度约 20%, 这说明, 由两岩体派生出的热液流体与形成 SK1、SK2 的热液流体是不同的, 且两岩体的派生热液的特征也有所不同。

(4) 产于 SK1 中的石英脉中流体包裹体之 $Th-S$ 变化特征与 SK3 中石英、方解石的特征十分相似, 说明两者的流体来源可能是相同的, 即来自里农花岗闪长岩体所派生的热液。如果此推论正确的话, 也可以证明里农层状夕卡岩体 (SK1) 的形成与里农花岗闪长岩体无关, 且层状夕卡岩应早于岩体侵位。

(5) 各夕卡岩体中矿物的次生包裹体的 $Th-S$ 协变关系较复杂, 但总的来说可以构成 4 条演化曲 (直) 线, 其中 3 条为垂直于盐度坐标的直线, 其盐度分别为 10%、16% 和 20% 左右, 其寄主矿物主要为石英和方解石; 另一条演化线近于平行盐度坐标, 由石榴石和辉石构成。次生包裹体中流体的来源尚难判断, 但不外乎有以下几种: ① 与相应矿物中原生包裹体中流体同来源, 但形成相对较晚, 如 SK3、SK4; ② 对层状夕卡岩 (如 SK1、SK2) 来说, 次生包裹体中的流体可能来自相应的花岗闪长岩体所派生的热液; ③ 更晚期的构造-热事件所带来的流体; 和 ④ 上述岩浆期及岩浆期后的热液与先存的被捕获的流体的混合物, 即次生包裹体在一定程度上继承了寄主矿物中被破坏的原生包裹体的成分。

5 讨 论

以上我们从流体包裹体的角度初步证实了里农和路农层状夕卡岩铜矿的海底喷流沉积成因。实际上矿床的其它许多地质及地球化学特征 (待另文讨论) 都支持这种成因认识。需要进一步讨论的是: ① 喷流-沉积作用能否形成“夕卡岩”; ② 喷流作用能否形成如本区的高温高盐度流体?

对第一个问题产生疑问的主要原因是受传统的夕卡岩“接触交代”成因理论的影响。实际上, 喷流-沉积成因夕卡岩古今中外均有之。澳大利亚的 Ban Ban、Brindbella 和 Willi Willi 等层状含锌夕卡岩矿床、Pegmont 铅锌矿床和瑞典 Bergslangen 地区 Langban、Grythyttan 等层状夕卡岩矿床都被认为是喷流-沉积成因^[8~11]。我国青海鄂拉山成矿带的赛什塘、铜峪沟、日龙沟等铜 (多金属) 夕卡岩矿床也被认为是喷流-沉积成因^[3]。而在现代地热系统中发现了大量钙-铁硅酸盐矿物如单斜辉石、石榴石、角闪石、绿帘石、阳起石、透闪石等, 为夕卡岩的喷流-沉积成因说提供了天然的实验证据^[12]。毋庸置疑, 喷流热液系统具备形成“夕卡岩”的物理化学条件。

至于喷流热液的高温高盐度问题已有不少文献作过报道。被作为我国典型块状硫化物矿床的白银厂铜多金属矿床的成矿流体的盐度高可达 45.0 % ~ 51.0 %, 但低者仅有 1 % ~ 3 %; 相应的均一温度高者为 280 ~ 450℃, 低者为 120℃^[4]; 锡铁山铅锌矿床的成矿流体盐度高者为 31 % ~ 35 %, 而低者仅为 3 % 左右, 相应的均一温度从 360℃ 降到 110℃^[5]。塞浦路斯块状硫化物矿床的成矿流体盐度为 2.7 % ~ 64.0 %, 温度为 130 ~ 440℃^[13]。现代大洋中脊热液系统中高温、高盐度流体也普遍存在, 如红海 Atlantis II 深海渊中含金属沉积物的流体包裹

体的盐度为 15.0 %~32.0 %，温度为 250~420℃；东太平洋 Mathematician 洋中脊喷流热液的盐度为 2.0 %~62.5 %，温度为 150~>635℃；大西洋 Mar 洋中脊喷流热系统中流体的盐度为 0.7 %~47.6 %，温度为 230~>700℃^[13]。由此还可以看出，这些喷流热液系统中，高温高盐度流体(包裹体)常与低温低盐度流体(包裹体)共存，这正是开放系统的一个重要特征和标志。羊拉地区里农及路农层状夕卡岩的流体包裹体特征在这一点上也是与之十分吻合的。

对比研究表明，本区层状夕卡岩矿床的特征在很大程度上与青海的铜峪沟铜矿床相类似，其成因类型大致可归为块状硫化物矿床大类中的别子型，但其独特的矿物组合是所有类型块状硫化物矿床所罕见的。

6 结 论

(1) 上述流体包裹体的研究表明，本区 4 个夕卡岩体可归并为两大类，不同类型夕卡岩的流体包裹体特征，流体来源有所不同，可用表 2 加以概括。

表 2 两类夕卡岩的流体包裹体特征对比

Table 2. Comparison between fluid inclusion features in two types of skarns

成因类型	喷流-沉积夕卡岩	交代夕卡岩
夕卡岩体	SK1、SK2	SK3、SK4
包裹体类型	类型齐全，组合复杂，S 型包裹体常见，多为不均匀捕获	类型简单，以 L 和 LV 型为主，偶见 C 型，无 S 型包裹体，多为均匀捕获
流体的体系性质	体系类型多、复杂，但以 NaCl-H ₂ O 二元系为主	体系较单一，以 NaCl-H ₂ O 二元系或 NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O 三元系为主
均一温度	温度高，变化范围大，100~620℃，一般大于 300℃	温度低，变化范围相对较小，100~460℃，一般小于 250℃
盐 度	中—高盐度，变化范围大，8.3 %~55.0 %，一般≥20 %NaCl	中—低盐度，变化范围小，9.0 %~20.0 %NaCl
流体密度	高密度，一般 ρ>1.00 g/cm ³ ，仅在高温（大于 400℃）部分 ρ<1.00 g/cm ³	密度较低，一般 ρ≤1.00 g/cm ³ ，仅在低温（≤200℃）时才有部分包裹体 ρ>1.00 g/cm ³
捕获压力	相对较低，一般 10~25 MPa	相对较高，可达 150 MPa
流体演化模式	开放体系二元混合演化模式	封闭体系等组分冷却模式
流体来源	深部源与海水源	岩浆(体)源

(2) 流体包裹体系统的对比研究表明，本区至少存在 3 次较大的构造-热事件：① 石炭纪同沉积期的喷流-沉积事件，形成了层状夕卡岩；② 印支期花岗闪长岩的侵入事件，形成花岗闪长岩体及相应的交代夕卡岩（SK3、SK4），并对沉积夕卡岩进行程度不同的改造；③ 后岩浆侵位期的构造-热事件，对先存夕卡岩产生了进一步的改造。这一认识与区域成矿作用特征是相吻合的。

参加野外工作的还有魏君奇、何龙清、甘金木、王传尚和云南地质三队的陈式房、董芳浏等同志。室内工作得到了刘家齐研究员和常海亮优秀高级工程师的帮助和指导；《矿床地质》的编审人员对本文初稿提出了许多宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993, 63~64, 91.
- 2 Roedder E. 流体包裹体(上). 卢焕章, 王卿铎等译. 长沙: 中南工业大学出版社, 1985, 1~303.
- 3 李福东, 张汉文, 宋治杰等. 鄂拉山地区热水成矿模式. 西安: 西安交通大学出版社, 1993, 1~312.
- 4 刘斌. 白银厂铜矿床石英中固体和流体包裹体的研究. 地质学报, 1982, (2): 165~173.
- 5 刘斌. 锡铁山铅锌矿床的流体包裹体特征及成矿物理化学条件的初步探讨. 矿床地质, 1985, 4 (1): 22~28.
- 6 Potter R W, Clyne M A, Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions, *Econ. Geol.*, 1978, 73 (2): 284~285.
- 7 Collins P L F. Gas hydrate in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity, *Econ. Geol.*, 1979, 74 (6): 1435~1444.
- 8 Stanton R L. Constitutional features and some exploration implications of three zinc-bearing stratiform skarns of eastern Australia. *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth Sci.)*, 1987, 96: B37~B57.
- 9 Vaughan J P, Stanton R L. Sedimentary and metamorphic factors in the development of the pegmont stratiform Pb Zn deposit, Queensland, Australia. *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth Sci.)*, 1986, 95: B94~B121.
- 10 Bostrom K et al. Langba—An exhalative sedimentary deposit?. *Econ. Geol.* 1979, 74 (5): 1002~1011.
- 11 Oen I S et al. Mid Proterozoic exhalative sedimentary Mn skarns containing possible microbial fossil, Grythyttan, Bergslagen, Sweden. *Econ. Geol.*, 1986, 8 (16): 1533~1543.
- 12 Bird D K et al. Calc-Silicate mineralization in active geothermal systems. *Econ. Geol.*, 1984, 79 (4): 671~695.
- 13 Rona P A. Hydrothermal mineralization at oceanic ridges. *Canadian Mineralogist*, 1988, 26 (3): 431~465.

FLUID INCLUSIONS IN ORE-BEARING SKARNS FROM THE YANGLA COPPER MINERALIZATION CONCENTRATED AREA OF DEQEN COUNTY, YUNNAN PROVINCE

Lu Yuanfa, Zhan Mingguo, Chen Kaixu and Huang Huilan

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological
Sciences, Yichang 443003)

Key words: exhalative-sedimentation, contact-metasomatism, skarn copper skarn deposit, fluid inclusion, Yunnan

Abstract

The Yangla copper mineralization concentrated area is located in Deqen County, north-western Yunnan and tectonically belongs to Jinshajiang suture belt. There are four skarn bodies named Linong stratiform skarn (SK1), Lunong skarn (SK2), Linong granodiorite-hosted skarn (SK3) and Beiwu skarn (SK4) respectively, which are genetically grouped into two types, viz., exhalative skarn (including SK1 and SK2) and contact metasomatic skarn (including SK3 and SK4). The exhalative skarn is stratiform and serves as the most important host rock of copper deposits in this area.

There are five types of inclusions in such transparent minerals as garnet, diopside, quartz and calcite within the stratiform skarns. They are monophasic liquid inclusions (L), liquid-rich two phase gas-liquid ones (LV), gas-rich two-phase gas-liquid ones (VL), CO₂-bearing ones (C) and polyphase ones that contain daughter crystal halite (S). The fluid systems in these inclusions are complex and variable, and their homogenization temperatures and salinities are high and vary in wide ranges of 100°C~620°C, generally >300°C, and 8.3~55.0% NaCl equivalent, commonly >20wt% respectively. The temperatures show a positive correlation with the salinities. The densities of most fluid inclusions are higher than 1.00 g/cm³. The trapping pressures for inclusions are relatively low (10~25 MPa).

The inclusions in the contact metasomatic skarn are mainly of L and LV types, with a small proportion belonging to C type. The fluid systems are simple; the homogenization temperatures, salinities and densities are relatively low, generally <250°C, <20.0% NaCl equivalent and ≤1.00g/cm³ respectively, and the salinities are almost constant when the temperature decreases to 100°C±. Their minimum trapping pressure is as high as 150MPa.

Comparative studies are made on the inclusions in quartz vein(Qv) from SK1. There exist similarities of inclusions in Qv to those in SK3 in such aspects as homogenization temperatures, salinities, densities and relationship between temperature and salinity. The secondary inclusions in all samples are measured.

The observed variations in temperature, salinity, density etc. suggest that the fluids for stratiform skarns were derived from two sources, namely hot saline solution and cool, less saline seawater, whose mixing mechanism is reasonably attributed to exhalative-sedimentation. Fluids for contact-metasomatic skarns came from granodiorite magma. The systematic inclusion data also indicate that there occurred at least three structural-thermal events in the Yangla mineralization concentrated area.