冈底斯斑岩铜矿带冲江铜矿含矿流体的形成和演化：来自流体包裹体的证据*

谢玉玲[1] 衣龙升[1] 徐九华[1] 李光明[2] 杨志明[3] 尹淑苹[1]

XIE YuLing[1], YI LongSheng[1], XU JiuHua[1], LI GuangMing[2], YANG ZhiMing[3] and YIN ShuPing[1]

1. 北京科技大学土木与环境工程学院，北京 100083
2. 中国地质调查局成都矿产地质研究所，成都 610082
3. 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037
1. *University of Science and Technology Beijing*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resource*, *Ministry of Land and Resource*, *Chengdu* 610082, *China*
3. *Institute of Mineral resources*, *China Academy of Geological Science*, *Beijing* 100037, *China*

2005-12-20 收稿，2006-02-24 改回.

Xie YL, Yi LS, Xu JH, Li GM, Yang ZM and Yin SP. 2006. Characteristics of ore-forming fluids and their evolution for Chongjiang copper deposit in Gangdise porphyry copper belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 1023 – 1030

Abstract Inclusion petrography, microthermometry, LRM and SEM/EDS to the daughter mineral were performed for the inclusions in the ore-bearing quartz vein and the quartz phenocryst in ore-bearing porphyry of Chongjiang porphyry copper deposit. According to the analysis data it is thought that the ore-forming fluid came from the magmatic exsolution with rich volatile constituent. The fluids freshly deriving from magma is near-saturated supercritical one, with the undermost captured temperature of 362℃ ~ 389℃ and the salinity of 17.7% ~18.9% $NaCl_{eq}$. Because of degression of temperature and pressure, the supercritical fluid is seperated into vapor phase with low salinity and liquid phase with high salinity. Further more, at the stage of quartz sericitizing the high salinity fluids boiled and then the inclusions which is rich in vapor phase and the higher salinity inclusions in which the melting temperature of the daughter mineral is higher than the homogenization temperature of the vapor and liquid phases formed. The fluids related to argillation formed in late evolution stage and is of lower temperature and lower salinity.

Key words Tibet, Gangdise porphyry copper belt, Chongjiang copper deposit, Fluid inclusions, Evolution of ore-forming fluids

摘 要 对冲江斑岩铜矿含矿斑岩中石英斑晶和含矿石英脉中包裹体进行岩相学、显微测温分析、包裹体中气液相成分的激光拉曼显微探针(LRM)分析和子矿物的扫描电镜/能谱(SEM/EDS)分析。研究表明含矿流体来自富含挥发分的岩浆的出溶作用，最初从岩浆中出溶的流体为近饱和的超临界流体，其最低捕获温度在 362 ~ 389℃ 左右，盐度在 17.7% ~18.9% $NaCl_{eq}$ 左右。随着出溶流体温度压力的下降，超临界流体发生相分离，并分离出低盐度的气相和高盐度的液相。在石英绢云母化阶段进一步发生高盐度液相包裹体的沸腾作用，形成子矿物溶化温度高于气液相均一温度的高盐度包裹体和富气相包裹体。与粘土化有关的流体为流体演化的晚期产物，属低温、低盐度流体。

关键词 冈底斯斑岩铜矿带；冲江铜矿；流体包裹体；超临界流体；流体演化

中图法分类号 P618.51

冈底斯斑岩铜矿带是青藏高原腹地内一条与玉龙斑岩铜矿带斜交的重要的斑岩铜矿带(侯增谦等,2001；曲晓明等,2001)，该带现已发现 2 个大型铜(金)矿(甲马，洞嘎)和 5 个中小型矿床(驱龙、拉抗俄、厅宫、冲江、南木)及一系列

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412600) 和国家自然科学基金项目(40272047)资助成果。
第一作者简介：谢玉玲，女，1963 年生，博士，教授，矿物学、岩石学、矿床学专业，E-mail：yulingxie@263.net

矿(化)点。冲江铜矿是该成矿带的重要组成部分,前人对与该铜矿床有关的斑岩的岩石化学、成岩年龄、蚀变分带,以及矿床地质特征等进行了大量的研究工作,取得了丰富的资料(郑有业等,2004;刘波等,2004;孟祥金等,2004)。流体是斑岩型铜成矿的必要条件,而流体包裹体作为成矿流体的直接样品,是斑岩铜(钼)矿床研究的一个重要对象,利用流体包裹体的研究可获得有关成矿流体的温度、压力、成分等重要信息,对研究矿床成因、成矿物质来源及其演化规律具有重要的意义。本文以冲江铜矿蚀变斑岩和矿化石英脉为主要研究对象,对与矿化有关的成矿流体特征及演化特征进行了初步的探讨。

1 地质概况

芮宗瑶等(1984)早就注意到雅鲁藏布江北侧的冈底斯花岗岩带具有形成斑岩铜矿的有利条件。但由于当时该带的研究程度很低,已经发现的斑岩型铜矿很少(只有尼木县厅宫铜矿),且规模不大,所以一直未引起人们的足够重视。近年来,随着研究工作的深入和矿产勘查工作的开展,在青藏高原腹地的冈底斯造山带内,一条与玉龙斑岩铜矿带呈斜交的冈底斯斑岩铜矿(化)带已初见端倪(曲晓明等,2001)。西藏冈底斯斑岩铜矿带产于拉萨地体南缘的火山-侵入岩带中,其西至谢通门县洞嘎,东至墨竹工卡县甲马,东西长约 400km,南北宽约 50km,总体上呈近东西向展布。目前已经在驱龙、厅宫、甲马、洞嘎、冲江、南木、拉抗俄等发现与中酸性浅成小斑岩体有关的各种规模的斑岩矿床(点)多处(曲晓明等,2001;侯增谦等,2001)(曲晓明等,2001)。

冲江铜矿位于该斑岩铜矿带的西部,与尼木县厅宫铜矿、白容铜矿相邻,是近年来在冈底斯斑岩铜矿带中较早取得突破的一个大型斑岩矿床(郑有业等,2004)。矿区出露地层主要为上白垩统设兴组和第四系。设兴组由一套海陆交互相紫红色泥质粉砂岩、泥岩、杂色砂岩和中酸性火山岩组成。中酸性火山岩的岩性以安山岩、长英质层状凝灰岩为主。这些火山岩与含矿岩体接触,接触带发育程度不同的青盘岩化、粘土化。赋矿岩体岩性比较单一,主要为似斑状二长花岗岩,另外可见石英闪长玢岩、细晶岩脉等。蚀变类型包括钾硅酸盐化、石英绢云母化、青盘岩化、电气石化、粘土化等。其中钾硅酸盐化带大体上与铜矿化带相对应(郑有业等,2004),在岩体与围岩(凝灰岩)接触带附近,钾硅化带的北—北西侧发育了粘土化带(泥化)。常见粘土化与钾硅化带、绢英岩化带沿断裂分布,相互叠加,无明显界线。泥化带内有呈星点状分布的金属矿物黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、铜蓝、孔雀石、辉铜矿,黄铜矿与黄铁矿等,辉钼矿呈斑点状集合体分布于梳状石英脉中。与玉龙斑岩铜矿的高品位铜矿化不同,玉龙铜矿的高品位铜矿与粘土化密切相关,而在冲江铜矿的粘土化带内矿化比较弱,目前尚未发现有价值的工业矿体(孟祥金等,2004)。

2 包裹体的产状、特征及分类

本次工作的样品主要采自钾硅化和石英绢云母化斑岩、矿化斑岩、弱蚀变斑岩及硅化石英脉等。斑岩中发育明显的粘土化。通过对包裹体片的镜下观察发现,石英脉和斑岩中的石英斑晶中发育了大量包裹体,这些包裹体多呈群或定向分布,少数呈孤立分布;包裹体大小从 $<1\mu m$ 到几十 μm 不等;包裹体形状一般为椭圆形、多边形、不规则状及负晶形状。根据包裹体室温下的相态及均一过程可将其分如下为三类六个亚类。

Ⅰ类为熔体包裹体。仅见于自形较好的石英斑晶中,呈负晶状孤立分布(图 1a,b),应是与石英斑晶同期形成的原生包裹体。该类包裹体内部较暗,其周边常可见卫星状流体包裹体群,由于后期的蚀变叠加和改造已发生重结晶和流体的泄漏,因此未进行显微测温分析。

Ⅱ类为气液相流体包裹体。在石英斑晶和石英脉中均大量发育,由气相和液相组成,加热后均一为液相、气相或临界相。根据其气相充填度及均一温度特征又可进一步分为 2 个亚类:

Ⅱ-1 亚类气相充填度在 5% ~10% 左右,加热后均一为液相,呈次生包裹体在石英斑晶和石英脉中沿愈合裂隙分布,形成晚于Ⅰ类、Ⅱ-2 亚类、Ⅲ类,可见Ⅰ-1 亚类与Ⅱ-2 亚类、Ⅲ类包裹体的叠加现象,Ⅱ-1 亚类包裹体主要发育于粘土化较强的样品中,其均一温度、盐度均较低。

Ⅱ-2 亚类气相充填度一般在 20% ~100%,加热后均一为液相或气相,一般成群分布(图 1c, e, f),在石英斑晶和石英脉中均较发育,是矿区最发育的一类包裹体,其均一温度明显高于Ⅱ-1 亚类。

Ⅱ-3 亚类气相充填度一般在 30% ~45%,加热后均一至临界相,一般孤立分布于少数蚀变较弱的石英斑晶中,其均一温度、盐度分布范围均较小。

Ⅲ类为含子矿物的多相包裹体。由气相、液相和子矿物相组成。子矿物以立方体状石盐为主,也可见浑圆状的钾石盐和不透明子矿物。在矿化石英脉中大量发育,石英斑晶中也有发育。根据子矿物的溶化温度与气液相均一温度之间的关系又可分为 2 个亚类。

Ⅲ-1 亚类子矿物溶化温度小于气液相均一温度,主要发育于石英斑晶中,呈孤立状分布或呈线状分布,其形成应早于Ⅲ-2 亚类。

Ⅲ-2 亚类子矿物的溶化温度高于气液相均一温度,主要发育于矿化石英脉中,在石英斑晶中较少。矿化石英脉中以此类包裹体与不同气相充填度的Ⅱ-2 亚类包裹体共存为特征。

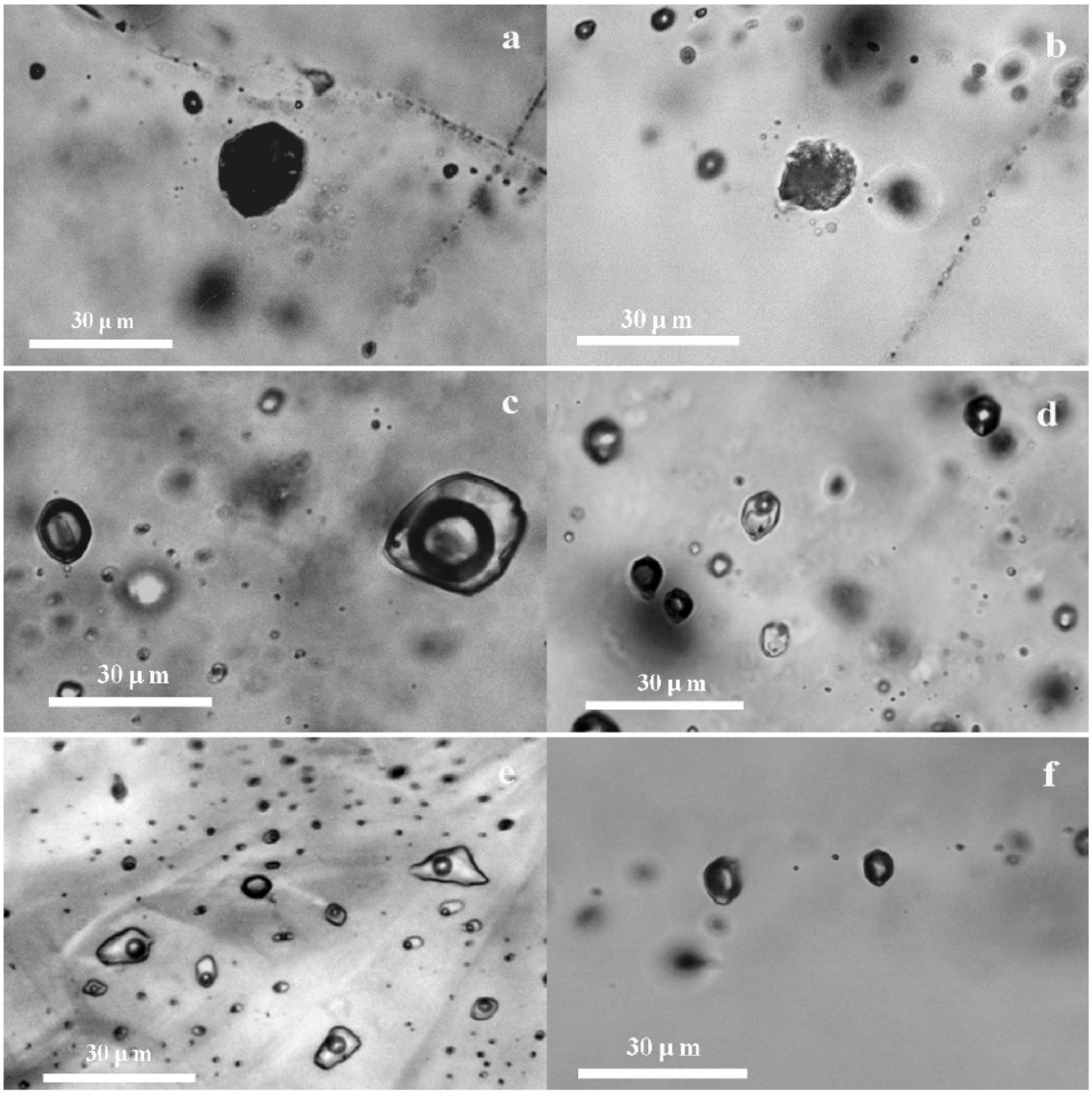


图 1 包裹体显微照片

a-石英斑晶中熔体包裹体；b-石英斑晶中熔体包裹体；c-石英脉中富气相和纯气相包裹体；d-石英脉中含子矿物多相包裹体和纯气相包裹体；e-石英斑晶中气液两相包裹体群；f-石英斑晶中沿裂隙分布的富气相和纯气相包裹体

Fig. 1 Photos of inclusions under microscope

a-melt inclusions in quartz phenocryst；b-melt inclusions in quartz phenocryst；c-vapor-rich and vapor inclusions in quartz veins；d-Daughter minerals bearing fluid inclusions and vapor phase fluid inclusions in quartz veins；e-vapor-liquid two-phase inclusions group in quartz phenocryst；f-vapor-rich and gaseous inclusions distributing along fissures in quartz phenocryst

3 流体包裹体的显微测温分析

显微测温分析所用仪器为 Linkam THMS 600 型冷热台，仪器测定温度范围为 -196 ~ +600℃，冷冻数据和均一温度数据精度分别为 ±0.1℃和 ±1.0℃。测温结果（表 1）表明，I-1亚类包裹体具有最低的均一温度（155.8℃ ~265.7℃）和盐度（1.6% ~8.5% $NaCl_{eq}$）；Ⅱ-2 亚类包裹体与Ⅲ亚类包裹体均一温度相似，分别为 216.5℃ ~508.1℃和 281.5℃ ~575℃，但盐度差别较大；Ⅲ类包裹体盐度最高，为 30.7% ~56.7% $NaCl_{eq}$，Ⅱ-2 亚类包裹体盐度较低为 8.1% ~20.5% $NaCl_{eq}$。从流体包裹体均一温度统计直方图（图 2）上可见到明显的两个峰，分别位于 160℃ ~240℃和 280℃ ~440℃，与冈底斯斑岩铜矿带上其它矿床呈单峰的特点不同，而与玉龙斑岩铜矿相似（谢玉玲等，2005）。因为冲江矿床中的样品多发育强的粘土化，因此其低温峰值应代表粘土化阶段热液的特征。

Ⅱ-1 亚类，Ⅱ-2 亚类，Ⅲ类分别代表了低温低盐度包裹体、中高温中等盐度包裹体和中高温高盐度包裹体，不同气相充填度的Ⅱ-2 亚类包裹体和Ⅲ类包裹体共存，且具有明显

表 1 流体包裹体显微测温结果

Table 1 Micro thermometry result of fluid inclusions

样号	矿物	包裹体类型	均一温度(℃)		盐度(% $NaCl_{eq}$)	
			范围(样品数)	平均	范围(样品数)	平均
CJ210-1	石英(斑晶)	II-1	195 ~ 265.7(6)	217.2	–	–
CJ210-1	石英(斑晶)	II-2	309.6 ~ 403.9(12)	361.7	–	–
CJ210-1	石英(斑晶)	III	330.4 ~ 575(8)	439.6	40.2 ~ 56.7(8)	48.9
CJ210-1	石英(斑晶)	II-3	362-389.1(4)	379.3	17.7-18.9(3)	18.4
CJ210-2	石英(脉状)	II-1	155.8 ~ 232.7(15)	196.4	–	–
CJ210-2	石英(脉状)	II-2	281.2 ~ 442.7(7)	349.6	–	–
CJ209	石英(斑晶)	II-1	202.8 ~ 208(4)	206.1	–	–
CJ209	石英(斑晶)	II-2	216.5 ~ 348(15)	304.8	–	–
CJ204	石英(脉状)	II-1	200.5 ~ 212.2(3)	207.8	1.6 ~ 8.5(3)	4.5
CJ204	石英(脉状)	II-2	327.2 ~ 418.5(5)	375.3	20.4 ~ 20.5(3)	20.5
CJ203	石英(斑晶)	II-2	226.7 ~ 350.7(12)	304.4	12.8 ~ 18.3(5)	16.9
CJ203	石英(斑晶)	III	281.5 ~ 477(3)	347.6	30.7 ~ 56.6(3)	41.2
CJ223	石英(脉状)	II-2	315 ~ 508.1(8)	396.9	8.1 ~ 20.2(3)	14.6
CJ223	石英(脉状)	III	305.5 ~ 503.9(7)	374	37.8 ~ 48.8(6)	42.3

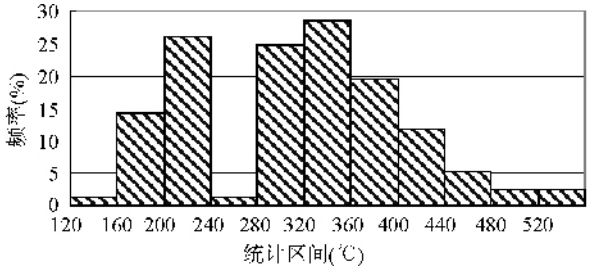


图 2 流体包裹体均一温度统计直方图

Fig. 2 Statistical histogram of fluid inclusions homogenization temperature

的过渡特点,其均一温度范围相似。包裹体成分的 LRM 分析表明(详后),其气相成分中含少量 CO_2,但以 H_2O 为主,显示了沸腾包裹体群的特征。此外,角砾状矿石的发现也表明,在矿化过程中已固结斑岩由于压力和构造应力等因素曾发生破裂变形,岩石破裂的同时造成成矿流体压力突然降低,这一过程是造成流体沸腾的原因,也是造成矿质沉淀的主要机制。

Ⅱ-3 亚类包裹体一般只在蚀变较弱的斑晶中出现,盐度(17.7% ~ 18.9% $NaCl_{eq}$)变化范围较小,均一温度变化也较小(378℃ ~ 384℃)。这个温度范围远低于具相应盐度的 $NaCl-H_2O$ 体系的临界点,推测其原因可能与体系中含一定量的 CO_2、KCl 等组分有关,也可能与其捕获压力较高有关。

4 包裹体气液相成分的激光拉曼探针(LRM)分析

流体包裹体成分的 LRM 分析在中国地质科学院矿产资源研究所进行,测试仪器为 Renishaw-2000 型显微共焦激光拉曼光谱仪,光源为 Spectra-Physics 氩离子激光器,波长 514nm,激光功率 20mW。本次主要对矿化斑岩中的石英斑晶和石英脉中的 II、III 类包裹体进行了气、液相成分的激光拉曼探针分析。部分谱图列于图 3。测试结果表明:石英斑晶和石英脉中 II、III 类包裹体液相成分均以 H_2O 为主;气相成分中除 H_2O 外还含一定量的 CO_2,其特征峰值为 1286cm^{-1}和 1391cm^{-1}。石英脉中包裹体的 CO_2 峰比石英斑晶中包裹体的 CO_2 峰更明显,这是由于随着流体温度、压力的降低,流体中 CO_2 的溶解度逐渐降低所致。矿化石英脉中沸腾包裹体群中富气相包裹体均可见明显的 CO_2 特征峰,这表明在流体减压沸腾的同时也存在 CO_2 与水的不混溶过程,致使晚期流体气相中 CO_2 含量增高。

5 包裹体中子矿物的扫描电镜/能谱分析(SEM/EDS)

扫描电镜/能谱(SEM/EDS)不仅可以对打开的包裹体及其中的子矿物进行形貌分析,同时,由于子矿物相在包裹体打开后易于保存,因此可以直接通过能谱进行成分分析。SEM/EDS 在流体包裹体子矿物的成分分析和熔体包裹体成分分析中已得到较广泛应用(范宏瑞等,1998;谢玉玲等,2000;单强等,2002;Xie *et al.*, 2004)。SEM/EDS 测试工作在北京科技大学新金属材料国家重点实验室进行,电镜型号为英国剑桥 S250 型,分辨率 6nm,加速电压 30kV,最大放大倍数 30 万倍;能谱仪型号为 Link860,工作电压 20kV,11 号元素(Na)后的分析精度为 0.1% ~ 0.3%。

本次主要对石英脉中的子矿物进行分析。SEM/EDS 分析结果显示流体包裹体中子矿物以石盐(图 4a, d;图 5a)、钾石盐(图 4b;图 5b)为主,另外还发现有菱铁矿、黄铜矿(图 4a, c;图 5c)和含砷、铁、铜的子矿物(图 5d),其矿物类型尚待进一步确定。大量含子矿物多相包裹体的发现和钾石盐子矿物的发现表明成矿流体高盐、富钾,具有岩浆热液的特征。富铁、铜等成矿金属子矿物的发现表明流体中富含成矿金属。

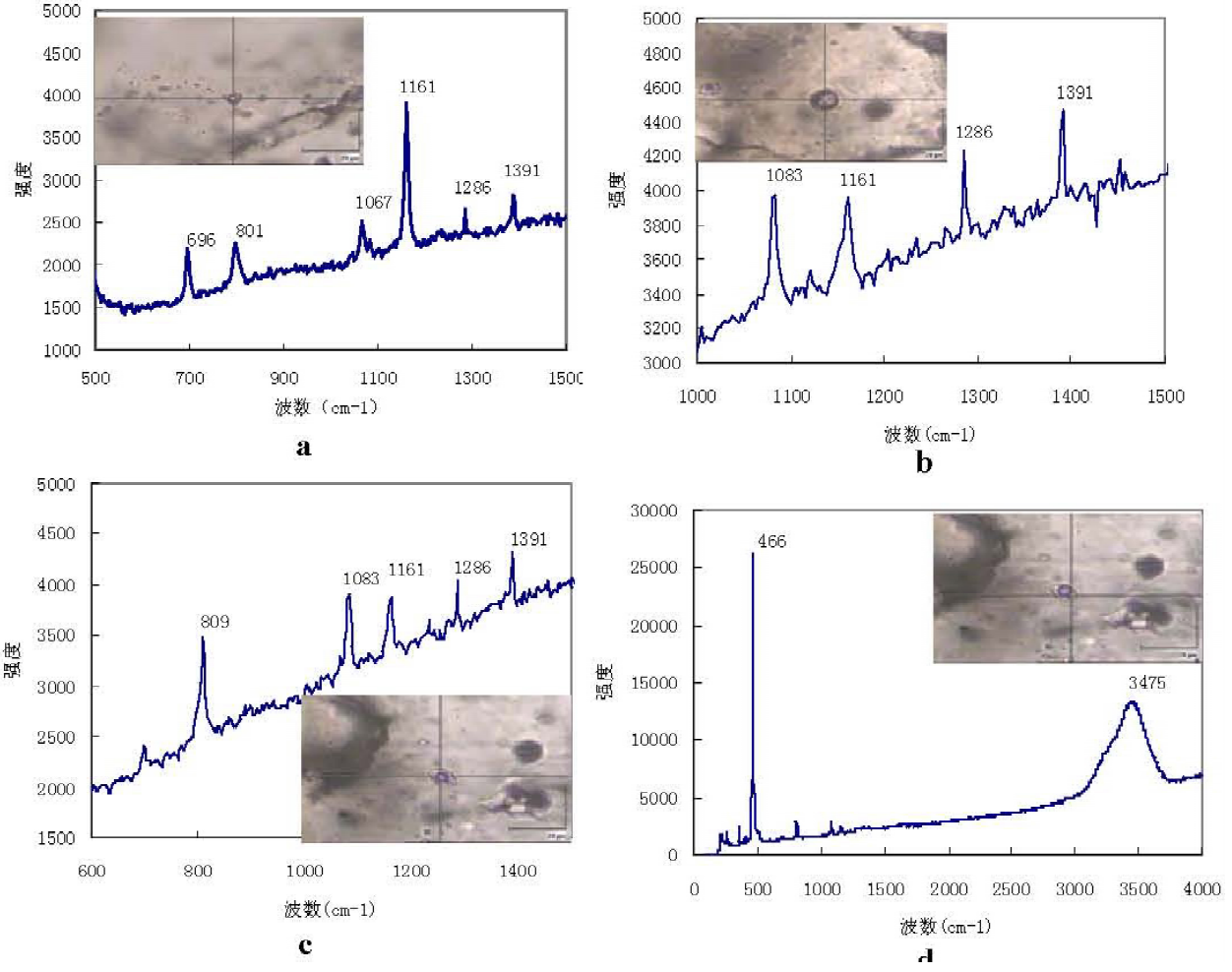


图 3 包裹体成分的 LRM 分析谱图

a-气液两相包裹体气相中的 CO_2；b-气液两相包裹体气相中 CO_2；c-含子矿物多相包裹体气相成分中的 CO_2；d-含子矿物多相包裹体液相成分中的 H_2O

Fig. 3 LRM spectrum of aqueous and vapor phase of fluid inclusions

a-CO_2 in vapor phase for aqueous-vapor fluid inclusion; b-CO_2 in vapor phase for aqueous-vapor fluid inclusion; c-CO_2 in vapor phase for daughter mineral bearing fluid inclusion; d-H_2O in aqueous phase of daughter mineral bearing fluid inclusion

6 成矿流体的来源、成因及演化特征的讨论

冲江铜矿矿化斑岩中的石英斑晶中可见少量熔体包裹体，其中可见少量挥发分，且其周边常分布有卫星状流体包裹体群，这些现象表明，成矿流体可能是从岩浆中出溶出来的。但从岩浆中最初出溶的流体是什么样的呢？有学者认为与刚从岩浆中出溶的成矿母流体可能是一种高温、中等盐度的超临界流体（李荫清等，1981；Bodnar and Cline，1991；Bodnar，1998），具有很高的渗透性和高的溶解能力，可以溶解有大量的成矿金属。石英斑晶中少数呈临界状态均一的负晶形状气液相包裹体，其均一温度变化很小在 362～389℃，盐度 17.7%～18.9wt% NaCleq，可能代表了从岩浆中出溶流体的特征。随着温度和压力下降，这种初始流体将分解为高盐度的富液相流体和低盐度的富气相流体。石英斑晶中纯气相包裹体和含子矿物多相包裹体代表了超临界流体分离后的端元组成。石英斑晶中与高盐度包裹体共存的不同气相充填度、不同盐度的气液相包裹体可能是超临界流体分离后不均一捕获的产物，即同时捕获了不同比例的高盐度液相和低盐度气相。石英绢云母阶段包裹体组合以高盐度含子矿物多相包裹体和富气相包裹体共存为特征，但在绢云母化阶段，高盐度含子矿物多相包裹体中子矿物的溶化温度高于气液相均一温度。有关这类包裹体的成因目前尚有

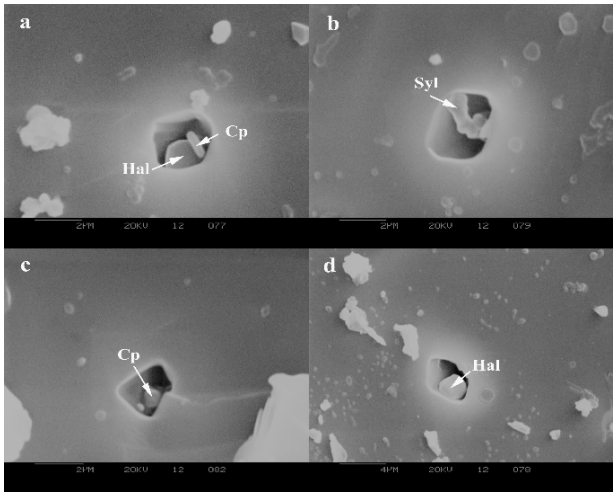


图 4 包裹体中子矿物的扫描电镜照片

a-包裹体中的黄铜矿(Cp)和石盐(Hal)子矿物;b-包裹体中钾石盐(Syl)子矿物;c-包裹体中黄铜矿子矿物;d-包裹体中石盐(Hal)子矿物

Fig. 4 SEM photos of daughter minerals in fluid inclusions

a. daughter minerals of chalcopyrite (Cp) and halite (Hal); b. daughter minerals of sylvite (Syl); c. daughter minerals of chalcopyrite(Cp); d. daughter minerals of halite (Hal); Q-quartz

不同看法,有人认为这类包裹体代表了直接从岩浆出溶流体的特征(Cline *et al.*, 1994),也有人认为是不均一捕获的结果(Roedder, 1984)。笔者认为这类包裹体是超临界流体分相后产生的高盐度流体进一步沸腾的产物,其形成过程为:当压力下降时,近饱和或饱和的高盐度流体发生沸腾,部分水与 CO_2 一起进入到气相中,致使液相中盐度增高达到过饱和状态。但由于包裹体被捕获时石盐子晶尚未形成,流体处于亚稳定状态并以单相状态存在,只是在捕获了此亚稳流体后,子矿物才结晶出来。因此其固液相(体积)比相对较稳定。这类亚稳包裹体甚至在室温下仍未能形成稳定的子矿物相,有些在冷冻过程中才发生子矿物的结晶,这就证明包裹体捕获亚稳态流体是可能的(当然,也不能否认其中一部分亚稳包裹体存在非均一捕获过程)。基于上述分析,结合不同类型包裹体的分布特征,我们将冲江铜矿不同类型包裹体的形成序次、组合类型及与矿化的关系总结如图 6 和表 2 所示,由图 6 和表 2 可见,冲江铜矿成矿流体的形成和演化经历了岩浆的出溶、超临界流体的分离、流体的减压沸腾作用。与钾硅化和石英绢云母化蚀变有关的流体为中高温、中高盐度流体,而与粘土化蚀变有关的流体为低温、低盐度流体,是流体演化晚期的产物。成矿作用主要与石英绢云母化有关,流体的减压沸腾是矿质沉淀的主要机制。

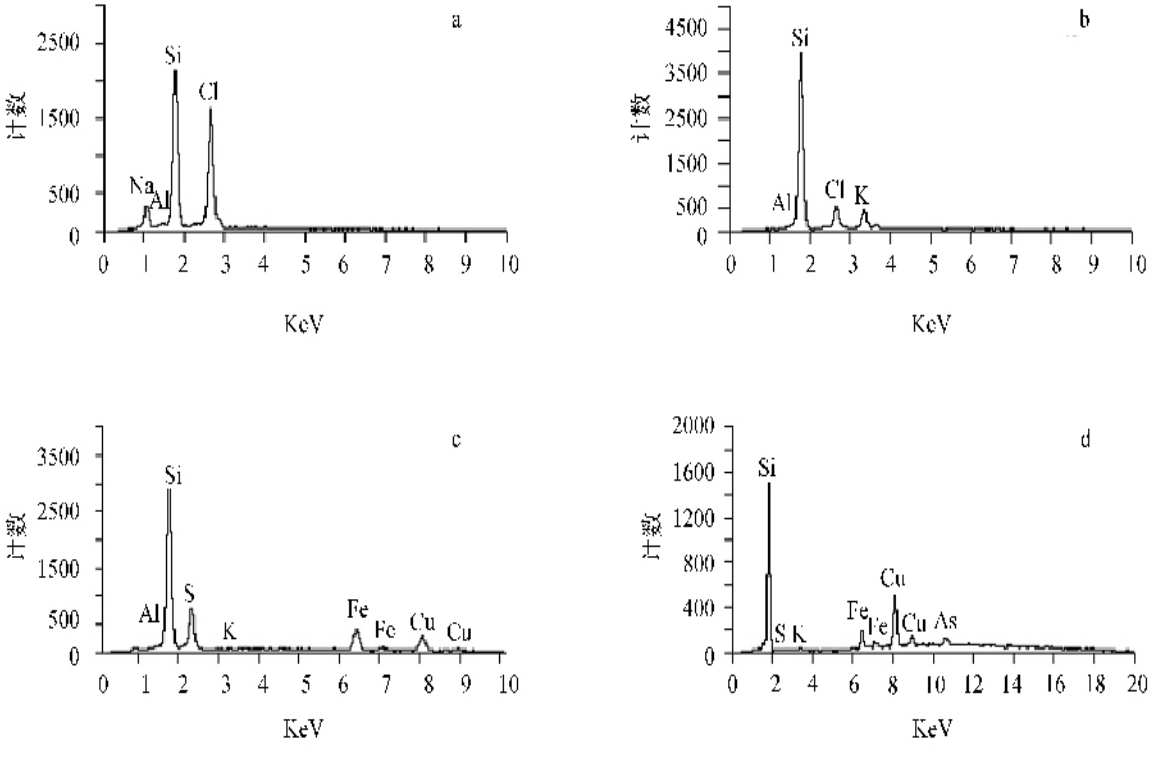


图 5 包裹体中子矿物的能谱分析谱图

a-石盐子矿物的能谱图;b-钾石盐子矿物的能谱图;c-黄铜矿子矿物的能谱图;d-包裹体中含 Fe,Cu,As 的未知子矿物

Fig. 5 EDS spectrograms of daughter minerals in fluid inclusions

a. halite; b. sylvite; c. chalcopyrite; d. unknown daughter mineral which contains Fe,Cu,As

表 2 包裹体组合、流体演化、蚀变类型与矿化的关系

Table 2 Inclusion population, evolution of ore-forming fluid, alteration and mineralization

成岩/成矿阶段及蚀变类型	包裹体组合	流体特征、演化及意义	流体与矿化
斑岩体侵位	熔体包裹体(I 类)	含挥发分熔体,表示从岩浆中出溶流体是可能的	未见明显矿化
钾硅化阶段	临界包裹体(II-3),气液相包裹体(II-2),纯气相包裹体(II-2),高盐度含子矿物多相包裹体(III-1)	高温、中等盐度超临界流体—中高温高盐度流体与中高温低盐度富气流体共存。代表从岩浆分异产生的超临界流体,由于温度、压力降低产气、液相分离	矿化较弱
石英绢云母化	气液相包裹体(II-2),纯气相包裹体(II-2),高盐度含子矿物多相包裹体(III-2)	中高温高盐度流体与中高温低盐度流体共存。代表流体减压沸腾,流体沸腾是造成矿质沉淀的主要因素	主要矿化时期
粘土化	气液相包裹体(II-1)	低温、低盐度流体	未见明显矿化

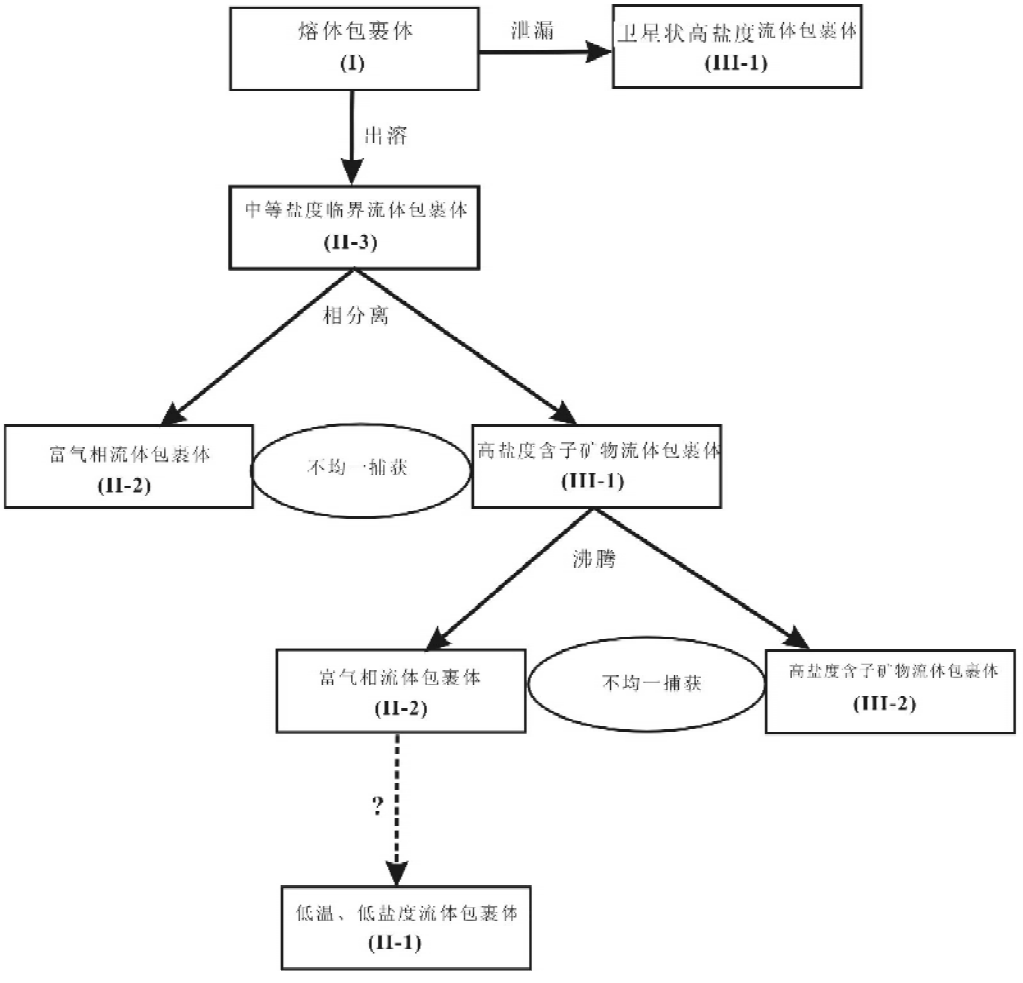


图 6 不同类型包裹体的成生关系及流体演化序列

Fig. 6 Relationship of different kind of inclusion and evolution of ore-forming fluid

致谢 野外的工作中得到了中国地质科学科院矿产资源研究所佘宏全博士、丰成友博士,成都矿产地质研究所林方成博士、廖忠礼博士及刘波同志等的大力帮助;在 SEM/EDS 分析和 LRM 分析中得到北京科技大学新金属材料国家重点实验室何建平高级级工程师,中国地质科学院矿产资源研究所徐文艺博士的热情帮助;中国地质大学(北京)喻学惠教授对论文进行了修改并提出了宝贵意见,在此表示感谢。

References

Bodnar RJ and Cline JS. 1991. Fluid inclusion petrology of porphyry copper deposits revisited: Re-interpretation of observed characteristics based on recent experimental and theoretical data. Plinius, 5: 24 – 25

Bodnar RJ. 1998. Fluid evolution in porphyry copper deposits [abs]: Goldschmidt Conference, Toulouse, 1998, abstracts: 180 – 181

Cline JS and Bodnar RJ. 1994. Direct evolution of brine from a crystallizing silicic melt at the Questa New Mexico, Molybdenum Deposit. Economic Geology, 89: 1780 – 1802

Fan HR, Xie YH and Wang YL. 1998. Determining daughter minerals in fluid inclusions under scanning electron microscope . Geological Science and Technology Information, 17 (supp): 111 – 117 (in Chinese)

Hou ZQ and Qu XM, Huang W. 2001. The Gangdese porphyry copper belt: the second significant porphyry copper belt in Tibetan plateau . China Geology, 28: 27 ~ 29 (in Chinese with English abstract)

Li YQ, Rui ZY and Cheng LX. 1981. Fluid inclusions and mineralization of the Yulong porphyry copper (Mo) deposit. Acta Geologica Sinica, 55: 18 – 23 (in Chinese with English abstract)

Liu B, Li GM and Li SR. 2004. The preliminary study of the discrimination of ore-bearing and ore-free rocks in the Chongjiang copper deposit , Xizang. Sedimentary Geology and Tethyan Geology. 24(4) 55 – 58 (in Chinese with English abstract)

Meng XJ, Hou ZQ, Gao YF, *et al.* 2004. The alteration zoning model of porphyry Copper deposit in collosional orogen: cases studies of porphyry copper deposits in Gangdise belt, Xizang (Tibet) . Earth Science Frontiers, 11 (1): 201 – 214 (in Chinese with English abstract)

Qu XM, Hou ZQ, Huang W . 2001. Is Gangdese Porphyry Copper Belt the Second "Yulong" Copper belt. Mineral Depsoits, 19(4) 355 – 366 (in Chinese with English abstract)

Roedder E. 1984. Fluid inclusions. Reviews in Mineraogy V. 12. Mineralogical Society of America: 644

Rui ZY, Huang CK, Qi GM, *et al.* 1984. The porphyry Cu (-Mo) deposits in China. Geological Publishing House. Beijing: 350p (in Chinese with English abstract)

Shan Q and Niu HC. 2002. Studying of the composition of single fluid inclusion using scanning electron microscopy and energy dispersive analysis. Acta Petrologica Sinica, 16 (4): 711 – 714 (in Chinese with English abstract)

Xie YL, Hou ZQ, Xu JH, *et al.* 2005. Evolution of multi-stage ore-forming fluid and mineralization: Evidence form fluid inclusions in Yulong porphyry copper deposit, East Tibet. Acta Petrologica Sinica, 21(5): 1409 – 1415 (in Chinese with English abstract)

Xie YL, Xu JH, He ZL, *et al.* The discovery of daughter minerals in fluid inclusion of the Taibai gold deposit and their genetic signficance. Mineral Deposits 19 (1): 54 – 60 (in Chinese with English abstract)

Xie YL, Xu JH, Hou ZQ, *et al.* 2004. Daughter minerals in fluid inclusions of garnet and diopside from Tongguanshan Copper Deposits by SEM/EDS and LRM. Jour. Uni. of Sci. and Tech. ,11(6): 481 – 485

Zheng YY, Gao SB, Cheng LJ, *et al.* 2004. Finding and significances of Chongjiang Porphyry Copper (Molybdenum, Aurum) Deposit, Tibet. Earth Science (Journal of China University of Geoscience) ,29 (3): 333 – 339 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

范宏瑞,谢奕汉,王英兰. 1998. 扫描电镜下流体包裹体中子矿物的鉴定. 地质科技情报, 17(增刊): 111 – 117

侯增谦,曲晓明,黄卫等. 2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条'玉龙'铜矿带. 中国地质,28(10): 27 – 30

李荫清,芮宗瑶,程莱仙 . 1981. 玉龙斑岩铜(钼)矿床流体包裹体及成矿作用研究 . 地质学报, 55(3): 216 – 230

刘波, 李光明,李胜荣 . 2004. 西藏冲江铜矿含矿岩体与非含矿岩体区分探讨 . 沉积与特提斯地质, 24(4) 55 – 58

孟祥金等,侯增谦, 高永丰等 . 2004. 碰撞造山型斑岩铜矿蚀变分带模式:以西藏冈底斯斑岩铜矿带为例,地学前缘, 11(1): 201 – 214

曲晓明, 侯增谦, 黄卫 . 2001. 冈底斯斑岩铜成矿带:西藏第二条"玉龙"斑岩铜矿带 . 矿床地质, 20(4): 355 – 366.

单强,牛贺才. 2002. 扫描电镜-能谱在单个包裹体物质组成研究中的应用. 岩石学报, 16(4): 711 – 714.

谢玉玲,侯增谦,徐九华等 . 2005. 藏东玉龙斑岩铜矿床多期流体演化与成矿的流体包裹体证据 . 岩石学报, 21(5): 1409 – 1415

谢玉玲,徐九华,何知礼等. 2000. 太白金矿流体包裹体中黄铁矿和铁白云石子矿物的发现及成因意义. 矿床地质,19(1): 54 – 60

郑有业, 高顺宝, 程力军等 . 2004. 西藏冲江大型斑岩铜(钼金)矿床的发现及意义 . 地球科学—中国地质大学报,29(3): 333 – 339