卷(Volume) 25, 期(Number) 2, 总(Total) 100
页(Pages) 20- 26, 2005, 6, (Jun, 2005)

矿 物 岩 石
J MINERAL PETROL

滇西北衙金矿蚀变斑岩中的流体包裹体研究

吴开兴[1,2], 胡瑞忠[1], 毕献武[1],
彭建堂[1], 苏文超[1], 陈 龙[3]

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 中国中煤能源公司, 北京 100011)

【摘 要】 位于爆破角砾岩筒边缘的接触带矿化斑岩中早期流体包裹体以 CO_2-H_2O 包裹体为主, 而岩体内无或弱矿化斑岩中对应的流体包裹体以高盐度 H_2O-NaCl 包裹体为主, 反映来源于富碱岩浆的流体在它的早期阶段即分异出富碳相和盐水相, 富碳相位于流体的外层, 成矿元素主要在富碳相中迁移。因此, 外接触带及其附近的围岩是成矿的有利部位。岩体内部蚀变岩石样品石英斑晶中的次生流体包裹体可大致划分为 4 个阶段。根据显微测温结果、形成温度和压力的估算及均一温度-盐度关系, 结合 H_2O-NaCl 体系 P-T 投影图, 包裹体的 4 个阶段反映了环境条件的变化过程及相关的地质过程。

【关键词】 北衙金矿; 富碱斑岩; 流体包裹体; 捕获条件; 流体演化
中图分类号: P618.51 文献标识码: A
文章编号: 1001- 6872(2005)02- 0020- 07

0 引 言

富碱侵入岩具有很大的金成矿潜力。据统计环太平洋地区 20% 的大型金矿床与体积不会超过该区火成岩总体积的 3% 的钾玄岩和碱性岩有关[1]。然而, 迄今为止在我国西南 "三江" 地区长达 2 000 km, 宽约 50 km～80 km 的巨型富碱侵入岩带上并未发现大型金矿床[2~5]。因此, 在这个岩带上能不能找到大型金矿床以及如何去找是值得思考的问题。要找到这个问题的答案必然要从研究该岩带上典型金矿床的成矿作用入手。

成矿作用包括成矿物质的来源、搬运及沉淀都离不开流体, 成矿作用的过程事实上就是流体的演化过程。流体演化过程中其携带成矿元素的能力会发生变化, 当这种能力增强时, 成矿元素从环境进入流体并能稳定迁移; 相反, 当这种能力减弱时, 成矿元素发生沉淀。在流体演化的诸阶段中, 成矿阶段即对应于流体携带成矿元素能力急剧下降的阶段。因此, 流体演化问题是成矿作用问题的关键。

研究流体的演化方法主要有两种: 一种是研究的具体流体不变, 比如选取某一时刻从流体房中流出的一小部分流体, 研究它随时间推移和空间变更而发生的各种变化。这种方法需要对流体进行跟踪

收稿日期: 2005- 01- 04; 改回日期: 2005- 04- 12
基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40071543、40003007); 院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-101)
作者简介: 吴开兴, 男, 35 岁, 工程师(博士生), 矿床地球化学专业, 研究方向: 富碱侵入岩与金的成矿关系。

(c)1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

取样, 操作起来很困难, 对古流体的研究基本不适用。第二种方法是, 取样位置不变, 即在流体通道中的某一点放置一取样器, 对流体进行连续取样。通过研究流体包裹体研究古流体演化的方法就类似于此法。岩石或矿体是流体的通道, 其中的一小块岩/矿石即相当于一个取样点, 生长中的矿物相当于取样器, 矿物连续生长并圈闭流体的过程即对流经该处的流体进行连续取样的过程。其中的每一个流体包裹体都保存了当时地质环境的各种地质地球化学信息(如 P, T, pH, X, W 等)[6], 把这些独立信息串联起来就可以反映流体所处的地质环境的变化过程, 揭示相关的地质过程和流体的演化过程。

位于云南省鹤庆县北衙乡的北衙金矿(旧称北衙铅矿) , 是哀牢山-金沙江富碱侵入岩带上与富碱侵入岩有关的规模最大、最具代表性的金矿床之一。据云南地质勘探局第三大队资料①, 该矿床已控制的 C+ D+ E 级金储量为 17.0 t, 独立金矿体的平均品位为13.4×10^{-6}; 研究表明, 矿床的Ⅰ, Ⅱ级远景金储量高达 68.6 t, 平均品位为4.5×10^{-6}[7]; 通过近几年的工作, 人们普遍认为北衙金矿具有良好的找矿前景[8]。北衙金矿流体包裹体研究, 主要以红泥塘环状斑岩体蚀变斑岩中的流体包裹体作为研究对象, 探讨各阶段流体包裹体的形成条件, 从而揭示流体的起源、演化及其与成矿的关系。

1　矿床地质背景

北衙金矿产于哀牢山-金沙江富碱侵入岩带的中段, 地处三江褶皱系与扬子准地台的弧形接合部位, 北抵松潘-甘孜褶皱系, 受南西侧北西向金沙江-红河深大断裂、北侧北东向丽江-木里深大断裂和东侧近南北向程海-滨川深大断裂所夹持。矿区受滇中地台西缘的南无山复式背斜的东翼一 NNE 向次级向斜构造控制, 地貌上为一小型山间盆地, 南北长约 6.5 km, 东西宽约 3.5 km(图 1)。已发现的矿体均分布在盆地边山, 即向斜两翼, 向斜轴部为第四系冲积层覆盖, 尚无工程揭露。以轴部第四系盆地为界分东西两个矿带, 东矿带含五里盘(红土型)、桅杆坡和笔架山矿段。西矿带含万峒山和红泥塘矿段。

北衙金矿区岩浆岩除二叠系玄武岩($P_2\beta$, 广泛分布于矿区, 但仅出露于矿区外围) 外, 主要为喜山期浅成、超浅成的富碱斑岩类。岩性主要为正长斑岩、石英正长斑岩、角闪正长斑岩、角闪石英二长斑

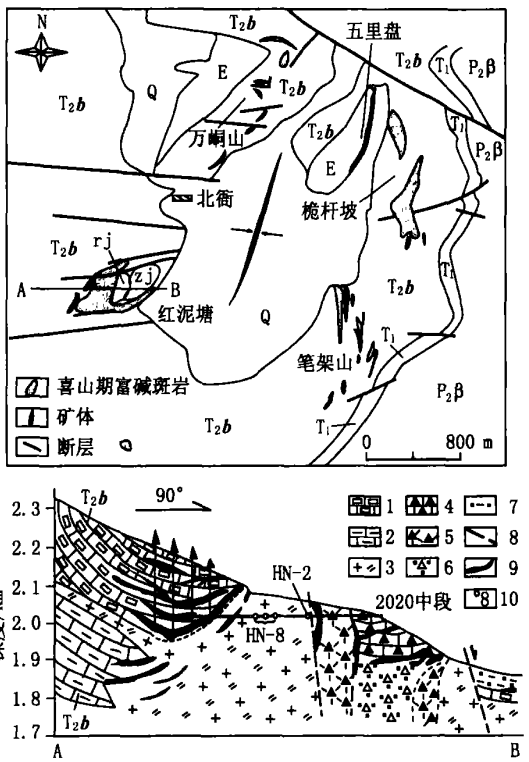


图 1　北衙金矿区地质简图(上)(据云南省地质勘探局第三大队①改编) 及红泥塘矿段剖面示意图(下)[7]

1. 铁化灰岩; 2. 硅化灰岩; 3. 石英正长斑岩; 4. 震碎角砾岩; 5. 热液角砾岩; 6. 爆破角砾岩; 7. 第四系冲积层; 8. 断层; 9. 矿体; 10. 采样位置及编号; Q. 第四系; E. 下第三系丽江组; T_2b. 三叠系中统北衙组; T_1. 三叠系下统腊美组; $P_2\beta$ 二叠纪玄武岩; zj. 震碎角砾岩; rj. 热液角砾岩

Fig. 1　Geological map of Beiya gold deposit district (upper) and a cross section of Hongnitang ore block (down)

岩、花岗斑岩和煌斑岩等。与金矿化有关的富碱斑岩体主要分布(出露) 于矿区向斜两翼, 其中以红泥塘环状斑岩体为典型代表。红泥塘环状斑岩体岩性为石英正长斑岩, 具典型的斑状结构, 基质约占 60%, 已强烈绢云母化。斑晶中石英含量约 5%, 边界常被溶蚀, 并常存在绢英化反应边(图 2a) ; 透长石 10%～30%, 其余为正长石, 表面大多强烈泥化。在环状斑岩体的中心发育一直径 400 m～500 m 的爆破角砾岩筒, 由于热液的注入在角砾岩筒周缘尤其是西缘形成了热液角砾岩。

富碱斑岩体与三叠系中统北衙组灰岩(T_2b) 呈侵入接触关系。金矿体主要呈脉状或似层状产出在岩体的外接触带及附近, 即北衙组灰岩中。大部分矿体都经历了强烈的表生氧化作用。氧化带深度可达地表以下 400 多米。现今的矿石矿物主要为褐铁矿

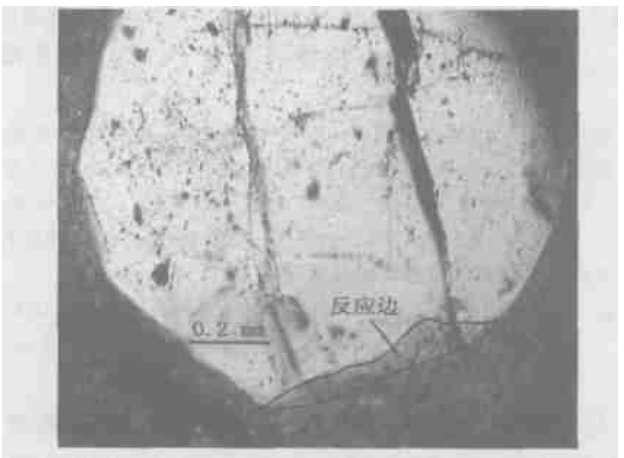
①云南省地质勘探局第三大队. 云南省宁蒗-丽江-鹤庆矿化集中区金、铅、锌、银矿产资源调查评价立项报告. 1996

(C)1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(70%～80%),其次是赤铁矿、氧化锰等,此外,还有少量的硫化物(主要是黄铁矿、方铅矿等)作为氧化残余物存在。脉石矿物十分稀少,以长石、石英和方解石为主。普遍认为原生矿石矿物主要是硫化物,其中黄铁矿和方铅矿是主要的含金矿物。

2 流体包裹体产状、类型及空间分布规律

研究样品均采自红泥塘环状斑岩体2 020 m采矿中段(图1)。按采样位置在岩体的空间部位可将样品分为岩体内(HN-8)(照片1)和接触带(HN-2)两类。岩体内样品为钾化+绢英化石英正长斑岩;接触带斑岩样品具多孔洞的淋漓构造,以次生的黄铁绢英组合矿物为主,斑状结构不明显(照片2b),有时见黄铁矿(褐铁矿)-石英(细)脉。HN-8石英斑晶中的流体包裹体是研究的重点。对其中的早期含液态CO_2包裹体的进行了显微测温学研究,并估算了其形成压力,作为HN-8中早期盐水包裹体的形成压力估计的依据。



照片1 石英斑晶显微照片(样品HN-8)

Photo 1 Quartz phanerocryst in sample HN-8

HN-8中石英斑晶裂隙十分发育(照片1),包裹体均产在愈合裂隙中,为次生包裹体。包裹体类型为盐水包裹体,未发现富CO_2包裹体。按适温下的相态[6, 9],可分为含子晶三相(L-G-S型),气-液(L-G型)和液体(L型)等类型的包裹体,气体(G型)包裹体少见。其中以L-G-S型包裹体为主,L-G型和L型包裹体次之。HN-2中与黄铁矿关系密切的石英(如黄铁绢英化组合中的石英,黄铁矿-石英脉中的石英)中的流体包裹体为盐水包裹体,但成矿前石英中的流体包裹体以富CO_2包裹体为主。因此,包裹体类型在空间分布上的一个明显规律是:岩体内部早期流体包裹体以高盐度的盐水包裹体(L-G-S型)为主,无或少富CO_2包裹体,而接触带早期流体包裹体以富CO_2包裹体为主。

这一空间分布规律说明在北衙金矿早期流体系统中至少存在两种互不混溶的流体,一种是高盐度的盐卤水,另一种是富CO_2流体。早期富CO_2包裹体适温下为液相,且产在爆破角砾岩筒与岩体的接触带,说明早期富CO_2流体捕获压力很高,爆破前与高盐度的盐卤水一起被封闭在岩体范围内,二者的来源均与富碱岩浆密切相关。富碱岩浆以深源、富碱并相对贫水为特征,分异出来的流体可能以高盐度、富CO_2为特征。在高盐度的情况下,富水相与富碳相可以有很宽的不混溶温度-压力范围[10, 11],两相可以在广泛的地壳条件下共存[12]。因此,可以推断流体一经产生或略微上升即分异出富碳相和高盐度盐水相,富碳相因富挥发份、密度相对较低向岩体顶部和接触带运移,位于流体的外层,而粘度、密度较高的高盐度盐水相位于流体的内圈。岩体内部无或只有微弱矿化;而内接触带矿化较强,绝大多数矿体产在外接触带或附近的围岩中,说明成矿元素主要在富碳相中迁移,且成矿的温度-压力较低,爆破后富碳相首先冲破禁锢,迁移到外接触带及附近的围岩中才拉开成矿的序幕。

3 流体包裹体的世代和组合

根据包裹体产出特征及相互间穿插关系,可将HN-8石英斑晶中的流体包裹体按从早到晚的顺序大致划分为Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ和Ⅳ4个阶段。

Ⅰ阶段为L-G-S型包裹体,大小8 μm～18 μm,形态规则,呈孤立状或2～3个充填度一致的包裹体结伴产出,气泡约占包裹体总体积的10%～15%,通常只含单个的石盐子晶,但有时除含一个立方体的石盐子晶外还含有一个钾盐子晶,气泡体积明显小于子晶的体积。Ⅱ阶段也是L-G-S型包裹体,其特征与Ⅰ阶段包裹体十分相似,只是气相比例略高,约占包裹体总体积的15%～30%。Ⅲ阶段包裹体以L-G型包裹体为主,L-G-S型包裹体次之,形态从不规则到规则。L-G-S型包裹体通常小于10 μm,而L-G型包裹体大小相差悬殊,从几微米至二十微米以上。两种类型的包裹体常在同一视域出现。Ⅳ阶段包裹体为L型,其特征是气相比例5%～10%,包裹体边界较淡,多呈拉丝状。

4 显微测温学

显微测温学研究在中国科学院地球化学研究所

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿床地球化学重点实验室完成。使用的仪器为英国产 Linkam THMSG600 型冷热台。仪器温度标定采用标准物质(KNO_3, K_2CrO_3, CCl_4 以及人工配制的 NaCl 标准溶液)。测量误差估计, -22 ℃以下±0.3 ℃, -22 ℃～40 ℃时±0.1 ℃, 40 ℃～400 ℃时±2 ℃～3 ℃, 400 ℃以上±5 ℃。

HN-8 石英斑晶中的流体包裹体显微测温学研究如下: 对 L 型和 L-G 型包裹体首先进行冷冻, 在缓慢回温过程中记录冰点温度(T_{mice}), 然后测气-液均一温度(T_h)。根据 T_{mice} 与盐度的换算关系[13], 得到流体包裹体的盐度值(S); 对 L-G-S 型包裹体直接对包裹体加热, 测子晶消失温度(T_{ms}) 和气-液均一温度(T_h)。根据 T_{ms} 与盐度的换算关系[13], 得到流体包裹体的盐度值(S)。显微测温结果列于表 1, 气-液均一温度(T_h) 与盐度(S) 的关系见图 2。

对接触带样品中早期富液态 CO_2(L_{CO_2}型) 包裹体显微测温研究如下: 常温下由液态 CO_2 相(约占包裹体总体积的 55%～85%) + 盐水相组成。稍微冷冻出现 CO_2 气圈, 冻至 -97 ℃～-103 ℃时, 干冰形成。回温至 -57.5 ℃～-58.4 ℃干冰融化(T_{mCO_2}), 比纯 CO_2 的三相点温度(-56.5 ℃) 略低, 说明还含有其他气体成份。继续回温至 3.5 ℃～4.6 ℃时 CO_2-H_2O 笼合物融化(T_{mCl}), 然后在 24 ℃～25 ℃之间 CO_2 相部分均一(T_{hCO_2}) 至液相。进行完全均一温度测定时, 一部分包裹体富 CO_2 相慢慢扩大直至充满整个包裹体, 但也有部分包裹体当富 CO_2 相接近充满整个包裹体时, 富 CO_2 相不再扩大, 而是残存的盐水相慢慢变暗, 可能意谓着接近临界均一, 而且多数包裹体在均一前已发生爆裂。完全均一温度(T_h) 370 ℃～380 ℃。根据上述测温数据计算[13]得到: 总包裹体中 CO_2 的摩尔分数(X_{CO_2}) 为 0.29～0.37, 含碳相密度和包裹体总密度分别为 0.73 g/cm³～0.76 g/cm³ 和 0.79 g/cm³～0.87 g/cm³, 水溶液盐度(S) 为 9.7%～11.3%, 完全均一压力(P_h) 约为 230 MPa～240 MPa。

表 1　HN-8 石英斑晶中流体包裹体特征及显微测温结果

Table 1　Characteristics and microthermometric data of fluid inclusions in quartz phanerocryst of sample HN-8

阶段	类型	测数	大小/μm	气相比例	分布	T_{mice}/℃	T_{ms}/℃	T_h/℃	w(NaCl)/%
Ⅰ	L-G-S	15	8-18	10%～15%	孤立状或成群		360～420	250～265	43.4～49.7
Ⅱ	L-G-S	9	8-12	20%～30%			334～420	270～428	40.5～49.7
	L-G	21	5～25	10%～35%	线或带状	-21.2～-1.42	40～285		2.3～25.0
Ⅲ	L-G-S	8	5～10	10%～35%			230～380	245～295	33.5～45.3
Ⅳ	L	12	5～15	～5%	成群	-5.6～-3.1		215～230	5.0～8.7

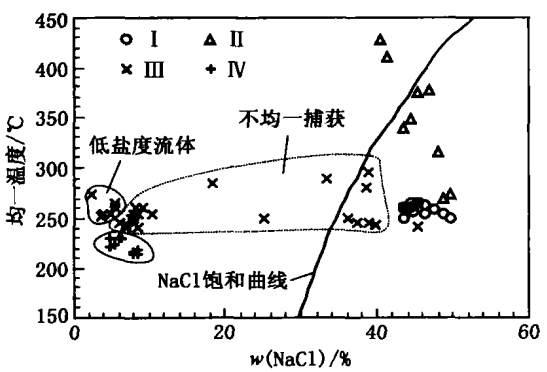


图 2　HN-8 中包裹体的气-液均一温度与盐度关系图

Fig. 2　Homogenization temperature-salty plot for fluid inclusions in quartz phanerocryst of sample HN-8

5　流体包裹体形成条件分析及其地质意义

表 1 和图 2 显示, Ⅰ阶段包裹体气-液均一温度较低, 而且变化范围较小, Ⅱ阶段包裹体气-液均一温度反而高, 且有较宽的变化范围。一方面反映Ⅰ阶段包裹体的气液均一温度不能代表其形成温度; 另一方面反映Ⅰ阶段包裹体是在温度、压力比较稳定的条件下形成的, 而Ⅱ阶段包裹体形成的温度和/或压力变化较大。Ⅰ阶段包裹体的盐度十分接近(43%～50%), 各相的比例也十分一致, 反映它们是单相均一捕获的结果。因此, 包裹体的形成温度要等于或高于子晶消失的最高温度(420 ℃)。反映早期流体是一高温、高盐度流体。该环状岩体的中心发育爆破角砾岩筒, 并且爆破角砾岩筒外圈发育热液角砾岩, 说明在爆破角砾岩筒的周围和深处的岩体中曾经封闭有较高压力的流体。因此, Ⅰ阶段包裹体可能捕获的是这一封闭的高压流体, 而Ⅱ阶段包裹体的形成可能与岩体顶盖在高压流体的作用下形成垂向断裂系统并最终发生隐爆作用这一地质事件有关。既然Ⅱ阶段与隐爆作用有关, 那么它主要是一个降压过程, 温度基本不变, 由此可以推断Ⅰ阶段包裹体的形成温度要等于或高于Ⅱ阶段包裹体的最高气-液均一温度(428 ℃)。HN-2 中早期 L_{CO_2}型包裹体的存在, 使包裹体形成压力的估算成为可能。L_{CO_2}型包裹

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

体的最高均一压力为 240 MPa, 这一压力可基本代表垂向裂隙系统形成前封闭流体的压力。HN-8 中 I 阶段包裹体气液均一温度区间为 250 ℃～265 ℃, 其形成压力按 240 MPa 计, 用等容式[14, 15]进行压力校正, 其捕获温度约为 430 ℃～460 ℃。这样, 可估计 I 阶段包裹体的形成温度为 430 ℃～460 ℃, 形成压力约为 240 MPa(如图 3a)。

由图 3a 可见在恒温降压过程中, 不同压力下捕获的流体包裹体, 其气液均一温度不同, 气液均一温度随压力的降低而升高, 与Ⅱ阶段流体包裹体的显

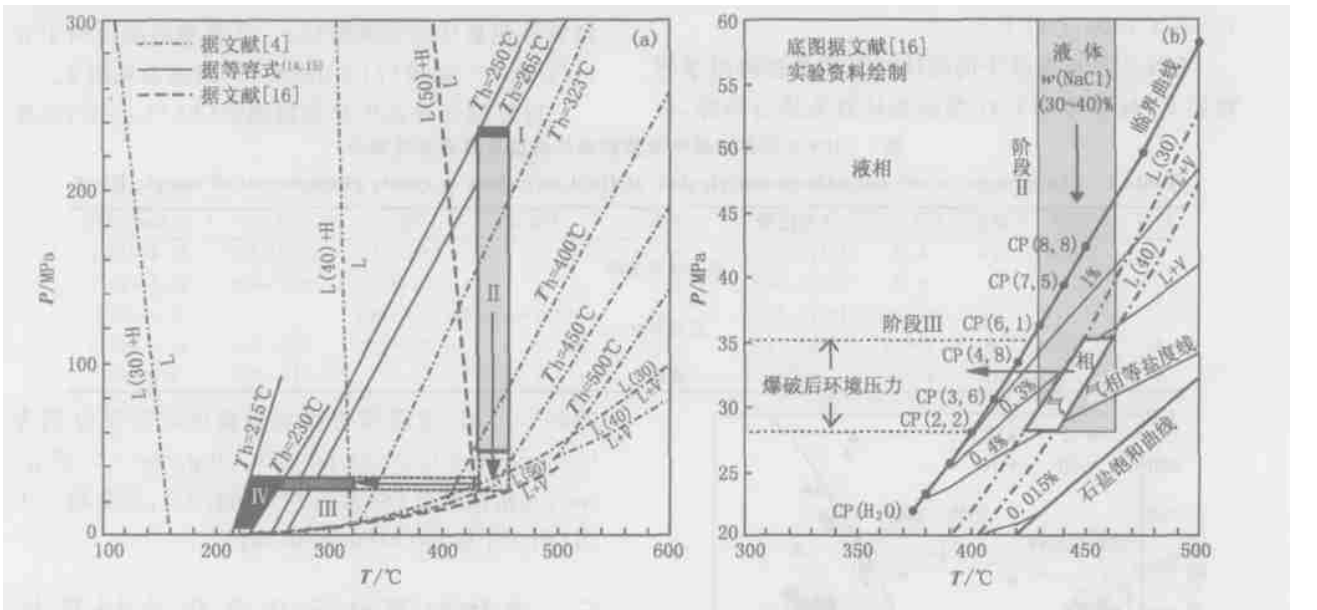


图 3 H_2O-NaCl 体系 P-T 投影图

(a). HN-8 中流体包裹体形成的温度-压力范围; (b). 解释Ⅲ阶段低盐度流体的形成过程

Fig. 3 P-T plot of system H_2O-NaCl (a) illustrating the formation P-T range of fluid inclusions in HN-8; (b) illustrating the formation process of low salty fluid of stage Ⅲ

微测温结果相符, 反映Ⅱ阶段流体包裹体确实是在恒温降压过程中形成的, 反映了岩体顶盖在高压流体作用下形成垂向断裂系统并最终发生隐爆作用, 流体突出, 环境(相对被捕获流体而言)减压这一地质事件, 这一过程持续时间较短因此环境温度基本不变。在降压过程中, 一方面富碳相发生泡腾, 分异出较低盐度的盐水相; 另一方面, 在深处或流体房中可能仍然存在流体-熔体的平衡, 在高压条件下 H_2O 在熔体中有很高的溶解度, 随着压力的降低, 一部分 H_2O 从熔体相中分离出来进入流体相。因此, 在均一温度-盐度图解中显示均一温度上升而盐度降低的趋势, 至该阶段末流体盐度降至 30% ～40%。

Ⅲ阶段包裹体 L-G 型和 L-G-S 型包裹体共存, 但无 G 型包裹体与其共存, 说明该阶段包裹体可能存在不均一捕获, 但沸腾现象特征不明显。从均一温度-盐度关系图(图 2)可以看出, 该阶段包裹体均一温度比较接近, 而盐度相差很大, 说明该阶段包裹体确实存在低盐度流体与盐粒的不均一捕获。当Ⅱ阶段流体包裹体的均一温度达到 428 ℃时(Ⅱ阶段包裹体的最高均一温度), 它的形成压力已经降至 50 MPa 左右(如图 3a 所示)。也就是说至Ⅱ阶段末流体的压力已不足 50 MPa, 如果压力继续降低, 流体必然要发生沸腾(图 3a)。Ⅲ阶段包裹体没有显示沸腾特征, 说明Ⅲ阶段以降温为主。当温度降至 320 ℃左右时, w(NaCl)约为 40% 的流体达到饱和, 继续降温析出的石盐, 但是与其平衡的流体始终维持较高的盐度。那么, 与石盐发生不均一捕获的低盐度流体何来?因为这时岩体内外仍然存在一定的压力差, 大气降水不可能流入岩体内, 从 I 阶段开始便位于流体外圈的富碳相也基本从岩体迁出, 唯一的可能是, 流体从流体房流至 HN-8 采取处的过程中发生了沸腾, 流体房与 HN-8 采取处之间存在较大的温度差, 沸腾形成的气相又在到达 HN-8 采取处之前冷凝成液相。如图 3b 所示, 当温度为 430 ℃～460 ℃, 盐度为 30%～40%的流体在压力降至 30 MPa ～40 MPa 左右时, 形成盐度约为 0.1%～1% 的气相, 如果这时环境压力保持不变, 温度降低, 气相的盐度不断增高, 直到进入临界状态, 盐度达到最高。继续恒压降温, 临界流体冷凝成液相但盐度不变。显然, 该冷凝相的盐度与环境压力有关。如果把无 L-G-S 型包裹体共存的 L-G 型包裹体的盐度(2.3% ～5.5%)作为低盐度流体的盐度, 那么, 可求得爆破

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

后 HN-8 采取处环境压力约为 28 MPa～35 MPa (如图 3b)。以上分析表明Ⅲ阶段包裹体是在压力约为 28 MPa～35 MPa 的条件下降温过程中形成的。反映隐爆发生后, 在较长时间内流体仍然保持充足的源头, 尽管 HN-8 采取处岩石温度不断降低, 压力却基本保持不变, 而且流体房位置较深, 与 HN-8 采取处之间存在较大的温度和压力差。流体房温度、压力恒定, 从流体房流出的流体先以降压为主, 因此要发生沸腾, 当接近 HN-8 采取处时以降温为主, 沸腾产生的气相又冷凝成液相。

Ⅳ阶段包裹体的均一温度和盐度都变化较小, 不存在盐粒与盐水的不均一捕获。与Ⅲ阶段多数包裹体相比, 盐度一致, 温度略低, 说明该阶段包裹体是Ⅲ阶段末期流体进一步降温、降压的产物。反映那时流体房频临枯竭, HN-8 采取处已无新的流体补充, 仅为残留的Ⅲ阶段流体。因此, 该阶段流体包裹体还出现总量较少, 成群分布的特征。

综上所述, HN-8 中的流体包裹体记录了样品采取处环境温度-压力变化轨迹如图 3a 箭头所示, 可大致分为 4 个阶段: Ⅰ阶段为恒压降温过程。压力约 240 MPa, 温度由> 460 ℃降至 430 ℃～460 ℃; Ⅱ阶段为恒温降压过程。温度 430 ℃～460 ℃, 压力由约 240 MPa 降至 28 MPa～35 MPa; Ⅲ阶段为恒压降温过程。压力为 28 MPa～35 MPa, 温度由 430 ℃～460 ℃降至 260 ℃～270 ℃; Ⅳ阶段为降温降压过程, 温度< 260 ℃, 压力< 28 MPa。但从各阶段包裹体形成的温度-压力范围(图 3a 充填实框) 可知, 包裹体的形成过程并不是完全连续的, Ⅱ阶段缺失形成压力小于 50 MPa 的包裹体, Ⅲ阶段在温度高于 320 ℃时无包裹体形成(如图 3a 无充填虚框)。这是什么原因呢? 因为我们研究的是石英中的流体包裹体, 流体能否连续捕获显然与石英是否连续生长直接相关, 而石英能否连续生长与 SiO_2 在流体中的溶解度随温度和压力的变化直接相关。在 HN-8 采取处, 石英在流体中的溶解度变化轨迹如图 4 中曲线 1～5 所示, 其中曲线 2～3 代表Ⅱ阶段恒温降压过程, 此阶段 SiO_2 在流体中的溶解度连续急剧降低, SiO_2 大量沉淀, 石英晶体连续生长, 可以捕获不

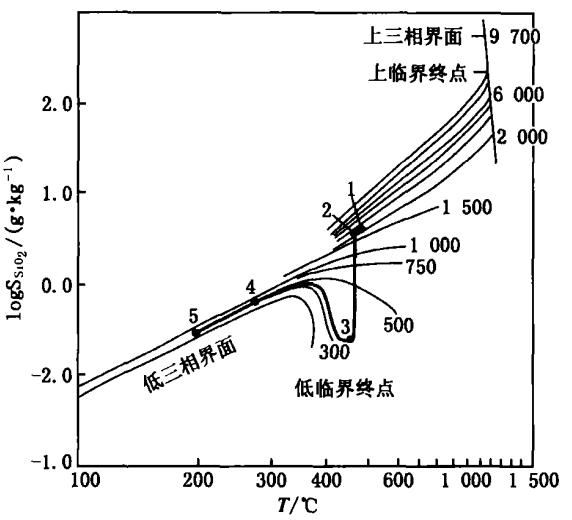


图 4　HN-8 采取处各阶段流体中 SiO_2 变化轨迹 (底图转引自文献[17])

1～2: 阶段Ⅰ, 恒压降温过程; 2～3: 阶段Ⅱ, 恒温降压过程; 3～4: 阶段Ⅲ, 恒压降温过程; 4～5: 阶段Ⅳ, 降温降压过程

Fig. 4　A concentration path for SiO_2 in the fluid of each stage of HN-8

同压力下的流体。而Ⅲ阶段当温度高于 320 ℃时, 石英在流体中的溶解度不但不下降反而急剧上升(曲线 3～4), 因此这一时期不但不形成石英还可能使先期形成的石英再溶解, Ⅱ阶段末期无流体包裹体形成以及石英斑晶的熔蚀现象都可能与此有关。

6　结　论

6.1　北衙金矿初始流体为与富碱岩浆有关的高温、高盐度并富 CO_2 的岩浆流体, 在地壳较深处即分异出富碳相和高盐度富水相。前者密度较小上升速度较快, 位于流体的外层; 后者粘度和密度较高位于流体的内圈。成矿元素主要在富碳相中迁移, 成矿温度和压力较低, 外接触带及附近的围岩是成矿的有利部位。

6.2　岩体内部环境经历恒压降温-恒温降压-恒压降温-降温降压 4 个变化阶段, 分别对应于流体封闭-隐爆作用-流体从流体房外泄-流体房最终枯竭等地质过程。

参考文献

[1] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. **Aust J Earth Sci**, 1997, 44: 373-388.

[2] 吕伯西, 王　增, 张能德, 等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 1-279.

[3] 毕献武, 胡瑞忠, Cornell D H. 富碱侵入岩与金成矿关系: 云南省姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 264-272.

[4] Hu R Z, Burnard P G, Bi X W, *et al*. Helium and argon isotope geochemistry of alkaline intrusion-associated gold and copper deposits a-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

long the Red River-Jinshajiang fault belt, SW China[J]. **Chem Geol**, 2004, 203: 305-317.
[5] 何明勤, 杨世瑜, 刘家军, 等. 云南祥云金厂管金(铜)矿床的成矿流体特征及流体来源[J]. 矿物岩石, 2004, 24(2): 35-40.
[6] 卢焕章, 范文瑞, 倪 培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 1-487.
[7] 蔡新平, 季成云, 应汉龙, 等. 滇西北衙金矿矿床特征、成因及找矿远景预测[A]. 中国金矿地质地球化学研究(Ⅰ)[C]. 北京: 科学出版社, 1993, 134-151.
[8] 刘秉光, 陆德复, 蔡新平, 等. 滇川西部金矿床研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1999, 90-125.
[9] 卢焕章, 李秉伦, 沈 昆, 等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990, 1-242.
[10] Schmidt C, Bodnar R J. Synthetic fluid inclusions: XVI. PVTX properties in the system H_2O-NaCl-CO_2 at elevated temperatures, pressures, and salinities[J]. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 2000, 64: 3 853-3 869.
[11] Bodnar R J, and Sterner S M. Synthetic fluid inclusions[A]. In Ulmer G C, Barnes H L (eds). **Hydrothermal experimental techniques**[C]. New York: John Wiely & Sons, 1987, 423-457.
[12] Hedenquist J W and Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits[J]. **Nature**, 1994, 370: 519-527.
[13] 刘 斌, 沈 昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999, 1-290.
[14] Bodnar R J, Vityk M O. Interpretation of microthermometric data for H_2O-NaCl fluid inclusions[A]. In De Vivo B and Frezotti M L (Eds). **Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications**[C]. Virginia Tech, 1994, 117-130.
[15] Zhang Y G, Frantz J D. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-$CaCl_2$-H_2O using synthetic fluid inclusions [J]. **Chem Geol**, 1987, 64: 335-351.
[16] Bischoff J L, Pitzer K S. Liquid-vapor relations for the system NaCl-H_2O: summary of the P-T-x surface from 300 ℃ to 500 ℃[J]. **Amer J Sci**, 1989, 289: 217-248.
[17] 卢焕章. 成矿流体[M]. 北京: 北京科技大学出版社, 1997, 1-210.

STUDY OF THE FLUID INCLUSIONS IN ALTERED PORPHYRES IN THE BEIYA GOLD DEPOSIT, WSTERN YUNNAN

WU Kai-xing[1,2], HU Rui-zhong[1], BI Xian-wu[1],
PENG Jian-tang[1], SU Wen-chao[1], CHEN Long[3]

1. *Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang* 550002, *China*;
2. *Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing* 100039, *China*;
3. *Chinese Zhongmei Energy Source Corporation Ltd, Beijing* 100011, *China*

Abstract: The early stage fluid inclusions in the mineralized porphyry in contact zone (also on the edge of the breccia pipe) are dominated by CO_2-H_2O type, and the inclusions in none- or weakly mineralized porphyry from the inner rock body are by hypersaline H_2O-NaCl type. It illustrated that the fluid derived from alkali-rich magma had fractionated into CO_2-rich and hypersaline phases in its early stage, and the ore-forming metals were initially transplanted in the CO_2-rich phase, which occurred at the exterior of the fluid. Therefore, a conclusion might be drawn that the exo-contact zone and nearby was the favorable position for ore formation. The secondary fluid inclusions in quartz phanerocryst in altered rock samples from the inner rock body can approximately be divided into four generations. According to the result of microthermometry, estimation of the formation temperature and pressure, homogenization temperature-salty relation, and P-T plot of H_2O-NaCl system, the four generations of fluid inclusions reflected the change processes of environmental conditions (relative to the trapped fluids) and corresponding geological processes.

Key words: Beiya gold deposit; alkali-rich porphyry; fluid inclusion; trapping condition; fluid evolution

ISSN 1001- 6872(2005)02- 0020- 07; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Wu Kaixing, male, 35 years old, an engineer of ore deposit geochemistry. Now he is engaged in alkali-rich infracrustal rock and gold ore-forming relationship.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net