

文章编号: 1009-3850(2010)02-0103-05

小秦岭大湖金矿成矿流体特征及矿床成因

陈 莉¹, 毛景文², 叶会寿²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 本文运用流体包裹体岩相学、流体包裹体温度测试、流体包裹体成分分析等方法, 讨论了大湖金矿床成矿流体的特征和成矿机理。

关键词: 小秦岭; 大湖金矿; 流体包裹体; 成矿机理

中图分类号: P617.9 文献标识码: A

大洋板块俯冲造山体制的成矿模式和大陆碰撞造山体制的成矿模式^[1]的相继提出, 催生了造山型金矿的概念^[2]。已有研究表明, 造山型金矿主要为断裂控制的脉状矿床, 形成于造山带区域变质峰期之后, 成矿流体系统为低盐度、富 CO₂ 的变质热液^[3]。

本文以小秦岭大湖金矿各成矿阶段矿化石英脉为研究对象, 开展了比较系统的流体包裹体研究, 探讨大湖金矿床成矿流体的特征和成矿作用。

1 区域地质背景

小秦岭位于华北地台南缘华熊隆起。该隆起包含华山、崤山和熊耳山 3 个隆断区。小秦岭金矿带是华山隆断区的一部分。区内出露的地层主要为太古宙太华群变质岩(图 1), 岩性主要为斜长角闪岩、斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、太华群片麻岩、大理岩、条带状混合岩等。太华群片麻岩锆石的 SHRMP U-Pb 年龄为 $1846.0 \pm 9.9 \text{ Ma}$ ^[4]。

区内岩浆活动频繁, 出露面积最大的岩体主要为元古代二长花岗岩和中生代燕山期辉绿岩、花岗岩。中生代花岗岩岩体主要有华山岩体、文峪岩体和娘娘山岩体。小秦岭地区已发现韧性断裂 500 余条, 以近东西向为主, 北西向、北东向和南北

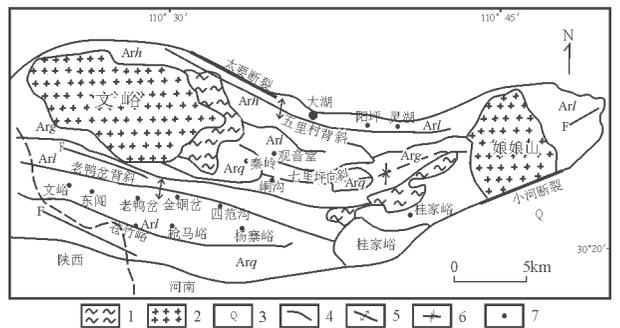


图 1 小秦岭金矿田地质及金矿床分布简图
(据陈衍景, 2006^[5]修改)

Arh—太古代焕池峪组大理岩和黑云斜长片麻岩; Arl—太古代间家峪组斜长角闪片麻岩; Arg—太古代观音堂组石英岩和黑云斜长片麻岩; Arq—太古代枪马峪组斜长角闪片麻岩。1 太古代混合岩; 2 中生代黑云花岗岩; 3 第四系; 4 断裂; 5 背斜; 6 向斜; 7 金矿

Fig 1 Geology and distribution of gold deposits in the Xiaolingling gold field (modified from Chen Yanjing 2006)

Arh=marble and biotite plagioclase gneiss in the Huanchuyu Formation; Arl=plagioclase amphibole gneiss in the Lujiayu Formation; Arg=quartzite and biotite plagioclase gneiss in the Guanyintang Formation; Arq=plagioclase amphibole gneiss in the Qiangnayu Formation. 1=Archean metagneiss; 2=Mesozoic biotite granite; 3=Quaternary sediments; 4=fault; 5=anticline; 6=syncline; 7=gold deposit

向次之。近东西向断裂带是本区的主要控矿构造。

2 矿床地质特征

大湖金矿床位于小秦岭北部五里村背斜北翼的山前地带,是一个典型的石英脉型金矿床,黄金储量28吨,平均品位 8.7×10^{-6} 。区内出露地层为太华群间家峪组混合岩及第四系。太华群间家峪组地层走向近东西向,岩性主要为混合片麻岩、黑云斜长片麻岩,其次为条带状混合岩、斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩。混合岩以重熔交代成因的混合花岗岩为主,约占基岩出露面积的80%。

矿区岩浆活动频繁,岩浆岩发育。主要有太古宙混合花岗伟晶岩,燕山期辉绿岩,中生代花岗斑岩等基性、酸性各类侵入岩。

矿区断裂构造十分发育,按产出特征可划分为近东西向、北西向、北东向和近南北向四组,其中以近东西向最为发育。其中F₁、F₅、F₆、F₃₅、F₇和F₈是本区的主要控矿断裂,其余皆为成矿前断裂。区内断裂具有多期活动性,断裂结构面呈压→压扭→张扭的复杂力学特征。F₅断裂是矿区的最主要控矿构造,控制矿床绝大部分工业储量^[6]。

石英脉和含金石英脉属于同一成矿作用不同阶段的产物。含金石英脉多呈脉状,透镜状和不规则状分布于含矿构造带中,脉体产状多与构造带相一致,亦有斜切构造带者。石英含量达99%,微量矿物为绢云母。金属矿物以黄铁矿为主,次为黄铜矿,方铅矿,辉钼矿等。围岩蚀变以硅化、黄铁绢英岩化、黄铁矿化、绢云母化为主。区内多处可见含金石英脉切穿辉绿岩,说明含金石英脉形成晚于辉绿岩,应属于燕山晚期的产物。

成矿作用具有多阶段特征。根据矿物共生组合及相互关系,划分为热液期和表生期。热液期进一步分为四个成矿阶段: M₁阶段早期以黄铁矿-石英脉为特征,石英脉矿化极弱,石英为乳白色、致密块状,黄铁矿呈自形立方体,呈浸染状产于石英脉中,石英气液包体多,含金性很差; M₂阶段形成石英-黄铁矿组合,以烟灰色石英为特征,黄铁矿呈半自形、自形立方体或五角十二面体,呈致密块状、条带状、细脉状、网脉状产于石英脉中,是主要的成矿阶段; M₃阶段为多金属硫化物阶段,以出现较多黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等为其特征; M₄为晚期碳酸盐阶段,石英、碳酸盐以胶结物形式充填于已形成的构造角砾之间,伴生矿物有方解石、白云石、铁白云石、玉髓状石英等,无金属硫化物形成,含金性微弱。

3 流体包裹体研究

矿物中的流体包裹体是矿物晶体在其生长过程中捕获的部分液体、气体和熔融体的代表,其作为成矿流体的样品,是矿物最重要的标型特征之一。流体包裹体地球化学在探明矿床成因方面有着特别的意义,对认识成矿物质的来源、运移和沉淀具有重要作用。

F₅含矿断裂是大湖金矿最主要的控矿构造,控制的19、22、21号矿体为矿区主矿体,其中以19号矿体规模最大,金储量占矿区总储量的68%。

本次测试样品采自F₅号脉19号矿体西部。

3.1 测试方法

温度测试在中国地质大学(北京)流体包裹体实验室进行,使用仪器为英国产的LipKam TH600冷热台,均一温度及冰点温度误差为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。包裹体成分分析在中科院地球物理研究所进行,气相成分分析采用RG202四极质谱仪,仪器重复测定精密度 $< 5\%$;液相成分分析采用HC-6A型离子色谱仪,重复测定精密度 $< 5\%$ 。

3.2 流体包裹体类型

在上述的4个成矿阶段中, M₄晚期碳酸盐阶段属于成矿期后作用,因此不作为研究对象。样品中的原生包裹体有3种物理状态类型: I型富液相两相包裹体或盐水溶液包裹体、II型含CO₂三相包裹体和III型纯气体包裹体。

I型富液相两相包裹体,盐水溶液包裹体(W型),室温下为两相,均一至液相,直径3~12 μm ,多数在4~8 μm 之间,气液比5%~30%,包裹体呈椭圆形、似圆形、不规则状,数量较多(图2)。

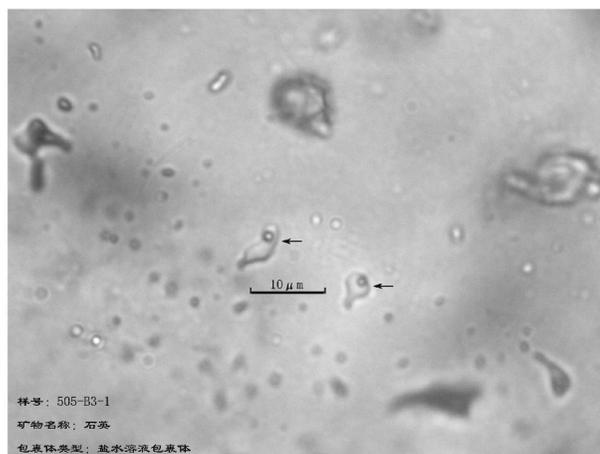


图2 石英脉中的盐水溶液包裹体
Fig 2 Saltwater inclusions in quartz veins

I型含 CO₂三相包裹体(C型)室温下为三相,含 CO₂气相常有晃动现象,直径 6~14μm,气液比 10%~80%,包裹体呈椭圆形、不规则形、长条形等,主要分布在成矿早阶段矿化石英脉中(图 3、图 4)。

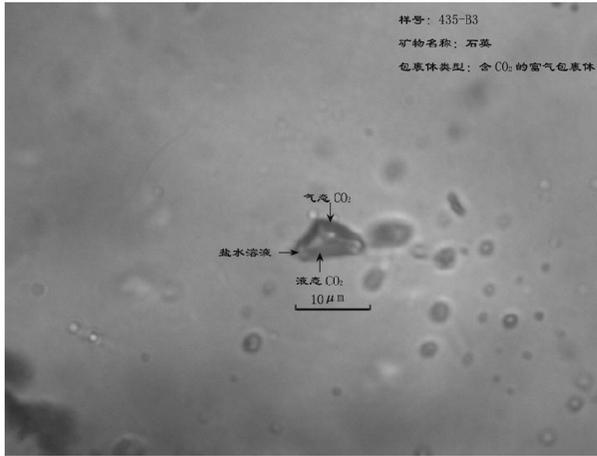


图 3 石英脉中的含 CO₂三相包裹体

Fig 3 CO₂-bearing three-phase inclusions in quartz veins

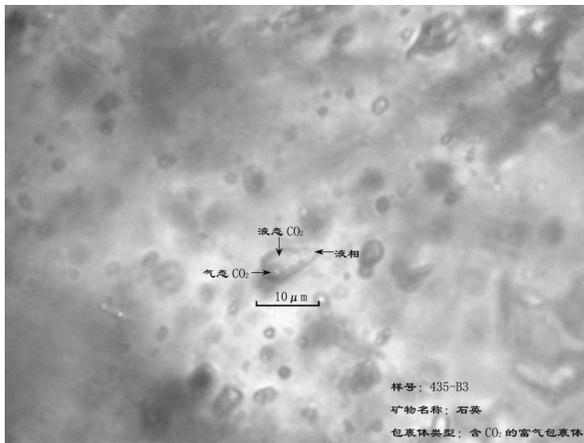


图 4 石英脉中的含 CO₂三相包裹体

Fig 4 CO₂-bearing three-phase inclusions in quartz veins

III型含 CO₂纯气体包裹体(P型)室温下呈一相,以 CO₂为主,还有少量的 CH₄、H₂S 等,直径 6~8μm,呈规则形态随机分布(图 5)。

不同成矿阶段的流体包裹体组合类型不同。成矿早期阶段,以富液相两相包裹体为主,含 CO₂三相包裹体和 CO₂纯气体包裹体都比较发育,包裹体数量多,个体较大,直径多在 4~14μm 之间,多为原生包裹体; M₂石英黄铁矿中阶段主要发育富液相两相包裹体,并存在少量含 CO₂三相包裹体; M₃多金属硫化物晚阶段以不含 CO₂、气液比较小的盐水溶液包裹体为主,数量较少,直径多在 3~8μm 之

间。

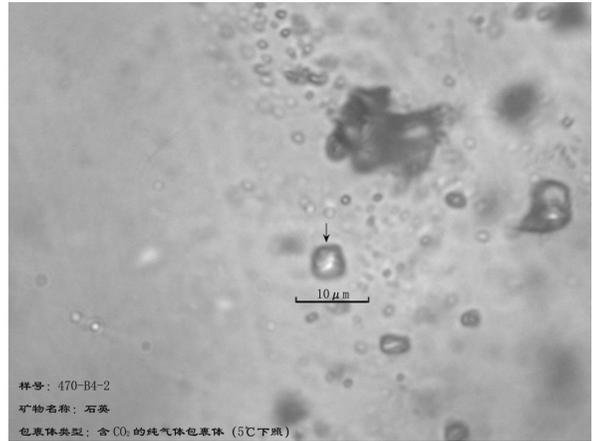


图 5 石英脉中的纯气体包裹体

Fig 5 Gas inclusions in quartz veins

3.3 包裹体测温及压力估算

M₁早阶段石英中,大多数 C型包裹体由于包裹体内压较高,在完全均一前发生爆裂,爆裂温度为 300~348℃,仅测得的两个完全均一温度为 300℃和 331℃。此类型包裹体中 CO₂均一致液相的部分均一温度范围为 12.3~26.8℃,笼形物消失温度为 2.7~3.2℃,据 Colling (1979)的 CO₂-NaCl-H₂O 体系 CO₂笼合物熔化和盐度关系表,得出含 CO₂三相包裹体盐度为 11.61%~12.29% NaCl。W型包裹体在早、中、晚阶段都有发育,均一温度为 125~360℃(图 6),从早期至中晚期温度有递减的趋势,冰点温度变化于 -7.0~-13.2℃。根据冰点和盐度的关系,根据 Potter (1978)^[7]等人的公式计算盐度主要在 10%~17% NaCl 之间。在中期和晚期阶段,存在盐度值的两个端元值,盐度分别为小于 5% NaCl 和 16%~20% NaCl。

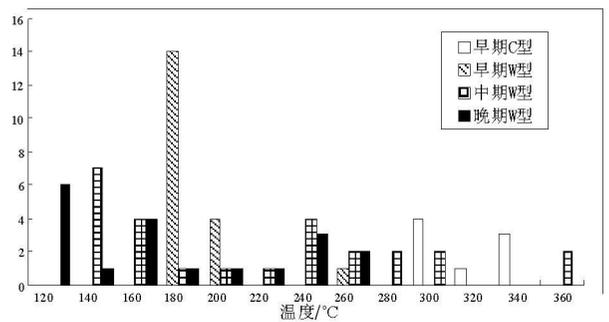


图 6 流体包裹体均一温度(含爆裂温度)直方图

Fig 6 Bar chart of the homogenization temperatures (including decrepitation temperatures) of fluid inclusions

根据已获得该类包裹体的均一温度和盐度,利用 Haas (1976)^[8]、Bodnar (1983)^[9]等计算流体密

度的公式, 计算得出流体密度在 $0.60 \sim 1.09 \text{ g/cm}^3$ 之间。

压力对成矿起着重要作用, 因成矿溶液中化合物及金属的溶解与压力有密切关系, 成矿过程中因构造活动频繁, 裂隙多次张开, 导致压力下降, 成矿系统热力学平衡遭到破坏, 成矿溶液沸腾, 挥发分(如 H_2O 、 CO_2 、 SO_2 等)逸散, 从而使成矿溶液中金属络合物分解, 析出金属矿物。

利用 $\text{NaCl-H}_2\text{O-CO}_2$ 体系的等容线图^[10] 计算的压力在 $100 \sim 150 \text{ MPa}$ 之间。

3.4 包裹体成分

包裹体气相成分分析采用四极质谱仪, 液相成分分析采用离子色谱仪, 测试结果包裹体所反映的成矿溶液以水为主, 占总量的 85% 以上, 并含有一定量其它离子和气相组分的热液。阳离子以 Na^+ 为主, 其次是 K^+ 和 Ca^{2+} ; 阴离子主要是 Cl^- , 其次是 F^- 和 SO_4^{2-} 。气相组分主要是 CO_2 , 含有一定数量的 CH_4 、 C_2H_6 、 H_2S 和 N_2 。成矿溶液属于 Na^+ (K^+ , Ca^{2+}) - Cl^- (SO_4^{2-} , F^-) - H_2O 体系。成矿流体中, CO_2 从成矿早期到晚期逐渐减少, 而 H_2O 的含量逐渐增加, 反映了成矿过程中大量大气水的加入。

4 成矿机理

4.1 沉淀机理

引起热液中成矿元素沉淀的因素主要有两个方面: 一是热液本身温度、压力、 pH 值、 Eh 值、 ξ_1 、 ξ_2 等物理化学条件的变化, 使原先稳定的络合物分解、矿质沉淀; 二是由于热液中某些成分浓度的改变造成络合物分解。热液成分变化主要是由热液与围岩之间的化学反应引起的, 因为不同性质液体的混合, 或因为热液边界条件的变化造成某些气态组分的逸失。总之, 成矿热液是一个多组分的复杂溶液系统, 对外界因素和内在因素的变化都极其敏感, 一旦化学平衡被破坏, 就会造成矿质的沉淀^[11]。

研究表明, 金在成矿流体中可呈络合物、胶体, 或被有机质吸附等多种形式迁移^{[12][13]}。但最普遍的是呈各种络合物形式存在于成矿流体中。成矿流体中金可呈 AuS 络合物、 AuCl 络合物、碳酸络合物、碲络合物等多种形式存在, 普遍为广大研究者接受的还是 AuS 络合物和 AuCl 络合物两类。中低温 ($< 300^\circ\text{C}$) 时, 金以硫化物络合物迁移, 更高温度下氯化物络合物可能变得更重要。

由金络合物的稳定性可知, 影响金络合物在热液中稳定存在的因素, 主要是流体温度、压力、 pH

f_{O_2} 和矿化剂浓度等物化条件。成矿作用过程中可引起流体物化条件变化的因素多种多样, 归纳起来主要有四种, 即冷却、沸腾、水岩反应和流体混合。一般说来, 绝大多数矿床的形成是多种沉淀机制共同作用的结果。

4.2 沸腾作用

沸腾流体包裹体组合是不混溶的流体包裹体的一种特殊类型。它的成因有多种, 一种可能是地下较高温度和压力的流体(如热液), 由于断裂等构造作用, 内部压力骤然降低, 使热液流体产生减压沸腾, 形成大量气体逸出, 矿物捕获这种沸腾气体和液相便形成这种包裹体组合。另外也可能由于高温流体从深部向上运移过程中, 在一定部位与地下潜水相遇, 这种地下潜水由于高温高压的影响, 发生沸腾而释放出气体, 矿物在此部位捕获的包裹体, 保存了两种相态的流体, 形成沸腾流体包裹体组合^[14]。

大湖金矿床流体在成矿早期发生过沸腾作用。理由有以下几点: ①成矿早期石英脉中富液相两相包裹体、含 CO_2 三相包裹体和纯气体包裹体共存; 不同填充度的气液包裹体共存, 并具有相似的均一温度范围; 由于沸腾作用的发生, 气体逸出, 所以在主成矿期以盐水溶液包裹体为主; ②盐度在成矿早期以 $10\% \sim 17\%$ NaCl 为主, 随着成矿作用的演化, 盐度出现分化, 部分盐度值逐渐增加, 可达 20% NaCl 。这可能是由于沸腾作用使流体中的气体组分逸出, 导致剩余流体的浓缩, 从而使盐度增高。

4.3 流体混合作用

大湖金矿床均一温度-盐度关系表明, M_1 阶段流体的盐度都在 $10\% \sim 15\%$ NaCl 范围内, 而 M_2 、 M_3 阶段出现低盐度 ($< 5\%$ NaCl) 的包裹体。说明主成矿阶段 M_2 、 M_3 有大量大气水加入, 使流体的盐度降低, 金的沉淀可能与这两种流体的混合作用有关。

有关金成矿的模拟实验研究证实, 通过水岩反应(如蚀变、交代等)能使金的存在形式发生变化, 使岩石中金的浸出率增加。金在自然界的存在形式主要有两种, 即在热液作用过程中易被活化进入溶液的活性金和在热液作用过程中难以进入溶液中的惰性金。水岩反应使得岩石中活性金的比例增大, 这样金就更容易转移进入成矿流体中^[15]。本区普遍发育的围岩蚀变指示了成矿流体与围岩之间发生了普遍的物质交换, 形成新的矿物组合, 消耗了成矿流体中的部分组分, 造成自由水的逸失, 剩余体系中水量减少。这一作用的直接结果是剩余流体中金属浓度增高, 使金属络合物达到饱和, 而致成矿物质沉淀^[16]。

综上所述,本文认为大湖金矿在成矿早期沉淀机理以沸腾作用为主,主成矿期流体混合作用、水岩反应和降温是矿质沉淀的主要因素。

5 结论

(1)大湖金矿矿体受韧性剪切带控制, F5韧性剪切带是矿区的最主要控矿构造,剪切带控制着含金石英脉和金矿体的产出。

(2)流体包裹体特况表明,大湖金矿床成矿流体以中低温(125~360℃)、中低盐度(10%~17% NaCl)、富含CO₂为特征,成矿流体属于Na⁺(K⁺, Ca²⁺)—Cl⁻(SO₄²⁻, F⁻)—H₂O体系。

(3)流体包裹体成分分析表明,随着成矿阶段的演化,流体中水的含量逐渐增加,反映成矿流体与地壳水—大气水的混合作用;包裹体岩相学研究表明,在成矿早期发生过沸腾作用;本区发育的围岩蚀变指示了水—岩相互作用;沸腾作用、流体混合作用和水—岩反应是本区矿质的沉淀原因。

参考文献:

- [1] 陈衍景,富士谷,卢冰. 金矿成因和系列的划分[J]. 地质科学进展, 1992, 7(3): 73—79
- [2] BOHLKE J F P. Orogenic (metamorphic hosted) gold-quartz veins (R). U S Geological Survey Open-File Report 1982 795 70—76
- [3] GOLDFARB R J D, GROVESI, GARDOLL S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis[J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18(12): 1—75
- [4] 毛景文,李晓峰,李厚民,等. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J]. 地质学报, 2003, 79(3): 342—372
- [5] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1181—1196
- [6] 何春芬. 小秦岭金矿田北矿带 F5断裂控矿作用[J]. 黄金, 2003, 24(3): 3—7
- [7] FOTTER R W, CLYNNE M A, BROWN D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions[J]. Economic Geology, 1978, 73(2): 284—285.
- [8] HASS J L. Physical properties of the coexisting phases and the thermochemical properties of the H₂O component in boiling NaCl solutions[J]. U S Geological Survey Bulletin, 1976, 1421A: 1—73
- [9] BODNAR R J. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids[J]. Economic Geology, 1983, 78: 535—542
- [10] SHMONOV V M, SHMULOVICH K J. Molar volumes and equation of state of CO₂ at temperatures from 100°C to 1000°C and pressures from 2000 bars to 10 000 bars[J]. Doklady Akad. Nauk SSSR, 1974, 217: 206—209.
- [11] 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室. 矿床地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1997
- [12] 华仁民. 成矿过程中流体混合而导致金属沉淀的研究[J]. 地球科学进展, 1994, 9(4): 15—21
- [13] 樊文苓,王声远,田戈夫. 金在碱性富硅热液中溶解和迁移的实验研究[J]. 矿物学报, 1995, 15(2): 176—183
- [14] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999
- [15] 王驹. 碳硅泥岩型金(铀)床成矿富集地球化学[M]. 北京: 原子能出版社, 1994
- [16] 林文蔚. 水岩反应中成矿流体的浓缩作用及其应用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(1): 10—13
- [17] 倪智勇,李诺,管申进. 河南小秦岭金矿田大湖金—钼矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2059—2068

Ore forming fluids and ore genesis of the Dahu gold deposit in the Xiaojinling gold field

CHEN Li, MAO Jingwen, YE Hui-shou

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract The Xiaojinling gold field on the southern margin of the North China platform is one of important gold metallogenic areas in China, where the gold deposits of varying sizes have been explored, including more than one thousand gold-bearing quartz veins and more than forty gold deposits. Exemplified by the Dahu gold deposit in the northern gold belt of the Xiaojinling gold field, the present paper gives a systematic study of fluid inclusions so as to examine the ore-forming fluids and metallogenic mechanism of the Dahu gold deposit on the basis of petrography, homogenization temperatures and compositions of fluid inclusions.

Key words Xiaojinling; Dahu gold deposit; fluid inclusion; metallogenic mechanism