

doi: 10.11720/wtyht.2023.1095

刘畅,张参辉,张鑫,等.河南灵宝董家塄银矿床流体包裹体特征及矿床成因探讨[J].物探与化探,2023,47(2):343-352. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1095>

Liu C, Zhang C H, Zhang X, et al. Fluid inclusions and formation mechanisms of the Dongjianshan silver deposit in Lingbao City, Henan Province, China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(2): 343-352. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1095>

河南灵宝董家塄银矿床流体包裹体特征及矿床成因

刘畅¹, 张参辉², 张鑫¹, 纵瑞²

(1. 河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454000; 2. 河南省地质矿产勘查开发局 第二地质矿产调查院, 河南 郑州 450000)

摘要:董家塄银矿位于小秦岭南缘,受小河断裂的次级构造控制,是小秦岭南带首次发现的大型贵金属矿床。矿床的热液成矿期分为 3 个阶段:石英—黄铁矿阶段(Ⅰ)、石英—多金属硫化物阶段(Ⅱ)和石英—碳酸岩化阶段(Ⅲ),其中石英—多金属硫化物阶段为主要成矿阶段。矿体主要发育气液两相包裹体(W 型)、含 CO₂ 包裹体(C 型)及纯 CO₂ 包裹体(PC 型)3 种类型,石英—黄铁矿阶段主要发育 C 型、W 型和少量 PC 型包裹体,石英—多金属硫化物阶段主要发育 W 型和少量 C 型包裹体。第Ⅰ及第Ⅱ成矿阶段的石英流体包裹体的均一温度范围分别为 151~270 ℃ 和 126~240 ℃,且呈降低趋势;盐度范围分别为 3.8%~22.42% NaCl_{eqv} 和 4.16%~20.48% NaCl_{eqv},整体变化不大,属于低盐度环境;CO₂ 由富转贫。估算成矿压力为 22.08~76.6 MPa,成矿深度 3.77~7.13 km,矿床类型为低盐度中低温中深成热液型银矿床。

关键词:董家塄银矿床;流体包裹体特征;热液矿床;小秦岭;河南

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2023)02-0343-10

0 引言

豫西小秦岭金银矿田构造发育,岩浆活动频繁,成矿地质条件优越,是我国重要的金(银)矿产集中区^[1]。以往的找矿成果多集中于小秦岭的中带、中北带和北带,而对南部地区研究相对较少。近年来,河南省地矿局第二地质矿产调查院在小河岩体南缘发现的董家塄大型银多金属矿床,实现了该区大中型矿床的找矿突破,并有可能开创小秦岭南带找矿的新局面。

小秦岭作为著名的金矿田,前人已进行过大量研究,取得了大量的成果资料,对区域成矿地质条件、成矿作用、矿床地质特征、控矿因素及矿床成因等多个方面进行过较多探讨^[2-12],但在矿床成矿流体来源及矿床成因方面仍存在不小的分歧:一部分研究者认为岩浆热液提供了主要的成矿流体来源,矿床成因应与岩浆热液有关,矿床类型为岩浆热液

矿床^[13-15];另一部分研究则指向变质热液是成矿流体的主要来源,矿床成因应与变质热液有关,矿床类型应为造山型矿床^[16-18]。相对于小秦岭北矿带、北中矿带和中矿带丰富的地质资料,小河断裂以南的研究成果较少,尤其是董家塄银矿床的研究资料更少,既有的资料也多偏重矿床地质特征的描述^[19],对流体包裹体的研究尚未见报道,影响了对该地区相关成矿作用或过程之类的认识及相关找矿工作的开展。本文旨在通过对董家塄银矿床主矿体第Ⅰ、Ⅱ成矿阶段流体包裹体的系统研究,探讨成矿流体的性质、演化,对其矿床成因进行初步讨论,丰富南矿带及董家塄银矿床的研究资料。

1 地质背景

董家塄银矿位于华北陆块南缘与秦岭褶皱带东段结合部位,华熊台缘拗陷卢氏—栾川断裂灵宝段位置^[20]。区内断裂、褶皱发育,岩浆活动强烈,成矿

收稿日期: 2022-03-02; 修回日期: 2022-07-22

基金项目: 河南省“探矿权、采矿权”价款(2018-22-06);河南省地质矿产勘查开发局地质科研项目(2017-01)

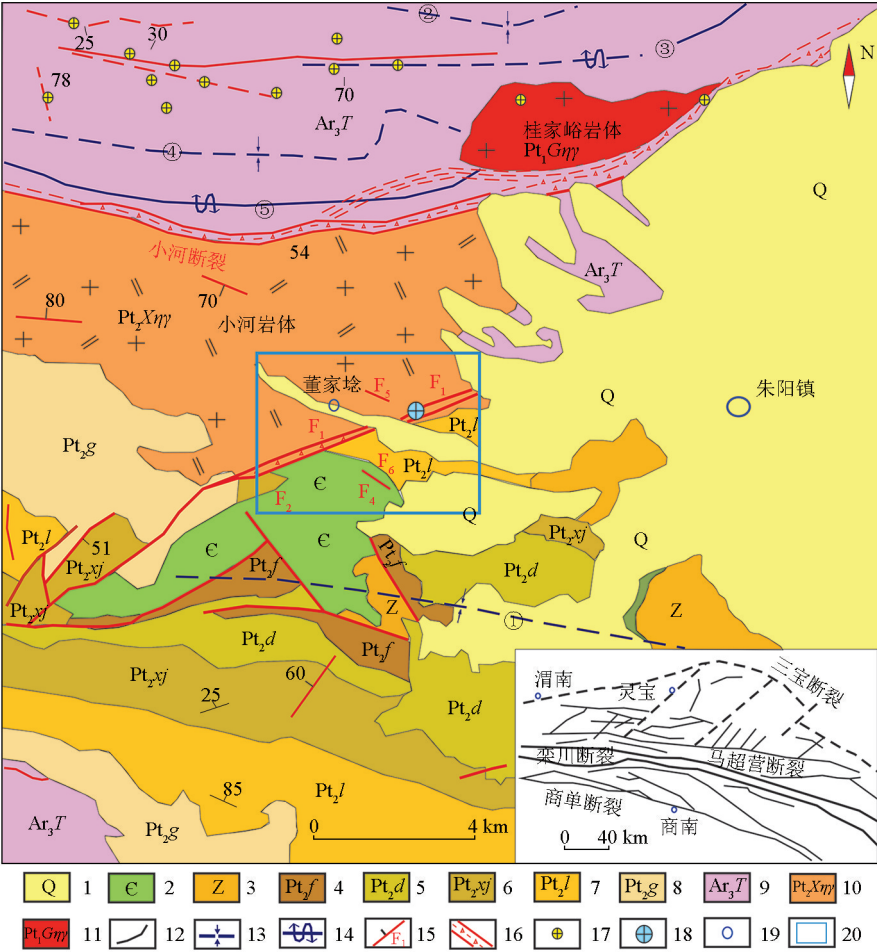
第一作者: 刘畅(1997-),男,河南开封人,硕士研究生,研究方向:固体矿产资源勘查、评价与综合利用。Email:liucc5201314@163.com

条件优越。新太古界太华群变质结晶基底在区域广泛出露,其上部为一套副变质岩,下部主要为变质基性表壳岩和变质花岗岩^[21-22]。盖层包括蓟县系、震旦系、寒武系和古近系。区域岩浆岩主要有古元古代桂家峪花岗岩和中元古代小河花岗岩。小河二长花岗岩内有大量蚀变闪长岩和辉绿岩脉穿插。区域构造以韧—脆性断裂为主,近 EW 向断裂发育,NE 向断裂次之。小河断裂带为小秦岭的南界,是研究区的主要区域断裂,产状南倾,倾角 60°~70°(图 1)。

研究区内出露的地层主要为新太古界太华群,中元古界官道口群高山河组和龙家园组,古生界寒

武系朱砂洞组和馒头组以及第四系堆积物,其中官道口群龙家园组泥质岩为矿体上盘的直接围岩。主要出露的岩浆岩为小河花岗岩体,分布于研究区西北部,是矿体(下盘)的直接围岩。

研究区构造较为简单,主要以陡倾断裂为主,褶皱不发育。F₁ 断裂为小河断裂的次级构造,断层规模较大,为主要含矿构造,宽 5~30 m,局部可达 50~60 m,断层下盘为小河岩体,上盘为元古宇高山河组石英砂岩夹泥质岩,断裂带内主要发育碎裂岩,并具有不同程度的蚀变和矿化。断层性质为张性,具有多期次活动特征。



1—第四系;2—寒武系;3—震旦系;4—冯家湾组;5—杜关组;6—巡检司组;7—龙家园组;8—高山河组;9—新太古界太华群片麻岩;10—小河岩体;11—桂家峪岩体;12—地质界线;13—向斜构造;14—背形构造;15—断层及产状;16—碎裂岩带;17—金矿床;18—铅银矿床;19—城镇;20—研究区范围;①—孟家村-民湾向斜;②—七树坪向斜;③—老鸦岔背形;④—庙沟向斜;⑤—上杨砦背形

1—Quaternary system;2—Cambrian system;3—Sinian system;4—Fengjiawan formation;5—Duguan formation;6—Xunjiansi formation;7—Longjiayuan formation;8—Gaoshanhe formation;9—Neoproterozoic Taihua group gneiss;10—Xiaohe rock mass;11—Gujiayu rock mass;12—geological boundary;13—syncline structure;14—back structure;15—fault and occurrence;16—cataclastic rock zone;17—gold deposits;18—lead-silver deposit;19—towns;20—study area;①—Mengjiacun-Minwan syncline;②—Qishuping syncline;③—Laoyacha back shape;④—Miaogou syncline;⑤—Shangyangzhai back shape

图 1 董家塄银矿区地质简图(据文献[23]修改)
Fig. 1 Geological map of Dongjiantan silver deposit(modified according to reference [23])

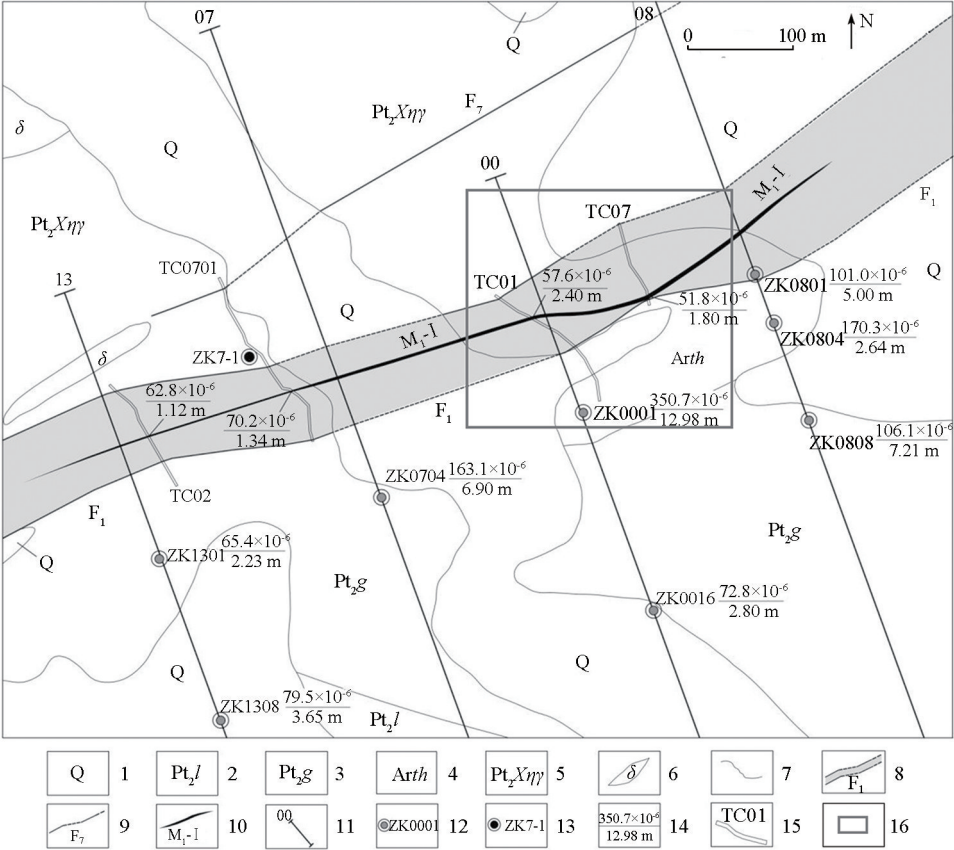
2 矿床地质特征

矿(化)体主要赋存于 F_1 构造蚀变带的中下部,主矿体为 M_1-I ,矿体形态较简单,呈陡倾脉状产出,产状与断裂带产状基本一致(图 2)。

银矿体严格受 F_1 构造控制,走向 NEE,延走向延伸约 650 m,产状南倾,倾角 $64^{\circ} \sim 77^{\circ}$,倾向控制斜深 300 m^[19]。见矿标高 630~973 m,埋深 0~282 m,Ag 的平均品位为 164.0×10^{-6} ,矿体厚度 7.06 m。矿体顶底板为碎裂蚀变岩,主要矿化为银,伴生铅锌,主要的金属矿物为硫锑铜银矿、辉银矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿和少量黄铁矿、黄铜矿(图 3)。Ag 主要以辉银矿(螺状硫银矿)形式存在,或富集于黝

铜矿、硫锑铜银矿中。主要非金属矿物为石英、钾长石、斜长石和绢云母等(图 4)。矿石结构构造简单,主要为自形—半自形晶粒状结构、他形粒状结构和碎裂结构;常见的构造为块状构造、浸染构造、脉状构造、网脉状构造等。矿体主要围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化和高岭石化,其中,硅化、绢云母化与 Ag 矿化关系密切。

根据矿脉穿插关系及矿物共生组合,热液成矿期可分为 3 个阶段:石英—黄铁矿阶段(Ⅰ)、石英—多金属硫化物阶段(Ⅱ)和石英—碳酸岩化阶段(Ⅲ),其中石英—多金属硫化物阶段为主要成矿阶段,形成大量方铅矿、闪锌矿、辉银矿、硫锑银矿及少量的黄铜矿和黄铁矿。第Ⅲ阶段的石英—碳酸岩脉沿张裂隙充填,局部厚度可达 20~30 cm。

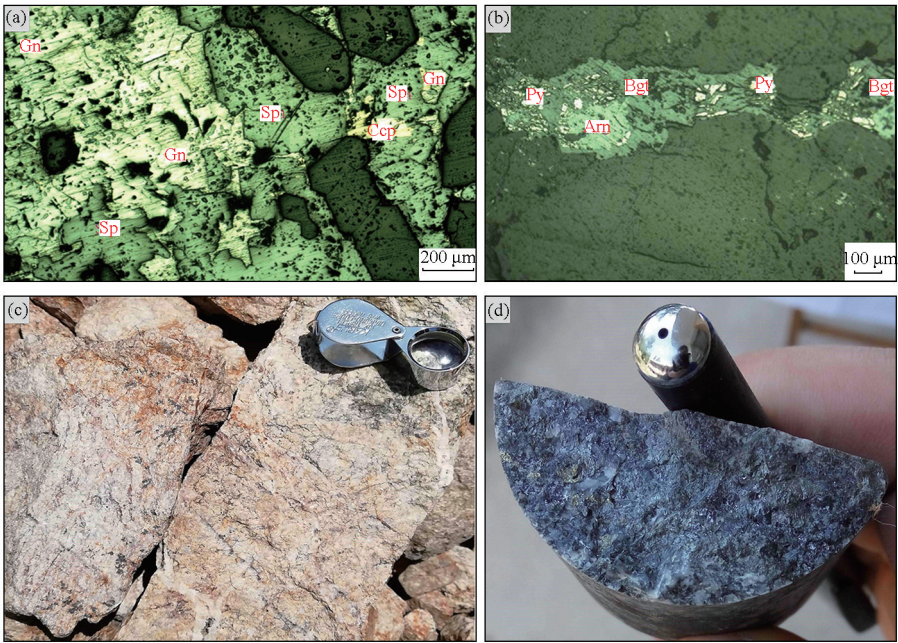


1—第四系;2—官道口群龙家园组;3—官道口群高山河组;4—太古宇太华群;5—小河二长花岗岩;6—闪长岩脉;7—地质界线;8—实测及推测的构造蚀变带;9—实测及推测的断层;10—银矿体位置及编号;11—勘探线及编号;12—见矿化钻孔;13—见矿钻孔;14—探槽或钻孔控制的主矿体品位及厚度;15—探槽及编号;16—取样范围

1—Quaternary system;2—Longjiayuan formation of Guandaokou group;3—Gaoshanhe formation of Guandaokou group;4—Archaeozoic Taihua group;5—monzogranite of Xiaohé rock;6—diorite vein;7—geological boundary;8—measured or inferred tectonic altered belt;9—measured or inferred fault;10—silver orebody and its serial number;11—exploration line and its serial number;12—drill hole intersecting mineralization body;13—drill hole intersecting orebody;14—grade and thickness of major orebody controlled by exploratory trench or drill hole;15—exploratory trench and its serial number;16—sampling range

图 2 董家塄银矿床 M_1-I 主矿体平面示意

Fig. 2 Sketch plan view of M_1-I major orebody of the Dongjianshan silver deposit

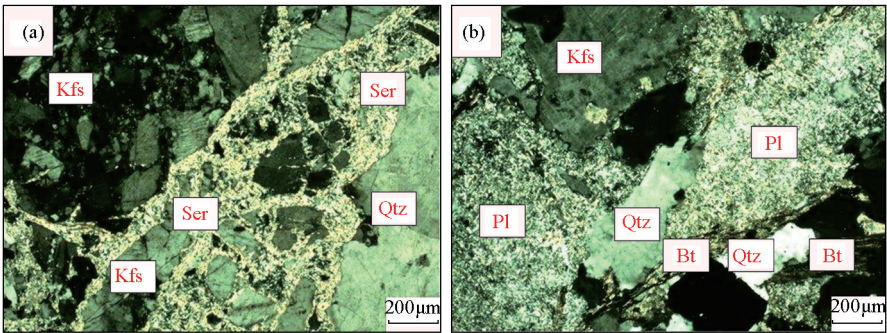


a—TC01 探槽光片,方铅矿 (Gn)、闪锌矿 (Sp)、黄铜矿 (Ccp) 等共生; b—TC01 探槽光片,细粒黄铁矿 (Py)、螺状硫银矿 (Arn)、硫砷银矿 (Bgt) 共生; c—TC1 探槽中的细脉状—浸染状金属矿化; d—ZK0001 钻孔中的黄铁矿化、方铅矿化银矿石

a—light sheet of TC01 trench, galena (Gn), sphalerite (Sp) and chalcopyrite (Ccp) are associated; b—light sheet of TC01 trench, fine grained pyrite (Py), spiral silver sulfide (Arn) and silver arsenic sulfide (Bgt) are associated; c—veinlet disseminated metallization in TC01 trench; d—pyritized and galena silver ore in ZK0001 borehole

图 3 董家埝银矿床的金属矿物及矿化

Fig. 3 The main ore minerals of Dongjiaian silver deposit



a—银矿化蚀变岩薄片: 岩石主要由钾长石 (Kfs)、石英 (Qtz)、绢云母 (Ser) 等组成; b—钻孔银矿石薄片: 岩石主要由斜长石 (Pl)、钾长石 (Kfs)、石英 (Qtz)、黑云母 (Bt) 等组成

a—silver mineralization altered rock slice thin sections: rocks are mainly composed of potash feldspar (Kfs), quartz (Qtz), sericite (Ser), etc. ; b—borehole silver ore thin sections: rocks are mainly composed of plagioclase (Pl), potassium feldspar (Kfs), quartz (Qtz), biotite (Bt), etc.

图 4 董家埝银矿床的脉石矿物特征

Fig. 4 The gangue mineral characteristics of Dongjiaian silver deposit

矿区内为岩浆侵入作用的岩浆活动, 主要分布于研究区北部, 表现为大面积出露的二长花岗岩以及呈脉状产出的闪长岩。其中二长花岗岩化学特征为富含硅和碱 (高钾低钠), 岩浆热液早期到晚期的演化方向为偏酸—偏碱, 同时具有轻稀土富集, 铈亏损的特征; 闪长岩脉主要发育在 F_1 断裂的北侧二长花岗岩岩体内, 多为 NE 向, 并且和 F_1 断裂大致平行, 多呈高角度侵入。

3 流体包裹体特征

包裹体样品主要采自 TC01、TC07 探槽和 ZK0001 钻孔, 以及地表露头 and 周边民采坑 (见图 2)。取样按成矿期次分别采取。主要以第 I、II 阶段矿体的石英流体包裹体为研究对象, 测试时选择发育较好的流体包裹体进行测温和成分分析。

3.1 流体包裹体岩相学特征

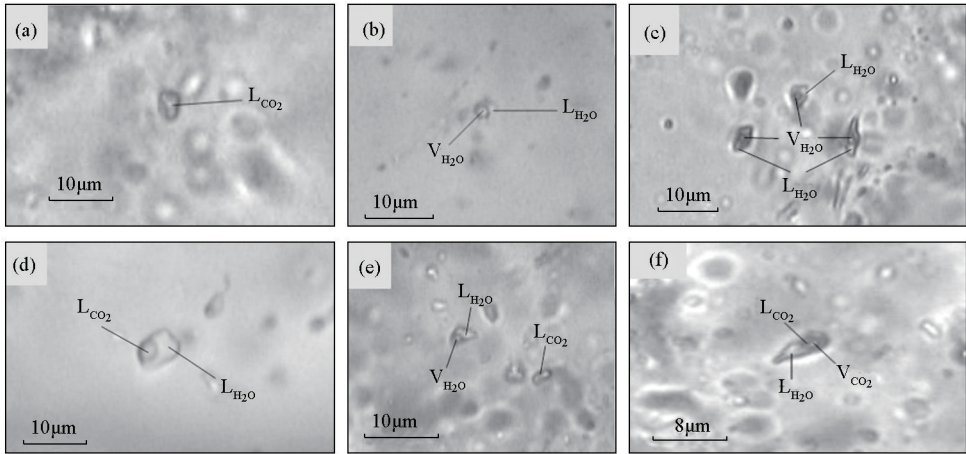
根据对流体包裹体冷冻及回温过程中的不同相态变化,矿床不同成矿阶段的流体包裹体主要有气液两相包裹体(W型)、含CO₂包裹体(C型)、纯CO₂包裹体(PC型)3种类型。石英中的流体包裹体整体呈群状或孤立分布,大部分为多边不规则状。流体包裹体的个体差别大,自1~40 μm,多数介于4~20 μm。包裹体气液比多集中在20%~50%,少数超过50%(图5)。

气液两相包裹体(W型)室温下主要呈气相水和液相水(L_{H₂O}+L_{H₂O})两相(图5b、c、e),体积相对较大。包裹体的气液比多数为10%~25%,少部分可达25%~50%,包裹体形态常呈椭圆形,长条形及多边形,大小不一,一般为4~12 μm,多与C型包裹

体成群分布。

含CO₂包裹体(C型)主要包括室温下呈两相(L_{H₂O}+L_{CO₂})及三相(L_{H₂O}+L_{CO₂}+V_{CO₂})的流体包裹体,两相的包裹体相对较多。包裹体中CO₂占总体积比例差别较大,大部分为20%~30%,其中气相CO₂占CO₂总体积的11%~30%,极少部分30%~42%。该型包裹体形态以近椭圆形为主,少部分形态不规则,分布均匀,大小一般为5~15 μm,多呈孤立分布或与W型包裹体成群分布(图5d、f)。

纯CO₂包裹体(PC型)室温下主要呈单相(L_{CO₂})孤立分布,数量稀少(图5a)。因无法获取其均一温度及盐度的有效数据,仅对W、C型包裹体进行研究。



a—第Ⅰ阶段的纯CO₂包裹体;b—第Ⅲ阶段的气液两相包裹体;c—第Ⅲ阶段的成群分布包裹体;d—第Ⅱ阶段的含CO₂两相包裹体;e—第Ⅱ阶段的气液两相及纯CO₂包裹体;f—第Ⅱ阶段的含CO₂三相包裹体

a—pure CO₂ inclusions in stage I ; b—gas-liquid two-phase inclusions in stage III ; c—grouped distribution inclusions in stage III ; d—CO₂-bearing two-phase inclusions in stage II ; e—gas-liquid two-phase and pure CO₂ inclusions in stage II ; f—CO₂-containing three-phase inclusions in stage II

图5 董家塄银矿石英流体包裹体显微照片

Fig. 5 Photomicrograph of fluid inclusions of Dongjianshan silver deposit

3.2 测试及数据处理

流体包裹体测温在中国科学院地球化学研究所矿床地质实验室进行,用英国产 LinkamTH600 冷热两用台(-196~+600 ℃)完成,采用均一法原理测温,用冷冻法原理测定包裹体液相的冰点,根据冰点计算包裹体液相的盐度^[24]。

测温过程中升温速率为0.5~10 ℃/min,相态转变温度附近升温速率0.2~0.5 ℃/min。共测试有效样品18件,有效包裹体测试个数约220个;激光拉曼测试选取流体包裹体不同阶段样品共10件,测试仪器为 RenishawRW-1000 型激光拉曼光谱仪,技术参数包括514.5 nmAr 的原子激光束,20 mW×100%的输出功率,50~4 000 cm⁻¹ 的波速范围,测试时每30 s 扫描一次。

对W型包裹体依据测得的冰点温度,先计算出流体盐度,再求出密度^[25-26];对C型包裹体,首先测得其笼形物融化温度,接着利用 Collins 的方法求得其盐度^[27],最后求流体密度。

3.3 流体包裹体显微测温结果

3.3.1 均一温度

第Ⅰ阶段主要发育W型包裹体、C型包裹体和少量PC型包裹体。统计结果显示,石英—黄铁矿阶段的W型包裹体均一温度范围为210~270 ℃;在经过先降温后升温的实验过程,得到C型包裹体固态CO₂的熔化温度(T_{m,CO₂})范围为-56.9~-56.5 ℃,笼形水合物熔化温度(T_{m,clath})为7.2~10.8 ℃,包裹体内的CO₂相部分均一温度(T_{h,CO₂})为12.1~29.6 ℃,C型包裹体完全均一温度(T_{h,tot})为151~268 ℃(表1)。

表 1 董家埧银矿床流体包裹体显微测温结果

Table 1 Temperature measurement results of fluid inclusions of Dongjianshan silver ore deposit

成矿阶段	包裹体类型	$T_{m,CO_2}/^{\circ}C$	$T_{m,ice}/^{\circ}C$	$T_{h,CO_2}/^{\circ}C$	$T_{m,clath}/^{\circ}C$	$T_{h,tot}/^{\circ}C$
石英—黄铁矿阶段 (I)	W 型包裹体	-56.9~-56.5	-1.0~-9.0	12.1~29.6	7.2~10.8	210~270
	C 型包裹体					151~268
石英—多金属硫化物阶段 (II)	W 型包裹体	-56.8~-56.6	-0.2~-3.5	20.2~24.6	8~11.9	126~240
	C 型包裹体					127~238

注： T_{m,CO_2} 为固体 CO_2 熔化温度； $T_{m,ice}$ 为冰点温度； T_{h,CO_2} 为 CO_2 部分均一温度； $T_{m,clath}$ 为笼形水合物熔化温度； $T_{h,tot}$ 为完全均一温度。

第 II 阶段主要发育 W 型包裹体及少量 C 型包裹体。该阶段 W 型包裹体均一温度范围为 126~240℃；在经过降温及升温的过程，得到 C 型包裹体固态 CO_2 的熔化温度 (T_{m,CO_2}) 范围为 -56.8~-56.6℃；笼形水合物熔化温度 ($T_{m,clath}$) 为 8~11.9℃，包裹体内的 CO_2 相部分均一温度 (T_{h,CO_2}) 为 20.2~24.6℃，C 型包裹体的完全均一温度 ($T_{h,tot}$) 为 127~238℃。

3.3.2 冰点温度及盐度

第 I 成矿阶段包裹体冰点温度的范围为 -1~-9℃，平均温度 -5.1℃；第 II 成矿阶段包裹体冰点温度的范围为 -0.2~-3.5℃，平均温度 -2.4℃。

由于包裹体的流体体系不同，不同类型的包裹

体有不同类型的计算方法。W 型包裹体盐度利用 Hall 等^[25]提出的盐度公式计算：石英—黄铁矿阶段 W 型包裹体的盐度范围为 18.78%~22.42% NaCleqv，平均盐度 20.61% NaCleqv；石英—多金属硫化物阶段 W 型包裹体的盐度范围为 18.42%~20.48% NaCleqv，平均盐度 19.2% NaCleqv。C 型包裹体根据 Collins^[27]提出的盐度公式求取：石英—黄铁矿阶段的 C 型包裹体盐度范围为 3.8%~15.83% NaCleqv，平均盐度 8.26% NaCleqv；石英—多金属硫化物阶段的 C 型包裹体盐度范围为 4.16%~16.49% NaCleqv，平均盐度 7.65% NaCleqv。通过计算得知，第 I、II 阶段的盐度平均值为 8.22% NaCleqv，总体状态呈中低盐度（图 6）。

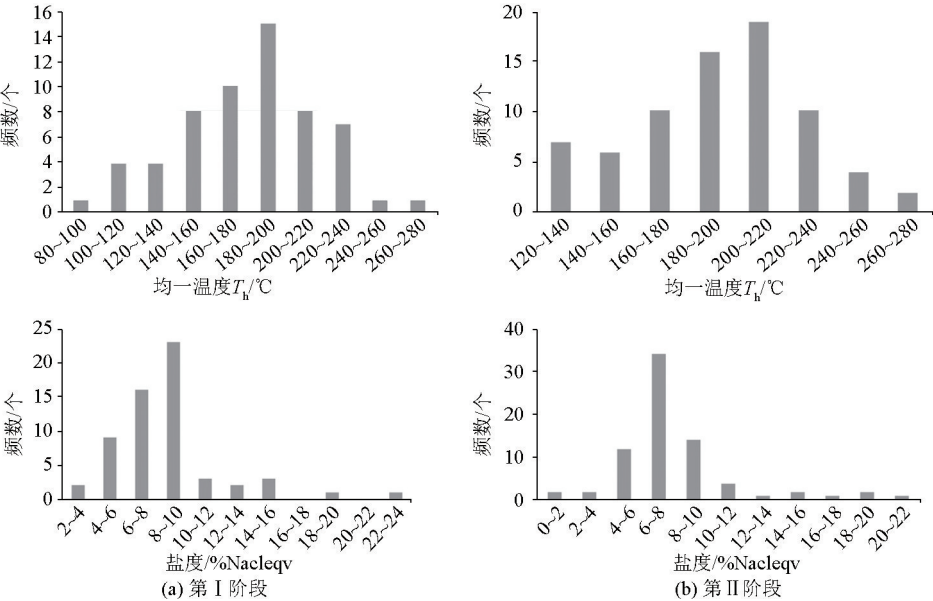


图 6 董家埧银矿床第 I (a)、II (b) 成矿阶段流体包裹体均一温度及盐度直方图
Fig. 6 Histogram of uniform temperature and salinity of fluid inclusions in stage I (a) and II (b) metallogenic of Dongjianshan silver deposit

3.4 流体密度及压力估算

通过得到的流体包裹体盐度及均一温度数据，结合 Flnclor 流体包裹体计算程序，得出流体密度和压力：本矿床的整体流体密度范围为 0.793~0.975 g/cm³，平均流体密度 0.889 g/cm³，属低密度流体，变化范围较小；估算成矿压力为 22.08~

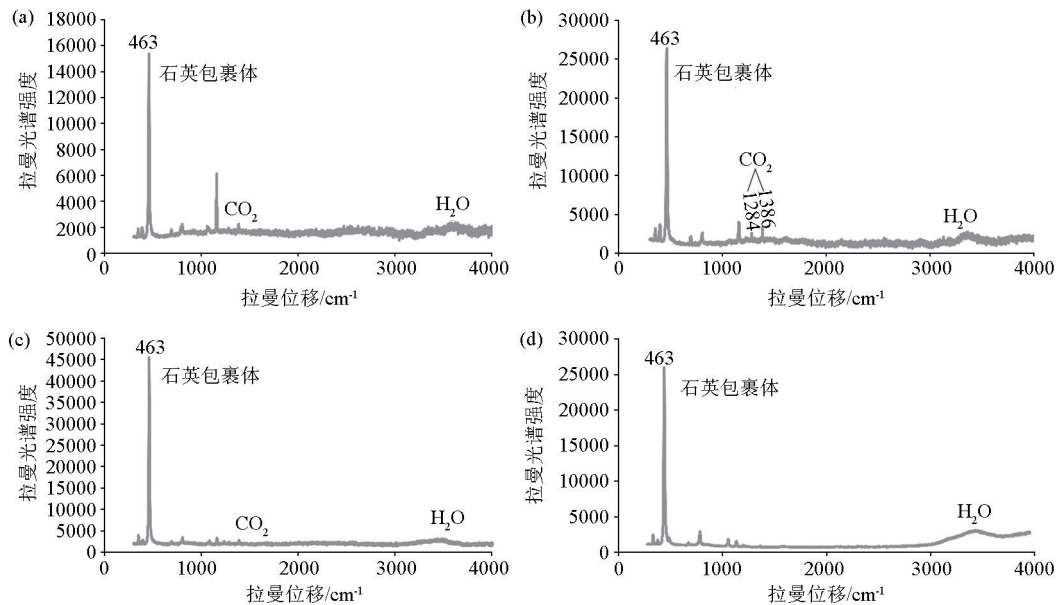
76.6 MPa，且有逐渐减小的趋势。根据孙丰月等^[28]提出的成矿深度与压力的计算公式，得出本矿床的成矿深度为 3.77~7.13 km，平均成矿深度约 5.57 km。

3.5 流体包裹体成分组成

流体包裹体的成分用激光拉曼光谱法求得。测

试表明:第 I 阶段的主要液相成分和气相成分为 H_2O (特征峰值 $3\,310\sim3\,610\text{ cm}^{-1}$) 和 CO_2 (特征峰值 $1\,386\sim1\,390\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,284\text{ cm}^{-1}$);第 II 阶段流体包裹

体的主要成分为 H_2O (特征峰值 $3\,310\sim3\,610\text{ cm}^{-1}$), 部分含少量 CO_2 ;第 III 阶段成分简单,为 H_2O (特征峰值为 $3\,310\sim3\,610\text{ cm}^{-1}$) (图 7)。



a、b—第 I 阶段石英包裹体成分;c—第 II 阶段石英包裹体成分;d—第 III 阶段石英包裹体成分

a、b—stage I composition of quartz inclusions;c—stage II composition of quartz inclusions;d—stage III composition of quartz inclusions

图 7 流体包裹体成分激光拉曼位移图谱

Fig. 7 Laser Raman spectra of fluid inclusion

4 讨论

根据以上分析,从包裹体地球化学方面可对董家塄银矿的成矿流体性质、演化与矿床成因类型提供有用的信息支持。

从前文的分析可以看出,董家塄银矿的石英流体包裹体主要是液相和气相两部分,成分主要为 H_2O 和 CO_2 ,总的特点为:①均一温度主要集中在 $126\sim270\text{ }^\circ\text{C}$,属中低温矿床;②盐度集中在 $4\%\sim12\%\text{ NaCleqv}$,整体变化不大,属低盐度环境;③流体密度主要集中于 $0.793\sim0.975\text{ g/cm}^3$,属低密度流体;④成矿压力估计范围 $22.08\sim76.6\text{ MPa}$,且有逐渐减小趋势;⑤估算成矿深度 $3.77\sim7.13\text{ km}$ 。反映的流体演化趋势是:成矿流体成分由 $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ 体系向 H_2O 体系演化, CO_2 含量逐渐降低;包裹体均一温度从成矿早期的 $151\sim270\text{ }^\circ\text{C}$ 到成矿中期的 $126\sim238\text{ }^\circ\text{C}$,反映了成矿温度总体逐渐降低的趋势;包裹体盐度从成矿早期的 $3.8\%\sim22.42\%\text{ NaCleqv}$ 到成矿中期的 $4.16\%\sim20.48\%\text{ NaCleqv}$,总体变化不大,成矿环境整体处于中低盐度。

本矿床的包裹体类型较复杂分散,3 种不同类型的包裹体或者同种类型但气液比不同的包裹体在

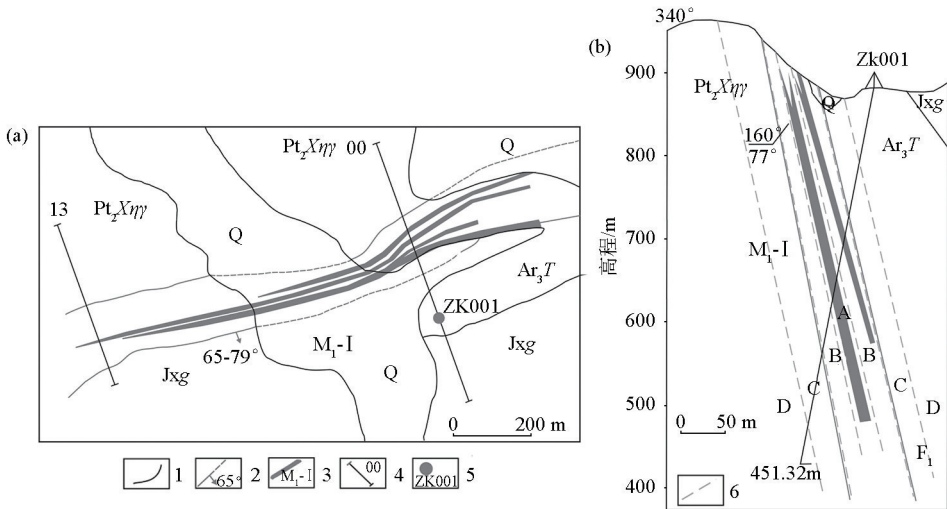
同一视野共存,同种包裹体但气液比不同的包裹体均一温度相近,这些特征暗示成矿流体经历了流体沸腾作用或不混溶作用^[13,17-18,29],导致 CO_2 等挥发性气体逃逸,大量成矿物质沉淀,显示矿床具有造山型矿床的部分特征^[16-18,30-32]。

一般而言,变质流体具有富 CO_2 、低盐度的特点,改造流体为低盐度、贫 CO_2 ,而岩浆流体的特点是高盐度^[30]。本矿床的成矿流体早阶段应为富 CO_2 、低盐度的变质流体,而晚阶段应为低盐度、贫 CO_2 的改造流体。根据前人对小秦岭地区石英 C—H—O 等同位素的研究,成矿流体早阶段源自变质流体,中阶段源自变质流体和大气降水的混合,晚阶段源自大气降水^[13-17]。由此推断,董家塄银矿的成矿流体初始应为富 CO_2 、中温的变质流体,伴随着 CO_2 等挥发物的散失、温度下降、压力降低,形成含 CO_2 的中低温流体,最终演化为贫 CO_2 的低温、低盐度流体。

董家塄银矿体存在于 F_1 构造蚀变带内,顶底板均为碎裂蚀变岩,从矿体中心往两侧依次分为内、外、中 3 个明显的蚀变带:银铅矿化绢英岩带—绢英岩化碎裂岩带—钾化蚀变花岗岩带(图 8)。绢英岩化碎裂岩是近矿蚀变标志,银铅矿化绢英岩是直接矿体标志。同时由于 F_1 断裂规模较大,拥有较为理

想的运移通道以及容矿空间,围岩主要为碎裂蚀变岩以及构造角砾岩,蚀变主要以硅化以及绢云母化为主,局部发育有弱绿泥石化和绿帘石化,银矿化程度与硅化强弱呈正比关系,与绢云母化呈反比关系,再加上区域内多期次强烈的岩浆活动,形成了不同

时期和不同形态的中酸性岩基以及岩脉,并为区内银矿的形成提供了必要的热动力。故认为董家塄银矿为与造山作用有关的低盐度中低温中深成热液型银矿床。



1—地质界线;2—断层及产状;3—矿体及编号;4—勘探线及编号;5—钻孔及编号;6—蚀变界限;Q—第四系;Jxg—高山河组;Ar₃T—新太古界太华群;Pt₂X₁γγ—小河二长花岗岩;A—内蚀变带;B—中蚀变带;C—外蚀变带;D—正常围岩
1—geological boundary;2—fault and occurrence;3—orebody and number;4—exploration line and number;5—drilling and number;6—alteration boundary;Q—Quaternary;Jxg—Gaoshanhe formation;Ar₃T—Archaean Taihua group;Pt₂X₁γγ—Xiaohe monzonitic granite;A—internal alteration zone;B—medium alteration zone;C—external alteration zone;D—normal surrounding rock

图 8 矿区银矿体平面(a)、第 00 勘探线钻孔剖面(b)^[19]

Fig. 8 Silver orebody plane in mining area (a)、No. 00 prospecting line profile map (b)^[19]

5 结论

1)董家塄银矿的主矿体中发育的流体包裹体类型有气液两相包裹体(W型)、含CO₂包裹体(C型)和纯CO₂包裹体(PC型)。石英—黄铁矿阶段主要发育C型、W型和少量PC型包裹体,石英—多金属硫化物阶段主要发育W型和少量C型包裹体。
2)石英—黄铁矿阶段及石英—多金属硫化物阶段的包裹体均一温度范围分别为151~270℃和126~240℃,盐度范围分别为3.8~22.42%NaCleqv和4.16~20.48%NaCleqv,流体密度主要集中于0.793~0.975g/cm³,CO₂的特征峰值从第I阶段的1386~1390cm⁻¹过渡到第II阶段仅有部分包裹体含少量CO₂。矿床的成矿流体总体具有中低温、低盐度、低密度和富CO₂的特征,且有由富CO₂向贫CO₂演化的趋势。
3)矿床类型为与造山作用有关的低盐度、中低温、中深成热液型银矿床。

参考文献(References):

[1] 王义天,毛景文. 碰撞造山作用期后伸展体制下的成矿作

用——以小秦岭金矿集中区为例[J]. 地质通报,2002(Z2): 562-566.
Wang Y T, Mao J W. Mineralization under the extension system after the collision orogenic period: A case study of the Xiaolinling gold deposit area[J]. Geological Bulletin, 2002(Z2): 562-566.
[2] 王晋定,王大钊,詹小飞,等. 小秦岭金成矿区南矿带构造控矿规律和矿床定位样式[J]. 大地构造与成矿学,2018,42(6): 1064-1077.
Wang J D, Wang D Z, Zhan X F, et al. Tectonic ore-controlling laws and deposit positioning styles in the southern ore belt of the Xiaolinling gold metallogenic area[J]. Tectonics and Mineralization, 2018, 42(6): 1064-1077.
[3] 刘宗彦,张灯堂,刘运华,等. 小秦岭金矿田韧性剪切带的控矿规律及中深部成矿分析[J]. 矿产与地质,2018,32(4): 605-615.
Liu Z Y, Zhang D T, Liu Y H, et al. Ore-controlling law and metallogenic analysis of the ductile shear zone in the Xiaolinling gold ore field[J]. Mineral Resources and Geology, 2018, 32(4): 605-615.
[4] 吴晓贵. 小秦岭东桐峪金矿床稳定同位素地球化学及成矿物质来源[J]. 西北地质,2016,49(4): 91-98.
Wu X G. Stable isotope geochemistry and source of ore-forming materials of Dongtongyu gold deposit in Xiaolinling[J]. Northwest Geology, 2016, 49(4): 91-98.
[5] 铁健康,董少波,马林霄,等. 小秦岭文峪金矿床深部地质特征

- 及成矿规律[J]. 山东国土资源, 2015, 31(3): 7-11, 15.
- Tie J K, Dong S B, Ma L X, et al. Deep geological characteristics and metallogenic regularity of the Wenyu gold deposit in Xiaojinling[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(3): 7-11, 15.
- [6] Mao J W, Qiu Y M, Goldfarb R J, et al. Gold deposits in the Xiaojinling-Xiong'er shan region, Qinling Mountains, Central China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37: 306-325.
- [7] Bi S J, Li J W, Zhou M F, et al. Gold distribution in As-deficient pyrite and telluride mineralogy of the Yangzhaiyu gold deposit, Xiaojinling district, southern North China craton[J]. Mineralium Deposita, 2011, 46: 925-941.
- [8] 郭云成. 小秦岭大湖金钼矿床包裹体特征与成矿物质来源研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- Guo Y C. Characteristics of inclusions and source of ore-forming materials in the Xiaohuling Dahu gold-molybdenum deposit[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [9] 曾昊. 河南省小秦岭地区灵金一矿成矿流体研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- Zeng H. Research on the ore-forming fluid of Lingjin No. 1 Mine, Xiaojinling area, Henan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2016.
- [10] 倪智勇, 李诺, 管申进, 等. 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): 2058-2068.
- Ni Z Y, Li N, Guan S J, et al. Characteristics of fluid inclusions and ore genesis of the Dahu Au-Mo deposit in the Xiaojinling gold field, Henan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(9): 2058-2068.
- [11] 周振菊, 蒋少涌, 秦艳, 等. 小秦岭文峪金矿床流体包裹体研究及矿床成因[J]. 岩石学报, 2011, 27(12): 3787-3799.
- Zhou Z J, Jiang S Y, Qin Y, et al. Study on fluid inclusions and genesis of Wenyu gold deposit in Xiaojinling[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(12): 3787-3799.
- [12] 赵海香, 嵇静, 赵智, 等. 小秦岭大湖金钼矿床流体包裹体研究及矿床成因[J]. 高校地质学报, 2017, 23(1): 72-82.
- Zhao H X, Yun J, Zhao Z, et al. Research on fluid inclusions and genesis of Dahu gold and molybdenum deposit in Xiaojinling[J]. Geological Journal of China Universities, 2017, 23(1): 72-82.
- [13] 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦, 等. 小秦岭金矿地质和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- Li S M, Qu L Q, Su Z B, et al. The geology and metallogenic prediction of the gold deposit in Xiaojinling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [14] Jiang N, Xu J H, Song M X. Fluid inclusion characteristics of mesothermal gold deposits in the Xiaojinling district, Shannxi and Henan Provinces, People's Republic of China[J]. Mineralium Deposita, 1999, 34: 150-162.
- [15] Fan H R, Xie Y H, Zhao R, et al. Dual origins of Xiaojinling gold-bearing quartz veins: Fluid inclusion evidence[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(15): 1424-1430.
- [16] Zhou Z J, Chen Y J, Jiang S Y, et al. Geology, geochemistry and ore genesis of the Wenyu gold deposit, Xiaojinling gold field, Qinling Orogen, southern margin of North China Craton[J]. Ore Geology Reviews, 2014, 59(6): 1-20.
- [17] Zhou Z J, Chen Y J, Jiang S Y, et al. Isotope and fluid inclusion geochemistry and genesis of the Qiangma gold deposit, Xiaojinling gold field, Qinling Orogen, China[J]. Ore Geology Reviews, 2015, 66(2): 47-64.
- [18] 蒋少涌, 戴宝章, 姜耀辉, 等. 胶东和小秦岭: 两类不同构造环境中的造山型金矿省[J]. 岩石学报, 2009, 25(11): 2727-2738.
- Jiang S Y, Dai B Z, Jiang Y H, et al. Jiaodong and Xiaojinling: Two orogenic gold provinces formed in different tectonic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(11): 2727-2738.
- [19] 纵瑞, 董岷廷, 张凯涛, 等. 豫西董家塄银矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 资源环境与工程, 2018, 32(3): 367-372.
- Zong R, Dong D Z, Zhang K T, et al. Geological characteristics and genesis of Dongjiayu silver deposit in western Henan[J]. Resources Environment & Engineering, 2018, 32(3): 367-372.
- [20] 郭保健, 徐孟罗, 王志光, 等. 熊耳山北坡拆离断层带地球化学特征及其与金银矿化的关系[J]. 矿产与地质, 1997, 11(1): 21-26.
- Guo B J, Xu M L, Wang Z G, et al. Geochemical characteristics of the detached fault zone on the northern slope of Xiong'er Mountain and its relationship with gold and silver mineralization[J]. Mineral Resources and Geology, 1997, 11(1): 21-26.
- [21] 栾世伟, 曹殿春, 方耀奎, 等. 小秦岭金矿床地球化学[J]. 矿物岩石, 1985(2): 2-134.
- Luan S W, Cao D C, Fang Y K, et al. Geochemistry of the Xiaojinling gold deposit[J]. Mineral Rocks, 1985(2): 2-134.
- [22] 冯建之. 河南小秦岭金矿构造控矿规律及控矿模式[J]. 矿产与地质, 2009, 23(4): 302-307.
- Feng J Z. Structural ore-controlling law and ore-controlling model of the Xiaojinling gold deposit, Henan Province[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(4): 302-307.
- [23] 赵海香. 河南小秦岭金矿成矿作用地球化学研究[D]. 南京: 南京大学, 2011.
- Zhao H X. Geochemical study of gold mineralization in Xiaojinling, Henan Province[D]. Nanjing: Nanjing University, 2011.
- [24] 国家能源局. SY/T 6010—2011 中华人民共和国石油天然气行业标准: 沉积盆地流体包裹体显微测温方法[S]. 2011.
- National Energy Administration. SY/T 6010—2011 Petroleum and natural gas industry standards of the People's Republic of China: Microscopic temperature measurement method for fluid inclusions in sedimentary basins[S]. 2011.
- [25] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions[J]. Econ Geol, 1988, 83(1): 197-202.
- [26] 刘斌, 段光贤. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345-352.
- Liu B, Duan G X. The density and isochoric formulae for NaCl-H₂O fluid inclusions (salinity $\leq 25\text{wt}\%$) and their applications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1987, 7(4): 345-352.
- [27] Collins P L F. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity[J]. Econ Geol, 1979, 74: 1435-1444.
- [28] 孙丰月, 金巍, 李碧乐, 等. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思

考[J]. 长春科技大学学报,2000,30(S):27-30.

Sun F Y, Jin W, Li B L, et al. Thoughts on the mineralization depth of the vein hydrothermal gold deposit[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(S): 27-30.

[29] 李晶, 陈衍景, 李强之, 等. 甘肃阳山金矿流体包裹体地球化学和矿床成因类型[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2144-2154.

Li J, Chen Y J, Li Q Z, et al. Geochemistry and genesis types of fluid inclusions of Yangshan gold deposit in Gansu[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(9): 2144-2154.

[30] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2085-2108.

Chen Y J, Ni P, Fan H R, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(9): 2085-2108.

[31] 张静, 陈衍景, 李国平, 等. 河南内乡县银洞沟银矿地质和流体包裹体特征及成因类型[J]. 矿物岩石, 2004, 24(3): 55-64.

Zhang J, Chen Y J, Li G P, et al. Geological and fluid inclusion characteristics and genetic types of Yindonggou silver deposit in Neixiang County, Henan Province[J]. Mineral Rocks, 2004, 24(3): 55-64.

[32] 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.

Chen Y J. Orogenic type deposits and their metallogenic model and exploration potential[J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1181-1196.

Fluid inclusions and formation mechanisms of the Dongjianian silver deposit in Lingbao City, Henan Province, China

LIU Chang¹, ZHANG Can-Hui², ZHANG Xin¹, ZONG Rui²

(1. Institute of Resources & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. No. 2 Institute of Geological and Mineral Survey, Henan Bureau of Geo-exploration & Mineral Development, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The Dongjianian silver deposit, located on the southern margin of the Xiaoqinling Mountains, is controlled by the secondary structures of the Xiaohe fault and is the first large precious metal deposit discovered in the southern belt of the Xiaoqinling Mountains. This deposit has three hydrothermal metallogenic stages, namely the quartz-pyrite metallogenic stage (I), the dominant quartz-poly-metallic sulfide metallogenic stage (II), and the quartz-carbonate metallogenic stage (III). Three types of inclusions have primarily developed in the ore bodies, namely gas-liquid two-phase inclusions (W-type), CO₂-bearing inclusions (C-type), and pure CO₂ inclusions (PC-type). Stage I primarily witnessed the development of C- and W-type inclusions and a small quantity of PC-type inclusions, and stage II mainly saw the development of W-type inclusions and a small amount of C-type inclusions. The quartz fluid inclusions formed in stages I and II have homogenization temperature ranges of 151~270 °C and 126~240 °C, respectively, which exhibits a downward trend. Their salinity varies slightly in the ranges of 3.8%~22.42% NaCleqv and 4.16%~20.48% NaCleqv, respectively, indicating a low-salinity environment. Their CO₂ content transformed from enrichment into deficiency. The metallogenic pressure and depth were estimated to be 22.08~76.6 MPa and 3.77~7.13 km, respectively. Therefore, the Dongjianian silver deposit is a low-salinity medium- to low-temperature meso-epithermal silver deposit.

Key words: Dongjianian silver deposit; fluid inclusion characteristics; hydrothermal deposit; Xiaoqinling Mountains; Henan

(本文编辑: 蒋实)