

河南祁雨沟金矿流体包裹体及矿床成因类型研究

李 诺 赖 勇 鲁颖淮 郭东升

(北京大学造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871)

摘要:河南祁雨沟金矿位于华北克拉通南缘的熊耳地体,产于燕山期火山隐爆角砾岩筒内。流体包裹体研究表明,祁雨沟金矿不同成矿阶段的石英中的流体包裹体有 3 种类型:水溶液包裹体、含子矿物包裹体和含 CO₂ 包裹体。成矿早期流体为高温(>350°C)、高盐度(>30wt%NaCl.eqv)、高氧逸度、富 CO₂ 的岩浆流体,经流体减压沸腾、挥发分逸失、氧逸度降低、温度降低演化为导致大量金属硫化物及金沉淀的还原性流体,再经大气降水的混入和降温等过程,演化为晚阶段低温、低盐度的大气降水热液。祁雨沟金矿的地质和成矿流体特征指示其应为爆破角砾岩型,而非浅成低温热液型。

关键词:流体包裹体;爆破角砾岩型金矿;祁雨沟;河南

中图分类号:P618.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)06-1230-10

祁雨沟金矿位于河南嵩县境内,是熊耳地体最早(1978 年之前)发现的金矿^[1]。祁雨沟金矿的发现带动了熊耳地体 10 多个大、中型金矿陆续发现(图 1),使熊耳地体成为中国著名的金矿集中区之一。祁雨沟金矿的地质地球化学研究一直倍受国内外学者的重视,积累了大量研究资料和认识^[2]。然而,由于研究工作缺乏系统性和认识的片面性,关于该矿床成因类型的认识仍有较大分歧,提出了爆破角砾岩型^[4-9]和浅成低温热液型^[10-13]两种观点。那么,祁雨沟金矿究竟形成于中高温热液作用,还是低温热液作用呢?显然,流体包裹体热力学研究结果成为甄别两种观点的关键性依据。因此,笔者将对祁雨沟金矿流体包裹体及矿床成因类型和成因机制进行讨论。

1 矿床地质

祁雨沟矿区位于华北地块南缘熊耳地体东缘(图 1),有关熊耳地体的地质特征、区域构造演化以及祁雨沟金矿的成矿时代等,已有大量文献介绍^[2-4,6,9,14-15],本文不再赘述。

祁雨沟金矿产于熊耳地体的早前寒武纪太华超群变质基底中^[6],矿区及附近发育大量规模较小的

燕山期斑岩体和 32 个爆破角砾岩筒^[9]。角砾岩筒或斑岩体多受 NW 和 NE 向的断裂构造控制,特别是两组构造的交汇处。祁雨沟矿区主要包括陶村以西的 6 个角砾岩筒,角砾岩筒平面上呈椭圆状和纺锤状,沿断裂带成群分布^[6](图 2)。

角砾岩体与围岩之间的接触界线清楚、陡立(图 3,图 4-A,4-B)。角砾岩筒的直接围岩破碎程度高,形成几米至几十米的震碎带^[9]。矿体多发育在角砾岩筒与断裂构造的复合部位,主要矿石类型为爆破角砾岩(以 4 号角砾岩体为例)和脉状细粒交代石英岩。各种交代结构、碎裂结构发育,常见角砾状、网脉状、条带状构造(图 4-C,4-D),局部可见梳状构造。矿石建造除岩石角砾本身的矿物外,主要蚀变矿物是石英、钾长石、绢云母、绿帘石、绿泥石、方解石和黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉铋矿和自然金^[6],可分为黄铁矿型和多金属硫化物型。围岩蚀变强烈,且与围岩性质、裂隙发育程度有关,主要蚀变类型有硅化、绢云母化、钾长石化、绿帘石化、绿泥石化、黄铁绢英岩化、黄铁矿化、多金属硫化物化。矿化蚀变可分为 3 个阶段:① 钾长石-石英-黄铁矿阶段,伴随强烈的黄铁绢英岩化,黄铁矿主要为粗粒自形立方体;② 金-多金

收稿日期:2008-10-15;改回日期:2008-12-03

基金项目:国家“973”项目(2006CB4035008 和 2006CB403501)和国家自然科学基金项目(40352003 和 40425006)资助。

作者简介:李诺,女,1984 年生,博士,矿床学专业;E-mail:linuo9102110@163.com。

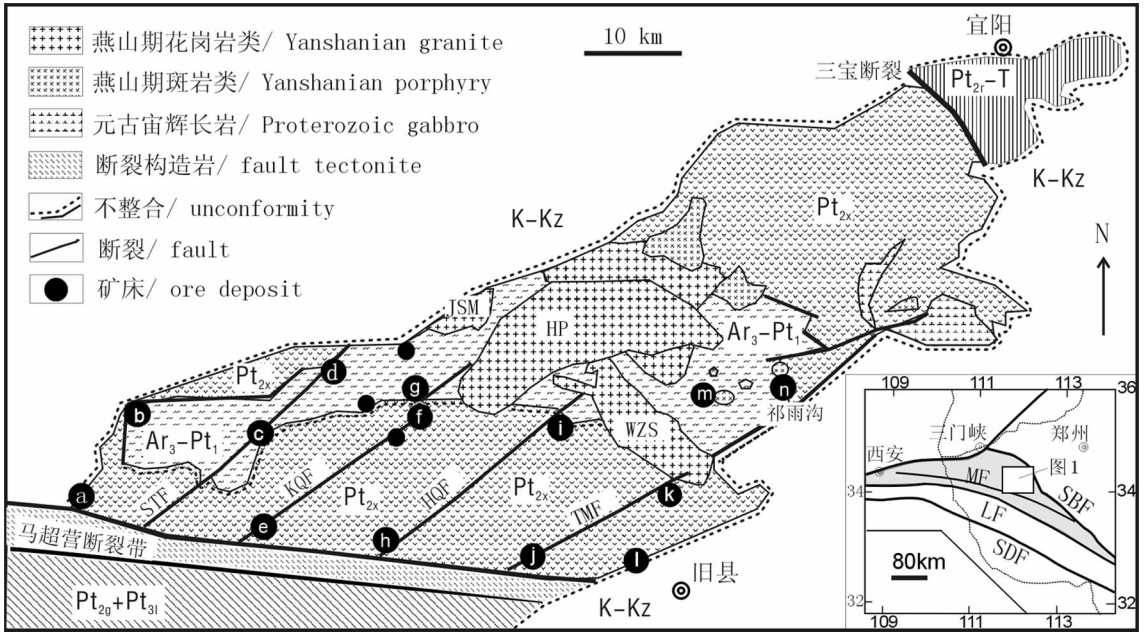


图 1 祁雨沟金矿构造位置和区域地质图^[2]

Ar₃-Pt₁—太华超群变质基底(新太古代—古元古代);Pt_{2x}—中元古代熊耳群安山岩建造;Pt_{2x}+Pt₃—中元古代官道口群和新元古代栾川群;Pt_{2x}-T—中元古代汝阳群—三叠系;K-Kz—白垩纪—新生代冲积物;
 WZS—五丈山岩体;HP—嵩坪岩体;JSM—金山庙岩体;STF—三门—铁炉坪断裂;KQF—康山—七里坪断裂;
 HQF—红庄—青岗坪断裂;TMF—陶村—马园断裂;SBF—三宝断裂;SDF—商丹断裂;MF—马超营断裂;LF—栾川断裂;
 a—沙沟银铅锌矿床;b—嵩坪沟银铅矿;c—铁炉坪银铅矿;d—小池沟金矿;e—康山金银铅矿;f—上宫金矿;
 g—虎沟金矿;h—红庄金矿;i—青岗坪金矿;j—潭头金矿;k—瑶沟金矿;l—前河金矿;m—雷门沟钼(Au)矿;n—祁雨沟金矿

Fig.1 Sketch map showing the locality and regional geology of the Qiyugou gold deposit^[2]

Ar₃-Pt₁-Taihua Supergroup, metamorphic basement of Neoproterozoic;Pt_{2x}-Xionger Group andesites of Mesoproterozoic;Pt_{2x}+Pt₃-Guandaokou Group of Mesoproterozoic and Luanchuan Group of Neoproterozoic;Pt_{2x}-T-sediments of Mesoproterozoic-Triassic;WZS- Wuzhangshan granite;HP-Haoping granite;JSM-Jinshanmiao granite;STF-Sanmen-Tieluping fault;KQF-Kangshan-Qiliping fault;HQF-Hongzhuang-Qinggangping fault;TMF-Taocun-Mayuan fault;SBF-San-Bao fault;SDF-Shang-Dan fault;MF-Machaoying fault;LF-Luanchuan fault;a-Shagou Ag-Pb-Zn;b-Haopinggou Ag-Pb;c-Tieluping Ag-Pb;d-Xiaochigou Au;e-Kangshan Au-Ag-Pb;f-Shangong Au;g-Hugou Au;h-Hongzhuang Au;I-Qinggangping Au;j-Tantou Au;k-Yaogou Au;l-Qianhe Au;m-Leimengou Mo-(Au);n-Qiyugou Au

属硫化物-石英阶段,黄铁矿为细粒烟灰状五角十二面体;③ 石英-方解石网脉阶段,伴有石英和极少的硫化物。钾化(含钾长石化、黑云母化、绢云母化等)和硅化强时矿化好,硫化物(尤其是黄铁矿)多时矿化好^[6]。

2 流体包裹体

流体包裹体显微热力学测试在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室流体包裹体实验室完成,冷热台型号为 Linkam THMS 600,该冷热台在-120°C~-70°C 温度区间的测定精度为 ±0.5°C,-70°C~+100°C 区间为±0.2°C,在 100~500°C 为 ±2°C。测试之前,运用美国 FLUID INC 公司的人工合成流体包裹体标准样品进行冷热台温度

标定;测试过程的升温速率一般为 0.2~5°C/min,相转变点附近(如固态 CO₂ 和笼合物熔化,水溶液包裹体的冰点和完全均一)的升温速率降低为 0.2°C/min。水溶液包裹体的盐度是根据冰点温度和 Bodnar^[16]方程计算获得的。

2.1 流体包裹体类型

根据包裹体的成分和相变特征,可将流体包裹体划分为如下 3 类:

(1)水溶液包裹体(W 型)。室温下表现为气液两相,可根据气液比进一步分为富气相(V 型)和富液相(L 型)两个亚类。V 型包裹体 V_{H₂O}/(L_{H₂O}+V_{H₂O})> 50%,常呈负晶形或椭圆形,孤立或与 L 型包裹体混杂分布,个体较大,一般 5~25 μm,包裹体的气体部分呈暗棕色(图 5)。L 型包裹体 V_{H₂O}/(L_{H₂O}+V_{H₂O})<

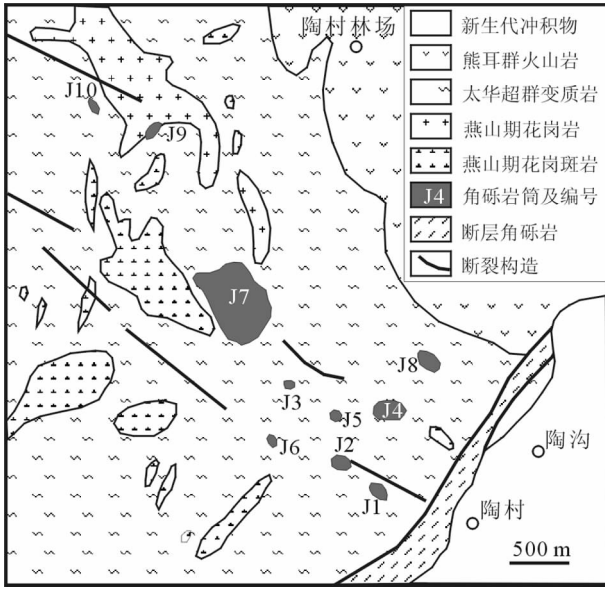


图2 祁雨沟金矿区地质图^[6]

Fig.2 Geological map of the Qiyugou gold deposit^[6]

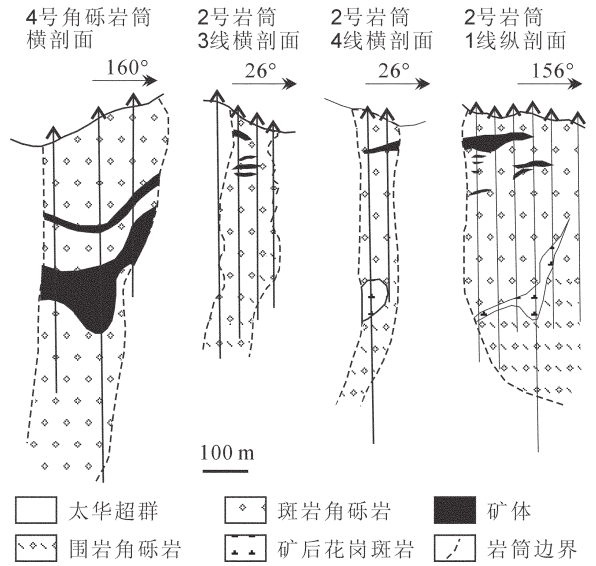


图3 祁雨沟金矿勘探剖面图,示意角砾岩筒和矿体的产状^[11]

Fig.3 Prospecting profiles showing the occurrences of the breccia-pipes and gold orebodies of the Qiyugou gold deposit^[11]

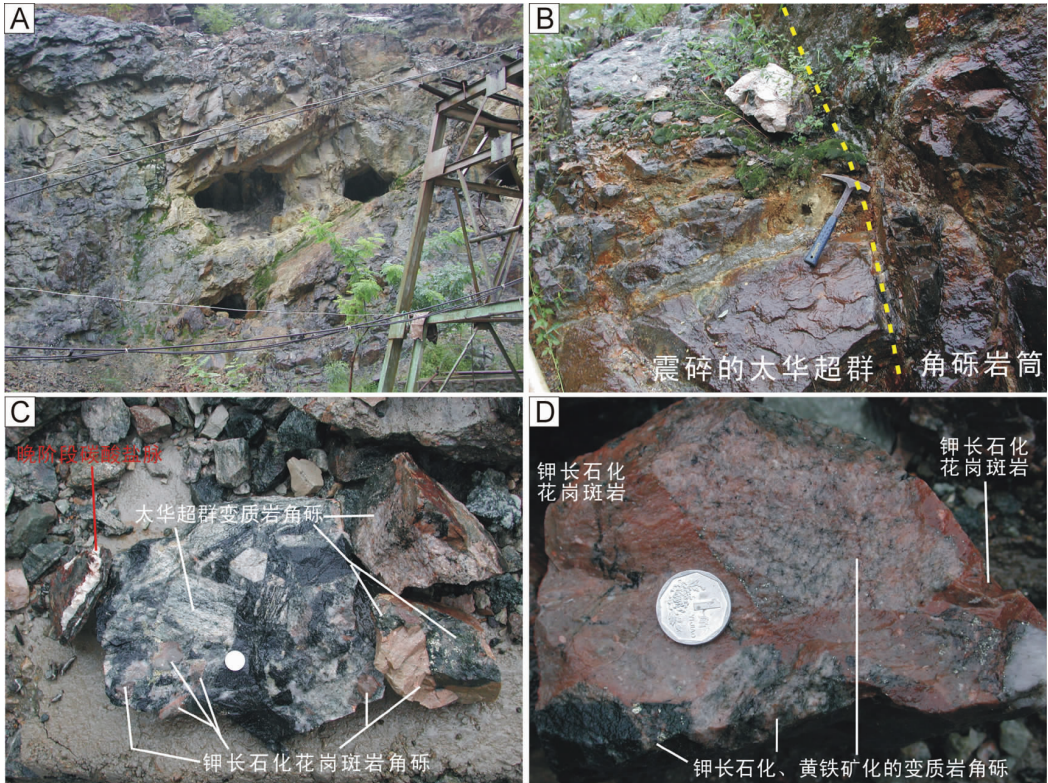


图4 祁雨沟金矿床地质照片

A—陡立的角砾岩筒与围岩太华超群界线；B—角砾岩筒与碎裂的变质岩围岩界线；C—主要由钾长石化变质岩角砾构成的角砾状矿石和晚阶段的碳酸盐细脉；D—强烈的钾长石化和硫化物化

Fig.4 Photos showing ore geology of the Qiyugou gold deposit

A—Open pit showing a steep boundary between the breccia pipe and its wallrocks, the Taihua Supergroup;

B—Boundary between breccia-pipe and its brecciated metamorphic rocks;

C—Late stage carbonate vein and breccia ores mainly composed of K-feldspar altered metamorphic breccias;

D—Intensive K-feldspar alteration and sulfidization

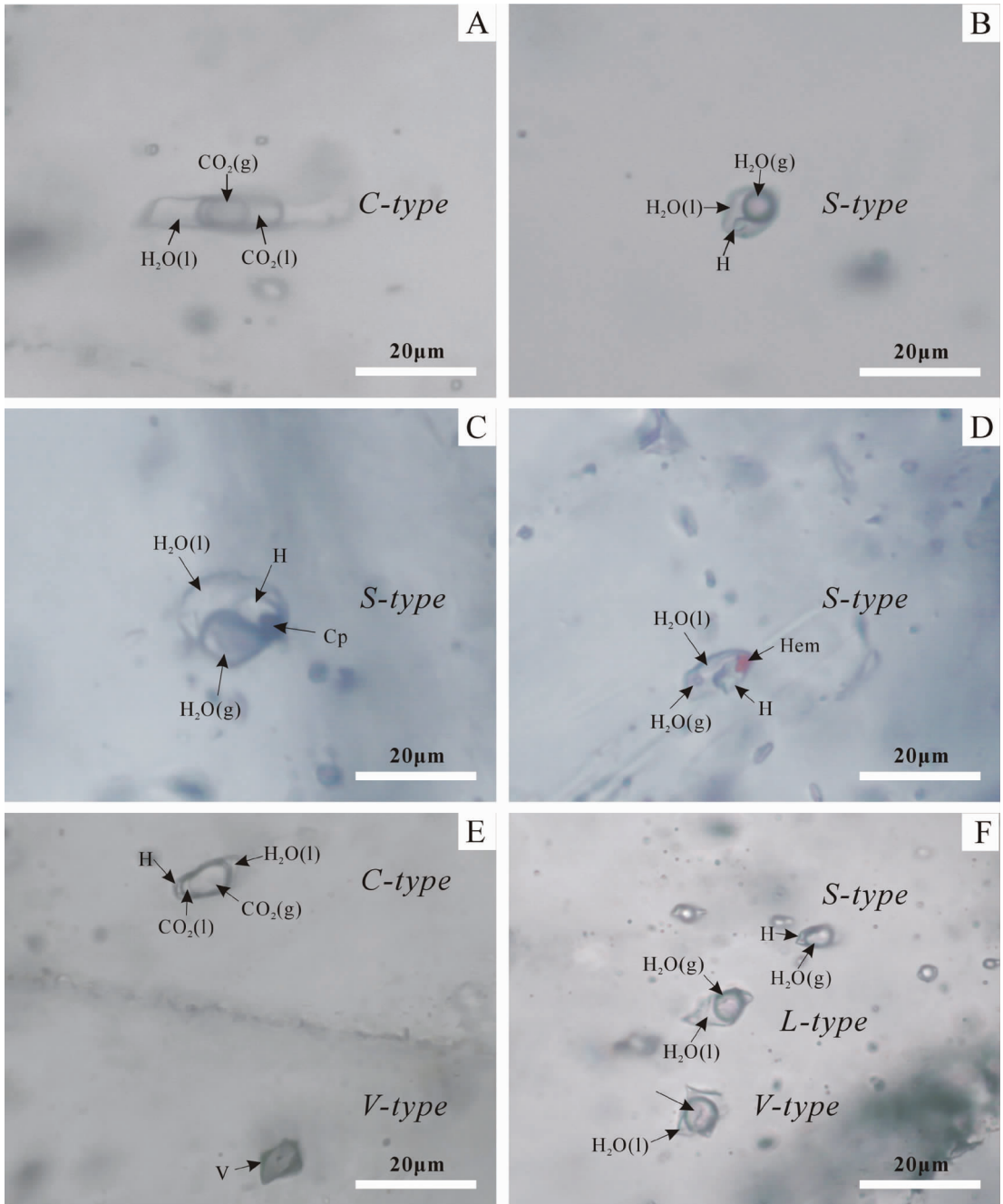


图 5 祁雨沟金矿流体包裹体照片

A—C 型包裹体,由内到外依次是气相 CO_2 、液相 CO_2 和液相 H_2O ; B—孤立分布的含石盐子晶(H)的 S 型包裹体;
 C—S 型包裹体,含有石盐子晶(H)和暗色黄铜矿子晶(Cp); D—S 型包裹体,含有石盐子晶(H)和红色赤铁矿子晶(Hem);
 E—含石盐子晶(H)的 C 型包裹体与 V 型包裹体共存; F—V、L 和 S 型包裹体共存,指示流体沸腾现象

Fig.5 Microphotographs of fluid inclusions of the Qiyugou gold deposit

A—C-type fluid inclusion comprised of vapor CO_2 , liquid CO_2 and liquid H_2O ; B—Isolated halite-bearing (H) S-type fluid inclusion; C—S-type inclusion which contains halite (H) and chalcopyrite (Cp) daughter mineral; D— S-type inclusion containing halite (H) and hematite (Hem) daughter mineral; E—V-type inclusions coexisted with C-type fluid inclusion which contains halite daughter mineral (H); F—Coexistence of V-, L- and S-types inclusions, showing fluid boiling

50%, 常为浑圆状或不规则状, 少量为负晶形, 孤立产出, 或沿矿物愈合裂隙定向分布, 个体大小悬殊, 3~32 μm (图 5-B、5-C、5-E、5-F)。

(2) 含子矿物多相包裹体(S 型)。负晶形或浑圆状, 呈孤立状产出, 大小一般为 7~25 μm 。子矿物成分以立方体状的石盐为主, 此外还有少量钾盐、黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿等之间子矿物(图 5-A、5-C)。

(3) 富 CO_2 包裹体(C 型)。室温下(25 $^{\circ}\text{C}$)一般表现为 2~3 相, 常呈圆形或椭圆形, 个体多为 5~15 μm 。此类包裹体中 CO_2 含量变化较大, 可占包裹体总体积的 10%~85%。个别包裹体中还出现石盐子矿物(图 5-D、5-E)。

各热液阶段形成的石英内有不同的流体包裹体组合。早阶段包裹体类型复杂, 包括 V 型、L 型、S 型和少量 C 型; 其中, S 型包裹体内可见石盐、钾盐及少量黄铁矿、黄铜矿等子矿物。晚阶段则以 L 型为主, 兼有部分 V 型包裹体。

2.2 显微热力学

流体包裹体测温结果见表 1。早阶段流体包裹体均一温度为 351~460 $^{\circ}\text{C}$, 中阶段为 265~349 $^{\circ}\text{C}$, 晚阶段温度为 157~244 $^{\circ}\text{C}$, 从早到晚流体成矿温度逐渐降低。鉴于 350 $^{\circ}\text{C}$ 和 200 $^{\circ}\text{C}$ 是共识的高温、中温和低温热液作用的分界温度^[7], 因此, 早阶段属于高温热液作用 (>350 $^{\circ}\text{C}$), 中阶段属于中温热液矿化(200~350 $^{\circ}\text{C}$), 而晚阶段则为中—低温热液成矿作用, 祁雨沟金矿总体属于中高温热液矿床, 而非低温热液矿床。

在早、中阶段样品中, 同一视域下(直径小于 200 μm) 可见 V 型、L 型和 S 型包裹体或 V 型和 L 型包裹体密切共生(图 5-E、5-F), 其均一温度相近, 而均一方式多样, 分别向气相和液相均一, 显示出沸腾包裹体组合的特征。

由表 1 可见: 早阶段 S 型包裹体较多, 均一过程中石盐子晶先于气泡消失, 其溶解温度为 161~288 $^{\circ}\text{C}$, 相应盐度为(30.1~37.2)wt%NaCl.eqv; 中阶段 S 型包裹体较少, 溶解温度为 114~187 $^{\circ}\text{C}$, 相应盐度为(28.2~31.02)wt%NaCl.eqv, 低于早阶段同类包裹体; 而晚阶段则未发现 S 型包裹体。早阶段水溶液包裹体冰点温度为 -16.5~-7.0 $^{\circ}\text{C}$, 相应盐度为(10.49~19.84) wt%NaCl.eqv; 中阶段水溶液包裹体冰点温度为 -7.2~-2.5 $^{\circ}\text{C}$, 对应盐度介于 (4.18~10.73) wt% NaCl.eqv; 晚阶段此类包裹体冰点温度为 -3.7~-2.3 $^{\circ}\text{C}$, 流体盐度 NaCl 为(3.71~6.01)wt%NaCl.eqv。此外, 就根据富 CO_2 包裹体(C 型)的 CO_2 笼合物融化温度获得的流体盐度而言, 早阶段为 (9.28~12.29)wt% NaCl.eqv, 中阶段为 (4.80~8.66) wt% NaCl.eqv。总之, 不同类型包裹体的盐度具有相同的变化规律, 即从早到晚流体盐度降低。

根据早、中阶段富 CO_2 包裹体的部分均一温度、完全均一温度, 利用 Schwartz^[18]提供的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系的相图, 估算包裹体均一压力为 22~45 MPa。考虑到斑岩、爆破角砾岩和浅成低温热液矿床

表 1 祁雨沟金矿流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microthermometric data of fluid inclusions of the Qiyugou gold deposit

样号	成矿阶段	包裹体类型	数量	大小/ μm	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	冰点或子晶溶解温度/ $^{\circ}\text{C}$	盐度(NaCl)/%
QYG1	早	V,L,C	21	3~9	5~85	374~460	-10.1~-8.7	12.51~14.04
							2.7~4.8(笼融)	9.28~12.29
QYG2	中	S,L	25	4~12	15~40	265~349	-5.3~-2.5	4.18~8.28
							105~208(晶融)	28.14~32.32
QYG4	早	V,S,L	23	5~12	6~90	351~426	-15.3~-7.0	10.49~18.88
							177~288(晶融)	30.62~37.24
QYG5	中	S,V,L	12	5~16	15~85	287~335	-7.2~-5.4	8.41~10.73
							114~187(晶融)	28.2~31.02
QYG3	早	V,L	8	5~18	15~70	368~443	-16.5~-9.3	13.18~19.84
QYG6	晚	L	5	3~8	3~18	157~224	-3.7~-2.3	3.71~6.01
QYG6	中	L,C	14	5~8	5~30	276~345	-4.5~-3.4	5.56~7.17
							5.2~7.5(笼融)	4.80~8.66
QYG6	早	V,S,L	5	6~15	25~80	398~443	-14.5~-9.8	13.72~18.22
							161~189(晶融)	30.06~31.39

主要形成于静水压力系统,以静水压力计算成矿深度为 2.2~4.5 km。

2.3 激光拉曼显微探针分析结果

激光拉曼显微探针分析在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室流体包裹体实验室进行,所用仪器为 Renishaw 公司的 RM-2000 型激光拉曼光谱仪。使用 514 nm 氩激光器,计数时间为 10 s,每 1 cm^{-1} (波数)计数 1 次,100~4000 cm^{-1} 全波段一次取峰。激光束斑大小为 1 μm ,光谱分辨率 2 cm^{-1} 。

在早阶段水溶液包裹体激光拉曼图谱上,除寄主矿物石英的特征峰以外,还出现 CO_2 的特征峰(1386 cm^{-1} 和 1284 cm^{-1})和宽泛的液相 H_2O 峰(3310~3610 cm^{-1})(图 6-A),表明石英中捕获的包裹体成分以 H_2O 和 CO_2 为主。晚阶段水溶液包裹体激光拉曼图谱上只有 H_2O 峰显示(图 6-B)。

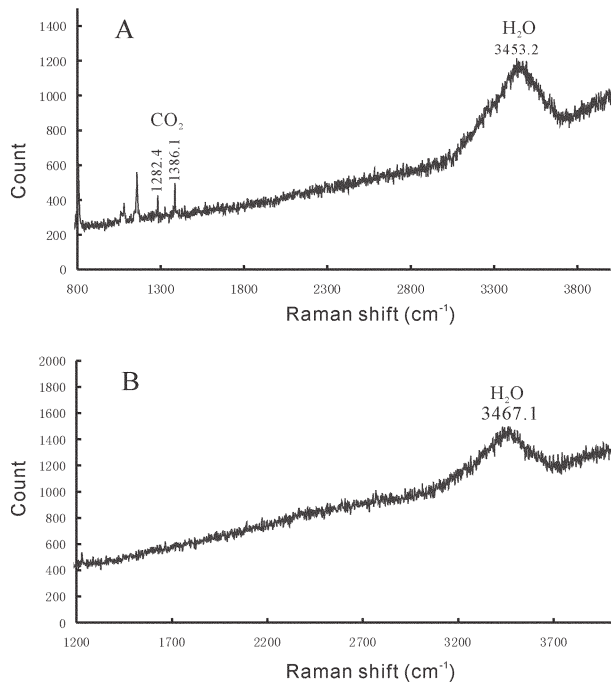


图 6 祁雨沟金矿水溶液包裹体激光拉曼光谱

A—早阶段包裹体显示 CO_2 存在;
B—晚阶段包裹体未显示 CO_2 存在

Fig.6 Laser Raman spectra of NaCl- H_2O inclusions of the Qiyugou gold deposit

A-The CO_2 signal appears in early-stage inclusion;
B- Instead of late-stage inclusion

3 结果讨论

3.1 成矿流体的性质和演化

从表 2 可以看出,除齐金忠等^[2]将成矿阶段分为 6 个阶段,且不同阶段的均一温度存在很大范围的重叠之外,笔者与其他学者^[8,19-21]均将祁雨沟金矿的流体成矿过程划分为 3 个阶段,且获得了以下比较一致的热力学研究结果。

(1)流体包裹体类型丰富,包括富气相水溶液包裹体(V 型)、富液相水溶液包裹体(L 型)、含子晶多相包裹体(S 型)和富 CO_2 包裹体(C 型),且从早到晚包裹体组合趋于简单,演变为单一的水溶液包裹体。

(2)各阶段流体氧逸度数据(表 2)表明,成矿流体的氧逸度从早到晚降低,而早阶段 S 型流体包裹体含有赤铁矿子晶的事实^[19-20]也证明早阶段流体氧逸度较高。

(3)各类包裹体测试获得的流体盐度结果显示,从早到晚流体盐度逐渐降低,早、中阶段流体盐度可高达 30wt%NaCl.eqv 以上,指示初始成矿流体应为岩浆热液。

(4)包裹体测温结果显示,早、中、晚阶段的成矿温度范围分别是 298~476 $^{\circ}\text{C}$ 、201~390 $^{\circ}\text{C}$ 、109~290 $^{\circ}\text{C}$,流体成矿系统总体具有中高温性质。

(5)早、中阶段存在较多 C 型包裹体,晚阶段未见 C 型包裹体;激光拉曼光谱分析显示,早阶段水溶液包裹体中含有一定量的 CO_2 (图 6-A),晚阶段水溶液包裹体没有显示 CO_2 的存在(图 6-B),表明流体从富含 CO_2 向贫 CO_2 演化。早期热液蚀变形成钾长石、绿帘石等“无水矿物”(图 4-C、4-D),而非绿泥石、绢云母等含水矿物,亦显示了早期成矿流体以相对贫水、富 CO_2 为特征。

(6)从表 3 列出的祁雨沟金矿流体包裹体压力结果看,除王宝德等^[21]估算的结果偏高外,其他学者估算的结果相似,均为 20~50 MPa,相当于静水压力深度 2~5 km。由于王宝德^[21]没有报道其估算的方法和依据,因此,笔者暂不考虑其估算结果。

综合上述,初始成矿流体是富含 CO_2 、高温、高盐度、高氧化性的岩浆热液;经沸腾作用之后,大量物质沉淀、 CO_2 等气相组分逃逸,流体温度、盐度和氧化性下降, CO_2 含量降低;流体沸腾导致岩体裂隙系统与地表贯通,使大量浅源大气降水涌入以爆

表 2 祁雨沟金矿成矿流体性质

Table 2 Characteristics of the ore-forming fluids of the Qiyugou gold deposit						
成矿阶段	包裹体组合	均一温度(°C)	V-L 型盐度	S 型盐度	氧逸度(1gfo ₂)	资料来源
早阶段	V, V-L, S	298~470		>47	-28~-29	[19]
中阶段	V-L	201~315	7~16		-36~-38	
晚阶段	L	130~240	0.7~1.5			
前锋期	V, V-L	380~480	18.1~24.2		-23.70~-24.03	[20]
主期	V, V-L, S, C	250~390	10.7~19.3	30.5~33.5	-26.98~-27.34	
晚期	L	165~240	3.4~6.5		-38.86~-41.64	
前锋期		331.2~433.3			-25.39	[21]
主期		328~380			-31.43	
晚期		174~272			-39.98	
早阶段	V, V-L, S	368~476	12.85~17.61	31~42		[8]
中阶段	V, V-L	310~390	5~7			
晚阶段	L, V-L	109~289	2~3			
I	V, L	301.2~465.4	9.1~18.6			[22]
II	V, L, S, C	236.4~445.2	5.8~23.2	30.1~31.8		
III	S, C, L	243.9~372.6	4.7~23.0	30.8~37.2		
IV	L, S, C	183.1~335.7	4.8~21.7	28.2~31.9		
V	L	186.6~339.0	3.7~20.9			
VI	L	122.8~254.9	3.5~11.6			
早阶段	V, L, S, C	351~460	10.5~19.8	30.1~37.2		本文
中阶段	V, L, S	265~349	4.2~10.7	28.1~32.3		
晚阶段	L, V	157~244	3.7~6.0			

注:盐度单位为 wt%NaCl_{eqv},不同类型包裹体给出的盐度差别较大。

表 3 祁雨沟金矿流体包裹体捕获压力的估算结果

Table 3 Estimated trapping pressure of fluid inclusions of the Qiyugou gold deposit

参考文献	本文	[19]	[20]	[21]	[22]
压力(MPa)	22~45	20~40	25~40	51~101	29~50

破角砾岩为中心的流体成矿系统,深源岩浆热液与浅源大气降水热液发生混合,流体系统逐步演变为晚阶段的中低温、低盐度、低 CO₂ 含量的大气降水热液。事实上,以上结论与同位素地球化学示踪的结果^[9](图 7)完全吻合,二者相互印证。

3.2 矿床成因类型

祁雨沟金矿的成因类型有爆破角砾岩型^[6, 8-9]和浅成低温热液型^[10-13]两种观点,笔者研究认为该矿床应属爆破角砾岩型,理由如下:

(1)浅成低温热液型矿化主要发生在火山岩中,个别在次火山岩中^[23];而祁雨沟矿区未见火山岩(图 2~3),矿化严格受蚀变角砾岩筒控制,矿体限于角砾岩筒内部发育,角砾的岩性成分包括太华超群变质

岩和花岗斑岩。

(2)矿石具有条带状、晶洞状、网状和角砾状构造,这些构造既见于浅成低温热液型矿床,更常见于斑岩型和爆破角砾岩型矿床,前人以此确定矿床类型为浅成低温热液型^[11],依据并不充分。事实上,皮壳状、鸡冠状、胶状等浅成低温热液型矿床的标志性构造并未发育。

(3)冰长石是低温热液作用的标志性矿物之一,可见于浅成低温热液矿床,也可见于斑岩型等其他矿化类型的低温阶段。虽然张元厚等^[11]、韩以贵等^[12]报道祁雨沟金矿碳酸盐脉中存在冰长石,并以此厘定矿化属于浅成低温热液型,但祁雨沟金矿的钾长石化更为强烈、普遍(图 4-C、4-D),并存在黑云母化,这是浅成低温热液系统无法存在的蚀变矿物,表明矿化仍属中高温热液作用的斑岩型或爆破角砾岩型,只是在成矿系统逐渐冷却的晚阶段形成了部分冰长石而已。

(4)浅成低温热液系统的特征是低温、低盐度、贫 CO₂,流体包裹体为水溶液包裹体^[23-25],但祁雨沟

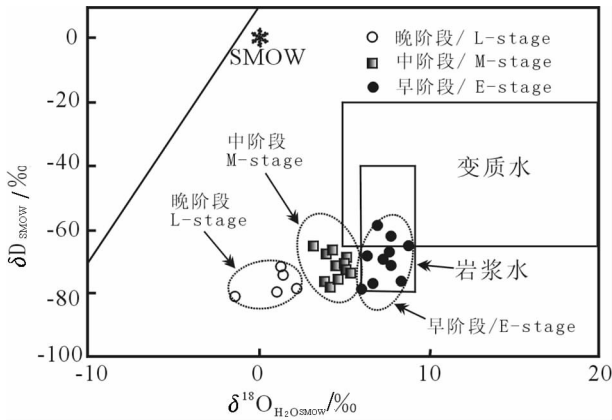


图 7 祁雨沟金矿成矿流体氢氧同位素组成^[3]

Fig.7 $\delta D - \delta^{18}O$ diagram of ore-forming fluids of the Qiyugou gold deposit^[3]

金矿的流体包裹体类型复杂,特别是发育较多含子晶的多相包裹体和富 CO_2 包裹体,均一温度高达 $476^\circ C$,与浅成低温热液系统 ($100\sim 300^\circ C$) 大相径庭。流体系统从早到晚由高温、高盐度、富 CO_2 向低温、低盐度演化,与世界各地斑岩型或爆破角砾岩型成矿系统的特征完全一致。

(5) 流体包裹体捕获压力为 $20\sim 50$ MPa (表 3), 相当于静水压力深度 $2\sim 5$ km, 与斑岩成矿系统的发育深度为 $1\sim 4$ km 的特征^[23] 相一致, 而与浅成低温热液矿床形成深度一般小于 $1\sim 2$ km 的特征^[23] 相矛盾。

(6) 浅成低温热液矿床的成矿流体主要为大气降水^[23-24]。同位素地球化学研究表明^[3] (图 7), 祁雨沟矿床成矿流体主要来自岩浆系统, 且成矿流体由岩浆热液向大气降水热液演化, 这一特征与浅成低温热液系统不同, 但属于斑岩型、爆破角砾岩型矿床普遍特征。

以上表明, 祁雨沟金矿应为爆破角砾岩型或斑岩型, 或二者之间的过渡类型, 但远非浅成低温热液型。考虑到赋矿角砾岩筒中斑岩角砾较少, 而太华超群变质岩角砾较多, 且角砾状构造主导了矿石的构造, 因此认为该矿床属于典型的爆破角砾岩型, 或前人所称的角砾岩筒型。

4 结论

祁雨沟金矿的流体成矿作用可分为 3 个阶段, 流体包裹体类型复杂, 包括水溶液包裹体、含子矿物多相包裹体和富 CO_2 包裹体, 但成矿晚阶段只有水

溶液包裹体。初始成矿流体为高温、高盐度的岩浆热液; 经流体沸腾和 CO_2 等气体逸失, 主阶段流体氧化性、温度、盐度等降低, 并有大气降水不断混入; 晚阶段流体为低温、低盐度的大气降水热液。大量成矿物质沉淀于 $200\sim 476^\circ C$ 范围的早、中阶段, 成矿深度发生在 $2\sim 5$ km 范围, 因此矿床成因类型属于爆破角砾岩型, 而非浅成低温热液型。

致谢: 笔者曾多次专门赴南京大学向中国著名矿床学家胡受奚教授请教, 得到先生热情、细致的学术指导, 受益匪浅。在胡受奚教授 80 华诞之际, 以此文表示感谢, 并愿胡受奚教授健康长寿, 永葆学术青春!

参考文献 (References):

- [1] 河南地质三队. 河南嵩县祁雨沟金矿 2 号角砾岩体及外围普查报告 [R]. 1978.
No.3 Geological Team of Henan. Exploration Report of No.2 Breccia-pipe and Its Vicinity in the Qiyugou Gold Ore-field, Songxian County, Henan Province [R]. 1978 (in Chinese).
- [2] Chen Y J, Pirajno F, Sui Y H. Geology and D-O-C isotope systematics of the Tieluping silver deposit, Henan, China: Implications for ore genesis [J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 2005, 79:106-119.
- [3] 郭东升, 陈衍景, 祁进平. 河南祁雨沟金矿同位素地球化学和矿床成因分析 [J]. 地质论评, 2007, 53(2):217-228.
Guo Dongsheng, Chen Yanjing, Qi Jinping. Isotope geochemistry and ore genesis of the Qiyugou gold deposit, Henan: A synthesis [J]. Geological Review, 2007, 53(2):217-228 (in Chinese with English Abstract).
- [4] 胡受奚 (主编). 华北与华南古板块拼合带地质与成矿 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1988:558.
Hu Shouxi (ed.). Geology and Metallogeny of the Collision Belt Between the North and the South China Plates [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1988:558 (in Chinese).
- [5] 邵克忠, 李胜荣. 石英热光性在祁雨沟 (式) 金矿床研究中的意义 [J]. 河北地质学院学报, 1989, 12(2):127-133.
Shao Kezhong, Li Shengrong. Significance of quartz thermoluminescence in the study of Qiyugou (type) gold deposits [J]. Journal of Hebei College of Geology, 1989, 12 (2):127-133 (in Chinese with English abstract).
- [6] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社, 1992:234.
Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan [M]. Beijing: Seismological Press, 1992:234 (in Chinese with English abstract).
- [7] 邵克忠. 祁雨沟地区爆破角砾岩型金矿成矿条件和找矿方向研究 [J]. 河北地质学院学报, 1992, 15:105-195.
Shao Kezhong. Characteristics of Qiyugou gold deposits and their

- prospecting perspective geological setting [J]. Journal of Hebei College of Geology, 1992, 15:105-195 (in Chinese with English abstract).
- [8] 邵世才. 爆破角砾岩型金矿床的成因及其定位机制[J]. 矿物学报, 1995, 15(2):230-235.
Shao Shicai. Genesis of the explosion breccia-type gold deposits and their emplacement mechanism as exemplified by the Qiyugou gold mine, Henan Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1995, 25(2): 230-235 (in Chinese with English abstract).
- [9] 范宏瑞, 谢奕汉, 郑学正, 等. 河南祁雨沟热液角砾岩体型金矿床成矿流体研究[J]. 岩石学报, 2000, 16(4):559-563.
Fan Hongrui, Xie Yihan, Zheng Xuezheng, et al. Ore-forming fluids in hydrothermal breccia-related gold mineralization in Qiyugou, Henan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 559-563 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李世华, 韩军, 柴春新. 河南祁雨沟金矿四号含金角砾岩筒地质地球化学特征及成因[J]. 黄金, 1998, 19(7):9-12.
Li Shihua, Han Jun, Chai Chunxin. The geological-geochemical feature and genesis of No. 4 gold-containing breccia chimney of Qiyugou Gold Deposit, Henan Province[J]. Gold, 1998, 19(7):9-12 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张元厚, 张世红, 韩以贵, 等. 祁雨沟含金角砾岩筒中的冰长石-方解石组合及其矿床地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(1):77-84.
Zhang Yuanhou, Zhang Shihong, Han Yigui, et al. The adularia-calcite assemblage in Qiyugou gold-bearing breccia and its mineralization significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(1):77-84 (in Chinese with English abstract).
- [12] 韩以贵, 李向辉, 张世红, 等. 豫西祁雨沟金矿单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线定年 [J]. 科学通报, 2007, 52(11):1307-1311.
Han Yigui, Li Xianghui, Zhang Shihong, et al. Single grain Rb-Sr dating of euhedral and cataclastic pyrite from the Qiyugou gold deposit in western Henan, central China [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(11):1307-1311 (in Chinese).
- [13] Mao J W, Goldfarb R J, Zhang Z W. Gold deposits in the Xiaqingling - Xiong'ershan region, Qinling Mountains, central China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37:306-325.
- [14] Chen Y J, Pirajno F, Sui Y H. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting [J]. Mineralium Deposita, 2004, 39:560-575.
- [15] Chen Y J, Pirajno F, Qi J P, et al. Ore geology, fluid geochemistry and genesis of the Shanggong gold deposit, eastern Qinling Orogen, China[J]. Resource Geology, 2006, 56:99-116.
- [16] Bodnar R J. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57:683-684.
- [17] 胡受奚(主编). 矿床学[M]. 北京:地质出版社, 1982.
Hu Shouxi (ed.). Mineral Deposits [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1982(in Chinese).
- [18] Schwartz M O. Determining phase volumes of missed CO₂-H₂O inclusion using microthrmometric measurements [J]. Mineralium Deposita, 1989, 24:43-47.
- [19] 谢奕汉, 范宏瑞, 李若梅, 等. 河南祁雨沟爆破角砾岩型金矿床包裹体研究[J]. 矿物学报, 1991, 11(4):370-376.
Xie Yihan, Fan Hongrui, Li Ruomei, et al. Fluid inclusion studies of Qiyugou exploration breccia-type gold deposit, Henan [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1991, 11(4):370-376 (in Chinese).
- [20] 高永丰, 栾文楼, 魏瑞华, 等. 河南祁雨沟金矿流体包裹体研究 [J]. 地球化学, 1995, 24(增刊):150-159.
Gao Yongfeng, Luan Wenlou, Wei Ruihua, et al. Fluid inclusion studies of Qiyugou gold deposits, Henan [J]. Geochimica, 1995, 24(supp):150-159 (in Chinese with English abstract).
- [21] 王宝德, 李胜荣. 河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床地质地球化学特征初步研究[J]. 地质地球化学, 1996, 6:37-44.
Wang Baodeng, Li Shengrong. Geology and geochemical features of the Qiyugou explosive breccia type gold deposits, Henan Province [J]. Geology-Geochemistry, 1996, 6:37-44 (in Chinese with English abstract).
- [22] 齐金忠, 马占荣, 李莉. 河南祁雨沟金矿床成矿流体演化特征[J]. 黄金地质, 2004, 10(4):1-10.
Qi Jinzhong, Ma Zhanrong, Li Li. Fluid evolution of Qiyugou cryptoexplosive-breccia type gold deposit, Henan [J]. Gold Geology, 2004, 10(4):1-10(in Chinese with English abstract).
- [23] Kerrich R, Goldfarb R J, Groves D I, et al. The characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces[J]. Science in China(Series D), 2000, 43(supp.):1-68.
- [24] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型金矿床的流体包裹体特征 [J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2085-2108.
Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types gold deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(9):2085-2108 (in Chinese with English abstract).
- [25] Hedenquist J W, Izawa E, Arribas A. Epithermal gold deposits: Characteristics and exploration. Society of Resource Geology Special Publication 1, 1996.

Study of fluid inclusions and ore genetic type of the Qiyugou gold deposit, Henan

LI Nuo, LAI Yong, LU Ying-huai, GUO Dong-sheng

(Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The Qiyugou gold deposit, Songxian County, Henan Province, is associated with subvolcanic breccia pipes in the Xiong'er terrane, southern margin of the North China craton. In hydrothermal quartz three types of fluid inclusions can be observed. They are H₂O-rich, daughter mineral-bearing, and CO₂-rich. The initial ore-forming fluids are magmatic in origin and characterized by high temperature (>350°C), high salinity (>30wt% NaCl.eqv), high oxygen-fugacity and CO₂-rich. Then the fluids boiled and resulted in CO₂-release, oxygen-fugacity decrease and rapid precipitation of ore-forming materials. The late stage fluids, characteristic of low temperature, low salinity and lack of daughter mineral, could be sourced from meteoric water. The ore-forming fluid system and geological characteristics of the Qiyugou gold deposit suggest that it is a typical explosive breccia-type gold deposit, instead of an epithermal-type deposit.

Key words: fluid inclusion; explosive breccia-type deposit; Qiyugou; Henan

About the first author: LI Nuo, female, born in 1984, doctor candidate, mainly engages in the study of economic deposit; E-mail: linuo9102110@163.com.