

# 内蒙古赤峰地区安家营子金矿成矿流体研究\*

李永刚<sup>1</sup> 翟明国<sup>1</sup> 苗来成<sup>1</sup> 薛良伟<sup>2</sup> 朱嘉伟<sup>2</sup> 关鸿<sup>1</sup>

LI YongGang<sup>1</sup>, ZHAI MingGuo<sup>1</sup>, MIAO LaiCheng<sup>1</sup>, XUE LiangWei<sup>2</sup>, ZHU JiaWei<sup>2</sup> and GUAN Hong<sup>1</sup>,

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

2. 河南省地质科学研究所, 郑州 450053

1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Institute of Henan Geosciences, Zhengzhou 450053, China

2002-11-23 收稿, 2004-04-10 改回.

Li YG, Zhai MG, Miao LC, Xue LW, Zhu JW and Guan H. 2004. Ore-forming fluids of the Anjiayingzi gold deposit in Chifeng region, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 20(4):961-968

**Abstract** Hosted within the late-Yanshanian Anjiayingzi monogranite, the Anjiayingzi gold deposit is controlled by NNE-trending faults and is characterized by altered-desseminated-type mineralization. Fluid inclusion investigations indicate that mineralizing fluid of the deposit is dominated by a CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl system, with  $\delta_D$  and  $\delta^{18}O_{H_2O}$  ranging from -80.0 ~ -96.5 and 4.5 ~ 5.7‰, respectively, which is of a feature of magmatic source, probably from the Anjiayingzi granite. The gold mineralization can be subdivided into four stages, of which fluid inclusions have homogeneous temperatures of 340 ~ 360°C, 315 ~ 330°C, 245 ~ 285°C, and 150 ~ 170°C, respectively, with relatively lower CO<sub>2</sub> densities and salinities of 3.80 ~ 6.20 wt%, 3.5 ~ 4.5 wt%, and < 2.0 wt%. Of the gaseous phases, the ratio of (CH<sub>4</sub> + CO)/CO<sub>2</sub> is less than 0.1, indicative of a weak deoxidization mineralizing condition, whereas among the liquid phases, K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> contents are relatively high, with K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup>, which is favorable to form alkalic metasomatic-type mineralization. According to data obtained from CO<sub>2</sub>-type inclusions, calculated mineralizing pressure is 500 ~ 750 × 10<sup>5</sup> Pa, equivalent to a depth of 2.0 ~ 2.5 km beneath the earth's surface. The gold mineralization was controlled by water-rock reaction, immiscibility of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O-NaCl solutions, and decrease of sulfur concentration. Of these, the water/rock reaction is the most important one, which probably occurred during the whole metallogenic process, controlling changing of the primary mineralizing fluid from weak acid to weak alkaline in composition, and led to metasomatic metallogeny.

**Key words** Fluid inclusion, Mineralization, Anjiayingzi, Chifeng region, Inner Mongolia

**摘要** 该金矿床产于晚燕山期安家营子二长花岗岩岩体内,受NNE向断裂带控制。矿化类型属蚀变岩型。矿物包裹体研究表明,成矿流体为CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl体系,来自安家营子花岗岩岩浆期后热液,其氢氧同位素组成分别为 $\delta_D = -80.0 \sim -96.5\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O_{H_2O} = 4.5 \sim 5.7\text{‰}$ 。主成矿期四个成矿阶段包裹体的均一温度和盐度分别为 I = 340 ~ 360°C; II = 315 ~ 330°C, 3.80 ~ 6.20 wt%/NaCl, CO<sub>2</sub>密度 0.2 ~ 0.3 g/cm<sup>3</sup>; III = 245 ~ 285°C, 3.5 ~ 4.5 wt% NaCl; IV = 150 ~ 170°C, < 2.0 wt% NaCl。成矿流体盐度和CO<sub>2</sub>密度均较低。包裹体气相成分中(CH<sub>4</sub> + CO)/CO<sub>2</sub> < 0.1,成矿环境为弱还原条件;液相成分中K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>总量较高, K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup>有利于碱质交代成矿作用。根据CO<sub>2</sub>包裹体获得资料计算,成矿压力为500 ~ 750 × 10<sup>5</sup> Pa,成矿深度为2.0 ~ 2.5 km。流体控矿因素有水-岩反应、CO<sub>2</sub>与H<sub>2</sub>O-NaCl溶液不混溶和硫浓度降低等。其中以水-岩反应为主,它贯穿成矿全过程,控制原始成矿流体由碱性向弱碱性-弱酸性变化,使流体发生交代成矿作用。

**关键词** 流体包裹体 成矿作用 安家营子 赤峰地区 内蒙古

**中图分类号** P618.51

安家营子金矿位于内蒙古东部赤峰市南50~60km,处于华北陆块北缘金矿带的中段,为赤峰-承德-朝阳金三角的重要组成部分,成矿条件良好,备受人们关注。在矿区地层、构造、岩浆岩与成矿关系方面,在成矿时代、矿化特征、赋矿

\* 中国科学院重大知识创新项目(编号:KZCX1-07)资助。

第一作者简介:李永刚,男,1955年10月生,副研究员,岩石学专业, E-mail:li-yg01@yeah.net

岩体地球化学及成矿预测方面,前人做了大量工作,发表了一系列论著,为进一步研究打下了良好基础(崔文元等,1991;刘纲等,1992;王时麒等,1994;沈保丰等,1994;郑学正等,1994;王义文等,1995;Kroner, *et al.*, 1998;陈衍景等,1998;贾文等,2001)。本文拟通过矿物包裹体,探讨成矿流体特征,成矿物理化学条件,成矿流体来源及成矿作用,为矿床成因及找矿提供依据。

### 1 成矿地质背景

矿区地层 矿区出露地层有太古界、元古界长城系和中

生代侏罗系。太古界地层由黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩和石英片岩等各种变质岩组成,原岩为一套火山沉积岩,变质相属低角闪岩相。元古界长城系由绿泥石英片岩和白云母石英片岩组成;中生代侏罗系为酸性火山岩。

矿区岩浆岩 出露面积广泛,占矿区面积约90%,岩体有燕山早期喀喇沁岩基,岩石为中-细粒二长花岗岩,产在矿区西南部。产在矿区中部的燕山晚期安家营子似斑状二长花岗岩岩株,平面上呈椭圆形,沿NW向延长,面积约70km<sup>2</sup>,与喀喇沁岩基和太古界地层呈侵入接触关系,侵入年龄132Ma (U-Pb 年龄)(李永刚等,2003)(见图1)。

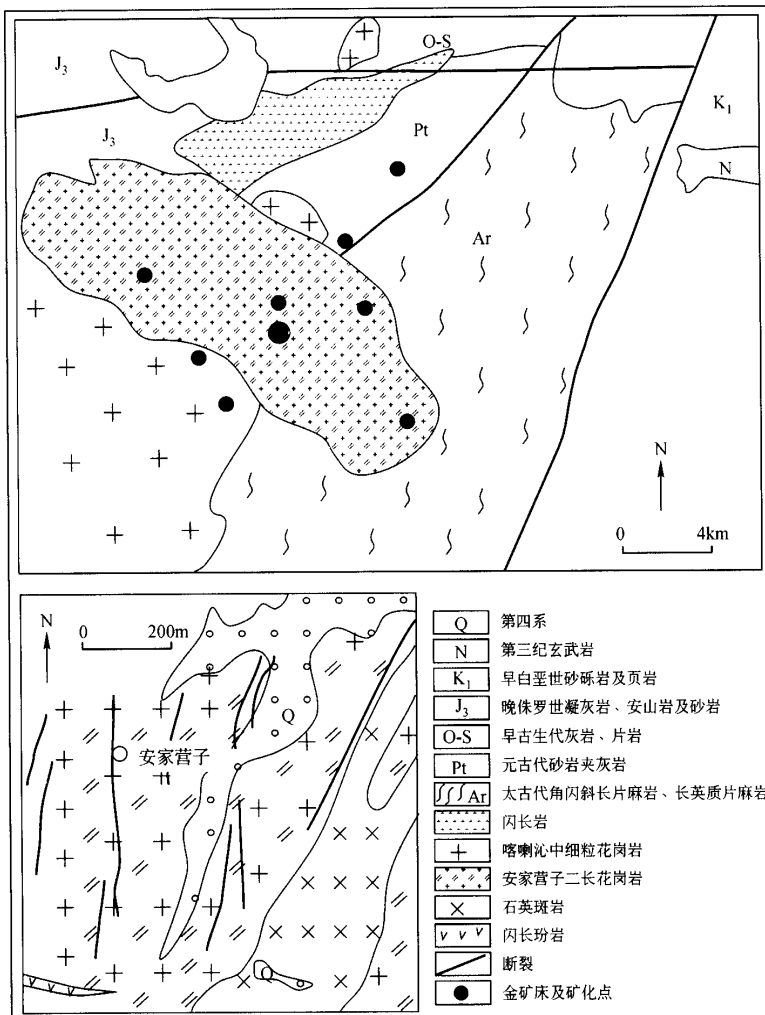


图1 安家营子金矿床地质略图(据王时麒等,1994,修编)

Fig.1 Sketch geological map of the Anjiayingzi gold deposit

**矿区构造** 以断裂构造为主,具有长期活动特征,按断裂走向可划分五组:NNE向、NE向、NEE向、NW向和近E-W向。其中以NNE向断裂最为发育,规模较大,产状稳定,是金的主要控矿、容矿构造,该断裂带按其规模和变形强度又可以分为两个主剪切断裂带:南大洼-漏风岭主断裂带和夹壁墙主断裂带。

**矿床地质** 矿体产在安家营子花岗岩体内或岩体边缘接触带的内带,受NNE向断裂破碎带控制,破碎带长数千米,宽数百米,赋存其中的矿体长几十米至数百米,宽约1米,呈脉状、扁豆状或透镜状。矿石矿物中金属矿物以黄铁矿为主,还有黄铜矿、方铅矿和闪锌矿等,金主要赋存在黄铁矿中;脉石矿物主要为石英、绢云母,其次为方解石、钾长石和绿泥石等。围岩蚀变从未蚀变花岗岩至矿体,先后出现“红化”、钾长石化、绢云母化、绢英岩化、黄铁矿化、硅化、碳酸盐化等,金矿化主要与绢英岩化、黄铁矿化、硅化关系密切。

**成矿期与成矿阶段** 根据郑学正等(1994)将该矿床成矿期划分为五期:成矿前期、成矿早期、成矿中期(主成矿

期)、成矿晚期和表生期。根据矿物组合和矿脉间的穿插关系,主成矿期本文划分四个成矿阶段:黄铁-绢英岩化阶段(I)、石英-黄铁矿化阶段(II)、石英-多金属硫化物阶段(III)和碳酸盐化阶段(IV)。

## 2 流体包裹体研究

样品采自主成矿期各成矿阶段的矿石,将含金脉石英较多的矿石磨制成厚度为0.2~0.3mm两面光薄片,在镜下作详细的矿相学和包裹体岩相学观察,选择有代表性包裹体供显微热台测温;此外选择包裹体数量较多的相应矿石作为包裹体成分分析和包裹体水氢氧同位素分析的样品;选择I~II阶段的黄铁矿作为爆裂法测温样品。

### 2.1 流体包裹体类型

根据包裹体组分和室温下相态,该矿床流体包裹体可以划分四种类型(见图2):

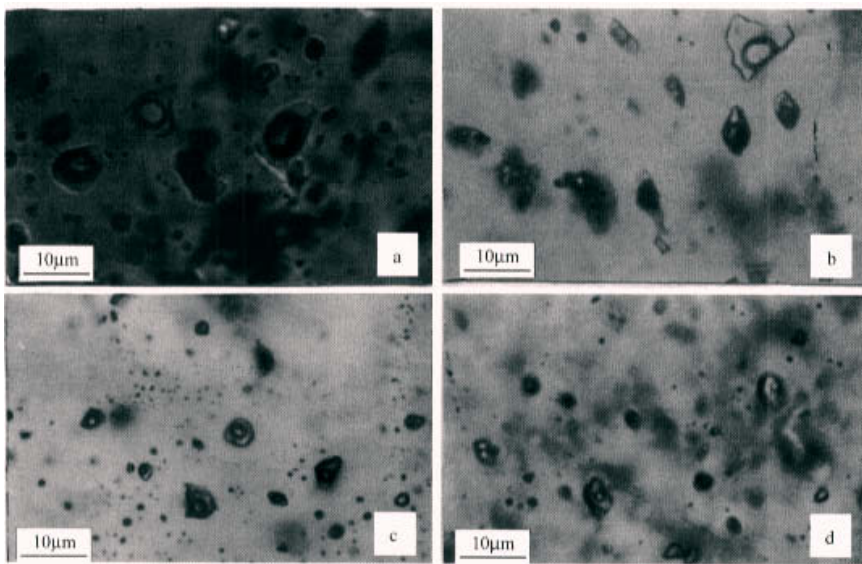


图2 安家营子金矿流体包裹体类型图

a. 气体包裹体 b. CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 三相包裹体 c. 气液包裹体 d. 液体包裹体

Fig. 2 Types of fluid inclusions of the Anjiayingzi gold mine.

(1) 气体包裹体(V型),气液比>50%,主要赋存在成矿阶段 矿物中,镜下包裹体形态多为六边形(石英的负晶形),大小一般为6~10µm,数量较少,随机分布,为I阶段的原生包裹体(图2a)。

(2) CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 三相包裹体(C型),气液比20~30%,主

要出现在成矿阶段II石英中,呈石英负晶形或椭圆形,个体较大,一般为10~15µm,大者30~40µm,个别达60~70µm。液相CO<sub>2</sub>含量较少,在包裹体的气泡和H<sub>2</sub>O之间呈薄薄的一圈液相CO<sub>2</sub>,随机分布,为成矿阶段II的原生包裹体(图2b)。

(3) 气液包裹体(V-L型), 气液比 15~20%, 呈石英负晶形或椭圆形, 大小一般为 6~10 $\mu\text{m}$ , 大者 15~20 $\mu\text{m}$ , 为成矿阶段Ⅲ的原生包裹体, 该类型包裹体也常常出现在 I、II 阶段的石英中, 沿愈合微裂隙定向分布, 为 I、II 阶段的次生包裹体(图 2 c)。

(4) 液体包裹体(L型), 气液比 <10%, 个体较小 4~6 $\mu\text{m}$ , 主要出现在成矿Ⅳ阶段的方解石中, 呈菱形、四边形等, 随机分布, 为Ⅳ阶段的原生包裹体, 该类型包裹体, 也常常出现在 I、II、III 阶段形成的矿物中, 沿愈合微裂隙定向分

布(图 2 d)

## 2.2 包裹体显微测温

包裹体均一测温利用德制 Leitz1350 型热台, 精度  $\pm 1^\circ\text{C}$ ; 盐水冰点利用法制 Chaixmeca 冷热台, 精度  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ; 黄铁矿爆裂法测温用中国科学院地质与地球物理研究所 TD-4 型爆裂仪, 精度  $\pm 2^\circ\text{C}$ ; 均一法和盐水冰点(盐度)测试结果列在表 1。

表 1 矿石石英中包裹体显微测温结果

Table 1 Characteristics of fluid inclusions in quartz from ores in the Anjiayingzi gold deposit

样品号	样品位置	包裹体特征			均一温度 $^\circ\text{C}$			盐度 wt% NaCl	
		类型	大小( $\mu\text{m}$ )	阶段	范围	均值	$T_{\text{HCO}_2-\text{v}}$	范围	均值
D1-234	大水清一号脉	V	6~10	I	342~350	345			
		C	10~15 (30~40)	II	310~322	316	27.5~28.5 $\rho=0.276$	5.35~6.20	5.86
		V-L	6~12	III	270~286	278		4.18~5.39	4.78
		L	4~8	IV	151~195	173			
Nd~710	南大注采区	V	6~10	I	341~358	350			
		C	8~25	II	320~330	325	27.8~28.2 $\rho=0.290$	2.96~3.89	3.42
		V-L	6~12	III	289~290	285		4.03~4.65	4.34
		L	6~8	IV	163~175	169		1.04~1.91	1.65
LT-68	龙头山采区	V	6~10	I	336~356	348			
		C	8~20	II	304~339	326	27.5~28.2 $\rho=0.274$	2.96~4.26	3.61
		V-L	5~10	III	245~260	253		4.18~5.26	4.72
I <sub>0</sub> -146	大水清 0 号脉	C	10~30	II	310~332	321	15~22.1 $\rho=0.183$	3.89~4.8	4.35
		V-L	5~10	III	260~287	275		4.65~5.71	5.16
		L	6~8	IV	145~160	152			
YP-124	阳坡采区	C	8~30	II	312~332	322	28.0~29.2 $\rho=0.294$	4.62~4.98	4.80
		V-L	6~15	III	245~265	256		4.03~4.36	4.19
		L	6~12	IV	165~174	169		0.88~1.74	1.31

注:表中包裹体类型代号:V-气体包裹体,C-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-三相包裹体,V-L-气液包裹体 L-液体包裹体,  
 $T_{\text{HCO}_2-\text{v}}$ -C型中 CO<sub>2</sub>相均一到气相温度, $\rho$ -CO<sub>2</sub>密度

由表 1 可见,该矿床成矿流体有如下特点:

(1) 成矿温度区间为 358~145 $^\circ\text{C}$ ,但金主要矿化温度为 326~253 $^\circ\text{C}$ ;

(2) 成矿温度从成矿阶段 I 至成矿阶段 III 依次下降,但盐度变化不大;

(3) 成矿流体盐度低(<6wt% NaCl), CO<sub>2</sub> 密度也很低(<0.3g/cm<sup>3</sup>);

(4) CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub>O-NaCl 溶液不混溶温度为 340~300 $^\circ\text{C}$ ;

(5) 各成矿阶段的矿物包裹体普遍比较大,尤其是成矿 II 阶段,包体大小一般为 10~15 $\mu\text{m}$ 、大者 30~40 $\mu\text{m}$ 、个别大者达 60~80 $\mu\text{m}$ ,这在国内同类蚀变岩型矿床中极为罕见。表明本矿区成矿流体来源丰富,温压条件比较稳定。

爆裂法测温:目的为了解金的矿化温度。样品选择成矿阶段 II 石英-黄铁矿富金矿石,将矿石破碎至 0.4~0.2mm,

表2 安家营子金矿流体包裹体气液成分

Table 2 Compositions of fluid inclusions of the Anjiayingzi gold deposit

样品	矿物	矿石类型	气相成分( $10^{-6}$ mol/g)				$(\text{CH}_4 + \text{CO})/\text{CO}_2$	液相成分( $\mu\text{g/g}$ )							
			H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K/Na
LT8-1-13	石英	蚀变岩型	36.325	4.015	0.026	0.007	0.008	8.06	9.44	微量	0.03	0.6	16.4	2.83	1.17
LT6-1-04	石英	蚀变岩型	47.379	2.131	0.000	0.035	0.016	5.83	8.33	微量	0.01	1.17	11.28	2.63	1.43
D1-2-09	石英	蚀变岩型	46.810	2.891	0.000	0.036	0.012	5.00	8.89	微量	0.01	0.59	11.49	2.83	1.78
D1-3-14	石英	蚀变岩型	40.387	1.920	0.000	0.067	0.035	8.61	9.56	微量	0.03	0.82	16.5	4.52	1.11
D1-4-17	石英	蚀变岩型	37.779	1.304	0.028	0.057	0.065	21.67	26.67	0.01	0.06	2.43	49.09	1.01	1.23
YP1-2-42	石英	蚀变岩型	27.800	1.546	0.000	0.046	0.030	5.56	7.78	微量	0.01	0.83	12.64	1.21	1.40
YP2-5-34	石英	蚀变岩型	27.006	3.285	0.070	0.034	0.031	4.44	5.28	微量	0.06	0.72	7.21	1.42	1.19
YP3-6-18	石英	蚀变岩型	28.794	2.207	0.011	0.034	0.020	4.72	5.00	微量	0.06	0.57	8.56	0.01	1.06
YP4-6-11	石英	蚀变岩型	27.206	3.742	0.025	0.047	0.019	4.44	5.00	微量	0.01	0.37	7.62	2.02	1.13
92-159 <sup>A</sup>	石英	石英脉型	9.13	7.89	0.14	0.41	0.60	9.40	1.71	0.64	0.00	0.81	9.2	1.81	0.20
DP-43 <sup>AA</sup>	石英	石英脉型	41.13	4.83	0.02	0.01	0.006	1.49	0.84	0.07	0.00	0.00	2.16	0.71	0.32

a) 中国科学院地质与地球物理研究所王英兰测试

 $\Delta$  小秦岭桐沟金矿(谢奕汉等,1994)  $\Delta\Delta$  冀西北东坪金矿(范宏瑞等,2001)

水洗净,选纯黄铁矿、烘干、取出适量,在DT-4型热爆仪上进行爆裂法测温。57件黄铁矿爆裂法测温结果,可以大致划分三组温度:340~320℃、290~250℃、220~160℃,其中前一组为黄铁矿形成温度,第二组为金的矿化温度,因为金在黄铁矿中主要以微裂隙充填形式存在,黄铁矿中次生包裹体爆裂温度可以反映金的矿化温度。后一组温度为金矿化以后另一期次的热液活动温度。

2.3 包裹体气液相成分

样品选择成矿阶段II石英-黄铁矿矿石,将矿石破碎至0.4~0.2mm,水洗净,选纯石英,用稀盐酸除去可能存在的碳酸盐矿物,再用二次去离子水浸泡,超声波清洗,烘干装瓶备用。在进行分析过程中用热爆法打开包裹体,用Varian3400型气相色谱仪分析气相成分,用液相色谱仪分析液相阴离子,用原子吸收光谱仪分析阳离子,分析结果列在表2。

由表2可见,在气相成分中以H<sub>2</sub>O为主,CO<sub>2</sub>次之,CH<sub>4</sub>、CO微量,CH<sub>4</sub>+CO/CO<sub>2</sub><0.1,表明成矿环境为弱还原条件,金是在还原条件矿化的。在液相成分中阳离子以K<sup>+</sup>、

Na<sup>+</sup>为主,Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>微量;阴离子以Cl<sup>-</sup>为主,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>次之,F<sup>-</sup>微量,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>和成矿元素未分析。其中K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>总量较高,K<sup>+</sup>>Na<sup>+</sup>有利于成矿溶液发生碱质交代作用,这与国内其它地区蚀变岩型金矿包裹体液相成分相似(张温璞等,1988)。而石英脉型金矿的情况则相反,包裹体液相成分K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>总量低,K<sup>+</sup><Na<sup>+</sup>不利于碱质交代(范宏瑞等,2001),这可能是引起脉型金矿成矿作用普遍以充填为主的原因之一。

2.4 成矿流体氢氧同位素组成及流体来源

成矿流体的样品取自成矿II、III阶段矿石石英中包裹体水,将水与锌反应释放出H<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O+Zn→ZnO+H<sub>2</sub>↑),用活性碳收集H<sub>2</sub>,送至质谱仪分析氢同位素组成δ<sub>D</sub>,包裹体水的氧同位素组成δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>,则根据分析获得的石英的氧同位素值,采用Clayton(1972)分馏平衡方程换算而获得(10<sup>3</sup>lnα<sub>石英-水</sub>=3.38×10<sup>6</sup>T<sup>-2</sup>-3.40)。四个样品石英包裹体水的氢氧同位素组成值列在表3,并分别投影在δ<sub>D</sub>-δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>图上(图3)。

表3 安家营子金矿流体包裹体水的氢氧同位素组成

Table 3 Hydrogen and oxygen isotopic composition of water in fluid inclusions from the Anjiayingzi gold mine

样品	矿物	包裹体 δD(‰)	石英 δ <sup>18</sup> O(‰)	包裹体 δ <sup>18</sup> O(‰)(矿化温度)
D-1	花岗岩石英	-80.0	+10.1	6.2 (450℃)
LSM01	矿石石英	-81.6	+10.0	4.7 (350℃)
LSM02	矿石石英	-96.5	+11.0	5.7 (320℃)
NDW1	矿石石英	-92.2	+10.9	4.7 (320℃)

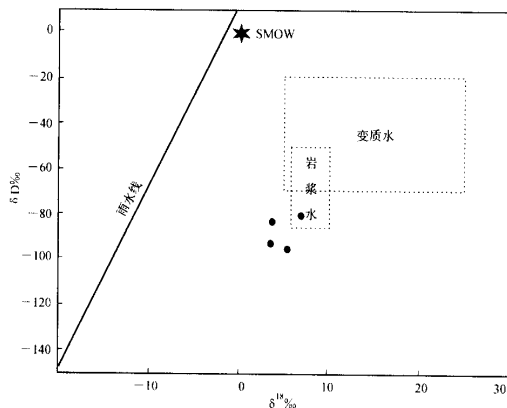


图3 安家营子金矿包裹体中的δD-δ<sup>18</sup>O<sub>水</sub>关系图(据Taylor, 1979)

Fig. 3 Diagram of δD value vs. δ<sup>18</sup>O for gold inclusions

从图3可见,安家营子花岗岩石英中包裹体水的投影点落入岩浆水范围,表明其属于岩浆水。而其余三个矿石石英包裹体水的投影点落在标准岩浆水范围的左下方,靠近岩浆水,本区中生代雨水的δ<sub>D</sub>值约为-90‰(张理刚等,1995)。因此安家营子金矿床成矿流体主要为岩浆水,混入少量古大气水。

2.5 成矿压力和矿化深度

根据表1中C型包裹体的CO<sub>2</sub>相部分均一温度和CO<sub>2</sub>密度及该类包裹体全部均一温度和盐度,在Schwartz(1989)提出的CO<sub>2</sub>包裹体四个变量关系图上,可以求出相应的成矿压力。该矿床成矿压力为500~750×10<sup>5</sup>Pa。据此按静岩增压率250~300×10<sup>5</sup>Pa/km估算,该矿床矿化深度为2.0~2.5km,与华北陆块南缘小秦岭太古代花岗岩岩带脉型金矿矿化深度4~5km相比(周作侠等,1993),该矿床矿化深度是比较浅的。II、III成矿阶段均一温度压力校正值为+20℃(卢焕章等,1990),校正后成矿温度为265~344℃。

## 2.6 流体成矿作用

(1) 金的迁移 来自安家营子花岗岩浆期后热液, 为富含 Au 等成矿元素的  $H_2O-CO_2-(NaCl+KCl)$  流体。在这种高温碱性流体中, 金呈  $Au(OH)_2 \cdot KAuCl_4 \cdot 2H_2O$ 、 $NaAuCl_4 \cdot 2H_2O$  络合物, 随流体沿构造断裂带由下往上运移。当流体温度降至  $400^\circ C$  时,  $H_2S$  气体开始溶解于水, 形成  $HS^-$ 、 $S^{2-}$  离子, 与 Au 反应形成 Au-S 络合物, 例如  $[AuS_2]^-$ 、 $[Au(HS)_2]^-$  等。随着流体温度不断下降,  $H_2S$  溶解度加大, 流体中变成以 Au-S 络合物为主并与 Au-Cl 络合物共存, 随流体沿构造断裂破碎带继续迁移。

(2) 金的沉淀 在成矿流体迁移途中, 当 Au-S、Au-Cl 络合物稳定性遭到破坏后, 络合物便产生离解析出金(即金的沉淀矿化)。安家营子金矿床矿化控制因素主要有以下三种:

①水-岩反应: 从安家营子花岗岩浆期后析出的高温碱性流体, 沿构造破碎带迁移, 与花岗岩围岩发生水-岩反应、碱质交代作用, 使围岩先后出现“红化”、钾长石化、绢云母化、硅化、黄铁-绢英岩化等一系列蚀变, 并导致初始成矿流体也随之发生一系列变化, 由碱性变化为弱碱性、中性、弱酸性。当流体从弱碱性向弱酸性转化时 Au-S 和 Au-Cl 络合物稳定性遭到破坏, 分解析出 Au, 形成金矿。

② $CO_2$  与  $H_2O-NaCl$  不混溶作用:  $CO_2-H_2O-NaCl$  为有限混溶体系,  $CO_2$  在水中溶解度随温度升高而增大, 随温度下降而减小, 甚至发生不混溶逸出  $CO_2$ , 表 1 中 C 型包裹体的均一温度为  $CO_2$  与  $H_2O-NaCl$  最低混溶温度, 低于这个温度便发生不混溶。  $CO_2$  从溶液中逸出, 使溶液组分减少, 压力降低, 金络合物溶解度降低、离解析出金(沈昆等, 2000) 形成该矿床成矿阶段的石英黄铁矿矿石。

③硫浓度降低: 流体中  $Fe^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$  的存在, 并参与反应, 使络合物离解析出 Au, 例如:  $3Fe^{2+} - 2(AuS_2)^{3-} \rightarrow 3FeS_2$  (黄铁矿) + Au↓, 另一方面这些离子的存在, 优先与  $S^{2-}$  离子作用形成各种硫化矿物, 使溶液中硫离子浓度降低, 导致 Au-S 络合物分解沉淀出 Au, 形成矿床成矿阶段 III-金与多金属硫化矿物组合的矿石(栾世伟等, 1987)。

以上几个流体控矿因素中, 以水-岩反应为主, 它贯穿成矿全过程, 引起金络合物分解沉淀成矿。当几个控矿因素复合在某一地段时, 可以使金富化, 形成富金地段。

## 3 结语

(1) 安家营子金矿床成矿流体为富含 Au 等成矿元素的  $CO_2-H_2O-NaCl-KCl$  流体, 来自晚燕山期安家营子花岗岩浆期后热液。

(2) 流体在迁移途中与围岩发生水-岩反应, 使围岩先后出现“红化”、钾长石化、绢云母化、黄铁绢英岩化、硅化等一

系列蚀变, 消耗了大量  $K^+$  离子, 导致流体性质从碱性向弱碱性、中性、弱酸性演化, 随之发生金矿化, 形成金矿床。

(3) 金矿化温度为  $350 \sim 160^\circ C$ , 但主要为  $320 \sim 240^\circ C$ 。成矿流体盐度和  $CO_2$  密度较低, 分别为  $3.5 \sim 5.5 wt\% NaCl$ ;  $0.2 \sim 0.3 g/cm^3$ ; 成矿压力  $500 \sim 750 \times 10^5 Pa$ ; 矿化深度为  $2.0 \sim 2.5 km$ 。

(4) 包裹体的气相成分中  $CH_4 + CO/CO_2 < 0.1$ , 成矿环境为弱还原条件, 液相成分中  $K^+ + Na^+$  总量较高,  $K^+ > Na^+$ , 有利于流体发生交代成矿作用。

(5) 流体矿化主要控制因素有三种: 水-岩反应、 $CO_2$  与  $H_2O-NaCl$  不混溶和硫浓度降低, 其中以水-岩反应为主, 它贯穿成矿全过程。

(6) 该矿区各个矿床相应成矿阶段的均一温度、盐度、 $CO_2$  密度和流体成分基本类同, 而且包裹体个体普遍较大, 特别是成矿阶段的包裹体大者可达  $60 \sim 70 \mu m$ , 表明成矿流体来源丰富, 环境温压条件比较稳定, 成矿前景良好。

致谢 在成文过程中, 承蒙谢奕汉研究员就有关问题进行深入讨论, 范宏瑞博士审阅全文并提出宝贵意见; 杨进辉、彭澎、张华锋博士给予了诸多帮助, 笔者在此一并致谢!

## References

- Chen YJ, Guo G J, Li X. 1998. Geodynamical setting of mineralization for the Cenozoic gold mines in the greenstone terrain of North China Craton. *Science in China(D)*, 28(1):35-40
- Clayton R N. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz. and water. *J Geophys Res*, 77:3057-3607
- Cui W Y, Wang C Q *et al.* 1991. The Zircon U-Pb Ages of Archean Metamorphic Rocks in Western Liaoning Province-Chifeng Area. *Acta Scientiarum Naturalium Universitas Pekinensis*, 27(2):229-237 (in Chinese)
- Fan H R, Xie Y H and Zhai M G. 2001. Study on fluid of the Dongping gold mine. NW Hebei Province. *Sciences in China(D)*, 31(7):537-544 (in Chinese)
- Jia W, Zheng G R, *et al.*, 2001. A typical granitic intrusion emplaced by hot-balloon manner-the Linjiayingzi granite in Kalaqinqi, Inner Mongolia. *Geology and Mineral Resource of South China*, 4: 62-66 (in Chinese)
- Kronern A, Cui W Y and Wang S Q *et al.* 1998. Single zircon ages from high-grade rocks of the Jianping Complex, Liaoning Province, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 16:519-532
- Li YG, Zhai MG, Yang JH. *et al.* 2003. Gold mineralization age of the Anjiayingzi gold deposit in Chifeng County, Inner Mongolia, Implications for Mesozoic metallogenic explosion in North China. *Science in China (Ser. D)*, 33(10): 960-966 (in Chinese)
- Liu G, 1992. An allo-concurred regional metallogenic model for the gold deposits in the Chifeng-Chaoyang gold-concentrated area. In: Paper Selection Papers of the Meeting on Gold Geology of the Northern Margin of the North China Craton. Beijing: Seismic Press, 39-47 (in Chinese)

- Luan S W, 1987. *Geology and prospecting methods for gold deposits*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 163 - 171 (in Chinese)
- Lu H Z, Li B L *et al.* 1990. *Fluid Inclusion Geochemistry*. Geological Publishing House Beijing, 84 - 88
- Schwartz M O. 1989. Determining phase volumes of mixed CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O inclusions using microthermometric measurements. *Mineral. Deposita*, 24:43 - 47
- Shen B F, Luo H. 1994. The metallogenetic Characteristics of Gold Deposits of The Archean Greenstone Belts In North China Platform. *Jour. Geol. & Min. Res. North China*, 9(1):87 - 96 (in Chinese with English abstract)
- Taylor H P. 1979. Oxygen and hydrogen isotope relationships. Barnes H L, (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits 2<sup>nd</sup> Edition*. New York: Wiley, 236 - 277
- Wang S Q, Sun C Z *et al.* 1994. *Geology of gold deposits in Chifeng region, Inner Mongolia, China*. Huhhot: Inner Mongolia Peoples Publishing House (in Chinese)
- Wang Y W, 1996. Metallogenic conditions and resource potential of the Anjiayingzi gold orefield, Kalaqinqi, Chifeng. *Gold*, 5: 3 - 9 (in Chinese)
- Wang Y W, Xie X C, *et al.*, 1998. Geochemistry of granitic intrusions hosting gold deposits at the Anjiayingzi gold orefield, Inner Mongolia. *Gold Geology*, 4(2): 1 - 10 (in Chinese)
- Wang YW. *et al.* 1995. Occurrence pattern of ore bodies of the AnJiaYingzi gold deposit in Inner Mongolia and prediction of mineralization. Research report, JiLin Institute of Geological Exploration for Nonferrous Metals (in Chinese with English Abstract)
- Xie Y H, Jin C W, Zhao R and Fan H R. 1994. Evolution of thermal fluid and gold mineralization in the Qingling area. Proceeding in the gold mine research of China, Vol. 1. Edited by the Work Group of Science and Technology of Gold Mining in China. Seismic Press House, Beijing, 351 - 365 (in Chinese)
- Zheng X Z, Zhang K W, Li D Z, *et al.*, 1994. Metallogenic model and deep diagnosis on gold deposits in the Kalaqin gold-concentrated area, Inner Mongolia. In: *Progress in Researches on Gold Deposits of China*. China Leading Group of Gold Science and Technology (ed.), Beijing: Seismic Press, 418 - 431 (in Chinese)
- Sheng K, Hu S X, *et al.*, 2000. Mineralizing fluids of the Dayigezhuang gold deposit in Zhaoyuan, Shandong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 542 - 550 (in Chinese)
- Zhang W P, Lu Y F, *et al.*, 1988. *Geology and prospecting on the Jiaojia-type gold deposits in the buried areas of the northwest Yexian, Shandong Province*. Paper Selection on Regional Geology of Major Types of Gold Deposits in China, The Jiaodong Region. Beijing Geological Publishing House, 46 - 81 (in Chinese)
- Zhang L G, Chen Z S, *et al.*, 1995. Two-stage water-rock reaction theory and its application in exploration. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 231 (in Chinese)
- Zhong Z X, 1993. Genesis of Gold (molybdenum) deposits in the southern margin of the North China Craton. Beijing: Seismological Press (in Chinese)
- 附中文参考文献**
- 陈衍景, 郭光军, 李欣. 1998. 华北克拉通花岗绿岩地体中生代金矿床成矿地球动力学背景. *中国科学 D 辑*, 28(1): 35 - 40
- 崔文元, 王长秋等. 1991. 辽西-赤峰一带太古代变质岩中锆石 U-Pb 年龄. *北京大学学报*, 27(2): 229 - 237
- 范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国. 2001. 冀西北东坪金矿流体研究. *中国科学 D 辑*, 31(7): 537 - 544
- 贾文, 郑广瑞等. 2001. 一个典型的热气球式侵入花岗岩体 - 内蒙喀喇沁旗林家营子花岗岩. *华南地质与矿产*, 4: 62 - 66
- 栾世伟. 1987. *金矿床地质及找矿方法*. 成都: 四川科学技术出版社, 163 - 171
- 李永刚, 翟明国, 杨进辉等. 2003. 内蒙赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义. *中国科学 (D 辑)*, 33(10): 960 - 966
- 刘纲. 1992. 赤峰-朝阳金矿集中区异源同生区域成矿模式. 华北地台北缘金矿地质科研讨论会论文选编. 沈阳: 东北工学院出版社, 39 - 47
- 卢焕章, 李乘伦等. 1990. *包裹体地球化学*. 北京: 地质出版社, 84 - 88
- 沈保丰, 骆辉等. 1994. 华北陆台太古宙绿岩带金矿的成矿特征. *华北地质矿产杂志*, 9(1): 87 - 96
- 沈昆, 胡受奚等. 2000. 山东招远大尹格庄金矿成矿流体特征. *岩石学报*, 16(4): 542 - 550
- 王时麒, 孙承志, 崔文元等. 1994. 内蒙古赤峰地区金矿地质. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 222 - 332
- 王义文等. 1995. 赤峰市喀喇沁旗安家营子金矿田矿体赋存规律及成矿预测. 科研成果报告, 吉林有色地质勘查局研究所
- 王义文. 1996. 赤峰市喀喇沁旗金矿成矿地质条件及资源潜力. *黄金*, 5: 3 - 9
- 王义文, 谢锡才等. 1998. 内蒙古安家营子金矿田富矿岩体地球化学特征. *黄金地质*, 4(2): 1 - 10
- 谢奕汉, 金成伟等. 1994. 小秦岭地区热流体演化及金的成矿作用. *中国金矿研究新进展, 第一卷(下篇)*. 中国科学黄金科技工作领导小组办公室主编, 北京: 地震出版社, 351 - 365
- 张福璞, 吕以发等. 1988. 山东掖县北部覆盖地区焦家式金矿地质条件及找矿方向. *中国金矿主要类型区域成矿条件文集 5, 胶东地区*. 北京: 地质出版社, 46 - 81
- 张理刚, 陈振胜等. 1995. 两阶段水-岩同位素交换理论及其勘探应用. 北京: 地质出版社, 1 - 231
- 郑学正, 张魁武, 李达周等. 1994. 内蒙古喀喇沁金矿集中区的金矿成矿模式与深部成矿预测. *中国金矿研究新进展, 第一卷(下篇)*. 中国科学黄金科技工作领导小组办公室主编. 北京: 地震出版社, 418 - 431
- 周作侠. 1993. 华北地台南缘金(钼)矿床成因. 北京: 地震出版社