

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

张元厚^{1,2}, 张世红¹, 韩以贵¹, 韩 军³, 赵英豪³, Franco Pirajno⁴

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061;
3. 河南省金源黄金公司, 河南 洛阳 471000; 4. Geological Survey of Western Australia, Perth 6004, Australia)

摘要:通过野外地质、岩相学、拉曼光谱和电子探针分析,对祁雨沟2号和4号含金角砾岩筒中冰长石-方解石蚀变矿物组合特征进行了描述。含金角砾岩筒成矿作用分为两期:面状矿化和脉状矿化。面状矿化的蚀变主要有阳起石化、绿色黑云母化、绿泥石化、冰长石化、硅化、绿帘石化、黄铁矿化、碳酸盐化和少量的绢云母化。脉状矿化蚀变为硅化、绢云母化和少量的碳酸盐化。通过对角砾岩筒的蚀变与成矿作用关系研究,认为冰长石-方解石蚀变与含金角砾岩筒成矿作用是同期,从而确定祁雨沟含金角砾岩筒是一个典型的低硫型浅成低温热液型金矿床。

关键词:角砾岩筒;冰长石-方解石组合;浅成低温热液矿床;祁雨沟

中图分类号:P578.968;P578.6⁺1;P618.51 文献标识码:A 文章编号:1000-6524(2006)01-0077-08

The adularia-calcite assemblage in Qiyugou gold-bearing breccia pipes and its mineralization significance

ZHANG Yuan-hou^{1,2}, ZHANG Shi-hong¹, HAN Yi-gui¹, HAN Jun³, ZHAO Ying-hao³ and Franco Pirajno⁴

(1. State key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, 130061, China; 3. Jinyuan Gold Company of Henan Province, Luoyang 471000, China; 4. Geological Survey of Western Australia, 100 Plain street, Perth, 6004, Australia)

Abstract: This paper reports some preliminary results obtained from field petrographic work, laser Raman microspectroscopy and electron microprobe analysis carried out on the Au-bearing Qiyugou breccia pipes. The adularia-calcite assemblage was recently discovered in the breccia gold deposit. Two stages of gold mineralization in the breccia pipes, i. e., pervasive and veined, were distinguished. The early pervasive alteration of actionite, green biotite, epidote, chlorite and minor sericite replaced breccias and rock flour, followed by later adularia and calcite alteration filling the open space. Vein ores associated with quartz, sericite, and minor calcite alteration occur in NE-trending faults that cut pervasive ores. These results show that adularia-calcite alteration is associated with gold mineralization. The discovery of the adularia-calcite assemblage in the area suggests that the Qiyugou pipes are genetically of low-sulfidation epithermal type.

Key words: gold-bearing breccia pipe; adularia-calcite assemblage; low sulfidation epithermal system; Qiyugou

冰长石通常具有特殊的形态而区别于其他钾长石,形成于低温热液环境中,是低硫型浅成低温热液型金矿床的重要标志性矿物。浅成低温型金矿床主

要具有浅部特征的矿石结构和矿物组合(通常形成深度<1.5 km),同时也具有特定的形成温度范围(50~350℃)(Pirajno,1992)。根据矿物组合特征和

收稿日期:2005-07-26;修订日期:2005-11-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40032010B),黄金武警部队下达项目“华熊地块构造岩浆作用和成矿作用”

作者简介:张元厚(1963-),男,博士,主要从事矿床学研究,E-mail:zyh4023@126.com。

形成的氧化还原条件,矿床学家把该类矿床分为酸性-硫酸盐型(或明矾石-高岭土型)和冰长石-绢云母型两个亚类,它们又分别被称为高硫型和低硫型(Heald *et al.*, 1987; Hedenquist, 1987; White *et al.*, 1995; Hedenquist *et al.*, 1995, 2000)。

祁雨沟矿区内目前发现大小角砾岩筒 35 个。其中已勘探的 7 个角砾岩筒都有不同程度的金矿化,目前在 9、10、15 号岩筒也相继发现了金矿化。2、4 号是祁雨沟金矿主要产金岩筒,其总储量已达 40 (Mao *et al.*, 2002)。祁雨沟含金角砾岩筒自发现到开采以来,前人对其做了大量的研究工作(邵克忠, 1989; 陈衍景等, 1992; 栾文楼等, 1995; 邵世才, 1995; 任富根等, 1996; 杨竹森等, 1999; 范宏瑞等, 2000; 罗铭玖等, 2000; Mao *et al.*, 2002)。前人研究结果表明,本区角砾岩筒的形成与燕山晚期岩体侵入爆破有关。铅、硫和碳同位素以及氢氧同位素研究结果显示了成矿流体来源于地壳深部,或来源于花岗岩,或来源于马超营断裂带中官道口群和栾川群的变质脱气(陈衍景等, 1992; Chen *et al.*, 2004),其形成深度 1~3 km(邵世才, 1995; 任富根等, 1996)。多数研究资料表明祁雨沟金矿床是一种与岩浆有关的热液型金矿床。前人把本区的金矿化蚀变分为 3 期(如陈衍景等, 1992): 石英-黄铁矿-辉钼矿、石英-多金属硫化物、石英-碳酸盐-方铅矿。本次研究将祁雨沟金矿化分为角砾岩筒内部面状矿化和脉状矿化。面状矿化早阶段有阳起石化、绿色黑云母化、绿泥石化和黄铁矿化等蚀变,晚阶段有石英、黄铁矿、冰长石化和碳酸盐化蚀变。脉状矿化伴有硅化、绢云母化和少量的碳酸盐化。栾文楼等(1995)和杨竹森等(1999)曾认为祁雨沟含金角砾岩筒有冰长石, Mao 等(2002)认为该矿床为典型的浅成低温热液型矿床,但冰长石这一标型矿物存在的地质意义并没有引起人们足够重视。本文根据野外地质调查、岩相学、镜下观察,以及拉曼光谱测试和电子探针分析,对祁雨沟含金角砾岩筒 2 号和 4 号岩筒中的冰长石-方解石蚀变矿物组合特征进行描述,确定了祁雨沟含金角砾岩是一个典型的低硫型浅成低温热液型热液系统。通过对角砾岩的蚀变和矿化作用的研究,从而确定祁雨沟含金角砾岩筒的矿床成因。

1 区域地质和矿区地质

祁雨沟矿区位于华北地台南缘的熊耳山地区,

经历了印支期的碰撞和燕山晚期的拉张阶段(陈衍景等, 1992; 张国伟等, 1996)。区内主要地层单元有太古宙到古元古代太华超群和早元古到中元古代的熊耳群。太华超群主要由绿岩和孔兹岩系组成,经历了角闪岩相和麻粒岩相变质作用(陈衍景等, 1992)。大约 1.8~1.4 Ga 期间,具有双峰型火山岩的熊耳群不整合于太华超群之上(张国伟等, 2001; Zhao *et al.*, 2002)。这些变形变质的岩石是本区主要金矿床的含矿围岩。

华熊地块中生代的岩浆岩,从西到东,发育有许多大的花岗岩基和不同规模的岩体,包括小秦岭地区的华山、文峪、娘娘山岩体,熊耳山地区的金山庙、五丈山、花山岩体,以及外方山地区的合峪、太山庙岩体。围绕这些岩基的边部和沿马超营大断裂带的北侧,发育了一系列规模不等的各类中酸性岩脉或斑岩体。这些岩浆岩在空间上构成了一个近东西向展布的平行于马超营断裂带、小河-浚马道断裂带的岩浆岩带。根据地质和同位素年龄资料(叶伯丹, 1985; 河南省区域地质志, 1989; 陕西省区域地质志, 1989; 黎世美等, 1996; 陈衍景等, 2004)证据,华熊地块燕山期侵入岩的发育大致可分为两个阶段,即 160 Ma± 和 120~105 Ma,前者以五丈山岩体为代表,后者以花山、合峪、伏牛山岩体为代表。

祁雨沟金矿床位于熊耳山的东北部,中生代花山岩体及五丈山岩体以东,陶村-红庄断裂以西(图 1)。矿区内主要出露的地层有太华群角闪黑云斜长片麻岩和熊耳群火山岩。矿区内断裂以 NW 和 NE 向为主,次为近东西向。区内发育有闪长岩脉、长英质岩脉、石英斑岩或英安岩墙以及含钾长石大斑花岗斑岩脉等,矿区西侧约 2 km 处有雷门沟斑岩型钼金矿床。岩浆岩主要为燕山期的微细粒斑状黑云母花岗岩、角闪二长花岗斑岩岩株。Mao 等(2002)认为本区斑岩型 Mo(Au)成矿年龄为 136~115 Ma。切割角砾岩筒的含钾长石大斑花岗斑岩脉 K-Ar 年龄为 112.66 ± 1.67 Ma(任富根等, 1996, 2001; 范宏瑞等, 2000); 角砾岩筒中的蚀变钾长石 K-Ar 年龄为 120.75 ± 1.75 Ma(任富根等, 2001)。地质证据和同位素年龄数据表明了本区的金成矿作用在时间和空间上与中生代岩浆作用有关。

2 祁雨沟含金角砾岩筒冰长石特征

冰长石的分子式为 $K[AlSi_3O_8]$, 是钾长石的低

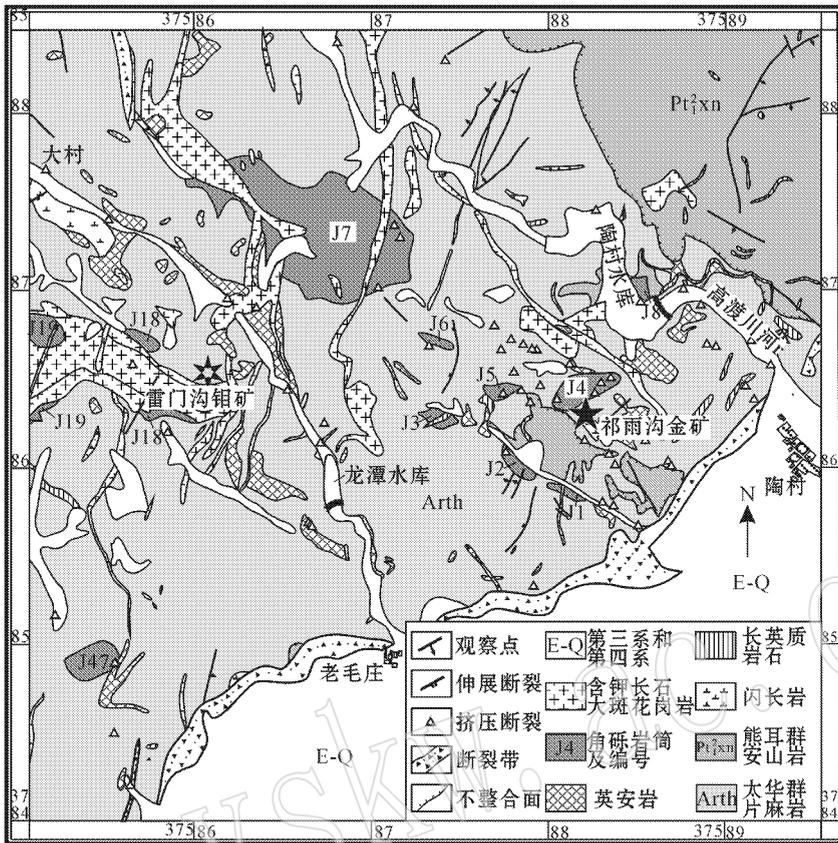


图 1 祁雨沟-雷门沟地区地质图(据矿区 1:1 万地质图修编)

Fig. 1 Simplified geological map of Qiyugou-Leimengou area (modified after 1 : 10 000 Geological Map of the Mine)

温变种,无色或浅粉红色,透明,玻璃状,肉眼很难鉴别。光性特征与正长石近似,镜下极似透长石,晶形如图 2a 所示。由于冰长石常与方解石、石英一起产于裂隙中,在镜下常呈菱形和长柱形以及三角形等切面形态,易与方解石混淆。但可从其具有较大的光轴角、为二轴晶及表面干净等特征区别于正长石、透长石及方解石。

在祁雨沟 2 号和 4 号角砾岩筒中所见到的冰长石通常为无色,个别为浅粉红色,镜下呈三角形、长柱形、菱形和发育不完整的菱形,粒径 0.1~1.3 mm,偶尔可见巴温诺双晶和曼尼巴双晶(图 2)。冰长石通常与方解石、黄铁矿共生,或产于黄铁矿夹缝中,或穿切英安岩的角砾,或充填于角砾之间的胶结物中(图 2)。个别冰长石从边部交代了其他长石,而使得该长石具有干净的边。部分冰长石内部见有粘土矿物、绢云母等包裹体。

激光拉曼测试也是鉴别冰长石的有效方法之一。图 3A、B、C 分别是冰长石、正长石和钠长石的

标准拉曼谱峰图,主峰 472.9~477.6 和 510.9~515.6 是长石类矿物的主要拉曼谱峰,753.1 和 814.9 是冰长石独有的峰位而区别于其他长石。本次实验利用北京大学地球与空间科学学院的激光拉曼谱仪对祁雨沟含金角砾岩筒中的冰长石进行了分析。仪器型号为 Ranisow RM-1000,514.5 nm 的 Ar 激光器,激光功率为 20 mW。结果如图 3D、E 所示,主要显示出 159.5(157.8)、285.9(287.6)、476.5、515.3、641.8(643.5)、739.6 和 812.1(813.8)的峰位。其中 286(287.6)峰为方解石,641.8(643.5)是树胶的谱峰,通过与冰长石、正长石和钠长石的标准矿物拉曼谱峰对比,739.6 和 812.1(813.8)应该是冰长石的特征谱峰(图 3D、E)。

标准的冰长石通常 Or 含量约为 90%,Ab 为 9%,An 为 1%。本次实验利用了地质大学电子探针(EPMA-1600 型,加速电压 15 kV,电流 7 nA,束斑 1 μm)对冰长石进行了分析,结果(表 1)显示该冰长石成分符合 OrAbAn 含量标准。

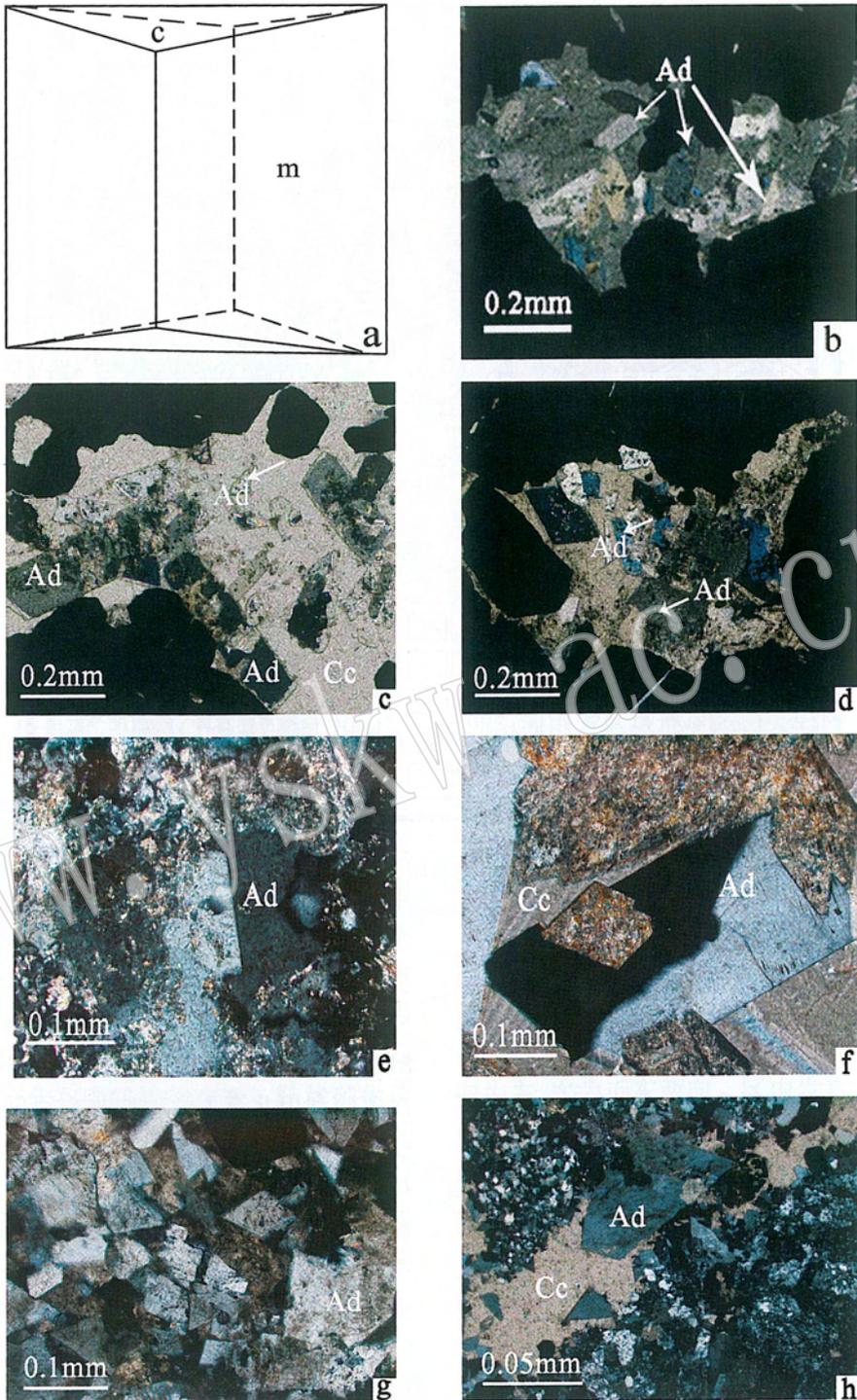


图2 祁雨沟含金角砾岩筒冰长石镜下特征

Fig. 2 Adularia in the Qiyugou Au-bearing breccia pipes

a—冰长石晶形示意；b、c、d—冰长石(Ad)切面形态，以及冰长石与方解石(Cc)一起产于黄铁矿颗粒之间夹缝中，样号014B8；
e、f—冰长石的巴温诺和曼尼巴双晶，样号4310 mk；g—一半菱形、菱形和三角形切面的冰长石集合体与方解石共生，样号001B6；
h—菱形和三角形切面的冰长石与方解石脉共生，并切割英安岩角砾，充填在角砾之间的裂隙中，样号014B2
a—schematic adularia (Ad) crystallography；b, c, d—triangular to rhombic shapes of adularia crystals with calcite (Cc) filling the open space through pyrite ores, sample 014B8；e and f—adularia crystals showing Baveno and Manetbatch twins, sample 4310 mk；g and h—rhombic adularia associated with calcite filling the open space and cutting through dacite clasts, sample 001B6 and 014B2

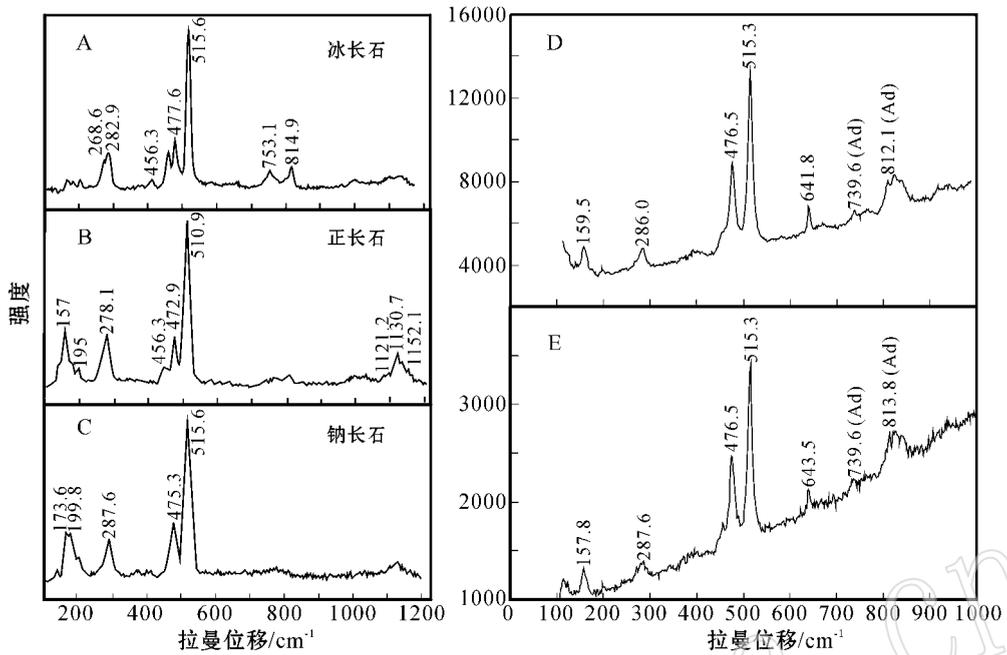


图 3 祁雨沟含金角砾岩筒中的冰长石(Ad)与标准的冰长石、正长石和钠长石拉曼谱峰对比图

Fig. 3 Laser Raman analyses of adularia (Ad) in the Qiyugou Au-bearing breccia pipes

表 1 冰长石的电子探针分析数据及其与标准数据的对比

Table 1 Microprobe Analyses of adularia in contrast to the standard data

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Or	Ab	An
标准	64.28		19.19	0.09	0.11	0.92	15.30	99.89	90.50	8.30	1.20
014b8-8	66.19	0.29	17.75	0.33	0.00	1.25	14.65	100.46	88.55	11.45	0.00
014b8-7	66.07		18.29		0.07	1.09	14.36	99.88	89.35	10.28	0.37
4310-1-1	65.44	0.11	17.88	0.28	0.00	1.06	15.30	100.07	90.49	9.51	0.00
4310-1-2	65.95	0.18	17.74		0.00	1.03	15.10	100.00	90.63	9.37	0.00

注：标准数据引自 Deer 等(1992)。

3 冰长石-方解石蚀变与矿化关系

2号、4号是祁雨沟金矿主要产金岩筒。角砾岩体在平面上呈长条状、椭圆状、纺锤状等,在剖面上呈筒状向北西倾斜,倾角 70°~80°,地表出露面积一般为 0.01~0.05 km²(图 4)。角砾岩体与围岩界限较为清楚,垂直延伸大于 300 m。岩体内角砾成分主要为太华群的片麻岩类,次为熊耳群的安山岩类及长英质岩石、英安岩。角砾胶结程度较高,有不同程度的蚀变。胶结物成份一般为岩屑、岩粉和热液蚀变产物。矿石矿物以黄铁矿、黄铜矿、方铅矿及自然金为主,少量闪锌矿、辉钼矿、辉铜矿、银金矿、辉银矿等。这些硫化物充填于角砾之间的裂隙中。载金矿物主要为黄铁矿。金的赋存状态有裂隙金、包体

金及晶体间隙金 3 种形式。矿石中的金主要以自然金、银金矿、金银矿等金银固熔体系列矿物形式产出。矿石构造有条带状、细脉浸染状、团块状、角砾状、网脉状等。

祁雨沟 2 号和 4 号含金角砾岩筒整体发生了金矿化作用(图 4),之后又被北东向的断裂所切割,在北东断裂中又进一步富集,形成了脉状金矿化。根据矿山资料,角砾岩的成分越复杂、蚀变种类越复杂的部位和大角砾的边部胶结物中,金品位越高。成矿前的围岩蚀变以钾化、硅化为主,以钾长石脉和石英脉侵入到片麻岩和熊耳群火山岩中为特征。这期钾化很强,区域上分布较广,形成时间比硅化早。

祁雨沟矿区围岩蚀变从时间上(金成矿期)可大致划分为两期。图 4 反映了这两期金矿化之间的关系,同时也说明了金主要富集于角砾胶结物和角砾

中, 但角砾中的金品位相对较低。成矿期蚀变主要有阳起石化、绿色黑云母化、绿泥石化、冰长石化、硅化、绿帘石化、碳酸盐化和少量的绢云母化。成矿期蚀变严格限制于角砾岩筒内, 呈面状分布。野外和镜下证据表明: 阳起石化、绿色黑云母化、绿泥石化相对较强, 不仅交代了胶结物, 而且也交代了角砾, 使得一些角砾岩的成分在野外很难辨认。图5显示了英安岩角砾由弱到强的绿泥石化、绿色黑云母化特征。伴随这些蚀变, 有少量黄铁矿化。之后

有冰长硫化物矿化、少量硅化和绢云母化等。这期蚀变主要发生于角砾之间的胶结物之中(图2, 图5b、c、d)。镜下和野外观察表明, 伴随这期蚀变, 硫化物矿化, 尤其是黄铁矿在角砾的胶结物中生长并团聚, 导致冰长石和方解石分布于黄铁矿晶体颗粒之间的夹缝中(图2b、c和d), 形成在野外见到的角砾岩中的硫化物聚合体呈角砾状产出的假像(图5a)。除2号岩筒上部见到冰长石-方解石组合分布外(因为2号已闭坑), 4号岩筒310中段、370

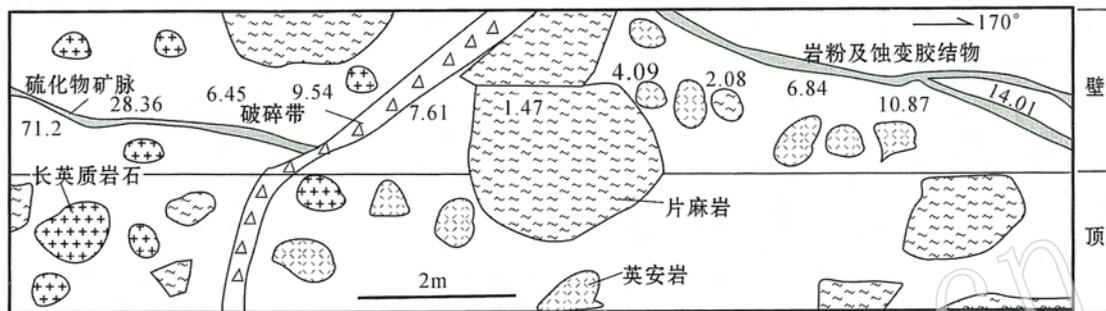


图4 祁雨沟4号角砾岩筒430 m中段两期矿化关系(数字代表金品位)

Fig. 4 Relationships between two alteration stages at 430 m level of No. 4 breccia pipe (numbers indicate gold grades)

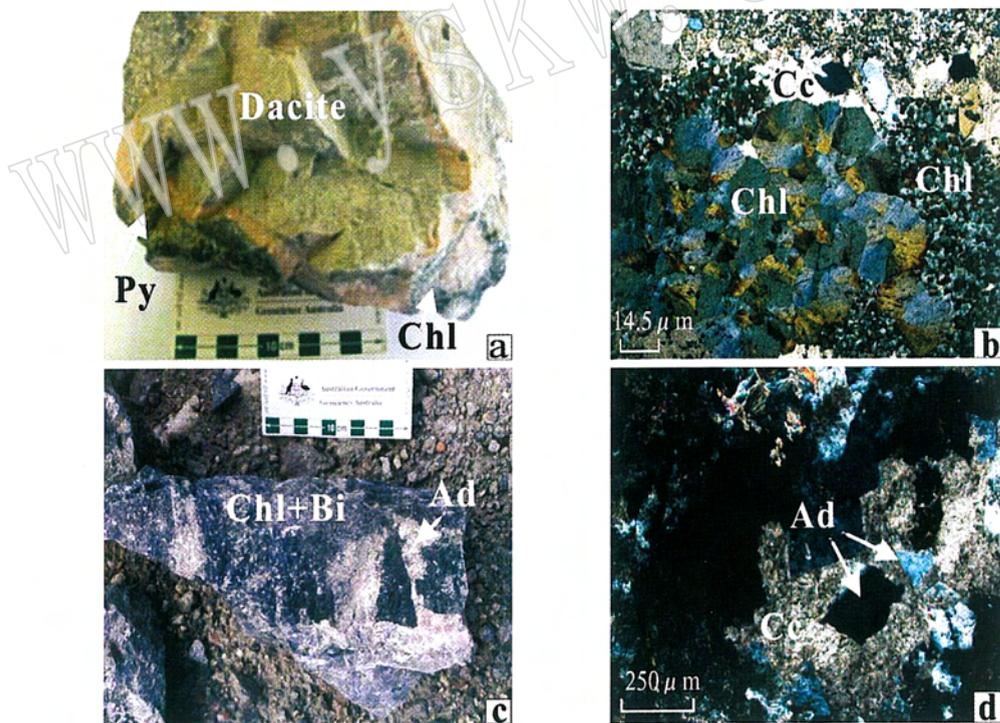


图5 绿泥石化和冰长石-碳酸盐化间的关系

Fig.5 Photograph showing potassic-phyllic relation to adularia-calcite alteration

a—一次圆状英安岩(dacite)角砾绿泥石化, 左下部黄铁矿团块(Py)呈角砾假像分布于角砾岩的裂隙中; b—a的镜下照片, 样号014B10; c—英安岩角砾强烈的绿色黑云母(Bi)化和绿泥石化(Chl), 右侧粉红色为冰长石和方解石蚀变沿角砾岩之间的裂隙充填, 并沿角砾边缘交代角砾, 形成时间晚于绿泥石化等; d—c右侧冰长石(Ad)-方解石(Cc)蚀变的镜下照片, 样号014B2
a—pyrite (Py) cluster occurs in open space through subrounded dacitic breccia and potassic-phyllic alteration; b—microscope feature of photo a, sample 014B10; c—dacitic breccia has suffered intense biotite (Bi) and chlorite (Chl) alteration, and adularia (Ad)-calcite (Cc) alteration was formed later than biotite and chlorite; d—microscope of photo c, sample 014B2

中段、520 中段和露天采场均可见及,说明该蚀变在岩筒内分布广泛。

晚期蚀变主要发生于在北东向断裂中所见的脉状矿体(图 4)中。主要蚀变有硅化、硫化物矿化和少量的绢云母化及碳酸盐化,主要限于断裂中。细脉状碳酸盐化相对较晚,切割了角砾、胶结物以及石英脉等。

综上所述,这些特征表明了冰长石-方解石组合与祁雨沟 2 号和 4 号含金角砾岩筒金矿成矿作用是同期的。冰长石的存在反映了不仅成矿温度低,而且有大量的钾交代作用参与。

4 冰长石-方解石蚀变组合意义

祁雨沟 4 号角砾岩筒气热包裹体所测得的 pH 值为早期 6.75,成矿期 6.37,晚期成矿 7.08(陈衍景等,1992)。矿石以张裂隙充填细脉状、网脉状等充填构造为主。这些条带状、晶洞状、网脉状和角砾状等组构特征业已反映了低硫型矿床特征(White *et al.*,1995)。祁雨沟 2 号和 4 号含金角砾岩筒的蚀变矿物冰长石-方解石组合的发现进一步确定了该金矿床为低硫型浅成低温热液金矿床。Dong 等(1995)在研究 Queensland 低硫型金矿床中的冰长石时认为半自形大颗粒的冰长石(2~4 mm)通常具有较高的有序度,反映了缓慢的结晶环境,与高品位金矿石伴生的小颗粒菱形冰长石(<0.2 mm)通常具有中等有序度,代表了强烈的沸腾环境。因此笔者认为,祁雨沟金矿床中小颗粒菱形冰长石可能形成于沸腾环境。

Henley 等(1983)、Henley(1985)和 Hedenquist(1990)研究活动的地热系统时认为,脉状冰长石是指示热液沸腾矿物相之一。由于冷却使得溶液中 $Al(OH)_4^-$ 不稳定发生沉淀,形成了冰长石和绢云母。其反应式为: $K^+(液) + Al(OH)_4^-(液) + 3SiO_2(液) \rightarrow KAlSi_3O_8(冰长石) + 2H_2O(液)$, $K^+(液) + 2H^+(液) + 3Al(OH)_4^-(液) + 3SiO_2(液) \rightarrow KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2(绢云母) + 6H_2O(液)$ 。

但是在祁雨沟 2 号和 4 号岩筒中所见到的冰长石更多是与方解石共生,因此根据冰长石-方解石组合,Dong 等(1995)和 Hedenquist 等(2000)认为随着沸腾的增强,有大量的 CO_2 从热液中释放,导致 pH 值增加,伊利石或绢云母转变成冰长石,成为稳定相,这时的冰长石大都呈菱形,同时方解石发生沉

淀,其反应式为: $HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$, $6SiO_2(液) + KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2(绢云母) + 2K^+(液) \rightarrow 3KAlSi_3O_8(冰长石) + 2H^+(液)$, $HCO_3^- + Ca^{2+} \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$ 。该组合形成的深度小于 1 500 m,成矿温度低于 320℃。Pirajino(1992)认为冰长石形成温度不高于 180℃。

低温环境中,金通常以硫的络合物形式运移,因此沸腾使得相关的气体从溶液中释放是导致金沉淀的主要因素(Simmons *et al.*,1994;Cooke *et al.*,2000)。 H_2S 气体的释放导致了金在热液中过饱和而发生沉淀,从而形成了低硫型高品位的金矿石,其反应式为: $Au(HS)_2^- + 0.5H_2 \rightarrow Au + H_2S + HS^-$ 。

高硫型金矿床热液系统依据其形成的温压条件的不同,其典型矿物有明矾石,或叶腊石,或迪开石等。所有这些矿物都形成于酸性氧化流体环境中。这些流体来源主要为岩浆组分。相反,低硫型浅成低温热液金矿床则以冰长石-绢云母,或冰长石-方解石矿物组合为特征,这些矿物组合形成于近中性、还原性的热液之中,其化学组成与围岩相平衡。

致谢 本文的完成得到了黄金武警部队下达的《华熊地块构造岩浆作用和成矿作用》项目和国家自然科学基金委下达的项目(编号为 40032010B)资助;拉曼光谱测试在宋述光指导下完成的,在此表示感谢。

References

- Bureau of Geological and Mineral Resources of Henan Province. 1989. Geology of Henan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Bureau of Geological and Mineral Resources of Shaanxi Province. 1989. Geology of Shaanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Yanjing, Chen Huayong, ZAW K, *et al.* 2004. The geodynamic setting of large-scale metallogenesis in mainland China, Exemplified by skarn type gold deposits[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 57~83 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing and Fu Shigu. 1992. Metallogenic Regularities of Gold Deposits in the West of Henan Province[M]. Beijing: Seismic Publishing House (in Chinese).
- Chen Y J, Pirajino F and Sui Y H. 2004. Isotope geochemistry of the Tieluping silver-lead deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver-dominated deposits and related tectonic setting[J]. Mineralium Deposita, 39(5~6): 560~575.
- Cooke D R and Simmons S F. 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits: Society of Economic Geologists[J]. Review in Economic Geology, 13: 221~244.
- Deer W A F R S, Howie R A and Zussman J. 1992. An Introduction to the Rock-forming Minerals (2nd ed) [M]. Langman Scientific and Technical, 415.

- Dong G and Morrison G W. 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin [J]. *Mineralium Deposita*, 30: 11~19.
- Fan Hongrui, Xie Yihan, Zheng Xuezheng, *et al.* 2000. Ore-forming fluids in hydrothermal breccia-related gold mineralization in Qiyugou, Henan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 559~563 (in Chinese with English abstract).
- Heald P, Foley N K and Hayba D O. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types [J]. *Economic Geology*, 82(1): 1~26.
- Hedenquist J W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-Pacific Basin [A]. Horn M K. Trans. Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore [C]. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 513~524.
- Hedenquist J W. 1990. The thermal and geochemical structure of the Broadlands-Ohaaki geothermal system [J]. *Geothermics*, 19: 151~185.
- Hedenquist J W. 1995. The ascent of magmatic fluids: discharge versus mineralization [A]. Thompson J F H. *Magma, Fluids, and Ore Deposits* [C]. Mineral Assoc Can Short Course, 23, 63~289.
- Hedenquist J W, Arribas A and Gonzalez-Urien E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits [J]. *SEG Reviews*, 13: 245~277.
- Henley R W. 1985. The geothermal framework of epithermal deposits [A]. Berger B R and Bethke P M. *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems* [C]. *Review of Economic Geology*, 2: 1~24.
- Henley R W and Ellis A J. 1983. Geothermal systems ancient and modern: a geological review [J]. *Earth Science Review*, 19: 1~50.
- Li Shimei, Qu Lunquan, Su Zhenbang, *et al.* 1996. The Geology and Metallogenic Prediction of the Gold Deposit in Xiaqingling [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Luan Wenlou and Shao Kezhong. 1995. Typomorphic characteristics of native gold from the Qiyugou gold deposit and their ore-prospecting significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 14(1): 65~70 (in Chinese with English abstract).
- Luo Mingjiu, Li Shimei, Lu Xinxiang, *et al.* 2000. Metallogenesis and Deposit Series of Main Minerals Resources of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 452 (in Chinese).
- Mao J W, Goldfarb R J, Zhang Z W, *et al.* 2002. Gold deposits in the Xiaqingling - Xiong 'ershan region, Qinling Mountains, central China [J]. *Mineralium Deposita*, 37: 306~325.
- Pirajno F. 1992. Hydrothermal Mineral Deposits: Principle and Fundamental Concepts for the Exploration Geologists [M]. Springer-Verlag.
- Ren Fugen, Li Weiming, Li Zenghui, *et al.* 1996. Ore-forming Geological Conditions and Models for Ore Searching and Ore Evolution of Gold Deposits in Xiong 'ershan - Xiaoshan areas [M]. Geological Publishing Houes, Beijing: (in Chinese).
- Ren Fugen, Yin Yanjie, Li Shuangbao, *et al.* 2001. Isotope geochronology as evidence of the Indosinian metallogenesis in the Xiong 'er Rift [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 20: 286~288.
- Shao Kezhong and Luan Wenlou. 1989. Genesis of bismuth sulfosalts and bismuth sulfides - Qiyugou explosive breccia pipe type gold deposit and prospecting marks [J]. *Bulletin of Geological Coll. Hebei*, 12(3): 209~305 (in Chinese with English abstract).
- Shao Shicai. 1995. Genesis of the explosion breccia-type gold deposits and their emplacement mechanism as exemplified by the Qiyugou gold mine, Henan Province [J]. *Mineralogica Sinica*, 15(2): 230~235 (in Chinese with English abstract).
- Simmons S F and Chritenson B W. 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system [J]. *American Journal of Science*, 294: 361~400.
- White N C, Leake M J, McCaughey S N, *et al.* 1995. Epithermal gold deposits of the southwest Pacific [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 54: 87~136.
- Yang Zhusen, Gao Zhenmin, Li Hongyang, *et al.* 1999. A study on kinetics of crystal form and micromorphology of native gold in Qiyugou gold deposit [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 19(4): 475~482 (in Chinese with English abstract).
- Ye Bodan. 1985. *Isotopics Compilation of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, *et al.* 1996. Orogenic process of Qinling orogenic belt and its geodynamics [J]. *Science in China (Series D)*, 26(3): 193~200 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, *et al.* 2001. *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics* [M]. Beijing: Science Press 155~321 (in Chinese).
- Zhao T P, Zhou M F, Zhai M G, *et al.* 2002. Paleoproterozoic rift-related volcanism of the Xiong 'er Group, North China Craton: implications for the breakup of Columbia [J]. *International Geology Review*, 44: 336~351.

附中文参考文献

- 陈衍景, 陈华勇, ZAW K, 等. 2004. 中国陆区大规模成矿的地球动力学: 以夕卡岩型金矿为例 [J]. *地学前缘*, 11(1): 57~83.
- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社.
- 范宏瑞, 谢奕汉, 郑学正, 等. 2000. 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*, 16(4): 559~563.
- 河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志 [M]. 地质出版社.
- 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦, 等. 1996. 小秦岭金矿地质和成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 57~174.
- 栾文楼, 殷克忠. 1995. 祁雨沟金矿自然金的标型特征及其找矿意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 14(1): 65~70.
- 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列 [M]. 北京: 地质出版社.
- 任富根, 李维明, 李增慧, 等. 1996. 熊耳山-崑山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价 [M]. 地质出版社.
- 任富根, 殷艳杰, 李双保, 等. 2001. 熊耳裂陷印支期同位素地质年龄耦合性 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4): 286~288.
- 陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社.
- 邵克忠. 1989. Bi-硫酸盐 \ Bi-硫化物——祁雨沟爆发坍塌角砾岩型金矿床成因及找矿标志 [J]. *河北地质学院学报*, 12(3): 299~305.
- 邵世才. 1995. 爆破角砾岩型金矿的成因及其定位机制——以河南祁雨沟金矿为例 [J]. *矿物学报*, 15(2): 230~235.
- 杨竹森, 高振敏, 李红阳, 等. 1999. 祁雨沟金矿自然金晶体形态和微形貌的生长动力学研究 [J]. *矿物学报*, 19(4): 475~482.
- 叶伯丹. 1985. *全国同位素汇编* [M]. 地质出版社.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征 [J]. *中国科学(D辑)*, 26(3): 193~200.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 2001. *秦岭造山带与大陆动力学* [M]. 北京: 科学出版社.