

# 豫西前河金矿热液蚀变地球化学研究

曹 焱<sup>1</sup> 李胜荣<sup>1,2</sup> 申俊峰<sup>2</sup> 要梅娟<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:**含矿热液在迁移过程中与围岩发生了广泛的流体-岩石反应而引起热液蚀变。前河金矿区内主要的热液蚀变有钾长石化、青磐岩化、绢云母化、硅化、黄铁矿化、碳酸盐化和萤石化等 7 种类型;划分了 6 个蚀变-成矿阶段,即黑云母-钾长石阶段→青磐岩阶段→绢英岩阶段→黄铁矿-石英阶段→石英-黄铁矿阶段→碳酸盐-卤化物阶段,以及外、中、内 3 个蚀变带。5 种典型蚀变岩的常量和微量元素分析表明,绢英岩化蚀变中, Si、K 大量迁入, Pb 含量大大增加, 在  $\Sigma$ REE 有所降低的情况下 HREE 有所富集;  $\delta$ Eu 和  $\delta$ Ce 在各蚀变阶段均呈现负异常; 这些现象可能是导致金沉淀的元素地球化学响应。各阶段成矿流体-岩石的交代特点在绿泥石单矿物的矿物化学成分变化上也有所反映。

**关键词:**前河;热液蚀变;交代;金矿化

**中图分类号:**P618.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)01-0156-10

前河金矿位于河南省嵩县旧县镇境内,距县城 45 km。西临潭头金矿,北临瑶沟金矿,地理坐标为  $111^{\circ}49'48''\text{E}$ — $111^{\circ}52'12''\text{E}$ ,  $34^{\circ}45'08''\text{N}$ — $34^{\circ}47'23''\text{N}$ 。矿区附近有洛阳栾川公路通过,向北 35 km 的洛阳站与陇海、焦枝两铁路沟通,交通便利<sup>①</sup>。

自 20 世纪 80 年代发现前河蚀变岩型金矿床以来,已有一些学者对其进行过研究,研究工作涉及矿床地球化学、矿物岩石特征和找矿方向<sup>[1-3]</sup>,卿敏<sup>②</sup>等较为详细的总结了前河蚀变岩型金矿的地质地球化学特征,并进行了找矿预测,取得了有重要参考价值的成果。

蚀变作用与前河金矿的成矿作用有着十分密切的关系,研究该金矿的热液蚀变作用不仅是研究成矿作用的一项基本内容<sup>[6-7]</sup>,也是本区找矿中不可缺少的一个重要环节。从 Gresens<sup>[8]</sup>提出蚀变岩成分与体积的关系公式以来,国内外的众多学者用  $C^{\circ}$ — $C^A$  图解法表示组分的得失<sup>[9-11]</sup>,但是这一方法必须认为 Ti、Al 等惰性元素在蚀变过程中没有在流体-岩石发生迁移,笔者利用 A·鲁德尼科的原子体积法<sup>[12-15]</sup>,

计算了  $1000 \times 10^{-30} \text{m}^3$  体积中加入带出的阳离子个数,结果表明,长期被认为是惰性组分的 Ti、Al、P 等元素在热液蚀变中也发生了迁移,上升的含矿热液沿运移通道(常为具剪切性质的构造断裂,但也可以是先成的脉体或不同岩性接触面等)与围岩发生流体-岩石反应,在围岩蚀变的同时,热液中金的溶解度迅速降低并沉淀成矿<sup>[16]</sup>。运用这一思路和方法,笔者<sup>[17,18]</sup>在对前河金矿蚀变岩的磁化率和短波红外光谱特征较为详细的研究基础上,从元素活动规律的角度对前河金矿的近矿蚀变岩与金矿化的关系进行了定量研究、讨论。

## 1 矿区地质概况

前河金矿位于华熊台隆南缘的马超营断裂带之中,赋存地层为熊耳群鸡蛋坪组流纹斑岩、英安岩及安山岩和马家河组安山岩、杏仁状安山岩夹凝灰岩。矿区断裂构造发育,大小有 19 条,走向主要为近东西向,次为北东向(图 1)。断裂多具多期活动的特

收稿日期:2008-05-12;改回日期:2008-09-26

基金项目:高等学校学科创新引智计划项目(B07011)资助。

作者简介:曹焱,男,1983 年生,博士生,从事矿物学、岩石学、矿床学专业;E-mail:cykaiyang@163.com。

①河南省地质矿产厅第二地质调查队,河南省嵩县前河金矿 IV 号矿带基沟矿段金矿勘探地质报告,1995。

②卿敏等,河南省嵩县前河金矿区外围物化探找矿预测研究,2001

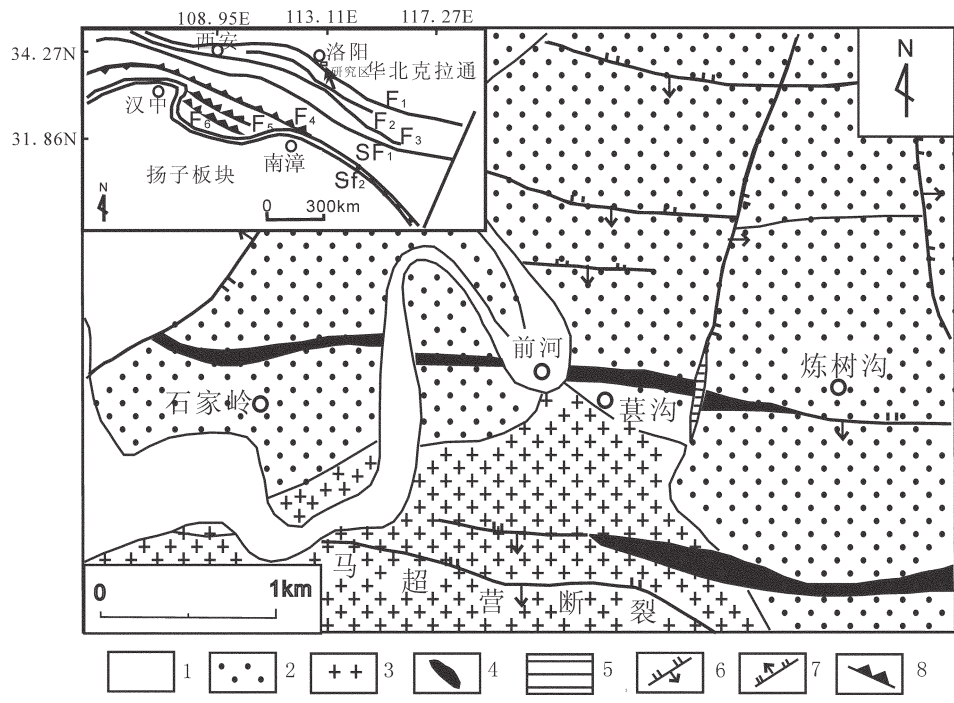


图 1 豫西前河金矿矿区地质简图(据李莉等,1999;张元厚等,2006,有修改)

- 1—第四系;2—中元古界熊耳群;3—燕山晚期斑状二长花岗岩;4—构造蚀变岩型金矿体;  
5—角砾岩脉;6—逆断层;7—正断层;8—冲断带;SF<sub>1</sub>—商丹缝合带;SF<sub>2</sub>—勉略缝合带;F<sub>1</sub>—秦岭北界断裂带;  
F<sub>2</sub>—马超营断裂带;F<sub>3</sub>—洛南—栾川断裂带;F<sub>4</sub>—十堰冲断带;F<sub>5</sub>—石泉—安康冲断带;F<sub>6</sub>—红椿坝—利平冲断带;  
Fig.1 Geological sketch map of the Qianhe gold deposit, western Henan  
1— Quaternary; 2— Mesoproterozoic Xiong'er Group; 3— Late Yanshanian porphyritic monzonitic granite;  
4— Structure-controlled alteration-type gold body; 5— Breccia dyke; 6— Reverse fault; 7— Normal fault;  
8— thrust belt; SF<sub>1</sub>—Shandan suture zone; SF<sub>2</sub>—Mianlue suture zone; F<sub>1</sub>—North boundary of Qinling fractured zone;  
F<sub>2</sub>— Machaoying fractured zone; F<sub>3</sub>—Luonan—Luanchuan fractured zone; F<sub>4</sub>—Shiyan thrust belt;  
F<sub>5</sub>—Shiquan—Ankang thrust belt; F<sub>6</sub>—Hongchunba—Liping thrust belt

点,由于破碎带经历了不同期次、不同性质、不同方向构造应力的叠加改造,在破碎带内发育初糜棱岩、碎裂岩、断层角砾岩、断层泥等韧脆性-脆性变形岩石。

金矿体严格受近东西向断裂控制。含金构造蚀变带长 3800 m。宽 5~30 m。分东、中、西 3 个矿段。东段位于菖沟口—沟脑分水岭,矿带长 1100 m,宽 5~30 m,平均 20 m。东矿段共圈定金矿体 3 个,以 IV 号矿体规模最大,矿体长度 830 m,厚度最大 14.97 m,平均 3.05 m,呈不规则状、豆荚状,沿走向及倾向具膨缩、分支现象,产状 88 线以西走向 95°,以东走向 110°,倾向北东,倾角 58~76°,平均 67°,具浅部缓深部变陡之特点。金品位最高为 238.0g/t,平均 7.87g/t,预计金总储量约 10 t(图 2)。矿石中的矿物成分十分复杂,其中矿石矿物以黄铁矿为主,次为方铅矿和闪锌矿,及少量的黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁

矿、斑铜矿、自然金和银金矿,载金矿物主要为粒度极细的(粒径多为 0.005~0.1 mm)五角十二面体黄铁矿。金矿物大多呈粒间金分布,且只分布于一定方向的黄铁矿浸染脉体中之黄铁矿粒间,包体金及裂隙金极少。脉石矿物主要为石英、钾长石和绢云母,次为方解石、萤石、黑云母、绿泥石、绿帘石及少量的石榴石、榍石和金红石。次生矿物有褐铁矿、白铅矿、黄钾铁矾和针铁矿等。

## 2 热液蚀变

### 2.1 热液蚀变类型

前河金矿热液蚀变强烈,形成了以中低温热液矿物组合为主的各种类型蚀变岩。主要的热液蚀变类型有钾长石化、黑云母化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化、黄铁矿化、多金属硫化物化、碳酸盐化和萤石化。其中钾长石化、青磐岩化、绢英岩化、黄铁

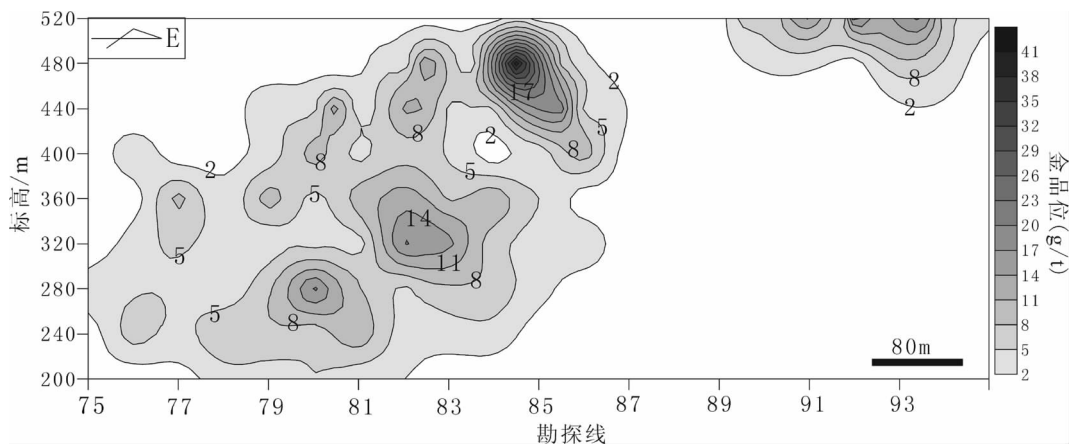


图2 豫西前河金矿 IV 号矿体金品位等值线垂直纵投影图  
Fig.2 Vertical projection diagram of contour lines of IV ore body morphology and gold grade of the Qianhe gold deposit, western Henan

矿化较发育，多金属硫化物较弱，仅形成少量方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等。

(1)钾长石化:肉红色,主要沿着断裂两侧分布,几十厘米到 2~3 m。由于后期蚀变影响,钾长石脉体(图 5-B)发生了绿泥石化,有黑绿色绿泥石细脉交代或者团块状交代,部分还有黄铁矿细脉充填。

(2)青磐岩化:该蚀变岩是在中低温热液作用下形成的,呈墨绿色、暗绿色,基本还保持原安山岩特征。矿物组成主要是新生的绿泥石、绿帘石,以及原岩斜长石。该类型蚀变分布范围广,主要沿着断裂呈面型发育。

(3)绢云母化:该蚀变类型的岩石呈浅黄绿色,极细粒鳞片变晶结构。绢云母,黄色,鳞片状,一般为十几微米,微弱闪突起(图 5-F)。伴随黄铁矿化,黄铁矿主要呈稀疏浸染状分布,含量不均匀。

(4)硅化:石英集合体呈浸染状、团块状、细脉状和网脉状交代围岩,常靠近矿脉,与绢英岩和黄铁绢英岩过渡分布。还有些以黄铁石英脉的形式产出,脉体宽几厘米不等。

(5)黄铁矿化:成矿前期的黄铁矿呈细-粗粒、自形至半自形立方体状,星散分布于蚀变安山岩和乳白色石英脉中,主成矿期的黄铁矿以细-微细粒、自形至半自形五角十二面体状浸染分布于角砾胶结物或绢云母-硅化碎裂蚀变岩中。

(6)碳酸盐化:热液后期,碳酸盐化强烈,主要交代先成矿物或者呈细脉浸染状沿裂隙发育,部分微红色碳酸盐细脉沿着岩石裂隙稳定延伸。

(7)萤石化:萤石,紫褐-粉红色,主要以细脉状、网状产出,规模和强度远不及碳酸盐化。

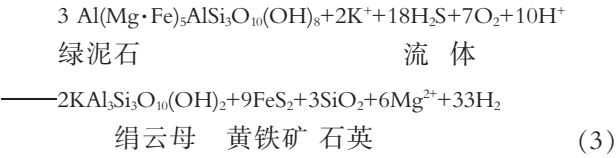
2.2 演化阶段

2.2.1 成矿前期

第 I 阶段:为黑云母-钾长石阶段,钾长石岩被后期的绿泥石、绿帘石团块状、细脉交代,还有黄铁矿细脉充填(图 3-B)。据野外地质特征认为钾长石应是斜长石蚀变而成。黑云母化主要分布在矿体两侧或残存在矿石中,在粗粒黄铁矿中偶见黑云母包体(图 3-H);黑云母石英脉位于钾长石细脉中央,表明黑云母晚于钾长石形成。

第 II 阶段:为青磐岩阶段,青磐岩化以出现大量墨绿色绿泥石、阳起石和黄绿色绿帘石为特征,以细脉浸染状或团块状穿插交代石英钾长石岩。绿泥石多被方解石包裹(图 3-C)。

第 III 阶段:为绢英岩阶段。绢英岩化以出现大量绢云母和石英为特征,形成鳞片花岗变晶结构(图 3-G)。这是青磐岩在酸性流体的作用下,形成绢英岩,并含有少量黄铁矿,即:



2.2.2 成矿期

成矿期的开端,应以介质由碱性向酸性,氧化向还原,金由迁移向沉淀的转变算起<sup>[9]</sup>。通过宏观的野外观察并综合各类蚀变矿物组合之间的交代及脉体

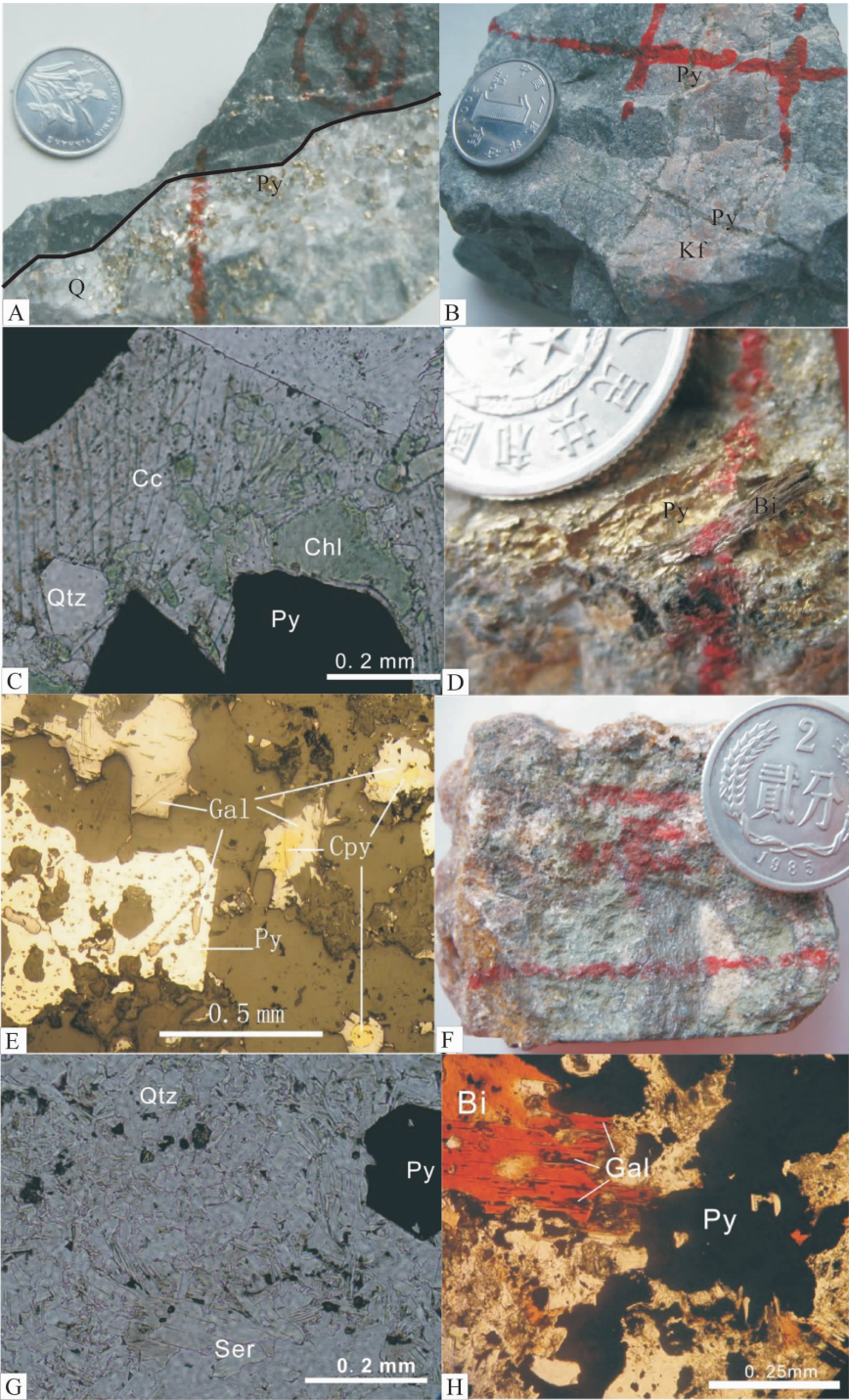


图3 豫西前河金矿矿石和脉石矿物组合

A—黄铁石英脉;B—肉红色钾长石脉体和黄铁矿细脉;C—方解石包裹绿泥石和石英(单偏光);D—粗粒黄铁矿包裹片状黑云母;E—方铅矿包裹乳滴状黄铜矿,部分方铅矿被黄铁矿包裹(反光镜);F—紫色褐红色萤石与辉钼矿共生;G—具鳞片花岗变晶结构的绢英岩(单偏光);H—方铅矿沿黑云母解理交代(单偏光);Gal—方铅矿;Cpy—黄铜矿;Py—黄铁矿;Cc—方解石;Qtz—石英;Chl—绿泥石;Bi—黑云母

Fig.3 Ore and gangue mineral assemblage in the Qianhe gold deposit, western Henan

A—Pyrite-quartz vein; B—Pale red K-feldspar vein and pyrite veinlet; C—Chlorite and quartz wrapped in calcite (plane polarized light); D—Sheet biotite wrapped in coarse-grained pyrite; E—Drop-like chalcopyrite wrapped in galena, part of galena wrapped in pyrite (reflector); F—Purple-maroon fluorite intergrown with molybdenite; G—Phyllic alteration rock with scaly granoblastic texture (plane polarized light); H—Galena replacement of biotite along cleavage (plane polarized light); Gal—Galena; Cpy—Chalcopyrite; Py—Pyrite; Cc—Calcite; Qtz—Quartz; Chl—Chlorite; Bi—Biotite

穿切关系表明:矿床蚀变作用应是多期次相继发生,但又不是连续的过程。根据野外实地观察和室内镜下研究,将前河金矿床划分为 3 个成矿阶段:

第Ⅳ阶段:为黄铁矿-石英阶段。黄铁石英脉中,黄铁矿主要以立方体自形晶稀疏浸染状分布(图 3-A),部分可见晶面条纹,粒度 0.1~0.2 cm;并有黄铁矿细脉沿钾长石脉体分布或切割钾长石脉体(图 3-B),脉宽 2 mm 左右。

第Ⅴ阶段:为石英-黄铁矿阶段,该阶段的黄铁矿和多金属硫化物浸染状分布于矿石中。矿石矿物以黄铁矿为主,矿体附近可见少量方铅矿块聚集体,零星出现棕黄色闪锌矿,具铜色黄铜矿等。黄铜矿呈乳滴状被方铅矿包裹,具有典型的包含结构(图 3-E)。

第Ⅵ阶段:为碳酸盐-卤化物阶段;碳酸盐化广泛发育,贯穿整个蚀变带,主要以细脉充填方式存在。大量绿泥石蚀变成碳酸盐集合体。方解石结晶完好,自形,粒度大,双晶显著,脉中有少量粗粒具铜色黄铁矿存在(图 3-C)。萤石为细粒集合体,脉切割方解石脉或夹于方解石脉中央,显示晚于碳酸盐形成。

### 2.3 热液蚀变分带

根据实地观察和室内镜下薄片鉴定,前河金矿区围岩蚀变矿物组合,历经多次蚀变叠加作用而成,蚀变类型往往相互混杂,在断裂的某个地段可能有几种不同蚀变矿物同时出现,构成不同的蚀变矿物组合。这种组合在垂直断裂走向的剖面上具有水平分带特征。矿区破碎带内的围岩蚀变类型及强度自构造带中心向两侧围岩,一般具有对称分布的特点。结合矿体形态和金品位图,按照岩石种类及蚀变、矿化强度,大致圈出 3 个蚀变带。

(1)外带:外带为蚀变安山岩,以墨绿色、灰绿色安山岩、杏仁状安山岩及安山玢岩为主的弱蚀变岩石。主要分布于蚀变岩带的两侧,是由钾长石化、绢云母化和青磐岩化组成的蚀变带,蚀变较弱。该带与非蚀变的岩石呈渐变过渡的关系,自破碎带向外蚀变由强变弱直至消失;该带蚀变岩含金性甚弱。

(2)中带:中带为蚀变岩,位于矿化蚀变岩的边部,分布于断裂带内。蚀变种类较多,以青磐岩化、硅化、碳酸盐化等蚀变为主、局部有微弱金属矿化。该带具有较弱的黄铁矿化,黄铁矿多呈自形粒状,呈稀疏浸染状散布于蚀变岩中,亦见有少量的含金黄铁矿成浸染状、网格状、聚粒状等多样复杂形式分布于

蚀变岩中,该带多环绕矿化蚀变岩带分布,两侧宽度不等,但具对应性,与蚀变安山岩带呈渐变过渡关系;该带蚀变矿化相对较弱。

(3)内带:内带为矿化蚀变岩,见于断裂带中部,与金矿(化)体范围大致吻合。是由叠加在青磐岩化之上的黄铁绢英岩化、硅化、黄铁矿-多金属硫化物矿化组成的蚀变带,蚀变强烈,以强硅化,黄铁矿化为显著特征。

## 3 热液蚀变中的交代作用

热液矿床成矿过程中引起的围岩蚀变是成矿流体与容矿围岩相互作用的最终结果,在微观上表现为元素的带入、带出,宏观上表现为容矿围岩的颜色、密度、体积、矿物成分的变化。对未蚀变安山岩和各种蚀变岩石的化学分析结果,利用 A·鲁德尼科的原子体积法,计算了蚀变带在形成作用过程中化学组分的加入-带出平衡(表 1),提出了蚀变交代作用中组分的迁移与金矿化的关系。

图 4 显示,在钾长石化过程中,K、Si 大量迁入,Na、Mg、Ca、Fe 等大量迁出,青磐岩化主要是 Mg、Fe 的大量迁入,导致安山岩中的角闪石等暗色矿物大量蚀变成 Mg、Fe 含量高的绿泥石和绿帘石。绢英岩化过程中,安山岩中 K、Si、及挥发性组分有所增加,Na、Mg、Ca 等少量迁出,其他元素变化不显著,安山岩体积大大增加,迁出的 Ca、Mg 等元素在碳酸盐化中形成方解石脉,为成矿热液演化到后期的产物。

为了进一步探讨本区金成矿过程中元素的迁移规律,分析了 5 种典型蚀变岩的稀土 14 个、微量元素 19 个(表 2)。经球粒陨石标准化后的稀土元素分配模式如图 5。

本区稀土元素分配曲线总体平坦, $\sum \text{REE}$  在蚀变过程中呈现富集-减少-再富集-再减少的规律,在硅化带中 $\sum \text{REE}$  表现为再度富集的趋势,在热液蚀变接近尾声时, $\sum \text{REE}$  也急剧减少。在绢云母化和硅化带中,LREE/HREE 明显低于其他几个蚀变阶段,表明在主成矿阶段 HREE 有富集的趋势。 $\delta \text{Eu}$  和  $\delta \text{Ce}$  在各蚀变阶段均呈现负异常,但  $\delta \text{Eu}$  的变化较大,而  $\delta \text{Ce}$  比较稳定,为  $0.9+0.04/-0.01$ ,在最有利于金沉淀的硅化蚀变中  $\delta \text{Ce}$  为最大值 0.94,与此相反, $\delta \text{Eu}$  偏低,为 0.69。稀土元素分配曲线(图 5)显示各种类型的蚀变岩石有轻微的 Eu 负异常。

表 1 豫西前河金矿床各类型蚀变岩在  $1000(10^{-10}\text{m})^3$  标准几何体积中所含组分的原子个数<sup>①</sup>  
Table 1 Atom number of components contained in standard geometric volume  $1000(10^{-10}\text{m})^3$  of each type of altered rocks in the Qianhe gold deposit, western Henan

样品名	安山岩			钾长石化安山岩			青磐岩化安山岩			绢云母化安山岩			硅化安山岩			碳酸盐化安山岩		
	$\omega_B\%$	Zi		$\omega_B\%$	Zi	加入(+) 带出(-)	$\omega_B\%$	Zi	加入(+) 带出(-)	$\omega_B\%$	Zi	加入(+) 带出(-)	$\omega_B\%$	Zi	加入(+) 带出(-)	$\omega_B\%$	Zi	加入(+) 带出(-)
SiO <sub>2</sub>	50.62	149.7		67.95	198.23	48.53	44.64	137.39	-12.31	66.53	200.76	51.06	80.38	236.91	87.21	53.29	151.7	2
TiO <sub>2</sub>	1.06	2.35		0.83	1.82	-0.53	1.39	3.22	0.87	1.18	2.68	0.33	0.52	1.15	-1.2	1.21	2.59	0.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.18	24.71		12.05	20.72	-3.99	16.67	30.24	5.53	13.85	24.63	-0.08	6.89	11.97	-12.74	15.43	25.89	1.18
TF <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.87	10.98		6.5	7.13	-3.85	13.42	15.54	4.56	4.02	4.56	-6.42	4.66	5.17	-5.81	12.11	12.97	1.99
MnO	0.16	0.4		0.13	0.32	-0.08	0.18	0.47	0.07	0.09	0.23	-0.17	0.06	0.15	-0.25	0.2	0.48	0.08
MgO	4.86	21.43		0.69	3	-18.43	13.16	60.38	38.95	2.7	12.15	-9.28	0.33	1.45	-19.98	5.49	23.3	1.87
CaO	7.42	23.51		1.12	3.5	-20.01	0.87	2.87	-20.64	0.62	2	-21.51	0.23	0.73	-22.78	4.81	14.67	-8.84
Na <sub>2</sub> O	2.25	6.45		0.29	0.82	-5.63	2.34	6.98	0.53	0.26	0.76	-5.69	0.1	0.29	-6.16	2.94	8.12	1.67
K <sub>2</sub> O	2	3.77		7.05	13.12	9.35	0.42	0.82	-2.95	8.95	17.23	13.46	4.79	9	5.23	2.87	5.21	1.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31	0.39		0.22	0.27	-0.12	0.22	0.29	-0.1	0.16	0.2	-0.19	0.05	0.06	-0.33	0.26	0.31	-0.08
LOI	6.57	18.83		2.45	6.93	-11.9	6.51	19.42	0.59	0.81	2.37	-16.46	2.01	5.74	-13.09	0.8	2.21	-16.62
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.95			2.91			3.07			3.01			2.94			2.84		

注:由中国地质大学(北京)地学实验中心等离子光谱分析;①Zi=相对密度·原子数/16.6;②据鲁德尼科的原子体积法<sup>[12-15]</sup>。

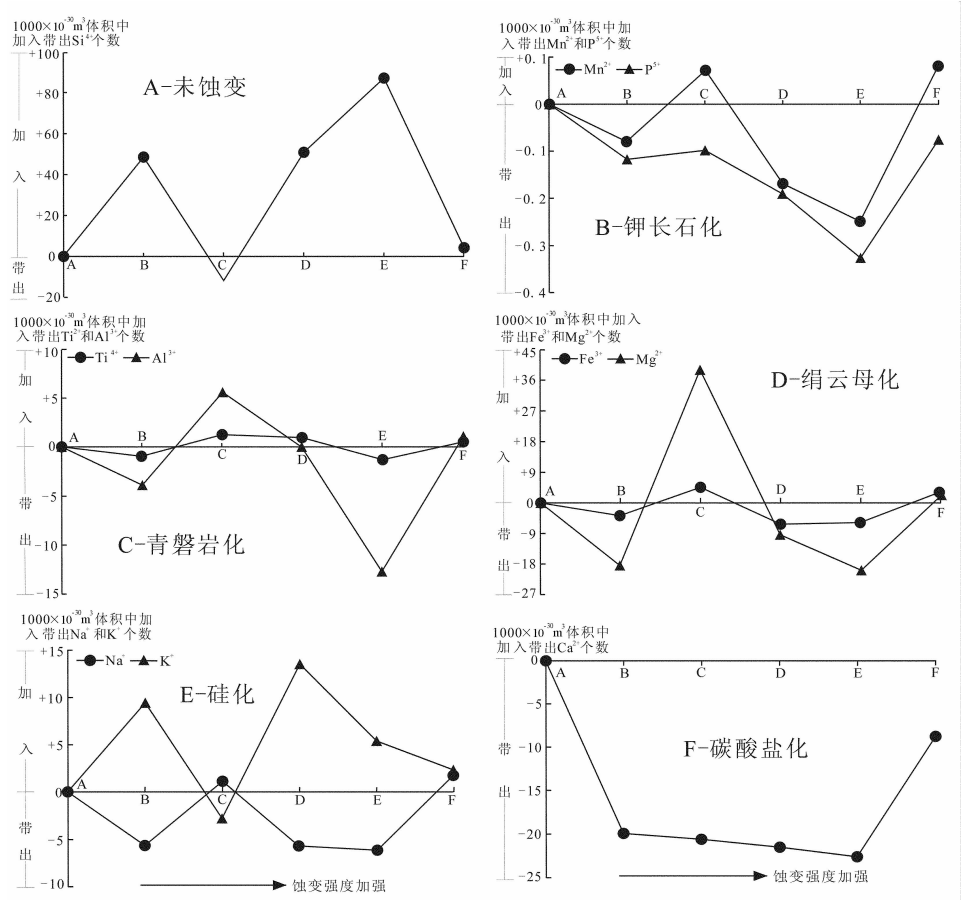


图 4 豫西前河金矿床典型蚀变岩组分含量变化图解  
Fig.4 Variation of content of typical altered rocks in the Qianhe gold deposit, western Henan

表 2 豫西前河金矿床各种类型蚀变岩  
稀土、微量元素含量(μg/g)

Table 2 REE and trace element contents of various  
altered rocks in the Qianhe gold deposit

蚀变 岩性	钾长石化 安山岩	青磐岩化 安山岩	绢云母化 安山岩	硅化 安山岩	碳酸盐化 安山岩
La	91.02	49.31	44.63	55.20	38.68
Ce	166.64	93.65	85.50	110.61	71.44
Pr	19.09	11.22	10.64	13.76	8.97
Nd	64.44	40.46	38.81	55.00	31.22
Sm	12.44	7.58	8.50	13.22	6.61
Eu	2.75	1.73	2.46	2.75	1.82
Gd	11.80	5.87	8.75	10.65	5.37
Tb	1.62	0.80	1.48	1.78	0.78
Dy	10.19	4.63	9.87	11.47	5.12
Ho	2.17	0.99	2.08	2.39	1.06
Er	6.04	2.91	6.53	6.78	3.10
Tm	0.87	0.42	0.99	0.96	0.45
Yb	5.57	2.69	6.41	5.62	2.91
Lu	0.84	0.42	0.97	0.82	0.45
Σ REE	395.48	222.68	227.62	291.01	177.98
Σ ω(Ce)/ Σ ω(Y)	9.11	10.89	5.14	6.19	8.25
δ Eu	0.68	0.76	0.87	0.69	0.91
δ Ce	0.92	0.92	0.92	0.94	0.89
U	1.52	0.43	2.04	1.40	0.41
V	19.60	120.97	18.33	41.84	167.88
Cr	9.34	92.82	5.64	19.40	153.96
Co	6.07	40.10	5.91	23.04	36.48
Ni	29.64	58.60	4.99	11.49	51.76
Ga	20.73	27.96	11.45	9.55	17.68
Rb	223.67	27.28	156.92	133.56	64.96
Y	55.15	24.40	53.66	68.45	21.92
Zr	441.59	176.95	507.34	156.94	180.80
Nb	20.67	9.64	30.21	13.73	8.73
Cs	5.92	11.00	5.15	3.09	5.01
Ba	2095.21	104.32	928.73	1326.49	1935.47
Sr	161.45	94.02	144.68	144.30	289.25
Pb	70.66	36.07	92.72	483.08	37.69
Cu	57.92	78.76	77.84	56.43	76.26
Zn	132.87	195.00	175.25	122.93	187.88
Hf	12.25	6.42	14.86	5.23	5.79
Ta	1.11	0.60	1.67	0.79	0.53
Th	11.61	5.28	13.72	17.68	4.01

注:由中国地质大学(北京)ICP-MS 实验室苏黎分析,2006。

大离子亲石元素 Rb、Sr、Ba 的行为基本一致,在流体开始转向酸性、还原环境时有富集的趋势;Zr、Hf、Th、U、Nb 和 Ta 在各类型蚀变岩中分异程度较小;V、Cr、Ni、Co 的变化具有明显的规律性,在各蚀变类型中分异程度大,在晚期氧化环境下(碳酸盐化)为高异常,而在酸性、还原环境(绢英岩化)时低异常。在硅化安山岩中,除 Pb 含量为高异常外,Cu 和 Zn 均为低异常,表明本区 Pb 可能为 Au 的主要伴生元素,其含量亦能指示富矿地段。

4 讨论和结论

4.1 讨论

从上述本区典型蚀变岩组分含量变化(图 4)可以看出,金矿成矿作用中的交代作用从钾交代开始,经镁铁交代然后进入 Si-S-K 交代(形成含金的黄铁绢英岩和各类石英-硫化物的交代或充填),尔后转为石英-碳酸盐交代充填,最后以较纯的石英-方解石脉告终。从镁铁交代转向 Si-S-K 交代时,随着体系中 SiO<sub>2</sub> 浓度的增加,反映在绿泥石的矿物化学上也有明显的变化(表 3)。镁铁交代形成的绿泥石的 Si/Al 多为 1.4 左右,且晚期浸染状绿泥石的 SiO<sub>2</sub> 含量高于早期脉状绿泥石,(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO)含量从Ⅱ→Ⅵ降低,早期绿泥石全铁含量为 23.49%,晚期仅为 19.28%,与此相应 MgO 含量从Ⅱ→Ⅵ增高,反映了镁铁交代系中 Si 相对弱饱和特点,及各成矿阶段成矿流体物理化学性质的突变对绿泥石的化学成分的影响。

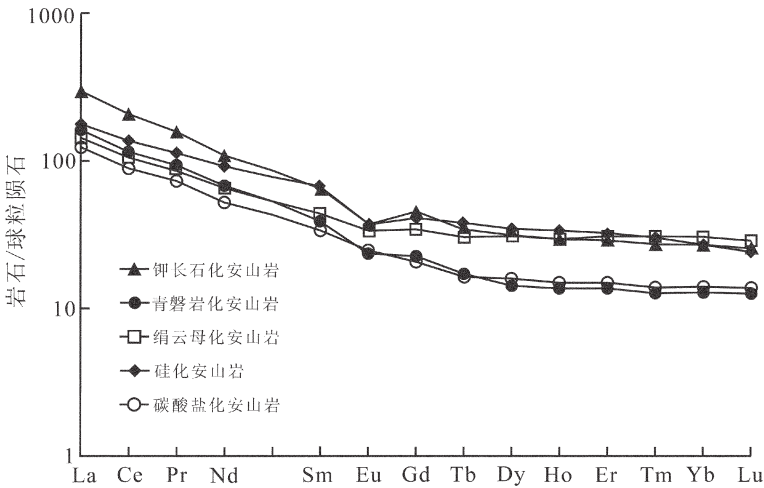


图 5 豫西前河金矿不同类型(程度)蚀变岩稀土元素分配曲线  
Fig.5 Distribution curve of rare earth elements in various altered  
rocks of the Qianhe gold deposit, western Henan

表 3 豫西前河金矿中绿泥石电子探针分析/%  
Table 3 Electron microprobe analyses of chlorite in the Qianhe gold deposit, western Henan/%

成矿阶段	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si/Al	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
II	26.76	0.10	18.19	1.47	0.31	23.49	0.67	15.86	0.04	0.05	0.16	85.62
III	27.04	0.01	19.22	1.40	0.13	23.33	0.56	16.36	0.01	0.03	0.21	86.91
IV	27.32	0.00	19.96	1.37	0.05	18.88	0.49	19.04	0.02	0.03	0.01	85.80
V	28.03	0.01	19.72	1.42	0.08	19.28	0.45	19.05	0.01	0.00	0.04	86.66

注:由中国科学院地质与地球物理研究所电子探针室分析, 2006。

在成矿过程中流体中释放出的 Ca、Fe、Mg 等物质和 CO<sub>2</sub> 结合强度和规模很大,流体向碱性演化。绢英岩化过程消耗了成矿热液中的 SiO<sub>2</sub>、Fe、H<sub>2</sub>S, 使金从络合物中释放出来。绢英岩化早期是青磐岩化的继续,由于氧逸度有所下降,因而也是 Au 由氧化到还原的开始,特别到黄铁绢英岩化阶段和硅化阶段,介质基本处于还原环境,在金与其他成矿元素活化沉淀动态平衡反应中,沉淀便成为主导的过程。在此过程中,成矿热液 pH 值升高,在以弱碱性、中或弱还原性条件下,Fe<sup>2+</sup>还原金导致金的沉淀<sup>[19]</sup>,所以黄铁绢英岩硅化阶段是金大量沉淀聚集期<sup>[16,20]</sup>。成矿元素在各蚀变带中的分布特点是,钾长石化构成 Au 及其主成矿元素 Ag、Cu、Pb 和 Zn 突出的低含量带,青磐岩化时 Cu 和 Zn 便已高度富集,而硅化安山岩中,Pb 的含量便较之原岩有数倍乃至数百倍的增长<sup>①</sup>。由此可知,在高氧逸度、碱性条件下发生红化,其作用主要是将封闭在黑云母和长石中的 Au 和 Ag、Cu、Pb、Zn 等调动起来,随热液迁移并参与成矿<sup>[19]</sup>。

4.2 结论

前河金矿成矿流体在深部经导矿构造向上运移过程中,与围岩发生交代作用,导致金矿蚀变作用,划分了 6 个蚀变-成矿阶段,以及外、中、内 3 个蚀变带。石英-黄铁矿阶段是本矿床的主成矿阶段。3 个蚀变带表现为岩石、矿化强度的空间展布特征,从弱蚀变安山岩→蚀变岩→矿化蚀变岩随着矿化作用的增强,表现为金的富集。在流体-岩石反应过程中发生了复杂的元素带入和带出,绢云母化和硅化安山岩富含 K<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub> 和 LOI; 稀土元素总量∑REE 在钾长石化带含量中最高,硅化带次之,碳酸盐化中最低,各种类型的蚀变岩有轻微的 Eu 负异常。除 Pb 元素在硅化带中含量最高外,其他各种微量元素都

有在早期富集,中晚期降低,晚期再富集的特点。这些现象表明在还原、酸性的成矿流体中,SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O 和挥发分充分加入,Pb 含量增加,∑REE 减少,而 Cu、Zn、Co、Ni 等与金矿化密切相关的微量元素变化则比较复杂。

成矿流体的交代作用对该金矿的成矿起重要作用,研究认为,本区的蚀变破碎带不仅为成矿流体的渗滤交代提供了深部通道,而且为金沉淀的有利位置。在交代作用发展的过程中,成矿流体富集大量的 Si、K,并急剧排出 Fe、Mg、Na 时对金的搬运、沉淀起重要作用,即含金的富 Si-S-K 的流体是金成矿的重要保证。

致谢:本文得到河南省嵩县前河矿业有限公司专项科研经费的支持,野外工作中,得到总经理苗新华,副总经理李日旺、张奇和地质勘探测量处同仁的大力支持,室内工作得到了汪在聪的许多帮助,在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献(References):

[1] 袁鹤皋,裴玉华. 前河地区正长斑岩构造蚀变岩型金矿围岩及容矿岩石特征 [J]. 河南地质, 1997, 15(1):24-28.  
Yuan Hegao, Pei Yuhua. The characteristics of the wall rock and host rock of the orthophyric tectonic altered rock-type gold deposit in Qianhe area [J]. Henan Geology, 1997, 15(1):24-28 (in Chinese with English abstract).  
[2] 李莉,卿敏,陈祥. 河南前河金矿床地球化学特征 [J]. 黄金地质, 1999, 5(3):75-80.  
Li Li, Qing Min, Chen Xiang. Geochemical features of Qianhe gold deposit, Henan [J]. Gold Geology, 1999, 5(3):75-80 (in Chinese with English abstract).  
[3] 巴安民,马红义,张松盛,等. 河南省嵩县前河金矿矿床地质特征和找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(2):100-114.  
Ba Anmin, Ma Hongyi, Zhang Songsheng, et al. Ore characteristics and ore-searching direction of Qianhe gold mine in Singxian

①曹烨. 河南前河金矿矿物地球化学与深部预测. 硕士论文, 2007.

- County, Henan Province [J]. Contribution to Geology and Mineral Resources, 2006, 21(2):100–114 (in Chinese with English abstract).
- [4] 裴玉华, 严海麒, 张明云. 河南前河金矿岩石矿物特征[J]. 矿产与地质, 2006, 20(4/5):513–518.
- Pei Yuhua, Yan Haiqi, Zhang Mingyun. Rock and mineal characteristics of Qianhe gold deposit in Henan [J]. Mineal Resources and Geology, 2006, 20(4/5):513–518 (in Chinese with English abstract).
- [5] 裴玉华, 严海麒. 河南省嵩县前河金矿床黄铁矿的标型特征及其意义[J]. 地质与勘探, 2006, 42(3):56–60.
- Pei Yuhua, Yan Haiqi. Typomorphic characteristics of pyrite and it's practical significance in the Qianhe gold deposit, Song county, Henan Province [J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(3):56–60 (in Chinese with English abstract).
- [6] 郑学正, 关鸿, 张魁武, 等. 内蒙大水清金矿带交代作用及其与金矿化关系[J]. 岩石学报, 1996, 12(3):424–433.
- Zheng Xuezheng, Guan Hong, Zhang Kuiwu, et al. Hydrothermal alteration in Dashuiqing gold ore belt, Inner Mongolia, China and its relation to gold mineralization [J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(3):424–433 (in Chinese with English abstract).
- [7] 孙省利, 刘兴德, 高兆奎, 等. 西秦岭李坝金矿蚀变岩的地质地球化学特征[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(4):350–354.
- Sun Shengli, Liu Xingde, Gao Zhaokui, et al. A study of the geology and geochemistry of altered rocks from Liba gold deposit in Gansu [J]. Journal of Chendu University of Technology, 2001, 28(4):350–354 (in Chinese with English abstract).
- [8] Gresens R L. Composition–volume relationships of metasomatism [J]. Chemical Geology, 1967, 2:47–55.
- [9] 张生, 李统锦, 陈义兵. 长坑矿床矿化过程中元素的质量迁移及金银关系[J]. 地质找矿论丛, 1997, 12(3):33–40.
- Zhang Sheng, Li Tongjin, Chen Yibing. Mass transfer in mineralizing process and Au–Ag relation in the Changkeng deposit [J]. Contribution to Geology and Mineral Resources, 1997, 12(3):33–40.
- [10] 丁式江, 翟裕生, 邓军. 胶东焦家金矿蚀变岩中元素的质量迁移[J]. 地质与勘探, 2000, 36(4):28–31.
- Ding Shijiang, Zhai Yusheng, Deng Jun. Mass transfer of altered rocks in Jiaodong gold deposit, Jiaodong [J]. Geology and Prospecting, 2000, 36(4):28–31 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王长明, 邓军, 张寿庭, 等. 河南崔香洼金矿床围岩蚀变与金矿化的关系[J]. 黄金, 2006, 27(4):9–14.
- Wang Changming, Deng Jun, Zhang Shouting, et al. Relationship between wall–rock and gold mineralization of Huanxiangwa deposit, Henan Province [J]. Gold, 2006, 27(4):9–14 (in Chinese with English abstract).
- [12] 杨敏之. 金矿床围岩蚀变带地球化学—以胶东金矿床为例[M]. 北京:地质出版社, 1998:55–69.
- Yang Minzhi. The geochemistry of wall–rock alteration zone of gold deposit;as exemplified by Jiaodong gold deposit[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993:55–69 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘德正. 若干交代成岩成矿作用组分质量转移的计算与分析[J]. 铀矿地质, 2002, 18(2):110–117
- Liu Dezheng. Calculation and analysis of component mass transformation during some metasomatic rock–forming and ore–forming process [J]. Uranium Geology, 2002, 18(2):110–117 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘德正. 交代蚀变岩组分迁移量的合理计算——以内蒙古 470 铀矿床钠长石化粗面岩为例[J]. 铀矿地质, 2006, 22(4):209–221.
- Liu Dezheng. Rational calculation of migrated component amount for metasomatically altered rocks—taking albitized trachyte at uranium deposit No.470 as an example [J]. Uranium Geology, 2006, 22(4):209–221 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张可清, 杨勇. 蚀变岩质量平衡计算方法介绍[J]. 地质科技情报, 2002, 21(3):104–107.
- Zhang Keqing, Yang Yong. Introduction of the method for mass balance calculation in altered rocks [J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21(3):104–107 (in Chinese with English abstract).
- [16] 范宏瑞, 谢奕汉, 王英兰. 豫西上宫构造蚀变岩型金矿成矿过程中的流体–岩石反应[J]. 岩石学报, 1998, 14(4):529–541.
- Fan Hongrui, Xie Yihan, Wang Yinglan. Fluid–rock interaction during mineralization of the Shanggong structure–controlled alteration–type gold deposit in Western Henan Province, central Chian [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 14(4):529–541 (in Chinese with English abstract).
- [17] 曹烨, 李胜荣, 申俊峰, 等. 河南前河金矿蚀变岩磁化率特征与金矿化关系探讨[J]. 中国地质, 2007, 34(6):1082–1090.
- Cao Ye, Li Shengrong, Shen Junfeng, et al. Relation between the characteristics of magnetic susceptibilities of altered rocks and gold mineralization in the Qianhe gold deposit, Henan [J]. Geology in China, 2007, 34(6):1082–1090 (in Chinese with English abstract).
- [18] 曹烨, 李胜荣, 申俊峰, 等. 便携式短波红外光谱矿物测量仪(PIMA)在河南前河金矿热液蚀变研究中的应用[J]. 地质与勘探, 2008, 44(2):82–86.
- Cao Ye, Li Shengrong, Shen Junfeng, et al. Application of portable infrared mineral analyzer (PIMA) in Qianhe gold mine, Henan[J]. Geology and Prospecting, 2008, 44(2):82–86 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李胜荣, 陈光远, 邵伟, 等. 胶东乳山金矿田成因矿物学[M]. 北京:地质出版社, 1996:1–110
- Li Shengrong, Chen Guangyuan, Shao Wei, et al. Genetic mineralogy of Rushan gold deposit in Jiaodong peninsula [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:1–110 (in Chinese with English abstract).
- [20] 黄智龙, 肖化云, 朱丹, 等. 云南镇沅金矿煌斑岩矿化过程中元素活动规律[J]. 矿物学报, 1998, 18(3):267–272.
- Huang Zhilong, Xiao Huayun, Zhu Dan, et al. The law of element activities in the process of mineralization for lamprophyres in Zhenyuan gold orefield, Yunnan Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(3):267–272 (in Chinese with English abstract).

## Hydrothermal alteration geochemistry of the Qianhe gold deposit in western Henan Province

CAO Ye, LI Sheng-rong, SHEN Jun-feng, YAO Mei-juan

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobeing Technology, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Hydrothermal alteration is caused by fluid-rock interaction in the migration process of the ore-bearing hydrothermal fluids. The hydrothermal alterations of the Qianhe gold deposit might be divided into seven types, namely potash feldspathization, propylitization, sericitization, silicification, pyritization, carbonation and fluoritization. The alteration-mineralization process and the alteration zones can be divided respectively into six stages and three zones, in order of botite-potash feldspar stage→propylite stage→phyllic stage→pyrite-quartz stage→quartz-pyrite stage→carbonate-halide stage, forming outer, central and inner zones. Analyses of major and trace elements for five typical altered rocks indicate that, during phyllic alteration, Si, K, Pb increased considerably and HREE concentrated a bit with the slight decrease of REE. Negative anomalies of  $\delta$  Eu and  $\delta$  Ce were present in each alteration-mineralization stage. These factors might be responsible for gold precipitation. The metasomatic characteristics of fluid-rock interaction at every ore-forming stage are also reflected in chemical composition variation of chlorite.

**Key words:** Qianhe; hydrothermal alteration; metasomatism; gold mineralization

---

**About the first author:** CAO Ye, male, born in 1983, Ph.D. candidate, majors in mineralogy, petrology and ore mineralogy; E-mail: cykaiyang@163.com.