

文章编号 0258-7106 (2008) 06-0751-11

河南省前河构造蚀变岩型金矿的矽卡岩化及其找矿意义^{*}

汪在聪^{1,2}, 李胜荣³, 申俊峰³

(1 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 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)

摘 要 前河金矿床位于秦岭造山带内, 矿体赋存于低绿片岩相变质的中元古界熊耳群安山质火山岩地层中, 严格受断裂控制。通过对前河金矿深部和外围找矿工作发现, 石家岭矿段发育有矽卡岩化岩石, 主要发育于合峪花岗岩体北部赋存金矿体的 F_4 断裂附近。围岩是低绿片岩相的安山质火山岩, 并且在前河大桥附近有石榴子石脉产出。岩相学特征及电子探针成分分析表明, 该矽卡岩化岩石由钙铁石榴子石、透辉石-钙铁辉石、绿帘石、绿泥石、阳起石、石英和方解石等矿物组成。经历了干矽卡岩阶段、湿矽卡岩阶段以及石英硫化物阶段这一典型演化过程。褐帘石电子探针成分和穆磁铁矿具赤铁矿的假象表明, 湿矽卡岩阶段具有还原性特征。因此, 前河金矿矽卡岩化可能由附近合峪花岗岩岩浆热液交代形成。

关键词 地质学, 矽卡岩, 金矿, 安山岩, 熊耳群, 前河

中图分类号 P618.51

文献标志码 A

Skarnization of Qianhe structural alteration type gold deposit in Henan Province and its ore-prospecting significance

WANG ZaiCong^{1,2}, LI ShengRong³ and SHEN JunFeng³

(1 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The Qianhe gold deposit in the Xiong'er shan area of Henan Province was previously regarded as a hydrothermal alteration-type gold deposit. Gold mineralization is strictly controlled by fractures and hosted in meta-andesitic rocks of the Middle-Proterozoic Xiong'er Group which has undergone low-greenschist facies regional metamorphism. It is notable that some skarn minerals such as garnet, diopside, epidote, chlorite and actionlite were locally discovered in the Shijialing segment of the Qianhe gold deposit in recent years, suggesting typical skarn-forming processes of prograde, retrograde and sulfide stages with relative reduction characteristics. In addition, the wall rocks of Qianhe skarn are meta-andesitic rocks rather than carbonates. The Qianhe skarn minerals might result from the interaction of hydrothermal fluids derived from the near-by Heyu granite plutonism with meta-andesites of the Xiong'er Group, and their development is valuable to the understanding of Qianhe gold mineralization as well as to the follow-up exploration in this area.

Key words: geology, skarn, gold deposit, andesite, Xiong'er Group, Qianhe

^{*} 本文得到河南省嵩县前河金矿成矿规律研究与深部预测项目的资助

第一作者简介 汪在聪, 男, 1985 年生, 在读硕士研究生, 主要从事矿床勘探与研究。E-mail: wzc231@163.com

收稿日期 2008-05-14; 改回日期 2008-07-07。李德先编辑。

前河金矿床位于秦岭造山带熊耳山地区河南省嵩县旧县镇(图1),曾一直被认为是一种构造蚀变岩型金矿。矿体赋存于区域变质程度较低的中元古界熊耳群火山岩地层中,严格受断裂控制。该矿床自上世纪80年代发现以来,诸多学者对其矿床地质、构造控矿、围岩蚀变、矿床地球化学以及黄铁矿磁化率等与金矿化有关的特征进行了研究,并在前河金矿典型的断裂控矿和强烈的围岩蚀变等方面取得了一些成果(袁鹤皋等,1997;李莉等,1999;裴玉华等,2006a,2006b;巴安民等,2006;曹烨等,2007),这些工作主要是围绕构造蚀变岩型金矿开展的。

在前河金矿深部和外围的进一步找矿工作中,新发现石家岭矿段发育有石榴子石、透辉石、绿帘石、绿泥石、阳起石等矽卡岩矿物组合。前河金矿地

处秦岭造山带熊耳山地区,该区在燕山期有利的碰撞造山挤压-伸展转变期的背景下,形成了如河南省银家沟等多处矽卡岩金矿(陈衍景等,1992;2004a;Chen et al.,2007)。矽卡岩在矽卡岩型矿床研究中具有举足轻重的作用(Einaudi et al.,1981;Meinert et al.,1992;1997a;2005),近20~30年,矽卡岩型金矿的大量发现,使其经济价值得到了普遍认识(赵一鸣等,1997;陈衍景等,1997;2004a;Meinert et al.,2005;Chen et al.,2007)。

与以往研究不同,前河金矿矽卡岩化岩石赋存的围岩不是碳酸盐质岩石,而是区域变质仅达低绿片岩相的熊耳群玄武安山质、安山质岩石。该组合也并未发育在侵入岩和围岩接触带,而是形成于赋存金矿体的断裂带附近。该矽卡岩矿物的发育与构

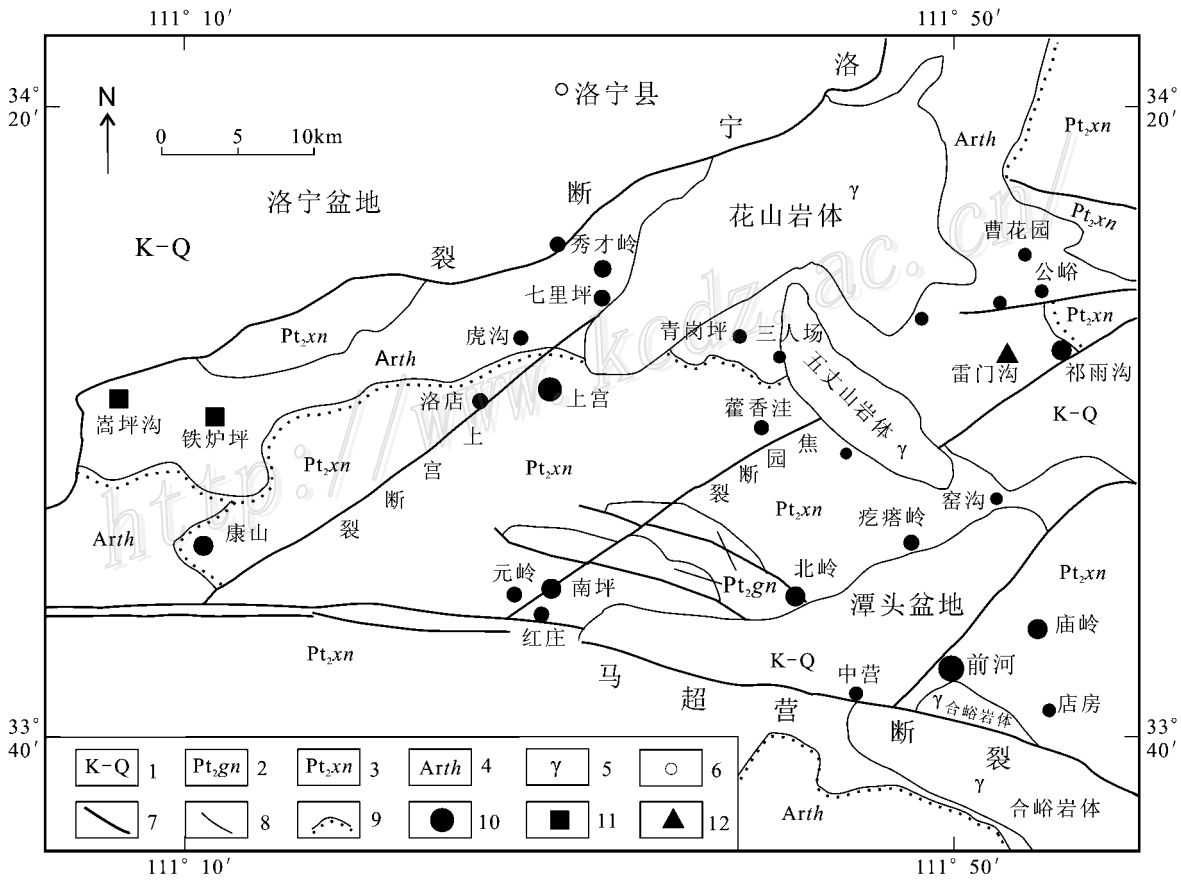


图1 熊耳山地区区域地质图(据卢欣祥等,2004)

1—古近系+新近系;2—中元古界官道口群石英砂岩和白云岩;3—中元古界熊耳群火山岩;4—太古界太华群片麻岩;5—花岗岩;
6—县城;7—断层;8—地质界线;9—不整合面;10—金矿床(点大小代表金矿规模);11—铅锌银矿;12—钼矿

Fig. 1 Regional sketch geological map of the Xiong'er shan area(modified from Lu et al.,2004)

1—Neogene and Paleogene;2—Quartz sandstone and dolomite of Middle-Proterozoic Guandaokou Group;3—Volcanic rocks of Middle-Proterozoic Xiong'er Group;4—Archean Taihua Group gneiss;5—Granite;6—County seat;7—Fault;8—Geological boundary;9—Unconformity;
10—Gold deposit;11—Pb-Zn-Ag deposit;12—Mo deposit

造控矿的蚀变岩型金矿有何种联系,是否能指示一定的砂卡岩型成矿潜力,还需要进一步研究。前河金矿砂卡岩化岩石的存在或许为后备储量不足、采矿远景不明的前河金矿,从砂卡岩型金矿的思路进行深入工作提供一定的依据和启示。本次研究对前河金矿新出现的砂卡岩矿物进行了详细的分析,对探寻前河金矿新的找矿方向具有一定的指示意义。

1 区域成矿背景

前河金矿位于华北克拉通马超营断裂和洛宁山前断裂南北夹持中的熊耳山地区(图 1)。熊耳山地区由中深角闪岩相,局部为麻粒岩相的太华群变质基底与中元古界低绿片岩相熊耳群火山岩和官道口群石英砂岩和白云岩为主体的盖层组成(卢欣祥等, 2004)。

熊耳群火山岩是华北板块南缘结晶基底上不整合覆盖着的一套巨厚火山岩系,以玄武安山质、安山质岩石为主,次为英安-流纹质岩,自下而上分为大古石组、许山组、鸡蛋坪组和马家河组(图 2)。大古石组主要由陆源碎屑岩组成,其余 3 个组以火山熔岩为主(沉积岩和火山碎屑岩只占地层总厚度的 4.3%)。许山组以熔岩占绝对优势,形成大面积分布的玄武安山质、安山质和少量英安-流纹质熔岩,缺少沉积夹层;鸡蛋坪组以中基性与中酸性熔岩互层产出为特征,但各地厚度不一,横向厚度变化大,中酸性熔岩分布局限,有少量爆发相火山碎屑岩及沉积岩夹层;马家河组主要是厚度比较稳定的中基性熔岩,含有沉积岩夹层,只在火山喷发的末期于个别地区分布有酸性的熔岩或次火山岩相(赵太平等, 2007)。

该区以断裂构造为主,褶皱不发育。断裂主要

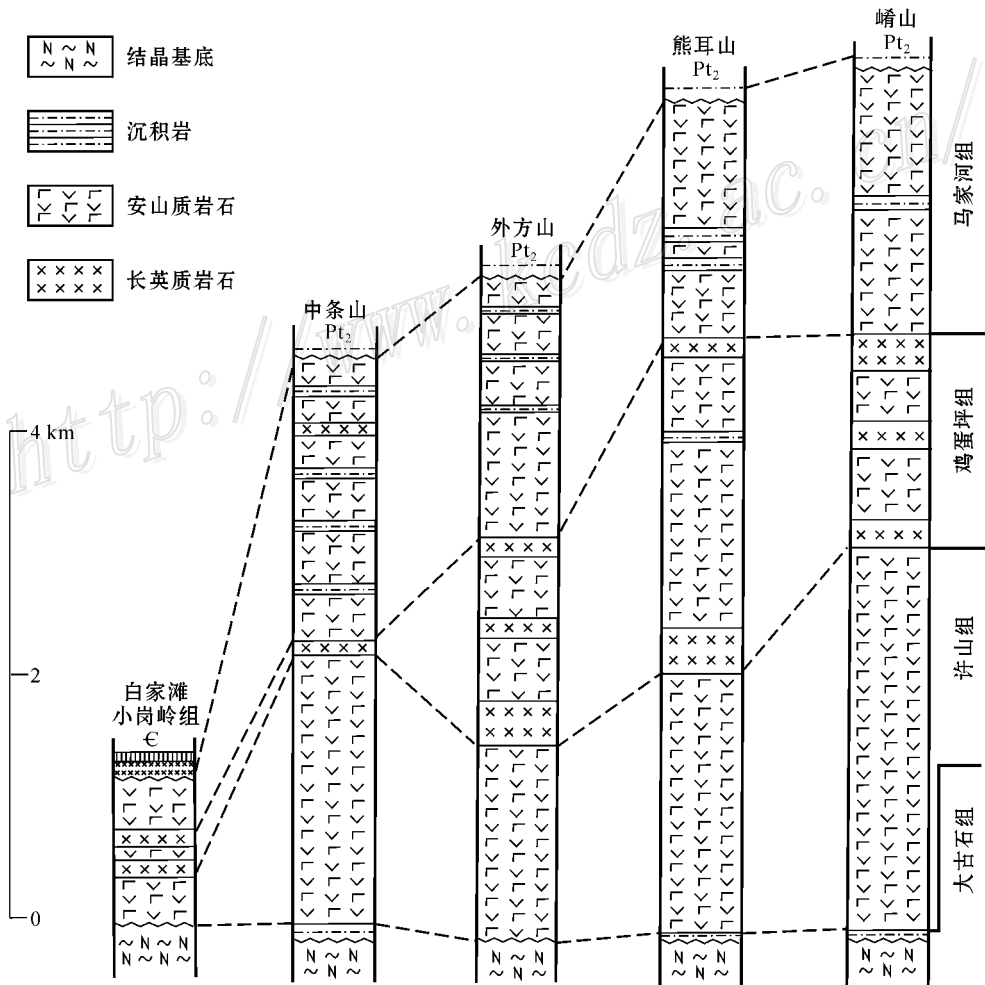


图 2 华北陆块南部熊耳群典型剖面柱状图(据赵太平等 2007)

Fig. 2 Typical stratigraphic columns of the Xiong'er Group(modified from Zhao et al. 2007)

发育近 EW 向、NE 向和 NW 向 3 组,规模较大的有近 EW 向的马超营断裂和次一级的 NE 向上宫断裂、焦园断裂等(图 1)。马超营断裂是区内长期活动的深大断裂构造,也是重要的控岩控矿构造(张元厚等 2006),控制着断裂北侧贵金属多金属成矿带的分布,并造成断裂两侧沉积建造、变质作用的明显差异(刘红樱等 2000;段存基 2004)。中生代燕山期岩浆活动剧烈,大规模酸性岩体侵入,形成广泛分布的黑云母花岗岩,如合峪岩体[锆石 U-Pb 年龄为 (127.2 ± 1.4) Ma]、花山岩体[锆石 U-Pb 年龄为 (132.0 ± 1.6) Ma]、五丈山岩体[锆石 U-Pb 年龄为 (156.8 ± 1.2) Ma]以及爆破角砾岩和诸多隐伏岩体(毛景文等 2005a 2005b)。

强烈的构造运动和频繁的岩浆活动,使熊耳山地区形成以金矿最具优势的金-多金属矿集区。金矿类型主要以上宫、前河、北岭等典型构造蚀变岩型为主体(范宏瑞等 1998;陈衍景等 2004b;Chen et al., 2006),兼有爆破角砾岩型(如店房、祁雨沟)石英脉-蚀变岩型和砂金矿(卢欣祥等 2004)。该区还产有雷门沟等斑岩型钼矿、铁炉坪等银铅锌多金属矿床。

2 矿床地质特征

前河金矿位于嵩县旧县镇前河大桥附近,赋存于熊耳群安山岩、杏仁状安山岩地层中,受控于马超营次级断裂 F_4 断裂,围岩蚀变强烈,是区域上众多

构造蚀变岩型金矿之一(袁鹤皋等 1997)。前河金矿分为甚沟矿段和石家岭矿段两个采区(图 3),前者品位更高,储量更大,是目前的主产区。

矿区内地层单一,只有大面积出露的熊耳群火山岩和少量新生代盆地碎屑岩,主要赋存于鸡蛋坪组和马家河组,以玄武安山岩、杏仁状安山岩为主(图 4a),次为流纹斑岩、英安岩,有少量沉积岩夹层,整体特征与区域火山岩一致。安山岩中斜长石和角闪石斑晶发生了绿泥石化、绿帘石化(图 4b)。薄片观察发现有绿泥石 $\pm$ 绿帘石 $\pm$ 钠长石 $\pm$ 阳起石 $\pm$ 绢云母 $\pm$ 石英等矿物组合,并保留清晰的交织、斑状等变余火山结构和变杏仁状构造。杏仁体中充填着大量不规则状肉红色钾长石及少量石英、绿帘石、方解石等热液矿物,部分杏仁体还显示出黄铁矿等金属硫化物的矿化痕迹(刘红樱等 2000;张汉成等 2003a;2003b)。前河金矿的安山质围岩变质程度很低,仅达绿片岩相。

燕山期似斑状黑云母花岗岩合峪岩体,呈舌状分布于矿区南部,侵入熊耳群火山岩,距前河金矿甚沟矿段和石家岭矿段仅数百米。接触带附近的安山岩受到热烘烤作用明显,但仅仅局限在几米范围内。

矿区内断裂也主要分为近 EW 向、NNE 向和近 NS 向 3 个方向,近 EW 向的马超营断裂的次级断裂 F_4 规模大,蚀变强,活动多次,横贯全区,是主要控矿断裂,严格控制着前河金矿石家岭和甚沟两矿段矿体的空间分布、形态、产状和规模。矿体多呈不规则

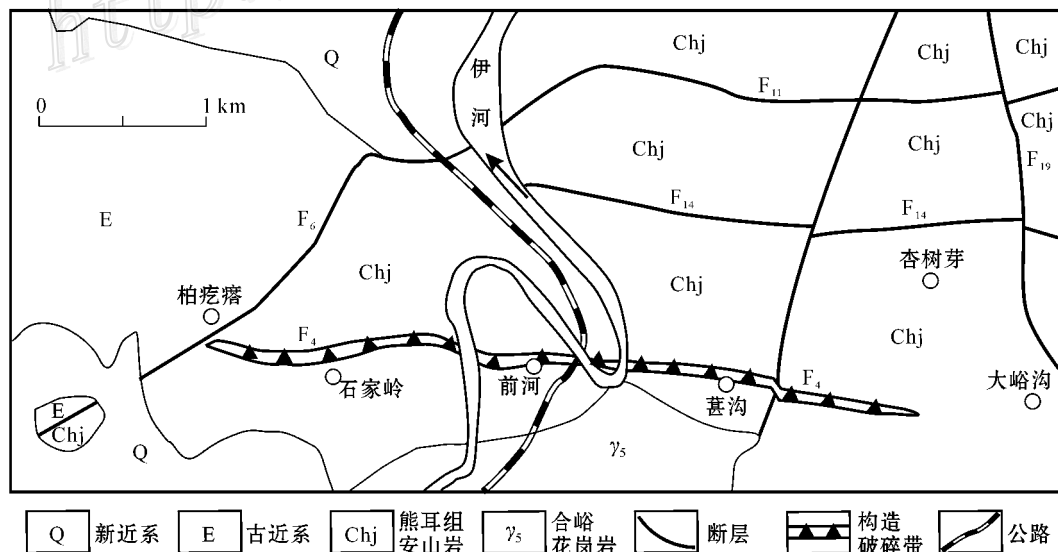


图 3 前河金矿矿区地质简图

Fig. 3 Geological sketch map of the Qianhe gold deposit

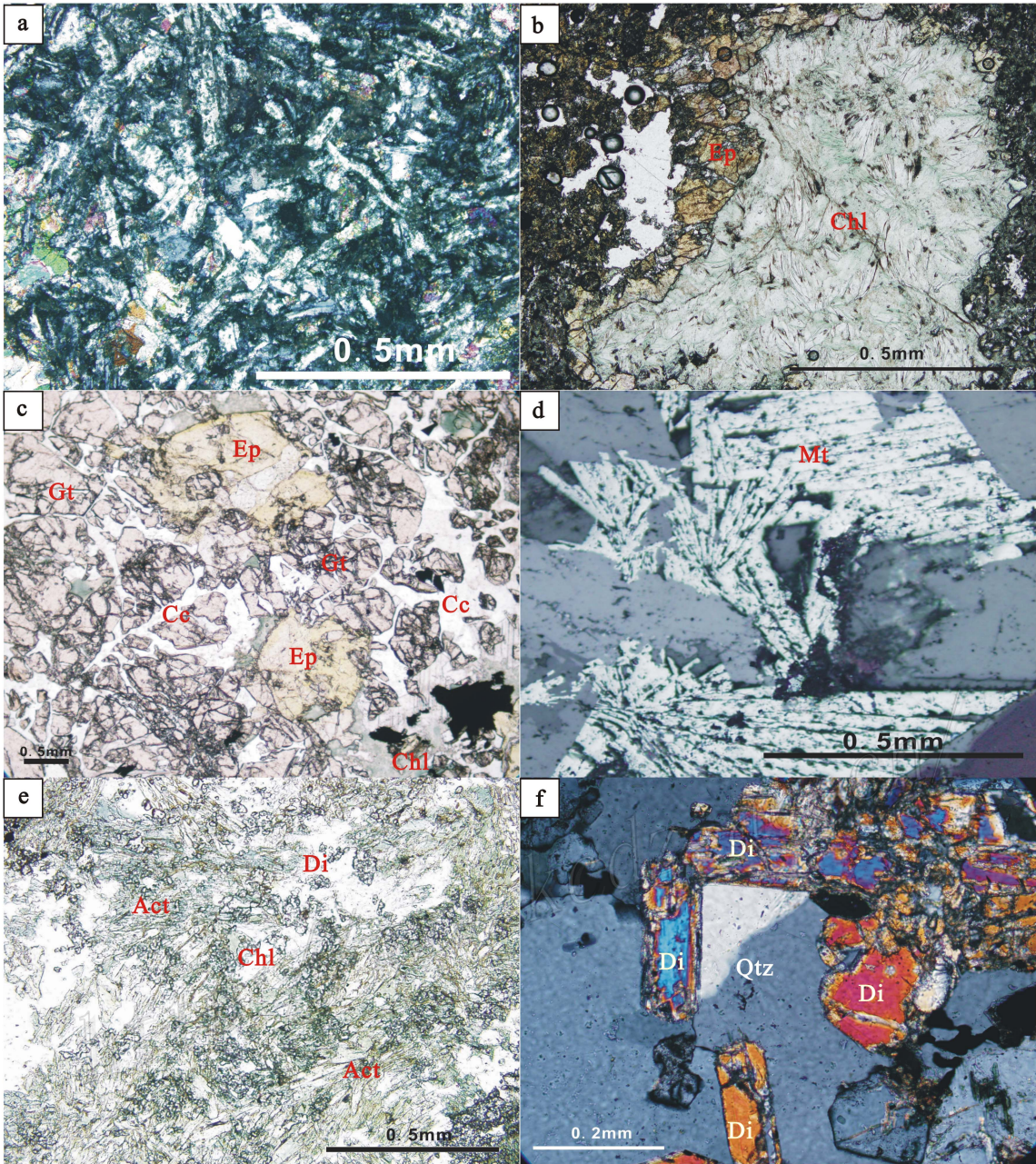


图 4 熊耳群安山岩及矽卡岩岩石镜下显微照片

a. 微弱绿泥石绿帘石化的熊耳群安山岩(正交偏光); b. 熊耳群安山岩斑晶蚀变成绿泥石和绿帘石(单偏光); c. 石榴子石裂隙中充填绿泥石方解石(正交偏光); d. 具叶片状赤铁矿假象的穆磁铁矿(反光镜); e. 绿泥石阳起石带中残存不规则状透辉石(单偏光); f. 透辉石条带中被石英包围的自形柱状透辉石(正交偏光); Gt—石榴子石; Ep—绿帘石; Mt—磁铁矿; Cc—方解石; Chl—绿泥石; Act—阳起石; Di—透辉石; Qtz—石英

Fig. 4 Microphotographs of andesite and skarn minerals in Xiong'er Group

a. Xing'er Group andesite with mild chloritization and epidotization; b. Altered phenocryst in Xing'er Group andesite; c. Chlorite and calcite filling garnet; d. Micrograph of magnetite with laminar pseudomorph of hematite; e. Actinolite, chlorite and retrograde altered diopside; f. Automorphic diopside encircled by quartz; Gt—Garnet; Mt—Magnetite; Cc—Calcite; Ep—Epidote; Chl—Chlorite; Act—Actinolite; Di—Diopside; Qtz—Quartz

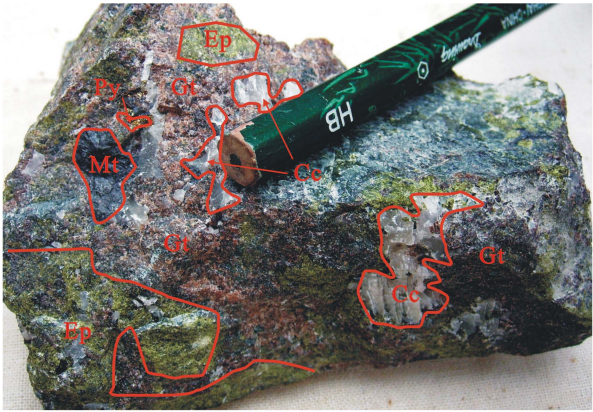


图 5 前河金矿矽卡岩化岩石手标本
Gt—石榴子石; Ep—绿帘石; Mt—磁铁矿; Py—黄铁矿; Cc—方解石
Fig. 5 Skarn minerals in the Qianhe gold deposit
Gt—Garnet; Ep—Epidote; Mt—Magnetite; Py—Pyrite; Cc—Calcite

似层状、透镜状及脉状产出,产状与 F_4 断裂基本相同,厚度几米不等,具有浅部较缓、较厚,深部变陡、变薄的特点,并向 NWW 方向侧伏。

矿体中以黄铁绢英化碎裂岩型和构造角砾岩型金矿石为主,半自形他形粒状结构、包含结构、交代结构、压碎结构及细脉浸染状构造、网脉状构造、碎裂构造、角砾状构造等结构构造常见。近地表原生矿石遭不同程度氧化形成氧化矿石,经风化淋滤后变成皮壳状、蜂窝状、土状。

金属矿物以黄铁矿为主(90%以上),其次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、褐铁矿、自然金、

银金矿等,脉石矿物主要是石英、钾长石、方解石、黑云母、白云母,次为绿泥石、绿帘石、角闪石、萤石等。

赋存矿体的 F_4 断裂内热液蚀变强烈,形成了钾长石化、黑云母化、阳起石化、绿泥石化、绿帘石化、绢英岩化、碳酸盐化等由多种热液蚀变矿物构成的各类蚀变岩。同时,在石家岭矿段附近发现少量角闪石石棉细脉、辉钼矿、萤石等矿物。

3 矽卡岩化特征

前河大桥西南端发育着呈脉状产出的石榴子石,脉宽 20~30 cm,近水平产出,与安山岩界线清楚。石榴子石以红褐色为主,多为菱形十二面体自形,粒度 0.2~0.8 mm,脉中无其他矿物,显示出热液充填的特征。在石家岭矿段矿体附近和外围新发现了石榴子石、透辉石、绿帘石、绿泥石、阳起石、磁铁矿等矿物组合。 F_4 断裂的石家岭矿段中,385 中段 37 线穿脉顶端出现了石榴子石、绿帘石、磁铁矿、黄铁矿、方解石等矿物集合体(图 5),自形-半自形结构、粒状变晶结构、嵌晶结构以及轻微的交代结构,块状构造,碎裂构造,呈团块不连续分布于周围的变安山岩内。同时在石家岭矿段采矿坑道围岩中还发现了透辉石等矿物,手标本上表现为绿泥石阳起石带、透辉石条带、磁铁矿石英条带、绢英岩化带和钾长石化带(图 6),各条带逐渐过渡,主要为交代残余

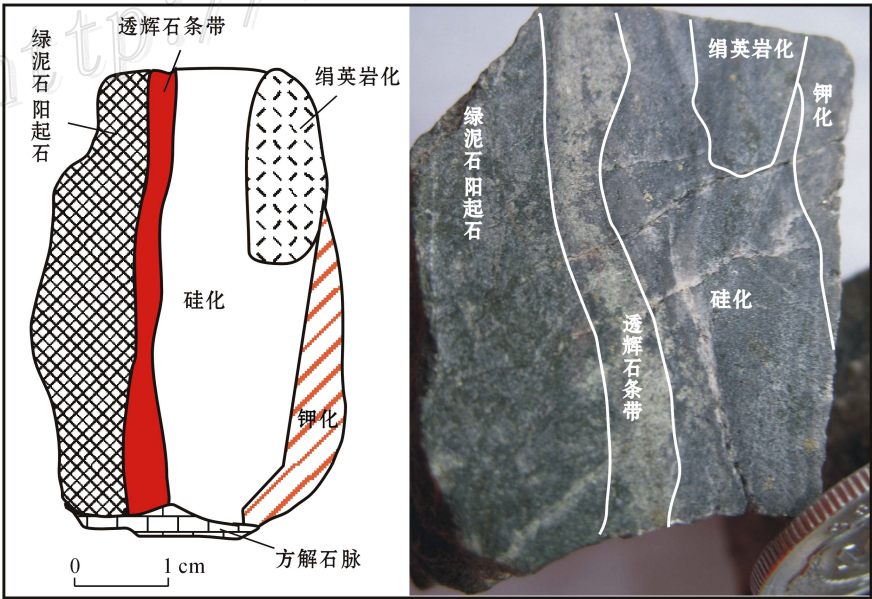


图 6 发生绿泥石、绿帘石退变质的透辉石手标本(绿泥石阳起石条带中残存有透辉石)

Fig. 6 Retrograde alteration of diopside

结构,条带状构造。选取代表性的透辉石、石榴子石等矿物进行了电子探针成分分析,结果见表 1。

根据岩相学和矿物共生组合特征,出露的矽卡岩化岩石具有矽卡岩矿床的演化特征(袁见齐等,1984),分为干矽卡岩阶段、湿矽卡岩阶段和石英硫化物阶段。各阶段特征如下:

干矽卡岩阶段以石榴子石、透辉石为主。石榴子石的化学式为 $(\text{Ca}_{2.75}\text{Fe}_{0.34}^{2+}\text{Mn}_{0.05}\text{Mg}_{0.02})_{3.16}(\text{Al}_{0.98}\text{Fe}_{0.71}^{3+}\text{Ti}_{0.02})_{1.71}\text{Si}_{3.13}\text{O}_{12}$,属于钙铁石榴子石系列,褐红色、红棕色,半自形他形为主,粒度 0.1~1 mm 不等;镜下肉红色,正高突起,均质体,破碎严重,裂隙中充填有方解石等后期矿物,少量边部有绿泥石(图 4c)。透辉石,化学式为 $\text{Ca}_{0.99}(\text{Mg}_{0.81}\text{Fe}_{0.14}\text{Mn}_{1.07}\text{Na}_{0.03}\text{K}_{0.01})_{1.06}\text{Si}_{1.98}\text{O}_6$,计算的端员分子式为 $\text{Di}_{78.8}\text{Hd}_{14.1}\text{Jo}_{7.1}$,属于透辉石-钙铁辉石系列,镜下无色,正高突起,鲜艳的二级干涉色,消光角约 40 度,自形、他形均有,粒度 0.1~0.2 mm,呈柱状、粒状分布,被石英包围(图 4e、f)。矽卡岩型矿床的石榴子石和辉石主要属于钙铁石榴子石系列和透辉石-钙铁辉石系列,此处发育的该矿物在成分上与之相同。

湿矽卡岩阶段以绿帘石、绿泥石、阳起石、磁铁矿等矿物为主。绿帘石,化学式为 $(\text{Ca}_{1.84}\text{Fe}_{0.28}^{2+}\text{Mn}_{0.02})_{2.14}(\text{Al}_{2.14}\text{Fe}_{0.59}^{3+})_{2.73}\text{Si}_{3.13}\text{O}_{12}\text{OH}$,黄绿色,自形-半自形,手标本可见到单颗粒,0.1~1 mm,黄绿-绿多色性显著,正高突起。穆磁铁矿,化学式为 $(\text{Fe}_{1.04}^{2+}\text{Mg}_{0.02})_{1.06}(\text{Fe}_{1.86}^{3+}\text{Si}_{0.04}\text{Al}_{0.03}\text{Ti}_{0.02})_{1.95}\text{O}_4$,灰黑色,金属光泽,高硬度,具磁性,粒度 0.5~1 mm,叶片状集合体,呈赤铁矿假象(图 4d),由赤铁矿还原形成。还有少量磁铁矿,八面体自形,0.1~0.5 mm。绿泥石阳起石带中矿物杂乱分布,残存不规则分布的残余透辉石、绿泥石、阳起石等呈半自形他形围绕辉石发育(图 4e、f),反映了早期的透辉石蚀变成阳起石、绿帘石、绿泥石等含水链状和层状硅酸盐矿物。

透辉石带内还发现了具环带结构的褐帘石,黄绿色,自形,粒度 0.1~0.2 mm,计算的化学式为: $(\text{Ca}_{1.32}\text{Ce}_{0.29}\text{Na}_{0.11}\text{La}_{0.08}\text{K}_{0.06}\text{Mg}_{0.05}\text{Y}_{0.05}\text{Th}_{0.05}\text{Hf}_{0.04})_{2.05}(\text{Fe}_{0.86}^{2+}\text{Fe}_{0.24}^{3+}\text{Ti}_{0.02}\text{Al}_{1.62})_{2.74}\text{Si}_{3.21}\text{O}_{12}\text{OH}$ 。褐帘石为绿帘石族中含稀土元素的矿物,在较还原的条件下,与 La^{3+} 相比, Ce^{3+} 与 Ca^{2+} 离子半径更接近,更容易替代 Ca^{2+} 进入绿帘石矿物,形成 Ce 褐帘石,在较氧化条件下, Ce^{3+} 氧化为 Ce^{4+} ,与 Ca^{2+} 半径

相差较大,而 La 离子半径不变,可以大量替代 Ca^{2+} 形成 La 褐帘石(陈光远等,1992)。从所测褐帘石成分来看, Ce_2O_3 含量大于 La_2O_3 , Fe^{2+} 含量也大于 Fe^{3+} ,反映其在较还原环境下生成,代表形成绿帘石的阶段为还原环境。

石英硫化物阶段出现了方解石、黄铁矿、石英等矿物。方解石,白色,解理发育,部分嵌晶结构包裹其他矿物,自形-半自形充填于石榴子石隙裂、绿帘石等矿物间隙。方解石、黄铁矿分布于石榴子石裂隙或者颗粒之间。后期形成的各硅化条带中包裹了残存的辉石、阳起石、绿泥石矿物,硅化带中的石英粒度比绢英岩化带中的颗粒明显大几倍。

综上所述,尽管野外未揭露出透辉石和石榴子石的空间关系,但是此处发现的石榴子石绿帘石方解石团块结合透辉石的产出,可以反映出一般的矽卡岩演变过程。褐帘石成分还揭示较还原环境,而且穆磁铁矿的出现同样反映矽卡岩矿物后期的较还原环境。Meinert 等(1992,2005)指出高品位矽卡岩金矿多具还原特征,前河金矿的矽卡岩化岩石就具备这种还原条件。

4 讨论与结论

前河金矿石家岭矿段发育的石榴子石、辉石、绿帘石等矿物由于目前坑道揭露不充分,发现的规模还不大,透辉石和石榴子石的空间关系也不很明确,但是这些矿物的产出符合矽卡岩的矿物学定义,可以确定为矽卡岩化(Einaudi et al.,1981;Meinert et al.,1992,2005)。岩相学特征表明,前河金矿矽卡岩化经历了干矽卡岩、湿矽卡岩以及石英硫化物阶段的演化过程(袁见齐等,1984),在后期阶段褐帘石成分和具赤铁矿假象的穆磁铁矿还表现出还原特征,反映了前河金矿具有一般高品位矽卡岩型金矿的特点(Meinert et al.,1992,2005)。石榴子石和辉石在成分上分别属于钙铁石榴子石系列和透辉石-钙铁辉石系列,与典型矽卡岩型矿床形成的成分一致。

矽卡岩形成的地质条件非常广泛,常产于侵入体附近、断裂带或剪切带、浅部的地热系统、海底以及下地壳深埋的变质体中,形成于区域变质、混合岩化、矿浆充填、或接触变质作用以及不同流体参与的交代作用(Meinert,1998,2005;赵一鸣等,1997;2002)。但是前河矿区熊耳群火山质围岩仅经历了低绿片岩相变质,变安山结构构造清楚,矽卡岩化岩

表 1 砗卡岩矿物电子探针成分及单位分子阳离子数
Table 1 Electron microprobe analyses of skarn minerals and their ion proportions

矿物名称	wt-%													
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	HfO ₂	ThO ₂	TFeO
透辉石	53.53	0.05	—	25.10	14.65	2.32	0.09	0.38	—	—	—	—	—	4.68
石榴子石	39.75	0.41	10.55	32.60	0.18	0.72	—	—	—	—	—	—	—	15.83
穆磁铁矿	1.00	0.63	0.61	—	0.34	—	—	—	—	—	—	—	—	90.88
绿帘石	39.21	—	22.73	21.47	—	0.23	—	—	—	—	—	—	—	13.02
褐帘石	35.21	0.24	15.07	13.56	0.39	—	0.27	0.60	0.95	2.45	8.79	1.60	2.57	14.51
单位分子的阳离子数目														
矿物名称	Si	Ti	Al	Ca	Mg	Mn	K	Na	Y	La	Ce	Hf	Th	Fe ²⁺
														Fe ³⁺
透辉石	1.98		0.00	0.99	0.81	0.07	0.01	0.03						0.14
石榴子石	3.13	0.02	0.98	2.75	0.02	0.05								0.34
穆磁铁矿	0.04	0.02	0.03		0.02									1.04
绿帘石	3.13		2.14	1.84		0.02								0.28
褐帘石	3.21	0.02	1.62	1.32	0.05		0.06	0.11	0.05	0.08	0.29	0.04	0.05	0.86

测试单位:中国地质大学(北京)地质实验中心电子探针室。“—”代表低于检测限;TFeO为全铁,*FeO与*Fe₂O₃含量根据电价平衡方法计算所得;各矿物单位分子的阳离子数目均以氧原子法进行计算;Di为透辉石;Hd为钙铁辉石;Jo为锰钙辉石。

石主要赋存于合峪岩体北部 F_4 断裂带中,且前河大桥附近石榴子石呈脉状产出,这表明石榴子石、辉石等矽卡岩矿物与区域变质、混合岩化、矿浆充填等作用无关,而可能与热液交代作用关系密切。矽卡岩化一般是中高温热液蚀变的产物,石家岭矿段断裂坑道内矽卡岩化岩石的发育,可能指示深部存在中高温热液活动。这与 F_4 断裂带内浅部广泛存在的钾长石黑云母化、青磐岩化以及强烈的黄铁绢英岩化等多种与金矿化作用关系密切的中低温热液蚀变在形成温度上显著不同。

值得注意的是,前河金矿矽卡岩化的围岩不是碳酸盐岩,而是浅变质的安山质火山岩。大量的研究和资料表明(Meinert et al., 1992; 1998; 2005; Stephen et al., 1995; 陈衍景等, 1997; 2004a; 赵一鸣等, 1999; 徐林刚等, 2007), 矽卡岩形成的必备条件并不一定是碳酸盐岩,也可由火山岩等岩石在不同地质背景下形成。前河金矿石家岭矿段安山质围岩发生矽卡岩化也说明了这一点。

Meinert 等(2003; 2005)认为,大多数矽卡岩的进变质和退变质阶段都源自岩浆流体,具有经济价值的矽卡岩矿床绝大多数也离不开岩浆流体的作用(Timothy et al., 2004; Meinert et al., 2003; 2005),同时,形成高品位矽卡岩型金矿的岩体一般还具有相对还原的特征。因此,前河金矿石家岭矿段安山质围岩矽卡岩化是否由合峪花岗岩岩浆热液流体交代形成,对评价前河金矿是否具有形成矽卡岩型金矿的潜力具有重要意义。合峪似斑状黑云母花岗岩岩体氧同位素 $\delta^{18}O$ 集中于 $7\text{‰} \sim 10\text{‰}$, 锶同位素初始比值 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.7075, 稀土元素总量为 276.38×10^{-6} , LREE/HREE 比值为 11.96, 属于轻稀土元素富集型^①。菖沟矿段的铅、硫、氢、氧同位素特征表明,前河金矿成矿流体以岩浆水为主,混合有大气降水,成矿物质主要由深源岩浆提供,并有浅部物质参与(李莉等, 1999),其最主要的金成矿期也是岩浆热液期(裴玉华等, 2006b)。根据合峪花岗岩特征、菖沟矿段同位素资料以及合峪岩体与前河金矿空间上的紧密相邻关系,可判定前河金矿成矿作用可能与岩浆作用关系密切。

然而,新发现的矽卡岩化对前河矿区金矿化有何影响,前河矿区是否具有形成矽卡岩型金矿的潜力还需要进一步研究。矽卡岩型金矿研究和勘探找

矿的模式已日趋成熟(Meinert et al., 1992; 1997a; 1997b; 2005),可以借鉴这些成果从矽卡岩矿物特征与成矿关系、矿物分带性、埋藏深度、地球化学特征,以及合峪岩体与矽卡岩成矿关系等多方面着手,进行成矿远景评价,探寻前河金矿是否具有形成矽卡岩型金矿的潜力。前河金矿一直以来被认为是构造蚀变岩型金矿,但是石家岭矿段矽卡岩的出现或许为后备储量不足、采矿远景不明的前河金矿从矽卡岩型金矿的思路进行勘探研究提供一些启示和依据。当然,由于前河金矿目前坑道揭露的矽卡岩化岩石规模还不大,其围岩又不是碳酸盐岩而是安山质火山岩,因此在实际工作中还需要谨慎细致地运用已有的矽卡岩型金矿成矿模式来指导找矿勘探。

志 谢 在野外工作期间,得到前河金矿的同志以及一起参加野外工作的曹烨、李庆康、毛付龙、李艳军、朱俊宾和左腾达的大力支持和协作,刘红涛和秦克章老师以及评审专家对本文提出了建设性的修改意见,在此致以诚挚的谢意。

References

- Ba A M, Ma H Y, Zhang S S and Tian X Q. 2006. Ore characteristics and ore-searching direction of Qianhe gold mine in Songxian County, Henan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 21(2):100-104 (in Chinese with English abstract).
- Cao Y, Li S R, Shen J F, Yao M J, Li Q K and Mao F L. 2007. Relation between the characteristics of magnetic susceptibilities of altered rocks and gold mineralization in the Qianhe gold deposit, Henan[J]. Geology in China, 34(6):1082-1090 (in Chinese with English abstract).
- Chen G Y, Sun D S, Zhou X R, Shao W, Gong R T and Shao Y. 1992. Genetic mineralogy and gold mineralization of Guojialing granodiorite in Jiaodong region[M]. Wuhan: China University Geoscience Press. 1-230 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J and Fu S G. 1992. Gold mineralization in west Henan[M]. Beijing: Seismological Press. 1-54 (in Chinese).
- Chen Y J, Chen H Y, Zaw K, Pirajno F and Zhang Z J. 2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview[J]. Ore Geology Reviews, 31(1-4):139-169.
- Chen Y J, Chen H Y, Zaw K, Pirajno F and Zhang Z J. 2004a. 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).

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

- Chen Y J, Li J, Pirajno F, Lin Z J and Wang H H. 2004b. Hydrothermal metallogeny of the Shanggong gold deposit, east Qinling: Studies on ore geology and fluid inclusion geochemistry[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 24(3): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Pirajno F, Qi J P, Li J and Wang H H. 2006. Ore geology, fluid geochemistry and genesis of the Shanggong gold deposit, eastern Qinling orogen, China[J]. Resource Geology, 56(2): 99-116.
- Chen Y J, Qin S and Li X. 1997. Mineralization time, space, geodynamic background and metallogenic model of the Skarn gold deposits, China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis, 33(4): 456-466 (in Chinese with English abstract).
- Duan C J. 2004. The Ore-controlling characteristics of the faulted structure in Huanxiangwa gold deposit, Songxian County, Henan Province[J]. Geological Survey and Research, 27(4): 261-267 (in Chinese with English abstract).
- Einaudi M T, Meinert L D and Newberry R J. 1981. Skarn deposits[J]. Econ. Geol., 75: 317-391.
- Fan H R, Xie Y H and Wang Y L. 1998. Fluid rock interaction during mineralization of the Shanggong structure controlled alteration type gold deposit in western Henan Province, central China[J]. Acta Petrologica Sinica, 14(4): 529-541 (in Chinese with English abstract).
- Li L, Qing M and Chen X. 1999. Geochemical features of Qianhe gold deposit, Henan[J]. Gold Geology, 5(3): 75-80 (in Chinese with English abstract).
- Liu H Y, Hu S X, Guo K Y and He J R. 2000. Metamorphism of Xiong'er group volcanic rocks in Machaoyin fault zone and its northern side[J]. Volcanology & Mineral Resources, 21(4): 275-285 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Wei X D, Dong Y, Yu Z P, Chang Q L, Zhang G S, Liu S L, Ye A W, Suo T Y and Jin J P. 2004. The characteristic of gold deposits and the mantle fluid in Xiaojingling-Xiong'er shan region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-107 (in Chinese).
- Mao J W, Li X F, Zhang R H, Wang Y T, Hao Y and Zhang Z H. 2005a. The ore-forming system of fluid derived from deep places[M]. Beijing: Chinese Earth Press. 121-173 (in Chinese).
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005b. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169-188 (in Chinese with English abstract).
- Meinert, L D. 1992. Skarns and skarn deposits[J]. Geoscience Canada, 19(4): 145-162.
- Meinert L D. 1997a. Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration[J]. Exploration and Mining Geology, 6(2): 185-208.
- Meinert L D. 1998. A review of skarn that contain gold[A]. In: Lentz D R, ed. Mineralized intrusion-related skarn systems[C]. Quebec. Short Course Series. 26: 359-414.
- Meinert L D, Hefton K K, Mayes D and Tasiran I. 1997b. Geology, zonation, and fluid evolution of the big Gossan Cu-Au skarn deposit, Ertzberg district, Irian Jaya[J]. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 92(5): 509-534.
- Meinert L D, Hedenquist J W, Satoh H and Matsuhisa Y. 2003. Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluid[J]. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 98(1): 147-156.
- Meinert L D, Gregory M D and Stefan N. 2005. World skarn deposits (in Economic Geology; one hundredth anniversary volume, 1905-2005 [C]. Society of Economic Geologists, Littleton, CO, United States, 299-336.
- Pei Y H and Yan H Q. 2006a. Typomorphic characteristics of pyrite and its practical significance in the Qianhe gold deposits, Song Country, Henan Province[J]. Geology and Prospecting, 42(3): 56-60 (in Chinese with English abstract).
- Pei Y H, Yan H Q and Zhang M Y. 2006b. Rock and mineral characteristics of Qianhe gold deposit in Henan[J]. Mineral Resources and Geology, 20(4): 513-518 (in Chinese with English abstract).
- Stephen S, John L W and Gregory D P. 1995. Noncarbonate, skarnlike Au-Bi-Te mineralization, Lucky Draw, New South Wales, Australia[J]. Econ. Geol., 90(6): 1553-1569.
- Timothy B, Esme V A, Chris G R and James R L. 2004. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit[J]. Geology, 32(2): 117-120.
- Xu L G, Mao J W, Yang F Q, Ye H S, Zheng J M, Li J G, Cai Y B, Zha X L and Gao J J. 2007. Skarn mineral characteristics of Mengku iron deposit in Xinjiang and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(4): 455-463 (in Chinese with English abstract).
- Yuan H G and Pei Y H. 1997. The characteristics of the wall rock and host rock of the orthophyric tectonic altered rock type gold deposits in Qianhe area[J]. Henan Geology, 15(1): 24-28 (in Chinese with English abstract).
- Yuan J Q, Zhu S Q and Zhai Y S. 1984. Mineral Deposit[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 104-130 (in Chinese).
- Zhang H C, Xiao R G, An G Y, Zhang L, Hou W R and Fei H C. 2003a. Hydrothermal mineralization of Au (Ag)-polymetallic ore deposit in the volcanic rock series of the Xiong'er Group[J]. Chinese Geology, 30(4): 400-405 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H C, Xiao R G, An G Y, Zhang L, Hou W R and Gao L. 2003b. Amygdalites in the volcanic series of the Xiong'er Group on the southern margin of the North China plate: Evidence of hydrothermal mineralization[J]. Regional Geology of China, 22(5): 356-363 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y H, Zhang S H, Han Y G and Zhang H J. 2006. Strike-slip features of the Machaoying fault zone and its evolution in the Huaxiong Terrane, southern north China craton[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 36(2): 169-193 (in Chinese with English abstract).
- Zhao T P, Xu Y H and Zhai M G. 2007. Petrogenesis and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xiong'er Group in the southern part of the North China craton: A Review[J]. Geological Journal of China Universities, 13(2): 191-206 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Lin W W, Bi C S and Zhang Y N. 1997. The distribution and

- geological characteristics of auriferous skarn deposits in China[J]. Mineral Deposits, 16(3):193-203(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Zhang Y N and Bi C S. 1999. Tectonic environment and geological geochemical evaluation criteria of au bearing skarn deposits [J]. Earth Science Frontiers 16(1):181-193(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M. 2002. Some new important advances in study of Skarn deposits [J]. Mineral Deposits, 21(2):113-136(in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 巴安民, 马红义, 张松盛, 田修启. 2006. 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, 21(2):100-104.
- 曹 烨, 李胜荣, 申俊峰, 要梅娟, 李庆康, 毛付龙. 2007. 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, 34(6):1082-1090.
- 陈光远, 孙岱生, 周珣若, 邵 伟, 宫润潭, 邵 岳. 1992. 胶东郭家岭花岗岩长岩成因矿物学与金矿化[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1-230.
- 陈衍景, 陈华勇, Zaw K, Pirajno F, 张增杰. 2004a. 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]. 地震出版社. 1-54.
- 陈衍景, 李 晶, Franco Pirajno, 林治家, 王海华. 2004b. 东秦岭上官金矿流体成矿作用:矿床地质和包裹体研究[J]. 矿物岩石, 24(3):1-12.
- 陈衍景, 秦 善, 李 欣. 1997. 中国矽卡岩型金矿的成矿时间、空间、地球动力学背景和成矿模式[J]. 北京大学学报(自然科学版), 33(4):456-466.
- 段存基. 2004. 河南嵩县崔香洼金矿床断裂构造控矿特征[J]. 地质调查与研究, 27(4):261-267.
- 范宏瑞, 谢奕汉, 王英兰. 1998. 豫西上官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, 14(4):529-541.
- 李 莉, 卿 敏, 陈 祥. 1999. 河南前河金矿床地球化学特征[J]. 黄金地质, 5(3):75-80.
- 刘红樱, 胡受奚, 郭坤一, 贺菊瑞. 2000. 马超营断裂带及其北侧熊耳群火山岩的变质作用[J]. 火山地质与矿产, 21(4):275-285.
- 卢欣祥, 尉向东, 董 有, 于在平, 常秋玲, 张冠山, 刘树林, 叶安旺, 索天元, 晋建平. 2004. 小秦岭-熊耳山地区金矿特征与地幔流体[M]. 北京:地质出版社. 1-107.
- 毛景文, 李晓峰, 张荣华, 王义天, 赫 英, 张作衡. 2005a. 深部流体成矿系统[M]. 北京:中国大地出版社. 121-173.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005b. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1):169-188.
- 裴玉华, 严海麒. 2006a. 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, 42(3):56-60.
- 裴玉华, 严海麒, 张明云. 2006b. 河南前河金矿岩石矿物特征[J]. 矿产与地质, 20(4):513-518.
- 徐林刚, 毛景文, 杨富全, 叶会寿, 郑建民, 李建国, 蔡永彪, 查小玲, 高建京. 2007. 新疆蒙库铁矿床矽卡岩矿物学特征及其意义[J]. 矿床地质, 26(4):455-463.
- 袁鹤皋, 裴玉华. 1997. 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, 15(1):24-28.
- 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 1984. 矿床学[M]. 北京:地质出版社. 104-130.
- 张汉成, 肖荣阁, 安国英, 张 龙, 侯万荣, 费虹彩. 2003a. 熊耳群火山岩系金银多金属矿床热水成矿作用[J]. 中国地质, 30(4):400-405.
- 张汉成, 肖荣阁, 安国英, 张 龙, 侯万荣, 高 亮. 2003b. 华北板块南缘熊耳群火山岩系中的杏仁体——热水成矿作用的证据[J]. 地质通报, 22(5):356-363.
- 张元厚, 张世红, 韩以贵, 张慧军. 2006. 华熊地块马超营断裂走滑特征及演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 36(2):169-193.
- 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 2007. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境:事实与争议[J]. 高校地质学报, 13(2):191-206.
- 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 张轶男. 1997. 中国含金夕卡岩矿床的分布和主要地质特征[J]. 矿床地质, 16(3):193-203.
- 赵一鸣, 张轶男, 毕承思. 1999. 含金夕卡岩矿床产出构造环境和地质地球化学评价标志[J]. 地学前缘, 16(1):181-193.
- 赵一鸣. 2002. 矽卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. 矿床地质, 21(2):113-136.