

熊耳山地区红庄金矿床地质特征及成因^{*}

侯红星^{1,2} 张德会^{1* * *}

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国人民武装警察部队黄金第二总队, 河北 廊坊 065000)

摘 要 红庄金矿是黄金部队在熊耳山地区开展金矿勘查发现的一个大型金矿床。矿床产于近 EW 向马超营断裂带与 NE 向红庄-青岗坪断裂交汇部位, 中元古代熊耳群中酸性火山岩地层中。稳定同位素资料显示红庄金矿成矿元素和成矿热液具多源性, 主要为幔源或下地壳源, 部分来自于熊耳群火山岩。红庄金矿矿化分 2 个阶段: 第一阶段为石英-黄铁矿阶段, 矿化形成深度约 1.7~2.71 km, 流体主要来源于岩浆水, 均一温度为 302℃, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 4.6%~5.7%; 第二阶段为石英-多金属硫化物阶段, 矿化形成深度约 0.9~1.16 km, 有部分大气降水混合, 均一温度为 112~150℃, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 1.7%~2.0%。矿床受控于近 EW 向马超营断裂, 形成于华北东部南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折晚期, 岩石圈大规模减薄作用开始之初, 成矿时代为燕山中晚期, 属与燕山期花岗岩岩浆活动有关的中-低温热液构造蚀变岩型金矿床。对红庄金矿床的地质特征、控矿因素、矿床成因的综合研究及地质勘查工作成果表明, 近 EW 向断裂不仅控制了区域构造格局, 同时也可作为储矿构造; 本区区域构造-岩浆-流体活动强烈, 成矿物质来源丰富, 成矿空间范围广, 成矿地质条件优越, 深部及外围仍有巨大的找矿潜力。红庄金矿的发现对指导本区外围金及多金属勘查工作具有一定地质意义。

关键词 地质学, 金矿床, 地质特征, 矿床成因, 红庄, 熊耳山

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Geological characteristics and genesis of Hongzhuang gold deposit in Xiong'er shan area

HOU HongXing^{1,2} and ZHANG DeHui¹

(1 School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 No. 2 Gold Geological General Party of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract

Located in the middle part of EW-trending Machaoying fault zone, the Hongzhuang Au deposit has resources of about 25 ton Au, making it one of the largest orogenic mesothermal-epithermal Au deposits hosted in volcanic rocks of the ~1.8 Ga Mesoproterozoic Xiong'er Group in the Xiong'er shan terrane. Stable isotope data show that the metallogenic elements and ore-forming fluids of the Hongzhuang Au deposit were derived from a variety of sources, mainly from the mantle or lower crust and partly from the volcanic rocks of Xionger Group. The first stage (quartz-pyrite) mineralization with the depth of about 1.7~2.71 km was mainly derived from magmatic fluid (302℃, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 4.6%~5.7%), whereas the second stage with the depth of about 0.9~

* 本文得到国家财政部黄金专项业务费红庄项目资助

第一作者简介 侯红星, 男, 1975 年生, 在读博士研究生, 地质工程师, 主要从事区域地质调查及矿产地质勘查工作。Email: wjhjhbx@163.com

* * 通讯作者 张德会, 男, 1955 年生, 教授, 博士生导师, 长期从事金属成矿学、成矿作用地球化学、成矿作用动力学、流体包裹体地球化学、成矿规律与成矿预测以及矿产勘查学的教学和研究工作。Email: zhdehui@cugb.edu.cn

收稿日期 2013-03-13; 改回日期 2014-01-17。许德焕编辑。

1.16 km (quartz-polymetallic sulfide) was partly mixed with some meteoric water ($112 \sim 150^{\circ}\text{C}$, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 1.7%~2.0%). Based on data obtained from recent research and exploration in such aspects as geological characteristics, ore-controlling factors and the genesis of the deposit, the authors hold that the Hongzhuang Au deposit is a typical orogenic-type hydrothermal gold deposit structurally controlled by EW-trending Machaoying fault, thus belonging to orogenic mesothermal-epithermal tectonic altered rock deposit formed in medium-late Yanshanian epoch and geodynamically corresponding to the transformation period of the tectonic system from NS direction to nearly EW direction in East China. Nearly EW-trending faults not only controlled the tectonic pattern but also served as the storage structure of large ore deposits. Because of the strong magma-fluid-tectonic activities, the Hongzhuang Au deposit had abundant sources at various ore-forming stages, varied metallogenic types and wide ore-forming space. As a result, there is huge potential for prospecting in the depth and the outskirts of the Hongzhuang Au deposit. The discovery of the Hongzhuang Au deposit in this area has certain guiding significance for gold and polymetallic prospecting.

Key words: geology, Au deposit, geological characteristics, genetic mechanism, Hongzhuang, Xiong'er-shan area

豫西熊耳山地区东西长约 80 km,南北宽 15~40 km,面积约 2000 km²,北以洛宁断裂为界,南以马超营断裂为界(郭保健等,2005),是中国重要的金矿矿集区(陈衍景等,1992;黎世美等,1993;卢欣祥等,1999;丁士应等,1999;朱嘉伟等,2008)。该地区内的金矿床(点)与燕山期花山、合峪复式花岗岩体在空间上关系密切,主要产于花岗岩体内部或接触带(王卫星等,2007),同时受近 EW 向马超营断裂带及其 NE 向次级断裂的控制(黎世美,1990;范宏瑞等,1994a;刘红樱等,1996;王长明等,2005)。上世纪 80 年代末以来,黄金部队一直在熊耳山地区马超营断裂带的中段从事金矿勘查,发现了元岭、南坪等小型金矿床(刘红樱等,1996,2000;席书锋等,2004),红庄金矿床是近年在该地区发现的大型金矿床。红庄金矿床产于中元古界熊耳群中-酸性火山岩地层中,受构造控制明显,属于典型的构造蚀变岩型金矿床。笔者在参与该矿床勘查工作过程中发现,金矿床(化)不仅受控于 NE 向断裂,而且,与近 EW 向断裂也关系密切,其内也存在明显的矿化蚀变,近 EW 断裂不仅控制着区域构造格局,同时也是良好的储矿构造。通过对近 EW 向断裂的勘查,红庄金矿床目前已达到大型规模。本文主要对近年来红庄金矿床深部勘查取得的新成果,包括矿床地质特征、矿床成因和成矿作用等进行了总结,旨在为进一步研究区域成矿规律、指导该区的金矿勘查、扩大矿区远景等提供新的借鉴。

1 区域地质背景

红庄金矿床位于华北古板块南缘的熊耳地体(图 1)。该地区具有与华北克拉通基本相同的基底和盖层,基底为太古界太华群,主要分布在熊耳山等山岭的核部,是一套以片麻岩为主的中-深变质岩系,形成年龄为 2900~2200 Ma(Chen et al., 2008);盖层为中元古界熊耳群钙碱性-碱性火山岩系以及中-新元古界官道口群、栾川群碳酸盐岩。熊耳群厚达 7600 m,由玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩和流纹岩等组成,以安山岩类为主,形成年龄为 1850~1400 Ma(陈衍景等,2004),岩石变质程度低(局部达绿片岩相)或未变质,是构造蚀变岩型金矿化的主要赋矿地层,形成于中元古代早期的陆缘火山弧,是宽坪洋沿黑沟-栾川断裂向北俯冲的产物。

该地区内,区域构造主要是近 EW 向马超营断裂带和 NEE 向洛宁山前隐伏断裂,长期活动,在这两条断裂之间,形成了次一级的康山-七里坪、红庄-青岗坪等 NE 向压扭性断裂。

该地区燕山期花岗岩浆活动强烈,形成了花山、合峪等岩体(127.2~131.8 Ma;李永峰,2005;唐克非等,2009)。花山岩体位于马超营断裂带以北、熊耳山的核部,是由多期岩浆活动形成的复式岩体(范宏瑞等,1994b),时间上从早到晚、空间上自南向北依次为:五丈山岩体(150~160 Ma,王卫星等,2007)、花山

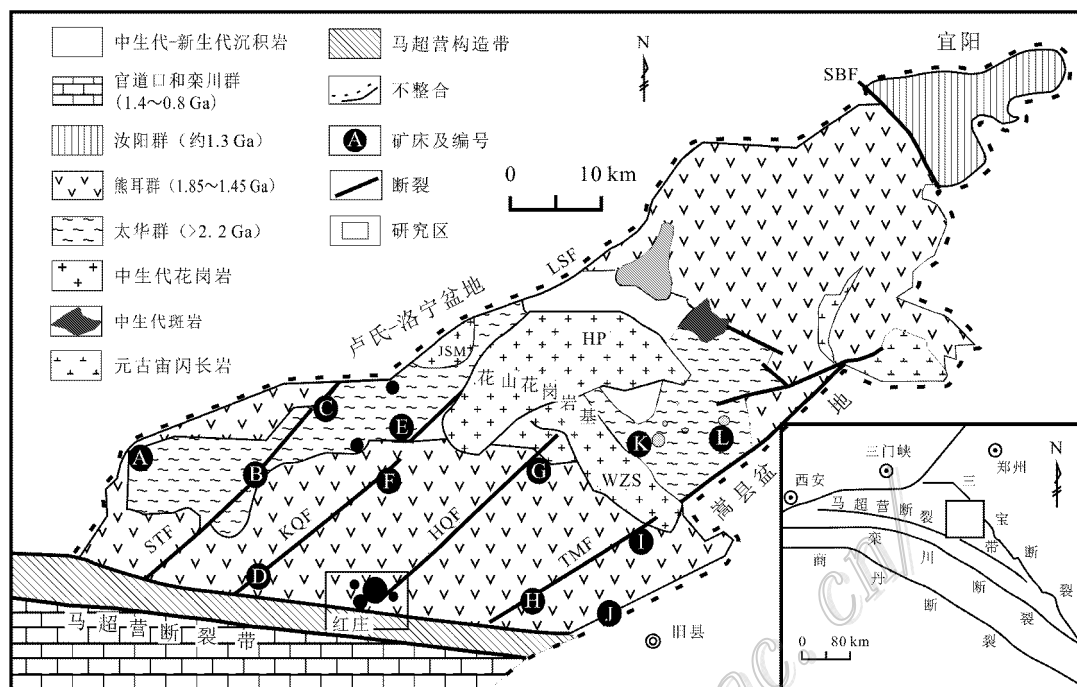


图 1 豫西熊耳山地区地质构造简图(据 Chen et al., 2008)

SBF—三宝断裂; LSF—洛宁山前断裂; STF—三门-铁炉坪断裂; KQF—康山-七里坪断裂; HQF—红庄-青岗坪断裂;

TFM—陶村-马元断裂; HP—蒿坪岩体; WZS—五丈山岩体; JSM—金山庙岩体

矿床: A—蒿坪沟银铅矿; B—铁炉坪银铅矿; C—小池沟金矿; D—康山金银铅矿; E—虎沟金矿; F—上宫金矿; G—青岗坪金矿; H—谭头金矿; I—瑶沟金矿; J—前河金矿; K—雷门沟钼金矿; L—祁雨沟金矿

Fig. 1 Schematic geological and tectonic map of the Xiong'ershan area, western Henan (after Chen et al., 2008)

SBF—Shanbao fault; LSF—Luoning piedmont fault; STF—Shanmen-Tieluping fault; KQF—Kangshan-Qiliping fault; HQF—Hongzhuang-Qinggangping fault; TFM—Taocun-Mayuan fault; HP—Haoping rock body; WZS—Wuzhangshan rock body; JSM—Jinshanmiao rock body; Deposits: A—Haopinggou Ag-Pb deposit; B—Tieluping Ag-Pb deposit; C—Xiaochigou Au deposit; D—Kangshan Au-Ag-Pb deposit; E—Hugou Au deposit; F—Shanggeng Au deposit; G—Qinggangping Au deposit; H—Tantou Au deposit; I—Yaogou Au deposit; J—Qianhe Au deposit; K—Leimengou Mo-Au deposit; L—Qiyugou Au deposit

岩体(130~132 Ma, Chen et al., 2008) 蒿坪岩体(123.1 Ma, 范宏瑞等, 1988) 和金山庙岩体(105 Ma, 范宏瑞等, 1988)(图 1)。

区域内金矿床(点)按产出形式可分为构造蚀变岩型(占 80% 以上)、爆破角砾岩型和石英脉型, 主要分布在燕山期花岗岩基的外围、与太华群和熊耳群接触带附近及熊耳群火山岩中, 受近 EW 向的洛宁山前隐伏断裂、马超营断裂带以及其间的 NE 向断裂带的联合控制, 定位于近 EW 向断裂与 NE 向断裂的交汇部位(丁士应等, 1999), 空间上大致呈等间距排列(王长明等, 2005)。

2 矿区地质特征

2.1 地层

红庄矿区内出露的地层主要为中元古界长城系熊耳群中-酸性火山岩, 局部出露新元古界蓟县系

川群龙家园组白云石大理岩以及上白垩统—第三系红色砂砾岩(图 2)。

熊耳群火山岩从下往上分别为: 坡前街组安山岩、杏仁状安山岩、玄武安山岩、粗面岩、眼窑寨组紫红色、浅棕色流纹岩和球粒状流纹岩、流纹斑岩; 焦园组紫红色、浅棕色流纹岩和球粒状流纹岩、流纹斑岩和英安岩; 张合庙组灰紫色安山岩、杏仁状安山岩、玄武安山岩、安山玢岩及大斑安山岩。其中, 坡前街组安山岩类在矿区内大面积出露, 是主要的赋矿地层。

2.2 构造

马超营断裂带是重要的控岩、控矿构造(刘红樱等, 1998; 张元厚等, 2006), 总体走向 270~300°, 倾向北, 倾角 45~85°, 具左行走滑特征(张元厚等, 2006), 呈舒缓波状延伸, 切割矿区内太华群及熊耳群的所有地层, 先后经历了韧性变形和脆性变形。脆性变形主要发育于其北侧, 形成了次一级 NE 向断

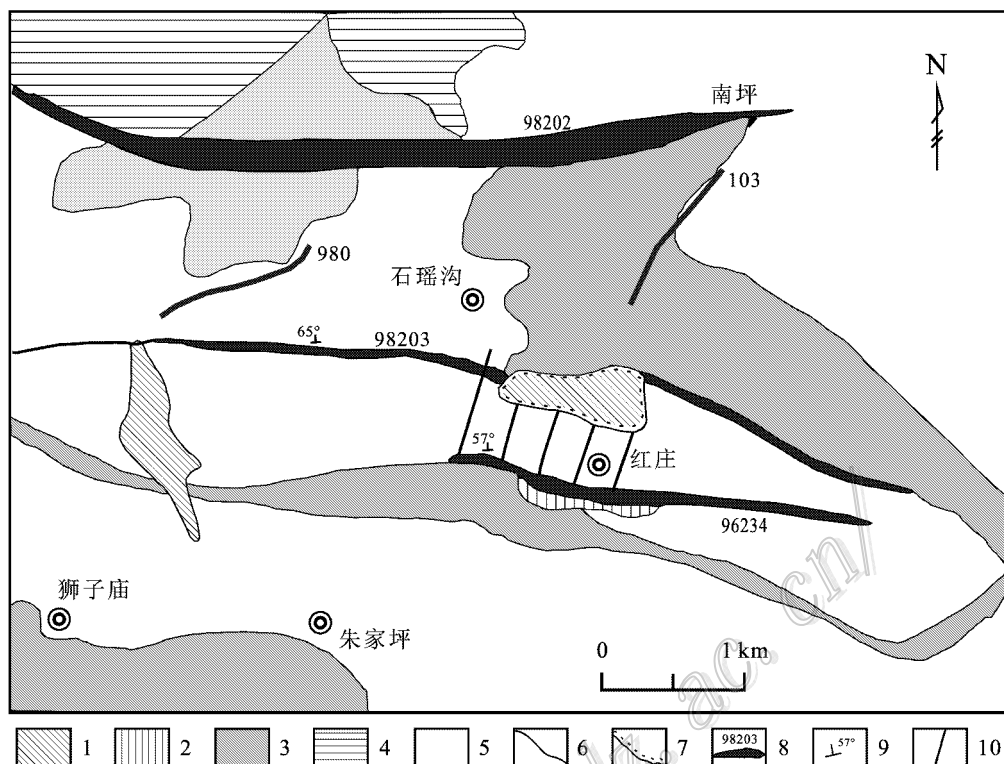


图 2 红庄矿区地质简图

1—第三系—白垩系砂砾岩;2—栾川群高山河组;3—熊耳群焦园组;4—熊耳群眼窑寨组;5—熊耳群坡前街组;6—地层界线;
7—角度不整合界线;8—构造蚀变带(金矿化带)及编号;9—矿脉产状;10—勘探线

Fig. 2 Geological sketch map of the Hongzhuang ore district

1—Palaeogene-Cretaceous sandstone and conglomerate; 2—Gaoshanhe Formation of Luanchuan Group; 3—Jiaoyuan Formation of Xiong'er Group; 4—Yanyaozhai Formation of Xiong'er Group; 5—Poqianjie Formation of Xiong'er Group; 6—Stratigraphic boundary; 7—Angular unconformity; 8—Structure-alteration zone (gold mineralization zone) and its serial number; 9—Attitude of ore vein; 10—Exploration line

裂,经历了印支期压剪、燕山期张剪和喜马拉雅期压剪作用(陈衍景等,2004)。该断裂带在矿区内自北向南由3条断裂构成:康山-南坪断裂、铁岭-红庄断裂、马超营-红庄断裂,分别表现为98202号、98203号和96234号构造蚀变带,控制着矿区内几乎所有矿脉(体)的分布。金矿脉(体)全部产于EW向构造蚀变带内,或者2条构造蚀变带之间的NE向次级构造中。

98202号构造蚀变带位于矿区北部,近EW向展布,走向 $260^{\circ}\sim 280^{\circ}$,倾向 $350^{\circ}\sim 10^{\circ}$,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,宽逾40 m,断面清晰,呈舒缓波状,带内岩石具褐铁矿化、硅化,局部挤压片理发育,断层具压扭性。98203号构造蚀变带位于矿区中部,切割了上白垩统—古新统红层,控制着红层的分布。该带在矿区内长约700 m,朝NW向及SE向延伸出矿区。该带沿SE向最终与96234号构造蚀变带相交,属成矿后断

裂。96234号构造蚀变带规模大、延伸远,具长期活动的特点,在其南侧形成了一系列与之平行或斜交的次级断裂,是该矿区的主要控矿构造。

马超营断裂带横贯全区,长1200 m,其东部延入红庄矿区,西部延入元岭矿区,是该地区的主要控矿构造。该断裂带厚30~100 m,带内发育有断层角砾岩、糜棱岩及碎裂岩,岩石主要的蚀变矿化类型有赤铁矿化、褐铁矿化、碳酸盐化、绢云母化及硅化等。带内断面清晰,沿走向和倾向均呈舒缓波状,沿断面多发育0.1~2 m厚的紫红色、砖红色断层泥。

从力学性质分析,马超营断裂带具有压性-张性-压扭性多期活动的特点。早期:强烈的挤压作用形成了较宽的片理化带和挤压破碎带,在挤压破碎带中发育有断层角砾岩及构造透镜体;此期间有石英脉沿小断层和片理面充填,石英脉多呈乳白色团块状,脉中偶见黄铁矿化,黄铁矿颗粒粗大,自形程度

高。中期(燕山期):先在张性应力下形成了较宽的破碎带和大量的张性角砾岩(在白云岩中形成层间破碎),角砾岩有赤铁矿化和硅化蚀变;在 96234 号构造蚀变带的下盘形成了以褐铁矿化、碳酸盐化和弱硅化为主的蚀变岩,并伴随有 Au 矿化,随着应力场的改变,在张应力作用之后又出现了挤压,形成了以 NNE-NE 向、NNW-NW 向为主的压性和扭性节理裂隙(靠近 96234 号构造蚀变带的下盘最发育),岩石蚀变增强,并伴随有 Au 和多金属矿化,而且 Au 含量较富。晚期:96234 号构造蚀变带及旁侧小断层均有活动,形成了清晰的断层面和糜棱岩,并有碳酸盐化、绢云母化,断层性质表现为压扭性;在该构造蚀变带的下盘发育有与主断面呈“入”字型相交的次级断裂构造,此期间的断裂切割了早期形成的矿脉。

2.3 岩浆岩

红庄矿区内大面积出露熊耳群中-酸性火山岩,地表未见侵入岩出露。五丈山、花山花岗岩体位于该矿区的北东侧,NE 向红庄-青岗坪断裂将该区与花山花岗岩基相连(图 1)。

根据区域物化探资料,推测该矿区内存在与花山花岗岩基同源的隐伏岩体(罗铭玖等,1991)。2007 年,在矿区内石瑶沟一带的多个钻孔深部见到花岗斑岩,证实该区深部确实存在隐伏岩体。

石瑶沟隐伏岩体的岩性为黑云母二长花岗岩、花岗斑岩,岩石略显破碎,为后期构造活动所致。根据钻孔岩芯观察,隐伏岩体的标高约为 -722 ~ -749 m,地表投影面积约为 0.24 km²。岩石具有高 SiO₂ 的特点,碱含量较高, $\omega(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 为 6.61% ~ 13.09%,属于钾玄岩系列。该隐伏花岗斑岩与钼矿化关系密切,近年通过系统勘查已成为一大型斑岩钼矿床。运用激光等离子体质谱法对采自钻孔岩芯的 1 件花岗斑岩样品中的岩浆锆石进行了测年,获得²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为(131 ± 1)Ma,代表了该斑岩体的侵位年龄,与花山复式岩体第二期的侵入年龄一致。根据该隐伏岩体的岩性及岩相学特征,说明其具有 I 型花岗岩的特征。红庄、元岭、南坪等金矿床在空间上位于石瑶沟隐伏岩体四周 2000 ~ 3000 m 范围内,围绕该隐伏岩体分布。

2.4 矿(化)体特征

红庄矿区的金矿(化)体全部赋存在近 EW 向构造带内,带内蚀变强烈(图 3)。矿区内目前已发现含金构造蚀变带 20 余条,以近 EW 向为主,其次为 NE 向、NNE 向,少量为 NW 向。其中,规模较大、具工业意义的 3 条含金构造蚀变带均为近 EW 向,向北陡倾,自北向南依次近平行分布。主矿带为 96234 号矿带,位于最南部,占红庄金矿床金储量的 85% 以

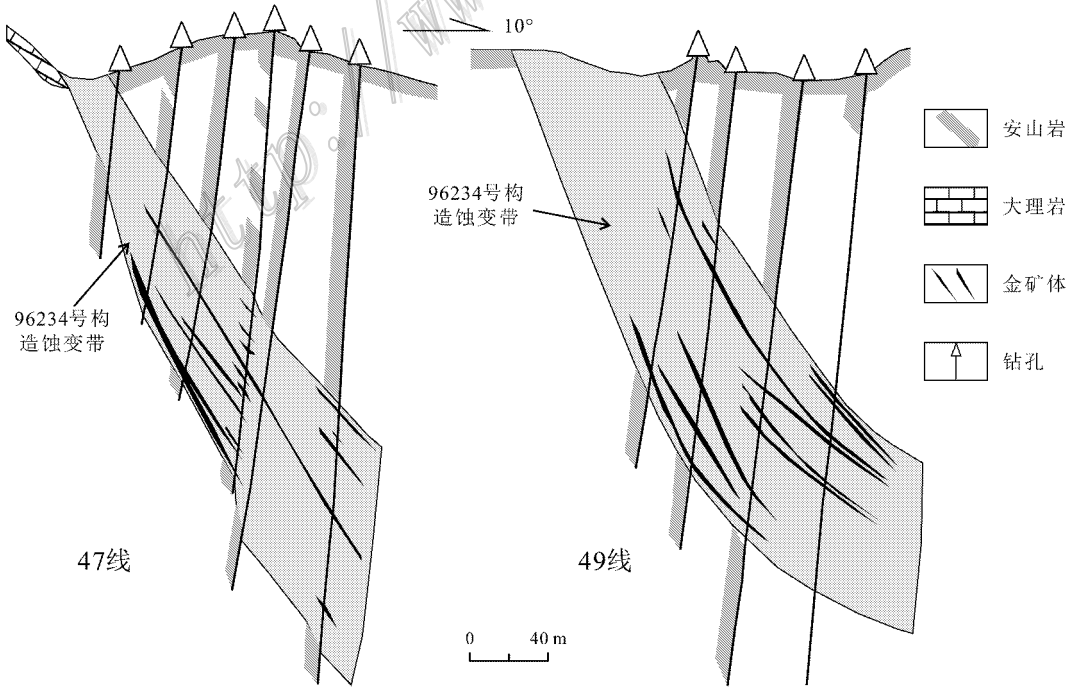


图 3 红庄庄矿区 47、49 号勘探线剖面示意图

Fig. 3 Schematic geological section along No. 47 and No.49 exploration lines in the Hongzhuang ore district

上。矿体主要呈似层状、脉状，次为透镜状，具有上贫下富、上薄下厚的特点，但相对较厚的矿体向深部又有重新变薄变贫的趋势。矿体沿走向和倾向均变化较大，分枝复合、膨大缩小特点明显，其形态、产状与构造带密切相关。

2.5 矿石特征

红庄金矿床的矿石类型以金-多金属硫化物型为主(80%)，其次为金-黄铁矿型。前者呈浸染状、脉状构造，矿石矿物主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等，脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石；后者呈浸染状构造，矿石矿物以黄铁矿为主，脉石矿物以石英、绢云母为主。矿石中的金矿物主要为自然金，镜下呈不规则粒状、枝叉状、细脉状、角砾状、近圆粒状、板状、片状、丝状等，以中、细粒金为主，存在形式以粒间金为主，其次为裂隙金和包体金。黄铁矿主要呈自形-半自形晶粒状或他形晶粒状集合体分散在石英及其他脉石矿物间，立方体自形晶黄铁矿常见。方铅矿以半自形-他形晶粒状分布在黄铁

矿与脉石矿物粒间、闪锌矿与脉石矿物粒间或脉石矿物粒间。

经野外观察和室内研究，结合矿石结构构造及矿物共生组合特征，将红庄金矿床的成矿过程划分为3个成矿阶段(表1)。

(1)早期含黄铁矿-石英阶段 是成矿早期阶段，主要形成细脉状石英和结晶较粗的自形黄铁矿，呈团块状、脉状充填于岩石的破碎裂隙中，矿物共生组合为黄铁矿-自然金-石英组合，围岩产生绿泥石化、绢云母化等蚀变。

(2)金-多金属硫化物-石英阶段 是成矿的主要阶段，有多种硫化物与金共生，主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿及少量黄铜矿、磁黄铁矿。石英为灰白色，中-细粒状，透明度较好，多分布在岩石的裂隙中，有时形成密集细脉带。黄铁矿特别发育，呈细粒-微细粒集合体或团块状、细脉状产出；方铅矿呈自形-半自形与闪锌矿共生或单独产出；偶见黄铜矿、磁黄铁矿等。矿物共生组合有：多金属硫化物-自然

表 1 各成矿期、成矿阶段及主要矿物生成顺序

Table 1 Mineral-forming sequence in ore-forming periods and metallogenic stages

成矿阶段	早期含黄铁矿-石英阶段	金-多金属硫化物-石英阶段	晚期石英阶段
矿 物			
石 英	——	—— ————	—— ————
黄 铁 矿	—— ————	—— ————	—— ————
方 铅 矿		—— ————	—— ————
闪 锌 矿		—— ————	—— ————
黄 铜 矿		—— ————	—— ————
磁黄铁矿		—— ————	
自 然 金	—— ————	—— ————	—— ————
银 金 矿	—— ————	—— ————	—— ————
铅 金 矿		—— ————	
钾 长 石		—— ————	—— ————
绿 泥 石	—— ————	—— ————	—— ————
绢 云 母	—— ————	—— ————	—— ————
白 云 石	—— ————		—— ————
方 解 石	—— ————		—— ————

金-石英组合,多金属硫化物-自然金-石英、钾长石组合。围岩产生硅化、绢云母化、钾化等蚀变。

(3)晚期石英阶段 属成矿晚期阶段,石英多为烟灰色-暗灰色,呈细脉状分布在前两个阶段的岩石和矿物的裂隙及围岩中,分布不广,有时伴有方解石、白云石。黄铁矿含量相对减少,呈细粒状或细脉状分布。矿物共生组合为黄铁矿-自然金-石英组合。围岩产生硅化、绢云母化、绿泥石化等蚀变。

2.6 矿化蚀变特征

矿区内矿化蚀变的特点主要与动力变质和热液矿化作用的影响密切相关。矿区的围岩蚀变主要沿构造断裂带分布,形成了一套含金蚀变碎裂岩。蚀变带宽度不等,与矿体规模、矿化程度密切相关,矿体厚度大、矿化强烈的部位,蚀变带的宽度大,反之则窄小。主要矿化蚀变为硅化、钾化、黄铁绢英岩化、青磐岩化,次为绢云母化、黄铁矿化、方铅矿化、高岭石化。地表及浅部蚀变强烈,往深部或远离矿体,蚀变渐趋变弱。金矿化与钾化、硅化、黄铁绢英岩化蚀变关系密切,蚀变越强,金品位越高。围岩蚀变主要分布于矿体两侧,且近矿体部位蚀变增强,远离矿体蚀变减弱。从矿脉向两侧,根据蚀变强度可划分为团块状、面状钾化和硅化→细脉-网脉状硅化和碳酸盐化叠加→黄铁绢英岩化→青磐岩化;从上到下大致为青磐岩化、碳酸盐化→绢云母化→黄铁绢英岩化、碳酸盐化→钾化。

3 矿床成因分析

3.1 成矿地质背景

扬子陆块与华北陆块在晚三叠世完成碰撞拼合后(张国伟等,2001),作为秦岭造山带一部分的熊耳山地区进入了陆-陆碰撞演化阶段,形成了自北至南的逆冲推覆构造系。马超营断裂带和洛宁山前断裂即是该构造系的一部分。毛景文等(2002)经研究认为,华北克拉通及其邻区的中生代金属矿床大规模成矿作用可划分为3个重要时期:200~160 Ma、140 Ma左右和130~110 Ma,分别对应着华北与扬子两大板块碰撞后陆内造山和伸展、南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折以及东西向岩石圈大规模减薄的地球动力学背景。目前多数研究者认为,东西长约200 km、深度34~38 km的马超营断裂带作为扬子陆块与华北陆块碰撞的形迹,大约形成于1400 Ma(胡受奚等,1998),在中生代扬子陆块

与华北陆块碰撞期间是一个向北倾的A型俯冲带(陆-陆俯冲),且在燕山期有多次强烈活动(胡受奚等,1997;陈衍景等,1992;2004;范宏瑞等,1994b;1998;Chen et al.,2008)。Chen等(2008)通过研究熊耳山地区上官大型金矿床3期金的热液成矿作用(242 Ma、165 Ma和113 Ma),认为其形成的动力学背景分别对应于早期碰撞挤压、中期挤压-伸展转换以及后期伸展3种环境(图4),期间发生了强烈的岩浆活动,形成了花山花岗岩体(160~110 Ma)。同时,根据熊耳山地区燕山期花岗岩和主要金矿床的形成时代(李永峰,2005;邱庆伦等,2008;唐克非等,2009;汪卫星等,2007)可知,五丈山、花山和合峪花岗岩体的成岩时代为燕山早期和中期,金矿床的成矿年代则集中在燕山中期和晚期。燕山期的大规模花岗岩浆活动和金成矿作用,与区域地质构造背景的演化相对应。

3.2 控矿因素

熊耳山地区金矿成矿系列属于构造蚀变岩型,赋矿地层主要为熊耳群和太华群,EW向深大断裂(马超营)和区域性不整合面(洛宁山前推覆构造)控制了熊耳山金成矿带的分布,NE向断裂与EW向断裂的交汇部位控制了金矿床的定位,如康山、上官、红庄、北岭、前河等大型金矿床均产于深大断裂或不整合面与NE向断裂的交叉处,围绕燕山期花岗岩体周边分布。花岗岩的活动为成矿物质活化和迁移提供了热源和动力,同期的断裂构造创造了构造蚀变岩型金矿的“源、运、储”条件(王长明等,2005;朱嘉伟等,2008)。

红庄矿区的金矿体主要受控于矿化构造蚀变带的规模和形态,矿体的产状与蚀变带的产状基本一致(图3,图5),金矿体本身就是矿化蚀变带(图5A),形成了蚀变碎裂岩(图5B),局部形成断层泥(图5C),在平面和剖面上均具分枝复合、膨大缩小等厚度变化较大的特点,在破碎带的强蚀变地段、多次构造复合部位易形成金的工业矿体。马超营断裂带的多期活动以及由此引起的多次热液作用是金成矿的主要因素。

3.3 流体包裹体测试

本文对红庄矿区主要矿脉不同标高、不同部位矿石中白云石内的流体包裹体进行了测试。测试结果(表2)显示,其流体包裹体可分为2期:第1期为中温期,冰点温度为 $-2.8 \sim -3.5^{\circ}\text{C}$,均一温度为 $192 \sim 302^{\circ}\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为4.6%~5.7%,密度

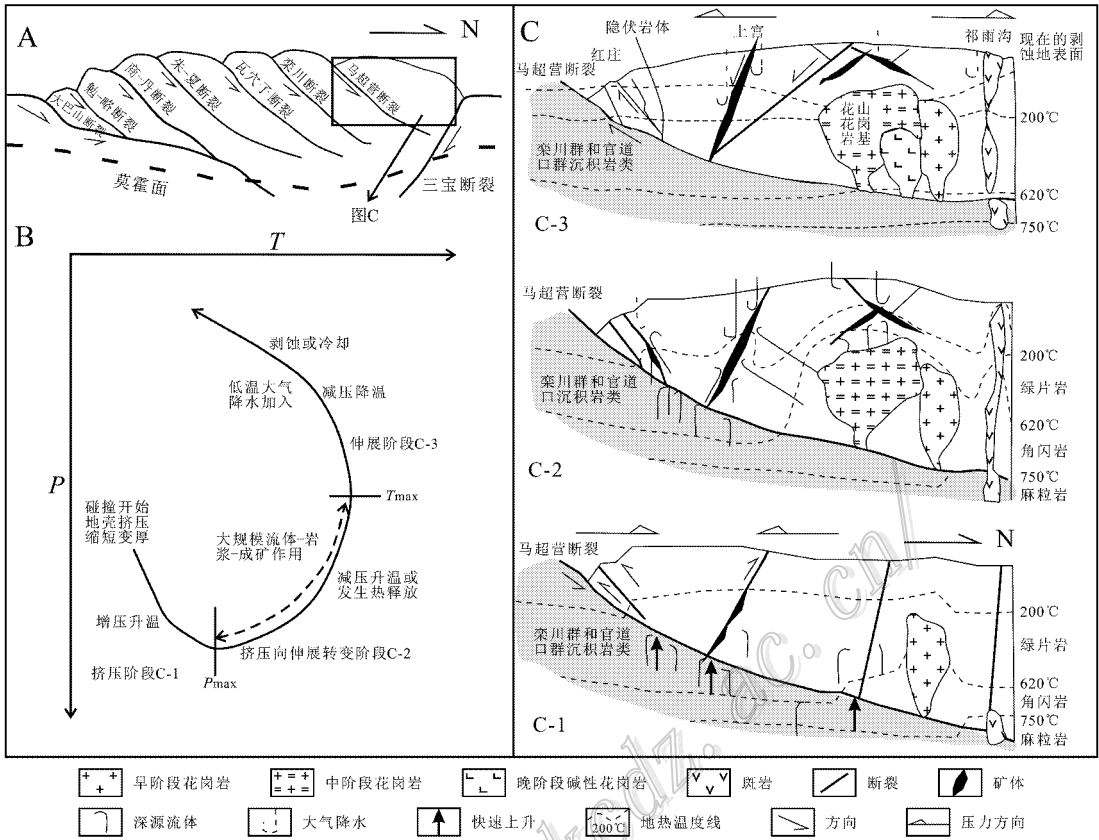


图 4 红庄金矿床形成的构造地质背景示意图(底图据 Chen et al. 2008)

Fig. 4 Schematic geological-tectonic setting map showing formation of the Hongzhuang gold deposit (base map after Chen et al. , 2008)

为 $0.771 \sim 0.910 \text{ g/cm}^3$,形成压力为 $(512 \sim 815) \times 10^5 \text{ Pa}$,估算形成深度为 $1.7 \sim 2.71 \text{ km}$;第 2 期为低温期 ,冰点温度为 $-1.0 \sim -1.2^\circ\text{C}$,均一温度为 $112 \sim 150^\circ\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $1.7\% \sim 2.0\%$,密度为 $0.932 \sim 0.961 \text{ g/cm}^3$,形成压力为 $(270 \sim 370) \times 10^5 \text{ Pa}$,估算形成深度为 $0.9 \sim 1.23 \text{ km}$ 。这表明红庄金矿区至少存在 2 期含矿热液活动 ,一次为中温热液 ,一次为低温热液。后一期热液的温度及盐度的降低 ,可能是受到大气水加入的影响。

3.4 热液及矿质来源

根据前人大量的同位素研究成果 ,熊耳山地区金成矿作用的热液和物质来源 ,可概括为 4 种认识 (朱嘉伟 2008) :① 来源于太华群变质杂岩和熊耳群火山岩 ;② 来源于区内的花岗岩体 ;③ 来源于上地幔 ;④ 多来源 (陈衍景等 ,1992 ;2003 ;2004 ;范宏瑞等 ,1994a) 。近年来 ,多数研究者趋向于金成矿热液和成矿物质具有多种来源。根据该地区元岭、红庄等矿区金矿石内多金属硫化物的稳定同位素 (S、

O、H) 研究资料 (胡受奚等 ,1994 ;罗铭玖等 ,1991 ;卢欣祥等 ,2003) ,金矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-3.31\text{‰} \sim 8.0\text{‰}$,平均为 3.2‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $4.14\text{‰} \sim -6.23\text{‰}$, $\delta^2\text{H}$ 值为 $-84.110\text{‰} \sim -99.535\text{‰}$ 。研究资料表明 ,多数金矿石样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为低的正值 ,塔式效应比较明显 ,推测为下地壳深源或幔源。早期 (黄铁矿) 硫同位素为小的正值 ,随着矿化作用的进行、热液中 H_2S 的消耗、方铅矿等多金属硫化物的沉淀 ,热液的 $f(\text{O}_2)$ 升高 ,导致 $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4^{2-}$ 快速减小 ,使随后晶出的黄铁矿等硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值出现明显的负值 (卢欣祥等 2003) 。该区金矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与熊耳山地区太华群的 $\delta^{34}\text{S}$ 值 ($2.9\text{‰} \sim 5.7\text{‰}$,平均为 4.3‰) 及熊耳群坡前街组安山岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 值 ($2.5\text{‰} \sim 5.4\text{‰}$,平均为 4.2‰) 比较接近 ,继承了熊耳群 $\delta^{34}\text{S}$ 值的特征 ,因此推断 ,熊耳群在面型流体-岩石反应过程中也提供了大量硫 (陈衍景等 2004) 。矿区氢、氧同位素组成显示出 ,该区的早期热液主要来源于岩浆水 ,后期因受构造作用的影响 ,有大气降水的渗入 ,与初始

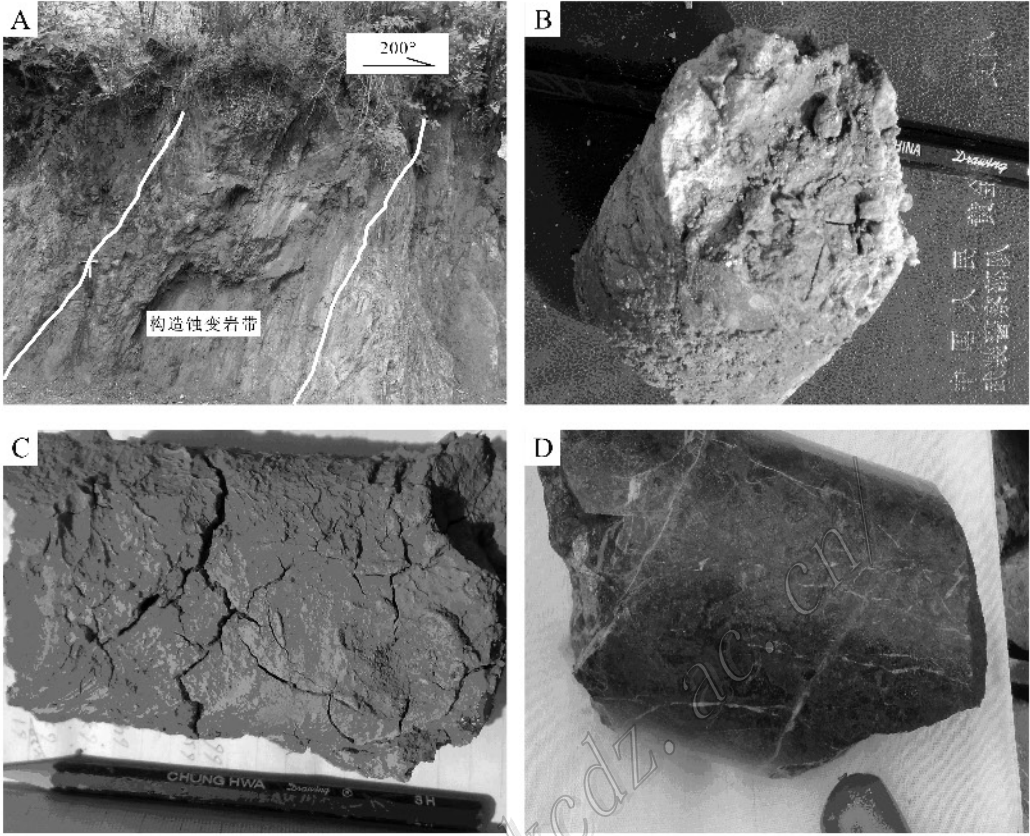


图 5 红庄金矿床 96234 号主矿脉露头及岩心照片

A. 构造带及主矿脉地表露头: 96234 号主矿脉位于近 EW 向构造带内, 带内岩和矿脉均遭受强烈破碎、蚀变; B. 含金黄铁矿化蚀变碎裂岩: 破碎强烈, 石英、黄铁矿呈微细粒分布, 显示其遭受了强烈的构造作用; C. 构造带内的新层泥; D. 构造带下盘角砾状围岩: 原岩为安山岩, 呈角砾状, 被铁质和泥质胶结

Fig. 5 Photos showing outcrop and drill core of No. 96234 main ore vein in the Hongzhuang gold deposit

A. Structural zone and outcrop of main ore vein: No. 96234 main ore vein lies near EW-trending structural zone, where rock and ore veins have all experienced strong shattering and alteration; B. Auriferous pyritized altered cataclastic rock of strong shattering, quartz and pyrite assume fine-grained distribution, suggesting strong tectonism; C. Fault clay in the structural zone; D. Brecciated wall rock in the lying wall of the structural zone, the original rock is andesite which assumes brecciated form and is cemented by ferruginous and argillaceous materials

表 2 红庄金矿床流体包裹体测定结果

Table 2 Determination results of fluid inclusions from the Hongzhuang gold deposit

样品号	钻孔号	采样位置/m	冰点温度/℃	w(NaCl _{eq})/%	均一温度/℃	密度/g/cm ³	形成压力/10 ⁵ Pa	形成深度/km
BT4/476	ZK476	313.45	-1.0~-1.2	1.7~2.0	112~142	0.939~0.961	270~350	0.9~1.16
BT1/473	ZK473	446.23	-1.0~-1.2	1.7~2.0	128~150	0.932~0.948	309~370	1.03~1.23
BT2/493	ZK493	251.60	-3.1~-3.5	5.0~5.7	265~302	0.771~0.823	710~815	2.36~2.71
BT3/515	ZK515	256.93	-2.8~-3.1	4.6~5.0	192~225	0.876~0.910	512~602	1.70~2.01
BT4/515	ZK515	306.20	-3.1~-3.5	5.0~5.7	205~233	0.877~0.899	549~628	1.83~2.09

测试单位: 国土资源部中南矿产资源监督检测中心; 测试日期: 2007 年。

成矿热液混合, 导致热液的 δD 值和 $\delta^{18}O$ 值降低, 也正是由于大气水的混入, 造成了成矿热液物理化学条件的骤变, 致使矿质沉淀(范宏瑞等, 1994a)。

3.5 成矿时代

鉴于钾化与金矿化密切相关, 矿化与蚀变同时形成, 因此, 本次研究运用 K-Ar 法对红庄矿区

XJ708坑96234带内的构造蚀变岩型金矿石中的钾长石进行了同位素测年,获得其等时线年龄为(147 ± 7.8)Ma(测试单位:国土资源部中南矿产资源监督检测中心同位素地球化学研究室,测试日期:2007年)。由于某些情况下,过剩Ar的存在可能导致使用K-Ar法测得的年龄偏老,加之本次研究对红庄金矿床仅测得一组同位素年龄数据,故其代表性不强(所得年龄可能代表了早于金成矿期的钾化的形成年龄)。

根据熊耳山地区最新的同位素精测(SHRIMP)年龄(王卫星等,2007),该地区内与金矿化空间关系密切的五丈山、花山、合峪等花岗岩体的成岩时代主要集中在燕山早期和燕山中期2个阶段,金矿化的形成与成岩同时或晚于成岩,主要形成于燕山中期和燕山晚期阶段。该区石瑶沟花岗斑岩体的成岩年龄为(131 ± 1)Ma,金成矿热液有部分来自于岩浆水,由此推断红庄金矿床成矿作用的时代应在石瑶沟花岗斑岩体侵位之后,与成矿对应的构造动力学背景可能为华北与扬子两大板块碰撞后,南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折的晚期、岩石圈大规模减薄作用开始之初。

4 结 论

(1)熊耳山地区金成矿作用的演化经历了复杂的过程。1850 Ma之前,华北克拉通基底形成,发育了太华群中-深变质岩系。1850~1400 Ma期间,古宽坪洋沿切穿岩石圈的栾川断裂向北俯冲形成了蛇绿混杂岩,同时形成了包括马超营断裂带在内的一系列深断裂带,在此期间,熊耳地体发育有岩浆弧安山岩建造。进入中生代,华北古板块与扬子古板块于中三叠世实现碰撞,使中国大陆的主体成为一体,此后,熊耳山地区进入了以强烈的南北向挤压缩短为特点的陆内推覆与造山阶段,成为了秦岭造山带的重要组成部分,经历了早期的推覆造山。晚侏罗世—早白垩世,挤压向伸展转变,大规模发育钾长花岗岩和富碱中-酸性火山岩,标志着减压增温达到高潮。晚白垩纪,区域热异常消失,A型花岗岩(太山庙花岗岩体)和碱性火山岩发育,碰撞造山过程彻底结束(陈衍景等,1992)。熊耳山地区在中生代末经历了中国东部燕山期的构造体制大转换(140 Ma)和岩石圈减薄事件(130~110 Ma左右),导致了包括该地区在内的华北地台南缘的燕山中-晚期岩浆活

动和大规模成矿作用,形成了大量的燕山期热液金矿床及多金属矿床。

(2)晚侏罗世—早白垩世是区域构造背景由挤压向伸展构造体制转换的阶段,软流圈地幔上涌,引起了温压条件的改变,产生了减压升温,使深部地壳岩石减压熔融,形成了准铝质(I型)花岗岩,同时提供了热能、流体及成矿物质(Chen et al., 2008)。由区域构造挤压和抬升形成的构造扩容部位是流体对流的良好场所,向上流动的深源流体与向下流动的浅源流体在这些构造部位或其他适合的场所发生了混合,同时改变了流体的物理化学条件,导致流体中的成矿元素快速沉淀,发生了强烈的金矿化作用。红庄金矿床成矿的初始热液可能来源于燕山期花岗岩浆热液,同时继承了更早阶段的挥发分相。随着深部岩浆以底辟形式上侵,含矿热液沿断裂带运移,运移过程中可能萃取了围岩熊耳群中的成矿元素,在相对较深的部位(1.7~2.71 km),形成了中温(302℃)相对高盐度($\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为4.6%~5.7%)的成矿流体,在一定的构造部位形成了早阶段(第1期)矿化(石英-黄铁矿)。随着成矿流体继续向上运移和向四周扩散,可能与部分向下渗入的大气水混合,导致含矿流体温度(112~150℃)、盐度($\omega(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为1.7%~2.0%)降低,流体的物理化学条件进一步变化,流体中更多的成矿物质在相对较浅的部位(0.9~1.16 km)发生沉淀,形成了更强烈的第2阶段的矿化(石英-多金属硫化物)。在晚期构造伸展阶段,热能全部释放,深源流体作用消失,该区仅存在有限的不含矿的浅源流体系统的活动(石英-方解石)。

(3)马超营断裂带的多期活动形成了构造薄弱部位和相对开放的空间,成为岩浆侵位和含矿热液运移的通道。燕山期强烈的岩浆热液活动是金成矿过程中最直接最主要的驱动力,不仅为金成矿作用提供了部分成矿物质,更重要的是提供了巨大的热力。红庄金矿床的2期成矿作用都与燕山期强烈的岩浆热液活动有着密切的联系。

参考文献/References

- 陈衍景,富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京:地震出版社, 72-155.
- 陈衍景,隋颖慧, Pirajno F. 2003. CMF模式的排他性证据和造山型银矿的实例:铁炉坪银矿同位素地球化学[J]. 岩石学报, 19:

551-568.

陈衍景,李晶,Pirajno F,林治家,王海华. 2004. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用:矿床地质和包裹体研究[J]. 矿物岩石,24(3):1-12.

丁士应,任富根,李双保,陈志宏,赵嘉农. 1999. 豫西熊耳山地区金矿构造控矿系统及其找矿意义[J]. 前寒武纪研究进展,22(2):26-31.

范宏瑞,谢奕汉,赵瑞,王英兰. 1994a. 豫西熊耳山地区岩石和金矿床稳定同位素地球化学研究[J]. 地质找矿论丛,9(1):54-64.

范宏瑞,谢奕汉,王英兰. 1994b. 豫西花山花岗岩基岩石学和地球化学特征及其成因[J]. 岩石矿物学杂志,13(1):19-32.

范宏瑞,谢奕汉,王英兰. 1998. 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,14(1):529-542.

郭保健,李永峰,王志光,叶会寿. 2005. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. 地质与勘探,41(5):43-47.

胡受奚,任启江,胡志宏. 1994. 河南省栾川县元岭金矿区地质成矿规律及找矿方向研究[R].

胡受奚,赵懿英,徐金方,叶瑛. 1997. 华北地台金矿地质[M]. 北京:科学出版社. 220 页.

胡受奚,林潜龙,陈泽铭,黎世美. 1998. 华北与华南古板块拼合地质与成矿[M]. 南京:南京地质大学出版社. 558 页.

黎世美. 1990. 熊耳山地区构造蚀变岩型金矿成矿模式及矿床成因[J]. 豫西地质,(1):1-10.

黎世美,等. 1993. 熊耳山地区构造蚀变岩型金矿成矿地质条件富集规律、成矿模式及远景预测[A]. 秦巴金矿论文集[C]. 北京:地质出版社. 96-132.

李永峰. 2005. 豫西熊耳山地区中生代花岗岩类时空演化与钼(金)成矿作用[博士论文][D]. 北京:中国地质大学. 77 页.

刘红樱,周顺之,胡受奚,王群昌. 1996. 元岭金矿蚀变破碎带特征及其找矿意义[J]. 河南地质,14(2):81-88.

刘红樱,胡受奚,周顺之. 1998. 豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究[J]. 矿床地质,17(1):70-81.

刘红樱,胡受奚,郭坤一,贺菊瑞,戚建中. 2000. 河南元岭金矿成矿

物理化学条件及成矿物质来源[J]. 矿物岩石地球化学通报,19(4):253-255.

卢欣祥,尉向东,董有,轩慎民. 1999. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代[J]. 黄金地质,3(1):11-16.

卢欣祥,尉向东,于在平,叶安旺. 2003. 小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿液体特征[J]. 矿床地质,22(4):377-385.

罗铭玖,王亨治. 1991. 河南省金矿概论[R]. 郑州:河南省地质矿产厅.

毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵. 2002. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到的启示[J]. 中国科学(D辑),33(4):289-300.

邱庆伦,燕长海,陈瑞保,卢书炜. 2008. 小秦岭-熊耳山地区燕山期大规模成矿的地球动力学背景[J]. 地质找矿论丛,23(4):281-286.

唐克非,李建威. 2009. 河南嵩县前河金矿矿化特征、成矿时代与矿床成因[J]. 矿物学报(增刊):136-137.

王长明,邓军,张寿庭,燕长海. 2005. 河南省华北陆块南缘铅锌成矿系统[J]. 地质找矿论丛,20(3):170-175.

王卫星,邓军,龚庆杰,韩志伟,吴发富,张改侠. 1997. 豫西熊耳山五丈山、花山、合峪花岗岩体与金成矿关系[J]. 黄金地质,3(1):12-17.

席书锋,王成学,李群亮. 2004. 河南狮子庙金矿田矿床地质特征[J]. 黄金地质,10(1):29-32.

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. 855 页.

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):169-176.

朱嘉伟,赵盼舒,李锋. 2008. 华北陆块南缘金矿成矿动力学探讨[J]. 地球学报,29(4):525-532.

Chen Y J, Pirajno F and Qi J P. 2008. The Shanggong gold deposit, Eastern Qinling Orogen, China: Isotope geochemistry and implications for ore genesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 33: 252-266.