

# 河南省石寨沟金矿床成矿流体特征 及硫铅同位素研究

刘 军<sup>1</sup> 武 广<sup>1</sup> 陈方伍<sup>2</sup> 张汪应<sup>3</sup> 朱明田<sup>4</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2. 江苏省高邮市建筑设计院, 江苏 高邮 225600; 3. 安徽省化工地质勘查总院, 安徽 马鞍山 243000; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所 矿产资源研究重点实验室, 北京 100029)

**摘要:**河南省石寨沟金矿床位于华北克拉通南缘华熊地块崤山地区体内, 矿区出露地层为中元古界熊耳群马家河组和许山组的中基性-中酸性火山岩, 侵入岩为中酸性岩体, 断裂破碎带控制着矿体的产出。矿石以块状、浸染状和角砾状构造为主, 属蚀变岩型。围岩蚀变包括硅化、绢云母化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化和绿泥石化。成矿过程初步划分为石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段, 金主要沉淀于石英-多金属硫化物阶段。石英-多金属硫化物阶段发育富液两相包裹体、富气两相包裹体和含 CO<sub>2</sub> 三相包裹体, 包裹体均一温度峰值介于 260 ~ 320℃, 盐度介于 2.0% ~ 9.0% NaCl eqv; 石英-碳酸盐阶段仅发育富液两相包裹体, 均一温度峰值介于 140 ~ 200℃, 盐度介于 5.6% ~ 8.1% NaCl eqv。流体不混溶作用是金沉淀的主要机制。该矿床矿石中硫化物的 δ<sup>34</sup>S 值变化于 +3.7‰ ~ +7.7‰, 平均为 +5.6‰。矿石的铅同位素比值变化较小, <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb=16.951~17.035, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb= 15.370~15.466, <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb=37.188~37.512。矿石铅同位素组成明显高于熊耳群火山岩, 低于花山岩体铅同位素组成, 而与太华群变质岩铅同位素组成相似, 表明成矿物质主要来自太华群。

**关键词:**流体包裹体; 硫铅同位素; 石寨沟金矿床; 河南省; 东秦岭造

**中图分类号:** P618.51      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2012)06-1798-14

中元古界熊耳群火山岩系是河南省重要的金矿赋存层位。崤山与熊耳山地区均属华熊地块的一部分, 熊耳山地区熊耳群火山岩中已发现了上宫、瑶沟等众多金矿床<sup>[1-3]</sup>, 而同属华熊地块的崤山地区熊耳群火山岩系中金矿床发现较少。崤山地区金矿床主要分布于太古宇结晶基底与中元古界沉积盖层的接触带附近, 以规模小、品位高为特色, 如半宽金矿床、申家窑金矿床等。石寨沟金矿床位于华北克拉通南缘的华熊地块内, 是近年来在崤山地区熊耳群中新发现的一小型蚀变岩型金矿床, 该矿床的发现为在崤山地区熊耳群中寻找金矿床提供了重要线索。目前石寨沟金矿床的研究较薄弱, 尤其是矿床研究中

关键的成矿流体性质、演化及同位素地球化学方面的研究尚处于空白状态。因此, 对石寨沟金矿床进行系统的矿床地质、成矿流体及同位素地球化学方面的研究显得十分迫切。

本文在详实的野外地质调查基础上, 对石寨沟金矿床进行了流体包裹体及硫铅同位素的研究, 目的是查明与金矿化有关的成矿流体性质、演化规律及成矿物质来源, 厘定矿床成因类型, 以期为崤山地区金矿床的找矿勘查工作提供理论支撑。

## 1 区域地质背景

石寨沟金矿床位于华北克拉通南缘华熊地块崤

收稿日期: 2011-11-05; 改回日期: 2011-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41172081 和 41202058)、“十一·五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A02 课题)和中国地质调查局地质调查项目(1212011085260)联合资助。

作者简介: 刘军, 男, 1983 年生, 博士, 矿床学专业, E-mail: junliu@yeah.net。

通讯作者: 武广, 男, 1965 年生, 博士, 研究员, 矿床学和地球化学专业; E-mail: wuguang65@163.com。

山地体内(图 1)。该区的地质演化主要经历了 4 个阶段:(1)新太古代—古元古代,以基性、超基性岩浆喷溢和岩浆、热变质活动为主,形成以太华群变质岩系为主的结晶基底<sup>[4]</sup>。(2)中元古代期间,熊耳群中基性—中酸性火山喷发活动和之后的 A 型花岗岩侵入活动,熊耳群与后期的陆源碎屑岩、碳酸盐岩等覆盖于太华群之上<sup>[5-6]</sup>。(3)新元古代—中三叠世,本区进入扬子板块北移向华北板块俯冲、拼贴、碰撞造山的构造演化阶段<sup>[7]</sup>。(4)中—新生代,本区进入陆内造山阶段,先后发生了 A 型俯冲、后碰撞造山(200~160 Ma)、构造体制大转变(140 Ma 左右)和岩石圈拉伸减薄(130~110 Ma,峰期为 120 Ma)<sup>[8-13]</sup>,并伴随

多种形式的断裂、断陷盆地和广泛的花岗质岩浆侵位活动<sup>[6]</sup>。华熊地块内热液矿床众多,成矿时代主要为中生代,即 200~100 Ma 之间<sup>[9-10]</sup>。

崤山山体为一个穹隆构造,中心为新太古界太华群变质岩,穹隆四周被中元古界熊耳群火山岩环绕(图 1)。其中,熊耳群为一套中基性—中酸性火山岩建造,由玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩和流纹岩组成<sup>[1]</sup>,同位素年龄为 1.80~1.75 Ga<sup>[14-15]</sup>。地体南部发育大量的中—新元古界官道口群和栾川群,主要由碎屑岩和碳酸盐岩组成。航磁等资料表明崤山地体深部存在大规模隐伏花岗岩体<sup>[16]</sup>,崤山地区出露少量中生代中酸性小岩体,北部有后河、龙卧

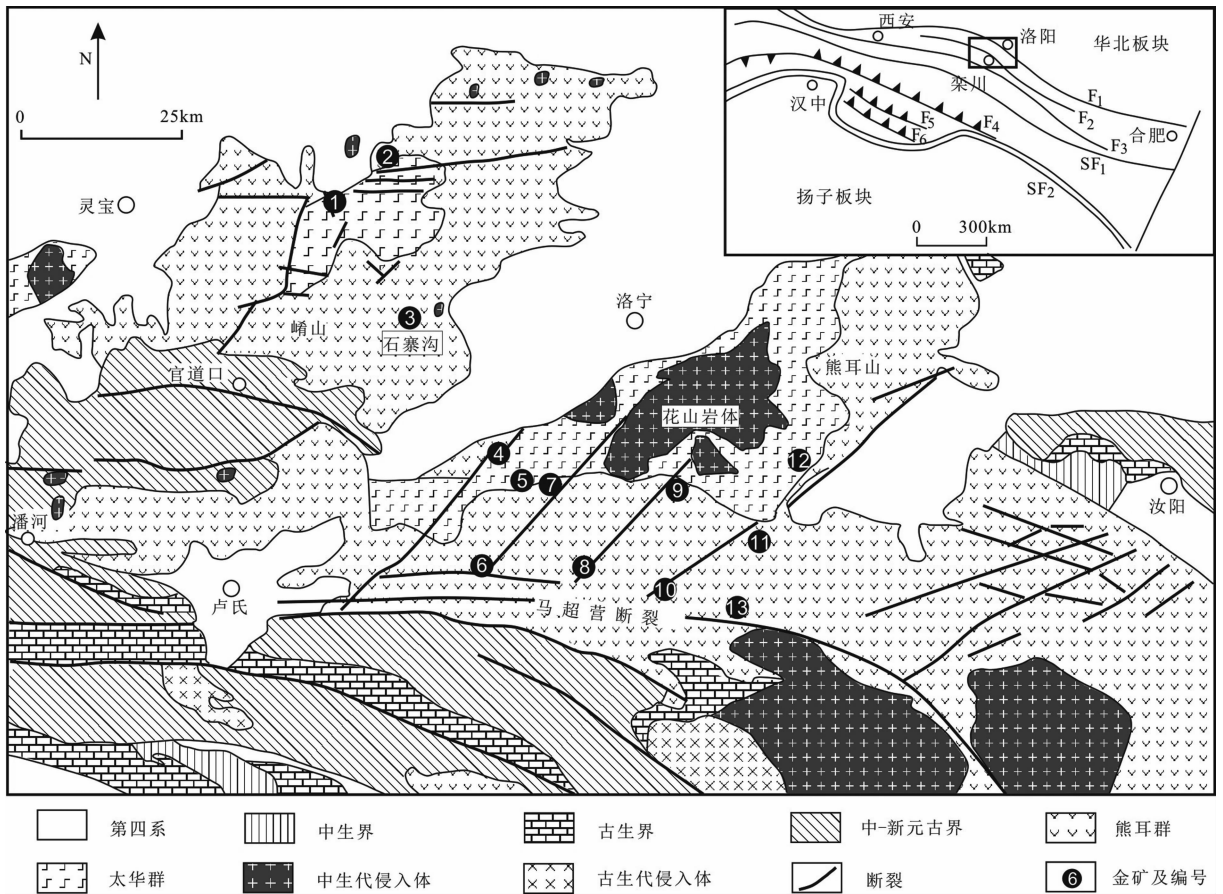


图 1 豫西地区地质简图及主要构造单元简图<sup>[1]</sup>

F<sub>1</sub>—秦岭北界冲断带;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;SF<sub>1</sub>—商丹缝合带;SF<sub>2</sub>—勉略缝合带;金矿床:1—申家窑;2—半宽;3—石寨沟;4—小池沟;5—虎沟;6—康山;7—上宫;8—红庄;9—青岗坪;10—北岭;11—瑶沟;12—祁雨沟;13—前河

Fig.1 Geological sketch map of western Henan Province, showing tectonic units<sup>[1]</sup>

F<sub>1</sub>—Qinling northern boundary thrust belt; F<sub>2</sub>—Machaoying fault belt; F<sub>3</sub>—Luonan—Luanchuan fault belt; F<sub>4</sub>—Shiyan thrust belt; F<sub>5</sub>—Shiquan—Ankang thrust belt; F<sub>6</sub>—Hongchunba—Liping thrust belt; SF<sub>1</sub>—Shangdan suture belt; SF<sub>2</sub>—Mianlue suture belt; Gold deposits: 1—Shenjiayao; 2—Bankuan; 3—Shizhaigou; 4—Xiaochigou; 5—Hugou; 6—Kangshan; 7—Shangong; 8—Hongzhuang; 9—Qinggangping; 10—Beiling; 11—Yaogou; 12—Qiyugou; 13—Qianhe

沟、罗岭、韩沟等岩体,南部有银家沟、秦池、后瑶峪、柳关、郭家河等岩体。崑山地区构造以断裂为主,主要有 NEE、NNW 和 NNE 向断裂<sup>[1,17]</sup>。

## 2 矿床地质

石寨沟金矿床位于河南省洛宁县西 30 km 处,地理坐标为北纬 34°24'30",东经 111°23'30" (图 2)。2004—2006 年,河南省地质矿产勘探开发局第一地质调查队对研究区开展了 1:1 万金矿地质普查工作,发现金矿化,并于 2006—2008 年完成矿区详查工作,提交金金属量约 1 t(332+333)。矿区出露地层为熊耳群马家河组和许山组,前者为安山岩、杏仁状安山岩和安山玢岩(图 3-a),呈北西向分布于矿区中部;后者为杏仁状安山玢岩、安山岩和大斑安山岩(图 3-b),发育有碎屑沉积夹层(图 3-c),主要分布于矿区西北隅,分布较零星。区内出露中元古代闪长岩、闪长玢岩和中生代韩沟花岗岩体<sup>[1,17]</sup>。区内断裂构造发育,按展布方向可分为 NW-NWW 向、NE-NEE 向及近 SN 向 3 组,其中 NW-NWW 向和 NE-NEE 向断裂为主要含矿断裂,控制着金矿体的空间分布。

赋矿围岩为熊耳群马家河组安山岩,矿体严格受断裂控制,与围岩界线较为清晰(图 3-d,e)。矿区内发育 4 条含金蚀变破碎带,蚀变破碎带中共圈出 5 个主要工业矿体。蚀变破碎带内部以构造角砾岩为主,角砾多呈次棱角状,且多被硅质、铁质及钙质等胶结(图 3-f)。矿体产状与破碎带产状一致,走向主要为 NW-NWW 向和 NE-NEE 向,倾向 310~340°或 20~25°,倾角 53~75°。矿体最大者长约 135 m,最小者长约 70 m,矿体厚度 0.3~1.3 m。矿体呈透镜状或薄板状,矿化较连续,金品位  $1.0 \times 10^{-6} \sim 11.2 \times 10^{-6}$ ,平均  $4.0 \times 10^{-6}$ 。

金矿石类型简单,主要为构造蚀变岩型。矿石以块状构造为主,其次为角砾状构造、浸染状构造。块状构造矿石中的黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等局部富集,紧密共生形成致密块状。角砾状矿石中可见早期形成的脉体及岩石破碎后被后期石英、方解石和金属硫化物等胶结在一起。浸染状矿石中黄铁矿、方铅矿和闪锌矿等呈浸染状分布在矿石中。矿石结构主要有自形-半自形粒状结构、他形粒状结构、包含结构、压碎结构和交代残余结构等。矿石中金属矿物以黄铁矿和闪锌矿为主,次为方铅矿、黄铜矿和

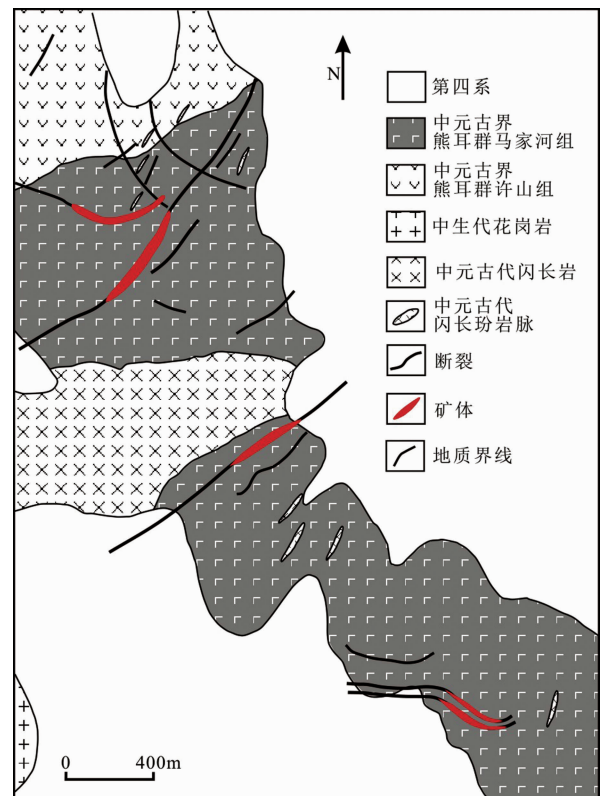


图 2 石寨沟金矿床地质简图

Fig.2 Geological sketch map of the Shizhaigou gold deposit

黝铜矿等(图 3-g,h)。黄铁矿可分为两期,早期形成的黄铁矿为自形-半自形粒状,呈浸染状分布;晚期形成的黄铁矿为他形粒状,呈稠密浸染状、团块状或脉状分布,与金矿化关系密切。闪锌矿呈他形粒状结构,粒径较粗大,见闪锌矿包裹黄铁矿。方铅矿呈他形粒状,以细脉、细网脉状或浸染状与铁白云石共生。金矿物主要为自然金,次为银金矿及碲金矿。脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石、钾长石、方解石和铁白云石等(图 3-i)。

矿床围岩蚀变发育,呈条带状、细脉状和网脉状分布。蚀变带宽度一般不超过 3 m,从矿体到围岩依次出现石英-多金属硫化物脉,可见绢云母、铁白云石等,并发现破碎的早期石英-黄铁矿被石英-多金属硫化物胶结现象;黄铁矿-绢云母-碳酸盐-绿泥石-绿帘石带;最外侧是未蚀变的熊耳群火山岩。根据脉体穿插关系、矿石组构、矿物共生组合及矿物标型特征等,成矿过程初步划分 3 个阶段:第一阶段为石英-黄铁矿阶段,石英呈乳白色,黄铁矿呈自形-半自形粒状;第二阶段为石英-多金属硫化物阶段,



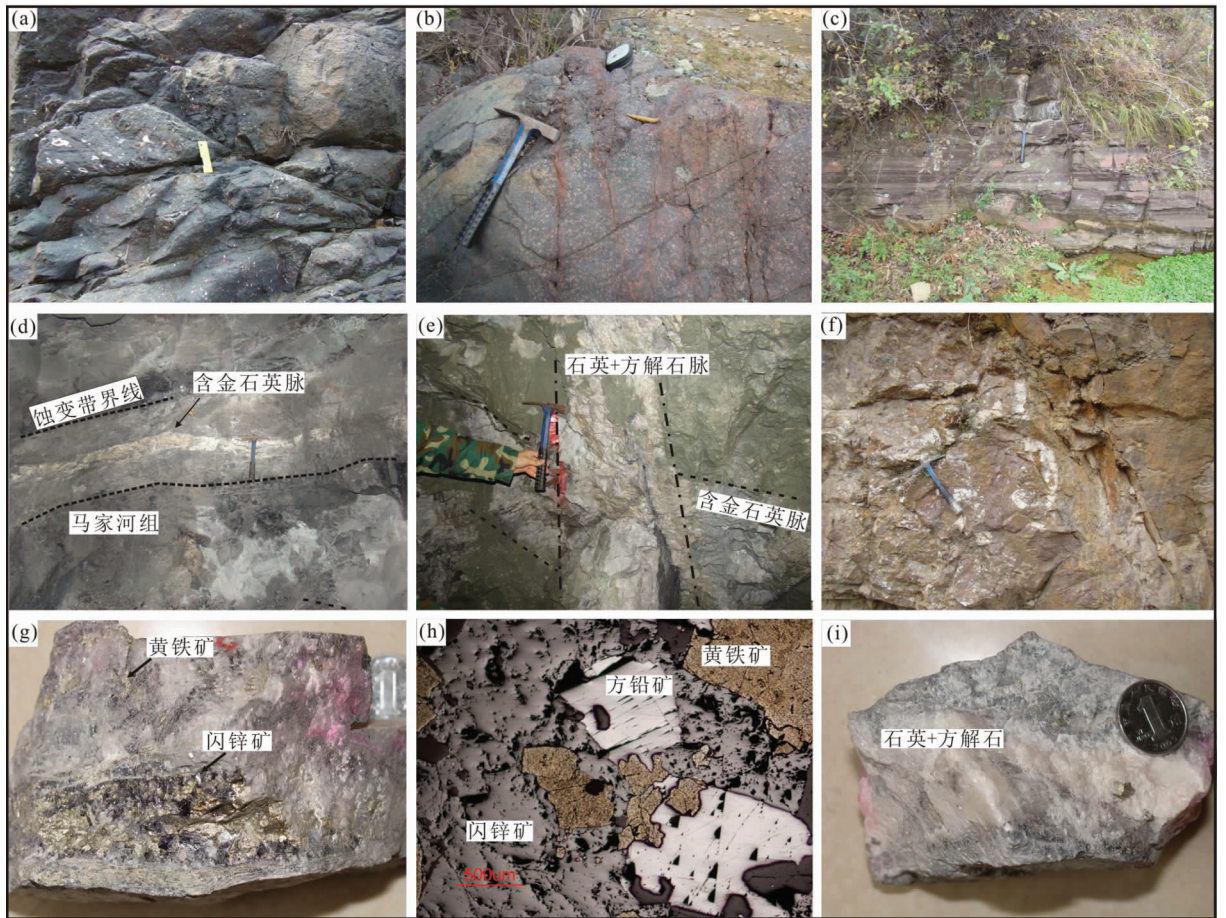


图 3 石寨沟金矿床地质体及矿石野外和显微照片

(a)—马家河组杏仁状安山岩; (b)—许山组大斑安山岩; (c)—许山组沉积岩; (d)—石英-多金属硫化物脉; (e)—晚阶段石英-方解石脉穿切含金石英脉; (f)—蚀变破碎带; (g)—石英-多金属硫化物脉; (h)—石英-多金属硫化物阶段金属矿物组合; (i)—石英-方解石脉

Fig.3 Field or microscope photographs of geological bodies and ores from the Shizhaigou gold deposit

(a)—Almond-shaped andesite of the Majiahe Formation; (b)—Andesite with huge phenocryst of Xushan Formation; (c)—Sedimentary rocks of Xushan Formation; (d)—Gold-bearing quartz-polymetallic sulfide vein; (e)—Quartz-calcite vein of the late stage, cutting gold-bearing quartz-polymetallic sulfide vein; (f)—Altered fracture zone; (g)—Gold-bearing quartz-polymetallic sulfide vein; (h)—Metal sulfide assemblage of the quartz-polymetallic sulfide stage; (i)—Quartz-calcite vein

是金矿化的主要阶段,发育黄铁绢英岩化,黄铁矿多呈他形粒状,与方铅矿、闪锌矿等硫化物共生;第三阶段为石英-碳酸盐阶段,方解石大量出现,矿化微弱,呈脉状穿切石英-多金属硫化物脉(图 3-e)。

### 3 样品特征及分析方法

#### 3.1 样品特征

用于流体包裹体研究的样品采自石英-多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段形成的脉状石英。用于硫、铅同位素研究的样品采自石英-多金属硫化物阶段形成的金矿石。其中,石英-多金属硫化物阶段的脉体宽 0.05~0.07 m, 主要金属矿物为黄铁

矿、闪锌矿、方铅矿等,含量为 10%~30%,其中黄铁矿占硫化物总量的 50%~60%,分为两组,早期为半自形-自形粒状结构,晚期为他形粒状结构,闪锌矿占 20%~30%,呈半自形-他形结构,方铅矿占 10%~20%,呈半自形产出;石英-碳酸盐阶段形成的石英-方解石脉中的石英和方解石自形程度高,可见晶簇状石英晶体,金属矿物主要为黄铁矿,含量占岩石总量的 1%左右,呈自形-半自形产出。

#### 3.2 流体包裹体研究方法

包裹体显微测温工作在中国科学院广州地球化学研究所流体包裹体实验室完成,流体包裹体研究方法参考卢焕章等<sup>[18]</sup>。测试仪器为 Linkam MDS 600

型冷热台,仪器测定温度范围为 $-196\sim 550^{\circ}\text{C}$ 。测量精度在 $-100\sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ;  $25\sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $400^{\circ}\text{C}$ 以上为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。测试升温速率一般为 $0.2\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体在其相转变温度(如固态 $\text{CO}_2$ 和笼合物熔化温度)附近升温速率降低为 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。对于盐不饱和的水溶液包裹体,根据测得的冰点温度,利用 Bodnar<sup>[19]</sup>提供的方程,获得流体的盐度;对于含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体,由笼合物熔化温度,利用 Collins<sup>[20]</sup>所提供的方法,获得水溶液相的盐度。由于富气两相包裹体的显微测温较为困难,因此,频率直方图上的频数并不代表其在矿床中的丰度。流体包裹体成分的激光拉曼光谱分析在中国科学院广州地球化学研究所完成,仪器为 Renishaw 2000 显微共焦激光拉曼光谱仪,光源为 $514.5\text{ nm}$  氩离子激光器,取谱范围为 $800\sim 4000\text{ cm}^{-1}$ ,取谱时间为 $30\text{ s}$ ,激光束斑约 $2\text{ mm}$ 。

### 3.3 硫、铅同位素研究方法

19 件硫化物样品的硫铅同位素分析在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。硫化物中硫同位素组成的测定方法:硫化物单矿物和氧化亚铜按一定比例研磨至 $200$ 目左右,并混合均匀,在真空达 $2.0\times 10^{-2}\text{ Pa}$ 状态下加热,进行氧化反应,反应温度为 $980^{\circ}\text{C}$ ,生成二氧化硫气体。在真空条件下,用冷冻法收集二氧化硫气体,并用 MAT 253 气体同位素质谱分析硫同位素组成。测量结果以 CDT 为标准,记为 $\delta^{34}\text{S}$ 。分析精度优于 $\pm 0.2\text{‰}$ 。硫化物参考标准为 GBW-04414、GBW-04415 硫化银标准,其 $\delta^{34}\text{S}$ 分别是 $(-0.07\pm 0.13)\text{‰}$ 和 $(22.15\pm 0.14)\text{‰}$ 。硫化物中铅同位素组成的测定方法:①称取适量样品放入聚四氟乙烯坩埚中,加入氢氟酸、高氯酸溶样。样品分解后,将其蒸干,再加入盐酸溶解蒸干,加入 $0.5\text{ N HBr}$ 溶液溶解样品进行铅的分离。②将溶解的样品溶解倒入预先处理好的强碱性阴离子交换树脂中进行铅的分离,用 $0.5\text{ N HBr}$ 溶液淋洗树脂,再用 $2\text{ N HCl}$ 溶液淋洗树脂,最后用 $6\text{ N HCl}$ 溶液解脱,将解脱溶液蒸干备质谱测定。③用热表面电离质谱法进行铅同位素测量,仪器型号为 ISOPROBE-T,对 $1\text{ }\mu\text{g}$ 的铅 $208/206$ 测量精度 $\leq 0.005\%$ 。

## 4 流体包裹体研究

### 4.1 流体包裹体类型及组合

根据包裹体在室温下的相态特征、包裹体加热

过程中的相变和激光拉曼光谱分析结果,将其分为 3 种类型。

(1)富液两相水溶液包裹体(WL 型):该型包裹体室温下为两相,即液相 $\text{H}_2\text{O}$ +气相 $\text{H}_2\text{O}$ ,呈椭圆形、多边形或不规则形,大小一般 $4\sim 15\text{ }\mu\text{m}$ ,个别达 $26\text{ }\mu\text{m}$ ,气液比变化于 $10\%\sim 35\%$ ,加热时均一到液相。该类型包裹体占包裹体总数的 $90\%$ 左右,成群或孤立分布于多金属硫化物石英脉和石英-方解石脉中(图 4-a,d)。

(2)富气两相水溶液包裹体(WG 型):该型包裹体室温下为两相,即液相 $\text{H}_2\text{O}$ +气相 $\text{H}_2\text{O}$ ,呈椭圆形,大小一般 $6\sim 11\text{ }\mu\text{m}$ ,气液比变化于 $70\%\sim 85\%$ ,加热时均一到气相。该类型包裹体占包裹体总数的 $5\%$ 左右,孤立分布于多金属硫化物石英脉中(图 4-b)。

(3)含 $\text{CO}_2$ 三相包裹体(C 型):该型包裹体室温下为三相,即液相盐水溶液+液相 $\text{CO}_2$ +气相 $\text{CO}_2$ ,液相 $\text{CO}_2$ +气相 $\text{CO}_2$ 占包裹体总体积的 $10\%\sim 20\%$ ,气相 $\text{CO}_2$ 占 $\text{CO}_2$ 相总体积的 $50\%\sim 70\%$ ,多呈椭圆形或不规则形,大小一般 $7\sim 9\text{ }\mu\text{m}$ ,加热时均一到液相 $\text{CO}_2$ ,成群或孤立分布于多金属硫化物石英脉中,约占包裹体总数的 $5\%$ (图 4-c,d)。

### 4.2 流体包裹体显微测温

流体包裹体显微测温结果及参数见表 1 和图 5。

石英-多金属硫化物阶段形成的石英脉中发育 WL 型、WG 型和 C 型流体包裹体。WL 型包裹体均一温度为 $201\sim 335^{\circ}\text{C}$ ,冰点为 $-5.8\sim -2.3^{\circ}\text{C}$ ,盐度介于 $3.9\%\sim 9.0\%$  NaCl eqv,流体密度为 $0.70\sim 0.91\text{ g}/\text{cm}^3$ ;WG 型包裹体均一温度为 $284\sim 338^{\circ}\text{C}$ ,冰点为 $-3.2\sim -2.1^{\circ}\text{C}$ ,盐度为 $3.6\%\sim 5.3\%$  NaCl eqv,流体密度为 $0.68\sim 0.77\text{ g}/\text{cm}^3$ ;C 型包裹体的完全均一温度为 $305\sim 319^{\circ}\text{C}$ , $\text{CO}_2$ 初熔温度为 $-56.9\sim -56.6^{\circ}\text{C}$ ,略低于 $\text{CO}_2$ 的三相点( $-56.6^{\circ}\text{C}$ ),笼合物熔化温度为 $8.5\sim 9.0^{\circ}\text{C}$ , $\text{CO}_2$ 部分均一温度介于 $28.5\sim 30.6^{\circ}\text{C}$ ,盐度介于 $2.0\%\sim 3.0\%$  NaCl eqv,流体密度为 $0.70\sim 0.73\text{ g}/\text{cm}^3$ 。石英-多金属硫化物阶段温度峰值在 $260\sim 320^{\circ}\text{C}$ 之间(图 5-a)。

石英-碳酸盐阶段形成的石英-方解石脉中仅发育 WL 型包裹体,均一温度为 $128\sim 227^{\circ}\text{C}$ ,冰点在 $-5.2\sim -3.4^{\circ}\text{C}$ ,盐度为 $5.6\%\sim 8.1\%$  NaCl eqv,流体密度为 $0.91\sim 0.98\text{ g}/\text{cm}^3$ (图 5-b)。

### 4.3 激光拉曼光谱分析

对石英-多金属硫化物阶段的包裹体进行了气



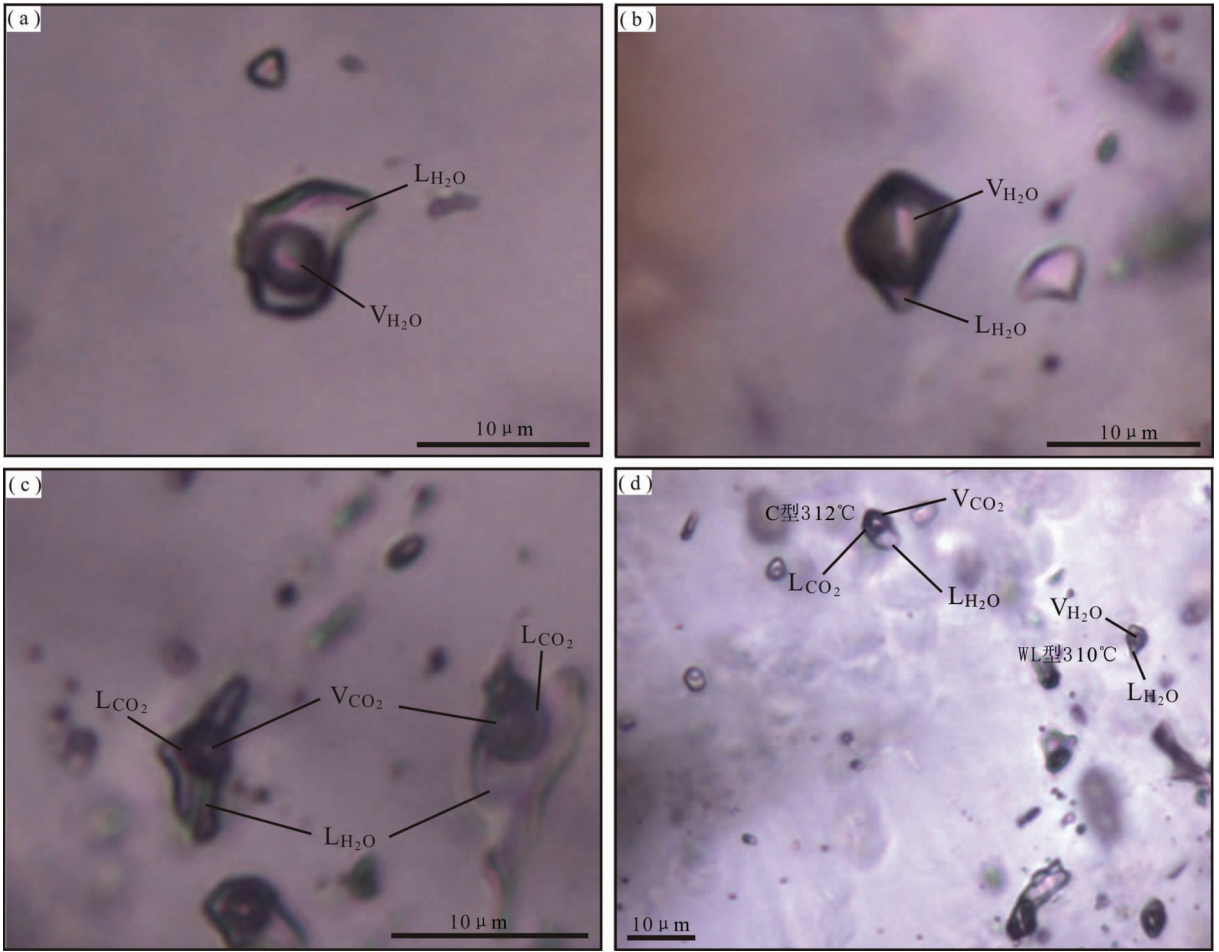


图 4 石寨沟金矿床代表性流体包裹体照片

(a)—WL 型包裹体; (b)—WG 型包裹体; (c)—C 型包裹体; (d)—C 型和 WL 型包裹体共存  
图中缩写: L<sub>CO<sub>2</sub></sub>—液相 CO<sub>2</sub>; L<sub>H<sub>2</sub>O</sub>—液相水; V<sub>CO<sub>2</sub></sub>—气相 CO<sub>2</sub>; V<sub>H<sub>2</sub>O</sub>—气相水

Fig.4 Photomicrographs of representative fluid inclusions in quartz crystals from the Shizhaigou gold deposit  
(a)—WL-type fluid inclusion; (b)—WG-type fluid inclusion; (c)—C-type inclusion; (d)—C-type and WL-type fluid inclusions  
L<sub>CO<sub>2</sub></sub>—Liquid phase carbon dioxide; L<sub>H<sub>2</sub>O</sub>—Liquid phase H<sub>2</sub>O; V<sub>CO<sub>2</sub></sub>—Vapor phase carbon dioxide; V<sub>H<sub>2</sub>O</sub>—Vapor phase H<sub>2</sub>O

表 1 石寨沟金矿床包裹体显微测温结果

Table 1 Microthermometric data of the fluid inclusions from the Shizhaigou gold deposit

| 成矿阶段            | 类型 | 个数 | 大小/μm  | T <sub>m(ice)</sub> /°C | T <sub>m(cla)</sub> /°C | T <sub>h</sub> /°C | 盐度/%<br>NaCl evq | 密度/(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|----|----|--------|-------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| 石英-多金属<br>硫化物阶段 | WL | 95 | 4 ~ 12 | -5.8 ~ -2.3             |                         | 201 ~ 335          | 3.9 ~ 9.0        | 0.70 ~ 0.91             |
|                 | WG | 7  | 6 ~ 11 | -3.2 ~ -2.1             |                         | 284 ~ 338          | 3.6 ~ 5.3        | 0.68 ~ 0.77             |
|                 | C  | 4  | 7 ~ 9  |                         | 8.5 ~ 9.0               | 305 ~ 319          | 2.0 ~ 3.0        | 0.70 ~ 0.73             |
| 石英-碳酸盐<br>阶段    | WL | 21 | 6 ~ 26 | -5.2 ~ -3.4             |                         | 128 ~ 227          | 5.6 ~ 8.1        | 0.91 ~ 0.98             |

注: T<sub>m(ice)</sub>—冰点; T<sub>m(cla)</sub>—笼合物熔化温度; T<sub>h</sub>—完全均一温度。

相成分的激光拉曼光谱扫描,部分谱图见图 6。结果表明,石英—多金属硫化物阶段中包裹体的气相成分以 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 为主,其特征峰值分别为 3436 ~ 3643 cm<sup>-1</sup>、1385 cm<sup>-1</sup>、1386 cm<sup>-1</sup>、1283 cm<sup>-1</sup> 和 1284 cm<sup>-1</sup>。成矿流体总体上属于 H<sub>2</sub>O—NaCl—CO<sub>2</sub> 体系。

## 5 硫铅同位素地球化学

### 5.1 硫同位素

石寨沟金矿床矿石中 19 个硫化物的 δ<sup>34</sup>S 值变化于 +3.7‰~+7.7‰,平均值为 +5.6‰。其中 7 件黄

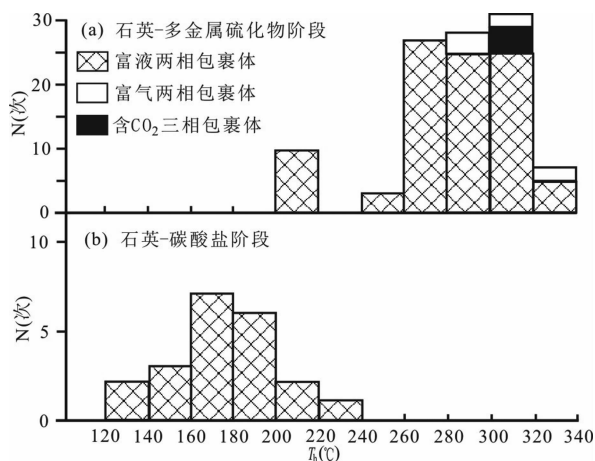


图5 石寨沟金矿床流体包裹体均一温度直方图

Fig. 5 Histograms of homogenization temperatures of fluid inclusions in the Shizhaigou gold deposit

的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化于  $+6.1\text{‰}$  ~  $+7.0\text{‰}$ ，平均值为  $+6.7\text{‰}$ ；6 件闪锌矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化于  $+4.6\text{‰}$  ~  $+7.7\text{‰}$ ，平均值为  $+5.9\text{‰}$ ；6 件方铅矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化于  $+3.7\text{‰}$  ~  $+5.0\text{‰}$ ，平均值为  $+4.2\text{‰}$  (表 2 和图 7-a)。

## 5.2 铅同位素

石寨沟金矿床矿石中 19 个硫化物的铅同位素比值变化较小， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.951\sim 17.035$ ，平均值为 16.993， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.370\sim 15.466$ ，平均值为 15.412， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.188\sim 37.512$ ，平均值为 37.343 (表 2 和图 8)。

铁矿

## 6 讨论

### 6.1 成矿流体性质

显微测温结果表明(表 1 和图 5)，石寨沟金矿床成矿流体系统从早到晚发生规律性变化：成矿流体温度从石英-多金属硫化物阶段的  $260\sim 320^\circ\text{C}$ ，到石英-碳酸盐阶段的  $140\sim 200^\circ\text{C}$ ，温度逐渐降低。盐度从石英-多金属硫化物阶段的  $2.0\%\sim 9.0\%$  NaCl eqv，到石英-碳酸盐阶段的  $5.6\%\sim 8.1\%$  NaCl eqv，盐度变化不大。主成矿阶段的成矿流体具有中温、低盐度及含  $\text{CO}_2$  特点。富气两相包裹体及含  $\text{CO}_2$  三相包裹体集中分布于石英-多金属硫化物阶段，富液两相包裹体分布于石英-多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段，反映了不同类型的包裹体是在不同成矿阶段捕获的，成矿温度由石英-多金属硫化物阶段到石英-碳酸盐阶段是连续变化的。

石英-多金属硫化物阶段见不同相比例及成分组成的包裹体的共存现象(图 4-d)，且各类包裹体具有相近的均一温度，表明成矿流体经历了不混溶作用<sup>[18]</sup>。成矿流体的不混溶作用是成矿物质从热液中沉淀的最重要机制之一<sup>[27-31]</sup>。石寨沟金矿床的成矿流体中发现了  $\text{CO}_2$  成分，Phillips and Evans<sup>[32]</sup>认为  $\text{CO}_2$  在金成矿过程中起到了关键性的作用，其主要作用是缓冲流体的 pH 值范围、提高流体中的 Au 含量并使其维持与还原硫的络合作用进行迁移。野外观察发现，石寨沟金矿床内断裂构造非常发育，断裂

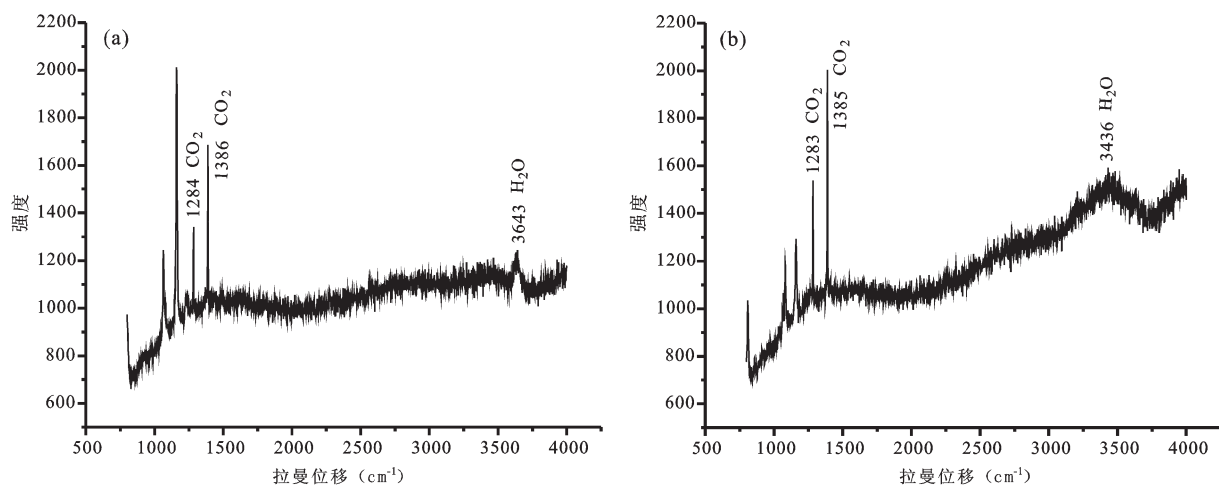


图6 石寨沟金矿床流体包裹体激光拉曼图谱

Fig.6 Laser Raman spectra of fluid inclusions from the Shizhaigou gold deposit

表 2 石寨沟金矿床硫铅同位素分析结果

Table 2 Sulfur and Lead isotopic compositions of sulfides from the Shizhaigou gold deposit

| 序号 | 样品    | 矿物  | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ |
|----|-------|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.407                            | 15.426                            | 17.012                            | 6.8                            |
| 2  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.377                            | 15.421                            | 16.998                            | 6.8                            |
| 3  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.403                            | 15.435                            | 17.015                            | 7.0                            |
| 4  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.367                            | 15.421                            | 17.012                            | 6.9                            |
| 5  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.296                            | 15.402                            | 16.984                            | 6.1                            |
| 6  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.424                            | 15.434                            | 17.006                            | 6.8                            |
| 7  | 含金石英脉 | 黄铁矿 | 37.301                            | 15.399                            | 16.980                            | 6.5                            |
| 8  | 含金石英脉 | 闪锌矿 | 37.272                            | 15.392                            | 16.980                            | 4.6                            |
| 9  | 含金石英脉 | 闪锌矿 | 37.444                            | 15.440                            | 17.018                            | 7.7                            |
| 10 | 含金石英脉 | 闪锌矿 | 37.319                            | 15.411                            | 16.990                            | 5.9                            |
| 11 | 含金石英脉 | 闪锌矿 | 37.329                            | 15.408                            | 16.999                            | 4.8                            |
| 12 | 含金石英脉 | 闪锌矿 | 37.188                            | 15.370                            | 16.954                            | 6.0                            |
| 13 | 含金石英脉 | 闪锌矿 | 37.280                            | 15.394                            | 16.981                            | 6.1                            |
| 14 | 含金石英脉 | 方铅矿 | 37.291                            | 15.398                            | 16.988                            | 5.0                            |
| 15 | 含金石英脉 | 方铅矿 | 37.512                            | 15.466                            | 17.035                            | 3.7                            |
| 16 | 含金石英脉 | 方铅矿 | 37.320                            | 15.402                            | 16.964                            | 4.2                            |
| 17 | 含金石英脉 | 方铅矿 | 37.362                            | 15.416                            | 17.004                            | 4.0                            |
| 18 | 含金石英脉 | 方铅矿 | 37.269                            | 15.384                            | 16.951                            | 4.2                            |
| 19 | 含金石英脉 | 方铅矿 | 37.349                            | 15.416                            | 16.991                            | 4.0                            |

构造与金矿化关系密切,控制着金矿体的空间分布,可见成矿过程中构造活动频繁,成矿流体沿断裂运移过程中压力的剧烈波动导致流体发生减压不混溶作用, $\text{CO}_2$ 等气体大量逃逸出来,导致成矿流体中的酸性组分浓度降低,使流体中矿质的溶解度大大降低,大量金属矿物沉淀下来,形成金矿体。

## 6.2 成矿物质来源

朱嘉伟等<sup>[33]</sup>通过石英和方铅矿的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法,获得崮山地区的金矿化年龄为 130 Ma 左右,认为该地区金矿床为同期、不同构造空间的产物。崮山地区存在隐伏大型花岗岩体<sup>[16]</sup>,但地表出露较少,且研究薄弱。花山岩体位于研究区东侧的熊耳山地区,其 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $(132\pm 2)\text{Ma}$ <sup>[34]</sup>,与崮山地区金矿化时间一致。故本文选择花山岩体进行同位素对比研究。花山岩体花岗岩中 4 件黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $+1.8\text{‰}\sim +5.4\text{‰}$ ,平均值为 $+3.05\text{‰}$ (图 7-b);熊耳群火山岩 4 件黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $+2.5\text{‰}\sim +5.4\text{‰}$ ,平均值为 $+4.2\text{‰}$ (图

7-c);太华群变质岩中 4 件黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $+1.3\text{‰}\sim +5.7\text{‰}$ ,平均值为 $+3.2\text{‰}$ (图 7-d)。Ohmoto<sup>[35]</sup>指出,热液矿床中硫化物的硫同位素组成是成矿溶液中总硫同位素组成、氧逸度、pH、离子强度和温度的函数。因此,热液硫化物的硫同位素组成,不仅取决于其源区物质的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,而且与成矿流体演化的物理化学条件有关,当 $f_{\text{O}_2}$ 较低时,流体中硫主要以 $\text{HS}^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 形式存在,所沉淀的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 与整个流体 $\delta^{34}\text{S}$ 近似。当 $f_{\text{O}_2}$ 较高时, $\text{SO}_4^{2-}$ 大量存在并沉淀富集 $\delta^{34}\text{S}$ 的硫酸盐,导致成矿流体 $\delta^{34}\text{S}$ 亏损,所沉淀的黄铁矿等硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值较低(常为负值),低于整个体系 $\delta^{34}\text{S}$ 。黄铁绢英岩化是石寨沟金矿床最主要的蚀变类型,硫化物主要为黄铁矿、闪锌矿和方铅矿等,未见硫酸盐矿物。因此石寨沟金矿床中硫化物的 S 同位素组成可以近似地代表成矿溶液总硫同位素组成。从图 7 可以看出,方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值低于闪锌矿,闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值低于黄铁矿,方铅矿、闪锌矿和黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 峰值逐渐增



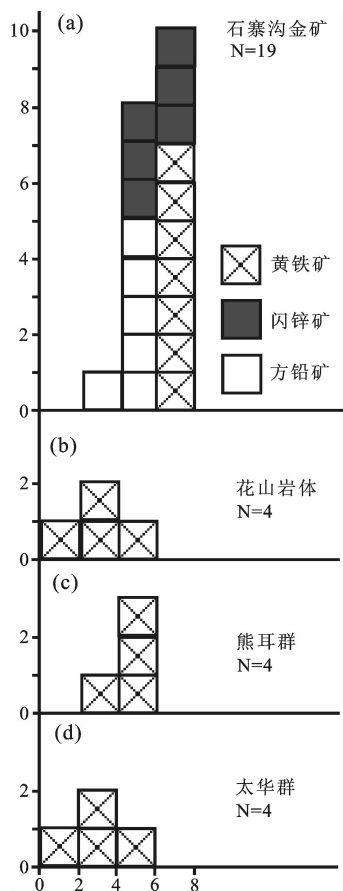


图7 石寨沟金矿床及相关地质体中硫化物  $\delta^{34}\text{S}$  直方图(熊耳群、花山岩体和太华群  $\delta^{34}\text{S}$  数据分别引自[10, 21-22])  
Fig.7 Histograms showing  $\delta^{34}\text{S}$  values of various sulfides from the Shizhaigou gold deposit and related geological bodies ( $\delta^{34}\text{S}$  values of the Huashan intrusive rock, Xionger Group and Taihua Group from [10,21-22], respectively)

高,基本顺序与同位素平衡时的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{Py}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Sp}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{Gn}}$  的  $\delta^{34}\text{S}$  富集顺序一致,表明矿石硫同位素达到平衡<sup>[6]</sup>。石寨沟金矿床的硫同位素组成变化范围较小,介于+3.7‰~+7.7‰,平均值为+5.6‰,显示出岩浆热液的特征。与花山岩体(+3.05‰)、熊耳群火山岩(+4.2‰)和太华群变质岩(+3.2‰)等地质体相比,石寨沟金矿床硫同位素组成偏高,但总体接近,偏大的原因可能是由于矿床形成过程中大气降水的循环淋滤作用使硫同位素发生分馏作用造成<sup>[7]</sup>。考虑到成矿过程中水-岩相互作用对硫同位素分馏的影响,无法排除这些地质体作为矿石硫来源的可能性。

利用矿石、岩浆岩和地层铅同位素全方位对比来判别矿石铅同位素的来源是国际上认同的办法<sup>[8]</sup>。尽管铅的源区与金的源区并不完全相同,但石寨沟金

矿床的金属硫化物和金具有密切的成因联系,这说明金属硫化物与金来源于同一成矿流体。花山花岗岩体的铅同位素组成变化较大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.199\sim 18.075$ ,平均值为 17.621, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.391\sim 15.566$ ,平均值为 15.465, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.447\sim 38.338$ ,平均值为 37.828<sup>[24]</sup>;熊耳群的全岩铅同位素组成变化较大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.125\sim 17.123$ ,平均值为 16.565, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.271\sim 15.421$ ,平均值为 15.336, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=36.047\sim 37.345$ ,平均值为 36.768<sup>[24]</sup>;太华群全岩铅同位素组成变化大, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.368\sim 17.609$ ,平均值为 17.122, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.192\sim 15.620$ ,平均值为 15.392, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=35.902\sim 38.569$ ,平均值为 37.488<sup>[21-22]</sup>。在 Zartman and Doe<sup>[23]</sup>的铅构造模式图中,矿石铅同位素投影点落在地幔演化线附近(图 8-a)或下地壳与造山带之间(图 8-b),并排列为一条直线,直线斜率陡意味着它不是一条等时线,而是下地壳和地幔铅的混合线<sup>[39]</sup>。熊耳群火山岩投影点主体位于地幔和下地壳演化线之间,而矿石铅同位素比值远高于熊耳群样品,加之金属硫化物形成后基本没有放射成因铅的增加,熊耳群火山岩经后期热液蚀变后,其铅同位素比值会明显增大,暗示其铅同位素初始值将更低。因此,熊耳群火山岩不可能是矿石铅的来源。花山岩体钾长石的铅同位素组成相对稳定,数值接近,但明显高于矿石铅同位素组成,亦不可能是矿石铅的来源。尽管太华群变质岩的铅同位素组成变化较大,但多数样品的铅同位素组成位于熊耳群与花山岩体铅同位素组成之间,矿石的铅同位素组成投影点全部落入太华群铅同位素组成主体投影区域内(图 8-a,b),暗示太华群是石寨沟金矿铅的主要来源。此外,太华群变质岩中的原始金含量高,被认为是区域上金矿化的矿源岩<sup>[22]</sup>,而熊耳群火山岩金含量低于克拉克值,且未遭受大规模变质作用和混合岩化作用,缺少大规模金活化转移的条件。因此,笔者认为石寨沟金矿的成矿物质主要来自太华群变质岩。

### 6.3 石寨沟金矿床成矿机制

目前,对华北克拉通南缘小秦岭—崆山—熊耳山地区金矿床成因仍然存在不同的认识,主要集中在成矿物质来源和金矿与花岗岩关系两个方面。对于成矿物质来源,主要有 4 种观点:(1)金矿成矿物质来源于太华群变质岩<sup>[40-42]</sup>;(2)成矿物质来源于区内的花岗岩体<sup>[43-45]</sup>;(3)成矿物质来源于上地幔,金矿的形成与上地幔去气作用有关<sup>[13,46]</sup>;(4)成矿物质

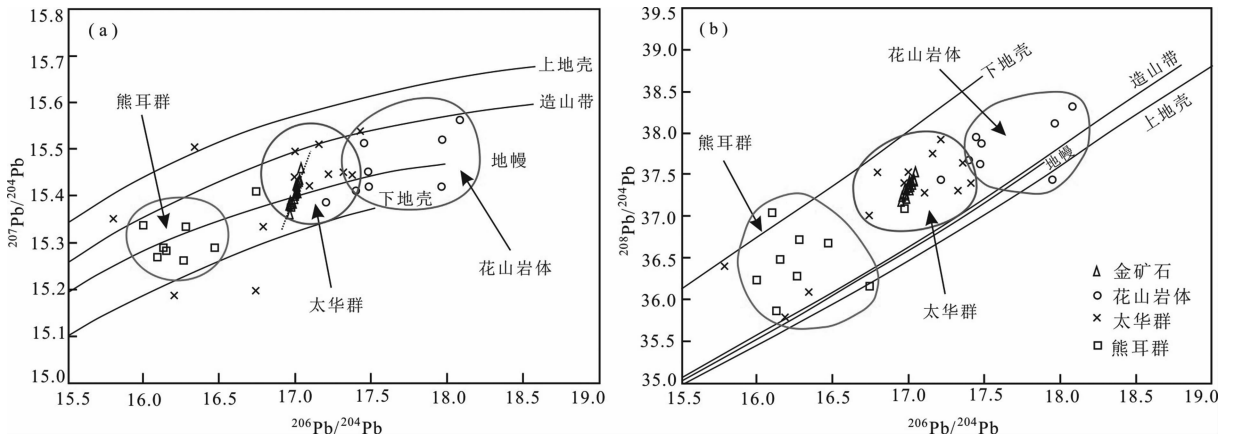


图 8 石寨沟金矿床及相关地质体  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图解(底图据[23]。花山岩体数据引自 [21, 24];熊耳群数据引自[24-26];太华群数据引自[21-22])

Fig.8 Diagram of lead isotopic compositions of the Shizhaigou gold deposit and related geological bodies (base map from [23]; data of the Huashan intrusive rock from [21, 24]; data of Xiong'er Group from [24-26]; data of Taihua Group from [21-22])

是多源的<sup>[9-11,22,47]</sup>。对金矿成矿作用与花岗岩间的关系主要有两种认识:(1)认为成矿与花岗岩无关<sup>[48-50]</sup>;(2)认为金成矿与花岗岩关系密切<sup>[33,43-45, 47]</sup>。

崱山、熊耳山与小秦岭地区金矿床的形成主要与中生代变质核杂岩伸展过程中的花岗质岩浆活动密切相关<sup>[33]</sup>。张进江等<sup>[51]</sup>认为,小秦岭变质核杂岩经历了两期不同性质的伸展,第一期为沿周缘断层发育方向与造山带平行的同造山伸展,活动时代为距今 135~123 Ma,属燕山期陆内造山形成的地壳增厚和岩浆活动共同作用的结果,第二期代表造山后进一步隆升导致的垮塌,时代距今 120~106 Ma。显然,崱山地区金矿床的成矿年龄与花山岩体、小秦岭变质核杂岩第一期伸展构造的年龄一致,暗示岩体侵位、变质核杂岩构造的形成及金的成矿作用三者具有成因联系。王义天等<sup>[50]</sup>对小秦岭文峪和娘娘山岩体研究后亦认为,燕山期岩浆热穹隆和花岗质岩浆在大地壳的大面积侵位导致了小秦岭变质核杂岩的发育。

石寨沟金矿床的矿体主要受熊耳群内部的层间破碎带控制,这些层间破碎带属于崱山变质核杂岩伸展过程中形成的拆离滑脱构造系的一部分<sup>[52]</sup>。流体包裹体研究表明石寨沟金矿床成矿流体具有中温、低盐度、富  $\text{CO}_2$  特征。矿石铅同位素组成主体上与太华群相似,而明显低于花山岩体铅同位素组成,表明成矿物质主要来自基底太华群,而不是中生代岩体。

在 135~130 Ma 期间,崱山地区发生大规模花岗质岩浆侵位,并导致崱山变质核杂岩构造形成,花

岗质岩浆活动提供了巨大的热动力,促使基底太华群中的成矿物质活化,沿拆离断层系迁移,由于流体的减压沸腾作用及物理化学条件的变化,导致成矿物质在熊耳群中的拆离断层中沉淀,形成金矿体。

## 7 结论

(1)石寨沟金矿床的成矿过程初步划分为石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段和石英-碳酸盐阶段。石英-多金属硫化物阶段主要发育富液两相包裹体、富气两相包裹体和含  $\text{CO}_2$  三相包裹体;石英-碳酸盐阶段主要发育富液两相包裹体。成矿流体总体上属  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$  体系。

(2)石英-多金属硫化物阶段流体包裹体均一温度峰值为 260~320℃,盐度为 2.0%~9.0 % NaCl eqv;石英-碳酸盐阶段均一温度峰值为 140~200℃,盐度为 5.6%~8.1% NaCl eqv。压力剧烈波动引起的流体不混溶作用是金沉淀的主要机制。

(3)石寨沟金矿床矿石中硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 +3.7‰~+7.7‰,平均值为 +5.6‰。矿石铅同位素比值变化较小,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.951 \sim 17.035$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.370 \sim 15.466$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.188 \sim 37.512$ ,成矿物质主要来自太华群。

**致谢:**野外工作期间得到了洛阳盈富矿业开发有限公司的大力支持和帮助;中国地质科学院矿产资源研究所叶会寿研究员、中国科学院地质与地球物理研究所张宝林研究员在论文撰写过程中提出了许多宝贵意见;两位审稿人指出了文中的错误,并提出

了详细的修改意见,在此一并致以诚挚的感谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社, 1992:1-234.  
Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan [M]. Beijing: Seismological Press, 1992:1-234 (in Chinese with English abstract).
- [2] 王海华, 陈衍景, 高秀丽. 河南康山金矿同位素地球化学及其对成岩成矿及流体作用模式的印证 [J]. 矿床地质, 2001, 20(2): 190-198.  
Wang Haihua, Chen Yanjing, Gao Xiuli. Isotope geochemistry of the Kangshan gold deposit in Henan and its illustration of the CPMF model [J]. Mineral deposits, 2001, 20 (2):190-198 (in Chinese with English abstract).
- [3] Mao Jingwen, Goldfarb R J, Zhang Zhengwei, et al. Gold deposits in the Xiaoqinling-Xiong'er shan region, Qinling Mountains, central China [J]. Mineralium Deposita, 2002, 37:306-325.
- [4] 王团华, 毛景文, 王彦斌. 小秦岭—熊耳山地区岩墙锆石 SHRIMP 年代学研究——秦岭造山带岩石圈拆沉的证据 [J]. 岩石学报, 2008 24(6):1273-1287.  
Wang Tuanhua, Mao Jingwen, Wang Yanbin. Research on SHRIMP U-Pb chronology in Xiaoqinling-Xiong'er shan area: the evidence of delamination of lithosphere in Qinling orogenic belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (6):1273-1287 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵太平, 周美夫, 金成伟, 等. 华北陆块南缘熊耳群形成时代讨论 [J]. 地质科学, 2001, 36(3):326-334.  
Zhao Taiping, Zhou Meifu, Jin Chengwei, et al. Discussion on age of the Xiong'er group in Southern margin of North China Craton [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36 (3):326-334 (in Chinese with English abstract).
- [6] 卢欣祥, 尉向东, 董有, 等. 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, 2004:1-128.  
Lu Xinxiang, Yu Xiangdong, Dong You, et al. The Characteristics of Gold Deposits and Mantle Fluids of Xiaoqinling-Xiong'er shan region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:1-128 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义 [J]. 岩石学报, 1995, 11(2):101-114.  
Zhang Guowei, Zhang Zongqing, Dong Yunpeng. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling orogen: Implications for the tectonic evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(2): 101-114 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高山, 张本仁, 金振民, 等. 秦岭—大别造山带下地壳拆沉作用 [J]. 中国科学 (D 辑), 1999, 29(6):532-541.  
Gao Shan, Zhang Benren, Jin Zhenmin, et al. The delamination of lower crust in Qinling-Dabie orogen [J]. Science in China (Series D), 1999, 29(6):532-541 (in Chinese).
- [9] Chen Yanjing, Pirajno F, Sui Yinghui. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting [J]. Mineralium Deposita, 2004, 39:560-575.
- [10] Chen Yanjing, Pirajno F, Qi Jinping. The Shanggong gold deposit, Eastern Qinling orogen, China: isotope geochemistry and implications for ore genesis [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 33:252-266.
- [11] 翟明国. 华北克拉通的形成演化与成矿作用 [J]. 矿床地质, 2010, 29(1):24-36.  
Zhai Mingguo. Tectonic evolution and metallogenesis of North China Craton [J]. Mineral Deposits, 2010, 29 (1):24-36 (in Chinese with English abstract).
- [12] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区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启示 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(4):289-299  
Mao Jingwen, Wang Yitian, Zhang Zuoheng, et al. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas [J]. Science in China (Series D), 2003, 46 (8):838-851.
- [13] 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景 [J]. 岩石学报, 2005, 21(1):169-188.  
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Zhang Zuoheng, et al. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1):169-188 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵太平, 翟明国, 夏斌, 等. 熊耳群火山岩锆石 SHRIMP 年代学研究: 对华北克拉通盖层发育初始时间的制约 [J]. 科学通报, 2004, 49(22):2342-2349.  
Zhao Taiping, Zhai Mingguo, Xia Bin, et al. Study on the zircon SHRIMP ages of the Xiong'er Group volcanic rocks: Constraint on the starting time of covering strata in the North China Craton [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 9(23):2495-2502.
- [15] 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 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, 2007, 13(2): 191-206.  
Zhao Taiping, Xu Yonghang, Zhai Mingguo. 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, 2007, 13 (2):191-206 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈铁华, 赵保军, 张天义, 等. 崆山地区隐伏花岗岩体及其找金前景 [J]. 河南地质, 1997, 15(1):11-18.  
Chen Tiehua, Zhao Baojun, Zhang Tianyi, et al. A buried granitic mass and its prospecting for gold deposits in Xiaoshan region, Henan Province [J]. Henan Geology, 1997, 15 (1):11-18 (in Chinese with English abstract).
- [17] 崔敏利, 张宝林, 彭澎, 等. 豫西崆山早元古代中酸性侵入岩锆石/斜锆石 U-Pb 测年及其对熊耳火山岩系时限的约束 [J]. 岩石学报, 2010, 26(5):1541-1549.



- Cui Minli, Zhang Baolin, Peng Peng, et al. Zircon/baddeleyite U–Pb dating for the Paleoproterozoic intermediate–acid intrusive rocks in Xiaoshan Mountains, west of Henan Province and their constraints on the age of the Xiong'er Volcanic Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26 (5):1541–1549 (in Chinese with English abstract).
- [18] 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004:1–444.  
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. *Fluid Inclusions* [M]. Beijing: Science Press, 2004:1–444 (in Chinese with English abstract).
- [19] Bodnar R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O–NaCl solutions [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993, 57:683–684.
- [20] Collins P L F. Gas hydrates in CO<sub>2</sub>–bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity [J]. *Economic Geology*, 1979, 74:1435–1444.
- [21] 郭东升, 陈衍景, 祁进平. 河南祁雨沟金矿同位素地球化学和矿床成因分析[J]. *地质论评*, 2007, 53(2):217–227.  
Guo Dongsheng, Chen Yanjing, Qi Jinping. Isotope geochemistry and ore genesis of the Qiyugou gold deposit, Henan: a synthesis [J]. *Geological Review*, 2007, 53(2):217–227 (in Chinese with English abstract).
- [22] 范宏瑞, 谢奕汉, 赵瑞, 等. 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*, 1994, 9(1):54–64.  
Fan Hongrui, Xie Yihan, Zhao Rui, et al. Stable isotope geochemistry of rocks and gold deposits in the Xiong'ershan area, western He'nan Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 1994, 9 (1):54–64 (in Chinese with English abstract).
- [23] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics—the model [J]. *Tectonophysics*, 1981, 75:135–162.
- [24] 罗铭玖, 王亨治, 庞传安. 河南金矿概论 [M]. 北京: 地震出版社, 1992:423.  
Luo Mingjiu, Wang Hengzhi, Pang Chuan'an. *Introduction of Gold Deposits in Henan Province* [M]. Beijing: Seismological Press, 1992:423 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 等. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1996, 26(3):201–208.  
Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan, et al. Geochemical subdivision and evolution of the lithosphere in East Qinling and adjacent regions—implications for tectonics [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39 (3):245–255.
- [26] 赵太平. 华北陆块南缘元古宙熊耳群钾质火山岩特征与成因 [D]. 中国科学院地质地球物理研究所博士学位论文, 2000:1–102.  
Zhao Taiping. *Characteristics and Petrogenesis of K–rich Volcanic Rocks of the Xiong'er Group in the Southern Margin of the North China craton* [D]. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Ph.D. Dissertation, 2000:1–102 (in Chinese with English abstract).
- [27] Fan Hongrui, Zhai Mingguo, Xie Yihan, et al. Ore-forming fluids associated with granite–hosted gold mineralization at the Sanshandao deposit, Jiaodong gold province, China [J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38(6):739–750.
- [28] 胡芳芳, 范宏瑞, 杨奎锋, 等. 胶东牟平邓格庄金矿床流体包裹体研究[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9):2155–2164.  
Hu Fangfang, Fan Hongrui, Yang Kuifeng, et al. Fluid inclusions in the Denggezhuang lode gold deposit at Muping, Jiaodong Peninsula [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (9):2155–2164 (in Chinese with English abstract).
- [29] 武广, 孙丰月, 赵财胜, 等. 额尔古纳成矿带西北部金矿床流体包裹体研究[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9):2227–2240.  
Wu Guang, Sun Fengyue, Zhao Caisheng, et al. Fluid inclusion study on gold deposits in northwestern Erguna metallogenic belt, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (9):2227–2240 (in Chinese with English abstract).
- [30] Klemm L M, Pettke T, Heinrich C A. Fluid and source magma evolution of the Questa porphyry Mo deposit, New Mexico, USA [J]. *Mineral Deposita*, 2008, 43:533–552.
- [31] Chen Yanjing, Pirajno F, Li Nuo, et al. Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe–hosted gold deposit, Qinling Orogen, Henan Province, China: implications for ore genesis [J]. *Ore Geology Review*, 2009, 35:245–261.
- [32] Phillips G N, Evans K A. Role of CO<sub>2</sub> in the formation of gold deposits [J]. *Nature*, 2004, 429:860–863.
- [33] 朱嘉伟, 张天义, 薛良伟. 豫西崆山地区金矿成矿年龄的测定及其意义[J]. *地质论评*, 1999, 45(4):418–422.  
Zhu Jiawei, Zhang Tianyi, Xue Liangwei. Determination of the ore-forming age of gold deposits in Xiaoshan, western Henan and its geological significance [J]. *Geological Review*, 1999, 45 (4):418–422 (in Chinese with English abstract).
- [34] Mao Jingwen, Xie Guiqing, Pirajno F, et al. Late Jurassic–Early Cretaceous granitoid magmatism in Eastern Qinling, central–eastern China: SHRIMP zircon U–Pb ages and tectonic implications [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2010, 57:51–78.
- [35] Ohmoto H. Systematics of sulfide and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits [J]. *Economic Geology*, 1972, 67:551–578.
- [36] Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits [C]//Valley J W, Taylor H P Jr, O'Neil JR (eds.). *Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes*. Review in Mineralogy, 1986, 16:491–559.
- [37] Rye R O, Ohmoto H. Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: A review [J]. *Economic Geology*, 1974, 69:826–842.
- [38] 张乾, 潘家永, 邵树勋. 中国某些金属矿床矿石铅来源的铅同位素诠释[J]. *地球化学*, 2000, 29(3):231–238.  
Zhang Qian, Pan Jiayong, Shao Shuxun. An interpretation of ore lead sources from lead isotopic compositions of some ore deposits

- in China [J]. *Geochimica*, 2000, 29 (3):231-238 (in Chinese with English abstract).
- [39] 储雪蕾, 霍卫国, 张巽. 内蒙古林西县大井铜多金属矿床的硫、碳和铅同位素及成矿物质来源 [J]. *岩石学报*, 2002, 18(4):566-574.
- Chu Xuelei, Huo Weiguo, Zhang Xuan. S, C and Pb isotopes and sources of metallogenetic elements of the Dajing Cu-polymetallic deposit in Linxi County, Inner Mongolia, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18 (4):566-574(in Chinese with English abstract).
- [40] 任富根. 店房金矿硫铅同位素组成和成矿作用问题的探讨[J]. *天津地质矿产研究所所刊*, 1989, 21:91-103.
- Ren Fugen. Discussion on sulfur and lead isotope compositions and mineralization of Fangdian gold deposit [J]. *Journal of Tianjin Geology Institute*, 1989, 21:91-103 (in Chinese with English abstract).
- [41] 沈保丰, 李俊键, 毛德保. 华北地台绿岩带地质特征类型和演化 [J]. *前寒武纪研究进展*, 1997, 20(1):2-11.
- Shen Baofeng, Li Junjian, Mao Debao. The geological features and evolution of greenstone belt in the North China platform [J]. *Geological Survey and Research*, 1997, 20 (1):2-11 (in Chinese with English abstract).
- [42] 冯建之. 小秦岭金矿床成矿作用及成矿物质来源 [J]. *现代地质*, 2010, 24(1):11-17.
- Feng Jianzhi. Mineralization and material sources in the Xiaoqinling gold deposit [J]. *Geoscience*, 2010, 20(1):11-17(in Chinese with English abstract).
- [43] 栾世伟. 小秦岭金矿床地球化学[J]. *矿物岩石*, 1985, 5(2):1-18.
- Luan Shiwei. The geochemistry of gold deposits in Xiaoqinling [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1985, 5(2):1-18(in Chinese with English abstract).
- [44] 黎世美. 河南洛宁上宫金矿床同位素地质特征 [J]. *豫西地质*, 1987, 1:1-29.
- Li Shimei. The isotope characteristic of gold deposit of Shangong, Luoning, Henan [J]. *Western Henan Geology*, 1987, 1:1-29(in Chinese with English abstract).
- [45] 聂风军, 江思宏, 赵月明. 小秦岭地区文峪和东闯石英脉型金矿床铅及硫同位素研究[J]. *矿床地质*, 2001, 20(2):163-173.
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhao Yueming. Lead and sulfur isotopic studies of the Wenyu and the Dongchuang quartz vein type gold deposits in Xiaoqinling area, Henan and Shanxi provinces, central China [J]. *Mineral Deposits*, 2001, 20 (2):163-173(in Chinese with English abstract).
- [46] 石铨曾, 尉向东, 李明立, 等. 河南省东秦岭山脉北缘的推覆构造及伸展拆离构造 [M]. 北京:地质出版社, 2004:195-198.
- Shi Quanzeng, Yu Xiangdong, Li Mingli, et al. Nappe Structure and Detachment Tectonics on the North Edge of East Qinling in Henan Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2004:195-198(in Chinese with English abstract).
- [47] 朱嘉伟, 赵盼舒, 李锋. 华北陆块南缘金矿成矿动力学探讨[J]. *地球学报*, 2008, 29(4):525-532.
- Zhu Jiawei, Zhao Panshu, Li Feng. A discussion on mineralization dynamics mechanism of gold deposits on the southern edge of the North China Plate [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2008, 29(4):525-532(in Chinese with English abstract).
- [48] 张进江, 郑亚东, 刘树文. 小秦岭变质核杂岩的构造特征、形成机制及构造演化[M]. 北京:海洋出版社, 1998:96-105.
- Zhang Jinjiang, Zheng Yadong, Liu Shuwen. The Structural Feature, Form Mechanism and Structural Evolution of Metamorphic Core Complex in Xiaoqinling [M]. Beijing:Ocean Press, 1998:96-105(in Chinese with English abstract).
- [49] 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 等. 小秦岭—熊耳山金矿成矿作用与区域构造的耦合[J]. *黄金地质*, 2004, 10(1):1-5.
- Lu Xinxiang, Yu Xiangdong, Yu Zaiping, et al. Minerogenesis of gold and its coupling with tectonics in Xiaoqinling-Xiongershan region [J]. *Gold Geology*, 2004, 10 (1):1-5 (in Chinese with English abstract).
- [50] 王义天, 叶会寿, 叶安旺, 等. 小秦岭文峪和娘娘山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义 [J]. *地质科学*, 2010:45(1):167-180.
- Wang Yitian, Ye Huishou, Ye Anwang, et al. Zircon SHRIMP ages and their significances of the Wenyu and Niangniangshan granitic plutons in the Xiaoqinling area, central China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2010, 45(1):167-180(in Chinese with English abstract).
- [51] 张进江, 郑亚东, 刘树文. 小秦岭金矿田中生代构造演化与矿床形成[J]. *地质科学*, 2003, 38(1):74-84.
- Zhang Jinjiang, Zheng Yadong, Liu Shuwen. Mesozoic tectonic evolution and ore-deposits formation in the gold mine field of Xiaoqinling [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(1):74-84(in Chinese with English abstract).
- [52] 朱嘉伟, 张天义, 侯存顺. 崤山地区拆离滑脱构造控矿模式及其找矿意义[J]. *矿床地质*, 2001, 20(3):265-270.
- Zhu Jiawei, Zhang Tianyi, Hou Cunshun. Gold ore-controlling model of the detachment structure in Xiaoshan area, western Henan and its ore-prospecting significance [J]. *Mineral Deposits*, 2001, 20(3):265-270(in Chinese with English abstract).

## Fluid inclusion and S, Pb isotope study of the Shizhaigou gold deposit in Henan Province

LIU Jun<sup>1</sup>, WU Guang<sup>1</sup>, CHEN Fang-wu<sup>2</sup>, ZHANG Wang-ying<sup>3</sup>, ZHU Ming-tian<sup>4</sup>

( 1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Gaoyou Architectural Design Institute of Jiangsu Province, Gaoyou 225600, Jiangsu, China; 3. Anhui Institute of Chemical Geological Exploration, Maanshan 243000, Anhui, China; 4. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China )

**Abstract:** The Shizhaigou gold deposit, located in Xiaoshan terrain of Huashan-Xiong'er shan massif on the southern margin of the North China Craton, is a small gold deposit discovered in recent years. The strata in the Shizhaigou gold orefield are composed of intermediate-basic and intermediate-acid volcanic rocks of the Majiahe and Xushan Formations of the Mesoproterozoic Xiong'er Group. The intrusions only include minor intermediate-acid intrusive rocks. The fracture zone controls the distribution of the ore bodies. The ores are mainly of massive, disseminated and breccia structures, and classified as altered rock type. The wall rock alterations in the deposit include silicification, pyritization, sericitization, carbonatization and chloritization. The evolution of the hydrothermal mineralization system comprised the quartz-pyrite stage, quartz-polymetallic sulfides stage and quartz-carbonate stage, and gold was mainly deposited in the quartz-polymetallic sulfides stage. Fluid inclusions of the quartz-polymetallic sulfides stage are mainly liquid-rich aqueous two-phase, vapor-rich aqueous two-phase and CO<sub>2</sub>-bearing three-phase inclusions, and their homogenization temperatures and salinities vary from 260°C to 320°C and from 2.0 wt% to 9.0 wt% NaCl equivalent, respectively. The fluid inclusions of the quartz-carbonate stage are mainly composed of liquid-rich aqueous two-phase inclusions, with homogenization temperatures being 140 ~ 200°C and salinities 5.6 wt% ~ 8.1 wt% NaCl equivalent, respectively. The immiscible action of ore-forming fluid was the dominant factor for metallic sulfide deposition. The  $\delta^{34}\text{S}$  values of sulfides within the ores vary from +3.7‰ to +7.7‰, with an average of +5.6‰. The <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb and <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb ratios of sulfide are in the range of 16.951 ~ 17.035, 15.370 ~ 15.466 and 37.188 ~ 37.512, respectively. The composition of lead isotope in the ores are similar to that of the Taihua Group, and higher than that of the Xiong'er Group but lower than that of the Huashan intrusive rock, indicating that the ore-forming material of the Shizhaigou gold deposit originated from the Taihua Group.

**Key words:** fluid inclusion; S, Pb isotope; Shizhaigou gold deposit; Henan Province; East Qinling Orogen

**About the first author:** LIU Jun, male, born in 1983, doctor, majors in ore deposit; E-mail: junliu@yeah.net.