



河南省嵩县槐树坪金矿床地质、同位素地球化学特征与成矿作用*

王炯辉^{1,2}, 陈良^{2**}, 苏蔷薇³, 王浩然², 刘云飞², 来守华²

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 五矿勘查开发有限公司, 北京 100010; 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 河南嵩县槐树坪金矿床是豫西地区近年来通过勘查找矿评价出来的大型金矿床,该矿赋存于中元古界熊耳群火山岩地层,受断裂构造控制,与燕山期酸性岩浆侵入活动密切相关,是典型的构造蚀变岩型金矿床。矿区断裂构造可分为陡倾切层断裂和缓倾层间破碎带2种类型,缓倾层间破碎带是最重要的控矿和容矿构造,也是实现找矿突破的关键。氢、氧同位素分析显示,石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值变化于 $10.1\text{‰} \sim 14.4\text{‰}$,成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 $-1.3\text{‰} \sim 7.3\text{‰}$, δD 变化于 $-95\text{‰} \sim -81\text{‰}$ 。矿石硫同位素分析显示, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 $-7.7\text{‰} \sim -1.4\text{‰}$ 。矿石铅同位素分析显示, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 $16.990 \sim 18.761$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 $15.368 \sim 15.622$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 $37.471 \sim 38.730$ 。研究结果表明,槐树坪金矿床的成矿流体主要由岩浆水和大气降水组成,成矿主阶段以岩浆水为主,晚期有较多大气降水的加入,成矿物质主要来源于(直接或间接)太华群地层。该矿床的成矿过程经历了早期变形、变质作用的预富集,并于中生代后碰撞伸展构造环境下大规模富集成矿。

关键词 地球化学 地质特征 成矿作用 同位素 槐树坪金矿床 河南省

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Geology, isotopic geochemistry and metallogenesis of Huaishuping gold deposit in Songxian County, Henan Province

WANG JiongHui^{1,2}, CHEN Liang², SU QiangWei³, WANG HaoRan², LIU YunFei² and LAI ShouHua²

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Minmetals Exploration and Development Co., Ltd., Beijing 100010, China; 3 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The Huaishuping gold deposit in Songxian County of Henan Province is a large-size gold deposit found by exploration work in recent years. It is hosted by the Mesoproterozoic Xiong'er Group and closely related to the Mesozoic magmatism. The orebodies are controlled by faults. It is a typical tectonic altered rock type gold deposit. The fault in the mining area can be divided into steeply inclined incision faults and gently inclined interformational faults, with the latter being the most important ore-controlling and ore-bearing structure. And this is the key to achieving breakthrough in prospecting. Oxygen and hydrogen isotope data from quartz show that the

* 本文得到‘河南嵩县金多金属矿集区成矿规律研究及找矿预测’项目资助

第一作者简介 王炯辉,男,1964年生,研究员,主要从事矿产勘查开发领域的实践与研究工作。Email:wangjh@minmetals.com

** 通讯作者 陈良,男,1981年生,博士,高级工程师,主要从事矿产勘查开发领域的实践与研究工作。Email:liangchen@minmetals.com

收稿日期 2015-05-15;改回日期 2016-02-14。秦思婷编辑。

$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ values range from 10.1‰ to 14.4‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values from -1.3‰ to 7.3‰, and δD values between -95‰ and -81‰. The $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides range from -7.7‰ to -1.4‰. Among Pb isotopes, the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios of sulfides are in the range of 16.990 to 18.761 and 15.368 to 15.622, respectively, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios from 37.471 to 38.730. The authors revealed that the ore-forming fluids of the Huaishuping gold deposit were composed of magmatic and meteoric water, the ore-forming fluid of main metallogenic stage mainly came from the magma, with the addition of more meteoric water at the late stage. The ore-forming materials were mainly derived from the Taihua Group. The Huaishuping gold deposit underwent preconcentration at the early stage by deformation and metamorphism, and large-scale gold enrichment and mineralization took place in a post-collisional extensional setting in Mesozoic.

Key words: geochemistry, geological characteristics, metallogenes, isotope, Huaishuping gold deposit, Henan Province

槐树坪金矿床位于河南省洛阳市嵩县境内,是豫西熊耳山地区近年来通过勘查找矿评价出来的大型金矿床,也是“嵩县模式”实现找矿突破的核心矿区。针对该矿床的地质找矿工作可以追溯到 20 世纪 90 年代,虽然开展过多轮地质找矿工作,但一直未能取得较大的突破。2009 年嵩县整合勘查项目实施后,通过重点在缓倾斜层间破碎带上开展勘查工作,取得了找矿重大突破,探获金资源量超过 30 t,达到大型规模。在缓倾斜层间破碎带上取得如此大的找矿成果,这在豫西地区尚属首次。

相对于槐树坪金矿床取得的找矿成果,其地质研究程度显得较为薄弱。在取得找矿突破之前,部分学者也对其开展过相关研究工作,主要集中于矿体特征、矿化蚀变特征、找矿标志等方面(徐红伟等, 2009 张木辰等, 2010 梅秀杰等, 2014), 缺乏对构造控矿规律、成矿流体来源、成矿物质来源、成矿作用等方面的深入研究和系统总结。本文以近年来槐树坪金矿床地质找矿实践和取得的第一手地质资料为基础,结合前人的工作成果,对其地质特征、同位素地球化学特征和成矿作用进行研究总结,以期为该矿的进一步找矿和本区其他金矿的勘查、研究提供参考,为熊耳山地区金矿找矿工作提供新思路。

1 区域地质背景

槐树坪金矿床在大地构造位置上位于华北板块南缘、华熊台隆之熊耳山断隆区(图 1),该区地质构造复杂,岩浆活动强烈,成矿条件优越。区内矿产资源丰富,矿种类型多样,金属矿产主要有金、钼、银、铅、铁等,非金属矿产有萤石、重晶石、滑石、钾长石等,其中,又以金矿普遍发育为显著特征。目前,区

内已发现大、中、小型金矿床数十处,探明黄金工业储量数百吨,远景资源量达上千吨,显示出巨大的成矿规模和找矿前景(王凤茹, 2009)。

区内主要为新太古界太华群和中元古界熊耳群,其次为中生代伸展断陷盆地内发育的红色碎屑沉积岩。太华群是一套以片麻岩为主的中-深变质岩系,变质程度普遍达到角闪岩相,局部达到麻粒岩相,主要岩性为角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩和斜长角闪岩等,大部分已遭受强烈的混合岩化作用,形成混合岩化片麻岩、条纹条带状混合岩,局部形成混合花岗岩。太华群是整个华熊地区的前寒武纪结晶基底,其原岩为中基性火山-沉积建造,形成之后经历了多期构造热事件,伴随有多期变形变质作用,主要有前晋宁期、晋宁期、加里东期和印支期—燕山期。前晋宁期形成区内基底构造骨架,晋宁期和加里东期发生区域性变质作用,印支期和燕山期叠加大规模的岩浆活动。熊耳群岩性主要为安山岩、安山玄武岩、流纹岩、英安斑岩并夹有碎屑岩,基本未经受变质作用。它是区域内结晶基底之上的第一套盖层沉积,其上又不整合或假整合地覆盖了一套官道口群滨海-浅海相含硅质碳酸盐岩(毛景文等, 2006 徐刚等, 2013)。

区内断裂构造发育,褶皱不发育。按断层的性质和产状,可以分为陡倾切层断裂和缓倾层间破碎带 2 大类。陡倾切层断裂产状较陡,按展布方向可分为近东西向、北北东向、北东-北东东向和北西向 4 组,组成菱形网格状构造,其中,北东-北东东向断裂为重要的控矿断裂构造。层间破碎带受熊耳山拆离-变质核杂岩构造控制,它是伸展构造环境下岩浆侵位、上拱导致地层薄弱部位发生剪切、滑脱的产

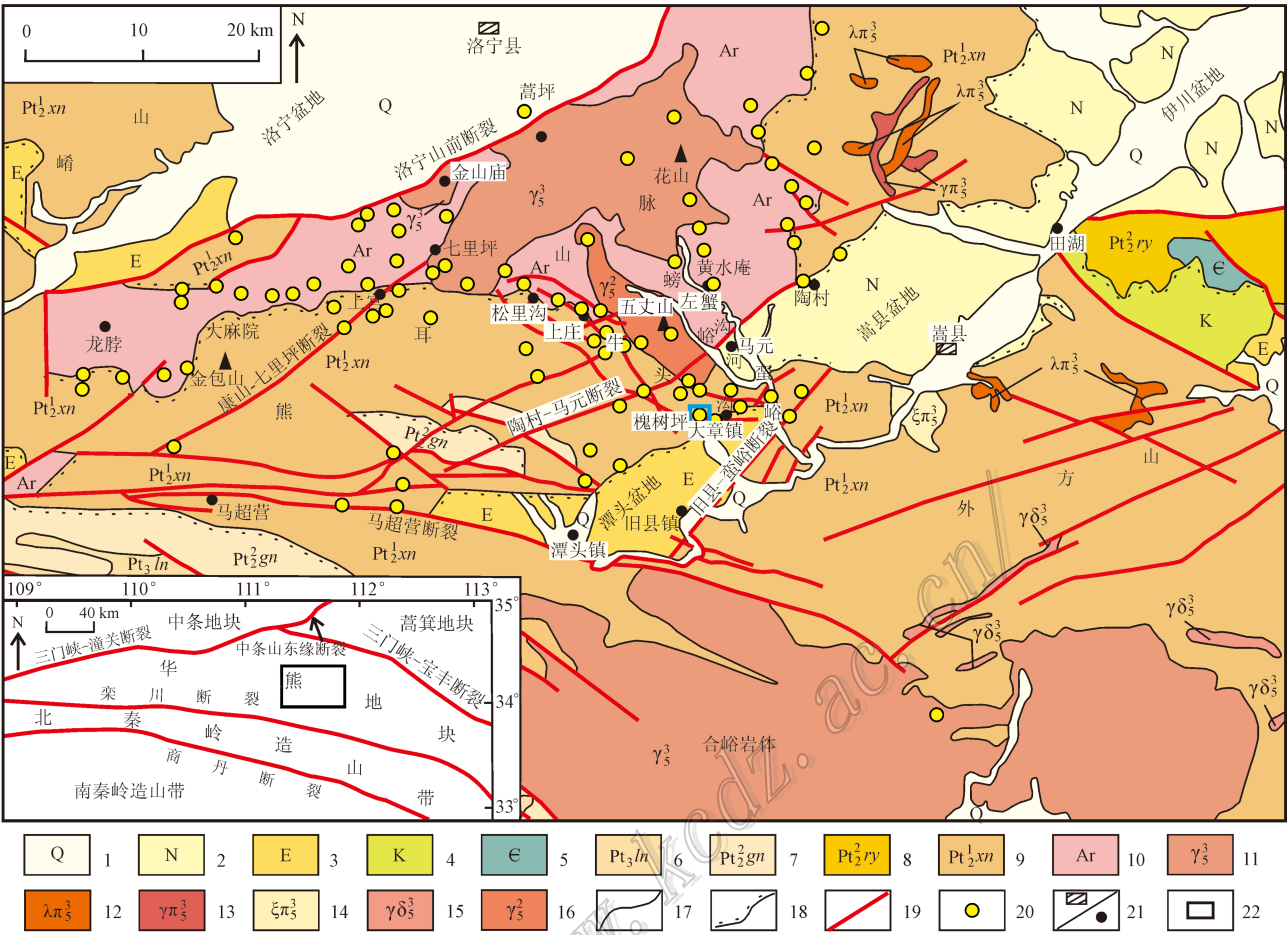


图 1 熊耳山地区地质及金矿床分布略图(据梁涛等,2012 修改)

1—第四系; 2—新近系; 3—古近系; 4—白垩系; 5—寒武系; 6—栾川群; 7—官道口群; 8—汝阳群; 9—熊耳群; 10—太华群; 11—白垩纪花岗岩; 12—白垩纪流纹斑岩; 13—白垩纪花岗斑岩; 14—白垩纪正长斑岩; 15—白垩纪花岗闪长岩; 16—侏罗纪花岗岩; 17—地质界线; 18—不整合界线; 19—断层; 20—金矿床(矿化点); 21—县/村镇; 22—熊耳山地区

Fig. 1 Regional geological map of Xiong'er Mountain, showing locations of gold deposits (modified after Liang et al., 2012)

1—Quaternary; 2—Neogene; 3—Paleogene; 4—Cretaceous; 5—Cambrian; 6—Luanchuan Group; 7—Guandaokou Group; 8—Ruyang Group; 9—Xiong'er Group; 10—Taihua Group; 11—Cretaceous granitoids; 12—Cretaceous rhyolite porphyry; 13—Cretaceous granite porphyry; 14—Cretaceous syenite porphyry; 15—Cretaceous granodiorite; 16—Jurassic granite; 17—Geological boundary; 18—Unconformity; 19—Fault; 20—Gold deposit (mineralization spot); 21—County/village or town; 22—Xiong'er Mountain area

物。层间破碎带的产出受地层层面或面理和拆离断层的双重控制,因此,一般不具定向性,但层间破碎带的倾角均较缓(王志光等,1997)。

区内岩浆活动强烈并具多旋回性,主要形成了太古代中基性火山岩和花岗岩、中元古代中基性-酸性火山岩、中生代酸性侵入岩。其中,中生代酸性岩浆侵入活动最为强烈,并与金矿化密切相关。区内中生代花岗岩体出露面积达 350 km²,主要有花山、五丈山和金山庙岩体。花山岩体呈北东向弧形分布于五丈山岩体北部,侵入于太古代太华群片麻岩、混

合岩内,南西部局部侵入到熊耳群地层中,面积约 280 km²(王志光等,1997),岩性主要为浅肉红色、肉红色巨斑状黑云角闪二长花岗岩、似斑状黑云母二长花岗岩、中-细粒角闪黑云二长花岗岩,其 SHRIMP 年龄为 (127.6 ± 1) Ma ~ (132 ± 1.6) Ma (毛景文等,2005; 李永峰,2005; 孟芳等,2012)。五丈山岩体呈北西-南东向舌状展布,侵入于太古代太华群片麻岩和中元古代熊耳群安山岩地层中,面积约 61 km²(王志光等,1997),岩性为浅红或灰白色似斑状黑云二长花岗岩、巨斑状角闪黑云二长花岗岩、

中-细粒角闪黑云二长花岗岩,其 SHRIMP 年龄为 $(153.6 \pm 1.3) \text{ Ma} \sim (156.8 \pm 1.2) \text{ Ma}$ (毛景文等, 2005; 孟芳等, 2012)。金山庙岩体呈不规则三角状分布在花山岩体北西部外围,侵入于太华群中,面积约 10 km^2 (王志光等, 1997),岩性为灰白色中-细粒角闪黑云二长花岗岩,其 K-Ar 法年龄为 128 Ma , SHRIMP 年龄为 $(129.3 \pm 1.5) \text{ Ma}$ (李永峰, 2005; 孟芳等, 2012)。

2 矿床地质特征

槐树坪金矿区主要出露中元古界长城系熊耳群鸡蛋坪组中段和上段,其次为古近系高峪沟组及分布于河流、冲沟和局部山坡的第四系(图 2),太华群在距离矿区北部约 3 km 处大面积出露。鸡蛋坪组中段沿北东向展布,倾向东南,与区域地层产状基本一致,出露于矿区的北部和西部,岩性自下而上分别为安山岩、英安岩、凝灰岩,英安岩出露面积较大,其中局部夹安山岩、火山角砾岩透镜体及构造角砾岩。鸡蛋坪组上段出露于矿区东部和南部,岩性主要为

巨厚层的安山岩,局部夹小面积的凝灰岩透镜体及构造角砾岩。高峪沟组分布在矿区东南部,岩性主要为黏土岩。

槐树坪金矿床严格受断裂构造控制。矿区断裂构造与区域断裂构造类似,可分为缓倾层间破碎带和陡倾切层断裂 2 类。缓倾层间破碎带是最主要的控矿和容矿构造,是实现找矿突破的关键,其中的矿体总体特征可概括为:成矿早、似层状、倾角缓、品位高、易选冶。缓倾层间破碎带均呈北东向展布,倾向南东,往往成群成组出现,主要的 F23、F24 等呈隐伏状态,地表出露的有 F17、F18、F19 等。陡倾切层断裂按展布方向可分为北东向、北北西向、北西向和近南北向 4 组,其中,北东向(F7、F8)和北北西向(F29)断裂为含矿构造。缓倾层间破碎带形成的时间早,陡倾切层断裂形成的时间晚,后者往往切穿前者。

缓倾斜层间破碎带中规模最大的是 F23,为隐伏构造,分布于 08~53 勘探线之间,沿走向控制长度 1600 m ,沿倾向控制最大延深大于 700 m 。厚度最小 $5 \sim 10 \text{ m}$,最大 40 m ,平均厚度 $15 \sim 20 \text{ m}$;东北部 08~07 线之间较厚,厚度 $15 \sim 30 \text{ m}$;西南部 $15 \sim 21$

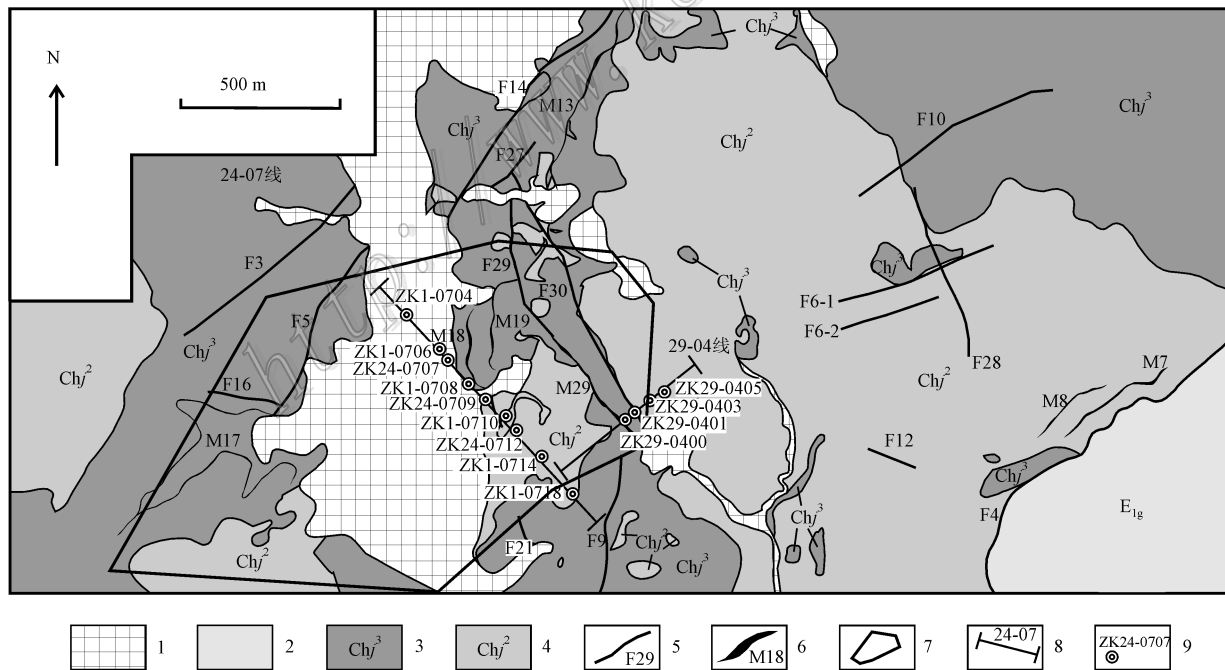


图 2 槐树坪金矿床地质图

1—第四系; 2—高峪沟组; 3—鸡蛋坪组上段; 4—鸡蛋坪组中段; 5—断层及编号; 6—矿脉及编号; 7—主要缓倾斜矿体(隐伏)分布范围; 8—勘探线及编号; 9—钻孔及编号

Fig. 2 Geological map of the Huashuping gold deposit

1—Quaternary; 2—Gaoyugou Formation; 3—Upper member of Jidanping Formation; 4—Middle member of Jidanping Formation; 5—Fault and its serial number; 6—Ore vein and its serial number; 7—Distribution range of main gently inclined orebody; 8—Prospecting line and its serial number; 9—Drill hole and its serial number

线略薄,厚度 10~20 m。断裂分布标高 256~545 m,整体倾向南东,总体倾角 25°,08~15 线之间倾角稍陡,约 22~28°,17~21 线倾角稍缓,约 12~18°。

陡倾切层断裂中较为典型的是 F29,该断裂南端在西叉沟脑进入第四系,中部穿过鸡冠山顶,北端止于皮沟,在平面上呈波状延伸,走向 330~350°,倾向北东,倾角较陡,倾角 75~87°。构造带出露总长度大于 900 m,带宽一般在 4~6 m,局部可达 15 m。该断裂带地貌特征明显,断裂通过之处多形成岩墙状硅化带突出地表。部分地段可见构造面,构造面一般比较平直,构造面上发育擦痕、阶步等。

矿区出露的岩浆岩相对较少,主要为华力西期碱性正长岩脉和与中元古代熊耳群火山岩伴生的辉绿岩脉,五丈山花岗岩体毗邻矿区北部出露。正长岩脉呈浅肉红色,自形粒状结构,块状构造,主要由正长石、石英、铁质矿物等组成,分布于矿区南部鸡冠山东沟内,脉宽 2~6 m,长 10~30 m 不等,侵入安山岩和凝灰岩中。辉绿岩脉呈灰绿色,斑状结构,块状构造,主要由辉石、绿泥石、绿帘石、碳酸盐等矿物组成,分布于皮沟沟口小路旁,宽约 1 m,长约 20 m,侵入安山岩中。

矿区内已发现和控制主矿体 2 个,主要矿体 7 个,次要矿体 13 个。金矿体严格受断裂构造带控制,呈舒缓波状、脉状、豆荚状。矿体产状与断裂带产状基本一致,以北东向为主,次为北北西向。按倾角大小可将矿体分为缓倾斜(图 3a)和陡倾斜(图 3b)2 类。缓倾层间破碎带控制的矿体形态较为简单,空间上呈舒缓波状或者首尾相连的豆荚状;矿体产状与熊耳群火山岩地层基本一致,倾向南东,倾角多为 7~30°;硅化、黄铁矿化强烈,钾化发育;矿体规模较大。陡倾切层断裂控制的矿体形态简单,走向上呈舒缓波状,倾向上呈脉状或似层状;矿体产状较陡,倾角 75~87°;硅化、黄铁矿化强烈;矿体规模一般较小。

槐树坪矿区金矿体具有定位性、定向性和近等距性的空间分布规律。定位性是指主要矿体均赋存于缓倾层间破碎带或陡倾切层断裂,而富矿往往分布于断裂构造的顶底板附近,这是由于赋矿围岩熊耳群火山岩硬度高,经受的变形变质作用弱,因此,断裂构造顶底板附近既是含矿流体运移的最佳通道,也是进行交代、充填作用的有利场所,往往形成高品位矿体。定向性是指区内矿体主要受北东向断

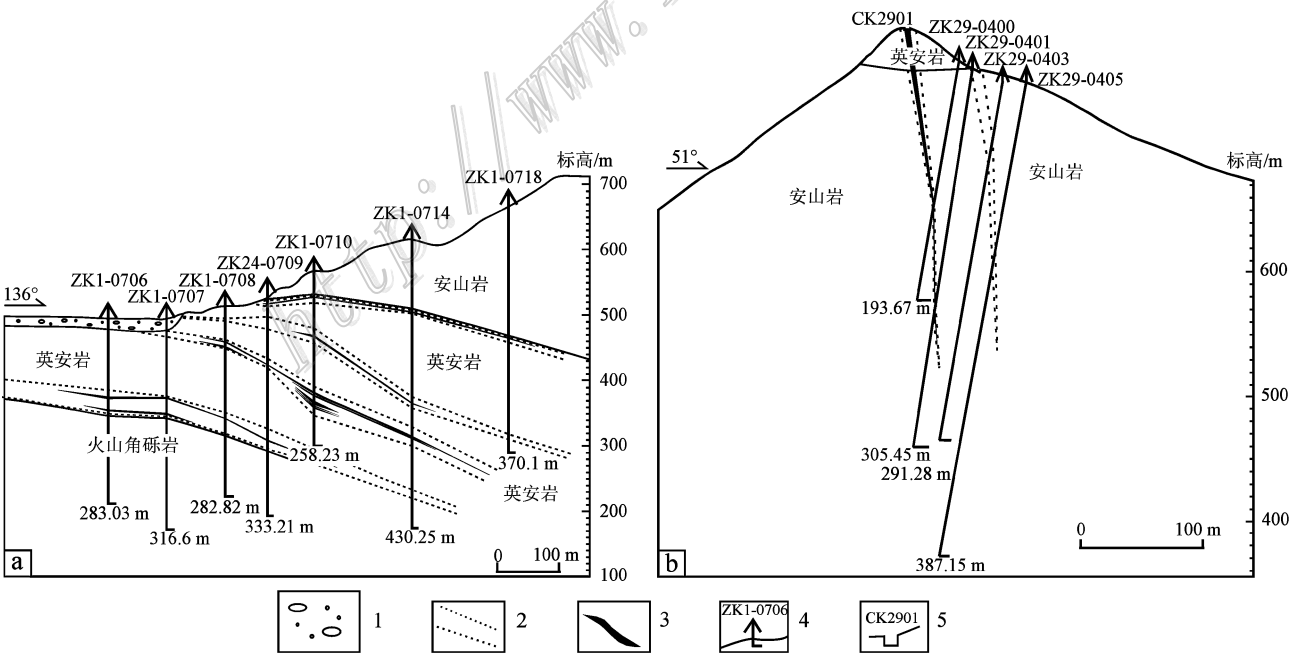


图 3 槐树坪金矿床缓倾斜矿脉 24-07 勘探线剖面图(a)和陡倾斜矿脉 29-04 勘探线剖面图(b)

1—第四系; 2—构造带; 3—矿体; 4—钻孔及编号; 5—采坑及编号

Fig. 3 Cross-section along No. 7 exploration line of gently inclined veins (a) and cross-section along No. 4 exploration line of steeply inclined vein (b) of the Huaishuping gold deposit

1—Quaternary; 2—Tectonic zone; 3—Orebody; 4—Drill hole and its serial number; 5—Pit and its serial number

裂构造带控制,其次受北北西向断裂构造带控制,表现出明显的定向性分布特征。缓倾层间破碎带控制的矿体均呈北东向展布,陡倾断裂 F7、F8 等也为北东走向。近等距性是指矿区内缓倾层间破碎带控制的矿脉,具有成群成组、近等距平行分布的特点。根据目前的工程控制程度,矿区已发现和控制多条近等距平行分布的缓倾斜含矿构造蚀变带,它们之间的距离多为 50~100 m。

矿石矿物以黄铁矿为主,次为方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、辉钼矿、磁铁矿、自然金等(图 4a、b)。脉石矿物主要为石英、钾长石、方解石、白云石,次为黏土矿物、绢云母、磷灰石(图 4c、d),含少量重晶石等。矿石结构主要为自形、半自形晶粒状结构、他形晶粒状结构,次为交代残余结构、斑状结构、碎裂结构。矿石构造主要为脉状-网脉状构造、细脉状-浸染状构造、块状构造、浸染状构造,地表或浅部可见蜂窝状构造。矿石的有用矿物主要为自然金,次为银金矿,金以自然金为主,并有少量银金矿。工艺矿物学研究表明,金的形态比较简单,主要以麦粒状、角粒状和长角粒状为主,次为尖角粒状;金的粒度以细粒、中粒为主(图 4e),分别占 75.30% 和 17.62%,微粒金占 7.08%。金的嵌布形式以粒间金为主,占 60%,裂隙金占 35%,包裹金占 5%。

矿体围岩蚀变发育,蚀变种类较多,主要有硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸岩化、绿泥石化、绿帘石化等。金属矿化主要为黄铁矿化,次为褐铁矿化、方铅矿化、黄铜矿化、闪锌矿化、辉钼矿化等。与金矿化最为密切的为硅化、钾长石和黄铁矿化。热液蚀变在空间上具有明显的分带性,由矿体中心向围岩方向依次为硅化→钾长石化→碳酸盐化→绿泥石化。

根据矿物的生成顺序以及矿物共生组合、矿石结构构造和脉体之间的穿切关系等,可将成矿过程从早到晚分为 4 个阶段:钾长石化阶段,是成矿的早期阶段,以形成大规模、强烈的面状钾化为特征,蚀变后岩石整体呈暗红色,主要矿物为钾长石(图 4f),少量石英和浸染状黄铁矿;黄铁矿石英阶段,以形成乳白色透镜状石英脉为特征,含少量黄铁矿(图 4g);石英多金属硫化物阶段,是主成矿阶段,以形成大量黄铁矿或黄铁矿脉为特征,含少量石英、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿等(图 4h);石英碳酸盐阶段,是成矿作用的末期,矿物组成主要是方解石、石英和铁白云石,呈脉状产出(图 4i)。

3 同位素地球化学

3.1 测试方法

本文选择槐树坪金矿床矿石和岩石的代表性样品,有针对性的开展了氢、氧、硫、铅同位素分析测试,同位素测试在国土资源部同位素地质重点实验室完成。

氢、氧同位素测试仪器型号为 MAT253EM 型质谱仪。分析测试前先分离单矿物,从破碎至 60~80 目的石英样品中选取纯度大于 98% 的石英颗粒。石英矿物的氧同位素分析方法为 BrF_5 法,首先将纯净的石英样品与 BrF_5 反应 15 h,萃取氧。分离出的氧进入 CO_2 转化系统,温度为 700°C ,时间为 12 min,最后收集 CO_2 ,然后用质谱仪测定 CO_2 中的 $\delta^{18}\text{O}$ 。流体包裹体中的氢同位素分析方法为爆裂法,先加热石英包裹体样品使其爆裂,释放挥发分,提取水蒸气,然后在 400°C 条件下使水与锌反应产生 H_2 ,再用液氮冷冻后,收集到有活性炭的样品瓶中待测。

硫同位素样品分析测试前先分离单矿物,将黄铁矿单矿物样品研磨至小于 200 目,以 CuO 和 V_2O_5 作为混合氧化剂,在高温真空条件下与黄铁矿样品进行氧化反应产生 SO_2 ,并用冷冻法收集,然后用 MAT-253 质谱仪分析硫同位素组成,测量结果以 V-CDT 为标准,分析精度优于 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

铅同位素样品分析测试样品与硫同位素样品相同,分析测试前先将黄铁矿单矿物样品研磨至小于 200 目,采用 HNO_3 浸泡去除表面附着的微量脉石矿物,通过阴离子交换树脂提取 Pb,蒸干后以 1% HNO_3 稀释,然后在英国 Nu Instrument 公司生产的高分辨多接受等离子质谱仪(Nu Plasma HR)上进行分析测试,质谱测试采用 T1 为标准进行质量分馏校正。在测定样品之前,用 NBS981 标准校准仪器,测定过程中随时测定 NBS981 以对仪器进行监测。

3.2 测试结果

(1) 氢、氧同位素

本次研究对 7 件石英样品进行了氢、氧同位素测定(表 1),分析结果显示 $\delta^{18}\text{D}$ 变化于 $-95\text{‰} \sim -81\text{‰}$,平均值 -85‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 变化于 $10.1\text{‰} \sim 14.4\text{‰}$,平均值 12‰ 。根据石英-水分馏方程 $1000 \ln \alpha = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 2.90$ (Clayton et al., 1972) 和同一石英样品中流体包裹体均一温度平均值,计算出流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值变化于 $-1.3\text{‰} \sim 7.3\text{‰}$,平均值 4.1‰ 。

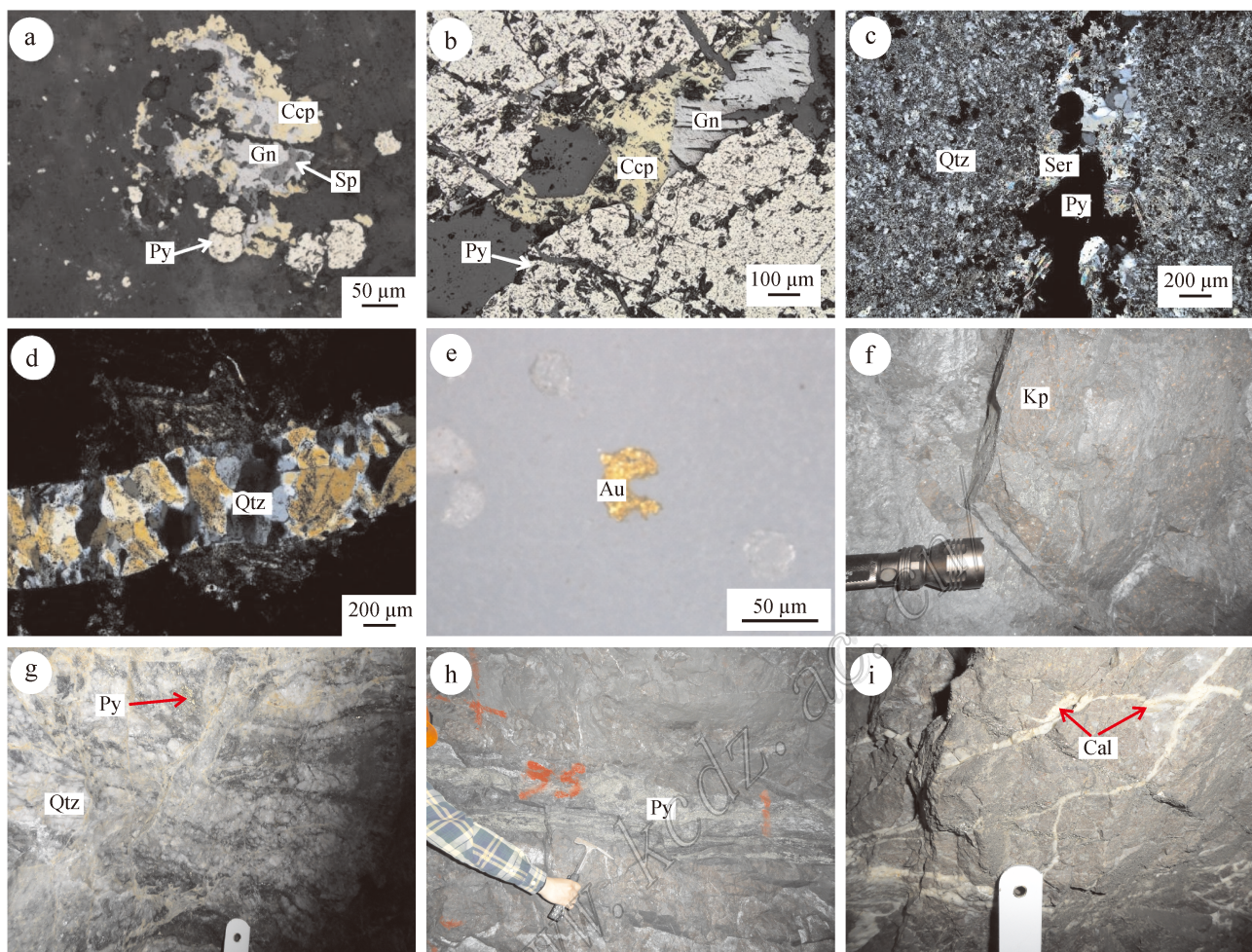


图 4 槐树坪金矿床手标本及镜下照片

a. 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿共生组合(反射光); b. 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿共生组合(反射光); c. 黄铁绢英岩化(透射光); d. 石英沿脉壁对向生长呈梳状产出(透射光); e. 粒状自然金(反射光); f. 钾长石化阶段; g. 黄铁石英阶段; h. 石英多金属硫化物阶段; i. 石英碳酸盐阶段

Py—黄铁矿; Gn—方铅矿; Ccp—黄铜矿; Sp—闪锌矿; Qtz—石英; Ser—绢云母; Au—金; Cal—方解石; Kp—钾长石

Fig. 4 Photographs of specimen and microphotographs from the Huaishuping gold deposit

a. Pyrite coexisting with chalcopyrite, galena and sphalerite (reflected light); b. Pyrite coexisting with chalcopyrite and galena (reflected light); c. Beresitization (transmitted light); d. Quartz vein showing open-space filling structure (transmitted light); e. Granular native gold (reflected light); f. Potash feldspathization stage; g. Pyrite-quartz stage; h. Quartz-polymetallic sulfide stage; i. Quartz-carbonate stage

Py—Pyrite; Gn—Galena; Ccp—Chalcopyrite; Sp—Sphalerite; Qtz—Quartz; Ser—Sericitite; Au—Gold; Cal—Calcite; Kp—Potash feldspar

(2) 硫同位素

本次研究对 8 件黄铁矿样品进行了硫同位素测定(表 2),结果表明槐树坪金矿床硫同位素($\delta^{34}\text{S}$)变化范围较小,且均为负值, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于 -7.7‰ ~ -1.4‰ ,极差为 6.3‰ ,平均值 -3.875‰ 。

(3) 铅同位素

本次研究对 8 件黄铁矿样品进行了铅同位素测定(表 2),分析结果显示 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 16.990 ~ 18.761 , 平均值 17.304 ; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于

15.368 ~ 15.622 , 平均值 15.440 ; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 37.471 ~ 38.730 , 平均值为 37.732 。

4 成矿作用讨论

4.1 成矿流体来源

氢、氧同位素是示踪热液矿床成矿流体来源的有效手段。卢欣祥等(2003)对熊耳山地区金矿床的氢、氧同位素和成矿流体特征进行了系统总结,

表 1 槐树坪金矿床成矿流体氢、氧同位素组成

Table 1 Oxygen and hydrogen isotope composition of the Huaishuping gold deposit

序号	样品号	测试矿物	$\delta^{18}\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$t/^\circ\text{C}$	成矿阶段
1	HSP13D111B1	石英	-82	14.4	7.3	308	主阶段
2	HSP13D113B1	石英	-88	12.5	6.0	325	主阶段
3	HSP13D120B1	石英	-84	11.7	5.3	330	主阶段
4	HSP13D125B3	石英	-95	12.2	5.0	305	主阶段
5	ZK3-0905-B12	石英	-81	10.1	2.6	298	主阶段
6	ZK3-0916-B13	石英	-85	12.0	3.5	272	主阶段
7	ZK5-0905-B8	石英	-81	11.6	-1.3	190	晚阶段

注：均一温度来源于包裹体测温，数据尚未发表。

表 2 槐树坪金矿床矿石及地层和花岗岩的硫、铅同位素组成

Table 2 Sulfur and lead isotope composition of ores, strata and granite

采样位置	测试对象	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
槐树坪金矿床	黄铁矿(主阶段)	-4.4	18.761	15.622	38.730	本文
	黄铁矿(主阶段)	-7.7	17.080	15.434	37.713	
	黄铁矿(主阶段)	-4.0	17.270	15.457	37.775	
	黄铁矿(主阶段)	-1.8	17.354	15.434	37.471	
	黄铁矿(主阶段)	-2.4	17.044	15.368	37.544	
	黄铁矿(主阶段)	-1.4	17.064	15.406	37.537	
	黄铁矿(主阶段)	-5.0	17.063	15.435	37.590	
	黄铁矿(主阶段)	-4.3	16.990	15.370	37.628	
太华群	黑云斜长片麻岩		17.400	15.469	38.174	范宏瑞等，1994
	角闪斜长片麻岩		16.511	15.512	36.266	
	黑云斜长片麻岩		17.353	15.492	42.558	
	金云母角闪岩		16.968	15.359	37.775	
	斜长角闪岩		17.609	15.547	37.654	
	角闪斜长片麻岩		17.530	15.345	38.569	
	角闪黑云二长花岗岩		17.476	15.418	37.832	
花山花岗岩	黑云二长花岗岩		17.329	15.396	37.488	范宏瑞等，1994
	钾长石		17.440	15.520	37.975	
	钾长石		17.199	15.391	37.447	
	钾长石		17.473	15.455	37.886	
	大斑安山岩		16.907	15.421	36.346	
熊耳群	安山岩		16.647	15.300	36.876	范宏瑞等，1994
	杏仁状安山岩		16.349	15.271	36.489	
	蚀变安山岩		17.116	15.405	37.345	

研究结果表明该区金矿床具有基本相同的氢、氧同位素组成,成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值介于 $-8.7\text{‰} \sim -7.2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{D}$ 值介于 $-100\text{‰} \sim -45\text{‰}$, 且随着成矿作用的进行,成矿流体中混入的大气降水逐渐增多。槐树坪金矿床的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值介于 $-1.3\text{‰} \sim 7.3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{D}$ 值介于 $-95\text{‰} \sim -81\text{‰}$, 与熊耳山地区其他金矿的氢、氧同位素值相近,揭示本区金矿的成矿流体具有共同的来源和演化历史。与各类地质体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值对比表明,槐树坪金矿成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值位于花岗岩和大气降水范围内(图 5),显示出岩浆水和大气降水混合的特点。

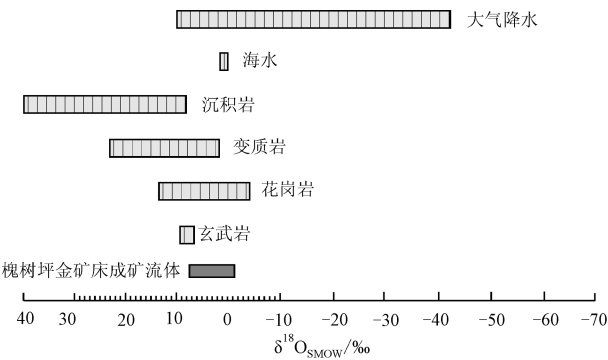


图 5 槐树坪金矿床成矿流体氧同位素分布范围图
(底图据 Hoefs, 1997)

Fig. 5 Distribution of $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ of ore-forming fluids from the Huaishuping gold deposit (base map after Hoefs, 1997)

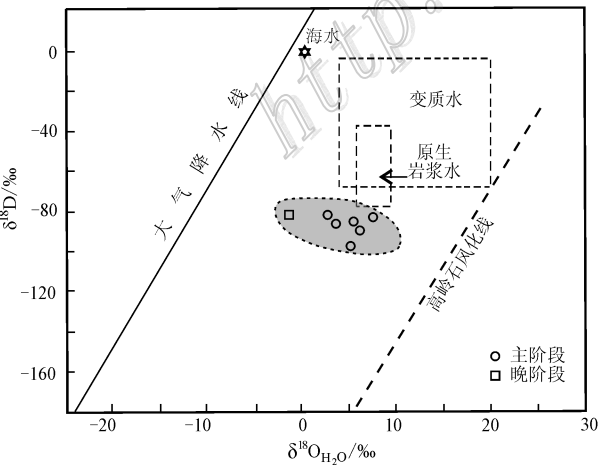


图 6 槐树坪金矿床成矿流体 $\delta^{18}\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 关系图解

Fig. 6 $\delta^{18}\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ diagram of ore-forming fluids from the Huaishuping gold deposit

从 $\delta^{18}\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解(图 6)可以看出,成矿流体属于岩浆水和大气降水的混合物。成矿主阶段总体偏向岩浆水方向,随着成矿作用向晚期进行,有向大气降水方向演化的趋势,表明晚期有较多大气降水参与成矿。

4.2 成矿物质来源

硫同位素组成特征在一定程度上可以反映成矿物质来源信息。地球上硫有 3 个储存库:① 幔源硫,同位素组成为 $\delta^{34}\text{S} = 0 \sim 3\text{‰}$ (Chaussidon et al., 1990);② 海水硫,在泥盆纪的同位素组成为 $\delta^{34}\text{S} = 20\text{‰}$ 左右;③ 沉积物中的还原硫,这种硫的同位素主要以具有较大的负值为特征 (Rollinson, 1993)。热液矿物硫同位素组成取决于源区物质 $\delta^{34}\text{S}$ 值和含硫物质在热液中迁移沉淀时的物理化学条件。研究表明,熊耳山地区金矿硫同位素可以分为 2 类,绝大多数石英脉型金矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SS}}$ 值集中分布于 $-5\text{‰} \sim 5\text{‰}$,绝大多数蚀变岩型金矿和少量石英脉型金矿的硫化物出现明显的负值,且变化范围较大,最小值可达 -28.5‰ (范宏瑞等, 1994; 卢欣祥等, 2004; 王团华等, 2009; 付治国等, 2009)。槐树坪金矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 $-7.7\text{‰} \sim -1.4\text{‰}$, 均为负值,硫同位素直方图(图 7)显示其塔式效应不明显。槐树坪金矿床为构造蚀变岩型金矿,其硫同位素组成特征与区域同类型金矿床一致。矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 出现负值并不代表成矿流体的初始硫同位素组成,而是由于深源硫在成矿作用过程中物理化学条件发生变化而引起其硫同位素发生分馏的结果(王团华等, 2009; 付治国等, 2009)。槐树坪金矿床成矿中晚期的石英内伴生少

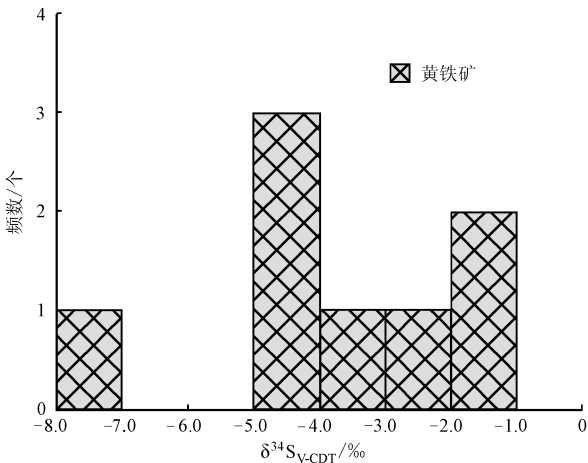


图 7 槐树坪金矿床硫同位素组成直方图

Fig. 7 $\delta^{34}\text{S}$ histogram for the Huaishuping gold deposit

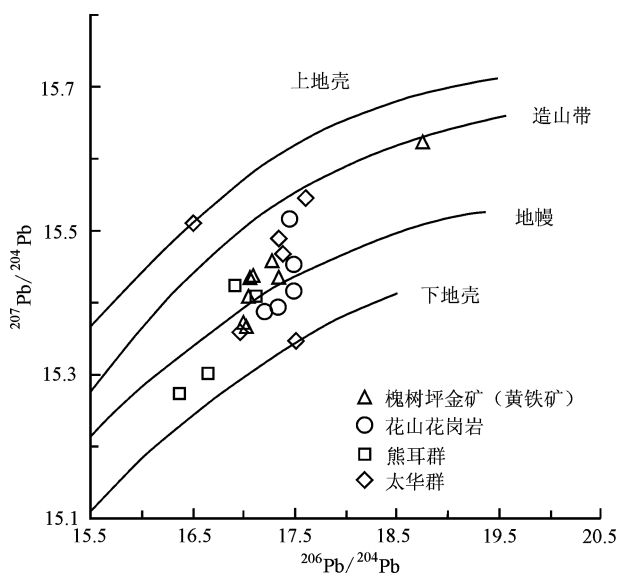


图8 槐树坪金矿床铅同位素构造环境图解

(底图据 Zartman et al., 1981)

Fig. 8 Isotopic structural environment for the Huaishuping gold deposit (base map after Zartman et al., 1981)

量重晶石,亦暗示在成矿作用过程中,随着不断向近地表迁移,成矿热液经历了从还原环境到氧化环境的转变。

将本次研究所取得的槐树坪金矿床矿石铅同位素数据与范宏瑞等(1994)取得的太华群、熊耳群和花山花岗岩的铅同位素数据,投影于 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造模式图(图8)可以看出,矿石铅的投影点均分布于地幔与造山带之间,且主要集中于地幔演化线附近;花山岩体与矿石铅投影点的分布特征相似,但更为集中;太华群的投影点分布范围较大,但多数集中于造山带与下地壳演化线之间;熊耳群的投影点主要分布于地幔演化线附近及地幔与下地壳演化线之间。由此可知,槐树坪金矿床的矿石和太华群、熊耳群、花山岩体的铅同位素均具有深源铅的特点,但在投影图中,槐树坪金矿床与太华群和花山岩体表现出来的关系更为密切。

熊耳山地区主要出露太古界太华群和中元古界熊耳群。区内大多数金矿产出于太华群变质基底内及太华群与熊耳群的不整合接触带及其附近(图1),这揭示了太华群变质岩系的成矿专属性。太华群变质岩的金丰度为 $0.71 \times 10^{-9} \sim 2.61 \times 10^{-9}$,熊耳群火山岩的金丰度为 $0.4 \times 10^{-9} \sim 1.4 \times 10^{-9}$,均明显低于地壳金丰度(黎世美,1996);花山岩体的金丰度

为 $0.9 \sim 5.1 \times 10^{-9}$ (汪东波等,1994),略高于太华群和熊耳群的金丰度。研究表明,太华群地层由于经历了多期变形变质作用,从而使地层中的易释放金被活化转移,剩下的为不易释放金,太华群的金丰度已不是初始金丰度,而是经历多期地质作用和成矿作用后的剩余丰度。熊耳山地区太华群的初始金丰度可达 100×10^{-9} 以上(范宏瑞等,1994)。花山岩体的原岩为太华群基底中基性火山岩系,其所含金元素主要来源于太华群地层。岩体具有使金活化的能力,后期脉岩可使早期花岗岩中的金富集到 13.5×10^{-9} (汪东波等,1994)。从岩体到接触带,金呈升高趋势,表明花山岩体不仅为成矿提供热动力和成矿流体,还可能提供了部分成矿物质来源。熊耳群地层由于未经历变形变质作用,缺少使金发生大规模活化转移的条件,可以认为熊耳群目前的金丰度可大致代表其初始金丰度。

综合硫、铅同位素以及对主要地层、花岗岩体的研究表明,槐树坪金矿床的成矿物质应主要来源于(直接或间接)太华群地层。太华群地层本身拥有较高的初始金丰度值,后期经历的变形变质和热液活动使金元素发生了活化、迁移和富集。

4.3 成矿时代

本次研究虽然没有开展成矿年龄方面的分析测试工作,但已有不少研究者对熊耳山地区一些典型金、银多金属矿床、斑岩型钼矿床及与成矿关系密切的中生代花岗岩体进行了年龄测定,取得了一批高精度年龄数据(表3),这些年龄数据能够为确定槐树坪金矿床的成矿年龄范围提供有力的数据支撑。

由表3可知,熊耳山地区金矿成矿作用主要集中于110~130 Ma,银多金属矿的测年数据较少,仅沙沟银铅矿取得测年数据,成矿年龄为145.2~147.6 Ma。本区中生代花岗岩体的成岩年龄介于127.2~156.8 Ma。金银多金属矿成矿事件略滞后于中生代岩浆活动。对于斑岩型钼矿而言,近年来陆续取得了一些新的找矿进展,并取得一批新的测年数据,指示斑岩型钼矿的成矿年龄介于115.5~145.8 Ma,成岩与成矿时差介于0.5~16.4 Ma,成矿事件同步或略滞后于同源岩浆活动。通过对本区典型矿床成矿年龄和典型岩体成矿年龄的系统研究表明,金、银、钼多金属矿化与中生代岩浆侵入活动具有密切的成因联系。

槐树坪金矿床赋存于熊耳群火山岩地层,受断裂构造控制,与燕山期酸性岩浆侵入活动密切相关,

表 3 豫西熊耳山地区金矿、斑岩型钼矿及中生代花岗岩同位素年龄一览表

Table 3 Isotopic age of the gold deposits, porphyry Mo deposits and Mesozoic granitoids in Xiong'er Mountain area

矿床/岩体名称	测试矿物	测试方法	年龄值/Ma	资料来源
庙岭金矿床	钾长石	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	121.6 ± 1.2	翟雷等, 2011
祈雨沟金矿床	钾长石	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	115	王义天等, 2001
	钾长石	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	125	王义天等, 2001
	石英	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	130.31 ± 0.86	齐金忠等, 2004
	石英	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	109.20 ± 0.70	齐金忠等, 2004
	石英	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	122.61 ± 0.61	齐金忠等, 2004
	正长石	K-Ar	120.75 ± 1.75	邵克忠等, 1992
前河金矿床	绢云母	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	126.99 ± 1.56	唐克非等, 2009
上宫金矿床	石英	Rb-Sr	112.6 ± 6.3	陈衍景等, 1992
沙沟银铅矿床	绢云母和铬云母	$^{40}\text{Ar}\text{-}^{39}\text{Ar}$	145.2 ± 2.5	毛景文等, 2006
			147.6 ± 2.3	
雷门沟钼(金)矿床	辉钼矿	Re-Os	133.1 ± 1.9	毛景文等, 2005
			131.6 ± 2.0	
沙坡岭钼矿床	辉钼矿	Re-Os	126.8 ± 1.7	苏捷等, 2009
东沟钼矿床	辉钼矿	Re-Os	116.5 ± 1.7	叶会寿等, 2006
			115.5 ± 1.7	
鱼池岭钼矿床	辉钼矿	Re-Os	131.2 ± 1.4	周珂等, 2009
南泥湖钼矿床	辉钼矿	Re-Os	141.8 ± 2.1	毛景文等, 2005
上房沟钼矿床	辉钼矿	Re-Os	143.8 ± 2.1	毛景文等, 2005
			145.8 ± 2.1	
三道庄钼矿床	辉钼矿	Re-Os	144.5 ± 2.2	毛景文等, 2005
			145.0 ± 2.2	
			145.4 ± 2.0	
花山岩体	锆石	SHRIMP	130.7 ± 1.4	毛景文等, 2005
			132 ± 1.6	李永峰, 2005
			127.6 ± 1.1	孟芳等, 2012
金山庙岩体	全岩	K-Ar	128	李永峰, 2005
	锆石	SHRIMP	129.3 ± 1.5	孟芳等, 2012
太山庙岩体(中粗粒)	锆石	LA-ICP-MS	125 ± 1	Wang et al., 2015
太山庙岩体(中细粒)		LA-ICP-MS	121 ± 1	
太山庙岩体(花岗斑岩)		LA-ICP-MS	113 ± 1	
五丈山岩体	锆石	SHRIMP	156.8 ± 1.2	毛景文等, 2005
			153.6 ± 1.3	孟芳等, 2012
合峪岩体	锆石	SHRIMP	127.2 ± 1.4	毛景文等, 2005
		LA-ICP-MS	138.2 ± 2.3	程知言等, 2013
雷门沟斑岩体	锆石	SHRIMP	136.2 ± 1.5	毛景文等, 2005
		LA-ICP-MS	114 ± 1	戴宝章等, 2009
东沟斑岩体	锆石	LA-ICP-MS	117 ± 1	戴宝章等, 2009
		SHRIMP	112 ± 1	叶会寿等, 2006
鱼池岭斑岩体	锆石	LA-ICP-MS	135.2 ± 2.4	程知言等, 2013
上房沟斑岩体	锆石	SHRIMP	157.6 ± 2.7	毛景文等, 2005
南泥湖斑岩体	锆石	SHRIMP	158.2 ± 3.1	毛景文等, 2005

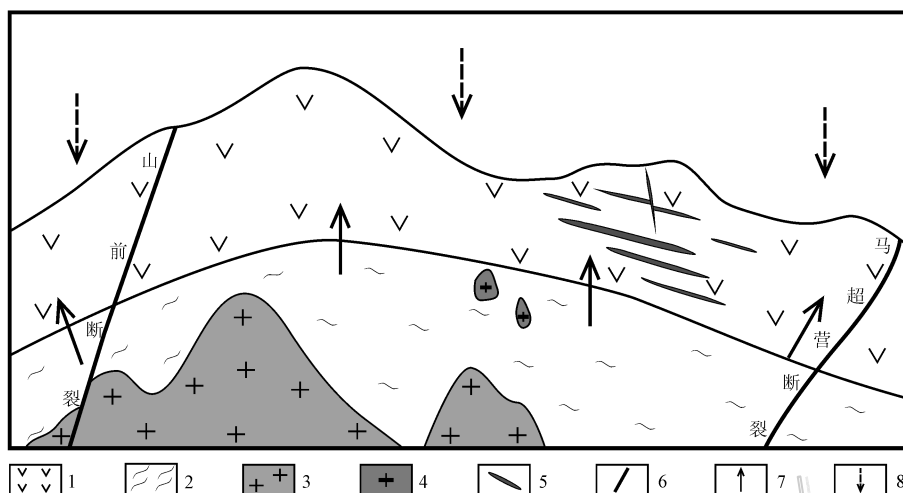


图9 槐树坪金矿床成矿模式示意图

1—熊耳群; 2—太华群; 3—花岗岩; 4—花岗斑岩; 5—矿体; 6—断层; 7—岩浆热液转移方向; 8—大气降水运移方向

Fig. 9 Metallogenic model for the Huaishuping gold deposit

1—Xiong'er Group; 2—Taihua Group; 3—Granite; 4—Granite porphyry; 5—Orebody; 6—Fault; 7—Direction of magmatic water; 8—Direction of movement of meteoric water

是区域上典型的构造蚀变岩型金矿之一。根据本区其他金矿已取得的成矿年龄数据和与金矿成矿关系密切的花岗岩成岩年龄数据, 笔者认为槐树坪金矿床应形成于 110~130 Ma。

4.4 成矿地球动力学背景

熊耳山地区位于华北板块南缘与秦岭造山带连接地带, 是世界上最古老的古大陆边缘之一, 其地质构造演化涉及华北板块、秦岭造山带、扬子板块 3 大构造单元, 主要经历了新太古代—古元古代统一克拉通形成阶段、中新元古代裂谷带的形成演化、新元古代晚期—中三叠世现代体制板块构造运动阶段和中新生代陆内造山-伸展构造运动阶段。

华北板块南缘在新太古代前是华北、扬子统一克拉通的一部分, 它与华北板块的登封群、涑水群等太古宇地层共同组成了华北板块的太古宙统一基底, 并共同经历了新太古代末期的嵩阳运动和古元古代的五台、中岳运动的变形变质, 并最终发展成为华北板块的结晶基底。组成结晶基底的太华群属于裂谷型花岗绿岩建造, 具有较高的原始金丰度值, 为金成矿奠定了物质基础。新太古代和古元古代发生的强烈变形变质及混合岩化作用, 促使金元素发生了初步的活化、迁移和预富集(王志光等, 1997)。

华北、扬子统一古陆在古元古代沿东西方向发生张裂, 形成初始裂谷, 而此时华北板块南缘仅在其北侧的嵩箕地区发育一套绿片岩相火山沉积岩系。古元古代末期的褶皱造山作用使初始裂谷封闭, 并

于中元古代再次打开。此时华北板块南缘开始裂解, 熊耳裂谷开始发生、发展, 形成了以中基性-酸性熔岩夹海陆相碎屑沉积为主的熊耳群火山-沉积岩系。在熊耳群火山岩南侧的大陆缘斜坡上形成以浅海-滨海相陆源碎屑-碳酸盐岩建造为主的官道口群(王志光等, 1997)。

经历中元古代裂谷与小洋盆并存的构造演化阶段之后, 从新元古代开始, 秦岭构造带进入以现代板块构造体制为基本特征的构造演化阶段, 发生扩张、俯冲和碰撞造山作用。作为板块构造演化的最后阶段, 秦岭构造带于中三叠世发生最后、全面的陆陆碰撞造山, 结束了秦岭造山带以板块拉张、洋壳俯冲为代表的现代板块构造体制, 使华北、秦岭与扬子陆块形成了一个新的统一陆块, 进入了陆内构造演化阶段(张国伟等, 1997)。

进入中新生代以后, 华北板块南缘产生强烈的陆内变形, 发生了大规模的逆冲推覆、伸展与滑脱拆离以及走滑平移构造运动。晚侏罗世—早白垩世构造环境由前期的强烈挤压向后期的伸展转变, 诱发深部于碰撞造山时期形成的重熔岩浆沿构造薄弱部位侵位, 在熊耳山地区形成花山、五丈山、金山庙等岩体。酸性岩浆的侵位、上拱, 促使太华群和熊耳群的接触面产生构造拆离, 并在地层内部形成一系列缓倾斜层间滑动断裂, 同时也导致先期形成的断裂构造规模进一步扩大, 为成矿溶液提供了运移通道和有利容矿空间(图 9)。酸性岩浆在上侵过程中不

仅提供成矿热动力条件,而且还分异出富含挥发组分的岩浆热液,促使岩石、岩层内的挥发组分、成矿物质发生进一步活化、迁移,形成含矿流体并最终在有利的构造体系中充填、交代富集成矿。

5 结 论

(1) 槐树坪矿区断裂构造可分为陡倾切层断裂和缓倾层间破碎带 2 种类型,缓倾层间破碎带是最重要的控矿和容矿构造,是实现找矿突破的关键。

(2) 氢、氧同位素研究表明槐树坪金矿床成矿流体主要来源于岩浆水和大气降水,成矿主阶段以岩浆水为主,晚期有较多大气降水的加入。

(3) 硫、铅同位素特征及对主要地层、花岗岩体的研究表明,槐树坪金矿床成矿物质主要成来源于(直接或间接)太华群地层。

(4) 槐树坪金矿床的成矿过程经历了早期变形、变质作用的预富集,并于中生代后碰撞伸展构造环境下大规模富集成矿。

References

- Chaussidon M and Lorand J P. 1990. Sulphur isotope composition of orogenic spinel ilmenite massifs from Ariège (North-Eastern Pyrenees, France): An ion microprobe study [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54 :2835-2846.
- Chen Y J and Fu S G. 1992. Gold mineralization in west Henan, China [M]. Beijing: Seismological Press. 1-209 (in Chinese).
- Chen Z Y, Hu J, Jiang S Y, Zhang Z Z, Dai B Z, Xiao E and Wang Y F. 2013. Zircon U-Pb dating and Hf isotopes of the granites related to Yuchiling Mo deposit in Songxian County and their constraints on the metallogenetic age [J]. *Geological Journal of China Universities*, 19(3): 403-414 (in Chinese with English abstract).
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. *Journal of Geophysical Research*, 77(17): 3057-3067.
- Dai B Z, Jung S Y and Wang X L. 2009. Petrogenesis of the granitic porphyry related to the giant molybdenum deposit in Donggou, Henan Province, China: Constraints from petrogeochemistry, zircon U-Pb chronology and Sr-Nd-Hf isotopes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (11): 2889-2901 (in Chinese with English abstract).
- Fan H R, Xie Y H, Zhao R and Wang Y L. 1994. Stable isotope geochemistry of rocks and gold deposits in the Xiong 'ershan area, western Henan Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 9(1): 54-64 (in Chinese with English abstract).
- Fu Z G, Weng J C and Lu X X. 2009. Sulfur isotope geochemical characteristics of gold deposits in Xiaolinling-Xiong 'er Mountain area [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 33 (5): 507-519 (in Chinese with English abstract).
- Hoefs J. 1997. *Stable isotope geochemistry* [M]. 3rd edition. Berlin: Springer-Verlag. 1-250.
- Li S M, Qu L Q, Su Z B, Huang J J, Wang X S and Yue Z S. 1996. The geology and metallogenic prediction of the gold deposit in Xiaolinling [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-250 (in Chinese).
- Li Y F. 2005. The temporal-spatial evolution of Mesozoic granitoids in the Xiong 'ershan area and their relationships to molybdenum-gold mineralization (Doctor thesis) [D]. Supervisor: Mao J W and Wang Z G. Beijing: China University of Geosciences. 63-66 (in Chinese with English abstract).
- Liang T, Lu R, Bai F J, Zhang X Y, Chen L J, Cheng J L and Wang M G. 2012. Spatial distribution features of Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in Xiong 'er Mountain, western Henan Province, and their implication for prospecting [J]. *Mineral Deposits*, 31(3): 590-600 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Wei X D, Yu Z P and Ye A W. 2003. Characteristics of ore-forming fluids in gold deposits of Xiaolinling-Xiong 'ershan area [J]. *Mineral deposits*, 22 (4): 377-385 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Yu 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 characteristics of gold deposits and mantle fluids of Xiaolinling-Xiong 'ershan Region [M]. Beijing: Geology Publishing House. 1-128 (in Chinese).
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. 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).
- Mao J W, Zheng R F, Ye H S, Gao J J and Chen W. 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of fuchsite and sericite from altered rocks close to ore veins in Shagou large-size Ag-Pb-Zn deposit of Xiong 'ershan area, western Henan Province, and its significance [J]. *Mineral deposits*, 25(4): 359-368 (in Chinese with English abstract).
- Mei X J, Zhang C H, Yang X D and Guo Y X. 2014. The controlling of secondary detachment fault for gold mineralization in western Henan Province: Taking Huaishuping gold mine as an example [J]. *Gold*

- Science and Technology, 22(2): 7-12 (in Chinese with English abstract).
- Meng F, Ye H S and Gao Y L. 2012. Geologic features and SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in Xiong 'er Mountain, western Henan Province [J]. Mineral Deposits, 31 (Supp.): 591-592 (in Chinese with English abstract).
- Qi J Z, Ma Z R and Li L. 2004. Fluid evolution of Qiyugou cryptoexplosive breccias type gold deposit, Henan [J]. Cold Geology, 10(4): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation [M]. London: Longman Scientific and Technical Press. 306-308.
- Shao K Z and Wang B D. 1992. Mineralization and metallogenic regularity of gold deposits in the northwest of Songxian County [J]. Henan Geology, 10(3): 161-167 (in Chinese).
- Su J, Zhang B L, Sun D H, Cui M L, Qu W J and Du A D. 2009. Geological features and Re-Os isotopic dating of newly discovered Shapoling veinlet-disseminated Mo deposit in the eastern section of east Qinling mountains and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 83(10): 1490-1496 (in Chinese with English abstract).
- Tang K F and Li J W. 2009. Mineralization characteristics, metallogenic epoch and ore genesis of Qianhe gold deposit in Song County, Henan Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 29(S1): 136-137 (in Chinese).
- Wang C M, Chen L, Bagas L, Lu Y J, He X Y and Lai X R. 2015. Characterization and origin of the Taishanmiaolun aluminous A-type granites: Implications for Early Cretaceous lithospheric thinning at the southern margin of the North China Craton [J]. Int. J. Earth Sci., doi: 10.1007/s00531-015-1269-9.
- Wang D B and Shao S C. 1994. The geochemical constraints on mineral source and genesis of gold deposits in Xiong 'ershan area [J]. Mining Technology, 13(1): 4244 (in Chinese).
- Wang F R. 2009. Geological feature and orecontrolling factors of Dayugou gold deposit in Songxian, Henan Province [J]. Mineral Resources and Geology, 23(5): 448~452 (in Chinese with English abstract).
- Wang T H, Xie G Q, Ye A W and Li Z Y. 2009. Material sources of gold deposits in Xiaoqinling-Xiong 'ershan area of western Henan Province as well as the relationship between gold deposits and intermediate-basic dykes [J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(1): 27-38 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y T, Mao J W and Lu X X. 2001. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian County, Henan Province [J]. Geological Review, 47(5): 551-555 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z G, Cui B, Xu M L, Zheng S M, Wang F G, Lü X, Zhang L and Cheng G G. 1997. The tectonic evolution and mineralization in the south margin of North China Block [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press. 12-255 (in Chinese).
- Xu G, Zhang Y, Fang R and Zuo J. 2013. Analysis of the type of gold deposits and ore-controlling factors in Xiong 'ershan region, Henan Province [J]. Gold, 2(34): 25-31 (in Chinese with English abstract).
- Xu H W, Yang J D and Wang G K. 2009. Metallogenetic feature and origin analysis of Huaishuping gold deposit of Song County in Henan [J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 28(6): 719-726 (in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Li Y F, Guo B J, Zhang C Q, Liu J, Yan Q R and Liu G Y. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling, China, and its geological implication [J]. Acta Geologica Sinica, 80(7): 1078-1088 (in Chinese with English abstract).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics the model [J]. Tectonophysics, 75: 135-142.
- Zhang G W, Dong Y P and Yao A P. 1997. The crustal compositions, structures and tectonic evolution of the Qinling Orogenic Belt [J]. Geology of Shanxi, (2): 1-14 (in Chinese with English abstract).
- Zhang M C, Li X S, Xu H A and Sun Y Y. 2010. A tentative study on genesis and prospecting direction of Huaishuping gold deposit in Songxian, Henan Province [J]. Mining Technology, 10(1): 83-88 (in Chinese).
- Zhai L, Liu Y G and Jiao Y H. 2011. Geological features and ore-forming age of Miaoling gold deposit in Henan [J]. Jilin Geology, 30(2): 34-40 (in Chinese with English abstract).
- Zhou K, Ye H S, Mao J W, Qu W J, Zhou S F, Meng F and Gao Y L. 2009. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Yuchiling porphyry Mo deposit in western Henan Province [J]. Mineral Deposits, 28(2): 170-184 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社. 1-209.
- 程知言, 胡建, 蒋少涌, 张遵忠, 戴宝章, 肖娥, 王艳芬. 2013. 河南

- 鱼池岭钼矿有关花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素研究及其对成矿时代的制约[J]. 高校地质学报, 19(3):403-414.
- 戴宝章, 蒋少涌, 王孝磊. 2009. 河南东沟钼矿花岗岩斑岩成因: 岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. 岩石学报, 25(11):2889-2901.
- 范宏瑞, 谢奕汉, 赵瑞, 王英兰. 1994. 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.
- 付治国, 瓮纪昌, 卢欣祥. 2009. 小秦岭-熊耳山地区金矿硫同位素地球化学特征[J]. 物探与化探, 33(5):507-519.
- 黎世美, 瞿伦全, 苏振邦, 黄建军, 王小生, 岳铮生. 1996. 小秦岭金矿地质和成矿预测[M]. 北京:地质出版社. 1-250.
- 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]. 导师:毛景文, 王志光. 北京:中国地质大学. 63-66.
- 梁涛, 卢仁, 白凤军, 张晓永, 陈丽娟, 成静亮, 王明国. 2012. 豫西熊耳山 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的空间分布特征及找矿启示[J]. 矿床地质, (31)3:590-600.
- 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流体特征[J]. 矿床地质, 22(4):377-385.
- 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. 1-128.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 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.
- 毛景文, 郑榕芬, 叶会寿, 高建京, 陈文. 2006. 豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿床成矿的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 25(4):359-368.
- 梅秀杰, 张参辉, 杨显道, 郭玉溪. 2014. 豫西次级拆离断层对金矿成矿的控制作用——以河南槐树坪金矿为例[J]. 黄金地质, 22(2):7-12.
- 孟芳, 叶会寿, 高亚龙. 2012. 豫西熊耳山地区花岗岩地质特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 矿床地质, 31(增刊):591-592.
- 齐金忠, 马占荣, 李莉. 2004. 河南祁雨沟金矿床成矿流体演化特征[J]. 黄金地质, 10(4):1-9.
- 邵克忠, 王宝德. 1992. 嵩县西北地区金矿成矿作用及成矿规律[J]. 河南地质, 10(3):161-167.
- 苏捷, 张宝林, 孙大亥, 崔敏利, 屈文俊, 杜安道. 2009. 东秦岭东段新发现的沙坡岭细脉浸染型钼矿地质特征、Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(10):1490-1496.
- 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, 29(S1):136-137.
- 汪东波, 邵世才. 1994. 熊耳山地区金矿床成矿物质来源及成因的地球化学论证[J]. 矿物岩石地球化学通报, 13(1):42-44.
- 王凤茹. 2009. 河南省嵩县大峪沟金矿地质特征及控矿因素[J]. 矿产与地质, 23(5):448-452.
- 王团华, 谢桂青, 叶安旺, 李宗彦. 2009. 豫西小秦岭-熊耳山地区金矿成矿物质来源研究——兼论中基性岩墙与金成矿作用关系[J]. 地球学报, 30(1):27-38.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学证据[J]. 地质论评, 47(5):551-555.
- 王志光, 崔毫, 徐孟罗, 郑尚模, 王福贵, 吕厦, 张林, 程广国. 1997. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京:冶金工业出版社. 12-255.
- 徐刚, 张有, 方荣, 左家. 2013. 河南省熊耳山地区金矿床类型及控矿因素分析[J]. 黄金, 2(34):25-31.
- 徐红伟, 杨九鼎, 王国库. 2009. 河南省嵩县槐树坪金矿成矿地质特征及成因分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 28(6):719-726.
- 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 郭保健, 张长青, 刘璐, 闰全人, 刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 80(7):1078-1088.
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 1997. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质, 15(2):1-14.
- 张木辰, 李喜山, 徐海安, 孙越英. 2010. 试论河南省嵩县槐树坪金矿床成因及找矿方向[J]. 采矿技术, 28(6):83-88.
- 翟雷, 刘玉刚, 焦永会. 2011. 河南省嵩县庙岭金矿床地质特征与成矿时代[J]. 吉林地质, 30(2):34-40.
- 周珂, 叶会寿, 毛景文, 屈文俊, 周树峰, 孟芳, 高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-钨同位素年龄[J]. 矿床地质, 28(2):170-184.