

文章编号: 0258-7106(2009)01-0063-10

河南桐柏围山城地区主要金银矿床的 成矿年代学研究*

江思宏¹, 聂凤军¹, 方东会², 刘翼飞¹, 张万益¹, 许东青¹, 张志军³

(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 安徽省地质矿产勘查局 326 地质队, 安徽 安庆 246001; 3 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014)

摘要 河南省桐柏县围山城地区是秦岭-大别造山带上一个重要的金银矿集区, 主要有破山大型银矿床、银洞坡大型金矿床和银洞岭大型银矿床。文章对围山城地区主要金银矿床内的蚀变矿物开展了⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究, 其中在破山银矿床内蚀变云斜煌岩的黑云母里获得的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(129.0 ± 1.1)Ma, 等时线年龄为(128.4 ± 3.5)Ma(2σ), MSWD=0.12, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为(304 ± 84) × 2σ; 银洞坡金矿床含金石英脉中绢云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(373.8 ± 3.2)Ma, 等时线年龄为(373 ± 13)Ma(2σ), MSWD=0.073, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为(301 ± 320)(2σ); 银洞岭银矿床矿化蚀变岩中绢云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(377.4 ± 2.6)Ma, 等时线年龄为(377.8 ± 5.7)Ma(2σ), MSWD=0.70, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为(312 ± 55) × 2σ。这些年龄基本上代表了矿床的形成时代。研究结果表明, 围山城地区主要金银矿床(包括银洞坡金矿床、银洞岭银矿床和破山银矿床)的形成与二郎坪弧后盆地闭合导致的碰撞与挤压变质作用有关, 均属于造山型金银矿床。由于受后期梁湾岩体燕山期岩浆活动的影响, 破山银矿床可能遭受了改造, 故在矿区蚀变云斜煌岩的黑云母里记录下了这期较晚的成矿事件。

关键词 地质学; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学; 成矿年龄; 金银矿床; 围山城; 河南

中图分类号: P618.51 Ⅹ18.52

文献标志码: A

Geochronology of major gold and silver deposits in Weishancheng area, Tongbai County, Henan Province

JIANG SiHong¹, NIE FengJun¹, FANG DongHui², LIU YiFei¹, ZHANG WanYi¹, XU DongQing¹
and ZHANG ZhiJun³

(1 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 No. 326 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Anqing 246001, Anhui, China; 3 No. 1 Institute of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract

The Weishancheng area in Tongbai County of Henan Province is an important Au-Ag ore concentration area in the Qinling-Dabie orogenic belt between the North China Plate and the Yangtze Plate. Three large-size gold and silver deposits, i. e., the Poshan Ag deposit, the Yindongpo Au deposit and the Yindongling Ag deposit, are hosted by the Neoproterozoic Waitoushan Formation within the Heqianzhuang anticline in Weishancheng area. In order to obtain the ore-forming ages, the authors studied the altered minerals separated from the major

* 本文得到全国危机矿山项目(编号 200641037)地质大调查项目(编号 1212010733803)和国土资源部百人计划项目的联合资助

第一作者简介 江思宏,男,1968年生,博士,研究员,主要从事金属矿床成矿规律研究。联系电话:010-68999042; Email: jiangsihong1@163.com

收稿日期: 2008-06-16; 改回日期: 2008-08-05。李德先编辑。

gold and silver deposits by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating method. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age dating of biotite from the altered kersantite dyke in the Poshan Ag deposit gives a plateau age of $(129.0 \pm 1.1)\text{Ma}$, an isochron age of $(128.4 \pm 3.5)\text{Ma}$ (2σ) with the MSWD being 0.12, and an initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ value of (304 ± 84) (2σ), while the sericite from the auriferous quartz vein in the Yindongpo Au deposit gives a plateau age of $(373.8 \pm 3.2)\text{Ma}$, an isochron age of $(373 \pm 13)\text{Ma}$ (2σ) with the MSWD being 0.073, and an initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ value of (301 ± 320) (2σ). In comparison, the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age dating of sericite from the altered rocks in the Yindongling Ag deposit gives a plateau age of $(377.4 \pm 2.6)\text{Ma}$, an isochron age of $(377.8 \pm 5.7)\text{Ma}$ (2σ) with the MSWD being 0.70, and an initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ value of (312 ± 55) (2σ). These $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages can represent the ore-forming time of these gold and silver deposits in Weishancheng area. It is thus held that the formation of these major gold and silver deposits in Weishancheng area, namely the Poshan Ag deposit, the Yindongpo Au deposit and the Yindongling deposit, are related to the collision and compressional metamorphism resulting from the closure of the Erlangping back-arc basin. Therefore, these gold and silver deposits are orogenic deposits. The Poshan Ag deposit might have been transformed during the intrusion of the Liangwan stock in Yanshanian period, as evidenced by the fact that the biotite from the altered Caledonian kersantite dyke in the Poshan Ag deposit has a $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age of $(129.0 \pm 1.1)\text{Ma}$, a bit younger than the emplacement age of the Liangwan stock.

Key words: geology, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology, ore-forming age, Au-Ag deposit, Weishancheng, Henan

河南省桐柏县围山城地区是秦岭-大别造山带上一个重要的矿集区,以金银等贵金属为主,主要有破山大型银矿床、银洞坡大型金矿床和银洞岭大型银矿床。前人曾对该区金银矿床开展了大量的矿床地质与地球化学研究工作(陈德凯等,1984;陈衍景,1995;张宗恒等,1999;张静,2004;吴宏伟等,2005;汪宗炜等,2006;万守全,2005;2006),但是多年来一直没有获得比较可靠的成矿年龄数据。本研究通过相关样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年,获得了矿区的成矿年龄数据,这对认识本区金银矿床的成矿规律具有十分重要的意义。

1 地质概况

围山城金银成矿带位于河南省桐柏山北麓,南阳盆地与吴城盆地之间,构造上位于华北板块与扬子板块之间的秦岭造山带与大别造山带衔接部位的北秦岭构造带(万守全,2005)。矿带内出露的地层由新元古界歪头山岩组构成,为一套中浅变质的火山碎屑-沉积岩系,呈北西-南东向狭长带状展布,并构成河前庄背斜(又称朱庄背斜)的主体(图1)。矿带北部出露有桃园岩体和梁湾岩体,局部地区的地层中见有煌斑岩脉等穿插。

在围山城金银矿带内产出3个大型金银矿床,分别是位于矿带西部的破山银矿床,中部的银洞坡金矿床和东部的银洞岭银矿床(图1)。

1.1 破山银矿床

破山银矿床位于围山城金银成矿带的西部,矿体产于河前庄背斜西南翼一系列平行的北西向层间挤压断裂中。赋矿层位是新元古界歪头山组上部第二岩性段($\text{Pt}_3\omega_3^2$)的碳质绢云石英片岩。矿区内共圈定矿体13个,矿体呈似层状、脉状、透镜状产出,具有膨胀收缩、分支复合、尖灭再现等特征,产状与地层基本一致。平面上呈雁行状(图2a),剖面上呈多层叠瓦式排列。主要有A1、A4、A5、A6、A7、A8等6个工业矿体,其中A1号矿体长1900m,175~210m中段的银储量大于1000t。

矿石中金属矿物含量占10%左右,主要有辉银矿、自然银、方铅矿、闪锌矿和黄铁矿,脉石矿物主要为方解石、石英、斜长石、绢云母和白云母等。矿石中均含有大量碳质。银主要以独立矿物形式存在,以辉银矿为主,自然银次之,另有少量深红银矿、硫铜银矿和微量银金矿。主要矿石结构有自形-半自形粒状结构、他形粒状结构、固溶体分离结构、交代(溶蚀)结构、压碎结构,主要矿石构造有浸染状构造、网脉状-脉状构造和角砾状构造。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化和碳酸盐化,其次为绿泥石化和粘土化。

1.2 银洞坡金矿床

银洞坡金矿床位于围山城金银成矿带的中部河前庄背斜向北西倾伏部位。赋矿层位为新元古界歪头山组中部第二岩性段($\text{Pt}_3\omega_2^2$)和第三岩性段

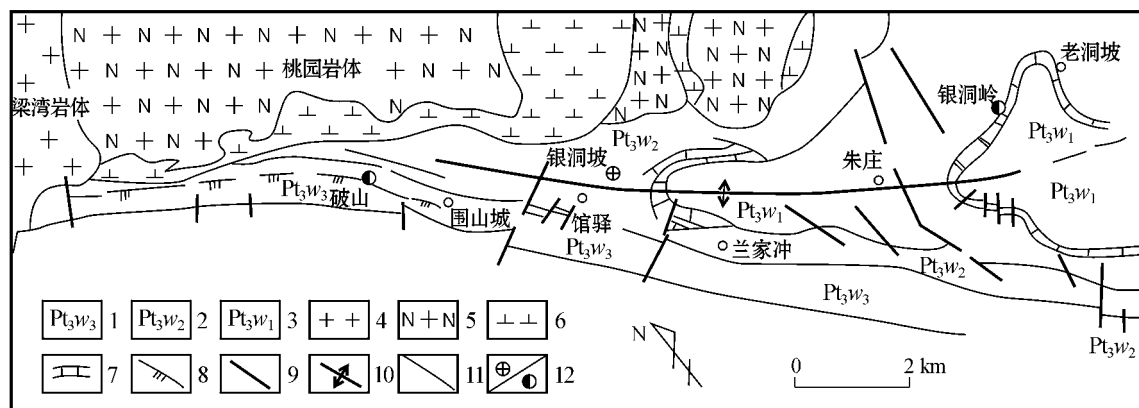


图 1 围山城金银矿带地质构造简图(引自吴宏伟等 2005)

1—新元古界歪头山组上部;2—新元古界歪头山组中部;3—新元古界歪头山组下部;4—燕山期花岗岩;5—加里东期花岗岩;6—加里东期闪长岩;7—大理岩;8—挤压破碎带;9—断层;10—背斜轴线;11—地质界线;12—金/银矿床

Fig. 1 Geological sketch map of the Weishancheng Au-Ag ore belt (after Wu et al. 2005)

1—Upper part of Neoproterozoic Waitoushan Formation; 2—Central part of Neoproterozoic Waitoushan Formation; 3—Lower part of Neoproterozoic Waitoushan Formation; 4—Yanshanian granite; 5—Caledonian granite; 6—Caledonian diorite; 7—Marble; 8—Fractured zone; 9—Fault; 10—Axial line of the anticline; 11—Geological boundary; 12—Gold/silver deposit

($Pt_3w_3^2$)的碳质绢云石英片岩和变粒岩。矿区分为东、西 2 个矿段,东矿段圈定了 19 个矿体,集中分布在 W4-E14 勘探线之间,主要工业矿体有 1、2、3 和 3-1 号矿体;西矿段圈定了 10 个矿体,主要集中在 W4-W22 勘探线之间,主要工业矿体有 1、3-1、55、54 和 51-2 号矿体,规模不及东段(图 2b)。全矿区 Au 的平均品位是 8.95 g/t。其中 1 号矿体规模最大,长 1 600 m,最大延深 600 m,厚度 7.6 m,倾角 45~75°,Au 平均品位为 6.23 g/t。

矿体的空间分布和规模严格受河前庄背斜转折端和枢纽倾伏方向控制(图 2b),矿体产状与地层产状基本一致,矿体形态多呈似层状、透镜状、鞍状及脉状。无论在平面上还是在剖面上矿体都平行产出,多层状重叠出现,单矿体间相距较近,沿走向、倾向常出现膨胀、收缩(或尖灭)、分枝、复合等现象。

矿石中主要金属矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿,金、银矿物主要为自然金、自然银和辉银矿,脉石矿物以石英和绢云母为主。常见的矿石结构有自形-半自形结构、他形粒状结构、固溶体分离结构、交代溶蚀结构和压碎结构等,矿石构造主要有脉状-网脉状构造、浸染状构造、层状-条带状构造、块状构造和角砾状构造等。与矿化有关的围岩蚀变主要有硅化、绢云母化和碳酸盐化,其中硅化最强烈。

1.3 银洞岭银矿床

银洞岭银矿床位于围山城金银成矿带的东部,

河前庄背斜北东翼和老洞坡褶皱北西翼结合部位。赋矿地层为新元古界歪头山岩组下部第 5 岩性段($Pt_3w_1^5$)硅化白云石英片岩、变粒岩和碎裂大理岩,控矿构造为北东向层间剥离断层,矿体受层位和构造双重控制(图 2c)。共圈定了 A1 和 A2 两个主矿体,其中 A1 矿体总体走向 70°,倾向北西,倾角 30~40°,产状与层间剥离断层一致。矿体呈似层状,具膨胀及尖灭再现现象。主要金属矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然银、黄铜矿和辉银矿,脉石矿物有石英、绢云母、白云母和方解石等。常见的矿石结构有自形-半自形结构、他形粒状结构、交代溶蚀结构和压碎结构等,矿石构造以角砾状和细脉浸染状为主。近矿围岩蚀变以硅化为主,横向上表现为以硅化、绢云母化、铅锌矿化为中心,两侧伴以碳酸盐化、绿泥石化和泥化(吴宏伟等 2005)。

2 样品采集及测试方法

2.1 样品采集

样品 PS3 黑云母采自破山银矿床 140 m 中段的蚀变云斜煌岩脉,脉岩与银矿体平行产出,岩石蚀变较为强烈。镜下观察表明,云斜煌岩具煌斑结构,其中斑晶约占 15%,大小一般在 2~4 mm 之间,为自形叶片状黑云母,但多已蚀变,被绿泥石所交代,仅有少许残留,基质主要由蚀变黑云母(约占 30%,已

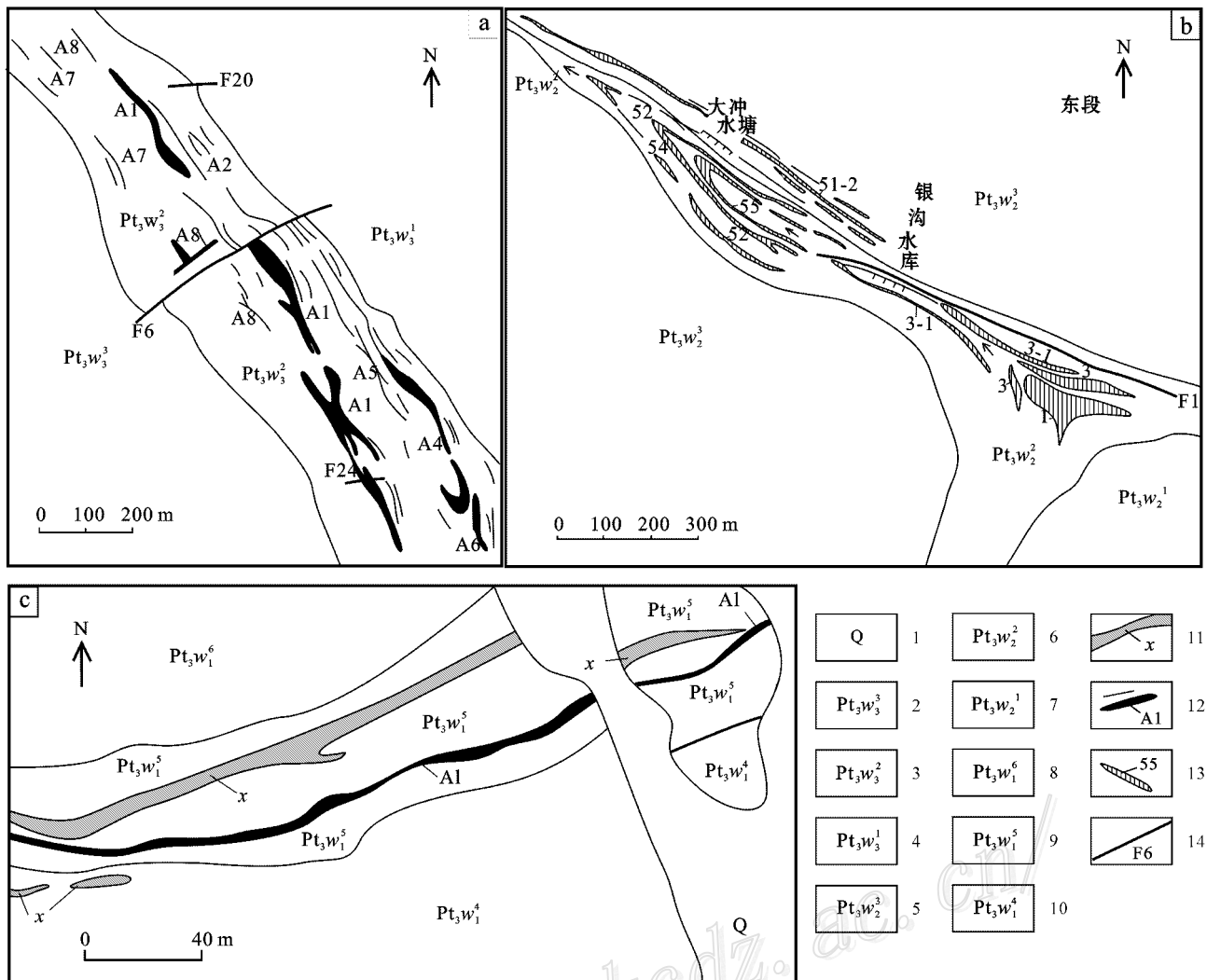


图2 破山银矿床(a) 银洞坡金矿床(b) 和银洞岭银矿床(c)地质简图(引自王宗炜等, 2006; 吴宏伟等, 2005)

1—第四系; 新元古界歪头山组; 2—上部第三岩性段; 3—上部第二岩性段; 4—上部第一岩性段; 5—中部第三岩性段; 6—中部第二岩性段; 7—中部第一岩性段; 8—下部第六岩性段; 9—下部第五岩性段; 10—下部第四岩性段; 11—煌斑岩脉; 12—银矿体及编号; 13—金矿体及编号; 14—断层及编号

Fig. 2 Simplified geological maps of the Poshan Ag deposit (a), the Yindongpo Au deposit (b) and the Yindongling Ag deposit (c) (after Wang et al. 2006; Wu et al. 2005)

1—Quaternary; Neoproterozoic Waitoushan Formation; 2—3rd lithologic section of the upper part; 3—2nd lithologic section of the upper part; 4—First lithologic section of the upper part; 5—3rd lithologic section of the central part; 6—2nd lithologic section of the central part; 7—First lithologic section of the central part; 8—6th lithologic section of the lower part; 9—5th lithologic section of the lower part; 10—4th lithologic section of the lower part; 11—Lamprophyre dyke; 12—Silver ore body and its serial number; 13—Gold ore body and its serial number; 14—Fault and its serial number

经蚀变成绿泥石)和长石(约占50%,已经完全被碳酸盐矿物和粘土矿物等交代)所组成。由于在银矿体中难以采集到粒度较大的矿化蚀变绢云母矿物,因此采集与矿体平行的蚀变云斜煌岩脉中的黑云母,并考虑到黑云母封闭温度低,有可能会记录下最新的一期成矿事件。

样品 YDP1 绢云母采自银洞坡金矿区 W6 线

196#平硐中的含金石英脉,硐口位置地理坐标为东经 113°25'17.3",北纬 32°33'06"。绢云母呈丝绸光泽,鳞片状,粒度较大,可达 2 mm 左右,呈细脉或薄膜状与浸染状方铅矿和黄铁矿一起产于石英脉中,明显为热液蚀变绢云母。

样品 YDL1 绢云母采自银洞岭银矿床矿化蚀变岩中,采样位置地理坐标为东经 113°29'15.7",北纬

32°31′01.3″。绢云母局部颗粒较大,可达 3~4 mm,与方铅矿和闪锌矿等硫化物一起产出。

上述这些黑云母和绢云母单矿物均易于挑选与提纯,因此被用来进行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代测定,以此来确定破山银矿床、银洞坡金矿床和银洞岭银矿床的形成时代。

2.2 测试方法

挑选纯度大于 99%的矿物用超声波清洗。超声波清洗过程中要注意清洗液的选择和时间的严格控制。一般先用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次,每次 3 分钟,以清除矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质;然后在丙酮中清洗两次,每次 3 分钟,以清除矿物表面吸附的油污等有机物质。

清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行:使用 B4 孔道,中子流密度约为 $2.66 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,照射总时间为 3 720 min,积分中子通量为 $5.94 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样品—ZBH-25 黑云母样,其标准年龄为 $(132.7 \pm 1.2) \text{ Ma}$,K 含量为 7.6%。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每一个阶段加热 30 min,净化 30 min。质谱分析在中国地质科学院地质研究所氩-氩同位素实验室 MM-1200B 质谱计上进行,每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平: $m/e = 40, 39, 37, 36$ 分别小于 $6 \times 10^{-15} \text{ mol}, 4 \times 10^{-16} \text{ mol}, 8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为 $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正, ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$;用 ISOPLOT 程序计算坪年龄及正、反等时线坪年龄误差以 2σ 给出。详细实验流程见相关文献(陈文等 2006;张彦等 2006)。

3 测年结果

样品 PS3 黑云母:从 400℃ 到 1400℃,对破山银矿床蚀变云斜煌岩中的黑云母样品进行了 11 个阶段的加热分析(表 1),所获数据构成一条未受明显热

事件扰动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱线(图 3a)。尽管受核反冲和测量误差影响,在年龄谱线左侧始点处(图 3a)出现了 3 个较低的视年龄值,即 $(49 \pm 12) \text{ Ma}$ 、 $(68.7 \pm 8.6) \text{ Ma}$ 和 $(102.3 \pm 3.8) \text{ Ma}$,但其所占的比例很小,谱线的其余部分(97%的 ^{39}Ar 积累)非常平

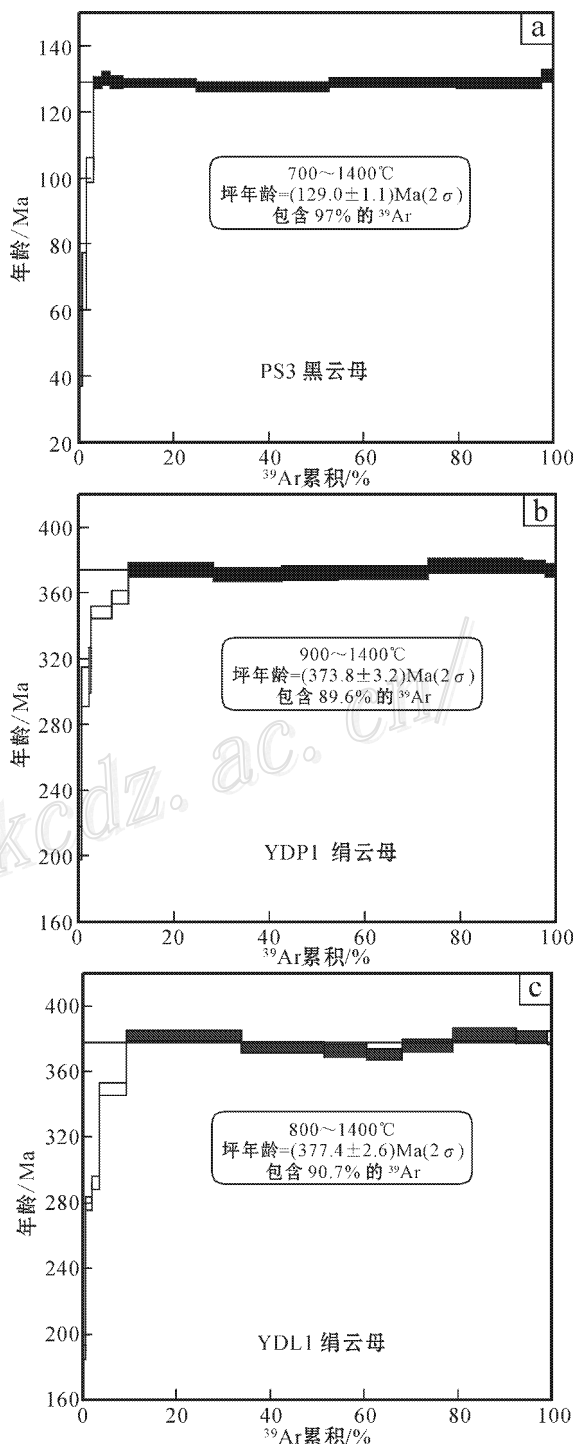


图 3 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄谱图

Fig. 3 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating age spectra

坦,有效谱年龄为 (129.0 ± 1.1) Ma。根据参与积分年龄的8个点计算所获等时线年龄为 (128.4 ± 3.5) Ma (2σ) (图4a),MSWD=0.12,反映了数据分布均匀并与反等时线计算结果 $[(128.2 \pm 1.7)$ Ma,MSWD=1.03]近于一致(图4b)。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比

值为 $(304 \pm 84) \times 2\sigma$,在误差范围内接近于尼尔值(295.5)表明样品中没有过剩Ar的存在。等时线年龄、反等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致,说明破山银矿床蚀变云斜煌岩中的黑云母样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的测定结果是可信的,并且具有地质

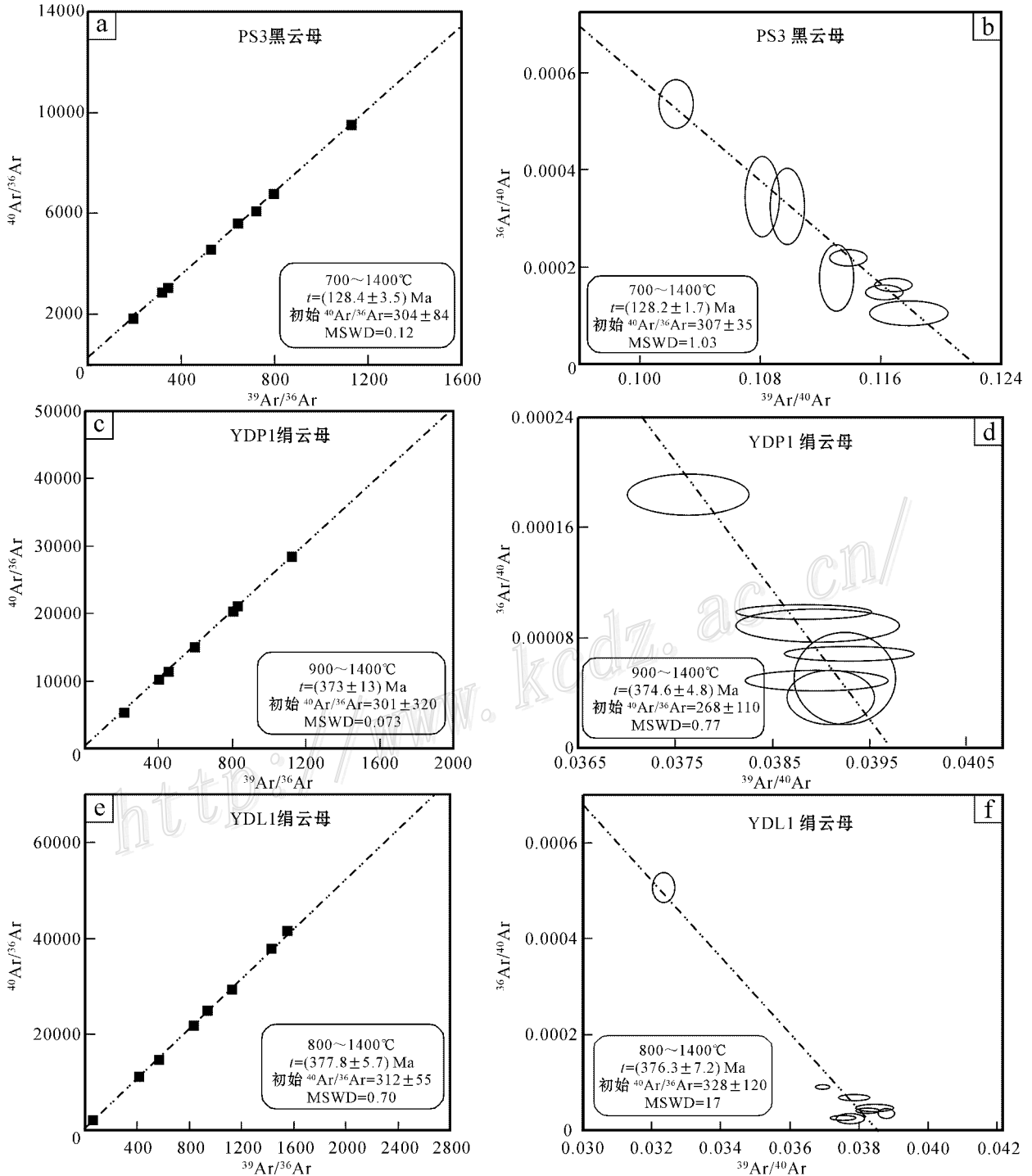


图4 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 等时线与反等时线图

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ versus $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ isochron and reverse isochron

表 1 围山城地区主要金银矿床中蚀变矿物的⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温加热分析数据
 Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar incremental heating analytical data of altered minerals separated from major gold and silver deposits in Weishancheng area

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/\%$	F	$^{39}\text{Ar}/(\times 10^{-14}\text{mol})$	$^{39}\text{Ar}_{\text{积累}}/\%$	t/Ma	$\pm 1\sigma/\text{Ma}$
PS3 黑云母, W=45.76 mg J=0.009000										
400	18.0198	0.0506	0.2701			3.0718			49	12
500	10.7031	0.0218	0.8957			4.3123			68.7	8.6
600	10.0645	0.0122	0.249	0.0182	64.43	6.4855	99.04	3.02	102.3	3.8
700	9.7665	0.0052	0.0597	0.0162	84.16	8.2201	124.23	4.84	128.8	1.7
800	9.2519	0.0032	0.045	0.015	89.8	8.3082	125.43	6.67	130.1	2
900	9.1114	0.003	0.0115	0.0153	90.38	8.2351	167.67	9.13	129	1.9
1000	8.7885	0.0019	0.0178	0.0151	93.5	8.2174	1069.61	24.79	128.7	1.4
1100	8.5653	0.0014	0.0102	0.0137	95.13	8.1481	1912.93	52.79	127.7	1.4
1200	8.6091	0.0013	0.0044	0.0135	95.6	8.2307	1834.07	79.64	128.9	1.4
1300	8.4847	0.0089	0.0042	0.0135	96.85	8.2176	1221.98	97.53	128.7	1.7
1400	8.8463	0.0016	0.0144	0.0149	94.71	8.3782	168.64	100	131.1	1.8
YDP1 绢云母, W=45.79 mg J=0.009162										
400	21.7837	0.0286	0.1286	0.0305	61.16	13.3236	43.88	0.71	208	10
500	21.9472	0.0067	0.0557	0.0207	90.98	19.9675	86.75	2.11	303	12
600	22.5688	0.0063	0.0705	0.0269	91.76	20.7099	30.26	2.6	313	14
700	24.3224	0.0036	0.0161	0.0121	95.6	23.252	265.86	6.89	348.4	3.7
800	25.7014	0.006	0.0093	0.0157	93.04	23.9118	217.64	10.4	357.4	4.2
900	26.5768	0.0048	0.0044	0.0143	94.6	25.1407	1100.74	28.16	374	4.2
960	25.456	0.0017	0.0094	0.015	98.02	24.9522	900.17	42.69	371.4	4.1
1040	25.6664	0.0022	0.0051	0.0143	97.42	25.0043	722.97	54.35	372.1	4.6
1140	25.7609	0.0025	0.0036	0.0136	97.11	25.0156	1169.6	73.23	372.3	4.2
1220	25.7031	0.0012	0.0029	0.0136	98.59	25.3408	1223.99	92.98	376.6	4.4
1300	25.5774	0.0009	0.0069	0.014	98.95	25.3086	306.67	97.93	376.2	3.8
1400	25.4842	0.0013	0.0198	0.0157	98.54	25.1116	128.58	100	373.6	4.1
YDL1 绢云母, W=44.28 mg J=0.008943										
400	21.8016	0.0321	0.804	0.0276	56.67	12.3621	54.79	0.73	189.2	4.5
500	22.0001	0.0112	0.2826	0.0233	85.08	18.7209	86.97	1.89	279.3	4.1
600	22.4466	0.0094	0.1946	0.0216	87.62	19.6706	125.47	3.57	292.3	4.3
700	26.6636	0.0094	0.0428	0.0119	89.59	23.8897	431.07	9.32	349.3	4
800	27.0649	0.0024	0.021	0.0144	97.34	26.3441	1832.81	33.8	381.6	3.5
850	26.1445	0.0011	0.0383	0.016	98.79	25.8286	1331.74	51.58	374.9	3.6
900	26.0217	0.0012	0.0153	0.0153	98.62	25.6633	674.25	60.59	372.7	3.9
1000	25.772	0.0009	0.0299	0.0154	98.96	25.5051	569.61	68.19	370.7	3.5
1100	26.4137	0.0018	0.0061	0.0139	97.98	25.8805	804.43	78.94	375.6	3.8
1200	26.6438	0.0007	0.0031	0.0134	99.2	26.4314	1014.42	92.48	382.8	3.7
1300	26.4905	0.0006	0.0156	0.0133	99.27	26.2967	495.62	99.1	381	3.8
1400	30.9097	0.0157	0.0412	0.0195	85	26.2734	67.32	100	380.7	4.1

注:表中下标_m代表样品中测定的同位素比值, F=⁴⁰Ar*/³⁹Ar, 为放射性⁴⁰Ar与³⁹Ar的比值。

意义,基本上能够代表银矿床的形成年龄。

样品 YDP1 绢云母:从 400℃ 到 1400℃,对银洞坡金矿床含金石英脉中的绢云母样品进行了 11 个阶段的加热分析(表 1),所获数据构成一条未受明显热事件扰动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱线(图 3b)。尽管受核反冲和测量误差影响,在年龄谱线左侧始点处(图 3b)出现了 5 个较低的视年龄值,即(208 ± 10)Ma、(303 ± 12)Ma、(313 ± 14)Ma、(348.4 ± 3.7)Ma 和(357.4 ± 4.2)Ma,但其所占的比例很小,谱线的其余部分(89.6%的 ^{39}Ar 积累)非常平坦,有效谱年龄为(373.8 ± 3.2)Ma。根据参与积分年龄的 6 个点计算所获等时线年龄为(373 ± 13)Ma(2σ)(图 4c),MSWD=0.073,反映了数据分布均匀,并与反等时线计算结果[(374.6 ± 4.8)Ma,MSWD=0.77]近于一致(图 4d)。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为(301 ± 320)(2σ),在误差范围内接近于尼尔值(295.5),表明样品中没有过剩 Ar 的存在。等时线年龄、反等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致,说明银洞坡金矿床含金石英脉中的绢云母样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的测定结果是可信的,并且具有地质意义,基本上能够代表金矿床的形成年龄。

样品 YDL1 绢云母:从 400℃ 到 1400℃,对银洞岭银矿床矿化蚀变岩中的绢云母样品进行了 11 个阶段的加热分析(表 1),所获数据构成一条未受明显热事件扰动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱线(图 3c)。尽管受核反冲和测量误差影响,在年龄谱线左侧始点处(图 3c)出现了 4 个较低的视年龄值,即(189.2 ± 4.5)Ma、(279.3 ± 4.1)Ma、(292.3 ± 4.3)Ma 和(349.3 ± 4)Ma,但其所占的比例很小,谱线的其余部分(90.7%的 ^{39}Ar 积累)非常平坦,有效谱年龄为(377.4 ± 2.6)Ma。根据参与积分年龄的 7 个点计算所获等时线年龄为(377.8 ± 5.7)Ma(2σ)(图 4e),MSWD=0.70,反映了数据分布均匀,并与反等时线计算结果[(376.3 ± 7.2)Ma,MSWD=17]近于一致(图 4f)。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为(312 ± 55)(2σ),在误差范围内接近于尼尔值(295.5),表明样品中没有过剩 Ar 的存在。等时线年龄、反等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致,说明银洞岭银矿床矿化蚀变岩中的绢云母样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄的测定结果是可信的,并且具有地质意义,基本上能够代表银矿床的形成年龄。

4 讨论

破山银矿区蚀变云斜煌岩里黑云母获得的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(129.0 ± 1.1)Ma,同一件样品中获得的锆石 SHRIMP 测年结果为(461.8 ± 9.7)Ma,MSWD=1.10,表明岩体形成于加里东中期(江思宏等 2009)。由此可见,黑云母中获得的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄明显代表了后期热事件的年龄,并且这个年龄与从破山银矿床附近梁湾岩体获得的花岗闪长岩和二长花岗岩的锆石 SHRIMP 测年结果[分别为(132.5 ± 2.3)Ma,MSWD=1.5 和(137.0 ± 3.4)Ma,MSWD=1.9,江思宏等 2009]非常接近,因此该年龄数据可能说明破山银矿床的形成与梁湾岩体的侵位之间具有一定的联系。

银洞坡金矿床含金石英脉中绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(373.8 ± 3.2)Ma,与银洞岭银矿床矿化蚀变岩中绢云母样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(377.4 ± 2.6)Ma 近于一致,反映它们可能是同一次成矿事件的产物。值得一提的是,张静(2004)也曾在银洞坡金矿床围岩中的白云母获得的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(361.34 ± 7.07)Ma,并认为该年龄可能代表歪头山组的变质年龄,说明银洞坡金矿床和银洞岭银矿床的形成与区域变质事件发生的时间近于一致。

前人关于流体包裹体和氢、氧同位素的研究表明(张静 2004),破山银矿床和银洞坡金矿床的成矿温度属于中温范畴,成矿流体低盐度、富含 CO_2 ,具有变质水特征;硫、铅同位素示踪表明,成矿物质主要来源于赋矿的歪头山组地层,总体上表现出造山型金银矿床的特点。尽管目前银洞岭银矿床的研究程度相对较低,尚缺少流体包裹体、氢、氧和硫、铅等同位素研究,但是根据其产出的环境及本文获得的成矿年龄数据可以推测,其成矿特点与破山银矿床和银洞坡金矿床相似。考虑到破山银矿床与银洞坡金矿床和银洞岭银矿床产出环境一致,其成矿流体特征和成矿物质来源与银洞坡金矿床近于一致(张静 2004),因此这 3 个金银矿床可能是同期形成的。破山银矿床中的黑云母记录下了一次比较晚的成矿事件,这次事件与梁湾岩体的侵位时间比较接近,有可能说明其遭受了后期岩浆作用的改造。

由于缺少可靠的测年数据,Chen等(1998)和张

静(2004)等曾认为该区的金银矿床主体上形成于中生代,与秦岭造山带的全面碰撞造山作用有关。而根据本文的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年资料,笔者认为该区的金银矿床应形成于二郎坪弧后盆地闭合阶段,与弧后碰撞有关。

研究区地处秦岭-大别造山带的结合部位,经历了长期复杂的地质构造演化历史。从新元古代至早古生代,研究区处于沟-弧-盆体系的大陆边缘,扬子板块沿商丹断裂(缝合带)自南向北俯冲引起了弧后拉张,在瓦穴子断裂与朱夏断裂之间出现具洋壳性质的弧后盆地,即二郎坪群发育区(张本仁等,1996;张国伟等,1996;张静,2004)。在加里东运动中,二郎坪弧后盆地逐渐闭合,在商丹断裂与瓦穴子断裂之间形成增生带。根据本文和张静(2004)的测年数据可以推断,本区可能在370 Ma左右由于弧后盆地的闭合导致碰撞与挤压变质作用,形成河前庄背斜及相应的变质岩,并在这个背斜的不同部位产出了破山银矿床、银洞坡金矿床和银洞岭银矿床,因此这些矿床都应属于造山型金银矿床。到了燕山中晚期,由于梁湾岩体的侵位,对破山银矿床具有一定的叠加改造作用,所以矿区内云斜煌岩的蚀变黑云母记录下了这期改造事件。

5 结 论

(1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果表明,产于围山城金银成矿带内的银洞坡大型金矿床和银洞岭大型银矿床主要形成于370 Ma,与二郎坪弧后盆地的闭合导致的碰撞与挤压变质作用有关,均属造山型金银矿床;

(2)破山银矿床早期也应该与围山城成矿带内的银洞坡金矿床和银洞岭银矿床一样属于造山型银矿床,只是由于其靠近梁湾岩体,所以后期可能遭受了燕山期岩浆活动的改造,故在矿区内蚀变云斜煌岩的黑云母里获得了 $(129.0 \pm 1.1)\text{Ma}$ 的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄。

志 谢 中国地质科学院矿产资源研究所白大明研究员参与了野外样品采集工作, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄的样品测试工作是由中国地质科学院地质研究所同位素实验室的陈文研究员、张彦女士、刘新宇女士和张思红女士完成的,在此深表谢意。

References

- Chen D K and Zhou D S. 1984. Characteristics and metallogenesis of the stratabound gold and silver deposits in Weishancheng area[J]. *Mineral Deposit*, 3(1):37-45 (in Chinese).
- Chen W, Zhang Y, Zhang Y Q, Jin G S and Wang Q L. 2006. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau-evidence from Ar-Ar thermochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4):867-872 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J. 1995. Metallogenesis as well as geological and geochemical characteristics of Yindongpo gold deposit as an example of carbonaceous strata-bound type[J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 25(2):161-167 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Guo G J and Li X. 1998. Metallogenic geodynamic background of Mesozoic gold deposits in granite-greenstone terrains of North China Crator[J]. *Science in China (Series. D)*, 41(2):113-120.
- Jiang S H, Nie F J, Fang D H and Li Y F. 2009. Geochronology and geochemical features of the main intrusive rocks in Weishancheng area, Tongbai County, Henan[J]. *Acta Geologica Sinica* (in Press).
- Wan S Q. 2005. Geological and geochemical characteristics of the Yindongling silver deposit, Tongbai County, Henan Province[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 29(6):510-514 (in Chinese with English abstract).
- Wan S Q. 2006. Location analysis of prospecting target in the Weishancheng gold-silver metallogenetic belt, Tongbai County of Henan Province[J]. *Geology and Prospecting*, 42(5):39-45 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z W, Wang Y and Sun B P. 2006. Geological and geochemical features of the Poshan silver deposit in Tongbai region, Henan Province[J]. *Express Information of Mining Industry*, (7):48-50 (in Chinese).
- Wu H W and Ren A Q. 2005. Geochemical anomaly characteristics and ore prospecting model in the Yindongling ore deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 41(1):62-67 (in Chinese with English abstract).
- Zhang B R, Zhang H F, Zhao Z D and Ling W L. 1996. Geochemical subdivision and evolution of the lithosphere in East Qinling and adjacent regions: Implications for tectonics[J]. *Science in China (Series D)*, 26(3):201-208 (in Chinese).
- Zhang G W, Guo A L, Liu F T, Xiao Q H and Meng Q R. 1996. Three-dimensional architecture and dynamic analysis of the Qinling Orogenic belt[J]. *Science in China (Series D)*, 26(Supp.):1-6 (in Chinese).

- Zhang J. 2004. Analysis and comparison study of the typical Ag and Au deposits in Eastern Qinling and Tongbai region(Doctor candidate paper [D]. Beijing: Beijing University. 1-139 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Chen W, Chen K L and Liu X Y. 2006. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ^{39}Ar recoil loss: Examples from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province[J]. Geological Review, 52(4):556-561 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H, Yan A L, Li J L and Han C Q. Geochemical features of the Yindongpo gold deposit in Tongbai region, Henan Province[J]. Geoscience, 13(1):105-110 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈德凯, 周旦生. 1984. 围山城层控金银矿特征和成矿作用[J]. 矿床地质, 3(1):37-45.
- 陈文, 张彦, 张岳桥, 金贵善, 王清利. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[J]. 岩石学报, 22(4):867-872.
- 陈衍景. 1995. 炭质层控型银洞坡金矿的地质地球化学特征和矿床成因[J]. 长春地质学院学报, 25(2):161-167.
- 江思宏, 聂凤军, 方东会, 刘翼飞. 2009. 河南桐柏围山城地区主要侵入岩年代学与地球化学特征[J]. 地质学报(待刊).
- 万守全. 2005. 河南省桐柏银洞岭银矿床地质地球化学特征[J]. 物探与化探, 29(6):510-514.
- 万守全. 2006. 河南省桐柏县围山城金银成矿带找矿靶区定位分析[J]. 地质与勘探, 42(5):39-45.
- 王宗炜, 王云, 孙保平. 2006. 河南桐柏破山银矿床地质-地球化学特征[J]. 矿业快报(7):48-50.
- 吴宏伟, 任爱琴. 2005. 河南银洞岭银矿床原生地球化学异常特征及找矿模型[J]. 地质与勘探, 41(1):62-67.
- 张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 凌文黎. 1996. 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), 26(3):201-208.
- 张国伟, 郭安林, 刘福田, 肖庆辉, 孟庆任. 1996. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J]. 中国科学(D 辑), 26(增刊):1-6.
- 张静. 2004. 东秦岭-桐柏地区典型银金矿床的剖析和对比研究(博士学位论文 [D]. 北京: 北京大学. 1-139.
- 张彦, 陈文, 陈克龙, 刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S)Ar-Ar 年龄谱型及 ^{39}Ar 核反冲丢失机理研究-以浙江长兴地区 P-T 界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 52(4):556-561.
- 张宗恒, 鄯安禄, 李吉林, 韩存强. 1999. 河南桐柏地区银洞坡金矿床地球化学特征[J]. 现代地质, 13(1):105-110.