

陕西凤太矿集区丝毛岭金矿床成矿 时代的 Ar-Ar 年龄证据

王义天¹, 李霞^{1,2}, 王瑞廷³, 刘协鲁^{1,2}, 胡乔青¹, 李建华⁴,
王长安⁴, 汶博⁴, 温深文⁴, 王胜利⁴

(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. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 西北有色地质勘查局地质勘查院,
陕西 西安 710054; 4. 西北有色地质勘查局 717 总队, 陕西 宝鸡 721012)

摘要:丝毛岭金矿床位于陕西凤太多金属矿集区的西北部, 产于 NWW 向脆-韧性剪切构造带中, 矿体赋存于丝毛岭向斜北翼上泥盆统星红铺组的斑点状铁白云质粉砂质千枚岩。金矿化类型包括蚀变岩型和石英脉型两种, 成矿过程可划分为早、中、晚 3 个阶段。对其早期成矿阶段热液蚀变形成的绢云母开展⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年研究, 获得其坪年龄为(211.9±1.5)Ma, 指示其成矿作用始于 211.9 Ma 左右, 即晚三叠世。结合前人有关区域地质与多金属成矿作用的研究成果, 认为丝毛岭金矿床与凤太矿集区中的八卦庙-柴蚂、双王等金矿床一样, 都属于造山型金矿床, 它们是中、晚三叠世—早侏罗世时期位于东古特提斯构造域中的南秦岭碰撞造山带大规模构造-岩浆-流体活动的产物。

关键词:金矿床; 热液蚀变; 绢云母; ⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年; 凤太矿集区; 古特提斯构造域

中图分类号:P611.1 **文献标志码:**A

Evidence of Ar-Ar Age for the Metallogenic Epoch of Simaoling Gold Deposit in Fengxian-Taibai Ore Cluster of Shaanxi

WANG Yi-tian¹, LI Xia^{1,2}, WANG Rui-ting³, LIU Xie-lu^{1,2}, HU Qiao-qing¹, LI Jian-hua⁴,
WANG Chang-an⁴, WEN Bo⁴, WEN Shen-wen⁴, WANG Sheng-li⁴

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment of Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Geological Exploration Institution, Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. No. 717 Geological Team, Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Baoji 721012, Shaanxi, China)

Abstract: Simaoling gold deposit, located in the northwest of Fengxian-Taibai polymetallic ore cluster, Shaanxi, develops within a NWW-trending brittle-ductile shear tectonic belt, and orebodies are hosted in the speckled ankerite-bearing silty phyllite of Upper Devonian Xinghongpu Formation, which occurs in the north limb of Simaoling syncline. The types of Gold mineralization include altered rock and quartz vein, and the ore-forming process can be divided into early, middle and late stages. The ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating method was used to study the sericite

收稿日期:2014-04-16

基金项目:国家自然科学基金项目(41372089);中国地质调查局地质大调查项目(1212011220869);

“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A11);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K0801)

作者简介:王义天(1969-),男,辽宁东港人,研究员,理学博士,E-mail:wyt69@263.net。

formed by hydrothermal alteration in the early ore-forming stage. The plateau age of sericite is $(211.9 \pm 1.5) \text{ Ma}$, which indicates that the mineralization of Simaoling gold deposit starts in Later Triassic (about 211.9 Ma). By integrating the present results with the regional geology and polymetallic mineralization, the Simaoling, Baguamiao-Chaima, Shuangwang gold deposits in Fengxian-Taibai ore cluster are orogenic, and are produced from Middle and Late Triassic to Early Jurassic by the large-scale tectonism, magmatism and fluid activity of South Qinling collisional oreogen, belonging to East Paleo-Tethys tectonic regime.

Key words: gold deposit; hydrothermal alteration; sericite; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating; Fengxian-Taibai ore cluster; Paleo-Tethys tectonic regime

0 引言

陕西凤县—太白多金属矿集区(简称“凤太矿集区”)金属矿产资源丰富,目前已发现矿产地超过 70 处,以金、铅、锌为主。区内发育八卦庙—柴蚂和双王两个大型金矿床,丝毛岭、谭家沟、古迹、沈家湾等中小型金矿床,以及小梨园、打柴沟脑、松树湾、唐家湾等金矿点;区内还发育铅硐山—东塘子、八方山—二里河和银洞梁 3 个大型铅锌矿床,银母寺、手搬崖、峰崖、黑崖、长沟、大黑沟、崖房湾等中小型铅锌矿床。该区累计探明黄金储量超过 200 t,铅锌储量超过 $500 \times 10^4 \text{ t}^{[1-2]}$ 。丝毛岭金矿床位于凤太矿集区的西北部,东距八卦庙大型金矿床约 5 km,南距八方山—二里河大型铅锌矿约 1 km,是 20 世纪八九十年代由西北有色地质勘查局物化探总队在检查区域 Au 异常时发现的,随后西北有色地质勘查局 717 总队先后对其开展了普查、详查和勘探开发工作。近年来,汶博等对丝毛岭金矿床开展了矿床地质、地球化学、成因、控矿因素、矿化富集规律以及找矿预测等方面的研究工作^[3-7],对其成矿作用特征的认识不断深入。尽管如此,目前丝毛岭金矿床在成矿时代研究方面尚属空白。基于此,笔者在对丝毛岭金矿床成矿地质特征详细观察研究的基础上,采用单矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年方法,对与金矿化密切相关的蚀变矿物绢云母开展年代学研究,得到更为精确的成矿年龄数据,以期为进一步理解矿床成因和成矿规律提供新的可靠证据。

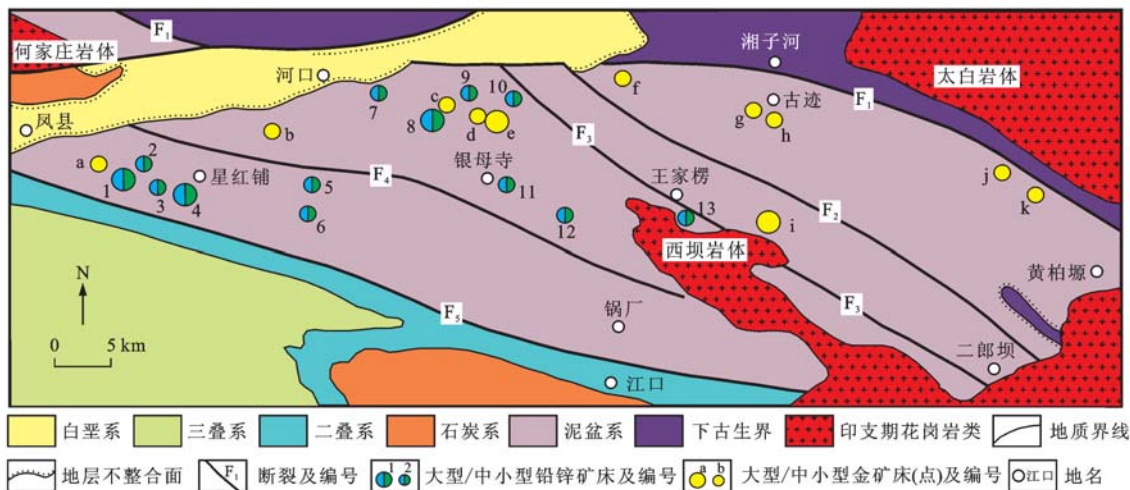
1 区域地质背景

陕西省凤太矿集区位于秦岭造山带的商丹缝合带南侧、勉略缝合带北侧,北以湘子河—黄柏塬断裂为界,南被酒奠梁—江口断裂所限,为一个菱形地质构造区(图 1),大地构造位置属于南秦岭构造带^[8]。前人对凤太矿集区的构造属性认识存在不同观点:

张国伟等提出凤太矿集区是在秦岭微板块上发育起来的南秦岭北带晚古生代裂陷带^[9];杜远生等认为包括凤太矿集区在内的南秦岭北带泥盆系形成于压性的前陆盆地^[10-11];方维萱等认为凤太矿集区是在南秦岭造山带晚古生代的扬子板块远程俯冲挤压构造域中形成的拉分盆地^[12];王宗起等提出凤太地区与西成、柞山和镇旬盆地等都属于秦岭晚古生代发育的背驮型弧前盆地^[13]。

凤太矿集区出露地层主要为中、上泥盆统地层(图 1),为一套海相细碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造,经变质作用后发育千枚岩、变质粉砂岩及薄—厚层结晶灰岩等。泥盆纪地层由新到老依次为:①上泥盆统九里坪组(D_3j),上部主要为薄层砂质灰岩夹千枚岩、钙质千枚岩、厚层状灰岩、绢云母千枚岩、粉砂岩,下部主要为钙质千枚岩、绢云母千枚岩和层状砂岩夹层;②上泥盆统星红铺组(D_3x),上部主要为碳质千枚岩、砂质千枚岩、薄层含碳灰岩,中部主要为绿泥粉砂质千枚岩、绿泥绢云千枚岩、粉砂质绢云千枚岩、铁白云质千枚岩夹条带状灰岩,下部主要为铁白云质绢云千枚岩、铁白云质粉砂质千枚岩夹条带状灰岩、钙质千枚岩、铁白云质粉砂岩、钙质粉砂岩;③中泥盆统古道岭组(D_2g),为中薄—中厚层状结晶灰岩、含生物灰岩、生物灰岩、硅质岩、铁白云质硅质岩;④中泥盆统马槽沟组(D_2m),为薄—中厚层变长石英杂砂岩、钙质石英杂砂岩、石英杂砂岩夹变质粉砂岩、薄层砂质灰岩,以及少量粉砂质千枚岩、板岩。各地层之间均呈整合接触关系。

凤太矿集区构造极其发育,主要由褶皱和断裂组成,裂隙、节理和线理等小型构造亦广泛发育,主体构造线为 NWW 向(图 1)。褶皱构造主要为纵贯全区的古岔河—殷家坝大型复式向斜系统,轴向 NWW,其西端被山阳—凤镇断裂所截,东端被华阳花岗岩基侵吞;次级褶皱发育,多呈紧闭线状,地层倾角陡,倒转现象常见;更次一级褶皱多呈短轴状,



F₁—湘子河—黄柏塬断裂;F₂—修石岩—观音峡断裂;F₃—王家楞—二郎坝断裂;F₄—倒回沟—柘梨园断裂;F₅—酒奠梁—江口断裂;1—银洞梁大型铅锌矿床;2—峰崖中型铅锌矿床;3—手搬崖中型铅锌矿床;4—铅洞山—东塘子大型铅锌矿床;5—苇子坪洞沟小型铅锌矿床;6—苇子坪安沟小型铅锌矿床;7—尖端山小型铅锌矿床;8—八方山—二里河大型铅锌矿床;9—长沟小型铅锌矿床;10—洞沟中型铅锌矿床;11—银母寺中型铅锌矿床;12—大黑沟小型铅锌矿床;13—崖房湾小型铅锌矿床;a—谭家沟小型金矿床;b—青崖沟金矿点;c—丝毛岭中型金矿床;d—柴蚂中型金矿床;e—八卦庙大型金矿床;f—大沟金矿点;g—马槽沟金矿点;h—古迹小型金矿床;i—双王大型金矿床;j—老铁厂小型金矿床;k—红水河金矿点;图件引自文献[14],有所修改

图1 陕西凤太矿集区地质与矿床分布

Fig.1 Sketch Map of Geology and Ore Distributions in Fengxian-Taibai Ore Cluster of Shaanxi

向东或向西倾伏。断裂构造按展布方向可分为近EW—NWW、NW、NE—NEE、NNE—SN向,其中NWW向和NE向两组断裂最为发育。NWW向断裂规模大,形成时间早,活动时间长,控制了区内矿产、矿带及岩脉带的分布。NE向断裂成群成带发育,具有等间距的分布特征,断裂性质多为张剪性,常被岩脉所充填。王义天等综合分析凤太矿集区内发育的褶皱、断裂、节理、线理等构造要素性质和组合特征,提出整个凤太矿集区是在晚古生代沉积盆地形成基础上,于晚三叠世—早侏罗世时期在区域走滑构造应力场中发育的一个走滑双重构造系统,是西秦岭中生代增生—碰撞造山作用的产物^[15]。

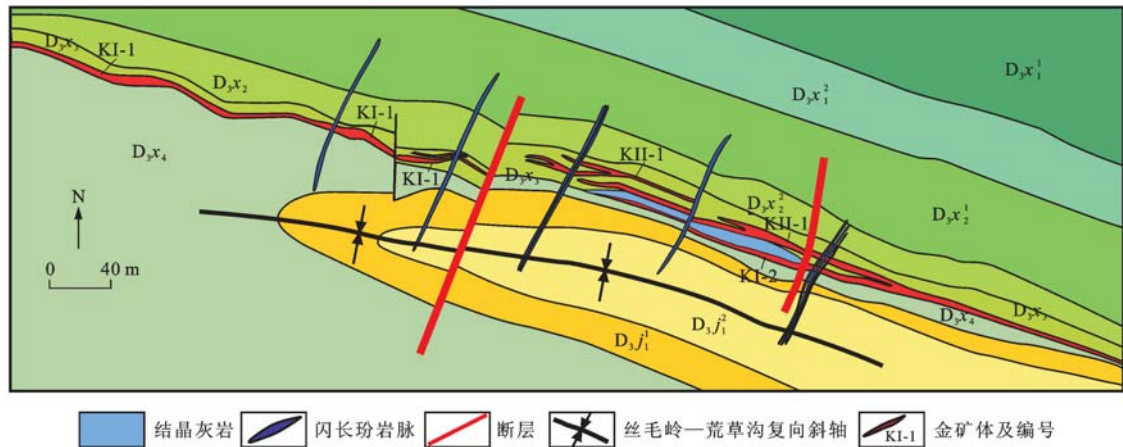
凤太矿集区岩浆岩比较发育,岩浆活动以印支期—燕山早期中酸性岩浆侵入为主,主要发育有矿集区中东部沿区域构造线方向展布的西坝中酸性岩体(图1),北部的花红树坪、核桃坝花岗闪长岩小岩株,以及在矿集区范围内大量发育的花岗斑岩脉、闪长玢岩脉和煌斑岩脉等中酸性岩脉。西坝岩体的岩性以中—细粒花岗闪长岩、二长花岗岩为主,局部出现石英闪长岩、英云闪长岩等,不同岩性之间呈渐变过渡关系。岩体总含有较多的细粒闪长质暗色包体,呈圆形或椭圆形,直径为10~50 cm。岩体边部发育较强的接触变质作用,在其北部形成300~700 m宽的接触变质带。

2 成矿地质特征

2.1 矿区地质概况

丝毛岭金矿区出露地层主要为上泥盆统九里坪组和星红铺组(图2)。九里坪组分布在矿区中南部,可分为两个岩性段,主要出露下部第一岩性段的中厚层粉砂岩、薄层粉砂岩、含碳粉砂质千枚岩,与下覆地层呈整合接触关系。星红铺组在矿区内分布广泛,可分为4个岩性段:第四岩性段以含碳粉砂质千枚岩为主,局部见有结晶灰岩、含碳泥灰岩岩楔,与下伏地层以脆—韧性剪切带接触,在脆—韧性剪切带附近的含碳粉砂质千枚岩中发育金矿化;第三岩性段为铁白云质粉砂质千枚岩、斑点状铁白云质粉砂质千枚岩夹条带状大理岩化灰岩,为丝毛岭金矿赋矿层位之一;第二岩性段主要为绿泥粉砂质千枚岩、含绿泥铁白云质粉砂质千枚岩,局部夹少量条带状大理岩化灰岩,与下覆地层呈整合接触关系;第一岩性段主要为含碳粉砂质千枚岩、含碳泥灰岩、铁白云质粉砂质千枚岩夹条带状大理岩化灰岩,与下覆地层呈整合接触关系。

矿区内褶皱和断裂构造发育(图2)。褶皱构造主要为丝毛岭—荒草沟复向斜(图2),展布于丝毛岭—打柴沟脑一带,轴向120°,核部为九里坪组中薄层状砂岩、粉砂岩以及粉砂质千枚岩,两翼为星红



$D_3j_1^2$ —九里坪组第一岩性段第二层薄层砂岩夹含碳粉砂质千枚岩; $D_3j_1^1$ —九里坪组第一岩性段第一层以中厚层砂岩为主局部为薄层砂岩,含碳粉砂质千枚岩; D_3x_4 —星红铺组第四岩性段含碳粉砂质千枚岩,局部为结晶灰岩; D_3x_3 —星红铺组第三岩性段铁白云质粉砂质千枚岩;斑点状千枚岩为主,局部夹条带状大理岩; $D_3x_2^2$ —星红铺组第二岩性段第二层含绿泥铁白云质粉砂质千枚岩为主,局部条带状大理岩化灰岩; $D_3x_2^1$ —星红铺组第二岩性段第一层绿泥粉砂质千枚岩为主,局部条带状大理岩化灰岩; $D_3x_1^1$ —星红铺组第一岩性段第二层铁白云质粉砂质千枚岩为主,局部条带状大理岩化灰岩; $D_3x_1^2$ —星红铺组第一岩性段第一层含碳粉砂质千枚岩,含碳泥灰岩眼球状灰岩;图件引自文献[16]

图2 丝毛岭金矿床地质概况

Fig. 2 Geological Map of Simaoling Gold Deposit

铺组千枚岩。复向斜北翼倾向为 $180^{\circ}\sim 205^{\circ}$,倾角为 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$;南翼倾向为 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$,倾角为 $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。向斜西部翘起,向东倾伏。丝毛岭金矿即赋存于该向斜北翼NW向的断裂带中。断裂构造主要发育NE和NW向两组(图2),在矿区中部发育6条NE向断层,大致以350m左右呈等间距平行分布,产状($290^{\circ}\sim 310^{\circ}$) \angle ($65^{\circ}\sim 85^{\circ}$),该组断层内多被后期闪长玢岩脉充填,对地层和含金蚀变体有破坏作用;矿区发育的一条NW向断层是黄泥沟—荒草沟走滑断层的一部分,在矿区内长约3.6km,宽2~10m,断层产状($190^{\circ}\sim 205^{\circ}$) \angle ($70^{\circ}\sim 82^{\circ}$),产于星红铺组第三岩性段与第四岩性段的接触部位,丝毛岭含金蚀变带即受该断裂构造的控制。

矿区内岩浆岩主要为充填于NE向断层中的闪长玢岩脉,长度一般为400~550m,厚1~6m,大致呈等间距分布(图2)。

2.2 矿床地质特征

丝毛岭金矿床产于NW向脆—韧性剪切构造带中,矿体赋存于丝毛岭向斜北翼星红铺组第四岩性段与第三岩性段接触带附近,含矿岩石主要为斑点状铁白云质粉砂质千枚岩,由两个含金蚀变带(I、II)组成,总体产状($180^{\circ}\sim 210^{\circ}$) \angle ($75^{\circ}\sim 82^{\circ}$),长约3.6km,宽10~50m,最宽处可达80m。含金蚀变带和矿体沿走向和倾向具有分枝复合、尖灭再现和膨缩现象。矿体呈透镜状或似层状,向深部具

有厚度变大、矿化增强的趋势。I号含金蚀变带产出KI-1、KI-2两个金矿体,可分为东、中、西3段;在东、西两段中,金矿体赋存于铁白云质粉砂质千枚岩与含碳粉砂质千枚岩接触界面、靠近铁白云质粉砂质千枚岩一侧;中段则赋存于含碳粉砂质千枚岩中的灰岩岩楔南侧(图2)。II号含金蚀变带位于I号北侧,产出KII-1金矿体,赋存于灰岩岩楔北侧的铁白云质粉砂质千枚岩中(图2)。

丝毛岭金矿床的金矿化类型包括蚀变岩型和石英脉型两种。贵金属矿物有含银自然金、自然金和银金矿,金的嵌布类型主要有粒间金、包裹金和裂隙金三类。矿石矿物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂,是主要的载金硫化物;次要矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、斑铜矿、白钛矿、褐铁矿和金红石等。脉石矿物主要有石英、绢云母、铁白云石,次为钠长石、绿泥石、方解石。石英、绢云母中可见包裹金,颗粒间可见粒间金,另见少量的菱铁矿、电气石、正长石、高岭石、磷灰石、锆石等。矿石结构有半自形—他形粒状结构、自形—半自形粒状结构、他形粒状结构、共边结构、包含结构、假象结构、残余结构、碎裂结构等。矿石构造包括浸染状、角砾状、脉状、网脉状、皱纹状、胶状、团块状、斑点状等。围岩蚀变普遍发育,主要类型有硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、磁黄铁矿化(在地表表现为褐铁矿化)、电气石化、黑云母化、

铁碳酸盐化、蚀变斑点和褪色化等。

根据野外观察和矿物的共生组合、穿插关系、围岩蚀变等,李霞等将丝毛岭金矿床的成矿过程划分为早、中、晚 3 个时期^[5](图 3)。早期为石英-绢云母-硫化物阶段[图 3(a)中 I],以蚀变绢云母和顺层产出的 NWW 向石英脉为特征,金矿化未构成工业性矿体;矿物组合主要是石英、绢云母及少量硫化物。中期为石英-多金属硫化物阶段[图 3(b)、(c)中 II],为金的主

成矿阶段,以发育 NE 向裂隙石英脉和 NWW 向顺层石英脉为特征;围岩褪色现象普遍,矿物组合复杂,可进一步分为石英-铁白云石-硫化物和绢云母-绿泥石-硫化物两个组合;局部可见黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿等呈集合体小团块状产出^[17]。晚期为碳酸盐脉阶段[图 3(c)中 III],在含矿构造带内及附近以铁白云石脉、方解石脉形式产出,部分脉中可见中粗粒自形黄铁矿、石英。

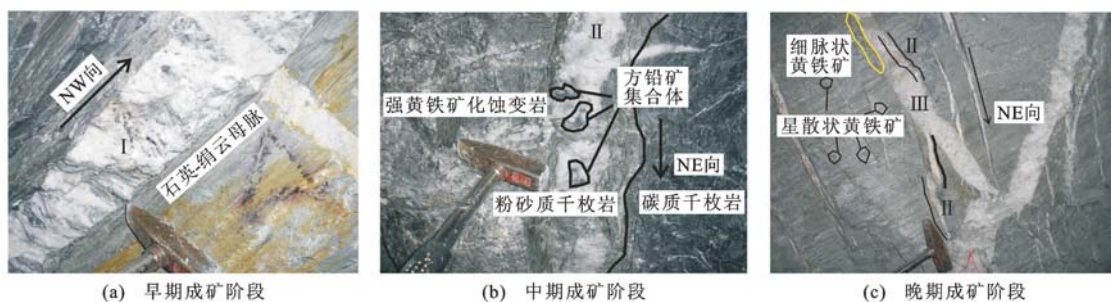


图 3 丝毛岭金矿床 3 个成矿阶段的矿化特征照片

Fig. 3 Mineralization Characteristics of Three Ore-forming Stages of Simaoling Gold Deposit

3 样品、分析方法和结果

3.1 样品

用于测年研究的样品 SML-55[图 4(a)]采自于丝毛岭金矿平硐 PD5 中的穿脉 CM24 中部,属于早期成矿阶段顺层产出的蚀变岩型矿化体。团块状石英、片状绢云母和绿泥石、细粒星散状黄铁矿发育,镜下可见钠长石和电气石等矿物[图 4(b)],呈自形一半自形粒状结构,浸染状、团块状构造。绢云母多呈自形一半自形鳞片状和鳞片状集合体,粒径 $(0.01 \times 0.005) \sim (0.1 \times 0.010)$ mm,与石英紧密共生。镜下发现,蚀变绢云母为黑云母绿泥石进一步绢云母化的结果,并伴有铁质析出,说明绢云母是热液活动的产物。事实上,丝毛岭金矿床中的绢云母化常与硅化、钠长石化、黄铁矿相互叠加,形成褪色蚀变带,是金矿

化的重要标志之一。

3.2 分析方法

样品 SML-55 经粉碎和重液分离后,在双目显微镜下挑选绢云母单矿物,纯度超过 99%,用于 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年分析。

绢云母单矿物经超声波清洗 3 次,清除矿物表面和解理缝中在天然状态下和在碎样过程中吸附的粉末和杂质;然后,在丙酮中清洗 2 次,清除矿物表面吸附的油污等有机物质;清洗后的单矿物被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究院的“游泳池堆”中进行,照射参数为 0.002 968。同期接受中子照射的还有用于监控的标准样 ZBH-25 黑云母,其标准年龄为 (132.7 ± 1.2) Ma, K 含量(质量分数,下同)为 7.6%。绢云母样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热 30 min,净化 30

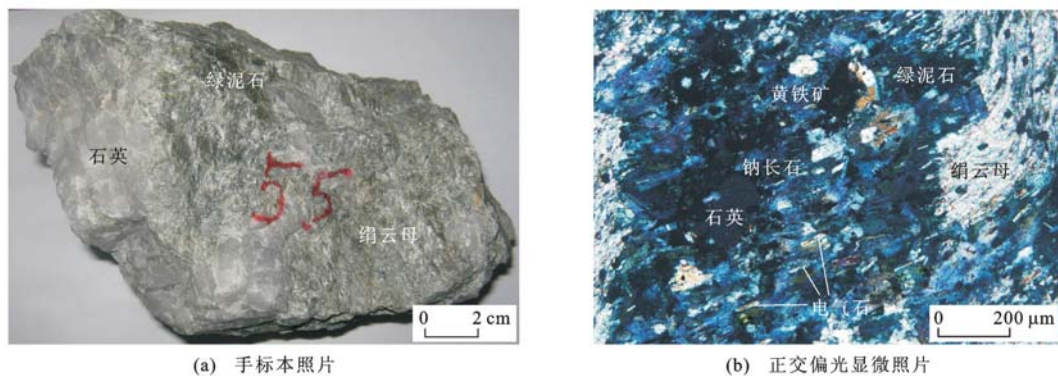


图 4 样品 SML-55 的手标本照片和正交偏光显微照片

Fig. 4 Hand Specimen and Orthogonal Polarization Photomicrograph of Sample SML-55

min。质谱分析是在国土资源部同位素地质重点实验室的多接收稀有气体质谱仪 Helix MC 上进行的,每个峰值均采集 20 组数据。所有数据在回归到时间 0 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。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; CaF_2 产生的 $^{36}Ar/^{37}Ar$ 。干扰核反应校正系数为 0.000 238 9,产生的 $^{39}Ar/^{37}Ar$ 。干扰核反应校正系数为 0.000 86,而 K_2SO_4 产生的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 干扰核反应校正系数为 0.004 782。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正。 ^{40}K

衰变常数 λ 为每年 5.543×10^{-10} 。采用 ISOPLOT 程序计算坪年龄^[18],其误差类型为 2σ 。

3.3 分析结果

丝毛岭金矿床样品 SML-55 的绢云母单矿物 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素阶段升温测年分析结果见表 1。16 个温度阶段组成了一个基本未受扰动的年龄谱(图 5),全年龄为 214.0 Ma。其中,850 °C~1 040 °C 的 7 个温度阶段视年龄之间的差异极小,采用加权平均法计算得到其坪年龄为 $(211.9 \pm 1.5) Ma$,对应的 ^{39}Ar 析出量为 61.1%。

表 1 丝毛岭金矿床绢云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年分析结果

Tab. 1 $^{40}Ar/^{39}Ar$ Dating Results of the Sericite from Simaoling Gold Deposit

温度/ °C	$N(^{40}Ar)/$ $N(^{39}Ar)$	$N(^{36}Ar)/$ $N(^{39}Ar)$	$N(^{37}Ar)/$ $N(^{39}Ar)$	$N(^{38}Ar)/$ $N(^{39}Ar)$	$w(^{40}Ar)/$ %	$N(^{40}Ar^*)/$ $N(^{39}Ar)$	$c(^{39}Ar)/$ $10^{-14} mol$	$w(^{39}Ar)_T/$ %	视年龄/ Ma
700	43.192 1	0.027 4	0.000 0	0.018 4	81.24	35.089 3	0.10	0.29	178.7±3.3
760	40.857 0	0.004 9	0.000 0	0.013 4	96.48	39.418 0	0.54	1.82	199.6±1.9
810	41.834 9	0.002 1	0.214 2	0.013 3	98.54	41.232 5	1.07	4.84	208.3±2.0
850	41.901 5	0.001 4	0.174 0	0.013 2	99.05	41.507 8	1.63	9.43	209.6±2.0
880	41.940 9	0.000 6	0.003 7	0.012 8	99.56	41.758 3	3.59	19.53	210.8±2.0
910	42.053 1	0.000 4	0.000 0	0.012 7	99.74	41.942 9	2.30	26.00	211.7±2.0
940	41.968 4	0.000 3	0.000 0	0.012 6	99.82	41.894 5	3.72	36.45	211.4±2.0
970	42.140 0	0.000 4	0.034 6	0.012 8	99.69	42.012 6	3.41	46.02	212.0±2.0
1 000	42.338 8	0.000 5	0.018 8	0.012 9	99.63	42.184 6	3.46	55.75	212.8±2.0
1 040	42.733 0	0.000 5	0.000 0	0.012 9	99.68	42.594 9	3.62	65.93	214.8±2.0
1 080	43.322 0	0.001 4	0.232 3	0.013 2	99.09	42.937 9	2.90	74.08	216.4±2.0
1 130	43.991 5	0.001 0	0.030 7	0.012 7	99.35	43.706 8	2.93	82.33	220.0±2.1
1 180	43.824 6	0.000 9	0.000 0	0.012 8	99.37	43.550 0	3.23	91.41	219.3±2.1
1 240	43.453 8	0.000 7	0.000 0	0.012 8	99.52	43.243 8	2.69	98.98	217.8±2.1
1 300	45.409 4	0.003 4	0.018 8	0.013 8	97.79	44.406 3	0.27	99.74	223.3±2.5
1 400	86.231 4	0.121 4	0.000 0	0.033 1	58.38	50.340 0	0.09	100.00	251.2±5.4

注: $w(^{40}Ar)$ 为 ^{40}Ar 的含量; $w(^{39}Ar)_T$ 为 ^{39}Ar 的累计含量; $c(^{39}Ar)$ 为 ^{39}Ar 的释放量; $N(\cdot)/N(\cdot)$ 为同一元素同位素比值, $N(\cdot)$ 为该元素的原子丰度; $^{40}Ar^*$ 代表放射性成因 Ar ;样品质量为 30.90 mg,照射参数为 0.002 968,全年龄为 214.0 Ma。

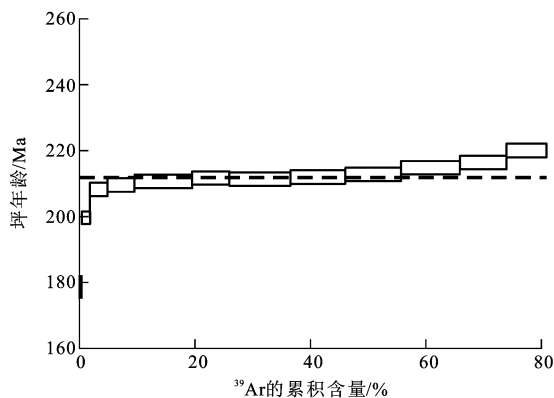


图 5 丝毛岭金矿床绢云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄谱图

Fig. 5 $^{40}Ar/^{39}Ar$ Plateau Age Spectrum of the Sericite from Simaoling Gold Deposit

4 讨 论

丝毛岭金矿床绢云母单矿物样品在阶段加热的高温区视年龄组成了一个平坦的年龄谱(图 5),指示了矿物内部的氩同位素组成稳定,表明所测的绢云母在 211.9 Ma 左右形成之后,没有经历高于其封闭温度的热扰动或同位素体系重置,因此,所获得的坪年龄即为绢云母的结晶时间。绢云母的氩同位素封闭温度为 $(350 \pm 50)^\circ C$ ^[19-20],本次所测绢云母采自丝毛岭金矿床早期成矿阶段。李霞等测得该阶段石英中 CO_2-H_2O 包裹体的完全均一温度范围为 $201.2^\circ C \sim 397.8^\circ C$,主要集中在 $260^\circ C \sim 320^\circ C$,以 $320^\circ C$ 为峰值^[5];也就是说,在误差范围内,早期成矿阶段的

成矿温度与绢云母的氩同位素封闭温度基本一致。此外,镜下观察显示绢云母是热液蚀变的产物[图 4 (b)],是主要的矿化标志之一,也是包裹金的载金矿物之一,因此,笔者所获得的绢云母形成年龄也同时约束了丝毛岭金矿床的成矿时代,即其早期成矿阶段开始于 211.9 Ma 左右。

前人对凤太矿集区的成岩成矿时代开展的同位素年代学研究工作显示,所获得的年龄数据除了一些 K-Ar 和 U-Pb 模式年龄的误差、不确定性和数据范围较大以外,精细的年代学数据主要集中在中、晚三叠

世—早侏罗世时期(表 2)。在成矿时代方面,八卦庙金矿床为 194~232 Ma^[21,23],双王金矿床第二成矿阶段年龄为 183 Ma^[24-25],柴蚂金矿床为 203 Ma^[26],八方山—二里河铅锌矿床为 220~226 Ma^[27-29]。在成岩时代方面,区内西坝岩体同位素年代学研究工作最多,年龄数据集中在 198~228 Ma^[24-25,30-33],NE 向岩脉的年龄为 195~221 Ma^[30,34-35]。凤太矿集区周边地区的岩浆活动主要集中在晚三叠世,位于矿集区北侧的太白岩体年龄为 216 Ma^[32],宝鸡岩体为 210~216 Ma^[30],老君山和秦岭梁岩体分别为(214±3)、

表 2 陕西凤太矿集区成岩成矿年龄

Tab. 2 Diagenetic and Metallogenic Ages in Fengxian-Taibai Ore Cluster of Shaanxi

名称	测试方法	测试对象	年龄数据	数据来源
八卦庙金矿床	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	NW 向石英脉中的石英	坪年龄为(232.58±1.59)Ma, 等时线年龄为(222.14±3.45)Ma	[21]
	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	NE 向石英脉中的石英	坪年龄为(131.91±0.89)Ma,等时线年龄为(129.45±0.35)Ma	[22]
	K-Ar	NE 向石英脉、NW 向石英脉、千枚岩型矿石、条带岩型矿石中的绢云母	测试对象年龄分别为(197.6±4.2)、(195.4±4.2)、(159.7±3.4)、(199.1±4.2)、(194.4±4.2)Ma	[23]
	U-Th-Pb	金矿石中的黄铁矿和磁黄铁矿	铅一致法模式年龄 210Ma	
双王金矿床	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	第二、三成矿阶段的黄铁矿	测试对象年龄分别为(183.09±20.64)、(168.0±16.2)Ma	[24]、[25]
柴蚂金矿床	Sm-Nd	主成矿阶段白云石、方解石	等时线年龄为(203.2±1.6)Ma	[26]
丝毛岭金矿床	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	第一成矿阶段绢云母	坪年龄为(211.9±1.5)Ma	本文
八方山—二里河 铅锌矿床	Re-Os	黄铁矿	等时线年龄为(226±17)Ma	[27]
	Rb-Sr	主成矿阶段的块状闪锌矿	等时线年龄为(220.7±7.3)Ma	[28]、[29]
铅洞山铅锌矿床	U-Pb	矿石	铅单阶段演化模式年龄绝大多数在 390~450 Ma 范围内	[36]
银母寺铅锌矿床	U-Pb	矿石	模式年龄为 310~377 Ma	[37]
西坝岩体	U-Pb	二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩包体中的锆石	测试对象加权平均年龄分别为(219±1)、(218±1)、(215±3)Ma	[30]、[31]
	U-Pb	锆石	(201.2±3.3)Ma	[32]
	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	花岗闪长岩中的黑云母	坪年龄为(222.3±2.7)Ma	
	K-Ar	二长花岗岩中的黑云母	198.3、212.8 Ma	[24]、[25]
	Rb-Sr	石英二长闪长岩的黑云母、角闪石、斜长石、磷灰石、钾长石和全岩	矿物-全岩等时线年龄为 213.5 Ma	
	U-Pb	二长花岗岩中斜长石与钾长石	模式年龄为 213、228 Ma	
	U-Pb	石英闪长岩中的锆石、磷灰石	220、244 Ma	[33]
	K-Ar	花岗闪长岩中的黑云母	148~214 Ma	
岩脉	U-Pb	二里河铅锌矿区切穿矿体的闪长玢岩脉和花岗斑岩脉中的锆石	谐和年龄分别为(214±2)、(217.9±4.5)Ma	[34]
	U-Pb	二里河铅锌矿区沿 NE 向横断层侵位的英云闪长岩脉中的锆石	(221±3)Ma	[30]
	K-Ar	双王金矿床钠长岩	(195.88±3.1)Ma	[35]

(217 ± 3) Ma^[38]; 位于矿集区南侧的光头山、迷坝花岗岩体年龄为 $199 \sim 221$ Ma^[30,39]; 位于矿集区西侧的何家庄岩体成岩时代为早三叠世 ($246 \sim 248$ Ma)^[30]。

与陕西凤太矿集区相邻的、并具有相似成矿地质背景的甘肃西河—成县矿集区(简称“西成矿集区”)同样广泛发育金、铅、锌等多金属矿床。近年来的同位素年代学研究表明,其成岩成矿时代主要集中在晚三叠世。李坝金矿床年龄为 (216.4 ± 1.5) Ma^[40], 笔者获得厂坝铅锌矿床硫化物的 Rb-Sr 等时线年龄为 (222.0 ± 3.0) Ma。厂坝岩体和黄渚关岩体年龄分别为 (216.3 ± 4.3)、(217.9 ± 3.4) Ma^[41], 糜署岭岩体为 (213 ± 3) Ma^[42], 草关岩体为 205 Ma^[43]。秦岭造山带印支期岩浆作用强烈, 其中在南秦岭形成大规模的钙碱性花岗岩带, 同时印支期成矿作用强烈, 成矿类型多样^[44]。

位于凤太矿集区南侧的勉略构造带是东古特提斯构造域的北缘带, 秦岭造山带沿勉略缝合带于中、晚三叠世最终发生会聚碰撞造山作用, 随后转入板内活动^[11,45-47]。李永军等对西秦岭三叠系的研究表明: 该区在中三叠世短暂的地质发展演化过程中, 经历了由扬子型稳定浅海碳酸盐岩沉积快速演变为特提斯型深海巨厚复理石沉积, 特提斯型裂陷槽裂开于中三叠世, 快速关闭于中三叠世晚期—晚三叠世早期, 在两侧老地层刚性体的夹持下形成复杂褶曲变形^[48]。南秦岭自晚三叠世以来发育冲断推覆走滑构造, 西秦岭大致从早侏罗世开始发育大规模的走滑造山, 造山作用在造山带内以形成大型走滑断裂和走滑盆地为特征^[49]。晚三叠世, 在礼县—山阳和凤县—镇安南北两条区域性断裂带的左行走滑构造运动过程中^[49], 或者区域向西挤出构造过程中^[50-51], 由于变形分解作用, 凤太矿集区内形成了 NE 向主压应力场, 在此构造应力场中发育了轴线走向 NW—SE 的复式褶皱, NW 向褶皱相关断裂, 逆从推覆构造和走向断层及相关岩脉, NW 向皱纹线理, NE—SW 向斜断层、张裂隙和张节理及相关岩脉等。这些复杂多样的构造形迹共同组成了一个统一的构造系统——大型走滑双重构造^[15]。构造热年代学研究表明, 晚三叠世末至早侏罗世期间, 西秦岭快速隆升^[52]。

随着研究工作的深入, 大量证据表明: 南秦岭构造带的区域构造活动、岩浆作用和多金属成矿作用在时间上相互耦合, 都集中在中、晚三叠世—早侏罗世时期, 这也是东古特提斯构造域主要的地质演化阶段。毛景文等指出, 西秦岭凤太和西成矿集区的

铅锌、金矿床是三叠纪大规模成矿的产物, 形成于碰撞造山或后碰撞环境^[53]。发育在凤太矿集区的丝毛岭金矿床成矿作用特征^[5]和成矿时代表明, 其与区内的八卦庙、双王等金矿床一样, 属于造山型金矿床^[54-57], 即金矿床形成于南秦岭碰撞造山过程中, 关键控矿因素是构造变形变质作用, 成矿流体为中温热液, 成矿元素来源与变质作用、岩浆活动密切相关, 矿体产出与就位严格受脆—韧性剪切构造系统控制, 矿化过程表现为含矿流体的充填和交代作用, 形成相应的矿石类型为石英脉型或蚀变岩型, 而不是卡林型和类卡林型。总之, 陕西凤太矿集区的主要多金属矿床是类属于东古特提斯构造域的南秦岭碰撞造山过程中大规模构造—岩浆—流体活动的产物, 主成矿期集中在中、晚三叠世—早侏罗世。

5 结 语

陕西凤太矿集区丝毛岭金矿床早期成矿阶段热液蚀变产物绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 (211.9 ± 1.5) Ma, 指示其成矿作用开始于 211.9 Ma 左右, 即晚三叠世。丝毛岭金矿床与凤太矿集区中的八卦庙、双王等金矿床一样, 都属于造山型金矿床; 它们是中、晚三叠世—早侏罗世时期位于东古特提斯构造域中的南秦岭碰撞造山带大规模构造—岩浆—流体活动的产物。

野外工作期间, 西北有色地质勘查局 717 总队及所属的二里河铝锌矿有关领导和技术人员提供了热情支持与协助, 在此一并表示感谢!

参考文献:

References:

- [1] 王瑞廷, 王 涛, 高章鉴, 等. 凤—太多金属矿集区主要金属矿床成矿系列与找矿方向[J]. 西北地质, 2007, 40(2): 77-84.
WANG Rui-ting, WANG Tao, GAO Zhang-jian, et al. The Main Metal Deposits Metallogenic Series and Exploration Direction in Feng-Tai Ore Cluster Region, Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2007, 40(2): 77-84.
- [2] 李建华. 陕西凤太地区“八卦庙式”金矿控矿因素及其找矿潜力分析[J]. 矿产与地质, 2008, 22(1): 62-64.
LI Jian-hua. Analysis on Ore-controlling Factors and Prospecting Potential of the Baguamiao-type Gold Deposits in Fengtai Area, Shaanxi[J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22(1): 62-64.
- [3] 汶 博, 陈明寿, 柳小勇. 八卦庙及外围金矿控矿因素与富集成矿规律研究[J]. 西北地质, 2007, 40(增):

- 37-43.
WEN Bo, CHEN Ming-shou, LIU Xiao-yong. Ore-control Factors and Gold Enrichment in the Surroundings of the Baguamiao Gold Deposit[J]. *Northwestern Geology*, 2007, 40(S): 37-43.
- [4] 李霞, 王义天, 王瑞廷, 等. 西秦岭凤太矿集区丝毛岭金矿床稳定同位素特征及意义[J]. *矿物学报*, 2009, 29(增1): 317-318.
LI Xia, WANG Yi-tian, WANG Rui-ting, et al. Characteristics and Significance of Stable Isotopes from the Simaoling Gold Deposit in the Fengtai Ore Cluster Region, Western Qinling[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2009, 29(S1): 317-318.
- [5] 李霞, 王义天, 王瑞廷, 等. 西秦岭凤太矿集区丝毛岭金矿床地质地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2010, 26(3): 717-728.
LI Xia, WANG Yi-tian, WANG Rui-ting, et al. Geology and Geochemistry of the Simaoling Gold Deposit in the Fengtai Ore Concentration Area, Western Qinling, Central China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(3): 717-728.
- [6] 吴建阳, 张均, 江满容, 等. 陕西凤太地区丝毛岭金矿地质特征及找矿远景[J]. *地质找矿论丛*, 2011, 26(2): 182-187.
WU Jian-yang, ZHANG Jun, JIANG Man-rong, et al. Geological Characteristics and Prospecting Potential of Simaoling Gold Deposit in Fengtai County, Shaanxi Province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2011, 26(2): 182-187.
- [7] 彭艳华, 张广辉, 谭腾云. 丝毛岭金矿 KII-1 矿体矿化规律探讨[J]. *现代矿业*, 2013(8): 47-48.
PENG Yan-hua, ZHANG Guang-hui, TAN Teng-yun. Discussion on the Metallogenic Features of the Orebody KII-1 from the Simaoling Gold Deposit[J]. *Modern Mining*, 2013(8): 47-48.
- [8] 任鹏, 梁婷, 刘扩龙, 等. 秦岭凤太矿集区喷流沉积型铅锌矿床 S、Pb 同位素地球化学特征[J]. *西北地质*, 2014, 47(1): 137-149.
REN Peng, LIANG Ting, LIU Kuo-long, et al. Geochemistry of Sulfur and Lead Isotopic Compositions of SEDEX Lead-zinc Deposits in Fengtai Mineral Cluster Region of Qinling Mountains[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(1): 137-149.
- [9] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. *中国科学: B 辑*, 1995, 25(9): 994-1003.
ZHANG Guo-wei, MENG Qing-ren, LAI Shao-cong. Tectonics and Structure of Qinling Orogenic Belt[J]. *Science in China: Series B*, 1995, 25(9): 994-1003.
- [10] 杜远生. 秦岭造山带泥盆纪古海洋研究[J]. *地球科学*, 1995, 20(6): 617-623.
DU Yuan-sheng. Devonian Paleo-ocean of Qinling Orogenic Belt[J]. *Earth Science*, 1995, 20(6): 617-623.
- [11] DONG Y P, ZHANG G W, NEUBAUER F, et al. Tectonic Evolution of the Qinling Orogen, China: Review and Synthesis[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(3): 213-237.
- [12] 方维萱, 张国伟, 胡瑞忠, 等. 秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相应研究及实例[J]. *沉积学报*, 2001, 19(1): 48-54.
FANG Wei-xuan, ZHANG Guo-wei, HU Rui-zhong, et al. On Implications of the Devonian Hydrothermal Sedimentary Facies in the Qinling Orogeny[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 48-54.
- [13] 王宗起, 闫全人, 闫臻, 等. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. *地质学报*, 2009, 83(11): 1527-1546.
WANG Zong-qi, YAN Quan-ren, YAN Zhen, et al. New Division of the Main Tectonic Units of the Qinling Orogenic Belt, Central China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(11): 1527-1546.
- [14] 王相, 唐荣扬, 李实, 等. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
WANG Xiang, TANG Rong-yang, LI Shi, et al. Qinling Orogeny and Metallogenesis[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996.
- [15] 王义天, 王瑞廷, 代军治, 等. 西秦岭凤太矿集区走滑双重构造及其控矿意义[J]. *矿物学报*, 2009, 29(增1): 188-189.
WANG Yi-tian, WANG Rui-ting, DAI Jun-zhi, et al. The Strike-slip Duplex and Its Constraints on Mineralization in the Fengtai Ore Concentration Area, Western Qinling[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2009, 29(S1): 188-189.
- [16] 西北有色地质勘查局 717 总队. 陕西省凤县丝毛岭金矿详查设计[R]. 宝鸡: 西北有色地质勘查局 717 总队, 2008.
No. 717 Geological Team, Northwest Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals. The Design of Detailed Exploration for the Simaoling Gold Deposit in Fengxian County of Shaanxi Province[R]. Baoji: No. 717 Geological Team, Northwest Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, 2008.
- [17] 李霞. 陕西省凤太矿集区丝毛岭金矿床地质地球化学特征与成因研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
LI Xia. Geology, Geochemistry and Genesis of the Simaoling Gold Deposit in the Fengtai Ore Concentra-

- tion Area, Western Qinling [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010.
- [18] LUDWIG K R. ISOPLOT/Ex. Version 2.49; A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [R]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2001.
- [19] 邱华宁, 彭良. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学与流体包裹体定年 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997.
- QIU Hua-ning, PENG Liang. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Thermochronology and Fluid Inclusion Dating [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1997.
- [20] 陈文, 张彦, 赵海滨, 等. 新疆东天山红山金矿成矿时代研究 [J]. 中国地质, 2006, 33(3): 632-640.
- CHEN Wen, ZHANG Yan, ZHAO Hai-bin, et al. Mineralization Age of the Hongshan Gold Deposit, East Tianshan, Xinjiang [J]. Geology in China, 2006, 33(3): 632-640.
- [21] 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 陕西凤县八卦庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用 [J]. 地质学报, 2003, 77(3): 387-398.
- FENG Jian-zhong, WANG Dong-bo, WANG Xue-ming, et al. Geology and Metallogenesis of the Baguamiao Giant Gold Deposit in Fengxian, Shaanxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3): 387-398.
- [22] 邵世才, 汪东波. 南秦岭三个典型金矿床的 Ar-Ar 年代及其地质意义 [J]. 地质学报, 2001, 75(1): 106-110.
- SHAO Shi-cai, WANG Dong-bo. Ar-Ar Dating of the Three Typical Gold Deposits and Its Geological Significance in the Southern Qinling Region [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 106-110.
- [23] 韦龙明. 秦岭凤太地区八卦庙式金矿成矿地质条件及其成矿预测 [D]. 成都: 成都理工大学, 2003.
- WEI Long-ming. Metallogenic Environment and Prediction for Baguamiao Gold Deposit Type in Qinling Region, China [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2003.
- [24] 石准立, 刘瑾璇, 樊硕诚, 等. 陕西双王金矿床地质特征及其成因 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
- SHI Zhun-li, LIU Jin-xuan, FAN Shuo-cheng, et al. Geological Characteristics and Genesis of the Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1989.
- [25] 金勤海, 鞠党辰. 陕西太白南部西坝复式岩体的成因及其与双王金矿床的关系 [J]. 现代地质, 1990, 4(4): 65-76.
- JIN Qin-hai, JU Dang-chen. The Genesis of Xiba Complex Intrusion and Its Relationship with Shuangwang Gold Deposit in Southern Taibai, Shaanxi Province [J]. Geoscience, 1990, 4(4): 65-76.
- [26] 刘协鲁, 王义天, 胡乔青, 等. 陕西省凤太矿集区柴蚂金矿床碳酸盐矿物的 Sm-Nd 同位素测年及意义 [J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 271-280.
- LIU Xie-lu, WANG Yi-tian, HU Qiao-qing, et al. Sm-Nd Isotopic Dating of Carbonate Minerals from the Chaima Gold Deposit in the Fenxian-Taibai Ore Concentration Area, Shaanxi Province and Its Implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(1): 271-280.
- [27] ZHANG F, LIU S W, LI Q G, et al. Re-Os and U-Pb Geochronology of the Erlihe Pb-Zn Deposit, Qinling Orogenic Belt, Central China, and Constraints on Its Deposit Genesis [J]. Acta Geologica Sinica: English Edition, 2011, 85(3): 673-682.
- [28] 胡乔青, 王义天, 王瑞廷, 等. 陕西省凤太矿集区二里河铅锌矿床的成矿时代: 来自闪锌矿 Rb-Sr 同位素年龄的证据 [J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 258-266.
- HU Qiao-qing, WANG Yi-tian, WANG Rui-ting, et al. Ore-forming Time of the Erlihe Pb-Zn Deposit in the Fengxian-Taibai Ore Concentration Area, Shaanxi Province: Evidence from the Rb-Sr Isotopic Dating of Sphalerites [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(1): 258-266.
- [29] 胡乔青, 王义天, 王瑞廷, 等. 西秦岭凤太矿集区八方山—二里河铅(铜)矿床成矿地质特征与矿床成因探讨 [J]. 地质与勘探, 2013, 49(1): 99-112.
- HU Qiao-qing, WANG Yi-tian, WANG Rui-ting, et al. Geological Characteristics and Genesis of the Bafangshan-Erlihe Pb-Zn(-Cu) Deposit in the Fengxian-Taibai Ore Concentration Area, West Qinling [J]. Geology and Exploration, 2013, 49(1): 99-112.
- [30] 刘树文, 杨朋涛, 李秋根, 等. 秦岭中段印支期花岗质岩浆作用与造山过程 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(6): 1928-1943.
- LIU Shu-wen, YANG Peng-tao, LI Qiu-gen, et al. Indosinian Granitoids and Orogenic Processes in the Middle Segment of the Qinling Orogen, China [J]. Journal of Jinlin University: Earth Science Edition, 2011, 41(6): 1928-1943.
- [31] 张帆, 刘树文, 李秋根, 等. 秦岭西坝花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(5): 833-840.
- ZHANG Fan, LIU Shu-wen, LI Qiu-gen, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Xiba Granitoids from Qinling, Central China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2009, 45(5): 833-840.
- [32] 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 等. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学 [M]. 北

- 京:地质出版社,2006.
- ZHANG Zong-qing, ZHANG Guo-wei, LIU Dun-yi, et al. Isotopic Geochronology and Geochemistry of Ophiolites, Granites and Clastic Sedimentary Rocks in the Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [33] 严 阵, 许全成, 张海军, 等. 陕西省花岗岩 [M]. 西安:西安交通大学出版社, 1985.
- YAN Zhen, XU Quan-cheng, ZHANG Hai-jun, et al. Granites of Shaanxi Province [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1985.
- [34] 王瑞廷, 李芳林, 陈二虎, 等. 陕西凤县八方山—二里河大型铅锌矿床地球化学特征及找矿预测 [J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 779-793.
- WANG Rui-ting, LI Fang-lin, CHEN Er-hu, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of the Bafangshan-Erlihe Large Lead-zinc Ore Deposit, Feng County, Shaanxi Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 779-793.
- [35] 于学元, 郑作平, 黄婉康, 等. 南秦岭金矿成矿特征 [M]//中国科学院黄金科技工作领导小组办公室. 中国金矿研究新进展. 北京:地震出版社, 1994: 365-380.
- YU Xue-yuan, ZHENG Zuo-ping, HUANG Wan-kang, et al. The Gold Metallogenic Characteristics of the Southern Qinling [M]// Leading Group of Gold Science and Technology, Chinese Academy of Sciences. Review on the Gold Deposits in China. Beijing: Seismological Press, 1994: 365-380.
- [36] 祁思敬, 李 英. 秦岭泥盆系铅锌成矿带 [M]. 北京:地质出版社, 1993.
- QI Si-jing, LI Ying. Devonian Lead-zinc Metallogenic Belt in Qinling Mountain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- [37] 罗静兰. 银母寺层控铅锌(铜)矿床的硫、铅同位素与矿床成因 [J]. 西北地质, 1994, 15(1): 19-24.
- LUO Jing-lan. Sulfur, Lead Isotopes and Ore Genesis of the Yinmushi Strata-bound Pb-Zn(Cu) Deposit [J]. Northwestern Geology, 1994, 15(1): 19-24.
- [38] 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 等. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义 [J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 372-377.
- LU Xin-xiang, WEI Xiang-dong, XIAO Qing-hui, et al. Geochronological Studies of Rapakivi Granites in Qinling and Its Geological Implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(4): 372-377.
- [39] 孙卫东, 李曙光, CHEN Ya-dong, 等. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 地球化学, 2000, 29(3): 209-216.
- SUN Wei-dong, LI Shu-guang, CHEN Ya-dong, et al. Zircon U-Pb Dating of Granitoids from South Qinling, Central China and Their Geological Significance [J]. Geochimica, 2000, 29(3): 209-216.
- [40] ZENG Q T, MCCUAIG T C, HART C J R, et al. Structural and Geochronological Studies on the Liba Goldfield of the West Qinling Orogen, Central China [J]. Mineralium Deposita, 2012, 47(7): 799-819.
- [41] 国阿千, 丁振举, 文成雄. 甘肃西成矿田花岗岩锆石 U-Pb 定年及地质意义 [J]. 矿物学报, 2011, 31(增): 581-582.
- GUO A-qian, DING Zhen-ju, WEN Cheng-xiong. Granite Zircon U-Pb Isotope Dating and Geological Significance of Xicheng Ore Cluster in Gansu [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(S): 581-582.
- [42] 秦江锋. 秦岭造山带晚三叠世花岗岩类成因机制及深部动力学背景 [D]. 西安:西北大学, 2010.
- QIN Jiang-feng. Petrogenesis and Geodynamic Implications of the Late-Triassic Granitoids from the Qinling Orogenic Belt [D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- [43] 李永军, 谢其山, 栾新东, 等. 西秦岭糜署岭岩浆带成因及构造意义 [J]. 新疆地质, 2004, 22(4): 374-377.
- LI Yong-jun, XIE Qi-shan, LUAN Xin-dong, et al. The Origins and Tectonic Significance of the Mishuling Magma Zone in West Qinling [J]. Xinjiang Geology, 2004, 22(4): 374-377.
- [44] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用 [J]. 中国地质, 2010, 37(4): 854-865.
- CHEN Yan-jing. Indosinian Tectonic Setting, Magmatism and Metallogenesis in Qinling Orogen, Central China [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 854-865.
- [45] 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(12): 1121-1135.
- ZHANG Guo-wei, DONG Yun-peng, LAI Shao-cong, et al. The Mianlue Tectonic Belt and the Mianlue Suture Zone in the South Margin of Qinling-Dabie Orogen [J]. Science in China: Series D, 2003, 33(12): 1121-1135.
- [46] 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合 [J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 846-853.
- ZHANG Guo-wei, CHENG Shun-you, GUO An-lin, et al. Mianlue Paleo-suture on the Southern Margin of the Central Orogenic System in Qinling-Dabie—With a Discussion of the Assembly of the Main Part of the Continent of China [J]. Geological Bulletin of China,

- 2004, 23(9/10): 846-853.
- [47] DONG Y P, LIU X M, ZHANG G W, et al. Triassic Diorites and Granitoids in the Foping Area: Constraints on the Conversion from Subduction to Collision in the Qinling Orogen, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 47: 123-142.
- [48] 李永军, 赵仁夫, 刘志武, 等. 西秦岭三叠纪沉积盆地演化[J]. *中国地质*, 2003, 30(3): 268-273.
- LI Yong-jun, ZHAO Ren-fu, LIU Zhi-wu, et al. Triassic Sedimentation and Basin Evolution in the Western Qinling[J]. *Geology in China*, 2003, 30(3): 268-273.
- [49] 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J]. *西北地质*, 2003, 36(1): 1-10.
- FENG Yi-min, CAO Xuan-duo, ZHANG Er-peng, et al. Tectonic Evolution, Framework and Nature of the West Qinling Orogenic Belt[J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36(1): 1-10.
- [50] 王二七, 孟庆任, 陈智樑, 等. 龙门山断裂带印支期左旋走滑运动及其大地构造成因[J]. *地学前缘*, 2001, 8(2): 375-384.
- WANG Er-qi, MENG Qing-ren, CHEN Zhi-liang, et al. Early Mesozoic Left-lateral Movement Along the Longmen Shan Fault Belt and Its Tectonic Implications[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(2): 375-384.
- [51] 曾佐勋, 胡以铿, 周继彬, 等. 陕甘川邻接区滑脱挤出构造与金矿的关系[J]. *地球科学*, 2001, 26(6): 631-637.
- ZENG Zuo-xun, HU Yi-keng, ZHOU Ji-bin, et al. Relationship Between Decollement-extrusion Tectonics and Gold Deposits in Adjoining Area of Sichuan, Gansu and Shaanxi Provinces[J]. *Earth Science*, 2001, 26(6): 631-637.
- [52] 王 非, 朱日祥, 李 齐, 等. 秦岭造山带的差异隆升特征——花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究的证据[J]. *地学前缘*, 2004, 11(4): 445-459.
- WANG Fei, ZHU Ri-xiang, LI Qi, et al. A Differential Uplifting of Qinling Orogeny Belt Evidences from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Thermochronology of Granites[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(4): 445-459.
- [53] 毛景文, 周振华, 丰成友, 等. 初论中国三叠纪大规模成矿作用及其动力学背景[J]. *中国地质*, 2012, 39(6): 1437-1471.
- MAO Jing-wen, ZHOU Zhen-hua, FENG Cheng-you, et al. A Preliminary Study of the Triassic Large-scale Mineralization in China and Its Geodynamic Setting[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1437-1471.
- [54] 毛景文. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿床[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(1): 11-13.
- MAO Jing-wen. *Geology, Distribution and Classification of Gold Deposits in the Western Qinling Belt, Central China*[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(1): 11-13.
- [55] MAO J W, QIU Y M, GOLDFARB R J, et al. *Geology, Distribution, and Classification of Gold Deposits in the Western Qinling Belt, Central China*[J]. *Mineralium Deposita*, 2002, 37(3/4): 352-377.
- [56] 张作衡. 西秦岭地区造山型金矿床成矿作用和成矿过程[D]. 北京: 中国地质科学院, 2002.
- ZHANG Zuo-heng. *The Mineralization and Metallogenic Process for Orogenic Gold Deposits in Western Qinling Region*[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2002.
- [57] 张作衡, 毛景文, 李晓峰. 双王角砾岩型金矿床地质地球化学及成矿机制[J]. *矿床地质*, 2004, 23(2): 241-252.
- ZHANG Zuo-heng, MAO Jing-wen, LI Xiao-feng. *Geology, Geochemistry and Metallogenic Mechanism of Shuangwang Breccia Type Gold Deposit*[J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23(2): 241-252.

《地球科学与环境学报》2015 年变更为双月刊的通告

《地球科学与环境学报》从 2015 年起变更为双月刊, 欢迎广大作者踊跃投稿!

《地球科学与环境学报》作为教育部主管、长安大学主办的地球科学与环境领域的权威性学术刊物, 长期以来一直受到广大地球科学与环境领域科研工作者的关爱, 学术质量不断提高, 影响力不断扩大, 投稿量不断增加。为了进一步缩短论文发表时滞, 使地球科学与环境领域的学术成果更多、更快地发表, 打造更权威的地球科学与环境领域学术交流平台, 编辑部继 2013 年、2014 年连续两年增加页码之后决定再次扩容, 从 2015 年起由原来的季刊变更为双月刊。