

# 陕西柞山盆地池沟铜钼矿区含矿岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因<sup>\*</sup>

谢桂青<sup>1</sup> 任涛<sup>2</sup> 李剑斌<sup>2</sup> 王瑞廷<sup>3</sup> 夏长玲<sup>2</sup> 郭延辉<sup>2</sup> 代军治<sup>3</sup> 申志超<sup>4</sup>

XIE GuiQing<sup>1</sup>, REN Tao<sup>2</sup>, LI JianBin<sup>2</sup>, WANG RuiTing<sup>3</sup>, XIA ChangLing<sup>2</sup>, GUO YanHui<sup>2</sup>, DAI JunZhi<sup>3</sup> and SHEN ZhiChao<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. 西北有色地质勘查局 713 总队, 商洛 726000

3. 西北有色地质勘查局地质勘查院, 西安 710054

4. 中国地质大学, 北京 100083

1. *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100083, China*

2. *No. 713 Geological Team, Northwest Mining and Geological exploration Bureau for Nonferrous Metals, Shangluo 726000, China*

3. *Geological Exploration Institution, Northwest Mining and Geological exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, China*

4. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

2010-02-10 收稿, 2010-09-10 改回.

Xie GQ, Ren T, Li JB, Wang RT, Xian CL, Gou YH, Dai JZ and Shen ZC. 2012. Zircon U-Pb age and petrogenesis of ore-bearing granitoid for the Chigou Cu-Mo deposit from the Zhashan basin, Shaanxi Province. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (1):15–26

**Abstract** There have plenty of Cu-Mo deposits (occurrences) which are genetically associated with intermediate-acid granitoid stock from the Zhashan basin in the Qinling Orogenic Belt, recently huge copper orebody has been discovered in the Chigou Cu-Mo deposit region, but the timing and petrogenesis of ore-bearing granitoids were poorly constrained. In this contribution, ore-bearing granitoids for the Chigou Cu-Mo deposit were selected; geochemistry and LA-MC-ICPMS zircon U-Pb data for these rocks have been carried out. They are dominantly quartz diorite, diorite and porphyritic granite in petrology, and geochemically belong to high potassic calc-alkaline I-type granitoid, geochemical and Sr-Nd isotopic evidence demonstrate that these rocks originated from partial melting of upper mantle and lower crust. The weight average  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages for these ore-bearing granitoids are  $\sim 145\text{Ma}$ . In combined with regional geological characteristics and relation between igneous rocks and mineralization, it is proposed that the Chigou ore-bearing igneous rocks were formed during the Late Jurassic-Early Cretaceous time, and it is indicated that there have regional Late Jurassic-Early Cretaceous granitoid and porphyry-skarn Cu-Mo polymetallic deposits in the Zhashan basin, synchronously the formation of granitoid batholith or stock and the corresponding porphyry Mo-hydrothermal vein Zn-Pb-Ag deposits in South margin of North China Craton.

**Key words** LA-MC-ICPMS zircon U-Pb age; Porphyry Cu-Mo deposit; Chigou region; Zhashan basin

**摘 要** 秦岭造山带柞山盆地多处发育与晚中生代中酸性小岩体有关的铜钼矿床(点),最近在池沟深部发现了厚大的斑岩型铜矿体,但对这些小岩体的形成时代和成因的研究很少。本文选择池沟地区不同类型的花岗质岩石开展地球化学特征和锆石 U-Pb 测年的研究。结果表明:该区小岩体主要为闪长岩、石英闪长岩和斑状花岗岩,它们为钾质钙碱性 I 型花岗岩质岩石。矿物学、地球化学和 Sr-Nd 同位素特征均暗示它们是上地幔和下地壳同熔的深熔岩浆产物。与成矿密切相关的含矿岩体 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 谐和年龄为  $\sim 145\text{Ma}$ ,结合区域地质资料和成岩成矿关系的研究,认为池沟含矿岩体形成于晚侏罗

<sup>\*</sup> 本文受西北有色地质勘查局科技项目和国家自然科学基金(40972054)联合资助。

第一作者简介: 谢桂青,男,1975 年生,研究员,地球化学专业, E-mail: guiqingxie@sohu.com

世-早白垩世, 柞水盆地存在一期重要的晚侏罗世-早白垩世中酸性岩浆岩和相应的斑岩-矽卡岩铜钼金矿化, 与华北地块南缘晚中生代岩体和相关的钼铅锌矿床形成于同一地质事件。

**关键词** LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄; 斑岩铜矿床; 池沟地区; 柞山盆地  
**中图法分类号** P588.121; P588.122; P597.3

1 引言

秦岭造山带是中国重要的贵金属和有色金属成矿带, 探明金属矿床 400 多处, 成矿作用具有明显的“二元控矿”特征(王东生等, 2009); 而且发育了大面积的花岗质岩石(总面积高达 4 万平方千米), 是研究花岗质岩石的理想对象(卢欣祥等, 2000)。因此, 秦岭造山带的岩浆-成矿-构造演化一直是国内外的研究热点。大量研究表明: 秦岭地区的构造演化大致经历了三个主要阶段, 分别为前寒武纪基底形成阶段(Ar-Pt<sub>2,3</sub>)、主造山板块构造演化阶段(Pt<sub>3</sub>-T<sub>2</sub>) 和中生代以来的陆

内造山演化阶段(张国伟等, 2001), 其中第二阶段发育大量的晚古生代弧前盆地, 如凤太盆地和柞山盆地, 盆地有丰富的金、铅、锌和铜矿床(王瑞廷等, 2008); 第三阶段以发育大量晚中生代的侵入岩以及金、铅银锌和斑岩钼矿床为特征(卢欣祥等, 2002), 但已探明的矿床主要集中于华北地块南缘, 以与小岩体有关的斑岩-矽卡岩钼矿床最为突出(Mao *et al.*, 2008)。南秦岭发育一些晚中生代的小岩体, 如柞山盆地很多岩体周围分布众多铜钼矿点(万义文, 1980; 张本仁等, 1989)。最近, 通过对资料的系统研究, 预计柞山盆地泥盆纪层控改造-再造型铜矿在 40 万吨以上, 且深部找矿潜力巨大(王瑞廷等, 2008)。2008-2009 年在柞山盆地池沟地区发现了 100 多米厚的铜矿体, 研究表明该盆地的热水喷流-

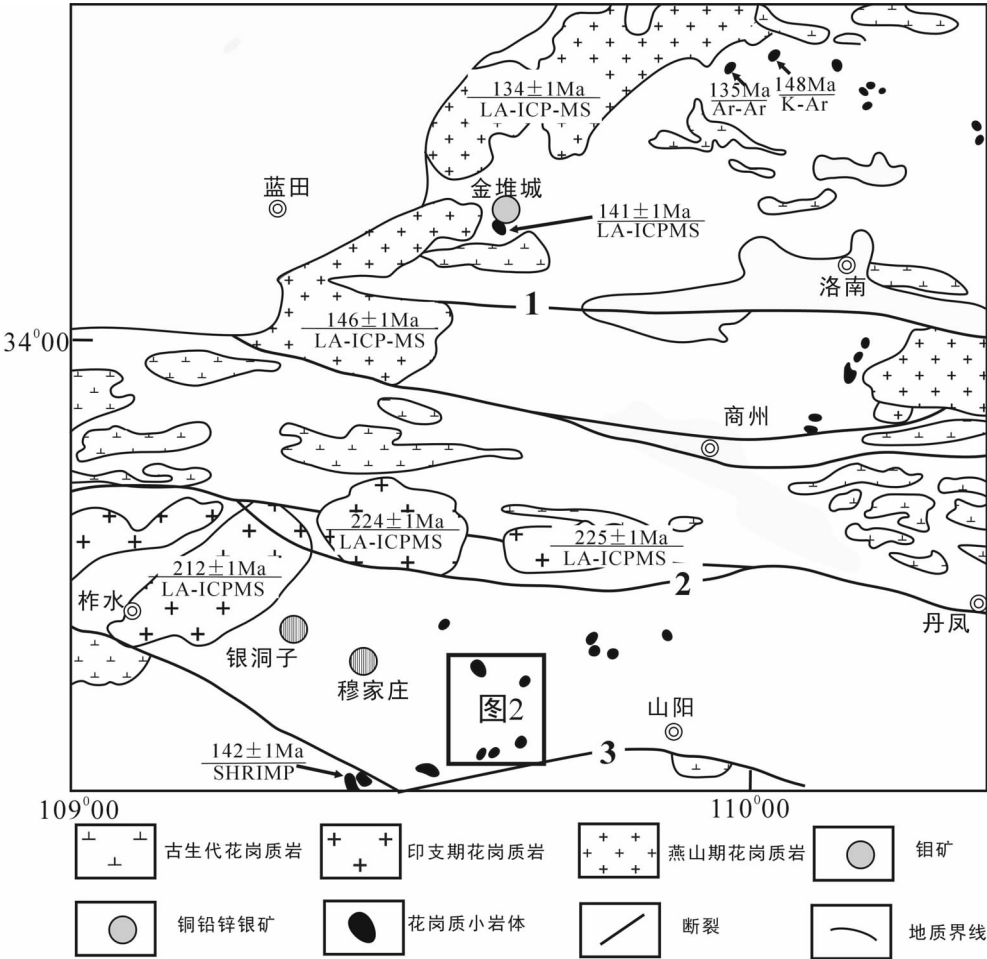


图1 东秦岭花岗岩分布简图(底图据卢欣祥等, 2000 修改)  
1-洛南断裂; 2-商南-丹凤断裂; 3-凤镇-山阳断裂。图中岩体的年代学资料据牛宝贵等, 2006; 朱赖民等, 2008; 郭波等, 2009; 弓虎军等, 2009; 详细说明见正文  
Fig.1 Sketch granitoid map of the Eastern Qinling (after Lu *et al.*, 2000)

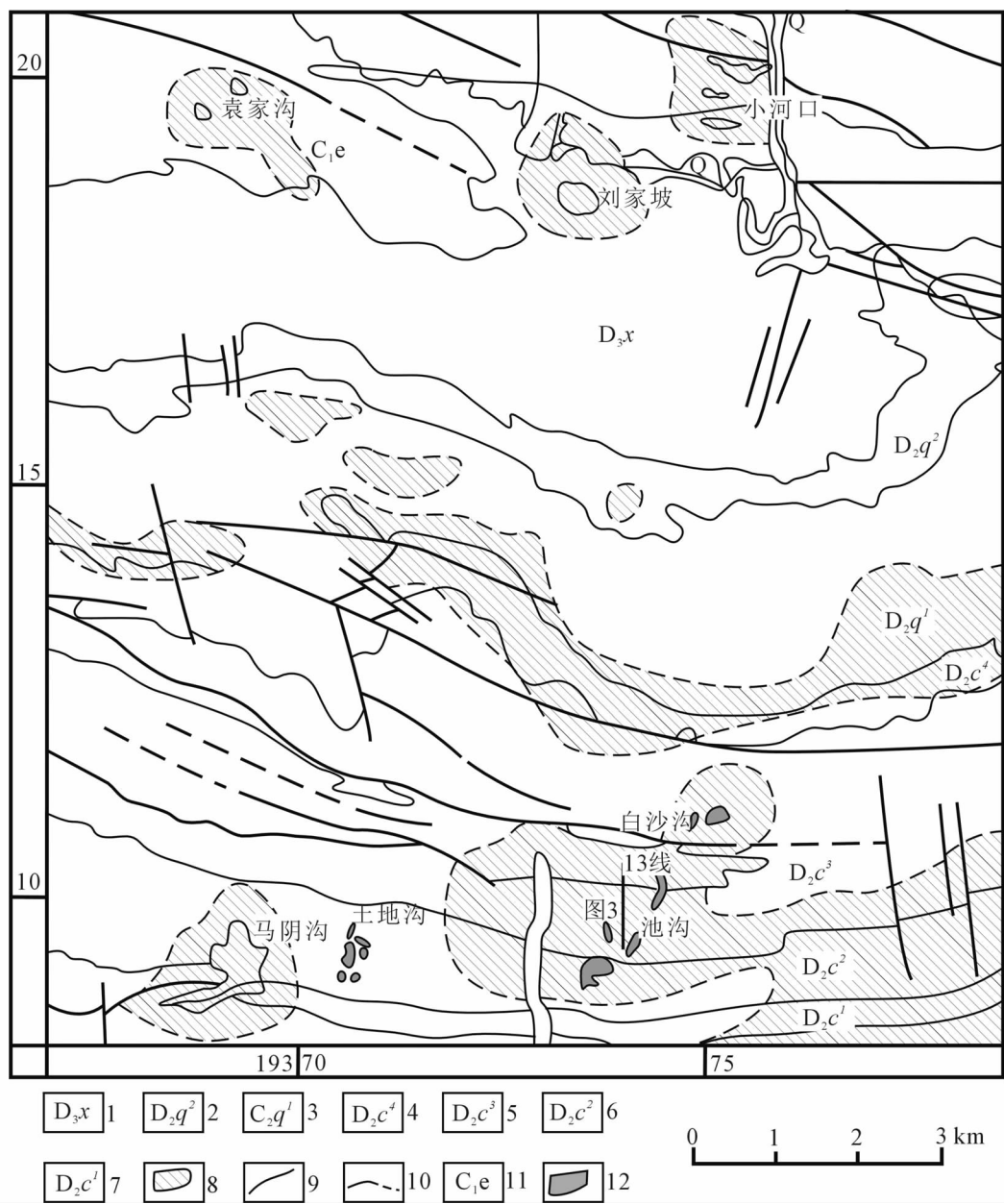


图2 柞山盆地的区域地质图,显示主要岩体(底图据万义文, 1980 修改)  
1-上泥盆统下东沟组;2-上泥盆统青石垭组下段;3-上泥盆统青石垭组上段;4-上泥盆统池沟组第四段;5-上泥盆统池沟组第三段;6-上泥盆统池沟组第二段;7-上泥盆统池沟组第一段;8-热液蚀变范围;9-断裂;10-地质界线;11-下石炭统二峪河组;12-小岩体  
Fig. 2 Regional geological map of the Zhashan basin, Shaanxi Province, showing location of granitoid (modified after Wan, 1980)

改造型铜矿和斑岩型铜矿均与深部岩体密切相关,具有寻找大型斑岩型铜矿床的广阔前景(任涛等,2009)。但到目前为止,对柞山盆地一带晚中生代小岩体的研究相对较少,主要集中于少量的岩石学和地球化学方面的研究,成岩时代方面仅开展过 K-Ar 和 Rb-Sr 模式年龄研究,且年龄范围变化较大(276.6 ~ 94.6Ma)(万义文,1980; 张银龙,1992;陈连红等,2007)。因此,本文选择池沟铜矿区不同类型的花岗质岩石作为研究对象,在大量岩相学工作的基础上,开展元素和 Sr-Nd 同位素的研究,并对与成矿相关的岩枝上部(取自

ZK1301 孔,孔深 116 ~ 120m,编号 1301-40)和下部(取自 ZK1302 孔,孔深 788 ~ 790m,编号 1302-9)进行单颗粒锆石 U-Pb 测年,精确厘定岩体的形成时代,初步探讨岩石的成因和地质意义,为构筑柞山盆地斑岩铜矿床的成矿模型提供基础。

## 2 地质背景

研究区位于秦岭造山带东秦岭成矿带(图1),区内洛南

断裂以北为华北地块的南缘,以南为北秦岭造山带,商南-丹凤断裂以北为北秦岭造山带,以南为南秦岭造山带,区域上发育大量的花岗质岩石,印支期花岗质岩主要分布于沙河湾、曹坪和柞水地区,三个地区的岩性分别为石英二长斑岩、石英二长岩、二长花岗岩,以富硅、富碱和富镁为特征,属于钾玄-高钾钙碱性系列准铝质 I 型花岗质岩石,锆石 LA-ICPMS 年龄分别为  $212 \pm 1\text{Ma}$ 、 $224 \pm 1\text{Ma}$  和  $225 \pm 1\text{Ma}$  (弓虎军等,2009),相当于晚三叠世。燕山期花岗质岩石呈大岩基分布于华北地块南缘,如华山和老牛山,岩性均为黑云母二长花岗岩,属高钾钙碱性花岗质岩,锆石 LA-ICPMS 年龄分别为  $134 \pm 1\text{Ma}$  (郭波等,2009) 和  $146 \pm 1\text{Ma}$  (朱赖民等,2008),相当于晚侏罗世-早白垩世。除此以外,东秦岭发育多个花岗质小岩体,呈北东向成串状分布格局 (图 1) (卢欣祥等,2000)。

柞水-山阳盆地夹持于商南-丹凤断裂与凤镇-山阳断裂间 (图 1),属于南秦岭古生代褶皱带,盆地出露上泥盆统池沟组、青石垭组、下东沟组和下石炭统二峪河组 (图 2),为一套泥岩、碎屑岩及少量碳酸盐岩沉积的复理石建造,被认为是晚古生代的北秦岭岛弧前盆地 (王宗起等,2009)。该盆地主要在上泥盆统青石垭组发育两种类型矿床,分别为以银洞子矿床为代表的典型热水喷流沉积改造型银铅锌矿床和以穆家庄矿床为代表的典型热水喷流沉积-热液改造型铜矿床 (王瑞廷等,2008)。另外,在池沟、土地沟、马阴沟、白沙沟、小河口等地多处发育小岩体 (图 2),分布受区域构造控制,出露在东西断裂与南北向张裂的共轭点上,大致形成东西约 6km,南北约 4km 等距的棋盘格式,各出露点均有 2~4 个岩枝,最长达 7~8 个岩枝,各个岩枝面积很小 ( $0.1 \sim 0.67\text{km}^2$ ),呈成群出现的特点 (万义文,1980)。这些岩体与细碎屑岩和碳酸盐岩侵入接触,围岩蚀变以角岩化、矽卡岩化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化和硅化为主,蚀变作用呈东西向带状分布,分布范围是岩体出露面积的数十倍,岩体铜、钼、铁矿化普遍,但仅在小河口形成小型矽卡岩铜矿床 (张本仁等,1989),其余皆为矿点。池沟铜钼矿区共有 7 个小岩枝和岩脉,地表出露规模均较小,各个岩枝面积较小 ( $0.001 \sim 0.06\text{km}^2$ ),呈不规则的圆形和椭圆形,长轴近南北向 (我觉得还是改了好,圆形没有长轴,这句指的是椭圆形的)。近年来西北有色地质调查局 713 总队在大量地质填图、化探异常和高精度磁法扫面研究的基础上,结合可控源音频大地电磁法 (CSAMT) 测深的资料,在池沟地区 4 号岩体西侧 13 线深部发现了厚 123m 的铜矿体,主要位于深部两个岩枝与角岩的内外接触带 (图 3) (任涛等,2009)。

### 3 岩相学特征

本文选择了池沟 1~6 号岩体和 13 线与成矿密切相关的岩枝开展详细的显微观察。研究表明,这些小岩体面积很

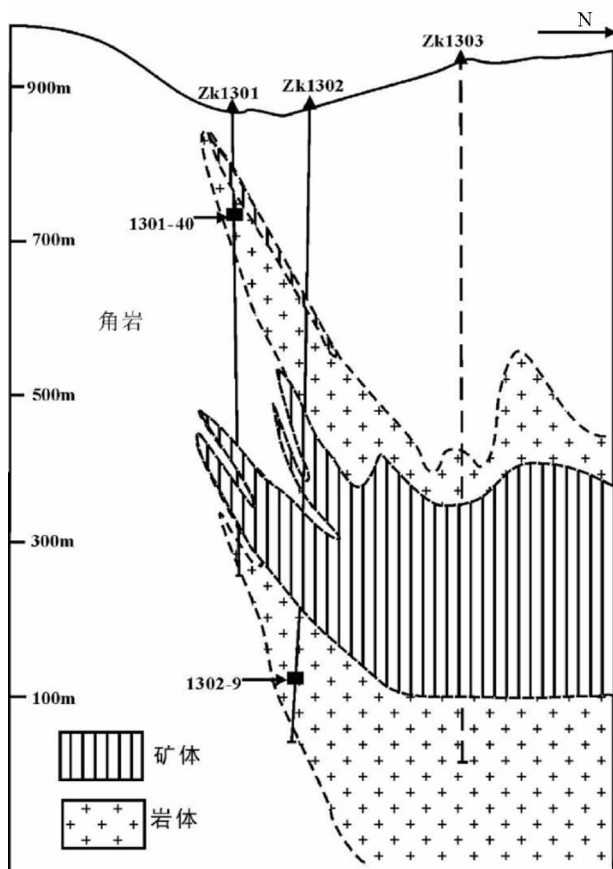


图 3 柞山盆地池沟铜钼矿区 13 线剖面地质简图,显示采样位置 (据任涛等, 2009 修改)

Fig. 3 Geological map of No. 13 cross section from the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province, showing the location of sample (modified after Ren *et al.*, 2009)

小 ( $0.001 \sim 0.06\text{km}^2$ ), 每个岩体的岩性单一。1 号岩体不同于其他岩体, 具有斑状结构, 斑晶含量约占 25%, 主要有富钠透长石、更长石、黑云母和角闪石; 基质较细, 主要由石英、钾长石和斜长石组成, 全岩各主要矿物组成依次为: 角闪石 10%~15%、黑云母 3%~5%、石英 20%~25%、斜长石 30%~35%、钾长石 20%~25%。根据结构和矿物组成, 该岩体为斑状花岗岩, 岩体普遍黄铁矿化, 含量最高达 5% 左右。2 号和 6 号岩体均为闪长岩, 3、4、5 号岩体和 13 线深部赋矿的岩枝均为石英闪长岩。这些石英闪长岩和闪长岩具有不等粒或似斑状结构, 块状构造, 斑晶主要为更长石、黑云母和角闪石, 基质呈显晶质花岗岩结构, 全岩各主要矿物组成依次为: 更长石 50%~55%、钾长石 10%~15%、石英 3%~10%、黑云母 10%~15%、角闪石 5%~10%。黑云母蚀变较强, 呈绿泥石化, 更长石发生少量绢云母化, 中间发育黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等不透明矿物 (3%~5%), 黄铁矿和黄铜矿主要为岩浆期后热液形成的。

## 4 分析方法

### 4.1 元素和 Sr-Nd 同位素分析

将代表性样品磨碎至 200 目后,在澳实分析检测(广州)有限公司进行主量、微量和稀土元素的分析测试。主量元素分析采用 XRF 方法(X 荧光光谱法),取 0.9g 样品,煅烧后加入 9.0g 的  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-LiBO}_2$  助熔物(固体),充分混和后放置在自动熔炼仪中,使之在 1050 ~ 1100℃ 熔融,熔融物倒出后形成扁平玻璃片,再用 XRF 荧光光谱仪进行分析,分析精度优于 5%。稀土和微量元素采用 ICP-MS 方法分析,取 0.2g 样品,加入到 0.90g 的  $\text{LiBO}_2$  熔剂中,混合均匀,在 1000℃ 的熔炉中熔化。熔液冷却后,溶解于 100mL 4% 的硝酸中,然后用等离子质谱仪(ICP-MS)分析,测试精度为 5% ~ 10%。

样品的 Sr 和 Nd 同位素测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。Sr-Nd 同位素的分析流程为:称取 0.1 ~ 0.2g 粉末样品,置于低压密闭溶样罐中,加入稀释剂,用混合酸( $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ )溶解 24h。待样品完全溶解后,蒸干,加入 6mol/L 的盐酸转为氯化物蒸干。用 0.5mol/L 的盐酸溶液溶解,离心分离,清液载入阳离子交换柱。然后用盐酸溶液淋洗,蒸干,最后用 ISOPROBE-T 热电离质谱计完成质谱分析。Sr 同位素比值测定的内校正因子采用  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ ,标准测量结果 NBS987 为  $0.710250 \pm 7$ 。Nd 同位素比值采用  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  校正,标准测量结果 SHINESTU 为  $0.512118 \pm 3$ (标准值为 0.512110)。 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  和  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  分别通过元素 Rb、Sr 和 Sm、Nd 含量计算获得,计算公式类同于文献(Wang *et al.*, 2005)。

### 4.2 锆石 U-Pb 分析

测试样品经人工破碎后,用常规重力和磁选方法分选出锆石,在双目镜下挑选。将待测样品的锆石颗粒、标准锆石 M257 和 TEM 置于环氧树脂制靶,然后磨至一半,用于透射光、反射光、阴极发光(CL)和 U-Pb 定年分析。在透射光和反射光显微镜观察的基础上,选择合适的样品进行阴极发光研究。锆石阴极发光在北京离子探针中心日立 HITACHI S3000-N 型扫描电子显微镜上完成。

1302-9 和 1301-40 样品的锆石定年分析在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完成,所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用束斑直径为 25 $\mu\text{m}$ ,频率为 10Hz,能量密度约为 2.5J/cm<sup>2</sup>,以 He 为载气。LA-MC-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,锆石 U-Pb 测年以锆石 GJ-1 为外标,U、Th 含量以锆石 M127( $\text{U}: 923 \times 10^{-6}$ ;  $\text{Th}: 439 \times 10^{-6}$ ;  $\text{Th}/\text{U}: 0.475$ ; Nasdala *et al.*, 2008)为外标进行校正。测试过程中每测定 5 ~ 7 个样品前后重复测定两个标样锆石 GJ-1 对样品进行校正,并测量一个锆石标样 Plesovice,观察仪器的状态和测试的重现

性,锆石标准的重现性在 1% ( $2\sigma$ ) 左右。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu *et al.*, 2008),测量过程中绝大多数分析点  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 1000$ ,未进行普通铅校正, $^{204}\text{Pb}$  由离子计数器检测, $^{204}\text{Pb}$  含量异常高的分析点可能受包体等普通 Pb 的影响,这些点在计算时剔除,锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序制作,表达式中所列单个数据点的误差均为  $1\sigma$ ,加权平均年龄具 95% 的置信度。详细实验测试过程可参见侯可军等(2009)。本次样品分析过程中,Plesovice 标样作为未知样品的分析结果为  $337.1 \pm 2.9\text{Ma}$  ( $n = 5$ ,  $2\sigma$ ),对应的年龄推荐值为  $337.13 \pm 0.37(2\sigma)$  (Slama *et al.*, 2008),两者在误差范围内完全一致。

## 5 分析结果

### 5.1 岩石地球化学特征

代表性样品的主量、微量、稀土元素和 Sr-Nd 同位素分析结果见表 1。由表 1 可见,1 号岩体的斑状花岗岩以富硅( $\text{SiO}_2 = 69.07\%$ ),贫镁( $\text{MgO} = 0.90\%$ )、钙( $\text{CaO} = 2.00\%$ )、钛( $\text{TiO}_2 = 0.37\%$ )和磷( $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.21\%$ )为特征,明显不同于其余岩体,其余岩体的闪长岩和石英闪长岩具有贫硅( $\text{SiO}_2 = 58.01\% \sim 65.78\%$ ),富镁( $\text{MgO} = 1.23\% \sim 3.39\%$ )、钙( $\text{CaO} = 2.63\% \sim 5.10\%$ )、钛( $\text{TiO}_2 = 0.50\% \sim 0.84\%$ )和磷( $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.33\% \sim 0.51\%$ )的特征。池沟铜钼矿区的岩体富碱( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 6.66\% \sim 8.75\%$ )、高钾( $\text{K}_2\text{O} = 2.92\% \sim 5.11\%$ ),属于高钾钙碱性和钾玄质系列(图 4)。总体来说,样品的  $\text{SiO}_2$  与  $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{FeO}^T$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  呈负相关性,与  $\text{K}_2\text{O}$  呈正相关性,与  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  无相关性。

池沟岩体具有较高的稀土元素总量( $\sum \text{REE} = 117 \times 10^{-6}$ )

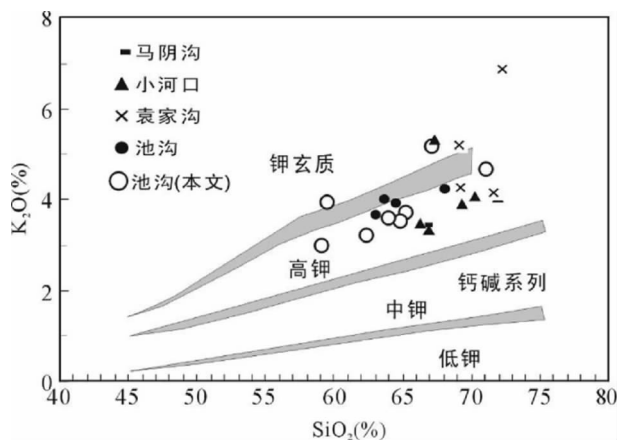


图 4 柞山盆地池沟地区岩体的  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  图解(底图据 Rollinson, 1993)

双元沟、小河口和袁家沟资料据万义文,1980;张本仁等,1989

Fig. 4  $\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  diagram for Late Mesozoic granitoids for the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province (modified after Rollinson, 1993)

表 1 柞山盆地池沟铜钼矿区岩体的主量 (wt%)、微量和稀土元素 (×10<sup>-6</sup>) 的成分

Table 1 Major (wt%) and trace element (×10<sup>-6</sup>) compositions of granitoids from the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province

样品号	201-60	SC20	CG7	CG6	CG8	CG3	1302-9	1301-40
位置	1 号岩体	2 号岩体	3 号岩体	4 号岩体	5 号岩体	6 号岩体	13 线深部	13 线深部
岩性	斑状花岗岩	闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩
SiO <sub>2</sub>	69.07	58.01	62.67	60.50	65.78	58.61	62.22	62.29
TiO <sub>2</sub>	0.37	0.84	0.67	0.75	0.50	0.73	0.57	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.29	16.20	16.46	16.23	16.44	16.23	15.18	16.25
FeO <sup>T</sup>	2.42	7.29	4.39	5.33	2.33	6.64	4.49	4.96
MnO	0.04	0.12	0.05	0.07	0.03	0.19	0.05	0.06
MgO	0.90	3.39	2.25	3.00	1.23	2.50	1.92	2.28
CaO	2.00	5.10	2.46	3.99	2.63	4.53	3.53	3.19
Na <sub>2</sub> O	3.32	3.96	3.91	3.53	3.64	4.84	3.69	3.83
K <sub>2</sub> O	4.50	2.92	3.46	3.13	5.11	3.90	3.48	3.48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.50	0.45	0.51	0.33	0.51	0.37	0.44
LOI	1.49	1.14	1.73	2.30	1.24	0.78	3.84	1.76
Ba	5450	2890	3490	3370	3490	3240	3130	3570
Pb	18.0	12.0	13.0	12.0	14.0	31.0	11.0	14.0
Cs	1.37	2.83	2.84	2.09	4.43	2.96	3.08	2.26
Rb	63.5	75.7	107	81.8	152	124	119	101
Sr	1070	1230	1260	1270	1115	1160	1190	1325
Th	19.05	12.05	15.4	13.4	21.0	14.4	17.3	15.05
U	1.58	1.86	3.48	2.77	4.2	1.97	4.6	2.94
Ta	0.90	0.90	1.00	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00
Nb	12.0	14.3	15.3	16.0	16.8	15.5	15.7	16.2
Zr	174	188	225	190	206	212	213	210
Hf	4.80	5.20	6.20	5.20	5.80	5.90	5.90	5.60
La	24.5	41.0	42.8	40.5	44.0	41.0	39.6	39.8
Ce	50.9	79.9	82.4	78.7	85.9	76.4	74.8	76.5
Pr	6.32	9.59	9.87	9.39	9.94	9.08	8.62	9.21
Nd	22.7	35.8	37.0	35.4	35.4	34.3	31.9	34.1
Sm	3.72	6.34	6.31	6.31	5.67	6.21	5.49	5.92
Eu	1.25	1.65	1.75	1.60	1.51	1.53	1.35	1.57
Gd	3.09	5.45	5.72	5.39	4.77	5.44	4.67	5.22
Tb	0.35	0.70	0.74	0.64	0.58	0.7	0.58	0.64
Dy	1.74	3.81	3.94	3.34	2.89	3.61	3.03	3.33
Ho	0.320	0.690	0.740	0.600	0.510	0.680	0.550	0.570
Er	0.94	2.07	2.26	1.78	1.72	2.1	1.71	1.84
Tm	0.11	0.27	0.28	0.22	0.2	0.26	0.22	0.23
Yb	0.93	1.94	2.07	1.58	1.64	1.95	1.65	1.74
Lu	0.150	0.310	0.320	0.240	0.25	0.300	0.260	0.270
Y	9.30	19.7	21.1	17.8	15.5	19.8	16.0	17.6
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	0.172	0.178	0.245	0.186	0.394	0.308	0.289	0.221
<sup>87</sup> Sr / <sup>86</sup> Sr	0.705194	0.705248	0.705573	0.705462	0.70601	0.705674	0.705632	0.705541
2sigma	15	6	9	18	13	10	11	14
( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>i</sub>	0.7049	0.7049	0.7051	0.7051	0.7052	0.7051	0.7051	0.7051
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	0.099	0.107	0.103	0.108	0.097	0.109	0.104	0.105
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0.512308	0.512326	0.512297	0.512261	0.512222	0.512243	0.512251	0.512256
2sigma	12	4	8	7	25	12	12	8
ε <sub>Nd</sub> ( <i>t</i> )	-4.7	-4.5	-5.0	-5.8	-6.3	-6.1	-5.9	-5.8

注: (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>CHUR</sub><sup>0</sup> = 0.7045, (<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr)<sub>CHUR</sub><sup>0</sup> = 0.0827, (<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd)<sub>CHUR</sub><sup>0</sup> = 0.1967, (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>CHUR</sub><sup>0</sup> = 0.512638; λ<sub>Rb</sub> = 1.42 × 10<sup>-11</sup>/a, λ<sub>Sm</sub> = 6.5 × 10<sup>-12</sup>/a, *t* = 140Ma

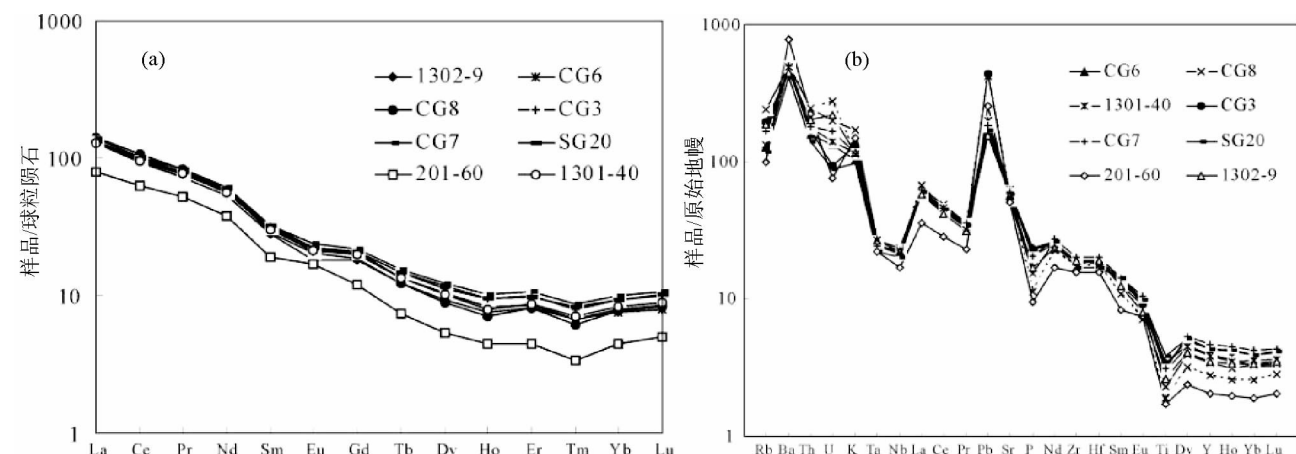


图5 柞山盆地池沟地区岩体的稀土元素球粒陨石标准化图解(a, 据 Boynton, 1984)和微量元素原始地幔标准化蛛网图解(b, 据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a, after Boynton, 1984) and PM-normalized incompatible element spider diagrams (b, after Sun and McDonough, 1989) of the ore-bearing igneous rocks for the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhazhan basin, Shaanxi Province

~ $196 \times 10^{-6}$ )和轻稀土元素含量( $109 \times 10^{-6} \sim 180 \times 10^{-6}$ ),以富集轻稀土(LREE/HREE = 11 ~ 15)、轻重稀土分异较大((La/Yb)<sub>N</sub> = 13.9 ~ 18.1)和无明显的负铈异常(Eu/Eu\* = 0.8 ~ 1.1)为特征(图5a),由表1和图5a可知,斑状花岗岩的轻、重稀土元素含量均低于石英闪长岩和闪长岩,但斑状花岗岩与(石英)闪长岩两者具有类似的轻重稀土分异指数和铈异常特征。微量元素具有富集大离子亲石元素(Ba、Th、U、Pb)和轻稀土元素,亏损Nb、Ta和Ti的特征(图5b)。代表性样品具有中度的Sr初始值((<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> = 0.7049 ~ 0.7051)和低Nd初始值(ε<sub>Nd</sub> = -6.7 ~ -4.5),各岩体之间Sr-Nd同位素组成变化很小。

## 5.2 锆石 U-Pb 年代学

岩枝下部的似斑状含石英闪长岩(1302-9)中锆石多数呈短柱状,大小约80 ~ 140 μm,多数锆石具有振荡环带(图6a),暗示它们为岩浆成因。由表2可知,本次研究对1302-9的19个锆石进行了19次测试,锆石的Th/U比值为0.56 ~ 1.07,平均为0.76,大于0.5,暗示它们为岩浆成因锆石,且它们在谐和图解中均位于谐和线及其附近(图7a),<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U加权平均年龄为146 ± 1 Ma (n = 19, MSWD = 0.3)。岩枝上部的似斑状含石英闪长岩(1301-40)中锆石呈短柱状,大小约60 ~ 100 μm,多数锆石具有振荡环带(图6b),暗示它们为岩浆成因。由于锆石颗粒相对较小,本次仅对8个锆石进行了8次测试,锆石的Th/U比值为0.72 ~ 1.3,平均为0.97,大于0.5,暗示它们为岩浆成因锆石,且它们在谐和图解中均位于谐和线及其附近(图7b),<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U加权平均年龄为145 ± 1 Ma (n = 8, MSWD = 1.0)。由上述可知,池沟铜

钼矿区13线与成矿密切相关的含矿岩体LA-MC-ICPMS 锆石U-Pb年龄范围为~145 Ma。

## 6 讨论和结论

### 6.1 岩体时代

20世纪70 ~ 80年代,部分学者开始关注柞水盆地中酸性斑岩体的地质时代。由图2可知,这些岩体侵位的最新地层为早石炭世,白垩系底部砾岩中可见花岗斑岩和砂卡岩的砾石(万义文,1980),暗示这些岩体形成于早石炭世至白垩纪。20世纪60 ~ 70年代,前人对这些岩体开展了大量的同位素测年,主要是对小河口、袁家沟和马阴沟(图2)的花岗闪长斑岩、花岗斑岩和闪长岩的黑云母K-Ar法测年,获得的年龄范围太宽,岩体的年龄为276.6 ~ 101.7 Ma;马阴沟(图2)的闪长岩、花岗闪长斑岩和闪长岩的全岩Rb-Sr法未给出等时线年龄,模式年龄范围为172 ~ 94 Ma;在袁家沟(图2)碎裂花岗斑岩和小河口(图2)花岗闪长斑岩中各获得一个锆石U-Pb年龄,谐和性较差,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄分别为149 Ma和141 Ma(万义文,1980)。严阵等(1985)和张本仁等(1989)根据前人的资料,分别认为该带小岩体形成于燕山第二期和燕山早期。部分学者根据小河口岩体230 Ma的Rb-Sr等时线年龄,将其划为印支期(张银龙等,2002)。由此可见,柞水盆地包括池沟在内的这些小岩体的年龄尚未准确厘定。

由前文可知,池沟13线深部含矿岩体的岩性与池沟地表的3、4和5号小岩体的岩性一致,本文获得的含石英闪长岩的岩枝上、下部的LA-MC-ICPMS 锆石U-Pb年龄分别为145 ± 1 Ma (n = 8, MSWD = 1.0)和146 ± 1 Ma (n = 19, MSWD

表 2 柞山盆地池沟铜矿区含矿岩体的 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 测年结果  
Table 2 LA-MC-ICPMS zircon U-Pb analysis data of the ore-bearing igneous rocks for the Chigou Cu deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province

测点号	Th( $\times 10^{-6}$ )	U( $\times 10^{-6}$ )	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (Ma)	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Ma)	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 1\sigma$
1301-40-4	513	410	0.0499	0.0005	0.1534	0.0017	0.0223	0.0002	1.3	187	24	145	1	142	1
1301-40-6	299	345	0.0495	0.0006	0.1535	0.0021	0.0225	0.0002	0.86	172	30	145	2	143	1
1301-40-8	233	324	0.0515	0.0009	0.1603	0.0030	0.0225	0.0001	0.72	265	34	151	3	144	1
1301-40-10	254	297	0.0519	0.0007	0.1634	0.0022	0.0228	0.0002	0.86	283	36	154	2	146	1
1301-40-11	526	418	0.0476	0.0005	0.1493	0.0017	0.0227	0.0002	1.3	79.7	24	141	2	145	1
1301-40-12	271	286	0.0498	0.0006	0.1565	0.0019	0.0228	0.0002	0.95	187	25	148	2	145	1
1301-40-15	431	482	0.0505	0.0011	0.1590	0.0051	0.0227	0.0002	0.89	220	82	150	4	145	1
1301-40-17	319	351	0.0489	0.0005	0.1539	0.0017	0.0228	0.0002	0.91	146	24	145	1	145	1
1302-9-1	213	313	0.0483	0.0006	0.1528	0.0026	0.0229	0.0002	0.68	122	30	144	2	146	1
1302-9-2	371	424	0.0484	0.0004	0.1538	0.0017	0.0231	0.0001	0.87	117	22	145	1	147	1
1302-9-3	276	335	0.0480	0.0004	0.1513	0.0018	0.0229	0.0002	0.82	98.2	20	143	2	146	1
1302-9-4	111	192	0.0497	0.0007	0.1564	0.0024	0.0228	0.0002	0.58	189	33	148	2	146	1
1302-9-5	327	367	0.0496	0.0014	0.1570	0.0051	0.0229	0.0002	0.89	176	67	148	4	146	1
1302-9-6	135	213	0.0507	0.0011	0.1604	0.0038	0.0230	0.0002	0.64	233	52	151	3	146	1
1302-9-7	85	132	0.0502	0.0008	0.1599	0.0030	0.0231	0.0002	0.64	206	39	151	3	147	2
1302-9-8	228	306	0.0477	0.0005	0.1515	0.0019	0.0231	0.0002	0.74	83.4	22	143	2	147	2
1302-9-9	79	140	0.0472	0.0007	0.1505	0.0026	0.0231	0.0002	0.56	57.5	40	142	2	147	1
1302-9-10	222	285	0.0502	0.0008	0.1589	0.0036	0.0229	0.0003	0.78	211	37	150	3	146	2
1302-9-11	98	114	0.0518	0.0008	0.1626	0.0029	0.0228	0.0002	0.86	280	37	153	3	145	1
1302-9-12	388	417	0.0493	0.0011	0.1565	0.0049	0.0229	0.0002	0.93	161	52	148	4	146	1
1302-9-13	159	267	0.0503	0.0005	0.1585	0.0018	0.0229	0.0002	0.60	209	20	149	2	146	1
1302-9-14	262	320	0.0490	0.0004	0.1543	0.0018	0.0228	0.0002	0.82	150	20	146	2	146	1
1302-9-15	222	281	0.0487	0.0005	0.1553	0.0021	0.0231	0.0003	0.79	200	29	147	2	147	2
1302-9-16	236	221	0.0487	0.0006	0.1529	0.0024	0.0228	0.0002	1.07	200	31	144	2	145	2
1302-9-17	89	148	0.0477	0.0007	0.1524	0.0027	0.0232	0.0002	0.60	87.1	35	144	2	148	2
1302-9-19	236	297	0.0491	0.0005	0.1553	0.0020	0.0229	0.0002	0.79	154	24	147	2	146	1
1302-9-20	179	254	0.0484	0.0005	0.1532	0.0019	0.0230	0.0002	0.71	120	26	145	2	146	1



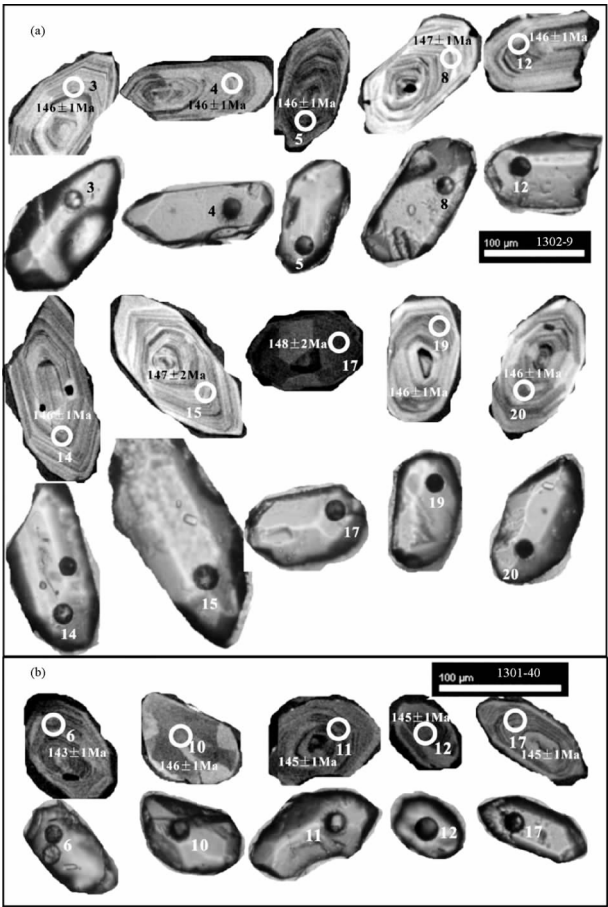
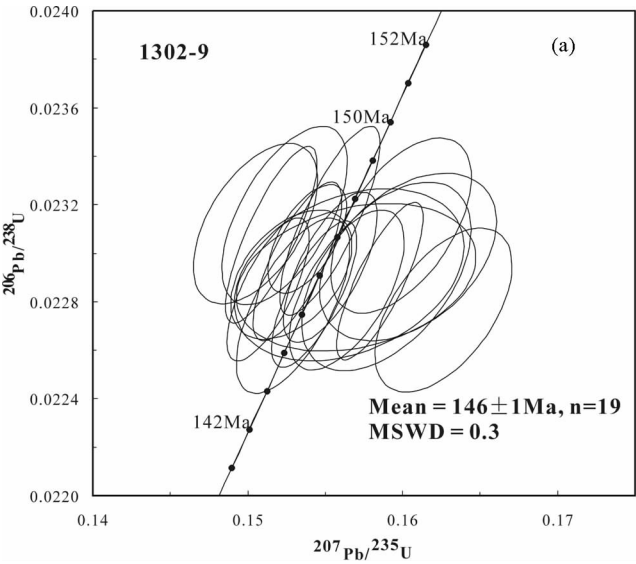


图 6 柞山盆地池沟铜钼矿区含矿岩体中锆石的阴极发光和透射光照片,图中标出各测点年龄  
Fig. 6 Translition light microscope and cathodoluminescence images of the ore-bearing igneous rocks for the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province, showing the age of each analysis



=0.3), 代表了池沟岩体的侵位年龄。根据最新的地层年代表, 白垩纪和侏罗纪以  $145.5 \pm 4.0\text{Ma}$  为分界线 (Gradstein *et al.*, 2004), 因此, 柞水盆地池沟岩体形成于晚侏罗世-早白垩世。本文所测得的 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄 ( $\sim 145\text{Ma}$ ) 与前人所测的小河口和袁家口的锆石 U-Pb 年龄 (149Ma 和 141Ma) 基本一致。已有研究表明柞水盆地一带的小岩体的岩性类似, 同属于山阳一带构造岩浆岩带 (万义文, 1980)。这些暗示柞水盆地中酸性斑岩体形成于晚侏罗世-早白垩世。

## 6.2 岩石成因

前人对山阳一带的小岩体的岩石成因研究相对较少。严阵等 (1985) 根据袁家沟、小河口、马阴沟、土地沟等地的小岩体具有斑状结构或花斑结构, 周围发育斑岩-矽卡岩铜钼铁矿产的特征, 以及少量的黄铁矿硫同位素分析结果, 认为这些小岩体应暂归入地幔分异性花岗岩, 是上地幔 (包括部分下地壳) 部分熔融和结晶分异的产物。张本仁等 (1989) 根据小河口、马阴沟等地的花岗闪长斑岩、花岗斑岩、石英闪长岩和闪长玢岩的稀土元素呈右倾型且无明显负铕异常, 黑云母具有高  $(\text{Mg} + \text{Ti})/\text{Si}$ 、 $\text{Mg} + \text{Ti}$  值, 且小河口岩体的全岩和磷灰石 Sr 同位素初始值分别为 0.7045 和 0.7049, 认为这些中酸性小岩体成岩物质来自于上地幔, 是上地幔物质岩石部分熔融的产物。但对池沟地区岩体的岩石成因研究一片空白。

基于以下的区域地质、矿物学、地球化学、成矿特征和辉钼矿 Re 含量的资料, 可以认为池沟地区的中酸性小岩体成岩物质来自深部, 为上地幔和下地壳混合源, 可能为上地幔部分熔融混染了大比例的下地壳成分, 在上升过程中结晶分离作用的产物。(1) 由图 1 可知, 山阳一带的小岩体位于商

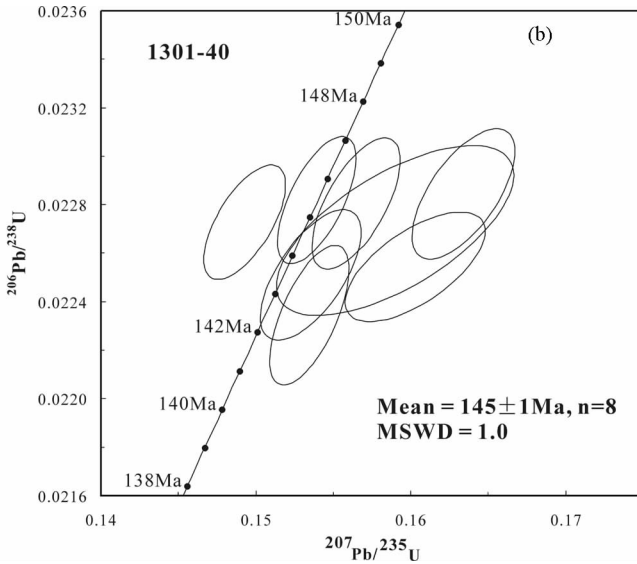


图 7 柞山盆地池沟铜钼矿区含矿岩体中的锆石 U-Pb 谐和图解  
Fig. 7 Zircon U-Pb dating results of the ore-bearing igneous rocks for the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province

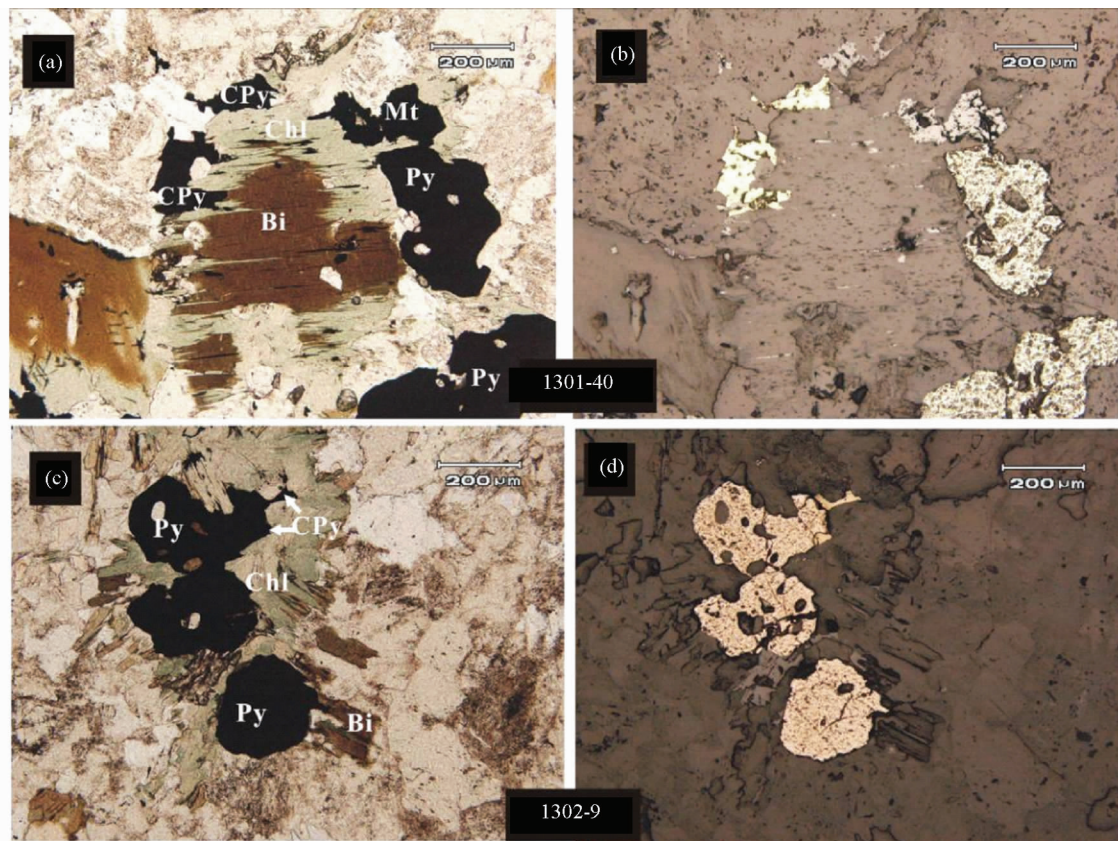


图8 柞山盆地池沟铜矿区含矿岩体的显微照片

左侧为正交偏光,右侧为反射光,详细说明见正文。Bi-黑云母;Chl-绿泥石;Cpy-黄铜矿;Py-黄铁矿;Mt-磁铁矿

Fig. 8 Microscope picture of the ore-bearing igneous rocks for the Chigou Cu-Mo deposit in the Zhashan basin, Shaanxi Province

南-丹凤断裂与凤镇-山阳断裂之间,离凤镇-山阳断裂仅3.5km,它们可能为古太平洋俯冲大背景下由南向北发生陆内俯冲诱发的深部岩浆活动的产物(陈连红等,2007);(2)由前文可知,池沟地区岩体的暗色矿物为角闪石和黑云母,暗示这些岩体为I型花岗质岩石,为上地幔和下地壳混合源;(3)研究表明同熔型(I型)花岗质岩石中黑云母具有较高的 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ 和 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ ,尤其是 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ 一般大于0.15;而改造型(S型)花岗质岩石中黑云母具有较低的 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ 和 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ , $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ 一般小于0.15(秦克章等,2009)。池沟1号斑状花岗岩、2-4号(石英)闪长岩和13号深部石英闪长岩中黑云母的 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ 和 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 范围分别为0.1~0.5和0.5~0.8(谢桂青等,2011<sup>①</sup>),暗示这些中酸性小岩体为同熔型(I型)花岗质岩石,为深部壳幔混合的产物;(4)由图5可知,各岩体均表现为右倾的稀土元素配分模式且明显负铈异常,类似于马阴沟和小河口中酸性小岩体,后者被认为成岩物质来源于上地幔或下地壳(张本仁等,1989);(5)由表1可知,除1号斑状花岗岩的 $\text{SiO}_2$ 较高外,闪长岩和石英闪长岩以贫硅( $\text{SiO}_2 = 58.01\% \sim 65.78\%$ )为重要特征,该区斑状花岗岩、石英闪长岩和闪长岩具有变化

较小的Sr-Nd同位素组成,具有中度的Sr初始值( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7049 \sim 0.7051$ )和低Nd初始值( $\varepsilon_{\text{Nd}} = -6.7 \sim -4.5$ ),且Sr同位素初始值类似于小河口岩体( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7045 \sim 0.7049$ ),后者的成岩物质源于上地幔源区(张本仁等,1989);(6)最近作者对池沟矿区进行详细的野外观察和显微特征、电子探针、流体包裹体的详细研究,认为与成矿有关的岩体、矿化类型、矿物组合、蚀变类型、成矿阶段和成矿温度均类似于斑岩型铜矿床(谢桂青等,2011)。已有的资料表明与斑岩型铜矿化有关的花岗质岩石来自大洋壳或上地幔,受到不同程度地壳物质的混染,如德兴斑岩型铜矿床中与成矿有关的花岗闪长斑岩的Sr-Nd初始值分别为: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7043$ 和 $\varepsilon_{\text{Nd}} = -1.9$ ,玉龙斑岩-矽卡岩型铜矿床中与成矿有关的花岗闪长斑岩的Sr-Nd初始值分别为: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70638 \sim 0.70661$ 和 $\varepsilon_{\text{Nd}} = -2.9 \sim -0.8$ (芮宗瑶等,2004)。池沟各岩体的Sr初始值类似于与已有的斑岩铜矿床相关的岩体,Nd同位素值略低于与已有的

① 谢桂青,任涛,李瑞玲,李剑斌,王瑞廷. 2011. 陕西省柞山盆地池沟-冷水沟铜钼矿区的成矿规律和找矿方向研究(科研报告). 1-89

斑岩铜钼矿床的岩体,暗示池沟中酸性小岩体起源于上地幔,受到更大比例的下地壳混染;(7)已有研究表明与幔源、壳幔混合和壳源的花岗质岩石有关的钼矿床中辉钼矿的 Re 含量分别为  $100n \times 10^{-6}$ 、 $10n \times 10^{-6}$ 、 $n \times 10^{-6}$ ,辉钼矿的 Re 含量可以指示成矿物质的来源 (Mao *et al.*, 1999)。池沟不同类型矿石中与黄铜矿密切共生的辉钼矿的 Re 含量较高,为  $77.50 \pm 0.68 \times 10^{-6} \sim 286.2 \pm 2.3 \times 10^{-6}$  (谢桂青等, 2011),暗示池沟铜钼矿区有部分地幔物质参与成岩成矿作用。

### 6.3 地质意义

前人从区域地质、围岩性质、蚀变和构造特征进行分析,认为双元沟—池沟小岩体具备形成斑岩铜矿的优越条件(陈连红等,2007),但该区成岩和成矿关系如何?由图8可知,池沟深部的含矿岩体可见岩浆成因的黑云母发生绿泥石化蚀变,周围发育黄铜矿、黄铁矿和磁铁矿,表明成矿作用与黑云母蚀变绿泥石化析出有关,这亦可从袁家沟不同岩相中黑云母含有较高的铜元素 ( $1300 \times 10^{-6} \sim 1950 \times 10^{-6}$ ) (万义文, 1980)得到佐证。最近,作者对池沟铜钼矿区进行详细的野外观察和显微特征、电子探针和流体包裹体的详细研究,认为矿化类型、矿物组合、蚀变类型、成矿阶段和成矿温度均类似于斑岩型铜矿床,铜成矿作用与青磐岩化叠加钾化蚀变密切相关(谢桂青等,2011)。本文得到的深部含矿岩体的 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄约为 145Ma,亦和该区不同类型矿石中与黄铜矿密切共生的辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄 ( $148 \pm 2\text{Ma}$ , MSWD = 0.1,  $n = 5$ ) (谢桂青等,2011)在误差范围内完全一致。这些数据显示池沟斑岩型铜钼矿床形成于晚侏罗世-早白垩世。小河口铜矿体产于花岗闪长斑岩与角岩的接触带,为小型矽卡岩铜矿床(万义文,1980),此认识已得到后来学者的广泛认可(严阵等,1985;张本仁等,1989;王瑞廷等,2008)。由前文可知,小河口花岗闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 141Ma,暗示相应的小河口矽卡岩铜矿的成矿时代应为晚侏罗世-早白垩世。这些均暗示柞水盆地存在一期重要的晚侏罗世-早白垩世花岗质岩石和相关的斑岩-矽卡岩铜多金属的岩浆-成矿事件。

池沟地区石英闪长岩的 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄 ( $\sim 145\text{Ma}$ )与凤镇-山阳断裂以南的冷水沟岩体(图1)西北部正长闪长斑岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 ( $142 \pm 1\text{Ma}$ ,  $n = 12$ , MSWD = 1.4) (牛宝贵等,2006)在误差范围内基本一致,亦与华北地块南缘金堆城超大型钼矿含矿斑岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄 ( $141 \pm 1\text{Ma}$ ,  $n = 19$ , MSWD = 0.16) (朱赖民等,2008)和小岩体的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  年龄 ( $148 \sim 135\text{Ma}$ ) (卢欣祥等,2000)在误差范围内基本一致,甚至与华北地块南缘的大岩基时代类似,如华山黑云母二长花岗岩基 (Mao *et al.*, 2010)。华北地块南缘发育一些(超)大型晚侏罗世-早白垩世 ( $\sim 140\text{Ma}$ )斑岩-矽卡岩型钼矿床和脉状铅锌矿床,如金堆城斑岩型钼矿床 (Mao *et al.*, 2008)。因此,柞水盆地池沟地

区石英闪长岩和相关的斑岩铜钼矿床与华北地块南缘岩浆-成矿作用形成于同一地质事件。

**致谢** 在野外期间得到西北有色地质勘查局 713 总队和西北有色地质勘查局地质勘查院的大力支持和帮助;室内工作得到段超博士、苏慧敏博士和孙嘉硕士的帮助;最终定稿得益于审稿专家富有建设性的意见;在此一并致谢。

## References

- Boynton WV. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Henderson P (ed.). Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo: Elsevier, 63 - 114
- Chen LH and Zhang WM. 2007. Metallogenic factors and potential of porphyry copper (molybdenum) deposits in the Shuangyangou-Chigou area, Shannxi Province. *Geology and Prospecting*, 43(5): 6 - 10 (in Chinese with English abstract)
- Gong HJ, Zhu LM, Sun BY, Li B and Guo B. 2009. Zircon U-Pb age and Hf isotope characteristics and their geological significance of the Shahewan, Caoping and Zhashui granitic pluton at the southern margin of North China Craton: Implications for geodynamics setting. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 248 - 264 (in Chinese with English abstract)
- Gradstein FM, Ogg JG, Smith AG, Bleeker W and Lourens LJ. 2004. A new geologic time scale, with special reference to Precambrian to Neogene. *Episodes*, 27: 83 - 100
- Guo B, Zhu LM, Li B, Gong HJ and Wang JQ. 2009. Zircon U-Pb age and Hf isotope composition of the Huashan and Heyu granite plutons at the southern margin of North China Craton: Implications for geodynamics setting. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 265 - 281 (in Chinese with English abstract)
- Hou KJ, Li YH and Tian YR. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS. *Mineral Deposits*, 28: 481 - 492 (in Chinese with English abstract)
- Liu YS, Hu ZC, Gao S, Gunther D, Xu J, Gao C and Chen H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257: 34 - 43
- Lu XX. 2000. Granitoid Tectonic Map of Qinling Belt. Xi'an: Xi'an Carographic Publishing House (in Chinese)
- Lu XX, Yu ZP, Feng YL, Wang YT, Ma WF and Cui HF. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in East Qinling Mountain. *Mineral Deposits*, 21: 168 - 177 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Zhang ZC, Zhang ZH and Du AD. 1999. Rhenium-osmium isotopic dating of molybdenite in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in North Qilian Mountains and its geological significance. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 63: 1815 - 1818
- Mao JW, Xie GQ, Bierlein F, Ye HS, Qü WJ, Du AD, Pirajno F, Li HM, Guo BJ, Li YF and Yang ZQ. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie Orogenic Belt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 4607 - 4626
- Mao JW, Xie GQ, Pirajno F, Ye HS, Wang YB, Li YF, Xiang JF and Zhao HJ. 2010. Late Jurassic-Early Cretaceous granitoid magmatism in Eastern Qinling, central-eastern China: SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications. *Australian Journal of Earth Sciences*, 57: 51 - 78
- Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, Martinson JM, Corfu F, Dörr W, Kamo SL, Kennedy AK, Kronz A, Reiners PW, Frei D, Kosler J, Wan YS, Götze J, Häger T, Kröner A and Valley JW. 2008. Zircon M257: A homogeneous natural reference material for the Ion

- microprobe U-Pb analysis of zircon. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 32:247–265
- Niu BG, He ZJ, Ren JS, Wang J and Deng P. 2006. SHRIMP U-Pb ages of zircons from the intrusions in the western Douling-Xiaomaoling uplift and their Geological significances. *Geological Review*, 52: 826–835 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Zhang LC, Ding KS, Xu YX, Tang DM, Xu XW, Ma TL and Li GM. 2009. Mineralization type, petrogenesis of ore-bearing intrusions and mineralogical characteristics of Sanchakou copper deposits in eastern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 25:845–861 (in Chinese with English abstract)
- Ren T, Wang RT, Wang XY Xia CL and Guo YH. 2009. A way and method for prospecting copper deposit in the Zhashui-Shanyang sedimentary basin in the Qinling Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 83: 1730–1738 (in Chinese with English abstract)
- Rollison HR. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. New York: Longman Scientific and Technical, 1–352
- Rui ZY, Zhang LS, Chen ZY, Wang LS, Liu YL and Wang YT. 2004. Approach on source rocks or source region of porphyry copper deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 20:229–238 (in Chinese with English abstract)
- Slama J, Kosler J, Condon DJ, Crowley JL, Gerdes A, Hanchar JM, Horstwood MSA, Morris GA, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett MN and Whitehouse MJ. 2008. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249: 1–35
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematic basalt: Implication for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Oceanic Basins*. Geological Society, Special Publication, 42: 313–345
- Wang DS, Wang RT, Dai JZ, Wang CA, Li JH and Chen LX. 2009. “Dual ore controlling factors” characteristics of metallic deposits in the Qinling Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 83: 1719–1729 (in Chinese with English abstract)
- Wang RT, Li JB, Ren T, Yang ZH, Mao JW and Wang T. 2008. Metallogenic conditions and prospecting potential of the Zhashui-Shanyang poly-metal ore cluster. *Geology in China*, 35:1291–1298 (in Chinese with English abstract)
- Wang YJ, Fan WM, Peng TP and Guo F. 2005. Elemental and Sr-Nd isotopic systematics of the Early Mesozoic volcanic sequence in southern Jiangxi Province, South China: Petrogenesis and tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch)*, 94: 53–65
- Wan YW. 1980. Mineralization characteristics and ore deposit model of intermediate-acid granitoid porphyry from Shangyang region. *Regional Characteristics of Qinling*, (3):1–36 (in Chinese)
- Wang ZQ, Yan QR, Yan Z, Wang T, Jiang CF, Gao LD, Li QG, Cheng JL, Zhang YL, Liu P, Xie CL and Xiang ZJ. 2009. New division of the main tectonic units of the Qinling Orogenic Belt, Central China. *Acta Geologica Sinica*, 83: 1527–1546 (in Chinese with English abstract)
- Yan Z *et al.* 1985. Granite from Shaanxi Province. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1–321 (in Chinese)
- Zhang BR, Chen DX, Li ZJ, Gu XM, Jiang JY, Hu YK, Li FL, Guo WY and Li YC. 1989. Region Geochemistry of Shanyang-Zhashui Metallogenic Belt, Shaanxi Province. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1–221 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Zhang BR, Ruan XC *et al.* 2001. *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics*. Beijing: Science Press, 1–855 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YL. 1992. Geological features and the metallogenic conditions of acid-intermediate acid small rock bodies in Xiaohokou area of Shangyang County, Shaanxi Province. *Shaanxi Geology*, 20(2):27–38 (in Chinese with English abstract)
- Zhu LM, Zhang GW, Guo B and Li B. 2008. U-Pb (LA-ICP-MS) zircon dating for the large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East China, and its metallogenic setting. *Acta Geologica Sinica*, 82: 204–220 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

- 陈连红, 张卫敏. 2007. 陕西省二元沟-池沟地区斑岩型铜(钼)矿成矿条件与远景分析. *地质与勘探*, 43(5): 6–10
- 弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 李犇, 郭波. 2009. 南秦岭沙河湾、曹坪和柞水岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义. *岩石学报*, 25(2): 248–264
- 郭波, 朱赖民, 李犇, 弓虎军, 王建其. 2009. 华北陆块南缘华山和合峪花岗岩岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成与成岩动力学背景. *岩石学报*, 25(2): 265–281
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. *矿床地质*, 28:481–492
- 卢欣祥, 肖庆辉, 董有. 2000. 秦岭花岗岩大地构造图. 西安: 西安地图出版社
- 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 王义天, 马维峰, 崔海峰. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景. *矿床地质*, 21: 168–177
- 牛宝贵, 和政军, 任纪舜, 王军, 邓平. 2006. 秦岭地区陡岭-小茅岭隆起带西段几个岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义. *地质论评*, 52: 826–835
- 秦克章, 张连昌, 丁奎首, 许英霞, 唐冬梅, 徐兴旺, 马天林, 李光明. 2009. 东天山三岔口铜矿床类型、赋矿岩石成因与矿床矿物学特征. *岩石学报*, 25: 845–861
- 任涛, 王瑞廷, 王向阳, 夏长玲, 郭延辉. 2009. 秦岭造山带柞水-山阳沉积盆地铜矿勘查思路与方法. *地质学报*, 83: 1730–1738
- 芮宗瑶, 张立生, 陈振宇, 王龙生, 刘玉琳, 王义天. 2004. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨. *岩石学报*, 20: 229–238
- 王义文. 1980. 山阳一带酸性斑岩体的成矿特点与成矿模式. *秦岭区测*, (3): 1–36
- 王东生, 王瑞廷, 代军治, 王长安, 李建华, 陈荔湘. 2009. 秦岭造山带金属矿床的“二元控矿”特征. *地质学报*, 83: 1719–1729
- 王瑞廷, 李剑斌, 任涛, 杨智慧, 毛景文, 王涛. 2008. 柞水-山阳多金属矿集区成矿条件及找矿潜力分析. *中国地质*, 35: 1291–1298
- 王宗起, 闫全人, 闫臻, 王涛, 姜春发, 高联达, 李秋根, 陈隽璐, 张英利, 刘平, 谢春林, 向忠金. 2009. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分. *地质学报*, 83: 1527–1546
- 严阵等. 1985. 陕西省花岗岩. 西安: 西安交通大学出版社, 1–321
- 张本仁, 陈德兴, 李泽九, 谷晓明, 蒋敬业, 胡以铿, 李方林, 郭五寅, 李耀成. 1989. 陕西柞水山阳成矿带区域地球化学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–221
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1–855
- 张银龙. 1992. 陕西省山阳县小河口地区酸性-中酸性岩体地质特征及其成矿地质条件分析. *陕西地质*, 20(2): 27–38
- 朱赖民, 张国伟, 郭波, 李犇. 2008. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景. *地质学报*, 82: 204–220