

西秦岭西成矿集区厂坝岩体的钼矿化特征 及其 Re-Os 年龄

陈绍聪^{1,2}, 王义天², 胡乔青², 魏然², 刘升有³, 袁群虎⁴, 欧阳升⁵

(1. 河北师范大学 汇华学院, 河北 石家庄 050091; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用和资源评价重点实验室, 北京 100037; 3. 甘肃地质调查院, 甘肃 兰州 730000; 4. 白银有色金属公司厂坝铅锌矿, 甘肃 成县 742504; 5. 陕西省潼关县国土资源局, 陕西 潼关 714300)

摘要: 甘肃西成矿集区是西秦岭最重要的多金属成矿区之一, 以铅锌矿床为主, 其次发育有金、铜、钼等矿床(点)。厂坝黑云母二长花岗岩体位于西成矿集区中东部, 岩体南缘接触带部位发育石英脉型钼矿, 辉钼矿呈中粗粒半自形团块状产于粗粒石英脉内。Re-Os 同位素年代学研究表明, 其模式年龄范围为 $207.7 \pm 3.0 \sim 209.8 \pm 2.8$ Ma, 加权平均年龄为 208.9 ± 1.1 Ma, 等时线年龄为 209 ± 15 Ma, 指示钼矿化发生于晚三叠世。辉钼矿的铼含量介于 $18.82 \times 10^{-6} \sim 21.97 \times 10^{-6}$ 之间, 平均 19.65×10^{-6} , 表明成矿物质主要为壳幔混合来源, 可能以壳源为主。钼矿化与区域岩浆活动以及金、铅锌成矿作用时代相近, 是印支期区域构造-岩浆-流体活动的产物。钼矿化年龄的厘定为区内找矿提供了新的思路。

关键词: Re-Os 年龄; 辉钼矿; 厂坝花岗岩体; 西成矿集区; 西秦岭

中图分类号: P618.65; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)06-1025-12

Molybdenum mineralization characteristics and Re-Os age of the Changba pluton in the Xicheng ore concentration area, West Qinling Mountains

CHEN Shao-cong^{1,2}, WANG Yi-tian², HU Qiao-qing², WEI Ran², LIU Sheng-you³,
YUAN Qun-hu⁴ and OUYANG Sheng⁵

(1. Huihua College of Hebei Normal University, Shijiazhuang 050091, China; 2. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 4. Changba Pb-Zn Mine of Baiyin Nonferrous Metals Company, Chengxian 742504, China; 5. Tongguan Bureau of Land and Resources, Tongguan 714300, China)

Abstract: The Xicheng (Xihe-Chengxian) ore concentration area in Gansu Province is one of the most important polymetallic ore concentration areas in the West Qinling orogen. There are mainly lead-zinc deposits and subordinately gold, copper and molybdenite deposits (ore spots). The Changba biotite monzo-granite is located in the mid-east of the Xicheng ore concentration area, and the molybdenum-bearing coarse-grained quartz veins occur on its southern margin. The subhedral molybdenite occurs within the quartz veins in lumpy form. The Re-Os isotopic dating of 7 molybdenum samples yielded model ages ranging from 207.7 ± 3.0 to 209.8 ± 2.8 Ma, with the average model age of 208.9 ± 1.1 Ma and the isochron age of 209 ± 15 Ma, indicating that the Mo mineralization

收稿日期: 2015-08-05; 接受日期: 2016-08-05

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200911007-21); 中国地质调查局地质调查工作项目(1212011220869)

作者简介: 陈绍聪(1990-), 男, 硕士, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: shaocong0211@163.com; 通讯作者: 王义天(1969-), 男, 博士, 研究员, 从事构造与成矿研究, E-mail: wyt69@263.net。

on the southern margin of the Changba pluton took place in the Late Triassic, slightly later than the formation of the Changba pluton. The low content of Re ($18.82 \times 10^{-6} \sim 21.97 \times 10^{-6}$) shows that the material was mainly derived from the crust, with the mixture of a little mantle material. In combination with the ages (200~225 Ma) of the regional magmatism, it is held that gold, lead-zinc deposits and molybdenite mineralization on the south margin of the Changba pluton resulted from the tectonism, magmatism and fluid metallogenic event in the late Triassic period. The Re-Os dating of the molybdenite provides a new thinking for exploration of the Indosinian quartz vein type Mo deposits in the contact zone of the late Triassic granitoid plutons in the West Qinling orogen.

Key words: Re-Os age; molybdenite; Changba granitoid; Xicheng ore concentration area; West Qinling Mountains

Fund support: Special Research Funding for the Public Benefit Sponsored by MLR (200911007-21); China Geological Survey Project (1212011220869)

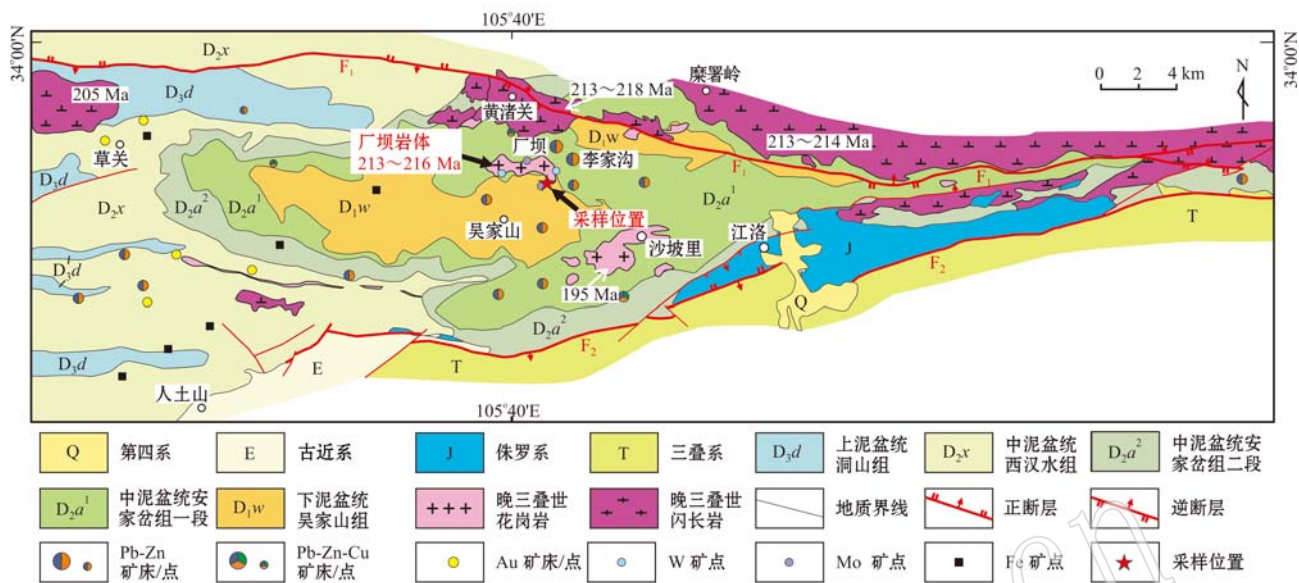
甘肃西和-成县(简称西成)矿集区位于秦岭造山带北侧商丹缝合带和南侧勉略缝合带之间,是西秦岭金、铅锌多金属成矿带中的一个最重要的铅锌富集区。矿集区内晚三叠世花岗岩类发育,形成于同碰撞(挤压环境)向碰撞后(伸展环境)转化阶段,是印支期扬子与华北板块全面碰撞体制下扬子板块下地壳部分熔融的产物(王天刚等,2010;李佐臣等,2013)。区内铅锌金多金属矿床(点)星罗棋布,主要矿产有铅锌、金、铜等,已发现矿床(点)20余处,其中铅锌矿床(点)13处、金矿床(点)9处、砂金矿点2处、铜矿点3处,以铅锌、金最具工业意义,累计铅锌金属量超过1300万吨(俞中辉等,2008),包括厂坝-李家沟超大型铅锌矿床、毕家山、邓家山、洛坝和尖崖沟4个大型铅锌矿床以及小沟里中型金矿床。前人(王相等,1996;邓海军等,2010)发现黄渚关和厂坝岩体边部发育有Cu、Mo、W、Be等矿化,且派生岩脉内发育铅锌矿化。可见,该区铅锌、金、铜、钼等多金属均有发育,规模不等。

在西成地区,厂坝岩体南侧钼矿化类型是该区一个新的成矿类型和新的找矿方向,但目前尚缺少精确的辉钼矿成矿年龄,西秦岭地区钼、铅锌等多金属成矿的成因联系也有待进一步探讨。因此,本次野外地质调查对厂坝岩体南缘发现的钼矿化进行了观察和采样,对其开展辉钼矿 Re-Os 同位素年代学研究,并探讨了其与区域内金、铅锌成矿的关系及地质意义,欲为西秦岭印支期金、铅锌、钼多金属成矿作用研究提供更多证据,从而更全面地理解区域多金属成矿规律和成矿潜力,引起地质工作人员对该区多金属成矿研究、成矿潜力评价和找矿勘查工作的关注和重视,拓宽找矿思路。

1 地质背景

西成矿集区位于北秦岭岛弧杂岩带和南秦岭增生杂岩带之间,泥盆纪时期为中秦岭弧前盆地,中生代时期属南秦岭造山带的组成部分(王宗起等,2009)。矿集区北以黄渚关断裂(F_1)为界,南侧以人土山-江洛断裂(F_2)为界(图1),区域构造线为近EW-NWW向。褶皱构造总体表现为轴向近EW的吴家山复式背斜,为矿集区内骨干褶皱构造,两翼发育一系列次级褶皱。主要断裂呈近EW向展布,一般产于不同岩性接触带部位;其次还发育一些NE、NW向断裂。

西成矿集区内出露地层主要为泥盆系碎屑岩和碳酸盐岩,普遍经历了绿片岩相变质作用,中生界仅零星分布,与泥盆系呈断层或不整合接触(图1)。地层由新到老依次为:①上泥盆统洞山组(D_3d)钙质砂岩、板岩、灰岩、千枚岩、长石石英砂岩等;②中泥盆统西汉水组(D_2x),上部为千枚岩、粉砂质千枚岩、千枚状板岩、绿泥绢云片岩夹粉砂岩、粉砂质灰岩,向东相变为砂质千枚岩、千枚岩夹石英砂岩、生物灰岩透镜体,含珊瑚、腕足类化石;下部为石英砂岩、千枚岩夹生物灰岩、球粒状灰岩;中部为泥晶生物碎屑灰岩夹礁灰岩;③中泥盆统安家岔组(D_2a),上部焦沟层主要为黑云石英片岩、二云石英片岩夹大理岩,下部厂坝层以灰色、灰绿色页岩夹少量粉砂岩及泥晶灰岩的频繁交替为主;④下泥盆统吴家山组(D_1w),主要分布在吴家山复式背斜核部,主要岩性为石英片岩、变质石英砂岩及大理岩。在矿集区东部、人土山-江洛断裂以北出露侏罗系,岩

图1 西秦岭西成矿集区地质简图(Hu *et al.*, 2014)Fig. 1 Simplified geological map of the Xicheng ore concentration area, West Qinling Mountains (after Hu *et al.*, 2014)

性主要有含砾砂页岩、砂质页岩、细砂岩等。在矿集区南东侧、人土山-江洛断裂以南出露三叠系, 岩性主要为钙质板岩、粉砂岩、千枚岩、变砂岩夹角砾状灰岩。

矿集区内岩浆活动强烈, 岩体主要分布于矿集区中东部, 包括东部的麻署岭花岗闪长岩体(213~214 Ma, 秦江锋, 2010; 李佐臣等, 2013)、中南部的沙坡里二长花岗岩-闪长岩体(195 Ma, 邓海军等, 2010)、中部的黄渚关花岗闪长岩体(213~218 Ma, 王天刚等, 2010; 国阿千等, 2011)和厂坝二长花岗岩体(213~216 Ma, 王天刚等, 2010; 国阿千等, 2011)以及西部的草关石英闪长岩体(205 Ma, 霍福臣等, 1995)。闪长岩、花岗闪长岩、花岗细晶岩脉等常成群分布, 在矿集区内广泛发育。

2 岩体岩石学特征

厂坝岩体地表形态呈哑铃型, 侵入中泥盆统及下泥盆统中(图1), 出露面积约 2.4 km²。岩性以灰白色黑云母二长花岗岩为主, 似斑状结构、半自形粒状结构, 块状构造(图 2a), 主要由石英(20%~25%)、斜长石(25%~35%)、钾长石(30%~35%)、黑云母(10%~15%)、角闪石(3%~5%)(图 2b、2c)组成, 还含有少量星点状黄铁矿、磁黄铁矿, 副矿物主要有磷灰石、锆石等。石英, 呈它形粒状充填于长

石颗粒间, 局部见斜长石内包含它形石英颗粒, 具波状消光。斜长石, 呈自形-半自形板状, 聚片双晶发育, 斜长石弱白云母化(图 2c)。钾长石, 以正长石、微斜长石、条纹长石为主, 微斜长石发育格子双晶, 多发生泥化。黑云母, 多呈自形鳞片状, 多发生绿泥石化。厂坝黑云母二长花岗岩体内偶见闪长质包体(图 2d、2e、2f), 包体呈椭圆状、不规则状, 长 1~1.5 m, 宽 0.5~1 m, 与母岩接触界线截然(图 2d)。

厂坝岩体边部局部发生片麻岩化、糜棱岩化, 岩石呈变余半自形粒状结构、包含结构, 片麻状构造(图 2g), 矿物成分与原岩黑云母二长花岗岩组成一致。石英、斜长石发育波状消光, 颗粒边缘细粒化, 石英颗粒长轴、黑云母等片状矿物定向排列(图 2g、2h), 局部黑云母呈云母鱼构造(图 2i), 暗示其经历了较强的挤压作用。与岩体接触的大理岩发生不同程度的矽卡岩化(图 2j、2k), 主要由方解石、透闪石、透辉石、石英、白云母等矿物组成, 金属矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿, 局部发育闪锌矿(图 2l)。厂坝岩体边部矿化主要有 W、Mo、Be 等(王相等, 1996; 邓海军等, 2010), 矿化与矽卡岩化关系不明。

钼矿化沿厂坝花岗岩体内接触带发育, 矿化不连续, 规模小, 且极不均匀, 在小青水沟中部和北部、曼沟门中部及厂坝岩体与围岩接触带附近均有钼矿化存在(张广松, 2011)。厂坝岩体南侧辉钼矿矿化规模小, 仅局部可见。辉钼矿常产出于粗粒石英脉

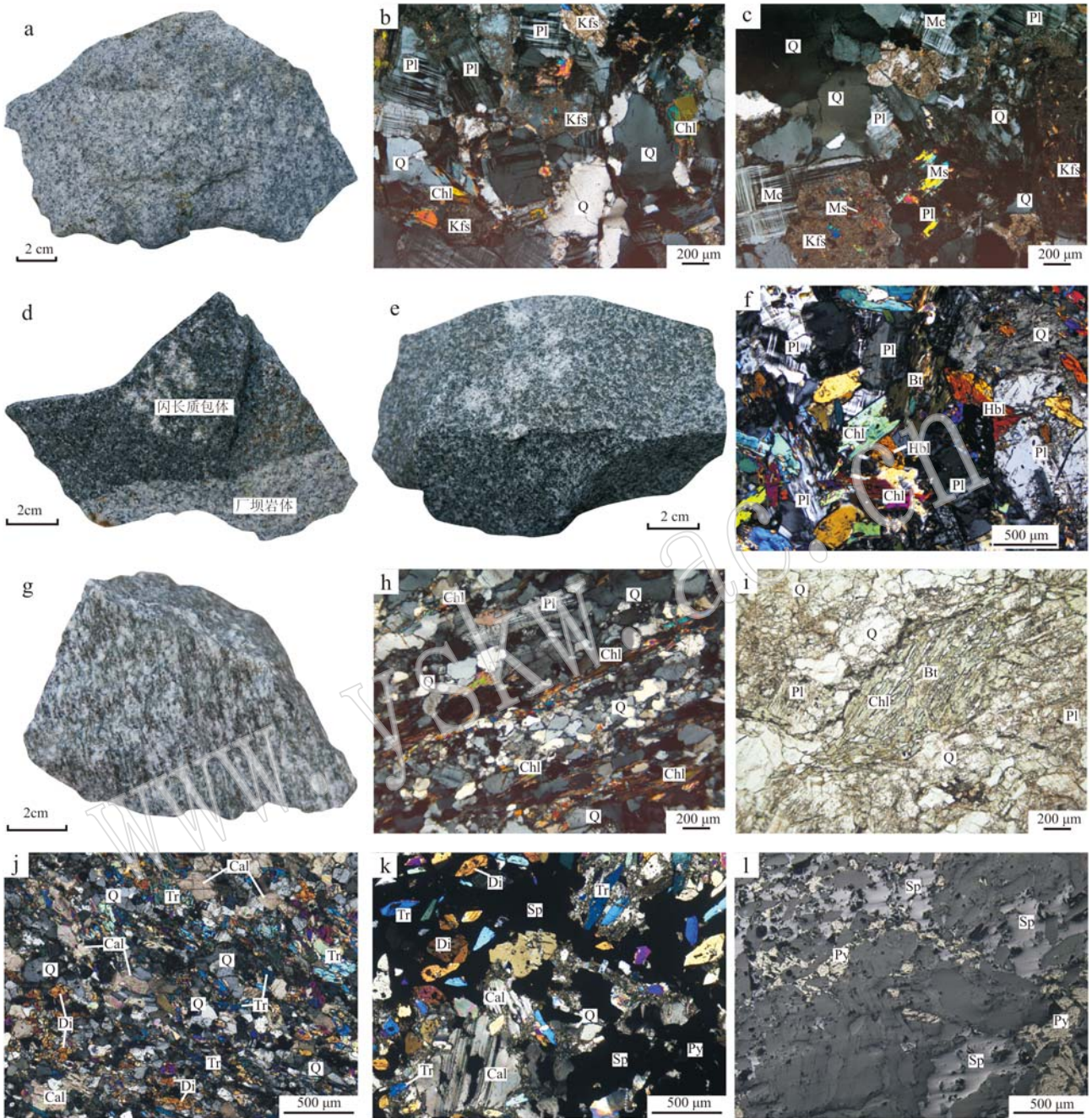


图 2 西成矿集区厂坝岩体样品手标本(a,d,e,g)和显微镜下照片(b,c,f,h~l,正交偏光)

Fig. 2 Hand specimen photographs (a, d, e, g) and microphotographs (b, c, f, h~l, crossed nicols) of the Changba pluton in the Xicheng ore concentration area

a~c—黑云母二长花岗岩; d—岩体与闪长质包体接触带; e,f—闪长质包体; g~i—岩体边部片麻岩化花岗岩, i 为单偏光; j,k—岩体边部矽卡岩化; l—岩体边部闪锌矿; Pl—斜长石; Q—石英; Kfs—钾长石; Mc—微斜长石; Ms—白云母; Chl—绿泥石; Bt—黑云母; Hbl—角闪石; Cal—方解石; Tr—透闪石; Di—透辉石; Sp—闪锌矿; Py—黄铁矿

a~c—biotite monzogranite; d—the contact zone of the biotite monzogranite and the enclave; e, f—diorite enclave; g~i—gneissic granite, i is plainlight; j, k—skarnization in the contact zone of the biotite monzogranite; l—sphalerite mineralization in the contact zone of the biotite monzogranite; Pl—plagioclase; Q—quartz; Kfs—feldspar; Mc—microcline; Ms—muscovite; Chl—chlorite; Bt—biotite; Hbl—hornblende; Cal—calcite; Tr—tremolite; Di—diopside; Sp—sphalerite; Py—pyrite

及两侧的花岗岩内,矿化呈团块状、浸染状,矿脉与围岩界线不清晰,属渐变过渡关系。矿石呈粗粒结构,脉状、浸染状构造,矿物组成简单,主要为辉钼矿和少量黄铁矿,辉钼矿呈中粗粒片状集合体,脉石矿物包括石英、斜长石、白云母、绿泥石等。围岩蚀变主要发育硅化、绿泥石化、白云母化、黄铁矿化。除此之外,在岩体周边还可见闪锌矿化、矽卡岩化;在北侧黄渚关花岗闪长岩体南侧接触带发现钾化脉、石英细脉,但其与辉钼矿化关系尚未明确。甘肃武山温泉钼矿产于黑云母二长花岗岩中,矿化在地表分散、不连续,矿化类型主体为细脉状、浸染状,矿石矿物以辉钼矿为主,矿化与硅化和钾化关系密切,属

斑岩型钼矿床(宋史刚等,2008)。本区内钼矿化特征较之相似,推测其与温泉钼矿成因类型一致,同为斑岩型。

3 样品及测试方法

用于 Re-Os 同位素定年的 7 件辉钼矿样品均采于厂坝黑云母二长花岗岩体南侧接触带部位,位于茨坝后沟内(33°55′39.900″N, 105°40′58.896″E)。钼矿化主体产于石英脉两侧的蚀变花岗岩内(图 3a~3d),呈浸染状、团块状,团块粒径约 0.2~0.5 cm,与绿泥石共生(图 3e、3f)。黄铁矿多呈细粒它形、

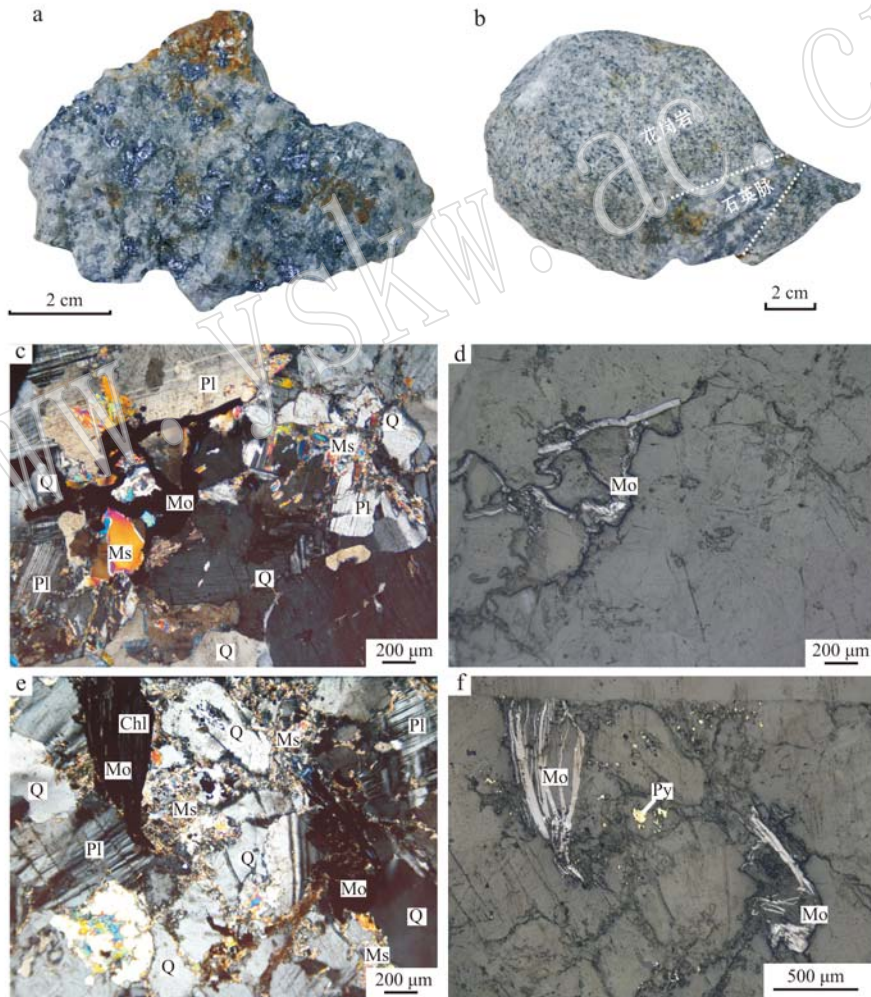


图 3 西秦岭西成矿集区厂坝岩体南缘辉钼矿样品特征

Fig. 3 Characteristics of the molybdenum samples from the Changba pluton in the Xicheng ore concentration area, West Qinling Mountains

a, b—辉钼矿化花岗岩手标本; c, e—辉钼矿化花岗岩正交偏光照片; d, f—c, e 对应的反射光下照片; Pl—斜长石; Q—石英; Ms—白云母; Chl—绿泥石; Mo—辉钼矿; Py—黄铁矿

a, b—photographs of the molybdenite-bearing monzonitic granite samples; c, e—microphotographs of the molybdenite-bearing monzonitic granite samples (crossed nicols); d, f—microphotographs under reflecting light, corresponding to c and e respectively; Pl—plagioclase; Q—quartz; Ms—muscovite; Chl—chlorite; Mo—molybdenite; Py—pyrite

星散状分布于石英脉及脉旁侧黑云母二长花岗岩内(图 3f),以粒度(约 0.05 mm)小、呈它形区别于岩体自生黄铁矿,属蚀变成因。伴生蚀变主要为绿泥石化、白云母化、黄铁矿化等。少部分钼矿化产于石英脉内,脉宽约 1~2 cm,石英呈烟灰色、粗粒,辉钼矿呈中粗粒半自形团块状集合体产于石英脉边部及脉壁。

辉钼矿单矿物的分离是在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司完成。矿石样品经粉碎、分离、粗选和精选,获得纯度 >99% 的辉钼矿单样品,无污染,符合测试要求。

辉钼矿样品 Re、Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成。分析方法及程序详见有关文献(Shirey and Walker, 1995; Du *et al.*, 2004),现简述如下:准确称取待分析样品,加入到 Carius 管中进行分解,用¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合稀释剂稀释样品,再依次加入其他试剂,待 Carius 管底溶液冻实后,用液化石油气和氧气火焰加热封好 Carius 管的细颈部分,逐渐升温到 230℃,保温 24 h。将 Carius 管中溶液转入蒸馏瓶中,连接蒸馏装置,加热微沸 30 min。所得 OsO₄ 水吸收液可直接用于 ICPMS 测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液转入 Teflon 烧杯中,经过加热降低酸度,加 NaOH 溶液促进样品转为碱性介质;再经离心处理得到 Re。

采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定 Re、Os 同位素比值。对于 Re-Os 含量很低的样品采用美国热电公司(Thermo Fisher Scientific)生产的高分辨电感耦合等离子体质谱仪 HR-ICP-MS Element 2 进行测量。对于 Re,选择质量数 185、187,用 190 监测 Os;对于 Os,选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用

185 监测 Re。Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平 95%。由于采用混合稀释剂,模式年龄的不确定度不包括稀释剂和样品的称量误差,但还包括衰变常数的不确定度(1.02%),模式年龄置信水平 95%。整个分析流程的空白,Re 为 0.003 5 ng,普 Os 为 0.000 10 ng,¹⁸⁷Os 为 0.000 21 ng,空白对样品测试结果影响极小,可以忽略。本次测试使用实验标准物质为 GBW04436 (JDC),获得模式年龄为 139.8 ± 2.0 Ma,与推荐的 139.6 ± 3.8 Ma 在误差范围内保持一致,故本次测试所获得的数据真实可靠。

4 测试结果

Re-Os 模式年龄 t 按如下公式计算: $t = 1/\lambda \cdot \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$, 其中, λ (¹⁸⁷Re 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11}/\text{a}$ 。

厂坝岩体南缘辉钼矿样品 Re-Os 同位素测试结果见表 1。7 件辉钼矿样品获得相近的 Re-Os 模式年龄,介于 207.7 ± 3.0~209.8 ± 2.8 Ma 之间,加权平均年龄为 208.9 ± 1.1 Ma(图 4)。采用 ISOPLOT 软件计算获得等时线年龄为 209 ± 15 Ma, MSWD = 0.63,初始¹⁸⁷Os 为 0 ± 3.2(图 5)。初始¹⁸⁷Os 含量为 0 ± 3.2,表明样品中的¹⁸⁷Os 几乎全部为¹⁸⁷Re 衰变而成,但是由于钼矿化极不均匀,采样点过于集中,导致初始¹⁸⁷Os 含量误差变大,等时线年龄误差偏大。但等时线年龄与模式年龄的加权平均值在误差范围内仍保持一致,表明测试结果真实可信,本文选取加权平均年龄 208.9 ± 1.1 Ma 作为钼矿化年龄。

表 1 厂坝花岗岩辉钼矿 Re-Os 同位素测试数据

Table 1 Re-Os isotope data for molybdenite from the Changba pluton

样号	m/g	$w(\text{Re})/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$		$w(^{186}\text{Os})/\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$		$w(^{187}\text{Re})/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$		$w(^{187}\text{Os})/\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$		模式年龄/Ma	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
Q-6-1	0.005 09	19.32	0.17	0.009 2	0.120 3	12.15	104	42.11	0.26	207.7	3.0
Q-6-5	0.005 32	19.40	0.16	0.008 8	0.114 8	12.20	103	42.37	0.33	208.1	3.1
Q-6-2	0.010 26	18.82	0.13	0.011 3	0.053 4	11.83	83	41.18	0.26	208.6	2.8
Q-6-3	0.010 21	19.92	0.13	0.051 7	0.019 5	12.52	84	43.69	0.28	209.1	2.8
Q-6-4	0.010 87	18.72	0.13	0.038 8	0.026 1	11.77	84	41.17	0.24	209.6	2.8
Q-6-6	0.010 36	21.97	0.17	0.065 6	0.017 7	13.81	105	48.16	0.28	209.0	2.9
Q-6-7	0.010 85	19.41	0.14	0.078 1	0.026 9	12.20	89	42.71	0.25	209.8	2.8

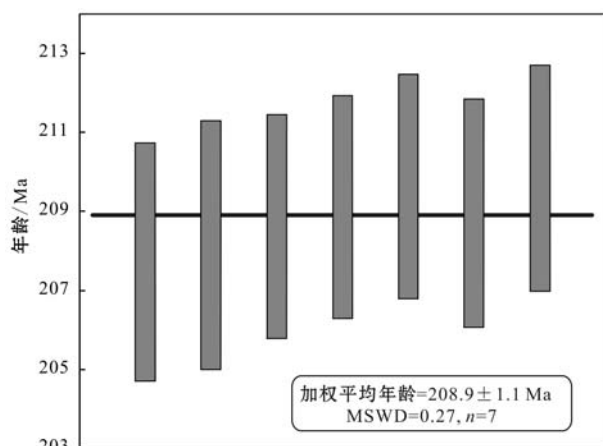


图4 厂坝花岗岩辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值

Fig. 4 Weighted mean of Re-Os model ages for molybdenite from the Changba pluton

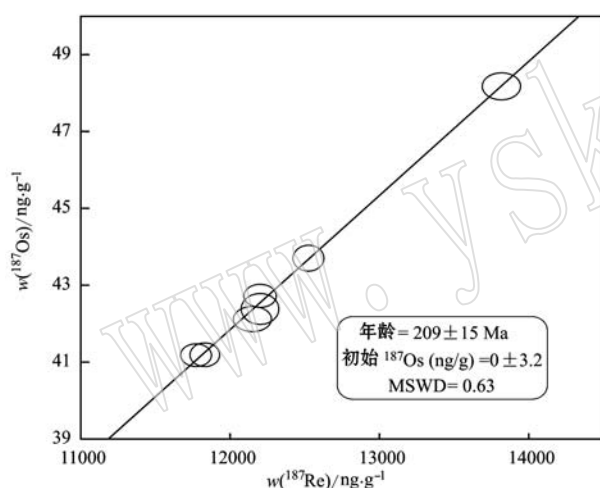


图5 厂坝花岗岩辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄

Fig. 5 Re-Os isochron age for molybdenite from the Changba pluton

5 讨论

5.1 成岩成矿时代

王天刚等(2010)获得厂坝花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 213 ± 2 Ma, 国阿千等(2011)得到厂坝岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 216.3 ± 4.3 Ma, 与本次工作获得的辉钼矿加权平均年龄 208.9 ± 1.1 Ma 基本一致, 表明钼矿化时代与成岩时代接近, 并略晚于成矿岩体, 反映钼矿化主要发生在岩浆作用晚期阶段。

近年来成岩年代学研究工作显示, 西秦岭区域

岩浆活动主要集中于晚三叠世—早侏罗世(230~195 Ma)。厂坝岩体北侧的黄渚关岩体中心相和边缘相锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄分别为 214 ± 1 和 213 ± 3 Ma(王天刚等, 2010)、 217.9 ± 3.4 Ma(国阿千等, 2011)。矿集区东部糜署岭花岗岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 213 ± 3 Ma(秦江锋, 2010)、 214.5 ± 1.6 Ma(李佐臣等, 2013), 西部草关花岗闪长岩体 U-Pb 年龄为 205 Ma(李永军等, 2004)。西成矿集区东侧西坝岩体成岩时代为 214~222 Ma(张宗清等, 2006; 张帆等, 2009; 刘树文等, 2011; 汪欢, 2012; Zhang *et al.*, 2012), 华阳岩体年龄为 195~228 Ma(吴峰辉等, 2009; 刘树文等, 2011; 孟旭阳等, 2013), 光头山岩体时代集中于 200~220 Ma 之间(孙卫东等, 2000; 吴峰辉等, 2009; 刘树文等, 2011); Zeng 等(2012)获得矿集区西侧中川岩体成岩年龄为 219.5 ± 2.1 Ma; 甘肃武山温泉花岗岩岩体 U-Pb 年龄为 223 ± 7 Ma(张宏飞等, 2005)、 $216.2 \pm 1.7 \sim 224.6 \pm 2.5$ Ma(邱昆峰等, 2014)。

越来越多的成矿年龄数据显示, 西秦岭地区金—铅锌多金属成矿作用也主要发育在晚三叠世(198~220 Ma)。Hu 等(2014)获得西成矿集区厂坝—李家沟超大型铅锌矿床的闪锌矿和黄铁矿硫化物 Rb-Sr 等时线年龄为 222 ± 3 Ma, 认为其为后生热液矿床; 小沟里金矿床的石英 Ar-Ar 坪年龄为 197.45 ± 1.13 Ma(邵世才等, 2001)。位于西成矿集区东侧的风县—太白矿集区八卦庙—柴蚂金矿床石英 ^{40}Ar - ^{39}Ar 等时线年龄为 222.14 ± 3.45 Ma(冯建忠等, 2003), 碳酸盐 Sm-Nd 等时线年龄为 203.2 ± 1.6 Ma(刘协鲁等, 2014); 丝毛岭金矿早阶段热液绢云母 Ar-Ar 坪年龄为 211.9 ± 1.5 Ma(王义天等, 2014); 二里河铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄为 220.7 ± 7.3 Ma(胡乔青等, 2012), 黄铁矿 Re-Os 等时线年龄为 226 ± 17 Ma(Zhang *et al.*, 2011); 太白双王金矿床钾长石 Ar-Ar 年龄为 198~202 Ma(石准立等, 1993)。西成矿集区西侧的李岷矿集区内李坝金矿 3 个白云母 Ar-Ar 坪年龄分别为 216.8 ± 1.4 Ma、 216.4 ± 1.3 Ma、 216.4 ± 1.6 Ma(Zeng *et al.*, 2012); 甘肃武山温泉斑岩型钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄为 214.1 ± 1.1 Ma(宋史刚等, 2008)、 214.4 ± 7.1 Ma(朱赖民等, 2009)、 $212.7 \pm 2.6 \sim 215.1 \pm 2.6$ Ma(邱昆峰等, 2014)。

总之, 西秦岭地区金、铅锌、钼多金属成矿时代

与花岗岩类成岩时代基本一致,集中于晚三叠世,暗示了岩浆活动可能为成矿作用提供了流体和热源(毛景文等,2012;王义天等,2013),指示了西成矿集区厂坝岩体南缘钼矿化是三叠纪区域构造-岩浆-流体活动的产物。

5.2 物质来源

Mao 等(1999, 2003)在综合分析对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量后认为,从地幔到壳幔混源再到地壳,矿石中的 Re 含量呈 10 倍下降,从幔源→I 型→S 型花岗岩有关的矿床,Re 含量从 $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$ 。因此,辉钼矿的 Re 含量可以指示成矿物质的来源。本次研究获得辉钼矿的 Re 含量较低,介于 $18.82 \times 10^{-6} \sim 21.97 \times 10^{-6}$ 之间,平均 19.65×10^{-6} ,表明成矿物质主要为壳幔混合来源,可能以壳源为主。

5.3 地质意义

对于区内铅锌矿床的成因,仍众说纷纭,主要有以下几种观点:沉积变质(改造)型(周维君,1983,1984;杨松年等,1986;李益桂等,1988;张声言等,1988;林兵,1991;李英等,1993;杨建功,1999)、热水沉积(SEDEX)型(柳淼,1988;窦元杰,1992;祁思敬,1993;马国良等,1996,1998)和后生热液矿床(杨志华等,1997,2000;张传林等,2001;王义天等,2013;Hu *et al.*, 2014)。王义天等(2013)、Hu 等(2014)认为西成矿集区铅锌成矿是三叠纪区域大规模构造-岩浆-流体活动的产物。金、钨、钼多金属矿与中酸性岩关系密切,花岗岩为成矿提供了热动力条件以及部分成矿物质(冯建忠等,2002;邓海军等,2010;谢建新,2013)。可见,岩浆活动对西成矿集区铅锌、金、钨多金属成矿有重要作用。

厂坝岩体周边发育矽卡岩化、铅锌矿化、W、Mo、Be 等矿化(王相等,1996;邓海军等,2010),都是印支期岩浆活动的成矿证据,钼矿化时代的厘定为区域三叠纪(即印支晚期)多金属成矿作用提供了新的证据,暗示了区域金、铅锌、钨多金属矿床(点)可能共同构成了统一的成矿系统,为该区其他矿种的找矿工作提供了新的思路和方向。

6 结论

西秦岭西成矿集区厂坝岩体南缘辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄范围为 $207.7 \pm 3.0 \sim 209.8 \pm 2.8$ Ma,加权平均年龄为 208.9 ± 1.1 Ma,等时线年龄为

209 ± 15 Ma,表明钼矿化发生于晚三叠世。成矿物质为壳幔混合来源,以壳源为主。钼矿化与区域岩浆活动以及金、铅锌成矿作用时代相近,形成于印支期区域大规模构造-岩浆-流体活动的背景之中。

致谢 甘肃地质调查院和白银有色金属公司厂坝铅锌矿相关领导及技术人员在野外工作期间给予了大力支持与帮助,辉钼矿 Re-Os 定年工作得到了中国地质科学院国家地质试验测试中心李超老师的帮助,在此一并感谢!

References

- Deng Haijun and Zhu Duolu. 2010. Metallogenic series and ore exploring prospect in the Xicheng Mineralization Area, Gansu Province, China[J]. *Geology and Exploration*, 46: 1045~1050(in Chinese with English abstract).
- Dou Yuanjie. 1992. Geological features of the thermal water sedimentary Pb-Zn deposits in Changba-Lijiagou of Chengxian County in Gansu, China[J]. *Acta Geologica Gansu*, 1: 32~50(in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, *et al.* 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41~52.
- Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Shao Shicai, *et al.* 2002. Geology and genesis of Xiaogouli quartz vein type gold deposit, West Qinling Mountain[J]. *Mineral Deposits*, 21(2): 159~167(in Chinese with English abstract).
- Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Wang Xueming, *et al.* 2003. Geology and metallogenesis of the Baguamiao giant gold deposit in Fengxian, Shaanxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 387~398(in Chinese with English abstract).
- Guo Aqian, Ding Zhenju and Wen Chengxiong. 2011. Granite zircon U-Pb isotope dating and geological significance of Xicheng Ore cluster [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (suppl.), 581~582(in Chinese).
- Hu Q Q, Wang Y T, Mao J W, *et al.* 2014. Timing of the formation of the Changba-Lijiagou Pb-Zn ore deposit, Gansu Province, China: Evidence from Rb-Sr isotopic dating of sulfides[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, DOI: 10.1016/j.jseaes.2014.10.021.
- Hu Qiaoqing, Wang Yitian, Wang Ruiting, *et al.* 2012. Ore-forming time of the Erlihe Pb-Zn deposit in the Fengxian-Taibai ore cluster, Shaanxi Province: Evidence from the Rb-Sr isotopic dating of spha-

- lerites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1): 258~266(in Chinese with English abstract).
- Li Yigui, Yang Zhongtang and Zhao Dezhi. 1988. Fundamental geological-tectonic features and structural controlled process in metallogenesis, Changba Pb-Zn Deposit[J]. *Bull. Xi'an Inst. Geol. Min. Res., Chinese Acad. Geol. Sci.*, 21: 1~16(in Chinese with English abstract).
- Li Ying and Ren Minghua. 1993. Heat history and hydrothermal-sedimentary metallogenetic system in Xicheng Paleobasin[J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 15: 97~102(in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Xie Qishan, Luan Xindong, *et al.* 2004. The origins and tectonic significance of the Mishuling magma zone in Western Qinling[J]. *Xinjiang Geology*, 22: 374~377(in Chinese with English abstract).
- Li Zuochen, Pei Xianzhi, Li Ruibao, *et al.* 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemistry of the Mishuling intrusion in western Qinling and their tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(8): 2617~2634(in Chinese with English abstract).
- Lin Bing. 1991. Metallogenetic information on the lead isotopic geochemistry of the Xicheng lead-zinc ore field, Gansu Province[J]. *Geosciences*, 5: 300~306(in Chinese with English abstract).
- Liu Miao. 1988. The submarine exhalation-sedimentary ore-forming features and the genetic model of Changba type Pb-Zn deposit[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2: 25~34(in Chinese with English abstract).
- Liu Shuwen, Yang Pengtao, Li Qiugen, *et al.* 2011. Indosinian granitoids and orogenic processes in the middle segment of the Qinling Orogen, China[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 41(6): 1928~1943(in Chinese with English abstract).
- Liu Xielu, Wang Yitian, Hu Qiaoqing, *et al.* 2014. Sm-Nd isotopic dating of carbonate minerals from the Chaimagold deposit in the Fengxian-Taibai ore concentration area, Shaanxi Province and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(1): 271~280(in Chinese with English abstract).
- Ma Guoliang, Qi Sijing, Li Ying, *et al.* 1996. A study of the exhalative origin of the Changba lead-zinc deposit, Gansu Province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 11(3): 36~44(in Chinese with English abstract).
- Ma Guoliang, Qi Sijing, Li Ying, *et al.* 1998. Genesis of albitites in Changba Pb-Zn ore deposit[J]. *Geology-Geochemistry*, 26(2): 29~33(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Du A D, Seltmann R, *et al.* 2003. Re-Os ages for the Shameika porphyry Mo deposit and the Lipovy Log rare metal pegmatite, central Urals, Russia[J]. *Mineralium Deposita*, 38: 251~257.
- Mao J W, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 1 815~1 818.
- Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Feng Chengyou, *et al.* 2012. A preliminary study of the Triassic large-scale mineralization in China and its geodynamic setting[J]. *Geology in China*, 39(6): 1 437~1 471(in Chinese with English abstract).
- Meng Xuyang, Wang Xiaoxia, Ke Changhui, *et al.* 2013. LA-ICP-MS zircon U-Pb age, geochemistry and Hf isotope of the granitoids from Huayang pluton in South Qinling orogeny: Constraints on the genesis of Wulong plutons[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(11): 1 704~1 719(in Chinese with English abstract).
- Qi Sijing. 1993. The sedimentary origin of the thermal water in the Pb-Zn ore deposits of the Qinling Devonian system[J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 15(1): 27~34(in Chinese with English abstract).
- Qin Jiangfeng. 2010. Petrogenesis and Geodynamic Implications of the Late-Triassic Granitoids from the Qinling Orogenic Belt(Ph. D. Dissertation)[D]. Xi'an: Northwest University, 1~266(in Chinese with English abstract).
- Qiu Kunfeng, Li Nan, Taylor R D, *et al.* 2014. Timing and duration of metallogeny of the Wenquan deposit in the West Qinling, and its constrain on a proposed classification for porphyry molybdenum deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2 631~2 643(in Chinese with English abstract).
- Shao Shicai and Wang Dongbo. 2001. ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating of the three typical gold deposits and its geological significance in the southern Qinling region[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 106~110(in Chinese with English abstract).
- Shi Zhunli, Liu Jinxuan and Jin Qin Hai. 1993. A study of the Shuangwang gold deposit related to alkali-carbonatite[A]. Qinling and Daba Mountains Scientific Research Project Office, Ministry of Geology and Mineral Resources, and Qinling and Daba Mountains Gold Deposits Scientific Research Office, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources. Contributions to Gold Deposits of the Qinling and Daba Mountains[C]. Beijing: Geological Publishing House, 133~146(in Chinese).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank

- rhenum-osmium analysis, *Anal[J]*. *Chemistry*, 67: 2 136~1 102.
- Song Shigang, Ding Zhenju, Yao Shuzhen, *et al.* 2008. Re-Os isotopic dating of molybdenite and its implication for molybdenum mineralization of Wenquan porphyry, Wushan, Gansu Province [J]. *Northern Geology*, 41(1): 67~73 (in Chinese with English abstract).
- Sun Weidong, Li Shuguang, Chen Yadong, *et al.* 2000. Zircon U-Pb dating of granitoids from South Qinling, Central China and their geological significance[J]. *Geochimica*, 29(3): 209~216 (in Chinese with English abstract).
- Wang Huan. 2012. The Features of Magmatic Rocks in Shuangwang Gold Mine, Shaanxi Province and Its Implication on Gold Mineralization (M. Sc. Dissertation)[D]. Beijing: China University of Geological Sciences, 1~103 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tiangang, Ni Pei, Sun Weidong, *et al.* 2011. Zircon U-Pb ages of granites at Changba and Huangzhuguan in western Qinling and implications for source nature[J]. *Chinese Science Bulletin*, 56(7): 659~669 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yitian, Li Xia, Wang Ruiting, *et al.* 2014. Evidence of Ar-Ar age for the metallogenic epoch of Simaoling gold deposit in Fengxi-an-Taibai ore cluster of Shaanxi[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 36(3): 61~72 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yitian, Wang Ruiting, Hu Qiaoqing, *et al.* 2013. A discussion on the lead-zinc mineralization between the Fengtai and Xicheng ore clusters in west Qinling orogen[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 52 (Supp): 52~54 (in Chinese).
- Wang Zongqi, Yan Quanren, Yan Zhen, *et al.* 2009. New division of the main tectonic units of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(11): 1 527~1 546 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fenghui, Liu Shuwen, Li Qiugen, *et al.* 2009. Zircon U-Pb geochronology and geological significance of Guangtoushan granitoids from Western Qinling, Central China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(5): 811~818 (in Chinese with English abstract).
- Xie Jianxin. 2013. The geological characteristics and the symbol of discovering deposits in the Xiaogouli, Chengxian, Gansu[J]. *Gansu Metallurgy*, 35(2): 84~88 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jiangong. 1999. Geology and metallogenic mechanism of the Lijiagou Pb-Zn deposit in Chengxian Country, Gansu Province[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 8(2): 96~102 (in Chinese with English abstract).
- Yang Songnian and Miao Yuanxing. 1986. Geological characteristics of the Changba-Lijiagou lead-zinc deposits in Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 5: 14~23 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhihua, Su Shengrui, Zhou Meifu, *et al.* 2000. New understanding of ore-forming genesis of the Xicheng Pb-Zn-(Ag)-Au deposit [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(4): 367~369 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhihua, Zhang Chuanlin and Li Yong. 1997. A discussion on epigenesis of the Pb-Zn deposits in the Xicheng ore field, Western Qinling[J]. *Acta Geologica Sinica*, 71(4): 360~366 (in Chinese with English abstract).
- Yu Zhonghui, Zhu Xinyou, Tong Suiyou, *et al.* 2008. Study on characteristics of S, Pb isotopes of the Pb-Zn deposits, Au deposits in Xicheng area and their metallogenic relationship[J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(3): 196~203 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Q T, McCuaig T C, Craig J R, *et al.* 2012. Structural and geochronological studies on the Liba goldfield of the West Qinling Orogen, Central China[J]. *Miner Deposit*, 47: 799~819.
- Zhang Chuanlin, Dong Yongguan, Guo Kunyi, *et al.* 2001. On several problems concerning the tectonic evolution and metallogenesis of Western Qinling, China[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 22(1): 21~30 (in Chinese with English abstract).
- Zhang F, Liu S W, Chen X, *et al.* 2012. Xiba granitic pluton in the Qinling orogenic belt, Central China: Its petrogenesis and tectonic implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 86: 1 128~1 142.
- Zhang F, Liu S W, Li Q G, *et al.* 2011. 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*, 85(3): 673~682.
- Zhang Fan, Liu Shuwen, Li Qiugen, *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and geological significance of Xibagranitoids from Qinling, Central China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(5): 833~840 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongfei, Jin Lanlan, Zhang Li, *et al.* 2007. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of granitoids from western Qinling belt: Constraints on basement nature and tectonic affinity[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50(2): 184~196.
- Zhang Shengyan, Zhao Huachen and Wu Jianmin. 1988. Discussion on controlling conditions of metallogenesis and enrichment regularities in Changba-Lijiagou area [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2

(2): 1~9(in Chinese with English abstract).

Zhang Zongqing, Zhang Guowen, Liu Dunyi, *et al.* 2006. Geochronology and Geochemistry of Ophiolite, Granitoids and Clastic Sedimentary in Qinling orogen [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~348(in Chinese).

Zhou Weijun. 1983. Preliminary approach to the control-ore facies model of Xicheng lead-zinc ore-field[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1(4): 37~47(in Chinese with English abstract).

Zhou Weijun. 1984. Discussion of ore-control the Changba Pb-Zn deposit belt[J]. Northwestern Geology, 1: 47~53(in Chinese with English abstract).

Zhu Laimin, Ding Zhenju, Yao Shuzhen, *et al.* 2009. Ore-forming event and geodynamic setting of molybdenum deposit at Wenquan in Gansu Province, Western Qinling[J]. Chinese Sci. Bull., 54, doi: 10.1007/s11434-009-0094-6.

附中文参考文献

邓海军, 朱多录. 2010. 甘肃西成矿集区成矿系列及找矿前景[J].

地质与勘探, 46(6): 1 045~1 050.

窦元杰. 1992. 甘肃成县厂坝-李家沟热水-沉积铅锌矿床地质特征[J]. 甘肃地质学报, 1(2): 32~50.

冯建忠, 汪东波, 邵世才, 等. 2002. 西秦岭小沟里石英脉型金矿床成矿地质特征及成因[J]. 矿床地质, 21(2): 159~167.

冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 2003. 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, 77(3): 387~398.

国阿千, 丁振举, 文成雄. 2011. 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, 增: 581~582.

胡乔青, 王义天, 王瑞廷, 等. 2012. 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, 28(1): 258~266.

霍福臣, 李永军. 1995. 西秦岭造山带的建造与地质演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 67~120.

李益桂, 杨钟堂, 赵德智. 1988. 厂坝铅锌矿床的基本地质构造特征及构造控制作用[J]. 西北地质科学, 21: 1~16.

李英, 任名华. 1993. 西成古盆地热历史及热水沉积成矿系统[J]. 长安大学学报(地球科学版), 15(4): 97~102.

李永军, 谢其山, 栾新东, 等. 2004. 西秦岭糜署岭岩浆带成因及构造意义[J]. 新疆地质, 22(4): 374~377.

李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等. 2013. 西秦岭糜署岭花岗岩体年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 29(8): 2 617~2 634.

林兵. 1991. 甘肃西成铅锌矿田铅同位素地球化学成矿信息[J]. 现代地质, 5(3): 300~306.

刘树文, 杨朋涛, 李秋根, 等. 2011. 秦岭中段印支期花岗岩浆作用与造山过程[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1 928~1 943.

刘协鲁, 王义天, 胡乔青, 等. 2014. 陕西省凤太矿集区柴峪金矿碳酸盐矿物的 Sm-Nd 同位素测年及意义[J]. 岩石学报, 30(1): 271~280.

柳森. 1988. 厂坝型铅锌矿床的海底喷出沉积成矿特征及成因模式[J]. 矿产与地质, 2(3): 25~34.

马国良, 祁思敬, 李英, 等. 1996. 甘肃厂坝铅锌矿床喷气沉积成因研究[J]. 地质找矿论丛, 11(3): 36~44.

马国良, 祁思敬, 李英, 等. 1998. 厂坝铅锌矿床中钠长石岩的成因探讨[J]. 地质地球化学, 26(2): 29~33.

毛景文, 周振华, 丰成友, 等. 2012. 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, 39(6): 1 437~1 471.

孟旭阳, 王晓霞, 柯昌辉, 等. 2013. 南秦岭华阳花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学和 Hf 同位素组成[J]. 地质通报, 32(11): 1 704~1 719.

祁思敬. 1993. 秦岭泥盆系中铅锌矿床的热水沉积成因[J]. 长安大学学报(地球科学版), 15(1): 27~34.

秦江锋. 2010. 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(博士学位论文)[D]. 西安: 西北大学, 1~266.

邱昆峰, 李楠, Taylor R D, 等. 2014. 西秦岭温泉钼矿床成矿作用时限及其对斑岩型钼矿床系统分类制约[J]. 岩石学报, 30(9): 2 631~2 643.

邵世才, 汪东波. 2001. 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, 75(1): 106~110.

石准立, 刘瑾璇, 金勤海. 1993. 与碱性碳酸盐有关的双王金矿床 [A]. 地质矿产部秦巴科研项目办公室和陕西省地质矿产局秦巴金矿科研办公室编. 秦巴金矿论文集[C]. 北京: 地质出版社, 133~146.

宋史刚, 丁振举, 姚书振, 等. 2008. 甘肃武山温泉辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义[J]. 西北地质, 41(1): 67~73.

孙卫东, 李曙光, Chen Yadong, 等. 2000. 南秦岭花岗岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地球化学, 29(3): 209~216.

汪欢. 2012. 陕西双王金矿区岩浆岩特征及与金成矿的关系(硕士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 60~72.

王天刚, 倪培, 孙卫东, 等. 2010. 西秦岭勉略带北部黄渚关和厂坝花岗岩锆石 U-Pb 年龄及源区性质[J]. 科学通报, 55(36): 3 493~3 505.

王相, 唐荣杨, 李实, 等. 1996. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北

- 京: 冶金工业出版社, 187~230.
- 王义天, 李霞, 王瑞廷, 等. 2014. 陕西凤太矿集区丝毛岭金矿床成矿时代的 Ar-Ar 年龄证据[J]. 地球科学与环境学报, 36(3): 61~72.
- 王义天, 王瑞廷, 胡乔青, 等. 2013. 西秦岭凤太和西成矿集区铅锌成矿作用对比[J]. 矿物学报, 52(增刊): 52~53.
- 王宗起, 闫全人, 闫臻, 等. 2009. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. 地质学报, 83(11): 1527~1546.
- 吴峰辉, 刘树文, 李秋根, 等. 2009. 西秦岭光头山花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 45(5): 811~818.
- 谢建新. 2013. 甘肃省成县小沟里金矿地质特征及找矿标志[J]. 甘肃冶金, 35(2): 84~88.
- 杨建功. 1999. 甘肃省成县李家沟铅锌矿床成矿特征及成因机制[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(2): 96~102.
- 杨松年, 缪远兴. 1986. 厂坝-李家沟铅锌矿床地质特征[J]. 矿床地质, 5(2): 14~23.
- 杨志华, 苏生瑞, 周美夫, 等. 2000. 西成铅锌(银)金矿床成因的新认识[J]. 矿物岩石地球化学通报, 19(4): 367~369.
- 杨志华, 张传林, 李勇. 1997. 论西成铅锌矿床的后生成因[J]. 地质学报, 71(4): 360~366.
- 俞中辉, 祝新友, 童随友, 等. 2008. 西成地区铅锌矿、金矿硫铅同位素特征及成矿关系的研究[J]. 矿产与地质, 22(3): 196~203.
- 张传林, 董永观, 郭坤一, 等. 2001. 西秦岭东段构造演化及成矿作用的讨论[J]. 火山地质与矿产, 22(1): 21~30.
- 张帆, 刘树文, 李秋根, 等. 2009. 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), 45(5): 833~840.
- 张广松. 2011. 甘肃省成县厂坝岩体含矿性浅议[J]. 科技信息, 15: 763.
- 张宏飞, 靳兰兰, 张利, 等. 2005. 西秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制[J]. 中国科学 D 辑, 35(10): 914~926.
- 张声炎, 赵化琛, 吴健民. 1988. 厂坝-李家沟铅锌矿床成矿控制条件及矿化富集规律讨论[J]. 矿产与地质, 2(2): 1~9.
- 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 等. 2006. 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, 256~259.
- 周维君. 1983. 甘肃西成铅锌矿田控矿相模式雏议[J]. 沉积学报, 1(4): 37~47.
- 周维君. 1984. 厂坝铅锌矿带控矿因素探讨[J]. 西北地质, 1: 47~53.
- 朱赖民, 丁振举, 姚书振, 等. 2009. 西秦岭甘肃温泉铅矿床成矿地质事件及其成矿构造背景[J]. 科学通报, 54(16): 2337~2347.