

编号: 0258-7106(2011)06-1039-19

安徽省金寨县沙坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄

——兼论东秦岭-大别山中生代钼成矿作用期次划分*

黄 凡¹, 王登红¹, 陆三明², 陈毓川³, 王波华⁴, 李 超⁵

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 安徽省公益性地质调查管理中心, 安徽 合肥 230001; 3 中国地质科学院, 北京 100037; 4 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队, 安徽 六安 237010; 5 中国地质科学院国家地质试验测试中心, 北京 100037)

摘 要 安徽省金寨县沙坪沟钼矿是新发现的超大型斑岩型钼矿床。文章介绍了该矿床的基本地质特征, 并对其进行了精确的辉钼矿 Re-Os 同位素年代学测定。结果表明, 沙坪沟钼矿辉钼矿模式年龄为 $(112.2 \pm 1.7) \sim (113.9 \pm 1.7) \text{ Ma}$, 加权平均年龄为 $(113.18 \pm 0.54) \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 0.39$, 等时线年龄为 $(113.21 \pm 0.53) \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 0.64$, 表明沙坪沟钼矿形成于早白垩世晚期。结合区域上已有的岩体高精度年代学数据、矿床辉钼矿 Re-Os 年代学数据和钼矿产出的大地构造位置, 将东秦岭-大别山中生代钼成矿作用划分为 2 期 4 个阶段: 印支期(260~205 Ma)和燕山期的晚侏罗世—早白垩世早期(148~138 Ma), 早白垩世中期(135~119 Ma)和早白垩世晚期(116~105 Ma), 其中, 以燕山期钼成矿作用最为强烈。

关键词 地球化学, 辉钼矿 Re-Os 同位素测年, 钼成矿作用, 沙坪沟钼矿, 东秦岭-大别山

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Molybdenite Re-Os isotopic age of Shapinggou Mo deposit in Anhui Province and Mesozoic Mo ore-forming stages in East Qinling-Dabie Mountain region

HUANG Fan¹, WANG DengHong¹, LU SanMing², CHEN YuChuan³, WANG BoHua⁴ and LI Chao⁵

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Public Geological Survey Management Center of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China; 3 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4 No.313 Geological Party of Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Lu'an 237010, Anhui, China; 5 National Research Center for Geoanalysis, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Shapinggou Mo deposit, located in Jinzhai Country of Anhui Province, is a giant ore deposit discovered in recent years in the Dabie Mountain. This paper describes geological characteristics of the ore deposit. The authors chose nine molybdenite-bearing samples for Re-Os isotopic dating, and the dating results show that the Re-Os model ages of the ore deposit are between $(112.2 \pm 1.7) \text{ Ma}$ and $(113.9 \pm 1.7) \text{ Ma}$, and the calculated isochron age is $(113.21 \pm 0.53) \text{ Ma}$, suggesting that molybdenum mineralization occurred in the late period of early Cretaceous. High-precision chronologic data of regional intrusions, Re-Os dating data of molybdenites and geotectonic location of Mo deposits indicate that there occurred 2 epochs comprising 4 stages of Mo mineralization during the Mesozoic period in East Qinling-Dabie Mountain region. These Mo ore-forming stages include 205~

* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号: K1022)、全国矿产资源潜力评价项目(编号: 1212010633901)、安徽省公益性地质科技项目秦岭-大别山造山带东段(安徽部分)湘金多金属成矿规律与找矿方向研究(编号: 2009-19)的联合资助

第一作者简介 黄 凡, 男, 1983 年生, 博士研究生, 主要从事矿物、岩石、矿床学研究。Email: hfhymn@163.com

收稿日期 2011-06-07; 改回日期 2011-10-10。张琦玲编辑。

260 Ma of Indosinian period, and 148~138 Ma, 135~119 Ma and 116~105 Ma of Yanshanian period. The Mo mineralization during the late Yanshanian period is the strongest one and is also the major ore-forming period of Mo polymetallic ore deposits in East Qinling-Dabie Mountain region.

Key words: geochemistry, Re-Os isotopic dating of molybdenites, Mo mineralization, Shapinggou Mo deposit, East Qinling-Dabie Mountain region

大别造山带广泛发育钼、铅、锌、银、金等多金属矿化,但由于多年未发现大型、超大型矿床,国内外地质学家的兴趣点主要集中在早中生代超高压变质作用和深俯冲-碰撞以及超高压变质岩的折返机制和动力学问题上(Okay et al., 1989; Hacker et al., 1995; Ames et al., 1996; Rowley et al., 1997; Li S G et al., 1993; Li S et al., 2000; 马昌前等, 2003; 李曙光, 2004; 李曙光等, 2005; 许志琴等, 2006; 袁学诚等, 2008; 杨经绥等, 2009),使得对矿产资源问题的关注相对薄弱,主要集中在铅、锌、银、金等中小型矿床的研究(陆三明等, 2005)。近年来,随着钼找矿勘查工作的深入,新的钼矿产地不断被发现(黄凡等, 2011; 卢欣祥等, 2011),在大别山地区相继发现了汤家坪、沙坪沟、千鹤冲等大型、超大型钼矿床,结束了大别山地区无大矿的历史。因此,对大别山地区大型矿床的科学研究工作,具有重要的理论和现实意义。

金寨县沙坪沟斑岩型钼矿床的发现是安徽省近年来在大别山钼矿集区找矿的重大突破。20世纪70~80年代,前人在该区开展了以寻找铅、锌、银、金为主的普查工作,初步查明了地表和500 m以浅的铅、锌、银、金矿化情况。2001年前后,通过对本区进一步的调查研究,提出区内可能存在斑岩型多金属矿^①,随即展开了以寻找斑岩型钼矿床为主的找矿工作,经过安徽省地勘局313队多年的勘查工作,截止2011年,最终发现了东西控制长约1 200 m、南北宽约900 m、单孔最大厚度945 m、平均厚度738.91 m、空间上呈穹窿状的钼矿体,钼的平均品位0.15%左右,初步探明钼金属资源量达220万吨,为超大型斑岩钼矿床。沙坪均钼矿床的发现表明东秦岭钼矿带东部已延至安徽省北淮阳地区。本文采用辉钼矿Re-Os同位素测年技术,对沙坪均钼矿进行了精确的年代学研究,并通过对区域上成岩成矿年龄的梳理,讨论了东秦岭-大别山地区中生代钼成矿作用的期次,以期为进一步的钼矿找矿工作提供年代学依据,为北

淮阳地区乃至大别山区下一步的找矿提供借鉴。

1 区域地质特征

大别造山带是印支期(240~210 Ma)扬子板块向华北板块俯冲形成的陆-陆碰撞造山带(Hacker et al., 1995; Ames et al., 1996; 李曙光等, 1997; Li S G et al., 1993; Li S et al., 2000; Rowley et al., 1997),主体位于安徽省境内,其东段被郯庐断裂带错断。大别造山带的岩石构造单元的划分虽然存在争议(董树文等, 1993; 周存亭等, 2004; 徐树桐等, 2001, 2002; Zheng et al., 2005; 向必伟, 2009),但近年来研究显示,依据岩石学特征,由北向南可依次划分为北淮阳构造带、北大别变质杂岩带、南大别高压-超高压变质带和宿松-张八岭构造带(向必伟, 2009; 王勇生等, 2009)。

北淮阳构造带地跨皖豫两省,东起郯庐断裂,西至南阳盆地,绵延500 km,桐柏-桐城断裂和明港-六安断裂构成南北边界,宽约50 km(陆三明等, 2005),属秦祁昆成矿域秦岭-大别-苏鲁成矿省桐柏-大别多金属成矿带(徐志刚等, 2008)。习惯上,以商城-麻城断裂为界把北淮阳构造带分为东段(安徽境内)和西段(河南境内)。沙坪沟钼矿区位于北淮阳构造带东段(张怀东等, 2010),桐柏-桐城断裂和商城-麻城断裂的交汇处(图1)。

根据北淮阳地区岩石、地层、构造环境演化特征自下而上划分为4个构造层,分别为中元古界庐镇关岩群(苏家河群、红安群);新元古界佛子岭岩群(信阳变质地体、东双河变质地体);晚古生界杨山群以及中-新生界一套未经塑性变形和变质的陆相盆地堆积(彭智等, 2005)。

北淮阳中生代岩浆岩的分布与构造关系密切,主要受北东向、北西向构造控制,总体呈北西向带状分布(图1)。侵入岩多在深断裂的交汇部位形成规模较大的复式岩体,主要有商城、河棚等岩体,以石

① 陆三明, 彭海辉, 王波华. 2001. 安徽省金寨县鲜花岭—银山铅、锌、银、金多金属矿普查报告. 内部资料.

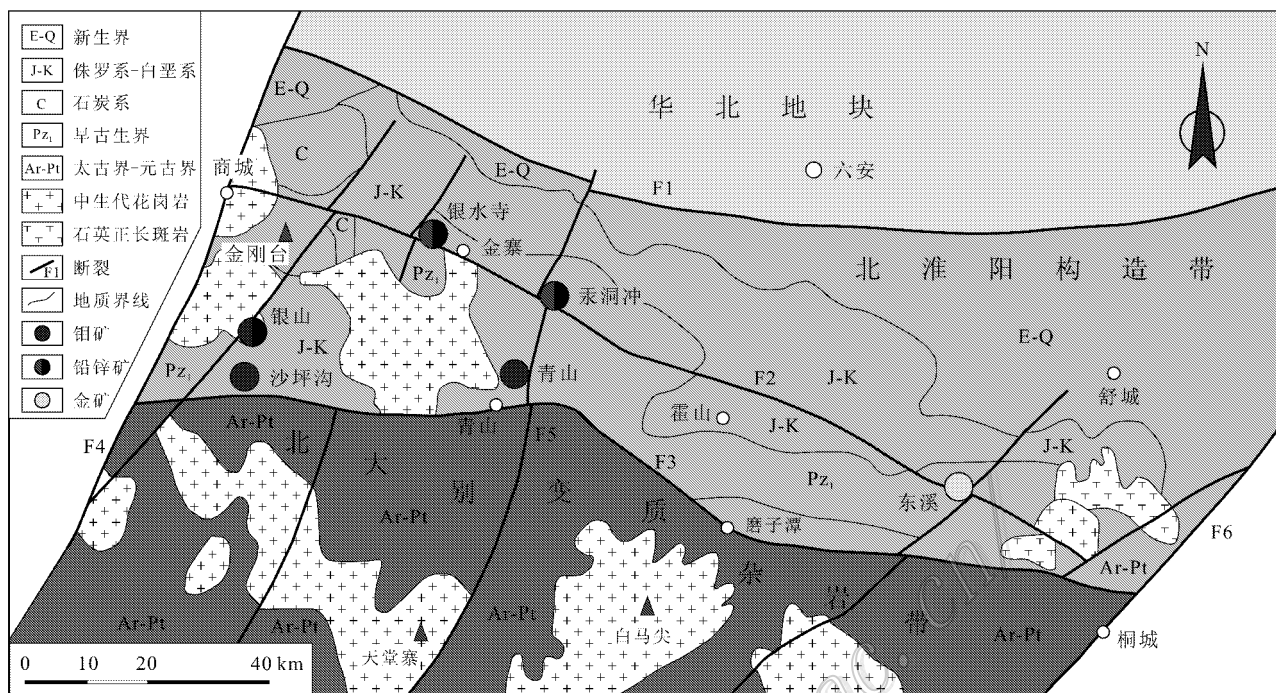


图1 北淮阳东段地质构造略图(张怀东等, 2010)

F1—明港-六安断裂; F2—信阳-舒城断裂; F3—桐柏-桐城(晓天-磨子潭)断裂; F4—商城-麻城断裂; F5—青山-熬药尖断裂; F6—郟庐断裂

Fig. 1 Geological and tectonic map of eastern North Huaiyang (after Zhang et al., 2010)

F1—Minggang-Liuan fault; F2—Xinyang-Shucheng fault; F3—Tongbai-Tongcheng (Xiaotian-Mozitan) fault; F4—Shangcheng-Macheng fault;

F5—Qingshan-Aoyaojian fault; F6—Tanlu fault

英闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩、碱长花岗岩和石英正长斑岩等,主要形成于晚侏罗世—早白垩世。火山岩以金寨、霍山和晓天盆地为中心,形成于晚侏罗世—早白垩世(杜建国等,1999;王岳军等,2002),包括2个旋回:第一旋回以安山岩-粗安岩-粗面岩组合为主,属高钾钙碱性系列,形成于陆内挤压环境;第二旋回为一套碱性玄武岩-碱性粗面岩-假白榴石响岩组合,碱性程度较第一旋回增高(戴圣潜等,2003),属碱性系列,形成于陆壳减薄的拉张环境(杜建国等,1999;吴海权,2000)。

区内发育了东溪、南关岭、隆兴、戴家河等中小型金矿,汞洞冲、银水寺、银山等铅锌钼矿和沙坪沟钼矿等,形成了著名的北淮阳金-银-铅锌-钼多金属矿带(陆三明等,2002;2005;彭智等,2005;徐晓春等,2009)。

2 矿床地质特征

研究区内出露地层较简单,主要为新元古界庐

镇关岩群,向西与河南境内的苏家河岩群相对应。根据1:5万区调工作成果,该岩群被解体为变形变质侵入体和变质表壳岩两部分。受中生代燕山期岩浆强烈活动影响,地层已被侵蚀、肢解,在地表零星分布,岩性主要为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩和花岗片麻岩等(图2)。区内断裂构造较发育,多为压性及压扭性,按走向分为3组,以北北东向张扭性为主,次为北西向压扭性断裂和南北向断裂(图2)。

区内岩浆岩发育,分布广泛,岩石种类繁多,其中尤以燕山期岩浆活动最为强烈。根据岩体相互关系及岩性特征,区内岩浆岩被划分为4个独立单元,即银沙畈独立单元、达权店超单元(主要为吴老湾单元)、金刚山单元和银山复式杂岩体,岩性分别为石英二长闪长岩、花岗闪长岩、含斑中粒二长花岗岩、细粒二长花岗岩及正长岩-石英(黑云母)正长岩,岩浆岩的岩石化学成分显示出高钾富碱的特征,大多数岩石属高钾钙碱性系列,部分属于橄榄玄粗岩系列,反映出岩浆岩由钙碱性向碱性过渡的特征,成岩年龄145~121 Ma,主要集中在早白垩世(徐晓春等,2009)。

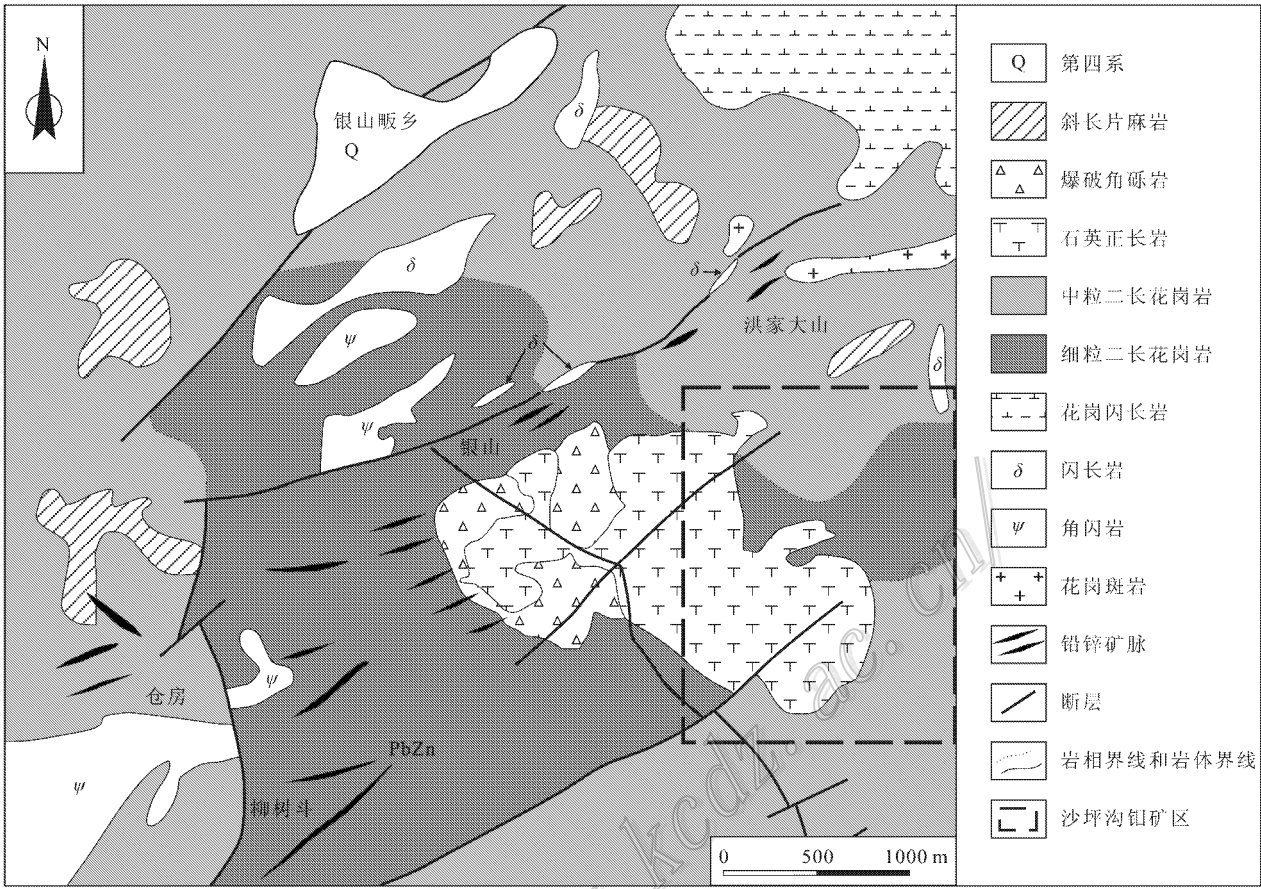


图 2 沙坪沟钼矿区地质略图(张怀东等 2010)

Fig. 2 Geological sketch map of the Shapinggou Mo ore district (after Zhang et al., 2010)

银山复式岩体是区内最主要的赋矿岩体,总体走向呈北西向,出露面积约 2.76 km²(图 2)。岩石类型有石英正长(斑)岩、黑云母正长岩、爆发角砾岩(角砾)正长斑岩、花岗斑岩、石英粗面岩等。银山沟正长岩是银山复式岩体的主体,其出露范围北西自银山顶,南东止于沙坪沟,北西向侵入于达权店超单元的花岗岩中。爆发角砾岩是银山复式岩体的重要组成单元,其位于复式岩体西部的盖井一带(图 2)地表呈 3 个面积近似的筒状小岩体,出露面积 0.4 km²,其内钼矿化较明显。

沙坪沟钼矿矿床类型属斑岩-爆破角砾岩亚型钼矿床(卢欣祥等 2011),主要赋存于银山复式岩东部(图 2)。据现有工程控制,钼矿体位置在地表 500 m 以下,呈筒状产出,矿体厚度大、矿化连续,赋存于深部隐伏的花岗斑岩体内、外接触带中(图 3),矿化类型主要有正长岩型和斑状花岗岩型,主矿体上部 and 边部主要为正长岩型,中心部分主要为斑状花岗岩型,矿体间无明显的界线或标志层。矿石矿物主

要为辉钼矿、黄铁矿,少量钛铁矿、磁铁矿,含微量的方铅矿,脉石矿物主要是钾长石、石英、斜长石,次为绢云母、黑云母,少量白云母、萤石、石膏、方解石等。矿石结构为自形、半自形-他形粒状结构、交代残余结构、显微鳞片变晶结构等,矿石构造以细脉浸染状等为主。矿石中钼品位较高($w(\text{Mo})$ 0.1%~0.3%,最高可达 1%), Mo/Cu 比值高(>50),伴生铌矿化,出现萤石、黄玉等矿物。银山复式岩体西部盖井地区地表出露的爆发角砾岩筒内钼矿化最大控制深度达 600 m,地表钼矿化较弱,向深部钼矿化增强, $w(\text{Mo})$ 一般为 0.02%~0.07%,单样最高品位达 0.19%,辉钼矿主要呈针点状或斑点状赋存于爆发角砾岩的交结物中(徐晓春等 2009)。

沙坪沟钼矿矿石以细(网)脉浸染状矿石为主(图 4a),辉钼矿绝大多数产于沿裂隙充填的石英脉体中,或沿脉两壁,或产于脉中,或呈单一的纯辉钼矿细脉(图 4b、e、f)脉宽一般为 1~2 mm,辉钼矿片径一般为 0.02~1 mm。根据岩心观察,矿床中的石

英细脉大体上可分为 ① 黄铁矿-石英脉 ;② 黄铁矿-钾长石-石英脉 ;③ 黄铁矿-辉钼矿-石英脉 ;④ 黄铁矿-辉钼矿-钾长石-石英脉 ;⑤ 白云母-萤石-黄铁矿-辉钼矿-石英脉。上述 5 种石英脉彼此错乱穿插 ,很难分辨各脉体形成的先后次序 ,矿化阶段不易划分 ,可能由于成矿时成矿流体快速上升 ,造成不同产状的裂隙同时形成 ,亦反映出沙坪沟钼矿上述脉体形成的近同时性和短时性。

矿床热液蚀变发育 ,即自斑岩体向外 ,呈现出钾

化、黄铁绢英岩化→硅化、绿泥石化的分带现象 ,与典型斑岩型矿床蚀变特征相似。硅化广泛分布于斑岩及其外接触带围岩中 ,与钼矿化关系密切 ,表现为石英呈粒状、团块状分布或呈脉体相互切穿(图 4e) ;钾化主要分布在深部隐伏的二长花岗岩和斑状花岗岩中(图 3) ,有 2 期 :一为成矿前的钾化(钾长石)脉 ,被后期的网脉状含矿石英脉切穿(图 4h) ;一为成矿期间钾化 ,表现为岩体粒间交代(图 4c)或呈石英-钾长石-辉钼矿细脉产出。黄铁绢英岩化分布于含

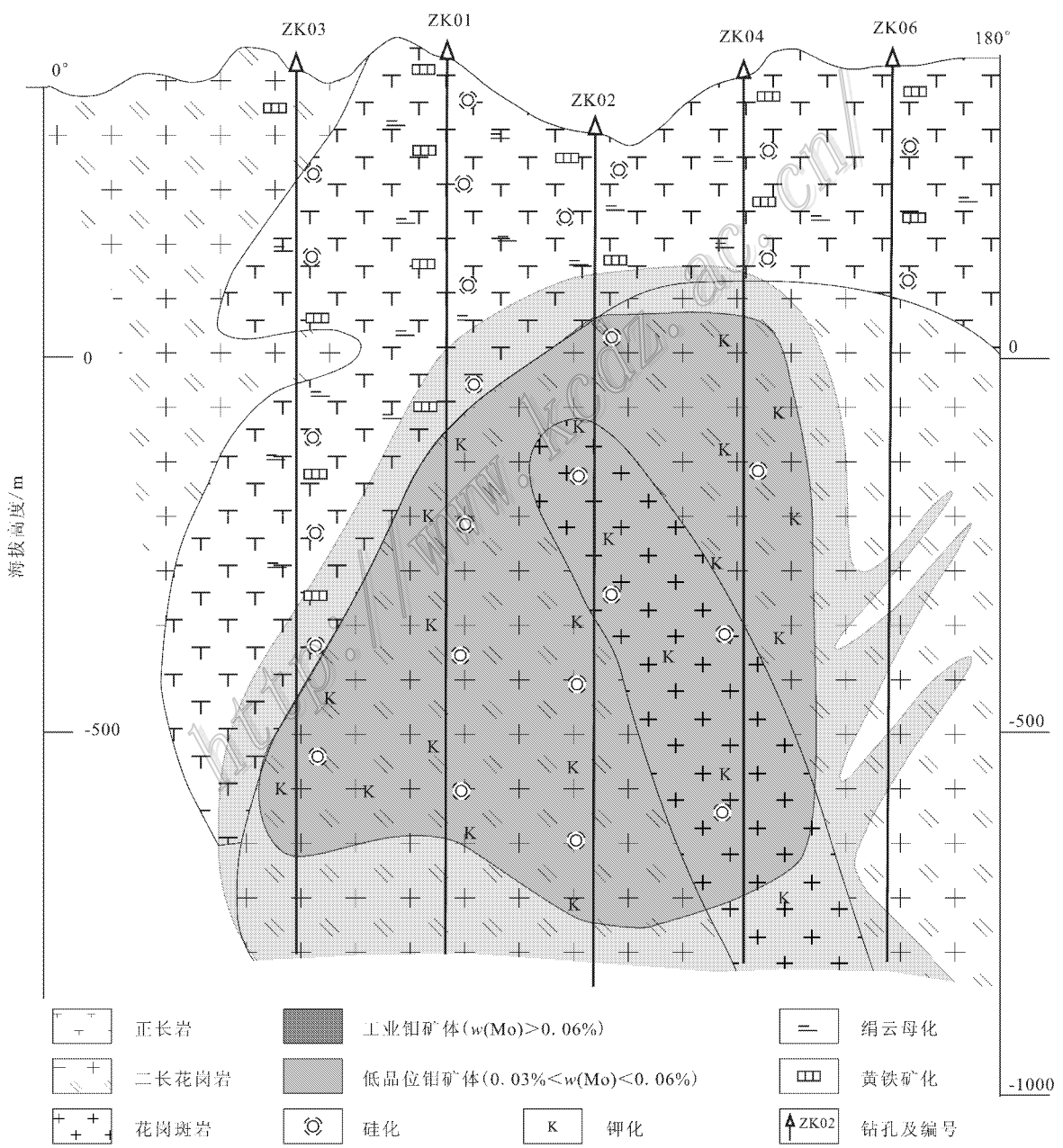


图 3 金寨县沙坪沟钼矿床 0 号勘探线线示意图

Fig. 3 Geological sketch section of No.0 exploration line in the the Shapinggou Mo ore district

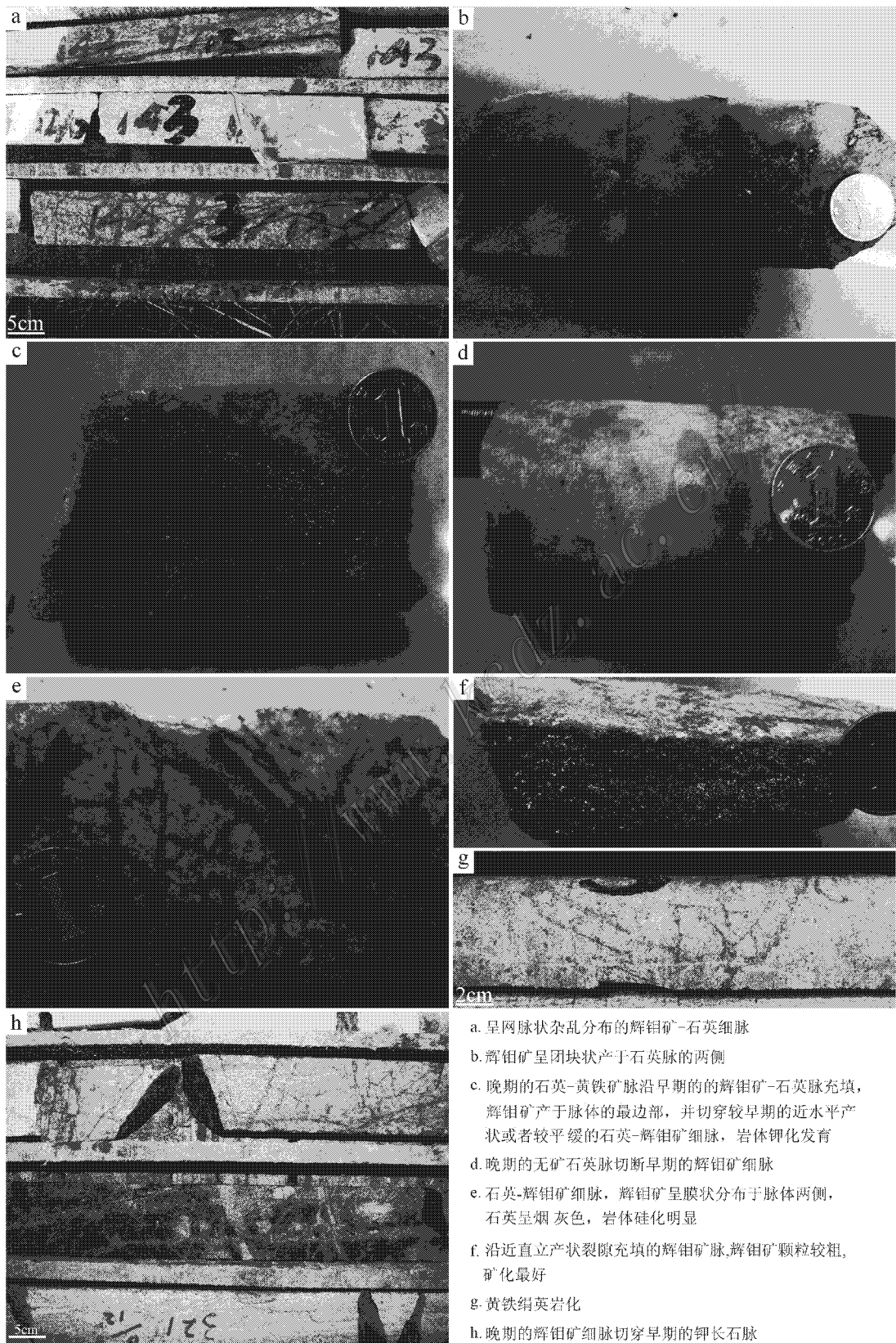


图 4 沙坪沟钼矿矿石和蚀变照片

Fig. 4 Photos of Mo-bearing ore and alteration in the Shapinggou Mo deposit

矿岩体顶部 ,呈面状分布 ,绢云母以微鳞片状、细片状集合体形式交代长石 ,矿化后期 ,局部形成条带状绢英岩 ,当伴生黄铁矿时 ,形成黄铁绢英岩化 ,是钼矿体的近矿围岩蚀变 ,是重要的找矿标志(图 4g)。绿泥石化主要分布于外接触带中 ,多呈条带状沿裂隙分布 ,该蚀变与成矿关系不密切。蚀变强弱与钼矿体的品位高低呈正相关 ,其中硅化、钾化、黄铁绢英岩化与钼成矿关系密切 ,网脉状硅化和钾长石化是主要的找矿标志。

3 辉钼矿 Re-Os 测年

3.1 样品采集和分析方法

9 件辉钼矿样品均采自沙坪沟钼矿钻孔岩芯(ZK02 和 ZK92)。其中 ,ZK02 孔中 4 个样品均采自花岗斑岩中 ,辉钼矿呈细脉浸染状产出 ;ZK92 孔中样品 ZK92-978 和 ZK92-1165 分别采自正长岩中的薄膜状辉钼矿和近水平产状石英-辉钼矿细脉(脉宽约 0.3 cm),其余 3 件样品均采自二长花岗岩中发育的各种产状的辉钼矿细脉或石英辉钼矿脉(图 4a、4f)。辉钼矿样品经无污染粉碎、重力分离、电磁分离和双目镜下挑选 ,最终得到纯度大于 99% 的辉钼矿粉末 ,粒度小于 0.1 mm。由于所取沙坪沟钼矿的辉钼矿粒度较小 ,粒径多为 0.01~0.05 mm ,少数达 0.1 mm ,并且经过样品的粉碎与分离 ,不会造成大颗粒辉钼矿中 Re 和 Os 失耦而引起的测年误差(Stein et al. , 2003 ; Selby et al. , 2004)。样品分析和测试在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室进行 ,分析仪器是 PQ Excel ICP-MS。辉钼矿的

Re、Os 分离步骤和质谱测定主要包括样品的分解 ,蒸馏分离 Os ,萃取分离 Re 和质谱测定等 4 个步骤 ,详细技术流程参见相关文献(杜安道等 ,1994 ,2001 ; Du et al. , 2004)。本次实验全流程空白水平远低于所测样品中的 Re、Os 含量 ,因此 ,不会影响实验中铼、钨含量的准确测定。

3.2 测试结果

9 件样品辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果列于表 1。由表看出 ,沙坪沟钼矿 9 件样品 $w(\text{Re})$ 介于 358.1~14 720 ng/g ,集中在 2 538~5 121 ng/g。模式年龄变化范围一致[(112.2 ± 1.7)~(113.9 ± 1.7) Ma] ,加权平均年龄为(113.18 ± 0.54) Ma ,MSWD = 0.39(图 5a)。用 Isoplot 软件(Ludwig , 2004)计算得到的等时线年龄为(113.21 ± 0.53) Ma ,MSWD = 0.64(图 5b)。样品 ZK92-694 的¹⁸⁷Re 含量高 ,其余样品¹⁸⁷Re 含量较为集中 ,为避免两点一线嫌疑 ,除去 ZK92-694 样品 ,其余 8 件样品做等时线计算得到年龄为(113.37 ± 0.57) Ma ,MSWD = 0.37(图 5b) ,与全部样品参与计算所得年龄一致 ,可代表沙坪沟钼矿辉钼矿的结晶年龄。

4 讨 论

4.1 沙坪沟钼矿成矿时代

沙坪沟钼矿主要赋存于银山复式杂岩体深部。银山复式杂岩体为商城岩体的东南延部分 ,由多期多相的复杂岩株、岩脉和角砾岩体组成。黄丹峰(2010)运用 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年技术系统测定了商城岩体花岗岩年龄为(130.2 ± 1.7) Ma ,金刚台

表 1 沙坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果
Table 1 Re-Os isotopic data for molybdenite from the Shapinggou Mo deposit

原样名	样重/g	$w(\text{Re})/\text{ng/g}$		$w(\text{普 Os})/\text{ng/g}$		$w(^{187}\text{Re})/\text{ng/g}$		$w(^{187}\text{Os})/\text{ng/g}$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
ZK02-873.7	0.10066	3932	30	0.0013	0.0085	2471	19	4.662	0.044	113.1	1.7
ZK02-984	0.10112	4545	35	0.0081	0.0056	2857	22	5.392	0.044	113.2	1.6
ZK02-982	0.1009	4390	34	0.0025	0.0056	2759	21	5.220	0.051	113.4	1.7
ZK02-862.2	0.10076	5121	38	0.0025	0.0113	3219	24	6.108	0.050	113.8	1.6
ZK92-633	0.10006	4060	32	0.0059	0.0061	2552	20	4.794	0.046	112.7	1.7
ZK92-689	0.10422	2770	22	0.0013	0.0029	1741	14	3.288	0.028	113.2	1.6
ZK92-694	0.10158	14720	136	0.0019	0.0029	9252	85	17.31	0.15	112.2	1.7
ZK92-978	0.10038	358.1	2.9	0.0044	0.0015	225.1	1.8	0.4240	0.0044	113.0	1.8
ZK92-1165	0.10038	2538	22	0.0013	0.0075	1595	14	3.029	0.027	113.9	1.7

注 :Re 和 Os 含量的计算误差包括稀释剂标定误差、质谱测量误差及质量分馏校正误差等 ,置信度为 95%。模式年龄的计算误差不仅包括稀释剂标定误差、质谱测量误差及质量分馏校正误差等 ,另外还包括¹⁸⁷Re 衰变常数 λ 的不确定度(1.02%)。模式年龄计算公式 : $t = 1/\lambda \ln (1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$ 其中 $\lambda(^{187}\text{Re 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。

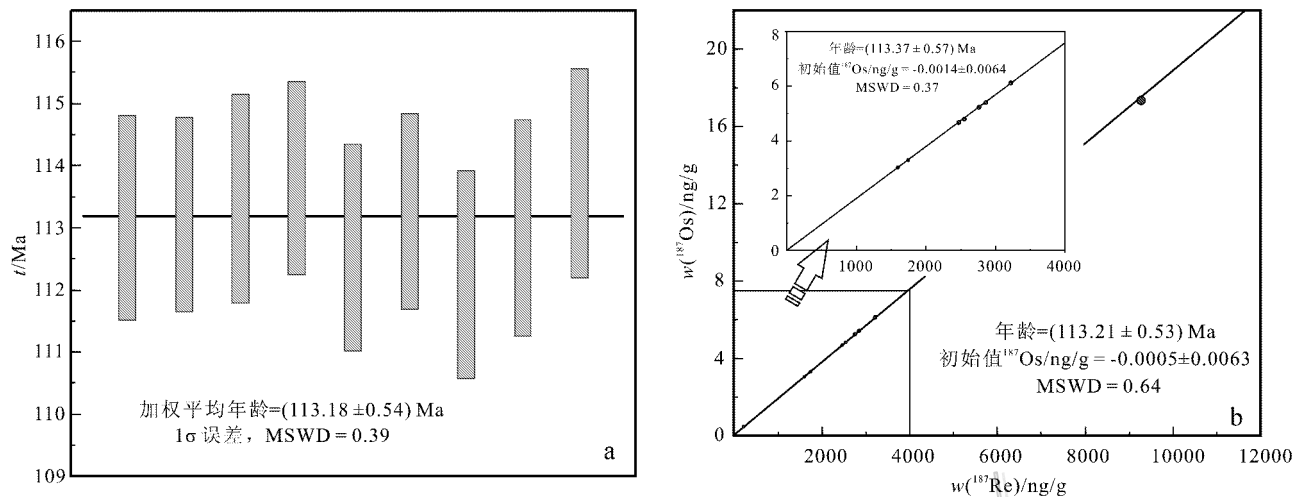


图 5 沙坪沟钼矿辉钼矿加权平均年龄 (a) 和等时线年龄 (b)

Fig. 5 Molybdenite Re-Os weighted average age (a) and isochron age (b) of the Shapinggou Mo deposit

火山岩 3 个样品的年龄分别为 (129.1 ± 2.2) Ma、 (129 ± 2) Ma 和 (128.4 ± 3.6) Ma, 火山岩中花岗岩脉和流纹岩岩床年龄分别为 (128.6 ± 1.9) Ma 和 (127.0 ± 3.6) Ma, 在商城岩体内的辉绿岩墙中获得多个介于 $137.1 \sim 117.8$ Ma 年龄值(王团华等, 2008; 黄丹峰, 2010), 与商城岩体的侵位年龄基本一致。徐晓春等(2009)对银山地区(沙坪沟钼矿区的北部和西北部)的中粒二长花岗岩、细粒二长花岗岩和细晶闪长岩进行了黑云母和角闪石单矿物的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素地质年龄测定, 年龄分别为 (136.8 ± 1.6) Ma、 (130.4 ± 1.2) Ma 和 (125.4 ± 1.0) Ma。这些年龄均显示为早白垩世, 表明区域上岩浆活动以燕山晚期早白垩世为主。

本次测试所获得的沙坪沟钼矿的等时线年龄为 (113.21 ± 0.53) Ma, 与徐晓春等(2009)获得的银山钼矿(沙坪沟钼矿北部)两件辉钼矿的模式年龄 $[(112.6 \pm 1.3) \sim (113.5 \pm 1.3)$ Ma] 基本一致。这与区域上的主要的侵入岩浆活动相差 $17 \sim 24$ Ma, 表明区内钼成矿作用与区域上岩浆活动(特别是矿区内二长花岗岩)为不同时期的成岩成矿事件, 推测可能还存在一期与钼成矿关系更为密切的岩浆-流体活动。

4.2 东秦岭-大别山地区中生代钼成矿作用期次划分

虽然东秦岭和大别山 2 个地区的地质构造背景有所不同, 但中生代以来, 特别是燕山期以来, 两地

区几乎均经历了相同的构造演化阶段, 具有富集钼的地球化学背景(胡云中等, 2006), 分布着丰富的钼矿资源(罗铭钦等, 1991; 黄凡等, 2011), 钼矿类型多样, 可划分为 5 个类型、7 个亚型和 10 个矿床式(卢欣祥等, 2011)。总结划分东秦岭-大别山地区中生代钼成矿作用的期次, 对理解区域成矿规律有重要意义, 并有助于借鉴、指导该地区进一步的勘查找矿工作。

4.2.1 钼成矿时代及矿床分布规律

秦岭-大别山地区现已发现钼矿床(点)达上百个, 前人已经有过较详细的汇总和讨论(毛景文等, 2005; Mao et al., 2008), 近年又报道了一批辉钼矿 Re-Os 同位素年龄数据(表 2)。虽然最近有学者报道了龙门店和寨凹中元古代早期的钼成矿作用(魏庆国等, 2009; 李厚民等, 2009)以及姚店 $[(416.9 \pm 13.7)$ Ma, 卢欣祥, 私人通讯] 和银洞沟 $[(429.3 \pm 3.9)$ Ma, 李晶等, 2009] 的古生代钼成矿作用, 但东秦岭-大别山地区的钼成矿作用时代主要集中在三叠纪到早白垩世 $(255 \sim 105)$ Ma, 并且存在 $205 \sim 195$ Ma 和 $185 \sim 160$ Ma 两个时间间断(图 6), 而 $195 \sim 185$ Ma 期间钼成矿作用十分微弱, 主要分布在南秦岭(表 2)。矿床总体由西向东、由北向南, 成矿年龄有变小的趋势(图 7), 这与花岗质岩体的年龄由西向东变小的分布规律类似(毛景文等, 2005; Mao et al., 2008)。

4.2.2 钼成矿作用期次划分

表 2 秦岭-大别山地区钼矿床辉钼矿 Re-Os 测年结果汇总

Table 2 Re-Os isotopic data for molybdenite from the Mo deposits in east Qinling-Dabie Mountain region

编号	矿床名称	大地构造位置	成因类型	储量/万 t	模式年龄/Ma	等时线年龄/Ma	参考文献
1	温泉	西秦岭	斑岩型	11	212.7~215.1	214.1±1.1*	宋史刚等 2008
2	月河坪	南秦岭	矽卡岩型	中型	189.8~192.7	193.6±3.5	李双庆等 2010
3	白石尖	北秦岭		中型	106.5~108.2	107.1±1.1	杨晓勇等 2010
4	马脖壕	北秦岭		中型	106.3~107.6	107.08±0.61	杨晓勇等 2010
5	老界岭	北秦岭		小型	109.8±1.6		孟芳 2010
6	扫帚坡	北秦岭		小型	111.5~114.5		
7	东沟口	北秦岭		小型	113.1~113.6	114.3±3.4	孟芳 2010
8	板厂	北秦岭	斑岩-矽卡岩	小型	144.3~146.8	145.6±1.3	Mao et al. ,2008
9	秋树湾	北秦岭	斑岩-矽卡岩- 爆破角砾岩	5	145.57~147.98 145.6~148.0	146.42±1.77* 147±4	郭保健等 2006 Mao et al. ,2008
10	东沟	华北板块南缘	斑岩型	70	114.1~115.1 115.5~116.5		Mao et al. ,2008 叶会寿等 2006
11	竹园沟	华北板块南缘		10	119.6~122.2		黄凡等 2010
12	尚古寺	华北板块南缘	斑岩型	小型	122.5~124.4	123.4±2.4	杨宗锋,未刊资料
13	沙坡岭	华北板块南缘	斑岩型	小型	126.8±1.7		苏捷等 2009
14	泉家峪	华北板块南缘	石英脉型		129.1~130.8		李厚民等 2007
15	鱼池岭	华北板块南缘	斑岩型	55	138.1±2.2 130.3~131.7 133.7~141.8	131.2±1.4 144.3±5.2	周珂等 2009 周珂等 2009 李诺等 2009
16	雷门沟	华北板块南缘	斑岩型	40	131.6~133.1 129.5~131.4		李永峰等 2006 Mao et al. ,2008
17	祁雨沟	华北板块南缘	斑岩-爆破角砾岩		131.6~139.6	135.6±5.6	姚军明等 2009
18	石窑沟	华北板块南缘	斑岩型	10	131.3~134.4	135.2±1.8	高亚龙等 2010
19	金堆城	华北板块南缘	斑岩型	98	138.3~138.4		Stein et al. ,1997
20	三道庄	华北板块南缘	斑岩-矽卡岩	82	144.5~145.4 143.5~144.2		李永峰等 2003 Mao et al. ,2008
21	南泥湖	华北板块南缘	斑岩-矽卡岩	66	139.3±2.3 141.8±2.1		Mao et al. ,2008 李永峰等 2003
22	上房沟	华北板块南缘	斑岩-矽卡岩	94	143.8~145.8 141.8~142.9		李永峰等 2003 Mao et al. ,2008
23	大王沟	华北板块南缘	斑岩-矽卡岩		146.8~147.5 141.5~142.9		Mao et al. ,2008 Mao et al. ,2008
24	八里坡	华北板块南缘	斑岩型	0.92	152.8~157.8	156.3±2.2	焦建刚等 2009
25	黄水庵	华北板块南缘	碳酸盐岩脉型	中型	206.3~212.8	209.5±4.2*	黄典豪等 2009
26	大湖	华北板块南缘	石英脉型	中型	223~232.9 215.4~255.6	218±41	李厚民等 2007 李诺等 2007
27	黄龙铺	华北板块南缘	碳酸盐岩脉型	12	221.1~222		Stein et al. ,1997
28	马家洼	华北板块南缘	石英脉型		232.5~268.4	232±11	王义天等 2010a
29	前范岭	华北板块南缘	石英脉型	中型	233.3~248.2	239±13	高阳等 2010
30	龙门店	华北板块南缘	石英脉型		1868~2044	1875	魏庆国等 2009
31	寨凹	华北板块南缘	石英脉型		1680~1802 1797~1831	1686±67 1804±12	李厚民等 2009
32	汤家坪	大别山	斑岩型	23.5	113.5~118.5	113.1±7.9	杨泽强 2007
33	沙坪沟	大别山	斑岩型	220	112.2~113.9	113.21±0.53	本文
34	天目沟	大别山	岩浆期后热液 充填脉型	小型	121.6±2.1		杨泽强 2007
35	大银尖	大别山	斑岩-矽卡岩	中型	122.1±2.4 121.5~123.9	122.4±7.2	杨泽强 2007 罗正传等 2010
36	千鹤冲	大别山	斑岩型	60	127.6~128	127.82±0.87*	杨梅珍等 2010

* 加权平均年龄

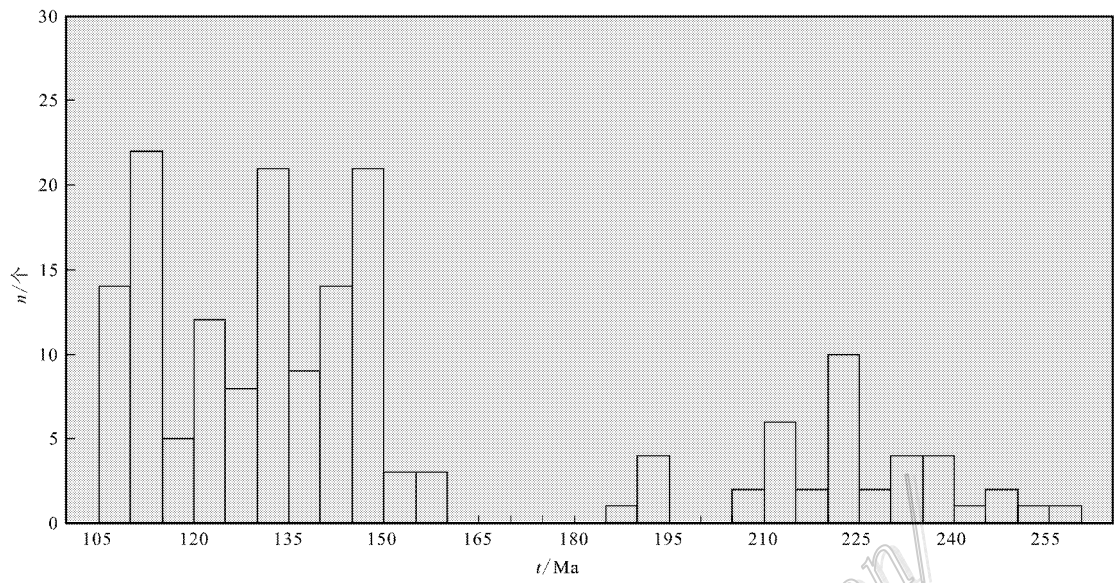


图 6 秦岭-大别山地区中生代钼矿床模式年龄分布直方图

Fig. 6 Model age histograms of Mesozoic Mo deposits in East Qinling-Dabie Mountain region

表 3 东秦岭-大别山地区中生代钼成矿作用阶段划分简表

Table 3 Stages of Mo mineralization during Mesozoic in East Qinling-Dabie Mountain region

构造期及成矿阶段	大地构造位置	分布区域	典型矿床
印支期			
三叠纪(250~205 Ma)	华北板块南缘	小秦岭-熊耳山地区	黄龙铺、黄水庵
燕山期			
晚侏罗世—早白垩世早期(148~138 Ma)	华北板块南缘 北秦岭	栾川地区、陕西华县、小秦岭地区 商丹断裂附近	南泥湖-三道庄、金堆城 秋树湾、板厂
早白垩世中期(135~119 Ma)	华北板块南缘 大别山(北淮阳构造带)	合峪-伏牛山岩体北部、嵩县地区、方城地区 商城-麻城断裂以西(北淮阳构造带西段)	雷门沟、祁雨沟、尚古寺、鱼池岭 大银尖、千鹤冲
早白垩世晚期(116~105 Ma)	华北板块南缘 北秦岭 大别山(北淮阳构造带)	汝阳地区 老君山岩体内部或周边 商城-麻城断裂以东(北淮阳构造带东段)	东沟 南沟(白石尖和马脖壕)、老君山 沙坪沟、汤家坪

毛景文等(2005;Mao et al.,2008;2010)对秦岭地区成岩成矿事件的详细总结和讨论为本次钼成矿作用期次详细划分奠定了基础。根据统计的钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄,结合矿床(点)产出的大地构造位置及已有的其他高精度年代学数据(主要为 LA-ICP-MS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄),本文将东秦岭-大别山地区中生代钼矿床划分为 4 个成矿阶段(表 3、图 7)。

I 印支期(250~205 Ma)钼成矿作用

秦岭地区印支期成矿作用被地质学家长期忽视,直到卢欣祥等(1998)在第六届全国矿床会议上报道后才引起学者们的关注。随后依据大量年代学资料,卢欣祥等(1999)正式成文提出印支期成矿作

用是秦岭地区一个重要的金钼多金属成矿期的新认识,并发表了一系列文章或专著讨论秦岭印支期成矿作用(卢欣祥,2002;2006;卢欣祥等,2008),引起国内其他地质学家的跟踪研究(陈衍景,2010)。印支期成矿作用是中国大陆构造转折期的一种地质效应,是秦岭地区乃至中国东部及东亚中生代大规模成矿作用的开始和先导,与燕山期成矿作用一起构成了中国(东部)中生代成矿作用大爆发的完整轮回(卢欣祥,2006;卢欣祥等,2004;2008)。

秦岭地区印支期成岩事件主要包括北秦岭西段的甘肃温泉岩体,SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(后文中所引用岩体年龄均为 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄)为(223±7)Ma(张宏

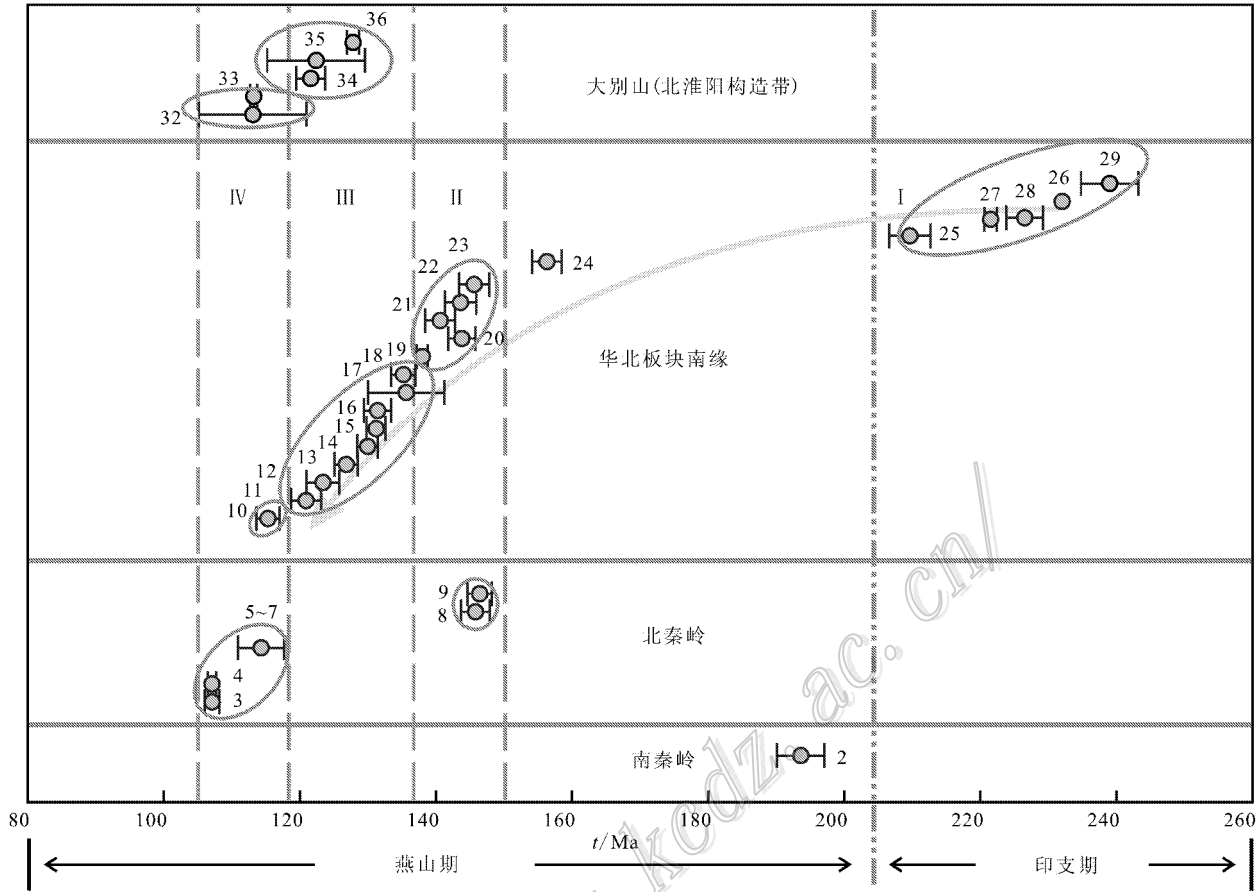


图 7 东秦岭-大别山地区中生代不同构造单元钼成矿作用时代及成矿期次
矿床编号同表 2 ,华北板块南缘灰色箭头指示矿床分布由西向东的分布

Fig. 7 Ages and metallogenic period of Mo mineralization in different tectonic units of East Qinling-Dabie Mountain region
Deposit number as for Table 2 , the gray arrow indicating the distribution of Mo deposits from west to east on the southern margin of North China Block

飞等, 2005), 冶力关和夏河岩体分别为 (245 ± 6) Ma 和 (238 ± 4) Ma(金维浚等, 2005), 翠华山岩体为 (227.3 ± 3.6) Ma(Jiang et al., 2010), 天水尹道寺流纹岩为 (211 ± 2.6) Ma(徐学义等, 2007), 南秦岭的碧口块体内阳坝岩体为 (215.4 ± 8.3) Ma 和南一里岩体为 (224 ± 5) Ma(张宏飞等, 2007), 沙河湾岩体为 (212.00 ± 0.93) Ma、曹坪岩体为 (224.1 ± 1.1) Ma、柞水岩体为 (224.8 ± 1.1) Ma(弓虎军等, 2009a), 老城岩体为 (217.6 ± 3.4) Ma、胭脂坝岩体为 (210.8 ± 5.0) Ma(Jiang et al., 2010), 五龙复式岩体为 $(233 \pm 2) \sim (207 \pm 2)$ Ma(秦江锋, 2010), 东江口花岗岩及其岩体中包体年龄分别为 (222.6 ± 0.5) Ma 和 $(221.6 \pm 0.6) \sim (222.0 \pm 0.5)$ Ma(弓虎军等, 2009b)。此外, 秦江锋(2010) 和 Jiang 等(2010) 还分别测得了东江口各岩石单元成岩年龄为

$(222 \pm 2) \sim (214 \pm 2)$ Ma 和 (218.7 ± 2.4) Ma, 曹坪岩体为 (220.0 ± 2.0) Ma(Jiang et al., 2010) 等。华北板块南缘 250~205 Ma 的金钼成矿作用主要包括小秦岭地区的大湖金钼矿、马家洼石英脉型钼矿、栾川地区的碳酸盐脉型钼矿——黄水庵钼矿和黄龙铺钼矿、熊耳山地区的石英脉型钼矿和西秦岭的温泉斑岩型钼矿等(表 2)。

综上, 秦岭地区的印支期成岩作用(200~245 Ma) 主要集中在北秦岭和南秦岭的中西部(卢欣祥, 1999; 秦江锋, 2010), 金成矿作用主要集中于在华北板块南缘的小秦岭地区, 而钼成矿作用主要集中在东秦岭华北板块南缘。印支期成矿作用在秦岭地区, 特别是秦岭的中西部为一期独立的重要成岩成矿期(卢欣祥等, 1999)。当然, 同一矿田中可能存在后期成矿作用的叠加或改造, 如李厚民等(2007) 还

获得了大湖金钼矿附近泉家峪钼金矿的辉钼矿模式年龄为 $(129.1 \pm 1.6) \sim (130.8 \pm 1.5)$ Ma, 这暗示了在小秦岭地区存在 2 期金钼成矿作用, 这与多数学者得到的小秦岭金矿区燕山晚期的成矿时代 $(130 \sim 110$ Ma)一致(徐启东等, 1998; 王义天等, 2002; 2010b), 并且燕山期成矿作用可能对早期的印支期成矿作用继承、叠加或改造(卢欣祥等, 2004, 2008)。

燕山期钼成矿作用

燕山期钼成矿作用主要集中晚侏罗世晚期—早白垩世 $(148 \sim 105$ Ma), 为中国大陆成矿体系的重要组成部分(王登红等, 2005)。在东秦岭-大别山地区燕山晚期大规模的花岗质岩浆活动时限有 $128 \sim 117$ Ma(引自 Mao et al., 2008), $135 \sim 116$ Ma(童劲松, 2008; 黄丹峰, 2010)或 $112 \sim 136$ Ma(峰期 $125 \sim 130$ Ma, 赵子福等, 2009)几个时间段, 东秦岭地区可分为 $167 \sim 152$ Ma、 $146 \sim 141$ Ma、 $136 \sim 127$ Ma 和 $117 \sim 108$ Ma(Mao et al., 2010; 雷敏, 2010), 结合钼成矿时代和钼矿产出的大地构造位置, 可进一步将燕山期钼成矿作用划分为 3 个成矿期次, 即晚侏罗世—早白垩世早期 $(148 \sim 138$ Ma)、早白垩世中期 $(135 \sim 119$ Ma)和早白垩世晚期 $(116 \sim 105$ Ma)。

II 晚侏罗世—早白垩世早期 $(148 \sim 138$ Ma)钼成矿作用

本期钼成矿作用主要发生在华北板块南缘的栾川、华县地区和北秦岭的秋树湾和板厂(表 3), 一般钼成矿规模较大, 如栾川三个超大型钼矿总储量达 242 万 t(表 2), 并伴生有铌、钨、铜等多金属矿, 故将其单独划为一个独立的钼成矿阶段。矿床类型主要包括斑岩型和斑岩-矽卡岩型, 典型矿床有金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟、秋树湾和板厂等(表 2)。其中, 黄典豪等(1994)报道的金堆城钼矿 3 个辉钼矿模式年龄分别为 (129 ± 7) Ma、 (131 ± 4) Ma 和 (139 ± 3) Ma, 而 Stein 等(1997)报道的金堆城钼矿 2 个辉钼矿的模式年龄分别为 (138.3 ± 0.8) Ma 和 (138.4 ± 0.8) Ma, 精度更高些, 故采用后者作为金堆城钼矿的年龄。同时, 同一钼矿床可能存在有 2 期钼成矿作用, 如周珂等(2009)报道的鱼池岭钼矿辉钼矿 Re-Os 成矿年龄为 $131.7 \sim 130.3$ Ma, 属早白垩世中期 $(135 \sim 119$ Ma)钼成矿作用的产物, 但也存在 (138.1 ± 2.2) Ma 的年龄样品, 这与李诺等(2009)报道的该矿的年龄值 (144.3 ± 5.2) Ma 更为接近。这种差异是说明鱼池岭钼矿可能存在 2 次钼成矿作用, 还是由于不同作者不同实验室测试的系

统误差导致, 有待于进一步研究。

与本期钼成矿作用密切相关的岩体精确同位素年龄数据还较少, 如金堆城含矿斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (140.95 ± 0.45) Ma(朱赖民等, 2008)或 (143.7 ± 3) Ma(焦建刚等, 2010), 南泥湖岩体的年龄为 (149.56 ± 0.36) Ma(包志伟等, 2009), 这些年龄与对应矿区的辉钼矿 Re-Os 年龄基本一致, 据此认为在金堆城钼矿和南泥湖钼矿田内, 岩体和钼矿为同一成岩成矿系统的产物(朱赖民等, 2008; 包志伟等, 2009)。但 Mao 等(2010)报道的南泥湖和上房沟岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 (157 ± 3) Ma 和 (158 ± 3) Ma, 明显早于矿床的成矿年龄 $13 \sim 18$ Ma。在小秦岭金矿区内分布着 4 个花岗岩基: 老牛山、华山、文峪和娘娘山, 空间上与金钼矿床密切共生, 部分学者认为与小秦岭金钼成矿作用成因上密切相关(栾世伟等, 1990; 周作侠等, 1993)。最新的年代学数据显示, 老牛山黑云二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 (146.35 ± 0.55) Ma(朱赖民等, 2008), 文峪黑云母二长花岗岩为 (138.4 ± 2.5) Ma, 娘娘山黑云母二长花岗岩为 (141.7 ± 2.5) Ma(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 毛景文等, 2005; 王义天等, 2010b), 华山黑云母二长花岗岩为 (146 ± 2) Ma(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, Mao et al., 2010), 这些岩体成岩时代明显滞后于小秦岭金矿区主体成矿期——印支期金钼成矿作用 $(208 \sim 250$ Ma, 卢欣祥等, 1998; 2004; 卢欣祥, 2002), 早于小秦岭地区燕山期的成矿作用 $(130 \sim 110$ Ma), 与金钼成矿作用并无直接的成因联系(卢欣祥等, 1998; 卢欣祥, 2002; 王义天等, 2010b)。

此外, 焦建刚等(2009)报道了华北板块南缘老牛山岩体的东侧、金堆城钼矿西南的八里坡小型钼矿的辉钼矿年龄为 (156.3 ± 2.2) Ma, 矿区内花岗斑岩的成岩年龄为 (155.9 ± 2.3) Ma, 成岩成矿均属晚侏罗世中期, 与区域成岩成矿年龄的集中范围不一致, 其成岩成矿地球动力学背景还有待进一步讨论, 故本文成矿期次划分中未考虑此矿床。

III 早白垩世中期 $(135 \sim 119$ Ma)钼成矿作用

本期成矿作用分布较星散, 在东秦岭华北板块南缘中东段和大别山地区商城-麻城断裂以西地区均有分布(表 3), 成矿作用连续性较好(图 7, 黄凡等, 2010), 典型矿床规模一般属大型-超大型, 矿床类型主要为斑岩型、斑岩-爆破角砾岩型或斑岩-矽卡岩型, 代表性矿床有华北板块南缘的鱼池岭、雷门

沟、祁雨沟、竹园沟、尚古寺等钼矿和大别山的大银尖钼矿、干鹅冲钼矿(表2),总储量大于180万t。

本期的钼成矿作用(135~119 Ma)被认为可能与东秦岭-大别山地区136~116 Ma花岗岩岩浆活动密切相关(Mao et al., 2008)。

IV 早白垩世晚期(116~105 Ma)钼成矿作用

本期钼成矿作用是目前厘定的东秦岭-大别山地区中生代构造-岩浆-流体演化最晚阶段的产物,虽然矿床数量发现较少,但规模较大,以大型-超大型矿床为主,总储量大于323.5万t(表2)。钼矿床主要有东秦岭华北板块南缘东段的东沟钼矿、北秦岭东段老君山岩体周边钼矿床和大别山商城-麻城断裂以东的汤家坪钼矿、沙坪沟钼矿,成因类型较为单一,以斑岩型为主。其中,东沟钼矿被认为与东沟花岗斑岩(112.0 ± 1.3) Ma,叶会寿等,2006)和其西南相邻的太山庙铝质A型花岗岩(115 ± 2) Ma,叶会寿等,2008)在成因上密切相关,前者为后者分异或派生的产物(叶会寿等,2006;2008;戴宝章等,2009),但不同学者对此提出有异议,认为东沟钼矿、东沟斑岩和太山庙岩体为3个独立的体系,不存在演化关系(黄凡等,2009)。

5 结 论

(1) 沙坪沟为新近发现的超大型斑岩-爆破角砾岩型钼矿床,矿体赋存于隐伏花岗斑岩的内外接触带中,9件辉钼矿的模式年龄为(112.2 ± 1.7)~(113.9 ± 1.7) Ma,加权平均年龄为(113.18 ± 0.54) Ma,等时线年龄为(113.21 ± 0.53) Ma,表明沙坪沟钼矿形成于早白垩世晚期。

(2) 东秦岭-大别山中生代钼成矿作用主要发生在燕山期和印支期,矿床总体由西向东,由北向南成矿年龄有变小的趋势。依据成岩年龄、辉钼矿 Re-Os 年龄和钼矿产出的大地构造位置,将东秦岭-大别山钼成矿作用划分为4个期次:印支期(260~205 Ma)、晚侏罗世—早白垩世早期(148~138 Ma)、早白垩世中期(135~119 Ma)和早白垩世晚期(116~105 Ma)。

志 谢 野外工作得到常印佛院士、江来利教授的指导和帮助,成文过程中得到河南省国土资源科学研究所的卢欣祥教授的指导,评审员详细指出了文稿中的错误和不足之处,并提出建设性修改意

见,在此一并表示感谢。

References

- Ames L., Zhou G. Z. and Xiong B. C. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China [J]. *Tectonics*, 15(2): 472-489.
- Bao Z. W., Zeng Q. S., Zhao T. P. and Yuan Z. L. 2009. Geochemistry and petrogenesis of the ore-related Nannihu and Shangfanggou granite porphyries from east Qinling belt and their constraints on the molybdenum mineralization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10): 2523-2536 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y. J. 2010. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling orogen, central China [J]. *Geology in China*, 37(4): 854-865 (in Chinese with English abstract).
- Dai B. Z., Jiang S. Y. and Wang X. L. 2009. Petrogenesis of the granitic porphyry related to the giant molybdenum deposit in Donggou, Henan Province, China: Constraints from petrogeochemistry, zircon U-Pb chronology, and Sr-Nd-Hf isotopes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2889-2901 (in Chinese with English abstract).
- Dai S. Q., Deng J. F., Wu Z. X., Zhai H. L., Chen J. F. and Du J. G. 2003. Evidence of magmatic petrology for the Yanshanian orogeny in the Dabie orogeny [J]. *Geology in China*, 30(2): 159-165 (in Chinese with English abstract).
- Dong S. W., Sun X. R., Zhang Y., Huang D. Z., Wang G., Dai S. K. and Yu B. C. 1993. The basic structure of Dabie orogenic belt [J]. *Chinese Science Bulletin*, 38(6): 542-545 (in Chinese).
- Du A. D., He H. L., Yin N. W., Zou X. Q., Sun Y. L., Sun D. Z., Chen S. Z. and Qu W. J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Du A. D., Zhao D. M., Wang S. X., Sun D. Z. and Liu D. Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Du A. D., Wu S. Q., Sun D. Z., Wang S. X., Qu W. J., Richard M. H. S., John M. and Dmitry M. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. *Geo-standard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41-52.
- Du J. G. and Zhang P. 1999. Mesozoic volcanic rocks in northern part of Dabie orogenic belt [J]. *Geoscience*, 13(1): 57-65 (in Chinese with English abstract).
- Gao Y., Li Y. F., Guo B. J., Cheng G. X. and Liu Y. W. 2010. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Qianfanling quartz-vein Mo deposit in Songxian county, western Henan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 757-767 (in Chinese with English abstract).
- Gao Y. L., Zhang J. M., Ye H. S., Meng F., Zhou K. and Gao Y. 2010. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Shiyao-gou porphyry molybdenum deposit in the east Qinling [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 729-739 (in Chinese with English abstract).

- Gong H J, Zhu L M, Sun Y B, Li B and Guo B. 2009a. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characteristics and their geological significance of the Shahewan, Caoping and Zhashui granitic plutons in the South Qinling orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 248-264 (in Chinese with English abstract).
- Gong H J, Zhu L M, Sun B Y, Li B, Guo B and Wang J Q. 2009b. Zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition of the Dongjiangkou granitic pluton and its mafic enclaves in the South Qinling terrain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 3029-3042 (in Chinese with English abstract).
- Guo B J, Mao J W, Li H M, Qu W J, Qiu J J, Ye H S, Li M W and Zhu X L. 2006. Re-Os dating of the molybdenite from the Qiushewan Cu-Mo deposit in the east Qinling and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2341-2348 (in Chinese with English abstract).
- Hacker B R and Wang Q C. 1995. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of ultrahigh-pressure metamorphism in central China [J]. *Tectonics*, 14(4): 994-1006.
- Hu Y Z, Ren T X, Ma Z D, Deng J, Wang M Q, et al. 2006. China regional geochemical field and its relationship with mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-212 (in Chinese with English abstract).
- Huang D F. 2010. Late mesozoic Magmatic records for transition of tectonic regimes of Dabie orogenic belt. A Dissertation Submitted to China University of Geosciences for Master Degree (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y, Du A D and He H L. 1994. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance [J]. *Mineral Deposits*, 13(3): 221-230 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Hou Z Q, Yang Z M, Li Z Q and Xu D X. 2009. Geological and geochemical characteristics, metallogenetic mechanism and tectonic setting of carbonate vein-type $\text{Mo}(\text{Pb})$ deposits in the east Qinling molybdenite ore belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(12): 1968-1984 (in Chinese with English abstract).
- Huang F, Luo Z H, Lu X X, Gao F, Chen B H, Yang Z F, Pan Y and Li D D. 2009. Is the Donggou porphyry Mo deposit derived from the Taishanmia batholith [J]? *Mineral Deposits*, 28(5): 569-584 (in Chinese with English abstract).
- Huang F, Luo Z H, Lu X X, Chen B H and Yang Z F. 2010. Geological characteristics, metallogenetic epoch of the zhuyuangou molybdenum deposit in Henan and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 29(11): 1704-1711 (in Chinese with English abstract).
- Huang F, Chen Y C, Wang D H, Yuan Z X and Chen Z H. 2011. The major molybdenum ore concentration areas in China and discussion on its resource potential [J]. *Geology in China*, 38(5): 1111-1134 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Y H, Jin G D, Liao S Y, Zhou Q and Zhao P. 2010. Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the origin of Late Triassic granitoids from the Qinling orogen, central China: Implications for a continental arc to continent-continent collision [J]. *Lithos*, 117: 183-197.
- Jiao J G, Yuan H C, He K, Sun T, Xu G and Liu R P. 2009. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Balipo porphyry Mo deposit in east Qinling, China, and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(8): 1159-1166 (in Chinese with English abstract).
- Jin W J, Zhang Q, He D F and Jia X Q. 2005. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 959-966 (in Chinese with English abstract).
- Lei M. 2010. Petrogenesis of granites and their relation to tectonic evolution of orogen in the east part of Qinling Orogenic Belt (PhD Thesis) [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Li H M, Ye H S, Mao J W, Wang D H, Chen Y C, Qu W J and Du A D. 2007. Re-Os dating of molybdenites from Au(-Mo) deposits in Xiaqingling gold ore district and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 26(4): 417-424 (in Chinese with English abstract).
- Li H M, Ye H S, Wang D H, Chen Y C, Qu W J and Du A D. 2009. Re-Os dating of molybdenite from Zhaiwa Mo deposit in Xiong'er mountain, western Henan Province, and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 28(2): 133-142 (in Chinese with English abstract).
- Li J, Qiu J J and Sun Y L. 2009. Re-Os isotope dating of the Yindonggou Ag-Au-Mo deposit, Hensu Province and its implication for Caledonian orogenic-metallogenic event [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2763-2768 (in Chinese with English abstract).
- Li N, Sun Y L, Li J, Xue L W and Li W B. 2007. Molybdenite Re-Os isotope age of the Dahu Au-Mo deposit, Xiaqingling and Indosinian mineralization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 810-816 (in Chinese with English abstract).
- Li N, Chen Y J, Sun Y L, Hu H Z, Li J, Zhang H and Ni Z Y. 2009. Molybdenite Re-Os isochron age of the Yuchiling porphyry Mo deposit, Henan Province and its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 413-421 (in Chinese with English abstract).
- Li S, Jagoutz E, Chen Y and Li Q. 2000. Sm-Nd and Rb-Sr isotope chronology of ultrahigh-pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shunghe in the Dabie Mountains, central China [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64(6): 1077-1093.
- Li S G, Xiao Y and Liou D. 1993. Collision of the North China and Yangtze Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: Timing and processes [J]. *Chemical Geology*, 109(1/4): 89-111.
- Li S G, Li H M, Chen Y Z, Xiao Y L and Liu D L. 1997. Chronology of metamorphism in Dabie-Sulu terrane II: Isotopic system of zircon U-Pb [J]. *Science in China (Series D)*, 27(3): 200-206 (in Chinese).
- Li S G. 2004. Exhumation mechanism of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie mountains and continental collision process between the North and South China blocks [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 63-70 (in Chinese with English abstract).
- Li S G, Li Q Y, Hou Z H, Yang W and Wang Y. 2005. Cooling histo-

- ry and exhumation mechanism of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie mountains, central China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4): 1117-1124(in Chinese with English abstract).
- Li S Q, Yang X Y, Qu W J, Chen F K and Sun W D. 2010. Molybdenite Re-Os age and metallogeny of the Yueheping skarn molybdenum deposit in Ningshan, southern Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(05): 1479-1486(in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Bai F J, Li J P and He Z J. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu molybdenum (tungsten) orefield in the eastern Qinling and its geological significance[J]. *Geological Review*, 49(6): 652-659(in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Liu D Y, Wang Y B, Wang Z L, Wang Y T, Li X F, Zhang Z H and Guo B J. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os datings for the Leimengou porphyry molybdenum deposit, western Henan and its geological implication[J]. *Geological Review*, 52(1): 122-131(in Chinese with English abstract).
- Lu S M, Peng H H and Sheng Z L. 2002. Potential value of lead-zinc mineral ore resources in the east of north Huaiyang tectonic zone[J]. *Geology of Anhui*, 12(2): 114-119(in Chinese with English abstract).
- Lu S M, Xu X C and Peng Z. 2005. Geologic feature and genesis of crypto-explosion breccias in the east part of north Huaiyang tectonic zone[J]. *Geology and Prospecting*, 41(3): 7-11(in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Wei X D, Dong Y, Xuan S M. 1998. The metallogenetic epoch of gold deposits in Xiaolinling-Xiongershan region[J]. *Mineral Deposits*, 17(Supp.): 765-768(in Chinese).
- Lu X X, Wei X D, Dong Y, Xuan S M. 1999. The metallogenetic epoch of gold deposits in Xiaolinling-Xiongershan region[J]. *Gold Geology*, 5(1): 11-16(in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 1999. Granitoid tectonic map of Qinling belt[M]. Xi 'an : Xi 'an cartographic Publishing House. 1-27(in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 2002. The granites and metallogenesis in Qinling orogenic belt [A]. In : Xiao Q H, Deng J F, Ma D Q, et al. ed. *The way of investigation on granitoid* [C]. Beijing : Geol. Pub. House. 192-214(in Chinese).
- Lu X X, Wei X D, Yu Z P, Wang Y T, Xue L W, Ye A W, Suo T Y and Jin J P. 2004. Minerogenesis of gold and its coupling with tectonics in Xiaolinling- Xiong 'ershan region[J]. *Gold Geology*, 10(1): 1-5(in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 2006. Indosinian minerogenesis in Qinling and its implications [J]. *Mineral Deposits*, 25(Supp.): 179-181(in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Li M L, Wang W, Yu Z P and Shi Z Y. 2008. Indosinian movement and metallogenesis in Qinling orogenic belt[J]. *Mineral Deposits*, 27(6): 762-773(in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Luo Z H, Huang F, Gu D M, Li M L, Yang Z F, Liang T, Liu C Q and Gao Y. 2011. The types of Mo deposits and its characteristics of mineralization assemblage in Qinling-Dabie Mountains [J]. *Geology in China* 38(6): 1518-1535(in Chinese with English abstract).
- Luan S W and Chen S D. 1990. Main ore-controlling factors and metallogenic model of gold deposits in Xiaolinling area[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 5(4): 1-14(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2004. Isoplot/Ex, version 3.0 : a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, CA.
- Luo M J, Zhang F M, Dong Q Y, et al. 1991. Molybdenum deposits of China[M]. Zhengzhou : Henan Sci. & Techn. Press. 1-425(in Chinese).
- Luo Z Z, Li Y F, Wang Y T and Wang X G. 2010. The molybdenite Re-Os age of Dayinjian molybdenum deposit in the northern margin of the Dabie Mountain, Xinxian area, Henan, China and its significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1349-1354(in Chinese with English abstract).
- Ma C Q, Yang K G, Ming H L and Lin G C. 2004. The timing of tectonic transition from compression to extension in Dabieshan : Evidence from Mesozoic granites[J]. *Science in China(Series D)*, 47(5): 453-462.
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169-188(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72(18): 4607-4626.
- Mao J W, Xie G Q, F. Pirajno, Ye H S, Wang Y T, Li Y F, Xiang J F and Zhao H L. 2010. Late Jurassic-Cretaceous granitoid magmatism in the Eastern Qinling, Central-eastern China : SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications[J]. *Australian Journal of Earth Science*, 57 : 51-78.
- Meng F. 2010. The Characteristics of the Laojunshan Intrusive and Mineralization, Western Henan Province(Master 's Thesis) [D]. Beijing : China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- Okay A L, Xu S, Snegor A M C. 1989. Coesite from the DabieShan eclogites, central China[J]. *Eur. J. Mineral.*, (1) 595-598.
- Peng Z, Lu S M and Xu X C. 2005. Regional metallogenetic regularity of gold-polymetallic deposits in the east of north Huaiyang tectonic belt[J]. *Journal of Hefei University of Technology(Natural Science)*, 28(4): 364-368(in Chinese with English abstract).
- Qin J F. 2010. Petrogenesis and geodynamic implications of the late-Triassic granitoids from the Qinling Orogenic Belt(PhD Thesis) [D]. Northwest University(in Chinese with English abstract).
- Rowley D B, Xue F and Tucker R D. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the Central Dabie Shan : U/Pb zircon geochronology[J]. *Earth and Planetary Sci-*

- ence Letters, 151:191-203.
- Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68:3897-3908.
- Song S G, Ding Z J, Yao S Z, Zhou Z G, Zhang S X and Du A D. 2008. Re-Os isotopic dating and its implication for molybdenum mineralization of Wenquan porphyry, Wushan, Gansu Province [J]. *Northwestern Geology*, 41(1):67-73(in Chinese with English abstract).
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the east Qinling molybdenum belt, Shanxi Province, China[J]. *Econ. Geol.*, 92(7-8):827-835.
- Stein H J, Scherstén A., Hannah J and Markey R. 2003. Subgrain-scale decoupling of Re and ^{187}Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67, 3673-3686.
- Su J, Zhang B L, Sun D H, Cui M L, Qu W J and Du A D. 2009. Geological features and Re-Os isotopic dating of newly discovered Shapoling veinlet-disseminated Mo deposit in the eastern section of east Qinling mountains and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(10):1490-1496(in Chinese with English abstract).
- Tong J S. 2008. Magmatism and regional tectonic evolution of orogenic belt, on the example of Dabie orogenic belt and its neighbouring area(PhD Thesis [D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G. 2005. Preliminary study on Cretaceous mineralization systems in China: Implications for future prospecting [J]. *Earth Science Frontiers*, 12(2):231-239(in Chinese with English abstract).
- Wang T H, Mao J W and Xie G Q. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of dikes in Shangcheng area, Henan Province, Central China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(4):369-377(in Chinese with English abstract).
- Wang Y J, Fan W M and Guo F. 2002. K-Ar dating of late Mesozoic volcanism and geochemistry of volcanic gravels in the North Huaiyang Belt, Dabie orogen: Constraints on the stratigraphic framework and exhumation of the northern Dabie orthogneiss complex[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(20):1528-1534(in Chinese).
- Wang Y S, Jiang L L, Zhu G and Song C Z. 2009. Formation of present tectonic framework in Dabie Mountains: Evidences from quartz C-axis fabrics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1):219-231(in Chinese with English abstract).
- Wang Y T, Mao J W, Lu X X and Ye A W. 2002. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and geological implication of auriferous altered rocks from the middle-deep section of Q875 gold-quartz vein in Xiaolinling area, Henan, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(20):1750-1755(in Chinese with English abstract).
- Wang Y T, Ye H S, Ye A W, Li Y G, Shuai Y, Zhang C Q and Dai J Z. 2010a. Re-Os age of molybdenite from the Majiawa Au-Mo deposit of quartz vein type in the north margin of the Xiaolinling gold area and its implication for metallogeny[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2):140-145(in Chinese with English abstract).
- Wang Y T, Ye H S, Ye A W, Shuai Y and Zhang C Q. 2010b. Zircon SHRIMP U-Pb ages and their significances of the Wenyu and Niangniangshan granitic plutons in the Xiaolinling area, central China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 45(1):167-180(in Chinese with English abstract).
- Wei Q G, Yao J M, Zhao T P, Sun Y L, Li J, Yuan Z L and Qiao B. 2009. Discovery of a ~ 1.9 Ga Mo deposit in the eastern Qinling orogen: Molybdenite Re-Os ages of the Longmudian Mo deposit in Henan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11):2747-2751(in Chinese with English abstract).
- Wu H Q. 2000. The Mesozoic volcanism in the Daijiahong (of Huoshan) Maotanchang (of Lu'an) area, Anhui[J]. *Geology of Anhui*, 10(4):252-260(in Chinese with English abstract).
- Xiang B W. 2009. Research on the structural thermochronology and deformation modeling for post-orogenic dome structures of the north Dabie(PhD Thesis [D]. Hefei University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Xu Q D, Zhong Z Q, Zhou H W, Yang F C and Tang X C. 1998. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Xiaolinling gold area in Henan Province [J]. *Geological Review*, 44(3):323-327(in Chinese with English abstract).
- Xu S T, Liu Y C, Wu W P and Jiang L L. 2001. Study progress and existing problems on Dabie orogenic belt[J]. *Progress in Natural Science*, 11(8):796-803(in Chinese).
- Xu S T, Liu Y C, Jiang L L, Wu W P and Chen G B. 2002. Tectonic geometry and kinematics Dabie orogenic belt[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press. 1-132(in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Lou J W, Lu S M, Xie Q Q, Chu P L and Yin T. 2009. Re-Os ages of molybdenum-lead-zinc polymetallic deposits and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ ages of related magmatic rocks in Yinshan area, Jinzhai, Anhui Province[J]. *Mineral Deposits*, 28(5):621-632(in Chinese with English abstract).
- Xu X Y, Wang H L, Chen J L, Su X H, Wu P and Gao T. 2007. Zircon U-Pb age, element geochemistry of Mesozoic acid volcanic rocks at Yindaoshi area in western Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11):2845-2856(in Chinese with English abstract).
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, et al. 2008. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-138(in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q, Yang J S, Li H B and Zhang J X. 2006. The early Palaeozoic terrane framework and the formation of the high-pressure (HP) and ultra-high Pressure (UHP) metamorphic belts at the Central Orogenic Belt (COB)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(12):1793-1806(in Chinese with English abstract).
- Yang J S, Xu Z Q, Zhang J X, Zhang Z M, Liu F L and Wu C L.

2009. Tectonic setting of main high-and ultrahigh-pressure metamorphic belts in China and adjacent region and discussion on their subduction and exhumation mechanism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(7): 1529-1560 (in Chinese with English abstract).
- Yang M Z, Zeng J N, Qin Y J, Li F L and Wan S Q. 2010. LA-ICP-MS zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for Qian 'echong porphyry-type Mo deposit in Northern Dabie, China, and its geological significance[J]. *Geological Science and Technology Information*, 29(5): 35-45 (in Chinese with English abstract).
- Yang X Y, Lu X X, Du X W, Li W M, Zhang Z W and Qu W J. 2010. Ore geochemistry, petrogenesis and metallogenic dynamics of the Nangou molybdenum district in the East Qinling Orogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1049-1079 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z Q. 2007. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Henan and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 26(3): 289-295 (in Chinese with English abstract).
- Yao J M, Zhao T P, Li J, Sun Y L, Yuan Z L, Chen W and Han J. 2009. Molybdenite Re-Os age and zircon U-Pb age and Hf isotope geochemistry of the Qiyugou gold system, Henan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 374-384 (in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Li Y F, Guo B J, Zhang C Q, Liu J, Yan Q R and Liu G Y. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling, China, and its geological implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1078-1088 (in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Xu L G, Gao J J, Xie G Q, Li X Q and He C F. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry of the taishanmiau aluminous A-type granite in western Henan Province[J]. *Geological Review*, 54(5): 699-711 (in Chinese with English abstract).
- Yuan X C and Li S F. 2008. Lithospheric structure under the Dabie orogen and another model of exhumation of UHP rocks[J]. *Geology in China*, 35(4): 565-576 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H F, Jin L L, Zhang L, Harris N, Zhou L, Hu S H and Zhang B R. 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)*, 50(2): 184-196.
- Zhang H F, Xiao L, Zhang L, Yuan H L and Jin L L. 2007. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of Indosinian granitoids from the Bikou block, northwest of the Yangtze plate: Constraints on petrogenesis, nature of deep crust and geodynamics[J]. *Science in China (Series D)*, 50(7): 972-983.
- Zhang H D, Shi D F and Hao Y J. 2010. Geological features of the Shapinggou porphyry molybdenum ore deposit, Jinzhai country, Anhui Province[J]. *Geology of Anhui*, 20(2): 104-108 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z F, Zheng Y F. 2009. Remelting of subducted continental lithosphere: Petrogenesis of Mesozoic magmatic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt[J]. *Science in China (Series D)*, 52(9): 1295-1318.
- Zheng Y F, Zhou J B, Wu Y B, et al. 2005. Low-grade metamorphic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt: A passive-margin accretionary wedge deformed during continent subduction[J]. *Int. Geol. Rev.*, 47: 851-871.
- Zhou C T, Zhou G Z, Hu Y Q. 2004. Geological map of Dabie-Sulu orogenic belt[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-76 (in Chinese with English abstract).
- Zhou K, Ye H S, Mao J W, Qu W J, Zhou S F, Meng F and Gao Y L. 2009. Geological characteristics and molybdenite Re-Os isotopic dating of Yuchiling porphyry Mo deposit in western Henan Province[J]. *Mineral Deposits*, 28(2): 170-184 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Z X, Li B L, Guo F H, Zhao R and Xie Y H. 1993. Genesis of the gold (molybdenum) deposits in southern margin of the northern China platform continent[M]. *Seismological Press*. 1-269 (in Chinese with English abstract).
- Zhu L M, Zhang G W, Guo B and Li B. 2008. U-Pb (LA-ICP-MS) zircon dating for the large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East Qinling, China, and its metallogenetic geodynamical setting[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(2): 204-220 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 包志伟, 曾乔松, 赵太平, 原振雷. 2009. 东秦岭钼矿带南泥湖-上房沟花岗岩成因及其对钼成矿作用的制约[J]. *岩石学报*, 25(10): 2523-2536.
- 陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. *中国地质*, 37(4): 854-865.
- 戴圣潜, 邓晋福, 吴宗絮, 赵海玲, 陈江峰, 杜建国. 2003. 大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据[J]. *中国地质*, 30(2): 159-165.
- 戴宝章, 蒋少涌, 王孝磊. 2009. 河南东沟钼矿花岗岩成因: 岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. *岩石学报*, 25(11): 2889-2901.
- 董树文, 孙先如, 张 勇, 黄德志, 王 刚, 戴世坤, 于邦存. 1993. 大别山碰撞造山带基本结构[J]. *科学通报*, 38(6): 542-545.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 68(4): 339-347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. *岩矿测试*, 20(4): 247-252.
- 杜建国, 张 鹏. 1999. 大别造山带北部的中生代火山岩[J]. *现代地质*, 13(1): 57-65.
- 高 阳, 李永峰, 郭保健, 程国祥, 刘彦伟. 2010. 豫西嵩县前范岭石英脉型钼矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. 26(3): 757-767.
- 高亚龙, 张江明, 叶会寿, 孟 芳, 周 柯, 高 阳. 2010. 东秦岭石窑沟斑岩钼矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 年龄[J]. *岩石学报*, 26(3): 729-739.
- 弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 李 华, 郭 波, 王建其. 2009b. 南秦岭地体东江口花岗岩及其基性包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位

- 素组成[J]. 岩石学报, 25(11): 3029-3042.
- 弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 李 俊, 郭 波. 2009a. 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[J]. 岩石学报, 25(2): 248-264.
- 郭保健, 毛景文, 李厚民, 屈文俊, 仇建军, 叶会寿, 李蒙文, 竹学丽. 2006. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(9): 2341-2348.
- 胡云中, 任天祥, 马振东, 邓 坚, 汪明启, 等. 2006. 中国地球化学场及其与成矿关系[M]. 北京: 地质出版社. 1-212.
- 黄丹峰. 2010. 大别造山带晚中生代构造体制转换的火成岩记录[D]. 北京: 中国地质大学硕士论文.
- 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-钼同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 13(3): 221-230.
- 黄典豪, 侯增谦, 杨志明, 李振清, 许道学. 2009. 东秦岭钼矿带内碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质-地球化学特征、成矿机制及成矿构造背景[J]. 地质学报, 83(12): 1968-1984.
- 黄 凡, 罗照华, 卢欣祥, 高 飞, 陈必河, 杨宗峰, 潘 颖, 李德东. 2009. 东沟含钼斑岩由太山庙岩基派生[J]? 矿床地质, 28(5): 569-584.
- 黄 凡, 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 杨宗峰. 2010. 河南竹园沟钼矿地质特征、成矿时代及其地质意义[J]. 地质通报, 29(11): 1704-1711.
- 黄 凡, 陈毓川, 王登红, 袁忠信, 陈郑辉. 2011. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 38(5): 1111-1134.
- 焦建刚, 袁海潮, 何 克, 孙 涛, 徐 刚, 刘瑞平. 2009. 陕西华县八里坡钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(8): 1159-1166.
- 金维浚, 张 旗, 何登发, 贾秀勤. 2005. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 21(3): 959-966.
- 雷 敏. 2010. 秦岭造山带东部花岗岩成因及其与造山带构造演化的关系[D]. 中国地质科学院博士学位论文.
- 李厚民, 叶会寿, 毛景文, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 2007. 小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钼定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(4): 417-424.
- 李厚民, 叶会寿, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 2009. 豫西熊耳山寨凹钼矿床辉钼矿铼-钼年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(2): 133-142.
- 李 晶, 仇建军, 孙亚莉. 2009. 河南银洞沟金钼矿铼-钼同位素定年和加里东期造山-成矿事件[J]. 岩石学报, 25(11): 2763-2768.
- 李 诺, 孙亚莉, 李 晶, 薛良伟, 李文博. 2007. 小秦岭大湖金钼矿床辉钼矿铼钼同位素年龄及印支期成矿事件[J]. 岩石学报, 24(4): 810-816.
- 李 诺, 陈衍景, 孙亚莉, 胡海珠, 李 晶, 张 辉, 倪智勇. 2009. 河南鱼池岭钼矿床辉钼矿铼-钼同位素年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 25(2): 413-421.
- 李曙光, 李惠民, 陈移之, 肖益林, 刘德良. 1997. 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学 II. 锆石 U-Pb 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑), 27(3): 200-206.
- 李曙光. 2004. 大别山超高压变质岩折返机制与华北-华南陆块碰撞过程[J]. 地学前缘, 11(3): 63-70.
- 李曙光, 李秋元, 候振辉, 杨 蔚, 王 莹. 2005. 大别山超高压变质岩的冷却及折返机制[J]. 岩石学报, 21(4): 1117-1124.
- 李双庆, 杨晓勇, 屈文俊, 陈福坤, 孙卫东. 2010. 南秦岭宁陕地区月河坪夕卡岩型钼矿 Re-Os 年龄和矿床学特征[J]. 岩石学报, 26(05): 1479-1486.
- 李永峰, 毛景文, 白凤军, 李俊平, 和志军. 2003. 东秦岭南泥湖钼(钨)矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 49(6): 652-659.
- 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 王彦斌, 王志良, 王义天, 李晓峰, 张作衡, 郭保健. 2006. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质论评, 52(1): 122-131.
- 陆三明, 彭海辉, 盛中烈. 2002. 北淮阳构造带东段铅锌矿找矿前景[J]. 安徽地质, 12(2): 114-119.
- 陆三明, 徐晓春, 彭智. 2005. 北淮阳构造带东段隐爆角砾岩型多金属矿床的地质特征及成因[J]. 地质与勘探, 41(3): 7-11.
- 卢欣祥, 尉向东, 董 有, 轩慎民. 1998. 小秦岭—熊耳山地区金矿时代[J]. 矿床地质, 17(增刊): 765-768.
- 卢欣祥, 尉向东, 董 有, 轩慎民. 1999. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代[J]. 黄金地质, 5(1): 11-16.
- 卢欣祥. 1999. 秦岭花岗岩大地构造图[M]. 西安: 西安地图出版社. 1-27.
- 卢欣祥. 2002. 秦岭造山带花岗岩及其成矿作用[A]. 见: 肖庆辉等主编. 花岗岩研究思维与方法[C]. 北京: 地质出版社. 192-214.
- 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 王义天, 薛良伟, 叶安旺, 索天元, 晋建平. 2004. 小秦岭-熊耳山金成矿作用与区域构造的耦合[J]. 黄金地质, 10(1): 1-5.
- 卢欣祥. 2006. 秦岭印支期成矿作用及其意义[J]. 矿床地质, 5(增刊): 179-181.
- 卢欣祥, 李明立, 王 卫, 于在平, 时永志. 2008. 秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J]. 矿床地质, 27(6): 762-773.
- 卢欣祥, 罗照华, 黄 凡, 谷德敏, 李明立, 杨宗峰, 黄丹峰, 梁涛, 刘传权, 张 震, 高 源. 2011. 秦岭-大别山地区钼矿类型与矿化组合特征[J]. 中国地质, 38(6): 1518-1535.
- 栾世伟, 陈尚迪. 1990. 小秦岭金矿主要控矿因素及成矿模式[J]. 地质找矿论丛, 5(4): 1-14.
- 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 等. 1991. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社. 1-452.
- 罗正传, 李永峰, 王义天, 王小高. 2010. 大别山北麓河南新县地区大银尖钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. 地质通报, 29(9): 1349-1354.
- 马昌前, 杨坤光, 明厚利, 林广春. 2003. 大别山中生代地壳从挤压转向伸展的时间: 花岗岩的证据[J]. 中国科学(D 辑), 33(9): 817-827.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(01): 169-188.
- 孟 芳. 2010. 豫西老君山花岗岩体特征及其成矿作用. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 彭 智, 陆三明, 徐晓春. 2005. 北淮阳构造带东段金-多金属矿床区域成矿规律[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 28(4): 364-368.
- 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[D]. 西北大学博士学位论文.
- 宋史刚,丁振举,姚书振,周宗桂,张世新,杜安道. 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.
- 苏捷,张宝林,孙大亥,崔敏利,屈文俊,杜安道. 2009. 东秦岭东段新发现的沙坡岭细脉浸染型钼矿地质特征、Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(10):1490-1496.
- 童劲松. 2008. 造山带岩浆作用与区域构造演化——以大别造山带及其邻区为例[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 王登红,陈毓川,徐志刚. 2005. 中国白垩纪大陆成矿体系的初步研究及找矿前景浅析[J]. 地学前缘, 12(02):231-239.
- 王团华,毛景文,谢桂青. 2008. 河南商城地区岩墙的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(4):369-377.
- 王岳军,范蔚茗,郭锋北. 2002. 淮阳晚中生代火山岩定年及火山砾石地球化学: 对大别灰色片麻岩隆升和中生代地层格架的约束[J]. 科学通报, 47(20):1528-1534.
- 王义天,毛景文,卢欣祥,叶安旺. 2002. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其意义[J]. 科学通报, 47(18):1427-1431.
- 王义天,叶会寿,叶安旺,李永革,帅云,张长清,代军治. 2010a. 小秦岭北缘马家洼石英脉型金钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义[J]. 地学前缘, 17(2):140-145.
- 王义天,叶会寿,叶安旺,帅云,李永革,张长青. 2010b. 小秦岭文峪和娘娘山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质科学, 45(1):167-180.
- 王勇生,江来利,朱光,宋传中. 2009. 大别造山带现今构造格局的形成——来自石英 C 轴组构的证据[J]. 岩石学报, 25(01):219-231.
- 魏庆国,姚军明,赵太平,孙亚莉,李晶,原振雷,乔波. 2009. 东秦岭发现~1.9 Ga 钼矿床——河南龙门店钼矿床 Re-Os 定年[J]. 岩石学报, 25(11):2747-2751.
- 吴海权. 2000. 安徽霍山戴家河-六安毛坦厂地区中生代的火山作用[J]. 安徽地质, 10(4):252-260.
- 向必伟. 2009. 北大别造山后伸展过程构造热年代学与变形模拟研究[D]. 合肥工业大学博士学位论文.
- 徐启东,钟增球,周汉文,杨发城,唐学超. 1998. 豫西小秦岭金矿区的一组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年数据[J]. 地质论评, 44(3):323-327.
- 徐树桐,刘贻灿,吴维平,江来利. 2001. 大别造山带研究的主要进展及存在问题[J]. 自然科学进展, 11(8):796-803.
- 徐树桐,刘贻灿,江来利,吴维平,陈冠宝. 2002. 大别造山带的构造几何学和运动学[M]. 合肥:中国科技大学出版社. 1-132.
- 徐晓春,楼金伟,陆三明,谢巧勤,褚平利,尹滔. 2009. 安徽金寨银山钼-铅-锌多金属矿床 Re-Os 和有关岩浆岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄测定[J]. 矿床地质, 28(5):621-632.
- 徐学义,王洪亮,陈隽璐,宿晓红,武鹏,高婷. 2007. 西秦岭天水尹道寺中生代酸性火山岩锆石 U-Pb 定年和元素地球化学研究[J]. 岩石学报, 23(11):2845-2856.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,等. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社. 1-138.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,张建新. 2006. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成[J]. 地质学报, 80(12):1793-1806.
- 杨经绥,许志琴,张建新,张泽明,刘福来,吴才来. 2009. 中国主要高压-超高压变质带的大地构造背景及俯冲/折返机制的探讨[J]. 岩石学报, 25(7):1529-1560.
- 杨梅珍,曾键年,覃永军,李法岭,万守权. 2010. 大别山北缘千鹤冲斑岩型钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年代学及其地质意义[J]. 地质科技情报, 29(5):35-45.
- 杨晓勇,卢欣祥,杜小伟,李文明,张正伟,屈文俊. 2010. 河南南沟钼矿床地球化学研究兼论东秦岭钼矿床成岩成矿动力学[J]. 地质学报, 84(7):1049-1079.
- 杨泽强. 2007. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(3):289-295.
- 姚军明,赵太平,李晶,孙亚莉,原振雷,陈伟,韩军. 2009. 河南祁雨沟金成矿系统辉钼矿 Re-Os 年龄和锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素地球化学[J]. 岩石学报, 25(2):374-384.
- 叶会寿,毛景文,李永峰,郭保健,张长青,刘珏,闫全人,刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 80(7):1078-1088.
- 叶会寿,毛景文,徐林刚,高建京,谢桂清,李向前,何春芬. 2008. 豫西太山庙铝质 A 型花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J]. 地质论评, 54(5):699-711.
- 袁学诚,李善芳. 2008. 大别造山带岩石圈结构与超高压变质岩折返的另类模型[J]. 中国地质, 35(4):565-576.
- 张宏飞,靳兰兰,张利, Nigel Harris, 周炼,胡圣虹,张本仁. 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.
- 张宏飞,肖龙,张利,袁洪林,靳兰兰. 2007. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学(D 辑), 37(4):460-470.
- 张怀东,史东方,郝越进,王波华. 2010. 安徽省金寨县沙坪沟斑岩型钼矿成矿地质特征[J]. 安徽地质, 20(2):104-108.
- 赵子福,郑永飞. 2009. 俯冲大陆岩石圈重熔: 大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩成因[J]. 中国科学(D 辑), 39(7):888-909.
- 周存亭,周高誌,胡云琴. 2004. 大别-苏鲁造山带地质图[M]. 北京:地质出版社. 1-76.
- 周珂,叶会寿,毛景文,屈文俊,周树峰,孟芳,高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-钨同位素年龄[J]. 矿床地质, 28(2):170-184.
- 周作侠,李秉伦,郭抚衡,赵瑞,谢奕汉. 1993. 华北地台南缘金(钼)矿床成因[M]. 北京:地震出版社. 1-269.
- 朱赖民,张国伟,郭波,李俊. 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[J]. 地质学报, 82(2):204-220.