

钟富明, 袁峰, 詹建华, 等. 安徽省六安西峰寺钼矿化区正长岩类锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 909-920.  
Zhong Fuming, Yuan Feng, Zhan Jianhua, et al. Zircon U-Pb ages of the syenites in the Xifengsi Mo mineralization district, Lu'an, Anhui Province[J]. Geology in China, 2015, 42(4): 909-920(in Chinese with English abstract).

# 安徽省六安西峰寺钼矿化区正长岩类锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

钟富明<sup>1</sup> 袁 峰<sup>1</sup> 詹建华<sup>2</sup> 徐学军<sup>2</sup> 孙维安<sup>1</sup> 王继强

(1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 中国建筑材料工业地质勘查中心安徽总队, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 安徽六安西峰寺钼矿化区地处大别造山带内, 发育岩浆岩类型主要为正长岩类, 可进一步分为细晶正长岩、似斑状正长岩、粗粒正长岩、正长斑岩等, 辉钼矿化与后期正长斑岩脉侵入密切相关。利用 LA-ICP-MS 技术, 对不同岩体中的锆石进行了 U-Th-Pb 同位素测定, 得到的侵入岩  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄从老至新依次为似斑状正长岩 (128.2±1.7) Ma、细晶正长岩 (128.1±1.5) Ma、正长斑岩 (126.8±1.6) Ma、粗晶正长岩 124.2±1.6 Ma, 均形成于早白垩世。结合前人的研究成果及区域对比, 认为西峰寺钼矿化区与沙坪沟、千鹅冲等多个大型-超大型钼矿床具有相似的成矿背景和时代, 具有较好的钼成矿潜力。

**关键词:** 钼矿化; 锆石 U-Pb; 西峰寺; 安徽六安; LA-ICP-MS; 早白垩; 正长岩;

中图分类号: P618.65; P588.12<sup>2</sup>; P597<sup>3</sup> 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)04-0909-12

## Zircon U-Pb ages of the syenites in the Xifengsi Mo mineralization district, Lu'an, Anhui Province

ZHONG Fu-ming<sup>1</sup>, YUAN Feng<sup>1</sup>, ZHAN Jian-hua<sup>2</sup>, XU Xue-jun<sup>2</sup>,  
SUN Wei-an<sup>1</sup>, WANG Ji-qiang

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China; 2. Anhui General Party of Geological Survey Center of China Building Materials Industry, Hefei 230031, Anhui, China)

**Abstract:** Xifengsi of Lu'an is located in the Dabie orogenic belt, and the major type of intrusions is syenite, which can be further divided into aplitic syenite, porphyaceous syenite, macrocrystalline syenite and syenite porphyry, with Mo mineralization closely related to the intrusion of syenite porphyry. The authors carried out the study of geochronology about major intrusions in the Xifengsi ore district. The U-Pb ages of zircon show that, from the old to the young, there are porphyaceous syenite, aplitic syenite, syenite porphyry and macrocrystalline syenite, all formed in Early Cretaceous period. Combined with the study and the regional

收稿日期: 2014-10-19; 改回日期: 2015-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41320104003, 41172086)、新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0324)和安徽省公益性地质工作项目(2013-11)资助。

作者简介: 钟富明, 男, 1991 年生, 硕士生, 地质工程专业; E-mail: zhongfuming2236@126.com。

通讯作者: 袁峰, 男, 1971 年生, 教授, 博士生导师, 矿物学岩石学矿床学专业; E-mail: yf\_hfut@163.com。

correlation, the authors hold that the Xifengsi Mo mineralization district has similar background and ages to large molybdenum deposits like Shapinggou and Qian'echong and thus possesses a good potential of molybdenum mineralization.

**Key words:** Mo mineralization; zircon U-Pb; Xifengsi; Lu'an in Anhui; LA-ICP-MS; Early Cretaceous; syenite

**About the first author:** ZHONG Fu-ming, male, born in 1991, master candidate, majors in geological engineering; E-mail: zhongfuming2236@126.com.

截至 2011 年中国已成为世界第一钼资源大国。根据钼矿资源特点,综合考虑岩浆、构造、地层、流体、成矿时代等因素,中国的钼矿可以划分为 17 个大的矿集区,且按成因可分为斑岩型、矽卡岩型、热液脉型、沉积型和海相火山岩型等 5 个主要类型,以斑岩型为主,矽卡岩型、热液型次之<sup>[1]</sup>。与钼成矿作用相关的成钼流体一般是富 CO<sub>2</sub> 和 Cl<sup>-</sup> (个别还富 F<sup>-</sup>) 以及一些还原性气体成分的成钼流体<sup>[2]</sup>。位于华北克拉通南缘的东秦岭地区是中国重要的钼矿成矿区,也是仅次于美国 Climax 钼矿带的世界第二大钼矿带<sup>[3]</sup>。在 21 世纪之初,随着东沟、鱼池岭等超大型钼矿床以及一批东秦岭钼矿带重要钼矿床的发现,其钼资源量一跃成为世界第一大钼矿带<sup>[4]</sup>。而大别造山带作为东秦岭造山带的东延,在钼资源的勘探方面,同样取得了重要的进展,相继发现了汤家坪大型钼矿床和千鹅冲、沙坪沟超大型钼矿床。显示出大别造山带钼成矿潜力巨大。

安徽省六安西峰寺钼矿化区位于大别山钼矿集区,野外多处见有品位较富的钼矿化现象,与后期正长斑岩的侵入具有密切关系。目前,关于区域的成岩年龄以及矿区的地质特征研究已有一些成果。然而,西峰寺矿区岩浆岩,特别是矿区内主要侵入岩的同位素年代学研究仍未进行;矿区主要侵入岩同位素年龄数据的缺失,影响了对矿区成岩成矿演化的研究,也间接制约了找矿工作。本文在野外地质详细调查的基础上,对该矿区的主要侵入岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作,确定了主要侵入岩的成岩时代,深化了矿区碱性岩浆岩活动的特点以及深部过程,有助于进一步认识区域的成岩演化过程以及找矿工作的进一步开展。

## 1 区域地质背景

矿区地处大别造山带东部(图 1)。大别造山带是秦岭造山带的东延部分,是华北板块南部活动大陆边缘和扬子板块北部被动大陆边缘经长期演化、

地体拼贴和最终大陆碰撞的结果,是长期发育的大陆内部复合型造山带<sup>[5-6]</sup>。大别造山带被郟庐断裂截于东部,西部经南阳盆地与秦岭造山带相连,其南、北边界分别为襄樊—广济断裂以及栾川—明港—固始断裂,总体上呈东宽西窄的楔形。大别造山带形成于三叠纪扬子古板块向华北古板块的俯冲碰撞作用,经历了与造山作用有关的多次聚合—拼贴过程,是一个发生了复杂变形变质作用的构造带<sup>[7-8]</sup>。

大别造山带经历了漫长而复杂的地质演化。三叠纪华北和扬子板块相互碰撞<sup>[9-10]</sup>,晚三叠世末至早中侏罗世经历了强烈的挤压和陆内俯冲,造山带地壳和岩石圈缩短增厚<sup>[11]</sup>。晚侏罗世开始,构造体制由挤压向伸展转变,早白垩世末期伸展作用深入地幔,碰撞造山作用结束<sup>[3]</sup>。此外,通过前人的研究,大别造山带与中生代钼矿床有关的岩浆作用主要起源于古老地壳,在伸展背景下软流圈上涌,加热下地壳熔融而成<sup>[12-13]</sup>。

在大别造山带内出露的主要地层有:新太古代至古元古代大别—桐柏变质核杂岩,中元古代秦岭群变质杂岩,中元古代龟山岩群,新元古代至早古生代二郎坪群浅变质火山—沉积岩系,震旦纪—奥陶纪的滨海—浅海相碎屑岩—碳酸盐岩建造以及泥盆纪南湾组。区内的构造主要以 NWW 向以及 NNE 向断裂为主,呈网格状,NWW 向断裂由北向南分别为栾川—明港—固始断裂、朱—夏断裂、龟—梅断裂、桐—商断裂、晓天—磨子潭断裂和襄樊—广济断裂等。NNE 向断裂由西到东分别为大悟—涩港断裂、陡山河断裂和商麻断裂。大别造山带岩浆作用强烈,主要发育燕山期中酸性侵入岩、陆相火山岩、少量基性—超基性岩以及晋宁期中酸性侵入岩。陆相火山岩沿大别造山带北缘信阳—商城—霍山一带分布,时代为晚侏罗世—早白垩世,岩性组合为英安岩—流纹岩。燕山期侵入岩为主要分布于区域南部的灵山、新县和商城三大花岗岩基,以及分布于区域中部桐—商断裂附近的众多中

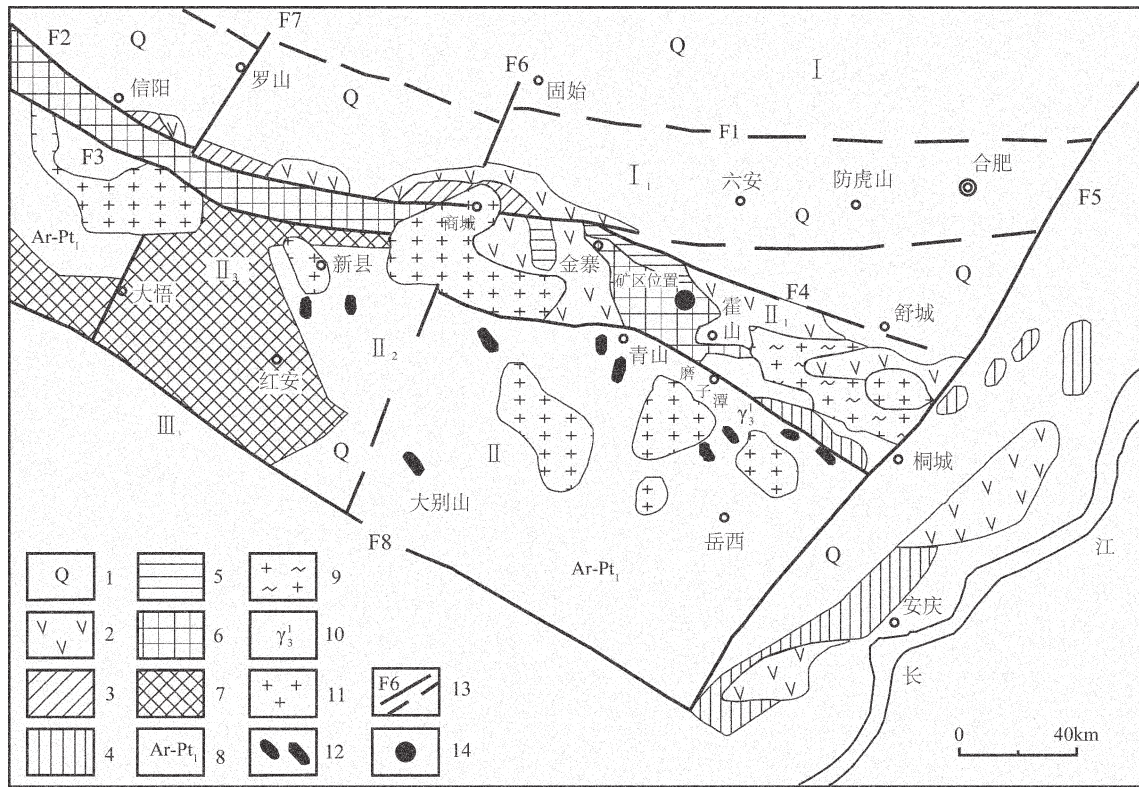


图1 秦岭—大别造山带东段区域地质图<sup>[15]</sup>

1—第四系;2—中生界火山沉积岩;3—石炭系;4—扬子地台盖层;5—下古生界佛子岭群浅变质岩;6—新元古界信阳群;7—中元古界庐镇关群、苏家河群;8—古元古界—新太古界大别变质杂岩;9—晋宁期花岗岩;10—加里东期花岗岩;11—中生代花岗岩;12—基性岩块;13—实测/推测断裂及编号:F1—固始—合肥断裂;F2—信阳—防虎山断裂;F3—桐柏—桐城断裂;F4—龟山—梅山断裂;F5—郟城—庐江断裂;F7—罗山—大悟断裂;F8—随县—浠水断裂;14—矿区位置

Fig. 1 Regional geological map of the eastern block of the Qinling-Dabie orogenic belt<sup>[15]</sup>

1-Quaternary; 2-Mesozoic volcanic sedimentary rock; 3-Carboniferous; 4-Cover of Yangtze platform; 5-Low-grade metamorphic rock of Lower Paleozoic Foziling Group; 6-Neoproterozoic Xinyang Group; 7-Mesoproterozoic Luzhenguan Group, Sujiahe Group; 8-Paleoproterozoic-Neoproterozoic Dabie metamorphic complex; 9-Jinning granite; 10-Caledonian granite; 11-Mesozoic granite; 12-Basic massif; 13-Fault and its serial number: F1-Gushi-Hefei fault; F2-Xinyang-fanghushan fault; F3-Tongbo-Tongcheng fault; F4-Guishan-Meishan fault; F5-Tancheng-Lujiang fault; F6-Shangcheng-Macheng fault; F7-Luoshan-Dawu fault; F8-Suixian Xishui fault; 14-Location of the mining area

酸性小岩体,岩体多为酸性富碱的花岗斑岩、似斑状花岗岩、石英正长斑岩等<sup>[14]</sup>。

## 2 矿化区地质特征

矿区地处响洪甸盆地西部,响洪甸背斜南西翼,地层单一,构造较复杂,岩浆岩广泛分布(图2)。

区内沉积地层不发育,仅发育白垩系响洪甸组和第四系丰乐镇组地层。地层总体上呈单斜层状产出,产状缓,倾向南西,倾角10°~20°,自北向南呈长条状展布。地层与岩体呈超动式接触关系,接触面多为风化层覆盖;构造上,矿区处于响洪甸背斜南西翼,次级褶皱不发育。矿区位于区域龙门冲到

南港断裂破碎带中,区内显性断裂构造出露不明显,断层错距一般不大,大多以挤压碎裂、隐爆角砾和岩脉充填为主要表现特征。矿区断层多为隐伏断裂,由于地表植被覆盖严重,部分断层地表形迹不明显,只能通过钻孔揭露结合地形地貌特征来推测断层的出露位置和延伸方向。矿区内较为明显的断层有2条。

区内岩浆活动较为剧烈,主要岩体为燕山晚期同兴寺超单元碱性杂岩体,该岩体位于区域龙门冲—南港断裂破碎带中,属深源浅成型侵入体。岩石组合主要为霞石正长岩、白榴石正长岩、霓辉正长岩、正长岩。岩浆岩均为碱性—过碱性系列,富碱

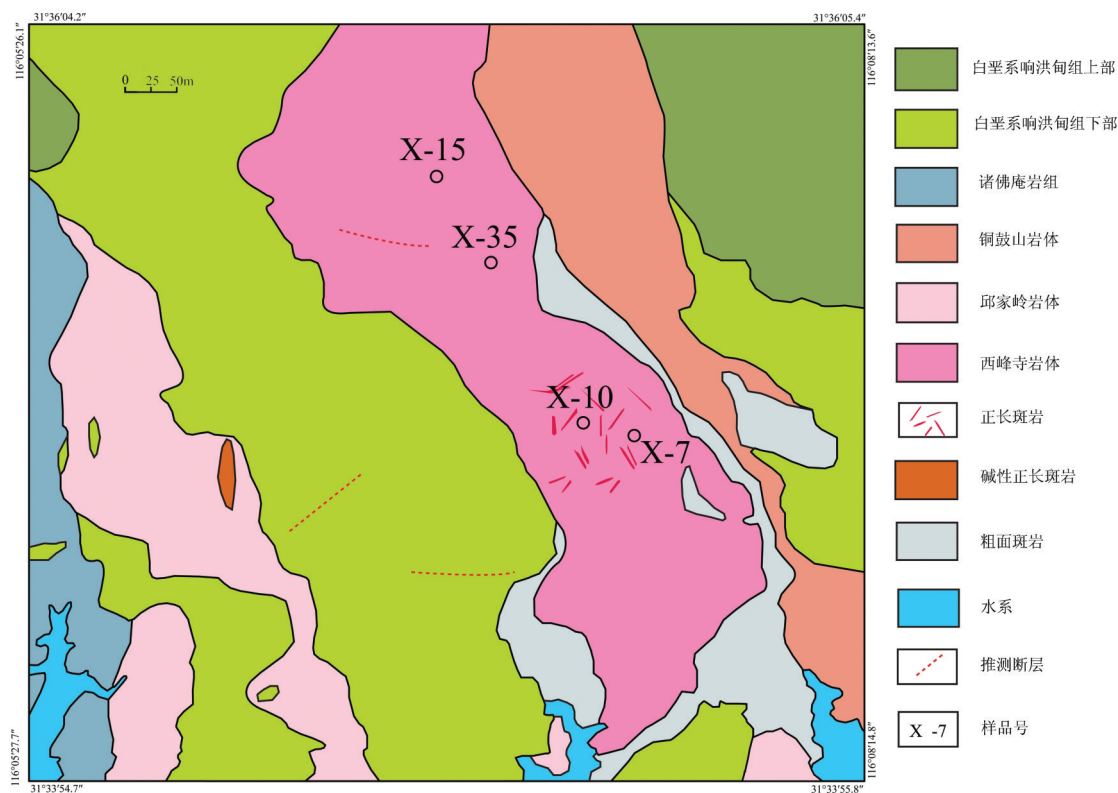


图2 西峰寺矿区地质图

Fig.2 Geological map of the Xifengsi mining area

贫硅,  $K_2O > Na_2O$ 。

矿区中主要侵入岩为细晶正长岩、正长斑岩、粗晶正长岩、似斑状正长岩。在钻孔中,可见到正长斑岩穿插似斑状正长岩(图3-A),野外露头则可见到粗晶正长岩穿插正长斑岩(图3-B),而细晶正长岩与其他岩性岩石关系不明显,由此可初步推测各岩性的岩浆岩从早到晚为似斑状正长岩、细晶正长岩、正长斑岩、粗晶正长岩。

各岩性特征分述如下:

①细晶正长岩:肉红色,细晶结构,块状构造,几乎全由钾长石组成,局部可见有石英、方解石、萤石、黄铁矿共同呈脉状产出。钾长石,肉红色,颗粒大小1 mm左右,他形。

②正长斑岩:斑晶主要由钾长石(约40%)、斜长石(约5%)、角闪石(约2%)、黄铁矿(约2%)组成。基质(约50%)由隐晶质的长石、石英组成。钾长石:肉红色,他形,粒径为0.1~1 mm。斜长石:无色透明,自形,中长柱状,1~10 mm。黑云母:黑色,

他形,0.5~2 mm。黄铁矿:浅铜黄色,金属光泽,粒径0.1 mm左右,星点状分布。

③粗晶正长岩:青灰色,粗晶结构,块状构造,主要由钾长石(约90%)、绿帘石(约3%)、黑云母(约3%)、磁铁矿(约3%)组成。钾长石肉红色,玻璃光泽,粒径为2~10 mm,半自形—他形。绿帘石为黑色,自形,中短柱状,玻璃光泽,粒径为2~10 mm。角闪石为黑色,粒径1 mm左右,半自形—自形。黑云母为黑色,片状,颗粒大小1 mm左右,自形。磁铁矿为黑色,他形浸染状分布,具磁性,粒径0.1~1 mm。

④似斑状正长岩:肉红色,似斑状结构,块状构造,斑晶(约40%)几乎全由钾长石组成,肉红色,粒状,玻璃光泽,颗粒大小为2~6 mm,大者可达1 cm。基质由显晶质的钾长石(约40%)和黑云母(约10%)及少量的角闪石(约2%)组成。

本区辉钼矿化主要与后期正长斑岩脉侵入和后期断裂构造热液活动相关,其矿化具有不均匀、局部富集的特点。矿床内近矿围岩蚀变强烈,且表

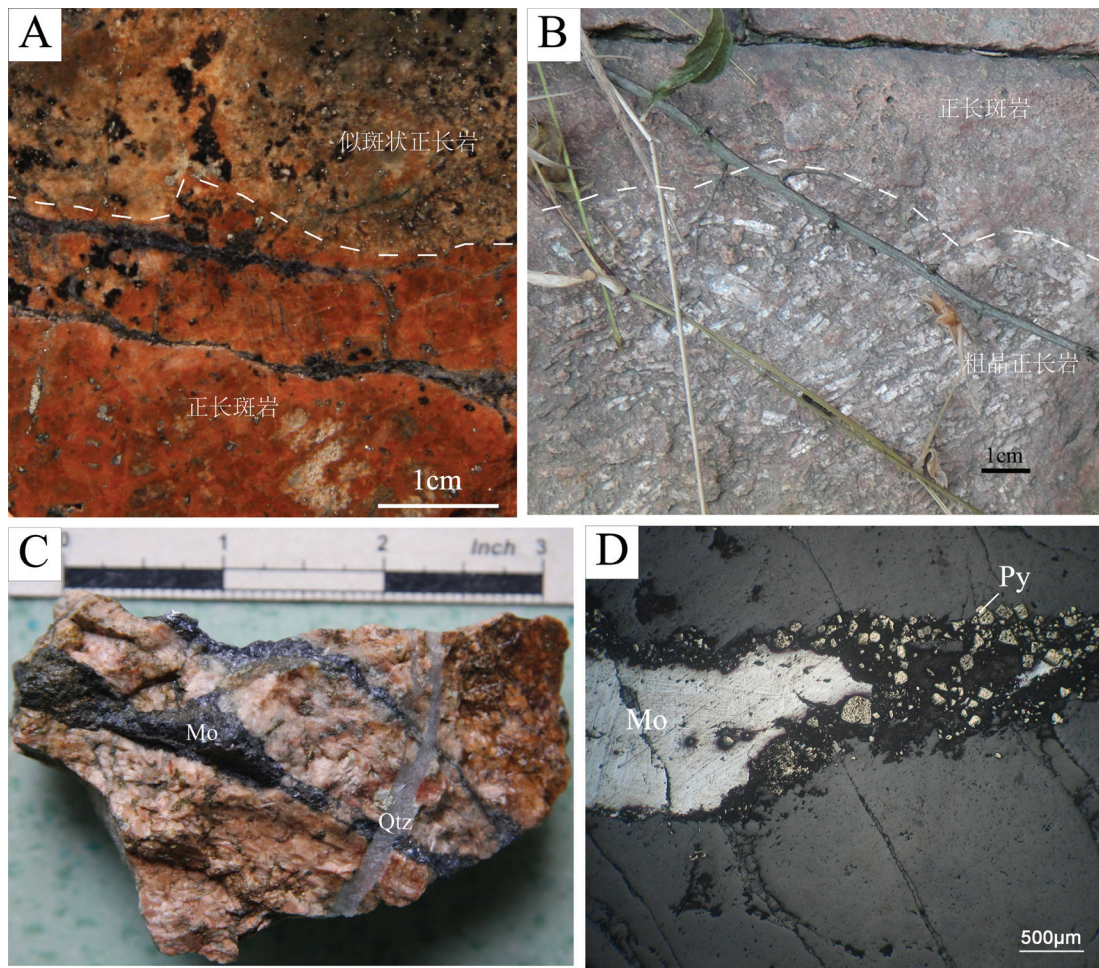


图3 矿区侵入岩典型照片

A—正长斑岩穿插似斑状正长岩;B—粗晶正长岩穿插正长斑岩;C、D—正长斑岩中的网脉状辉钼矿;Mo—辉钼矿;Qtz—石英;Py—黄铁矿  
 Fig. 3 Representative photographs of mining area intrusions  
 A— Porphyraceous syenite cut by porphyry; B—porphyry cut by coarse-grained syenite; C, D—Netted molybdenite in porphyry; Mo—Molybdenite;  
 Qtz—Quartz; Py—Pyrite

现为一定的水平环状分带,局部为线型分带的特征,自矿化中心向外依次为钾化、黄铁矿化-硅化、绢云母化-碳酸岩化、萤石化-粘土(高岭土)化-绿泥石、绿帘石化,其中,钾化、硅化最为发育,碳酸岩化、萤石化次之,其余蚀变仅局部发育,钾化和硅化与辉钼矿化关系紧密,矿体往往即产于钾化带与硅化带接触部位。这些特征与斑岩型钼矿的特征基本相吻合,所以西峰寺钼矿应属于斑岩型钼矿。此外,由于后期侵入斑岩脉能量较大,在浅部局部发育引爆角砾岩,胶结物可见有浸染状辉钼矿。

经过野外观察及室内的鉴定可发现,辉钼矿多呈细脉状或浸染状发育于正长斑岩中(如图3-C、

D),即本区的控矿侵入岩主要为正长斑岩。本区中,正长斑岩呈岩脉、岩枝状产出,为本区燕山晚期岩浆演化最后一期侵入脉岩。地表呈多条规模较小、独立的岩枝状出露,产状多较陡,深部有复合膨大变粗呈岩株的趋势,表现为半隐伏岩体的特征。平面上,正长斑岩脉集中分布于矿区中部,沿北西、北东和近东西方向断裂侵入充填,其中,北西方向的一条斑岩脉是本矿区规模最大、与成矿关系最紧密的控矿岩体,该岩体地表呈脉状延伸,控制最大延长约650 m,控制岩脉宽2~75 m,岩脉边缘岩枝发育,分支复合现象极为常见。岩脉走向 $135^{\circ}\sim 150^{\circ}$ ,倾向北东,倾角 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。

### 3 样品与分析方法

矿区主要侵入岩(图2)的特征如表1所示。

#### 3.1 样品制备和分析方法

测年样品首先经过破碎、浮选和电磁选等方法挑选出单颗粒锆石,然后在双目显微镜下挑纯,选择工作在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。锆石制靶在合肥工业大学LA-ICP-MS实验室进行,将完整和典型的锆石颗粒用双面胶粘在载玻片上,放上PVC环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入PVC环中,待树脂充分固化后将样品从载玻片上剥离,并对其进行打磨、抛光。样品测定之前用酒精清洗样品表面,以除去样品表面的污染。然后拍摄锆石的反射光、透射光和阴极发光(CL)显微图像(图4),此部分工作在北京锆年科技领航公司完成。LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素和微量元素分析在合肥工业大学资源与环境工程学院进行,由ICP-MS和激光剥蚀系统联机完成。ICP-MS为美国Agilent公司生产的Agilent 7500a,该仪器独有的屏蔽炬(ShieldTorch)可明显提高分析灵敏度。激光剥蚀系统为美国Coherent Inc.公司生产的GeoLasPro。

分析数据的离线处理采用ICPMSDataCal软件(V8.6)完成。锆石样品的U-Pb谐和图绘制和年龄加权平均计算均采用Isoplot(V2.49)<sup>[16]</sup>完成。单个数据的同位素比值、年龄误差为 $1\sigma$ ,加权平均值的误差为 $2\sigma$ 。普通Pb的校正采用Anderson<sup>[17]</sup>的方法完成。

#### 3.2 分析结果

各岩浆岩的锆石年龄(表2)从老到新为:似斑状

正长岩( $128.2\pm 1.7$ )Ma、细晶正长岩( $128.1\pm 1.5$ )Ma、正长斑岩( $126.8\pm 1.6$ )Ma、粗晶正长岩( $124.2\pm 1.6$ )Ma。结合野外及钻孔各岩性之间的穿插关系,即钻孔中正长斑岩穿插似斑状正长岩(图3-A),野外露头可见粗晶正长岩穿插正长斑岩(图3-B),而细晶正长岩与其他岩性岩石关系不明显,说明矿区主要侵入岩的结晶顺序由早到晚为似斑状正长岩、细晶正长岩、正长斑岩、粗晶正长岩(图3)。

### 4 讨论

前人对东秦岭—大别钨矿带钨矿床的成岩成矿年龄做了详细的研究,得到了大量的研究成果。成岩年龄方面,前人对矿带中含矿岩体进行了锆石U-Pb测年,如:南泥湖( $149.56\pm 0.36$ )Ma<sup>[18]</sup>、上房沟( $135.38\pm 0.39$ )Ma<sup>[18]</sup>、雷门沟( $136.2\pm 1.5$ )Ma<sup>[19]</sup>、金堆城( $140.95\pm 0.45$ )Ma<sup>[20]</sup>、金堆城( $143.7\pm 3$ )Ma<sup>[21]</sup>、沙坪沟二长花岗岩、花岗闪长岩、正长岩分别为( $136.3\pm 1.6$ )Ma, ( $127.5\pm 2.9$ )Ma, ( $117.2\pm 1.2$ )Ma<sup>[14]</sup>;千鹅冲花岗斑岩( $128.8\pm 2.6$ )Ma<sup>[22]</sup>。成矿年龄方面,对矿床中的辉钨矿开展了Re-Os同位素测年,如金堆城( $139\pm 3.0$ )Ma<sup>[23]</sup>、南泥湖( $141.8\pm 2.1$ )Ma<sup>[23]</sup>、三道庄( $145.0\pm 2.2$ )Ma<sup>[23]</sup>、上房沟( $144.8\pm 2.1$ )Ma<sup>[23]</sup>、雷门沟( $132.4\pm 1.9$ )Ma<sup>[19]</sup>、沙坪沟( $113.21\pm 0.53$ )Ma<sup>[25]</sup>、千鹅冲( $127.82\pm 0.87$ )Ma<sup>[22]</sup>。可以看出,东秦岭—大别成矿带钨矿床的成岩成矿时代主要集中在中生代,且含矿岩体的成岩作用与成矿作用发生时间经过粗略统计,一般相差1~9Ma,即含矿岩体的成岩作用与成矿作用发生时间一致或略晚。通过前人的研究,华北克拉通及其邻区(包括长

表1 矿区主要侵入岩特征  
Table1 The characteristic of the main intrusive rocks from the mining area

样品编号	岩性	采样坐标	描述
X-7	细晶正长岩	31° 37' 15.4"	肉红色, 细晶结构, 块状构造, 几乎全由钾长石组成, 局部可见有石英、方解石、萤石、黄铁矿共同呈脉状产出
		116° 07' 26.5"	
X-10	正长斑岩	31° 37' 11.8"	斑晶主要由钾长石(约40%)、斜长石(约5%)、角闪石(约2%)、黄铁矿(约2%)组成。基质(约50%)由隐晶质的长石、石英组成
		116° 07' 18.2"	
X-15	粗晶正长岩	31° 36' 30.1"	青灰色, 粗晶结构, 块状构造, 主要由钾长石(约90%)、绿帘石(约3%)、黑云母(约3%)、磁铁矿(约3%)组成
		116° 06' 46.9"	
X-35	似斑状正长岩	31° 36' 45.2"	肉红色, 似斑状结构, 块状构造, 斑晶(约40%)几乎全由钾长石组成, 肉红色, 粒状, 玻璃光泽, 颗粒大小为2~6mm, 大者可达1cm。基质由显晶质的钾长石(约40%)和黑云母(约10%)及少量的角闪石(约2%)组成
		116° 06' 58.7"	



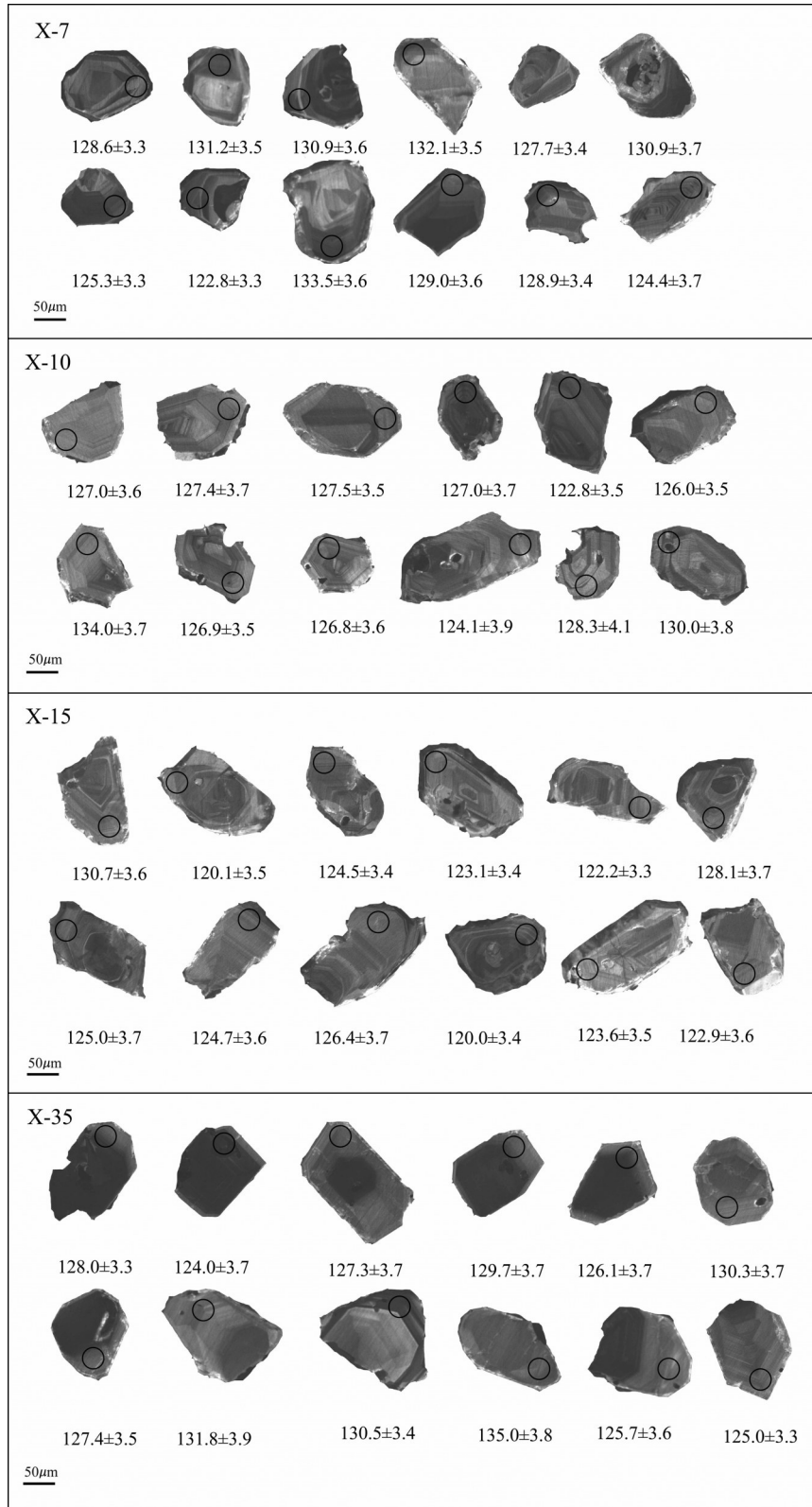


图4 矿区主要侵入岩锆石 CL 图像  
Fig.4 Zircon CL diagrams of Xifengsi main intrusive rocks



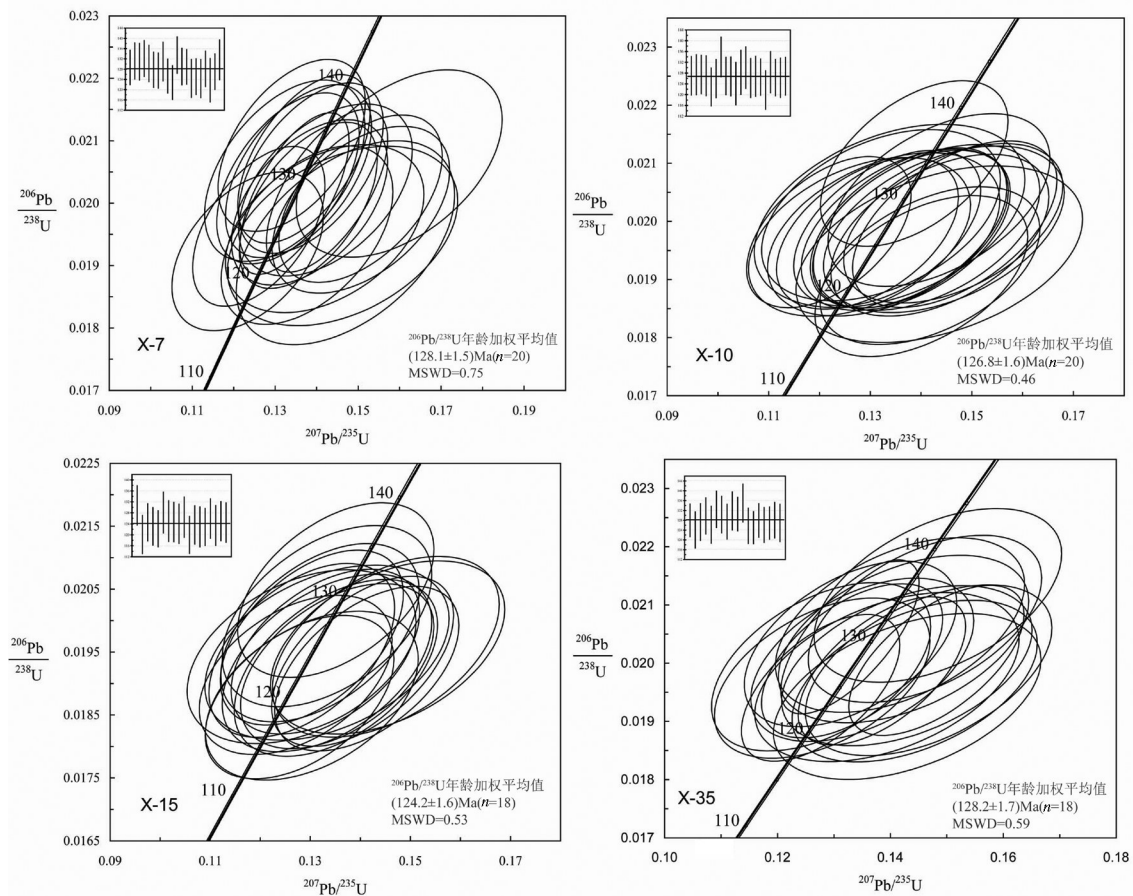


图5 矿区主要侵入岩锆石U-Pb谐和图

Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagram of Xifengsi main intrusive rocks

江中下游地区),中生代金属矿床大规模成矿作用可以分为200~160 Ma、140 Ma左右及130~110 Ma三个时期<sup>[26]</sup>,以Mo、Cu为主的三叠纪矿床形成时代则集中在233~211 Ma<sup>[27]</sup>。

本矿区所处的大别造山带东部,前人同样进行了许多的研究。如钾质岩浆作用的研究<sup>[25]</sup>,岩浆岩地球化学特征及其年代学研究<sup>[26-29]</sup>,区域构造作用的研究<sup>[30-31]</sup>。但是碱性侵入岩的研究相对来说则比较薄弱。而碱性岩的作用又不可忽略。我们知道碱性岩具有富钾、钠及稀土元素的地球化学特征,其矿物组成通常含有似长石或碱性铁镁矿物。此外,其还具有深源性及显著的幔源特征<sup>[32-33]</sup>。一般来说,碱性岩产于拉张构造环境,其深源浅成属性及其所指示的特殊构造环境使其成为探索地球深部物质组成特征及演化过程、地球动力学、构造和物理化学环境的重要岩石<sup>[34]</sup>。在年代学研究方面,早期测年所采用的全岩Rb-Sr等时线法、角闪

石Ar-Ar法、钾长石Ar-Ar法等,受样品的代表性和测试方法所限,所得的年龄结果具有一定程度的不确定性。近年来,虽然已获得响洪甸碱性侵入岩中霞石正长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄(135.1 Ma<sup>[35]</sup>)和碱性正长岩的单颗粒锆石U-Pb年龄(122.3 Ma<sup>[36]</sup>)以及似斑状正长岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄((125±1) Ma<sup>[37]</sup>),但是对于与成矿有关的主要侵入岩的年代学工作,仍然显得不足。

利用LA-ICP-MS技术,对矿区主要侵入岩中的锆石进行了U-Th-Pb同位素测定,得到矿区主要侵入岩<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄为(128.2±1.7)Ma~(124.2±1.6)Ma,主要控矿侵入岩正长斑岩的年龄为(126.8±1.6)Ma,与东秦岭一大别成矿带主要的含矿岩体相比,成岩作用时间基本一致,同处于中生代。前已述及东秦岭一大别成矿带含矿岩体的成岩作用与成矿作用发生时间一致或略晚,由此可推断矿区的成矿作用时间为123~115 Ma,属于东秦岭成矿阶

段的第三个时期。

结合前文所述,矿区的基础地质特征与斑岩型钼矿的特征基本吻合,西峰寺钼矿应属于斑岩型钼矿,其成矿作用应与矿区中正长斑岩的侵入有密切关系。过程大致为:早白垩世时期,整个华北及其邻区主要处在岩石圈伸展减薄的背景下<sup>[24]</sup>,此时大别造山带很有可能因为受到岩石圈拆沉的影响,而发生了大规模的成矿作用,并且伴随着深变质作用、壳幔深熔和地壳重熔、岩浆侵位和火山喷发。在此背景下,西峰寺钼矿化区随着下地壳的加热熔融,形成含钼正长斑岩岩浆,在伸展构造环境下,沿着矿区的构造裂隙上涌并与地下水循环及围岩相互作用。在此过程中岩浆结晶分异,含矿流体与围岩强烈交代,自矿化中心向外为钾化、黄铁矿化-硅化、绢云母化-碳酸岩化、萤石化-粘土(高岭土)化-绿泥石化、绿帘石化等蚀变环带,其中,钾化-硅化与钼矿化密切相关,辉钼矿常常以浸染状及脉状的形式产于此带中,最终形成了西峰寺钼矿化区斑岩型钼矿。在相同的背景下,还形成了沙坪沟、千鹅冲等多个大型-超大型的钼矿床。西峰寺钼矿与这些矿床具有类似的特点,即主要的含矿岩体的成岩时代基本相同,且同为斑岩型钼矿,具有相似的围岩蚀变特征。类比之下,不难看出,西峰寺具有与沙坪沟、千鹅冲等大型-超大型钼矿床同等的钼成矿潜力。

## 5 结 论

(1)西峰寺矿区中矿区中主要侵入岩为细晶正长岩、正长斑岩、粗晶正长岩、似斑状正长岩。矿区辉钼矿化主要与后期正长斑岩脉侵入密切相关。

(2)结合野外及钻孔各岩性之间的穿插关系以及相对应的LA-ICP-MS 锆石U-Th-Pb同位素分析结果,矿区主要侵入岩结晶顺序从老至新依次为似斑状正长岩(128.2±1.7Ma)、细晶正长岩(128.1±1.5Ma)、正长斑岩(126.8±1.6Ma)、粗晶正长岩(124.2±1.6Ma),均形成于早白垩世。

(3)西峰寺钼矿化区在早白垩世时期,随着下地壳的加热熔融,形成含钼的正长斑岩岩浆。在伸展构造环境下,沿着矿区的构造裂隙上涌并与地下水循环及围岩相互作用,岩浆结晶分异,含矿流体与围岩强烈交代,最终形成了西峰寺钼矿化区斑岩型钼矿。类比相同背景下形成的与西峰寺钼矿具

有类似特点的沙坪沟、千鹅冲等多个大型-超大型的钼矿床,认为西峰寺矿区的成矿作用时间大致处于中生代123~115 Ma,整体属于东秦岭的成矿阶段的第三个时期。

## 参考文献(References):

- [1] 黄凡,陈毓川,王登红,等. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1111-1134.  
Huang Fan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. A discussion on the major molybdenum ore concentration areas in China and their resource potential[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 1111-1134(in Chinese with English abstract).
- [2] 黄凡,王登红,陈毓川,等. 中国钼矿中辉钼矿的稀土元素地球化学及其应用[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 287-301.  
Huang Fan, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. REE characteristics of molybdenites from endogenous molybdenum deposits in China[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 287-301(in Chinese with English abstract).
- [3] Chen Yanjing, Li Chao, Zhang Jing, et al. Sr and O isotopic characteristics of porphyries in the Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type[J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 43 (Suppl.): 82-94.
- [4] 李诺,陈衍景,张辉,等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 186-198.  
Li Nuo, Chen Yanjing, Zhang Hui, et al. Molybdenum deposits in East Qinling[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5): 186-198 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张国伟,孟庆任,赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学(B辑), 1995, 25(9): 994-1003.  
Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. The structure of Qinling orogenic belt[J]. *Science in China (Series B)*, 1995, 25(9): 994-1003 (in Chinese).
- [6] 邓晋福,赵国春,赵海玲,等. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山——深部过程[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 41-48.  
Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, et al. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic——deep Processes in East China[J]. *Geological Review*, 2000, 46(1): 41-48 (in Chinese with English abstract).
- [7] 董树文,孙先如,张勇,等. 大别山碰撞造山带基本结构[J]. 科学通报, 1993, 38(6): 542-545.  
Dong Shuwen, Sun Xianru, Zhang Yong, et al. Basic structure of the Dabieshan collisional orogenic belt[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(6): 542-545 (in Chinese).
- [8] 王清晨,丛柏林. 大别山超高压变质带的大地构造框架[J]. 岩石学报, 1998, 14(4): 481-492.  
Wang Qingchen, Cong Bolin. Tectonic framework of the ultrahigh-pressure metamorphic zone from the Dabie Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1998, 14(4): 481-492 (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- [9] 李曙光, S.R. Hart, 郑双根, 等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据[J]. 中国科学(B辑), 1989, 19(3): 312-319.  
Li Shuguang, Hart S R. The Sm-Nd isotopic age evidence of North China, Southern China landmass collision time[J]. Science in China (Series B), 1989, 19(3): 312-319 (in Chinese).
- [10] Ames L, Tilton G R, Zhou G. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites[J]. Geology, 1993, 21(4): 339-342.
- [11] Li Chao, Chen Yanjing, He Shundong. Age, mechanism and direction of East Qinling-Dabieshan lithosphere delamination: Petrological evidence and stipulation[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2001, 20(1): 59-72.
- [12] 李明立. 河南省大别山地区中生代中酸性小岩体特征及钼多金属成矿系统[D]. 北京:中国地质大学, 2009.  
Li Mingli. Characteristics of Intermediate-acid Small Intrusive Bodies and Metallogenic System of Molybdenum-polymetallic Deposits in Mesozoic in Dabie Mountain, Henan Province[D]. Beijing:China University of Geosciences, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [13] Li Hongchao, Xu Zhaowen, Lu Xiancai, et al. Constraints on timing and origin of the Dayinjian intrusion and associated molybdenum mineralization, western Dabie orogen, central China[J]. International Geology Review, 2012, 54 (13): 1579-1596.
- [14] 任志, 周涛发, 袁峰, 等. 安徽沙坪沟钼矿区中酸性侵入岩期次研究——年代学及岩石化学约束[J]. 岩石学报, 2014, 30(4): 1097-1116.  
Ren Zhi, Zhou Taofa, Yuan Feng, et al. The stages of magmatic system in Shapinggou Molybdenum deposit district, Anhui Province: Evidence from geochronology and geochemistry[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(4): 1097-1116 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张怀东, 王波华, 郝越进, 等. 安徽沙坪沟斑岩型钼矿床地质特征及综合找矿信息[J]. 矿床地质, 2012, 31(1): 41-51.  
Zhang Huaidong, Wang Bohua, Hao Yuejin, et al. Geological characteristics and comprehensive ore-prospecting information of Shapinggou porphyry-type molybdenum deposit in Anhui Province[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(1): 41-51 (in Chinese with English abstract).
- [16] Ludwig K R. Users Manual for Isoplot/Ex rev.2.49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001, 1a:1-55.
- [17] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 59-79.
- [18] 包志伟, 曾乔松, 赵太平, 等. 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, 2009, 25(10): 2523-2536.  
Bao Zhiwei, Zeng Qiaosong, Zhao Taiping, et al. 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, 2009, 25(10): 2523-2536 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 等. 豫西雷门沟斑岩钼 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 122-131.  
Li Yongfeng, Mao Jingwen, Liu Dunyi, et al. SHRIMP Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os datings for the Leimengou porphyry molybdenum deposit, western Henan and its geological implication[J]. Geological Review, 2006, 52(1): 122-131 (in Chinese with English abstract).
- [20] 朱赖民, 张国伟, 郭波, 等. 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, 2008, 82(2): 204-220.  
Zhu Laimin, Zhang Guowei, Guo Bo, et al. U-Pb(LA-ICP-MS) zircon dating for the large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East Qinling, China, and its metallogenic geodynamical setting[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(2): 204-220 (in Chinese with English abstract).
- [21] 焦建刚, 汤中立, 钱壮志, 等. 东秦岭金堆城花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄、物质来源及成矿机制[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2010, 35(6): 1011-1022.  
Jiao Jiangang, Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, et al. Metallogenic mechanism, magma source and zircon U-Pb age of Jinduicheng granitic porphyry, East Qinling[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2010, 35(6): 1011-1022 (in Chinese with English abstract).
- [22] 杨梅珍, 曾键年, 覃永军, 等. 大别山北缘千鹅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, 2010, 29(5): 35-45.  
Yang Meizhen, Zeng Jiannian, Qin Yongjun, et al. 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, 2010, 29(5): 35-45 (in Chinese with English abstract).
- [23] 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道. 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, 1994, 13(3): 221-230.  
Huang Dianhao, Wu Chengyu, Du Andao, et al. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(3): 221-230 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李永峰, 毛景文, 胡华斌, 等. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 292-304.  
Li Yongfeng, Mao Jingwen, Hu Huabin, et al. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 292-304 (in Chinese with English abstract).

- [25] 黄凡, 王登红, 陆三明, 等. 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[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 1039–1057.  
Huang Fan, Wang Denghong, Lu Sanming, et al. Molybdenite Re-Os isotopic age of Shapinggou Mo deposit in Anhui Province and Mesozoic Mo ore-forming stages in East Qinling–Dabie Mountain region[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(6): 1039–1057 (in Chinese with English abstract).
- [26] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 289–299.  
Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, et al. Geodynamics background of large scale mineralization in North China and its neighboring area[J]. Science in China (Series D), 2003, 33(4): 289–299 (in Chinese).
- [27] 毛景文, 周振华, 丰成友, 等. 初论中国三叠纪大规模成矿作用及其动力学背景[J]. 中国地质, 2012, 39(6): 1437–1471.  
Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Feng Chengyou, et al. A preliminary study of the Triassic large-scale mineralization in China and its geodynamic setting[J]. Geology in China, 2012, 39(6): 1437–1471(in Chinese with English abstract).
- [28] 马昌前, 杨坤光, 许长海, 等. 大别山中生代钾质岩浆作用与超高压变质地体的剥露机理[J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 379–395.  
Ma Changqian, Yang Kunguang, Xu Changhai, et al. Mesozoic potassic magmatism in the Dabie Mountains: implication for exhumation mechanism of ultrahigh-pressure metamorphic terranes[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(3): 379–395 (in Chinese with English abstract).
- [29] 邱检生, 王德滋, 刘洪, 等. 大别造山带北缘后碰撞富钾火山岩: 地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 319–330.  
Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Liu Hong, et al. Post-collisional potash-rich volcanic rocks in the north margin of Dabie orogenic belt geochemistry and petrogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(3): 319–330 (in Chinese with English abstract).
- [30] 周泰禧, 陈江峰, 张巽. 北淮阳花岗岩—正长岩带地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地质论评, 1995, 41(2): 144–151.  
Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Zhang Xun. Geochemistry of the North Huaiyang granite–syenite zone and its tectonic implication[J]. Geological Review, 1995, 41(2): 144–151 (in Chinese with English abstract).
- [31] 吴元保, 郑永飞, 龚冰, 等. 北淮阳庐镇关岩浆岩锆石 U-Pb 年龄和氧同位素组成[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 1007–1024.  
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei, Gong Bing, et al. Zircon U-Pb ages and oxygen isotope compositions of the Luzhuan magmatic complex in the Beihuaiyang zone[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(5): 1007–1024 (in Chinese with English abstract).
- [32] 林银山, 郭福生, 辜骏如, 等. 北淮阳燕山期岩浆岩地球化学特征及其构造环境[J]. 中国区域地质, 2001, 20(1): 100–106.  
Lin Yinshan, Gu Fusheng, Gu Junru, et al. Geochemical characteristics of Yanshannian magmatic rocks in north Huaiyang and their tectonic environment[J]. Regional Geology of China, 2001, 20(1): 100–106 (in Chinese with English abstract).
- [33] 杨坤光, 马昌前, 许长海, 等. 北淮阳构造带与大别造山带的差异性隆升[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(2): 97–103.  
Yang Kunguang, Ma Changqian, Xu Changhai, et al. The difference uplift between North Huaiyang tectonic belt and Dabie orogenic belt[J]. Science in China (Series D), 1999, 29(2): 97–103 (in Chinese).
- [34] 林伟, 王清晨, Faure M N, 等. 从北淮阳构造带的多期变形透视大别山构造演化[J]. 中国科学(D辑), 2005, 35(2): 127–139.  
Lin Wei, Wang Qingchen, Faure M N, et al. To understand the tectonic evolution of Dabie Mountains through multiphase deformation of North Huaiyang tectonic belt[J]. Science in China (Series D), 2005, 35(2): 127–139 (in Chinese).
- [35] 涂光炽. 关于富碱侵入岩[J]. 矿产与地质, 1989, 3(13): 1–4.  
Tu Guangzhi. On the alkali-rich intrusive rocks[J]. Mineral Resources and Geology, 1989, 3(13): 1–4 (in Chinese with English abstract).
- [36] Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. Lithos, 1990, 26: 115–134.
- [37] 任康绪. 碱性岩研究进展述评[J]. 化工矿产地质, 2003, 25(3): 151–163.  
Ren Kangxu. Study Progress of the alkaline rocks: a review[J]. Geology of Chemical Minerals, 2003, 25(3): 151–163 (in Chinese with English abstract).
- [38] 黄皓. 北淮阳白垩纪火山岩的年代学和地球化学研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2012.  
Huang Hao. Geochronological and Geochemical Study on the Mesozoic Volcanic Rocks in Beihuaiyang Belt[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2012 (in Chinese with English abstract).
- [39] Yang Z L, Shen W Z, Shen J, et al. Isotopic geochronology of the Xianghongdian alkaline complex, northern margin of the Dabie Mountains, China[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(4): 404–410.
- [40] 周伟伟, 蔡剑辉, 阎国翰, 等. 安徽金寨响洪甸碱性侵入岩年代学、岩石地球化学及其意义[J]. 矿床地质, 2014, 33(1): 104–122.  
Zhou Weiwei, Cai Jianhui, Yan Guohan, et al. Geochronology and petrogeochemistry of Xianghongdian alkaline intrusion in Jinzhai County of Anhui Province and its significance[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(1): 104–122 (in Chinese with English abstract).