

文章编号: 0258-7106(2007)03-0289-07

河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄 及地质意义*

杨泽强^{1,2}

(1 河南省地质矿产局第三地质调查队, 河南 信阳 464000; 2 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007)

摘要 为查明商城县汤家坪大型钼矿床形成的时代, 建立钼多金属矿成矿模式, 利用电感耦合等离子体质谱仪对汤家坪等3个钼矿床的7件辉钼矿样品进行了Re-Os同位素年龄测定, 获得汤家坪钼矿床辉钼矿Re-Os等时线年龄为 (113.1 ± 7.9) Ma, 准确厘定其成矿时代为早白垩世, 测得天目沟钼矿床辉钼矿Re-Os同位素模式年龄为 (121.6 ± 2.1) Ma, 大银尖钼矿床辉钼矿Re-Os同位素模式年龄为 (122.1 ± 2.4) Ma, 初步确定大别山钼成矿带的成矿年龄大约在 (122.1 ± 2.4) — (113.1 ± 7.9) Ma之间。结合前人研究成果, 认为大别山北麓钼成矿作用的地球动力学背景为燕山晚期大别造山带在伸展机制下岩石圈减薄, 中国中东部区域构造-动力体制由近EW向构造为主向近SN向构造为主的大转换时期。

关键词 地球化学, 辉钼矿, 铼-钨同位素年龄, 地球动力学背景, 汤家坪

中图分类号: P618.65

文献标识码: A

Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Henan and their geological significance

YANG ZeQiang^{1,2}

(1 No. 3 Geological Surveying Party, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources, Xinyang 464000, Henan, China;

2 Henan Academy of Geological Survey, Zhengzhou 450007, Henan, China)

Abstract

In order to determine the age of the Tangjiaping large-size molybdenum deposit in Shangcheng County and establish the metallogenic model for molybdenum-polymetallic ore deposits, the authors dated seven molybdenite samples from Tangjiaping and two other molybdenum deposits by using such ionic mass spectrographs as inductance coupling. The results show that the Re-Os isochron age of molybdenite from the Tangjiaping molybdenum deposit is (113.1 ± 7.9) Ma, suggesting Early Cretaceous, the Re-Os isotopic model age of molybdenite from the Tianmugou molybdenite is (121.6 ± 2.1) Ma, and the Re-Os isotopic model age of molybdenite from the Dayinjian molybdenum is (122.1 ± 2.4) Ma. It is thus thought that the ore-forming age of the Dabie molybdenum metallogenic belt should be (122.1 ± 2.4) — (113.1 ± 7.9) Ma. Considering also the achievements made by previous workers, the authors hold that the molybdenum metallogenic geodynamic background of the northern slope of the Dabie Mountain should be a great transformation period during which the lithosphere of the Dabie orogenic belt became thinner under the stretching mechanism and the regional tectonic-dynamic system of central and

* 本文得到河南金达矿业有限公司“河南省商城县汤家坪矿区钼矿勘探”项目资助

作者简介 杨泽强, 男, 1967年生, 工程师, 主要从事矿产资源评价工作。

收稿日期 2006-11-27, 改回日期 2007-03-02。张绮玲编辑。

eastern China turned from nearly EW-trending to nearly SN-trending structures.

Key words: geochemistry, molybdenite, Re-Os isotopic age, geodynamic background, Tangjiaping

河南省商城县汤家坪钼矿床位于商城县达权店乡,地理坐标东经 115°19'~115°20',北纬 31°31'~31°32'。它是河南省地调局地调三队新近探明的一处大型斑岩钼矿床,控制的钼资源储量达 23.5 万吨。该矿的探明被称为大别山区找矿的重大突破,结束了豫南大别山区没有大型金属矿床的历史。1982 年,河南省区调队进行 1:5 万达权店幅区域地质调查时,认为汤家坪岩体为两次侵入的复式岩体,仅中部的钾长花岗斑岩含矿,初步确定为小型钼矿点(河南省地矿厅区调队,1994)^①。2004 年,河南省地调三队在斑岩体中心和边部施钻验证,发现巨厚钼矿体,认为汤家坪岩体为具明显蚀变分带的独立花岗斑岩岩体,并确定网脉状硅化和钾长石化与钼

成矿关系密切。与此同时,引资勘查,勘探查明了该区的钼资源储量。本文从铼-钼同位素年龄入手,初步探讨汤家坪钼矿床的成矿地球动力学背景及成矿规律,为大别山地区的钼矿勘查提供了依据。

1 地质概况

1.1 区域地质背景

大别造山带为秦岭造山带东延部分,是由多个形成于不同构造环境,有着各自独立的建造特征和构造演化序列的构造地层地体经多次聚合拼贴而成的复杂构造带。带内以北西向桐柏-商城深大断裂为界(见图 1),其北侧为北淮阳构造带,南侧为桐柏-

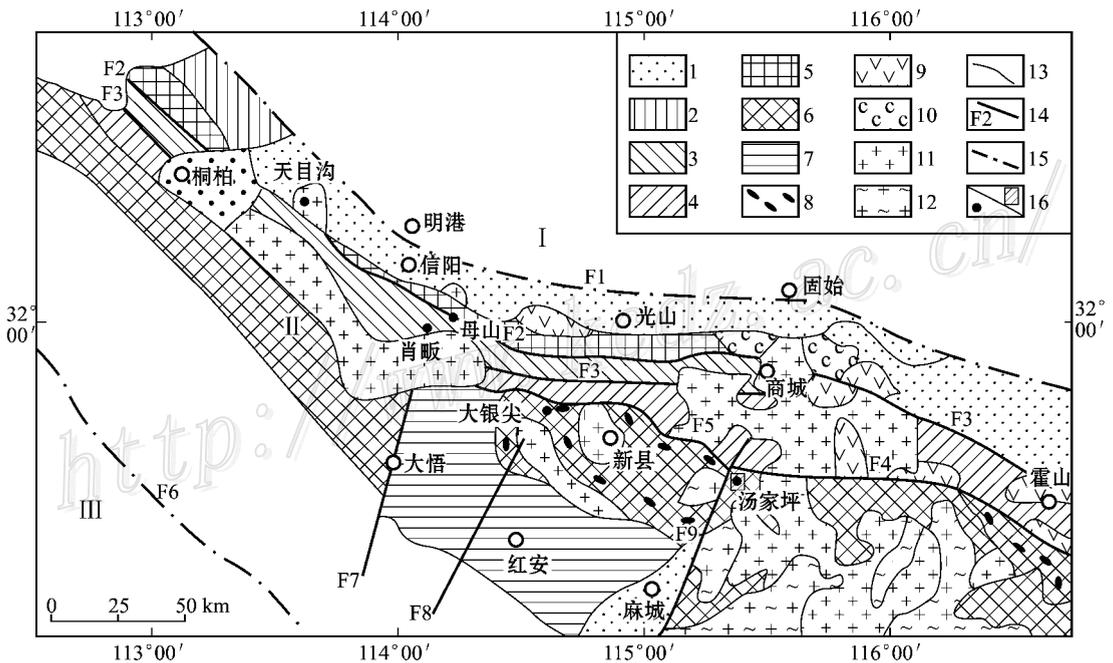


图 1 大别造山带地质略图

1—中生代地层(K-E) 2—二郎坪群(Pt₃-Pz) 3—龟山岩组((Pt₂g) 南湾组(Dn) 4—肖家庙岩组(Z-O_x) 5—秦岭岩群(Pt₂qn) 6—桐柏-大别变质杂岩(Ar₃-Pt₁) 7—红安岩群(Pt₃) 8—榴辉岩 9—白垩纪火山岩(K) 10—石炭系 11—燕山期花岗岩 12—晋宁期花岗岩 13—地质界线 14—断裂带及编号 15—大别造山带边界 16—钼矿床位置; I—华北地块; II—大别造山带; III—扬子地块

Fig. 1 Geological sketch map of the Dabie orogenic belt

1—Mesozoic-Cenozoic strata (K-E); 2—Erlangping Group (Pt₃-Pz); 3—Guishanyan Formation ((Pt₂g), Nanwan Formation (Dn)); 4—Xiaojiamiao Rock Formation (Z-O_x); 5—Qinling Rock Group (Pt₂qn); 6—Tongbei-Dabie metamorphic complex (Ar₃-Pt₁); 7—Hong'an Rock Group (Pt₃); 8—Eclogite; 9—Cretaceous volcanic rock (K); 10—Carboniferous; 11—Yanshanian granite; 12—Granite of Jinning Stage; 13—Geological boundary; 14—Faulted zone and its serial number; 15—Boundary of Dabie orogenic belt; 16—Molybdenum deposit; I—North China block; II—Dabie orogenic belt; III—Yangtze block

① 河南省地矿厅区调队. 1994. 中华人民共和国区域地质调查报告. 1:5 万, 商城幅, 达权店幅.

大别变质核杂岩隆起带。汤家坪钼矿区位于桐柏-大别变质核杂岩隆起带北部,主要出露地层为元古界大别深成变质岩系(PtDog)和星散分布的太古宇-元古界变质表壳岩系(ArDb),另有少部分浒湾岩组和肖家庙岩组地层,以推覆体形式覆盖于变质深成岩系之上或以捕虏体形式分布于后期侵入体之中。

区内岩浆活动十分频繁,尤以燕山期最为强烈,主要表现为大量陆相火山岩、中酸性花岗岩和少量基性-超基性岩密切共生,构成喷发-侵入系列。陆相火山岩沿大别造山带北缘信阳—霍山分布,时代为晚侏罗世—白垩纪,岩性组合为英安岩-流纹岩,属大陆边缘钙碱性火山岩系列。与之伴生的早白垩世侵入岩分布最广,规模最大,分布面积约占全区基岩面积的 1/5,如沿桐柏-商城断裂(F3)分布的灵山岩体、新县岩体和商城岩体等。早白垩世中酸性小岩体密布,可划分为桃花岭-亮山和母山-汤家坪 2 个构造岩浆岩带,岩体多为酸性富碱的花岗斑岩、似斑状花岗岩、石英斑岩、花岗闪长斑岩等,这些中酸性小岩体明显受网格状断裂体系控制,具有成群成带、等间距分布的特点,且与斑岩型钼铜矿关系密切,如母山岩体、天目山岩体、大银尖岩体、汤家坪岩体等,构成东秦岭-大别钼铜成矿带的东部。

1.2 含矿岩体特征

汤家坪钼矿的成矿母岩为早白垩世香子岗序列汤家坪单元的花岗斑岩,平面上呈向北东突出的弧形,出露面积约 0.34 km²(图 2),剖面上呈向南西方向倾伏的不规则小岩株,斑岩中常见次棱角状角闪安山岩包体。

岩石化学成分具超酸($w(\text{Si}_2\text{O})$ 为 76.33%)、富碱($w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 为 9.11%)、高钾($w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 1.81)等特点,属超酸性铝不饱和系列岩浆岩。岩石稀土总量($\Sigma\text{REF} + \text{Y}$)为(292.44 ~ 214.16) $\times 10^{-6}$,轻稀土明显富集,含量为(261.05 ~ 190.16) $\times 10^{-6}$,重稀土亏损。铈异常系数(δEu) 0.46 ~ 0.52,铈异常中等,稀土元素分布曲线为左高右平倾斜的“U”字型。围岩主要为元古代大别片麻岩(PtDog),由二长花岗质片麻岩、黑云斜长片麻岩等深成变质岩系组成。

1.3 矿床地质特征

汤家坪钼矿体赋存于汤家坪花岗斑岩体内及外接触带中,属典型的斑岩型钼矿床。I 号钼矿体规模大,工程控制全长 1 760 m,东西宽 960 m,最大垂深达 349.75 m,矿体地表出露面积 0.33 km²。矿体

呈似层状,南西部厚度巨大,东北部及深部分枝尖灭,总体走向向南西方向倾伏,向东北翘起,倾伏角在 20°左右。矿体厚度与钼品位变化呈正相关。无伴生有益组分,钼矿储量达大型规模。

主要矿石矿物为辉钼矿、黄铁矿、钼华。辉钼矿有 3 种产出方式:① 呈大叶片状集合体沿石英或钾长石粒间空隙或微裂隙展布;② 呈自形-半自形鳞片稀疏浸染状分布于花岗斑岩中;③ 与石英、黄铁矿、钾长石、萤石等组成细脉充填节理裂隙,辉钼矿多呈细鳞片状沿脉两壁生长,或与石英呈相间条带分布。初步将成矿作用分为 3 个成矿期 5 个成矿阶段,即岩浆气液成矿期、岩浆期后热液成矿期和表生成矿期,其中热液成矿期的中期中温石英硫化物阶段为主成矿阶段。

大银尖钼矿床赋存于新县大银尖花岗斑岩体内、外接触带中,属斑岩-矽卡岩复合型。矿石类型以钼矿为主,伴生钨、铜,80% 的钼矿资源量以细脉浸染状分布于花岗斑岩中,其余为矽卡岩型。天目沟钼矿床赋存于信阳市平桥区天目山-烂马山复式钾长花岗岩体中,属岩浆期后热液充填脉型钼矿床,钼矿体陡倾,品位较富,辉钼矿常呈大花瓣状或放射状巨晶沿裂隙分布,规模为小型钼矿。

2 辉钼矿样品采集与测试

2.1 同位素样品采集

本次用于铼-钨同位素年龄测定的 7 件辉钼矿样品,其中 5 件样品(T-CN-1—T-CN-5)分别来自控制汤家坪钼矿床 I 号钼矿体的 5 个钻孔,这些钻孔皆位于钼矿体的中心部位,厚度大,品位富,辉钼矿多呈大叶片状集合体镶嵌在花岗斑岩中或呈石英-辉钼矿细脉充填于花岗斑岩的裂隙中,采样地段未见后期强烈构造变形及热液蚀变。样品皆取自原生矿石,未见氧化物伴生;其余 2 件样品(D-CN-1 采自于大银尖钼矿床,yt-CN-1 采自于天目沟钼矿床。辉钼矿样品采用特制工具直接从钻孔岩心及采矿坑道中获取,并在反光显微镜下仔细观察,未发现脉石矿物。

2.2 测试方法

该组辉钼矿样品送至中国地质科学院国家地质实验测试中心铼-钨同位素年代学实验室,铼-钨同位素年龄测试由屈文俊和曾法刚研究员完成,Re-Os 同位素的化学分离过程和分析方法见有关文献(杜安

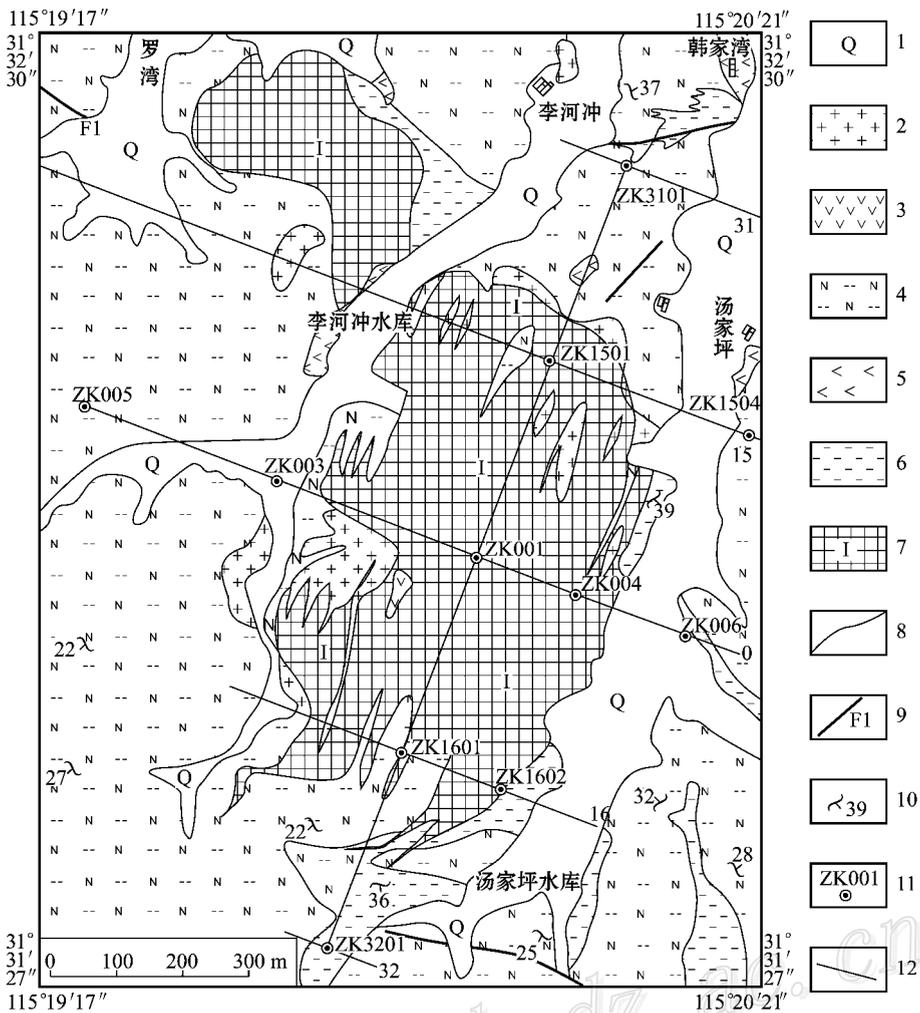


图2 河南省商城县汤家坪钼矿区地质图

1—第四系 2—早白垩世汤家坪单元花岗岩岩 3—角闪安山岩 4—黑云斜长片麻岩 5—斜长角闪片麻岩 6—硅化黑云斜长片麻岩；
7—钼矿体及编号 8—实测地质界线 9—断层及编号 10—片麻理产状 11—钻孔位置及编号 12—勘探线位置及编号

Fig. 2 Geological map of the Tangjiaping molybdenum molybdenum ore district in Shangcheng County, Henan Province

1—Quaternary ; 2—Granite porphyry of Early Cretaceous Tangjiaping Unit ; 3—Hornblende andesite ; 4—Biotite-plagioclase gneiss ; 5—Plagioclase-hornblende gneiss ; 6—Silicified biotite-plagioclase gneiss ; 7—Molybdenum ore body and its serial number ; 8—Measured geological boundary ; 9—Fault and its serial number ; 10—Attitude of gneissic layering ; 11—Drill hole and its serial number ; 12—Exploration line and its serial number

道等,1994;屈文俊等,2003),测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪(TJA X-SERIES ICP-MS)。其中Re和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%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平95%。模式年龄按下式计算:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\ln \left(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

对于T-CN系列样品中,普通Os的含量相对较高的样品(普通Os/¹⁸⁷Os)>0.01,计算模式年龄时,普通Os中的¹⁸⁷Os贡献已扣除。

3 结果与讨论

3.1 汤家坪钼矿成矿时代

大别山北麓3个斑岩型钼矿床的7件辉钼矿样品铼-钨同位素分析数据列于表1。其中汤家坪钼矿

其中λ(¹⁸⁷Re衰变常数)=1.666×10⁻¹¹a⁻¹。实验全流程空白:Re为0.0022ng,C普Os为0.0001ng。

表 1 大别山北麓斑岩型钼矿床矿石辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果表

Table 1 Re-Os isotopic analyses of molybdenite from ores of the porphyry molybdenum deposits on the northern slope of the Dabie Mountain

采样位置及编号	原样名	m _样 /g	w _B /(ng/g)									
			Re		普 Os		¹⁸⁷ Re		¹⁸⁷ Os		t/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
汤家坪												
060618-7	T-CN-1	0.01033	5959.7	53.5	0.1124	0.0079	3746.0	33.6	7.40	0.056	118.5	1.9
060618-8	T-CN-2	0.01019	4451.3	39.2	0.0448	0.0077	2797.9	24.6	5.31	0.036	113.9	1.7
060618-9	T-CN-3	0.00955	10810.2	110.2	0.2883	0.0202	6794.9	69.3	13.02	0.087	114.9	1.8
060618-10	T-CN-4	0.01029	6562.1	61.0	0.0626	0.0127	4124.7	38.3	7.81	0.055	113.6	1.8
060618-11	T-CN-5	0.01057	11938.5	116.4	0.0704	0.0075	7504.0	73.2	14.21	0.110	113.5	1.8
大银尖												
060618-12	D-CN-1	0.01250	31990.4	504.9	0.0963	0.0103	20107.9	317.4	40.94	0.269	122.1	2.4
天目沟												
060618-13	yt-CN-1	0.01027	13887.1	142.0	0.0687	0.0128	8728.8	89.2	17.70	0.156	121.6	2.1

测试单位：中国地质科学院国家地质实验测试中心，测试者：屈文俊，曾法刚。

床矿石辉钼矿的 Re-Os 模式年龄在 (113.5 ± 1.8)~(118.5 ± 1.9)Ma 之间，模式年龄加权平均值为 (114.9 ± 2.7)Ma，5 件辉钼矿样品的 ¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os 值构成一条 MSWD 为 14 的等时线(图 3)，采用 ISO-PLOT 软件的模式 1(Ludwig, 1999)，对所获得的数据进行等时线计算，得到等时线年龄为 (113.1 ± 7.9)Ma，在花岗斑岩体中采集一组锆石 U-Pb 同位素谐和线年龄为 120(-4, +3)Ma(罗铭玖等, 1991)，由此可准确地厘定汤家坪钼矿床形成时代为早白垩世，且略晚于成岩年龄。

在大别山造山带的天目沟钼矿采集的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 (121.6 ± 2.1)Ma，大银尖钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 (122.1 ± 2.4)Ma，由此可见大别钼成矿带的成矿年龄大约在

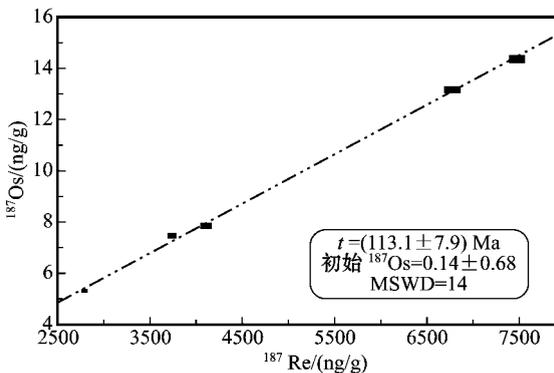


图 3 汤家坪钼矿花岗斑岩中辉钼矿 Re-Os 年龄等时线
Fig. 3 Re-Os age isochron of molybdenite from granite porphyry in the Tangjiaping molybdenum deposit

(122.1 ± 2.4)~(113.1 ± 7.9)Ma 之间。而东秦岭钼矿带的西部黄龙铺碳酸岩脉型钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 221 Ma，南泥湖—三道庄斑岩-矽卡岩型钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 147 Ma(李永峰等, 2004)，矿带形成时代局限于 (221.5 ± 0.3)~(132.4 ± 2.0)Ma 之间，主要出现在 (221.5 ± 0.3)Ma 左右和 (144.8 ± 2.1)~(132.4 ± 2.0)Ma 等时限之间(李永峰等, 2004)。由此可见在东秦岭-大别钼成矿带中，东部大别山造山带的钼矿床成矿时代明显晚于西部华北地台南缘褶皱带。

3.2 地球动力学背景与成矿作用

毛景文等(2003)研究提出：在华北克拉通及其邻区(包括长江中下游地区)，中生代金属矿床大规模成矿作用出现在 200~160 Ma、140 Ma 左右及 130~110 Ma 三个时期，它们对应的地球动力学背景分别为碰撞造山过程、构造体制大转换和岩石圈大规模拆沉作用。大别山北麓钼成矿年龄大约在 (122.1 ± 2.4)~(113.1 ± 7.9)Ma 之间，相当于第三成矿期，与燕山晚期大别造山带在伸展机制下岩石圈减薄，深部岩浆底劈侵位密切相关。

三叠纪以前，华北地台和扬子地台一直处于稳定发展阶段。印支期，华北陆块和扬子陆块相向俯冲挤压碰撞造山(钟增球等, 2001)，秦岭内部广泛发育的碰撞型花岗岩和商丹缝合带内代表造山后产物的环斑花岗岩，表明两大陆块碰撞并闭合于印支期末(卢欣祥等, 1996)。大别山地区未发现印支期岩浆活动，但平行与造山带方向的北西向断裂活动强

烈。碰撞造山作用使华北地台沿北西向栾川-明港-固始深大断裂俯冲,深切上地幔的深大断裂带打破了岩石圈原有的“平衡”,通过壳-幔相互作用,发生物质和能量的交换,区域性的岩石圈拆沉作用和地幔物质上侵,导致大别地区双倍陆壳的重熔。据河南省1:20万水系沉积物测量资料,商城地区钼元素背景值为 0.7×10^{-6} ,与豫西南地区钼元素背景值 0.76×10^{-6} 相比,富集系数为0.92,呈背景分布,而下元古界桐柏-大别片麻杂岩中钼含量为 1.07×10^{-6} ,富集系数为1.53。可见俯冲大陆板片的断离引起加厚下地壳大别片麻杂岩的熔融是形成该区富钼岩浆的主因。

早白垩世受太平洋构造域的影响,中国中东部从印支期以近EW向构造为主、NNE至近SN向构造为次,进入以NNE至近SN向构造为主、近EW向构造为次的区域构造-动力体制大转换(高山等,1999)。大别造山带北缘信阳—商城—霍山一带发育的中生代陆相火山岩(J—K₂)及断裂边缘发育的一系列断陷盆地,是造山带边缘断裂走滑的结果,代表挤压阶段末期造山带边缘应力状态首先由挤压转换为走滑,整个区域应力场即将处于伸展环境,标志着大别地壳开始减薄。造山带伸展垮塌,导致地壳增温,激发了主造山期后的深源岩浆活动;大量近南北向断裂形成,且与早期北西向深大断裂构成大别山区格子状构造系统。北西向桐-商断裂深切至下地壳,其与近南北向断裂交汇处控制着区内深源浅成富碱的中酸性富钼斑岩体的分布。于是就形成了在空间上矿床多沿桐-商断裂带展布,在时间上表现为成矿与陆内构造-岩浆活动近于同时或略滞后,成矿流体以岩浆热液为主后期有大气降水加入的钼多金属成矿系统(姚书振等,2002)。

4 结论

(1)汤家坪钼矿5件辉钼矿Re-Os同位素等时线年龄为 (113.1 ± 7.9) Ma,准确厘定其成矿时代为早白垩世。天目沟钼矿辉钼矿Re-Os同位素模式年龄为 (121.6 ± 2.1) Ma,大银尖钼矿辉钼矿Re-Os同位素模式年龄为 (122.1 ± 2.4) Ma,大别钼成矿带的成矿年龄大约在 $(122.1 \pm 2.4 \sim 113.1 \pm 7.9)$ Ma之间,其成矿时间明显晚于东秦岭钼矿带。

(2)大别山北麓钼成矿年龄大约在 $(122.1 \pm 2.4) \sim (113.1 \pm 7.9)$ Ma之间,与燕山晚期大别造山

带在伸展机制下岩石圈减薄,中国中东部区域构造-动力体制由近EW向构造为主,向近SN向构造为主的大转换时期的地球动力学背景相对应。

References

- 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 molybdenite [J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339~347 (in Chinese with English abstract).
- Gao S, Zhang B R, Jin Z M and Kern H. 1999. Lower crustal delamination in the Qinling-Dabie orogenic belt [J]. *Science in China (Series D)*, 42(4): 423~433.
- 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).
- Li Y F, Wang C Q, Bai F J and Song Y L. 2004. Re-Os Isotopic ages of Mo deposits in east Qinling and their geodynamic setting [J]. *Mineral Resources and Geology*, 18(6): 571~578 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Dong Y, Chang Q L, Xiao Q H, Li X B, Wang X X and Zhang G W. 1996. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance [J]. *Science in China (Series D)*, 39(3): 266~272.
- Luo M J, Zhang F M, Dong Q Y, Xu Y R, Li S M and Li H H. 1991. Molybdenum deposits in China [M]. Zhengzhou: Sci. & Techn. Pub. House of Henan. 1~452 (in Chinese).
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, Yu J J and Niu B G. 2003. Geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent area: Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits [J]. *Sciences in China (Series D)*, 33(4): 289~300 (in Chinese).
- Mao J W, Stein H and Du A D. 2004. Re-Os dating of Cu, Au (Mo) deposit and its implications for mineralization in Middle-Lower Reaches of Yangtze River [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 121~131 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Qu W J, Liu Y, Du A D and Jiang S H. 2005. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia [J]. *Mineral Deposits*, 24(6): 638~646 (in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254~257 (in Chinese with English abstract).
- Yao S Z, Ding Z J, Zhou Z G and Chen S Y. 2002. Metallogenic systems of Qinling Orogen [J]. *Earth Science*, 27(5): 599~604 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Z Q, Suo S T, Zhang H F and Zhou H W. 2001. Major con-

stituents and texture of the Tongbai-Daibie collisional orogenic belt [J]. *Earth Science*, 26(6): 560~567 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 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.
- 高山, 张本仁, 金振民, Kern H. 1999. 秦岭-大别造山带下地壳拆沉作用[J]. *中国科学*, 29(6): 532~541.
- 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. *矿床地质*, 13(3): 221~230.
- 李永峰, 王春秋, 白凤军, 宋艳玲. 2004. 东秦岭钼矿 $Re-Os$ 同位素年龄及其成矿动力学背景[J]. *矿产与地质*, 18(6): 571~578.
- 卢欣祥, 董有, 常秋岭, 肖庆辉, 李晓波, 王晓霞. 1996. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及其动力学意义[J]. *中国科学(D辑)*, 26(3): 244~248.

- 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 许永仁, 黎世美, 李昆华. 1991. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社. 1~452.
- 毛景文, 王义天, 张作衡, 余金杰, 牛宝贵. 2003. 华北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)*, 33(4): 289~300.
- 毛景文, Stein H, 杜安道. 2004. 长江中下游地区铜金(钼)矿铼-钨年龄测定及对成矿作用的指示[J]. *地质学报*, 78(1): 121~131.
- 聂风军, 屈文俊, 刘妍, 杜安道, 江思宏. 2005. 内蒙古额勒根斑岩型钨(铜)矿化区辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 24(6): 638~646.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. *岩矿测试*, 22(4): 254~257.
- 王志宏. 2000. 阶段性板块运动与板内增生——河南省 1:50 万地质图说明书[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 姚书振, 丁振举, 周宗桂, 陈守余. 2002. 秦岭造山带金属成矿系统[J]. *地球科学*, 27(5): 599~604.
- 钟增球, 索书田, 张宏飞, 周汉文. 2001. 桐柏-大别碰撞造山带的基本组成与结构[J]. *地球科学*, 26(6): 560~567.

<http://www.kcdz.ac.cn/>